

Ingeniería industrial

Métodos, estándares y diseño del trabajo

Duodécima edición

Benjamin W. NIEBEL
Andris Freivalds

Mc Graw Hill

LISTAS DE VERIFICACIÓN

Lista de verificación de la evaluación del trabajo cognitivo, p. 233
Índice de riesgo de los CTD, p. 165
Lista de verificación del diseño de pantallas, p. 243
Lista de verificación de la postura general y de la evaluación de la tarea, p. 135
Lista de verificación de las características de una interfaz gráfica de usuario, p. 248
Guía para el análisis del trabajo-lugar de trabajo, p. 24
Lista de verificación para evaluar la máquina, pp. 161-162
Lista de verificación de la economía de movimientos, p. 115
Lista de verificación para el análisis de métodos con MTM-2, pp. 434-435
Lista de verificación del análisis de operaciones, pp. 95-96
Lista de verificación para evaluar la configuración y el herramental, p. 75
Lista de verificación de la postura general y de la evaluación de la tarea, p. 135
Lista de verificación del análisis de therbligs, pp. 120-121
Lista de verificación para evaluar herramientas, p. 175
Lista de verificación para planes de incentivos salariales razonables, p. 520
Lista de verificación del ambiente de trabajo, p. 213
Lista de verificación para evaluar estaciones de trabajo, p. 153

GRÁFICAS Y DIAGRAMAS

Diagrama de la incomodidad del cuerpo humano, p. 164
Gráfica de control, p. 452
Gráfica de cruce, pp. 306, 500
Diagrama de pescado (causa y efecto), p. 19
Diagrama de flujo, p. 31
Gráfica de flujo de los procesos, p. 29
Gráfica de procesos de grupo, p. 35
Gráfica de Gantt, p. 20
Guía para el análisis del trabajo lugar de trabajo, p. 24
Diagrama de los procesos operativos, p. 27
Análisis de Pareto (regla 80/20), p. 18
Gráfica de PERT, p. 21
Diagrama de precedencia, p. 49
Diagrama de relaciones, p. 89
Formato para el estudio del tiempo, p. 336
Gráfica de recorridos (desde hacia), p. 88
Diagrama de procesos bimanual, p. 119
Gráficas de procesos trabajador-máquina, p. 33

LINEAMIENTOS

Holguras recomendadas por ILO, p. 369
Holguras revisadas, p. 381
Gasto de energía, pp. 121-123
Recuperación del ritmo cardiaco, pp. 123-124
Niveles de esfuerzo calórico (NIOSH), pp. 198-201
Niveles de iluminación (IESNA), p. 187
Lineamientos de elevación de cargas (NIOSH), pp. 128-130
Niveles de ruido (OSHA), p. 195
Calibre, velocidad, pp. 357-358
Calibre, Westinghouse, pp. 358-360
Trabajo por turnos, pp. 207-212
Zona de confort térmico, p. 199
Requerimientos de ventilación, pp. 202-204
Exposiciones a la vibración (ANSI/ISO), p. 205

ANÁLISIS Y OTRAS HERRAMIENTAS

Método de Ashcroft, pp. 44-45
Chi-cuadrada, p. 262
Análisis costo-beneficio, pp. 280-282, 301-305
Herramientas de decisión económica, pp. 311-314
Árbol de fallas, pp. 276-282
Tablas de acciones de riesgos, p 300
Análisis del sitio de trabajo, p. 24
Análisis de la seguridad en el trabajo (JSA), pp. 262-264
Mapas de Karnaugh, pp. 275-276
Balanceo de la línea, pp. 45-51
Datos MOST, pp. 426-428
Datos MTM-1, pp. 406-409
Datos MTM-2, pp. 410-441
Datos MTM-3, p. 417
Toma de decisiones con criterios múltiples, pp. 303-309
Planeación simplificada de distribución de Muther, pp. 88-91
Servicio aleatorio, pp. 40-43
Análisis de riesgos, pp. 265-267
Servicio sincrónimo, pp. 33-40
Ingeniería del valor, pp. 301-303
Fórmula de Wright, p. 43

Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo

Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo

Duodécima edición

Benjamin W. Niebel
The Pennsylvania State University

Andris Freivalds
The Pennsylvania State University

Revisión técnica
Teresa del Carmen Ibarra Santa Ana
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México





MÉXICO • BOGOTÁ • SÃO PAULO • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA
MADRID • NUEVA YORK • SAN JUAN • SANTIAGO • AUCKLAND • LONDRES • MILÁN
MONTREAL • NUEVA DELHI • SAN FRANCISCO • SINGAPUR • SAN LUIS • SIDNEY • TORONTO

Director Higher Education: Miguel Ángel Toledo Castellanos
Director editorial: Ricardo A. del Bosque Alayón
Coordinadora editorial: Marcela I. Rocha Martínez
Editor sponsor: Pablo E. Roig Vázquez
Editora de desarrollo: Ana L. Delgado Rodríguez
Supervisor de producción: Zeferino García García

Traducción: Carlos Roberto Cordero Pedraza/Jesús Elmer Murrieta Murrieta

INGENIERÍA INDUSTRIAL:
MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra,
por cualquier medio, sin la autorización escrita del editor.



DERECHOS RESERVADOS © 2009 respecto a la primera edición en español por:
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
A Subsidiary of ***The McGraw-Hill*** *Companies, Inc.*
Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A
Piso 17, Colonia Desarrollo Santa Fe,
Delegación Álvaro Obregón
C.P. 01376, México, D. F.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

ISBN 978-970-10-6962-2

Traducido de la duodécima edición de: Niebel's Methods, Standards, and Work Design.
Copyright © 2009 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. ISBN: 0-07-337631-0

1234567890 08765432109

Impreso en México *Printed in Mexico*

Acerca de los autores

Benjamin Niebel recibió los grados de licenciatura, maestría e ingeniero practicante en ingeniería industrial de la Universidad Estatal de Pennsylvania. Después de dirigir el departamento de ingeniería industrial en la compañía Lord Manufacturing, se interesó en la docencia. Regresó a la Universidad Estatal de Pennsylvania como miembro del profesorado en 1947 y después trabajó como jefe del departamento de ingeniería industrial de 1955 a 1979. Durante este tiempo escribió una gran cantidad de libros de texto, entre ellos *Motion and Time Study*, editado en 1955. Además, fue consultor regular en muchas industrias. Por su servicio sobresaliente a la profesión y a la Universidad Estatal de Pennsylvania, en 1976 recibió el Premio Frank and Lillian Gilbreth por parte del Instituto de Ingenieros Industriales, en 1989 el Premio al Graduado de Ingeniería Sobresaliente por parte del Colegio de Ingeniería y en 1992 el Premio al Servicio Destacado de parte de la Sociedad de Ingenieros de la Universidad Estatal de Pennsylvania. Falleció a la edad de 80 años mientras viajaba para llevar a cabo una sesión de consultoría a la industria.

Andris Freivalds es profesor de ingeniería industrial en la Universidad Estatal de Pennsylvania. Obtuvo el título de licenciado en ciencias de la ingeniería y los grados de maestro y doctor en bioingeniería en la Universidad de Michigan. Después de hacer investigación en biomecánica en el Laboratorio de Investigación Médica Aeroespacial en Wright Patterson AFB, Ohio, y en la Universidad de Nottingham, en el Reino Unido, con la beca Fulbright, cambió el rumbo de sus investigaciones hacia el estudio de la reducción de lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo en compañías estadounidenses. Con la ayuda de Commonwealth de Pennsylvania para el Desarrollo del Centro de Desórdenes de Trauma Acumulativos (CTD, por sus siglas en inglés), brindó servicios ergonómicos y de diseño de ingeniería a más de 75 compañías en Pennsylvania para controlar los riesgos en el lugar de trabajo y mejorar la productividad en general. En reconocimiento a estos esfuerzos, el Dr. Freivalds obtuvo el Premio a la Innovación Tecnológica del Instituto de Ingenieros Industriales en 1995. Es un ergonomista profesional certificado y miembro de la Sociedad de Ergonomía.

A Benjamin W. Niebel (1918-1999) quien me recordó la importancia de considerar la productividad mientras se diseña el trabajo para la salud y la seguridad.

Contenido breve

Prefacio xvi

1 Métodos, estándares y diseño del trabajo: introducción 1

2 Herramientas para la solución de problemas 17

3 Análisis de operaciones 57

4 Diseño del trabajo manual 99

5 Lugar de trabajo, equipo y diseño de herramientas 139

6 Diseño del ambiente de trabajo 183

7 Diseño del trabajo cognitivo 217

8 Seguridad en el lugar de trabajo y de los sistemas 255

9 Implantación del método propuesto 299

10 Estudio de tiempos 327

11 Calificación del desempeño y holguras 355

12 Datos y fórmulas estándar 385

13 Sistemas de tiempos predeterminados 403

14 Muestreo del trabajo 441

15 Estándares de mano de obra general e indirecta 467

16 Seguimiento y uso de estándares 489

17 Pago de salarios 507

18 Capacitación y otras prácticas administrativas 525

Apéndice 1: Glosario 547

Apéndice 2: Fórmulas útiles 562

Apéndice 3: Tablas especiales 564

Índice 577

Contenido

Prefacio xvi

Capítulo **1**

Métodos, estándares y diseño del trabajo: introducción 1

1.1 Importancia de la productividad 1
1.2 Alcance de los métodos y estándares 2
1.3 Desarrollos históricos 7
Resumen 13
Preguntas 15
Referencias 15
Sitios en Internet 16

Capítulo **2**

Herramientas para la solución de problemas 17

2.1 Herramientas exploratorias 18
2.2 Herramientas de registro y análisis 25
2.3 Herramientas cuantitativas: relaciones entre el operador y la máquina 32
Resumen 51
Preguntas 52
Problemas 53
Referencias 56
Software seleccionado 56

Capítulo **3**

Análisis de operaciones 57

3.1 Finalidad de la operación 58
3.2 Diseño de las partes 61
3.3 Tolerancias y especificaciones 63
3.4 Material 65
3.5 Secuencia y proceso de fabricación 69
3.6 Configuración y herramientas 74
3.7 Manejo de materiales 78
3.8 Distribución de la planta 86
3.9 Diseño del trabajo 94
Resumen 94
Preguntas 94
Problemas 97
Referencias 97
Software seleccionado 98
Videocintas/DVD seleccionados 98

Capítulo **4**

Diseño del trabajo manual 99

4.1 Sistema músculo-esquelético 100
4.2 Principios de diseño del trabajo: capacidades humanas y economía de los movimientos 101
4.3 Estudio de los movimientos 114
4.4 Trabajo manual y lineamientos de diseño 118
Resumen 135
Preguntas 135
Problemas 136
Referencias 137
Software recomendado 138
Sitios en Internet 138

Capítulo **5**

Lugar de trabajo, equipo y diseño de herramientas 139

5.1 Antropometría y diseño 139
5.2 Principios del diseño de trabajo: el lugar de trabajo 143
5.3 Principios del diseño de trabajo: máquinas y equipo 152
5.4 Desórdenes de trauma acumulativo 160
5.5 Principios del diseño de trabajo: herramientas 164
Resumen 176
Preguntas 176
Problemas 176
Referencias 180

Software recomendado 181
Sitios en Internet 182

Capítulo **6**

Diseño del ambiente de trabajo 183
6.1 Iluminación 183
6.2 Ruido 190
6.3 Temperatura 198
6.4 Ventilación 202
6.5 Vibración 204
6.6 Radiación 206
6.7 Trabajo por turnos y horas laborables 207
Resumen 212
Preguntas 212
Problemas 214
Referencias 215
Software recomendado 216
Sitios en Internet 216

Capítulo **7**

Diseño del trabajo cognitivo 217
7.1 Teoría de la información 217
7.2 Modelo de procesamiento de información en el ser humano 219
7.3 Codificación de la información: principios generales de diseño 232
7.4 Pantallas con información visual: principios específicos de diseño 236
7.5 Pantalla de información auditiva: principios específicos de diseño 241
7.6 Interacción hombre-computadora: consideraciones de hardware 242
7.7 Interacción hombre-computadora: consideraciones de software 245
Resumen 247
Preguntas 247
Problemas 248
Referencias 252
Software recomendado 253
Sitios en Internet 253

Capítulo **8**

Seguridad en el lugar de trabajo y de los sistemas 255
8.1 Filosofías básicas acerca de las causas y la prevención de accidentes 256
8.2 Proceso para prevenir accidentes 261
8.3 Métodos probabilísticos 268
8.4 Confiabilidad 271
8.5 Análisis del árbol de fallas 276
8.6 Legislación sobre seguridad e indemnización de los trabajadores 282
8.7 Seguridad Ocupacional y Administración de la Salud (OSHA) 285
8.8 Control de riesgos 290
8.9 Tareas domésticas generales 292
Resumen 295
Preguntas 295
Problemas 296
Referencias 297
Sitios en Internet 298

Capítulo **9**

Implantación del método propuesto 299
9.1 Herramientas para la toma de decisiones 300
9.2 Instalación 311
9.3 Evaluación de puestos 314
9.4 Ley para discapacitados en Estados Unidos 320
9.5 Seguimiento 321
9.6 Implantaciones exitosas de métodos 321
Resumen 323
Preguntas 323
Problemas 323
Referencias 324
Software seleccionado 325

Capítulo **10**

Estudio de tiempos 327
10.1 Un día de trabajo justo 328
10.2 Requerimientos del estudio de tiempos 328
10.3 Equipo para el estudio de tiempos 329
10.4 Elementos del estudio de tiempos 333
10.5 Inicio del estudio 335
10.6 Ejecución del estudio 342
10.7 Cálculos del estudio 344
10.8 El tiempo estándar 345
Resumen 350
Preguntas 350
Problemas 351
Referencias 353
Software seleccionado 353
Videos seleccionados 353

Capítulo **11**

Calificación del desempeño y holguras 355
11.1 Desempeño estándar 356
11.2 Características de calificaciones razonables 356

11.3 Métodos de calificación 357
11.4 Aplicación y análisis de la calificación 362
11.5 Capacitación para la calificación 364
11.6 Suplementos u holguras 366
11.7 Holguras constantes 367
11.8 Holguras por fatiga variable 368
11.9 Holguras especiales 377
11.10 Aplicaciones de los suplementos u holguras 379
Resumen 379
Preguntas 380
Problemas 381
Referencias 382
Software seleccionado 383
Videos seleccionados 383

Capítulo **12**

Datos y fórmulas estándar 385
12.1 Desarrollo de datos de tiempo estándar 386
12.2 Construcción de fórmulas a partir de datos empíricos 389
12.3 Fórmulas analíticas 393
12.4 Uso de datos estándar 397
Resumen 398
Preguntas 399
Problemas 399
Referencias 401
Software seleccionado 401

Capítulo **13**

Sistemas de tiempos predeterminados 403
13.1 Métodos de medición de tiempo (MTM) 404
13.2 Técnica secuencial de operación Maynard (MOST) 423
13.3 Aplicación de tiempo predeterminado 431
Resumen 436
Preguntas 437
Problemas 437
Referencias 439
Software seleccionado 440

Capítulo **14**

Muestreo del trabajo 441
14.1 Teoría del muestreo del trabajo 442
14.2 Presentación del muestreo del trabajo 445
14.3 Planeación de estudios de muestreo del trabajo 446
14.4 Registro de observaciones 453
14.5 Utilización de máquinas y operarios 454
14.6 Determinación de holguras 457
14.7 Determinación del tiempo estándar 457
14.8 Autoobservación 459
14.9 Software para muestreo del trabajo 461
Resumen 463
Preguntas 463
Problemas 463
Referencias 465
Software seleccionado 466
Videocintas seleccionadas 466

Capítulo **15**

Estándares de mano de obra general e indirecta 467
15.1 Estándares de la mano de obra indirecta y general 468
15.2 Datos estándar de mano de obra indirecta y general 480
15.3 Estándares de desempeño profesional 483
Resumen 486
Preguntas 486
Problemas 486
Referencias 487

Capítulo **16**

Seguimiento y uso de estándares 489
16.1 Mantenimiento de tiempos estándar 490
16.2 Uso de estándares 491
16.3 Costeo 498
Resumen 504
Preguntas 504
Problemas 504
Referencias 505

Capítulo **17**

Pago de salarios 507
17.1 Planes de jornada de trabajo 508
17.2 Planes de compensación flexibles 508
17.3 Implementación de incentivos salariales 517
17.4 Planes de motivación del desempeño no financieros 520
Resumen 521
Preguntas 522
Problemas 523
Referencias 524
Software seleccionado 524

Capítulo **18**

Capacitación y otras prácticas administrativas 525

18.1 Capacitación del operario 525
18.2 La curva de aprendizaje 527
18.3 Empleados y motivación 531
18.4 Interacciones humanas 535
18.5 Comunicaciones 537
18.6 Prácticas modernas de administración 541
Resumen 544
Preguntas 544
Problemas 545
Referencias 546
Software seleccionado 546
Sitio web: 546

Apéndice 1: Glosario 547

Apéndice 2: Fórmulas útiles 562

Apéndice 3: Tablas especiales 564

Índice 577

Prefacio

ANTECEDENTES

Enfrentados ante una competencia cada vez mayor proveniente de prácticamente todo mundo, la mayor parte de las industrias, negocios y empresas de servicios están reestructurándose a fin de operar de una manera más eficiente. A medida que las empresas se simplifican y hacen uso de servicios externos, deben aumentar la intensidad con la que reducen los costos y los esfuerzos para mejorar la calidad, a la vez que se ven en la necesidad de operar con una fuerza de trabajo reducida. La eficiencia en costos y la confiabilidad del producto sin usar un exceso de capacidad son elementos clave para la actividad exitosa en todas las áreas de negocios, la industria y el gobierno, y representan el resultado final de la ingeniería de métodos, de los estándares equitativos de tiempo y del diseño eficiente del trabajo.

Asimismo, a medida que las máquinas y el equipo se hacen cada vez más complejos y se convierten en semiautomáticos, si no es que en totalmente automáticos, es más importante estudiar los componentes manuales y los aspectos de conocimiento del trabajo, además de la seguridad de las operaciones. El operario debe percibir e interpretar grandes cantidades de información, tomar decisiones críticas y controlar dichas máquinas y equipos con rapidez y precisión. En años recientes, los trabajos se han desplazado en forma gradual del sector manufactura al sector de servicios. En ambos sectores cada día se otorga menos importancia a la actividad física bruta mientras que ha aumentado el interés en el procesamiento de información y la toma de decisiones, especialmente a través de computadoras y la tecnología moderna asociada. La eficiencia y las herramientas de diseño de trabajo son las claves para la mejora de la productividad en cualquier industria, negocio o empresa de servicios, ya sea un banco, un hospital, una tienda de departamentos, un ferrocarril o un sistema postal. Además, el éxito en una línea de productos determinada o de un servicio lleva a nuevos productos e innovaciones. Es esta serie de éxitos lo que conduce a la generación de empleos y al crecimiento de la economía.

El lector debe ser cuidadoso de no ser inducido o intimidado por los nuevos productos que se presentan como la solución a todo problema de falta de competitividad de una empresa. A menudo estas modas hacen a un lado los procedimientos de ingeniería y administración que, cuando se utilizan de manera adecuada, representan la clave de un éxito permanente. En estos días escuchamos muchos comentarios sobre la reingeniería y el uso de equipos multifuncionales a medida que los líderes de negocios reducen costos, inventarios, tiempos de los ciclos y actividades que no producen valor. Sin embargo, la experiencia de los últimos años ha demostrado que recortar personal de la nómina con el solo objeto de automatizar los trabajos no siempre resulta ser un procedimiento inteligente. Los autores, con muchos años de experiencia en más de una centena de industrias recomiendan categóricamente los métodos de ingeniería, los estándares realistas y el buen diseño del trabajo como la fórmula del éxito, tanto en empresas de manufactura como de servicios.

POR QUÉ SE ESCRIBIÓ ESTE LIBRO

Los objetivos de la duodécima edición son casi los mismos que los de la anterior: proporcionar un libro de texto universitario práctico y actualizado que describa los métodos ingenieriles para medir, analizar y diseñar el trabajo manual. Se ha hecho hincapié en la importancia de la ergonomía y el

diseño de trabajo como parte de los métodos de ingeniería, no sólo para aumentar la productividad, sino también para mejorar la salud y la seguridad del trabajador y, por lo tanto, los costos críticos de la compañía. Con suma frecuencia los ingenieros industriales se enfocan únicamente a incrementar la productividad a través de cambios en los métodos y la simplificación del trabajo, lo que ha dado como resultado tareas repetitivas sobrepuestas para los operarios y una mayor incidencia de lesiones músculo-esqueléticas. Cualquier reducción de costos que tenga la empresa se contrarresta con el costo de las compensaciones médicas del trabajador, que cada vez es mayor, especialmente cuando se consideran los elevados precios de los servicios de salud en la actualidad.

QUÉ ES NOVEDOSO EN LA DUODÉCIMA EDICIÓN

Se ha añadido un nuevo capítulo 8 acerca del lugar de trabajo y la seguridad de los sistemas que incluye material sobre los modelos de las causas de accidentes, la prevención de ellos, el análisis cuantitativo y el control general de riesgos. Este capítulo, por ende, complementa el conocimiento que un ingeniero industrial debe tener para administrar una línea de producción o un centro de servicio. Los capítulos anteriores 10 y 11 acerca de calificaciones y holguras se combinaron como material de apoyo y se transformaron en el nuevo capítulo 10 referente al estudio de tiempos. El capítulo 13 se expandió a fin de incluir más material sobre el tema BasicMOST.

Se ha agregado alrededor de 10 a 15% de ejemplos, problemas y estudios de casos. La duodécima edición aún muestra una dependencia continua del diseño y las mediciones del trabajo, la distribución de las instalaciones y varias gráficas de procesos de flujos para los estudiantes que ingresan a la profesión de la ingeniería industrial y sirve como una fuente práctica y actualizada de material de referencia para el ingeniero practicante y el gerente.

EN QUÉ ESTE LIBRO ES DIFERENTE A LOS DEMÁS

La mayoría de los libros de texto que se venden en el mercado tratan de los elementos tradicionales del estudio de tiempos y movimientos o de factores humanos y ergonomía. Sólo unos pocos de ellos integran ambos temas en uno solo, para este propósito, en un curso único. En estos días, el ingeniero industrial necesita considerar de manera simultánea temas de productividad y sus efectos en la salud y la seguridad del trabajador. Pocos libros tienen el formato adecuado para utilizarse en el salón de clase. Esta obra incluye preguntas adicionales, problemas y ejercicios de laboratorio con la intensión de ayudar al profesor.

ORGANIZACIÓN DEL TEXTO Y MATERIAL DEL CURSO

La duodécima edición está diseñada para ofrecer *grosso modo* un capítulo de material por semana de un curso introductorio de un semestre de duración. A pesar de que son 18 capítulos en total, el capítulo 1 es corto e introductorio, la mayor parte del 7, que explica el diseño de trabajo cognitivo, y el 8, que se refiere a seguridad, pueden cubrirse en otros cursos, mientras que el capítulo 15, que trata el tema de los estándares para el trabajo indirecto y los gastos, puede que no necesite desarrollarse en un curso introductorio, todo lo cual deja sólo 15 capítulos a cubrir en el semestre.

Un plan típico para un semestre, capítulo por capítulo, que utilice el número usual de clases, podría ser el que aparece en la página siguiente.

El plan recomendado abarca 43 lecciones con dos periodos para exámenes. Algunos profesores podrían concederle más tiempo a cualquier capítulo para el cual se proporcione material adicional, por ejemplo, diseño del trabajo (capítulos 4 a 7), y menos tiempo al de mediciones de trabajo tradicional (capítulos 8 a 16) o viceversa. El texto permite esta flexibilidad.

De manera similar, si se utiliza todo el material (el segundo número de la clase), hay material suficiente para un curso en clase y un curso en el laboratorio, de la misma manera como se lleva a cabo en la Universidad Estatal de Pennsylvania.

Capítulo	Clases	Cobertura
1	1	Rápida introducción acerca de la importancia de la productividad y del diseño del trabajo con algo de perspectiva histórica.
2	3-6	Algunas herramientas de cada área (análisis de Pareto, guía de análisis de trabajo/sitio detrabajo, gráficas de procesos de flujo, gráficas de trabajador-máquina) con algunos análisis cuantitativos acerca de las interacciones entre ambos. Los temas balanceo de la línea y PERT pueden impartirse en otros cursos.
3	4	Análisis de operaciones con un ejemplo de cada paso.
4	4	Completo, pero puede mencionarse brevemente fisiología muscular básica y gasto de energía.
5	4	Completo.
6	3-4	Fundamentos de iluminación, ruido, temperatura; otros temas a elección pueden impartirse en otro curso.
7	0-4	Su cobertura depende del interés del profesor; puede impartirse en otro curso.
8	0-5	Su cobertura depende del interés del profesor; puede impartirse en otro curso.
9	3-5	Tres herramientas: ingeniería del valor, análisis costo-beneficio y gráficas de cambio; análisis y evaluación del cambio e interacción con trabajadores. Las demás herramientas se pueden estudiar en otros cursos.
10	3	Fundamentos del estudio del tiempo.
11	3-5	Forma de calificar; la primera mitad de los holguras están bien establecidas.
12	1-3	La cobertura de datos y fórmulas estándar depende del interés de profesor.
13	4-7	Sólo un sistema de tiempos predeterminado con profundidad; el segundo puede impartirse en otro curso.
14	2-3	Muestreo del trabajo.
15	0-3	La cobertura de los estándares indirectos y de gastos de trabajo dependen del interés del profesor.
16	2-3	Panorama y costeo
17	3-4	Trabajo diario y plan de horas estándar.
18	3-4	Curvas de aprendizaje, motivación y habilidades del personal.

MATERIALES DE APOYO

Esta obra cuenta con interesantes complementos que fortalecen los procesos de enseñanza-aprendizaje, así como la evaluación de los mismos, los cuales se otorgan a profesores que adoptan este texto para sus cursos. Para obtener más información y conocer la política de entrega de estos materiales, contacte a su representante McGraw-Hill.

RECONOCIMIENTOS

Deseo reconocer al difunto Ben Niebel por brindarme la oportunidad de contribuir a elaborar este respetado texto. Espero que las adiciones y modificaciones cumplan con sus estándares y que este libro continúe siendo de utilidad a futuros ingenieros industriales a medida que ingresen a sus ca-

rreras. Gracias al Dr. Dongjoon Kong, de la Universidad de Tennessee, por dedicar tanto tiempo a la Estatal de Pennsylvania para programar DesignTools. También quiero dar las gracias a los siguientes revisores por su invaluable consejo:

David R. Clark, *Kettering University*
Luis René Contreras, *University of Texas, El Paso*
Jerry Davis, *Auburn University*
Corinne MacDonald, *Dalhousie University*
Gary Mirka, *Iowa State University*
Durward K. Sobek, *Montana State University*
Harvey Wolfe, *University of Pittsburgh*

Por último, deseo expresar mi agradecimiento a Dace por su paciencia y ayuda.

Andris Freivalds

Métodos, estándares y diseño del trabajo: introducción

CAPÍTULO 1

PUNTOS CLAVE

- La industria de Estados Unidos se caracteriza por una productividad cada vez mayor.
- La salud y seguridad del trabajador son tan importantes como la productividad.
- La ingeniería de métodos simplifica el trabajo.
- El diseño del trabajo acopla el trabajo al trabajador.
- El estudio de tiempos mide el trabajo y establece estándares.

1.1 IMPORTANCIA DE LA PRODUCTIVIDAD

Es importante considerar, desde el punto de vista económico y práctico, ciertos cambios que continuamente se llevan a cabo en los ambientes industrial y de negocios. Dichos cambios incluyen la globalización del mercado y de la manufactura, el crecimiento del sector servicios, el uso de computadoras en todas las operaciones de la empresa y la aplicación cada vez más extensa de la Internet y la web. La única forma en que un negocio o empresa puede crecer e incrementar sus ganancias es mediante el aumento de su productividad. La mejora de la productividad se refiere al aumento en la cantidad de producción por hora de trabajo invertida. Estados Unidos ha tenido por mucho tiempo la productividad más alta del mundo. En los últimos 100 años, su productividad ha aumentado alrededor de 4% anualmente. Sin embargo, en la última década, la rapidez con que mejora su productividad ha sido superada por la de Japón, Corea y Alemania, y es posible que pronto sea amenazada por la de China.

Las herramientas fundamentales que generan una mejora en la productividad incluyen métodos, estudio de tiempos estándares (a menudo conocidos como medición del trabajo) y el diseño del trabajo. Doce por ciento de los costos totales en que incurre una empresa fabricante de productos metálicos está representado por trabajo directo, 45% por materia prima y 43% por gastos generales. Todos los aspectos de una industria o negocio —ventas, finanzas, producción, ingeniería, costos, mantenimiento y administración— ofrecen áreas fértiles para la aplicación de métodos, estándares y diseño del trabajo. Con mucha frecuencia la gente considera sólo la producción, mientras que los demás aspectos de la empresa también pueden beneficiarse de la aplicación de las herramientas para incrementar la productividad. En ventas, por ejemplo, los métodos modernos para la recuperación de información generalmente traen como consecuencia información más confiable y ventas mayores a un menor costo.

En la actualidad, la mayoría de los negocios y las industrias de Estados Unidos, por necesidad, se están reestructurando a sí mismos, reduciendo su tamaño con el fin de operar de una manera

más eficiente en un mundo cada vez más competitivo. Con una agresividad nunca antes vista, las empresas están resolviendo aspectos como la reducción de costos y un aumento de calidad a través de una mejora en la productividad. Asimismo, las empresas están analizando de una manera crítica todos los componentes del negocio que no agregan valor, es decir, aquellos que no incrementan sus utilidades.

Debido a que el área de producción dentro de la industria manufacturera emplea el mayor número de ingenieros en tareas de métodos, estándares y diseño del trabajo, este libro ofrecerá un tratamiento más detallado de este campo que de cualquier otro. Sin embargo, se proporcionarán ejemplos de otras áreas del sector manufacturero como mantenimiento, transporte, ventas y administración, así como de la industria de servicios.

Las áreas tradicionales de oportunidad para los estudiantes involucrados en ingeniería, administración industrial, administración de negocios, psicología industrial y relaciones laborales son: 1) medición del trabajo, 2) métodos y diseño del trabajo, 3) ingeniería de la producción, 4) análisis y control de la manufactura, 5) diseño y planeación de plantas industriales, 6) administración de salarios, 7) ergonomía y seguridad, 8) producción y control de inventarios y 9) control de calidad. Sin embargo, estas áreas de oportunidad no están confinadas a las industrias de manufactura. Existen, y son igualmente importantes, en empresas tales como tiendas departamentales, hoteles, instituciones educativas, hospitales, bancos, líneas aéreas, compañías de seguros, centros de servicios militares, agencias gubernamentales y complejos de retiro. En la actualidad, en Estados Unidos, sólo alrededor de 10% del total de la fuerza laboral forma parte de la industria manufacturera. El otro 90% está involucrado en la industria de servicios o en posiciones ejecutivas. A medida que Estados Unidos se encuentre más orientado hacia la industria de servicios, las filosofías y técnicas de los métodos, estándares y diseño del trabajo también deberán utilizarse en este sector. En cualquier lugar en el que personas, materiales y recursos interactúen con el fin de alcanzar un objetivo, la productividad puede mejorarse a través de la aplicación inteligente de métodos, estándares y diseño del trabajo.

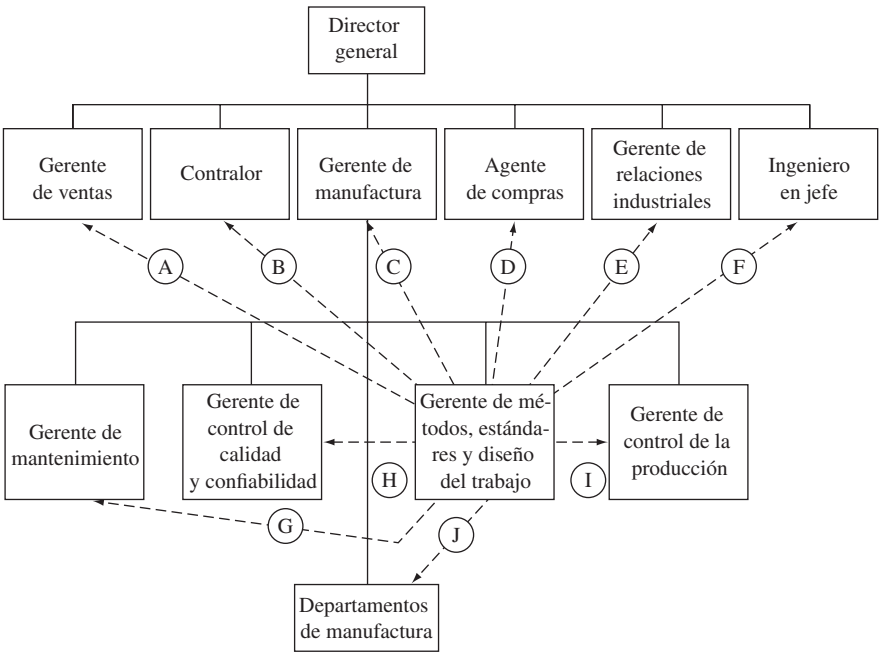
El área de producción de una industria es clave para su éxito. En ella los materiales son solicitados y controlados; la secuencia de las operaciones, de las inspecciones y de los métodos es determinada; las herramientas son solicitadas; los tiempos asignados; el trabajo es programado, asignado y se le da seguimiento; y la satisfacción del cliente es mantenida con productos de calidad entregados a tiempo.

De manera similar, los métodos, estándares y la actividad del diseño del trabajo son una parte fundamental del grupo de producción. Aquí más que en ningún otro sector, la gente determina si un producto va a fabricarse de una manera competitiva a través de estaciones de trabajo, herramental y relaciones trabajador-máquina eficientes. En este punto es donde la gente debe ser creativa en la mejora de los métodos y productos existentes y en el mantenimiento de buenas relaciones laborales a través del uso de estándares laborales adecuados y justos.

El objetivo del gerente de manufactura es fabricar un producto de calidad, a tiempo y al menor costo posible, con una mínima inversión de capital y una máxima satisfacción del empleado. El objetivo del gerente de control de calidad y confiabilidad es mantener constantes las especificaciones de ingeniería y satisfacer a los clientes con el nivel de calidad y confiabilidad del producto a través de su vida útil. Por su parte, el gerente de control de la producción se interesa principalmente en el establecimiento y mantenimiento de programas de producción con la debida consideración de las necesidades del cliente y de la economía favorable que se obtiene mediante una programación cuidadosa. La principal preocupación del gerente de mantenimiento es minimizar los tiempos muertos debidos a fallas y reparaciones no programadas. La figura 1.1 muestra la relación que existe entre estas tres áreas y la influencia de los métodos, estándares y diseño del trabajo en la producción total.

1.2 ALCANCE DE LOS MÉTODOS Y ESTÁNDARES

La ingeniería de métodos incluye el diseño, la creación y la selección de los mejores métodos de fabricación, procesos, herramientas, equipos y habilidades para manufacturar un producto con base en las especificaciones desarrolladas por el área de ingeniería del producto. Cuando el mejor método coincide con las mejores habilidades disponibles, se presenta una relación trabajador-máquina eficiente. Una vez que se ha establecido el método en su totalidad, se debe determinar un tiempo



A: En gran medida, el costo está determinado por los métodos de manufactura.
B: Los estándares de tiempo son las bases de los costos estándar.
C: Los estándares (directos e indirectos) proporcionan la base de las mediciones del desempeño de los departamentos de producción.
D: El tiempo es el común denominador para comparar la competitividad del equipo y los suministros.
E: Las buenas relaciones laborales se conservan mediante estándares equitativos y un entorno laboral seguro.
F: Los métodos del diseño del trabajo y los procesos influyen en gran medida en el diseño de productos.
G: Los estándares proporcionan la base del mantenimiento preventivo.
H: Los estándares mantienen la calidad.
I: La programación está basada en los estándares de tiempo.
J: Los métodos, estándares y el diseño del trabajo determinan cómo se hará el trabajo y qué duración tendrá.

Figura 1.1
Diagrama de una organización típica que muestra la influencia de los métodos, estándares y diseño del trabajo en la operación de la empresa.

estándar para fabricar el producto. Además, existe la responsabilidad de observar que 1) los estándares predeterminados sean cumplidos; 2) los trabajadores sean compensados de manera adecuada de acuerdo con su producción, habilidades, responsabilidades y experiencia; y 3) que los trabajadores experimenten un sentimiento de satisfacción por el trabajo que realizan.

El procedimiento completo incluye la definición del problema; dividir el trabajo en operaciones; analizar cada operación con el fin de determinar los procedimientos de fabricación más económicos para la cantidad que se desee producir, considerando la seguridad del operador y su interés en el trabajo; aplicando los valores de tiempo apropiados; y posteriormente dando seguimiento al proceso con el fin de garantizar que el método prescrito se haya puesto en operación. La figura 1.2 muestra las oportunidades para reducir el tiempo de manufactura estándar a través de la aplicación de la ingeniería de métodos y el estudio de tiempos.

INGENIERÍA DE MÉTODOS

Muy a menudo, los términos *análisis de operaciones*, *diseño del trabajo*, *simplificación del trabajo*, *ingeniería de métodos* y *reingeniería corporativa* se utilizan como sinónimos. En la mayoría de los casos, todos ellos se refieren a una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo o reducir el costo por unidad de producción: en otras palabras, a la mejora de la productividad. Sin embargo, la ingeniería de métodos, en la forma en que se define en este libro, implica el análisis en dos tiempos diferentes durante la historia de un producto. Primero, el ingeniero de métodos es responsable del diseño y desarrollo de varios centros de trabajo donde el producto será fabricado. Segundo, ese inge-

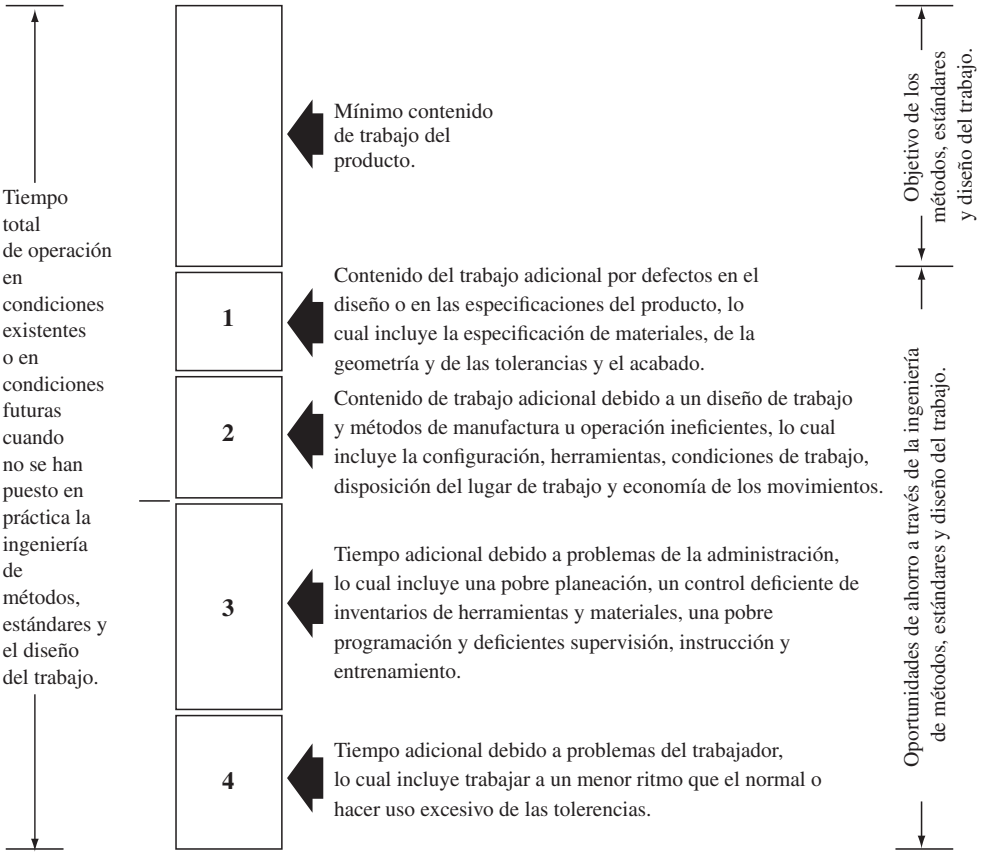


Figura 1.2
Oportunidades de ahorros a través de la aplicación de la ingeniería de métodos y el estudio de tiempos.

niero debe estudiar continuamente estos centros de trabajo con el fin de encontrar una mejor forma de fabricar el producto y/o mejorar su calidad.

En años recientes, este segundo análisis se ha conocido con el nombre de reingeniería corporativa. A este respecto, reconocemos que un negocio debe implantar cambios si desea continuar con una operación rentable. Por lo tanto, podría ser deseable introducir cambios en otras áreas además de la de manufactura. A menudo, los márgenes de ganancia pueden mejorarse a través de cambios positivos en áreas como contabilidad, administración de inventarios, planeación de requerimientos de materiales, logística y administración de recursos humanos. La automatización de la información puede proporcionar enormes recompensas en todas estas áreas. A medida que el estudio de métodos sea aplicado a detalle durante las etapas de planeación, será menor la necesidad de realizar estudios de métodos adicionales durante la vida del producto.

La ingeniería de métodos implica la utilización de la capacidad tecnológica. Debido principalmente a la ingeniería de métodos, las mejoras en la productividad nunca terminan. El diferencial de productividad que resulta de la innovación tecnológica puede ser de tal magnitud que los países desarrollados siempre podrán mantener su competitividad respecto a los países en desarrollo de bajos sueldos. Por lo tanto, la investigación y desarrollo (R&D) que lleva a una nueva tecnología es fundamental en la ingeniería de métodos. Los 10 países con la mayor inversión en R&D por empleado, de acuerdo con el reporte de la Organización de Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (1985), son Estados Unidos, Suiza, Suecia, Holanda, Alemania, Noruega, Francia, Israel, Bélgica y Japón. Estos países se encuentran entre los líderes en productividad. Siempre y cuando mantengan la importancia que otorgan a la investigación y desarrollo, la ingeniería de métodos a través de la innovación tecnológica será fundamental para conservar su capacidad para ofrecer bienes y servicios de alto nivel.

Los ingenieros de métodos utilizan un procedimiento sistemático para desarrollar un centro de trabajo, fabricar un producto y ofrecer un servicio (consulte la figura 1.3). Este procedimiento se presenta a continuación y resume el flujo de este texto. Cada etapa se explica a detalle en un capítulo

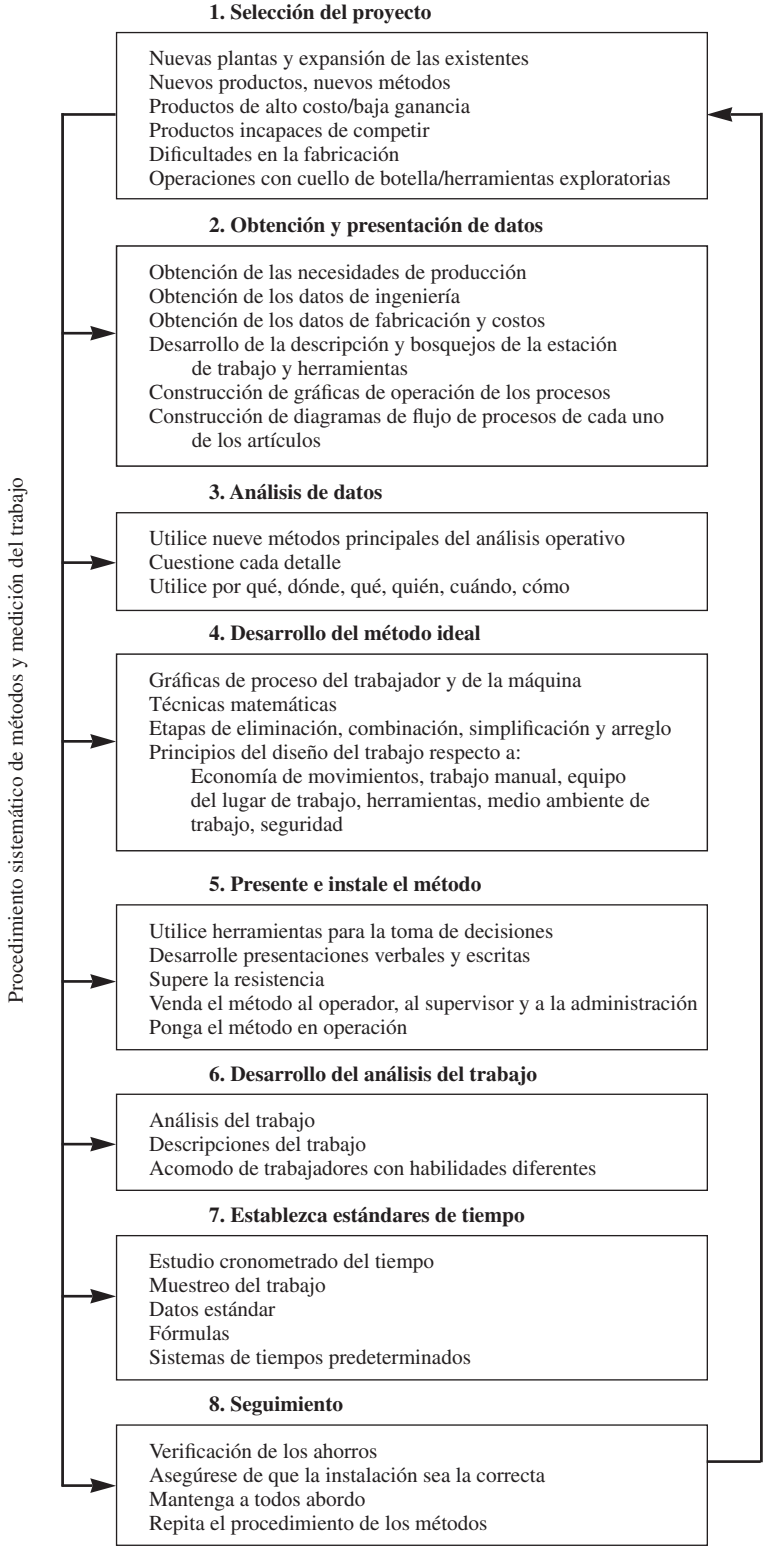


Figura 1.3
Principales etapas de un programa de ingeniería de métodos.

posterior. Observe que, estrictamente, las etapas 6 y 7 no forman parte de un estudio de métodos, sin embargo son necesarios en un centro de trabajo totalmente funcional.

1. *Seleccione el proyecto.* Por lo general, los proyectos seleccionados representan ya sea nuevos productos o productos existentes que tienen un alto costo de manufactura y una baja ganancia. También, los productos que actualmente experimentan dificultades para conservar la calidad y tienen problemas para ser competitivos son proyectos aptos para aplicar ingeniería de métodos. (Consulte el capítulo 2 para obtener más detalles.)
2. *Obtenga y presente los datos*. Integre todos los hechos relevantes relacionados con el producto o servicio. Esta tarea incluye diagramas y especificaciones, cantidades requeridas, requerimientos de entrega y proyecciones de la vida anticipada del producto o servicio. Una vez que se ha recabado toda la información relevante, almacénela en una forma ordenada para su estudio y análisis. En esta etapa, el desarrollo de las gráficas de proceso es de mucha utilidad. (Consulte el capítulo 2 para obtener más detalles.)
3. *Analice los datos*. Utilice los principales métodos de análisis de operaciones para decidir qué alternativa dará como resultado el mejor producto o servicio. Dichos métodos principales incluyen el propósito de la operación, el diseño de la parte, las tolerancias y especificaciones, los materiales, los procesos de manufactura, la configuración y las herramientas, las condiciones de trabajo, el manejo de materiales, la distribución de la planta y el diseño del trabajo. (Consulte el capítulo 3 para obtener más detalles.)
4. *Desarrolle el método ideal.* Seleccione el mejor procedimiento para cada operación, inspección y transporte considerando las diversas restricciones asociadas con cada alternativa, entre ellas la productividad, la ergonomía y las implicaciones sobre salud y seguridad. (Consulte los capítulos 3 y 7 para obtener más detalles.)
5. *Presente e implemente el método.* Explique el método propuesto a detalle a las personas responsables de su operación y mantenimiento. Tome en cuenta todos los detalles del centro de trabajo con el fin de asegurar que el método propuesto ofrezca los resultados planeados. (Consulte el capítulo 8 para obtener más detalles.)
6. *Desarrolle un análisis del trabajo.* Lleve a cabo un análisis del trabajo del método instalado con el fin de asegurar que los operadores sean seleccionados, entrenados y recompensados adecuadamente. (Consulte el capítulo 8 para obtener más detalles.)
7. *Establezca estándares de tiempo.* Determine un estándar justo y equitativo para el método instalado. (Consulte los capítulos 9 a 15 para obtener más detalles.)
8. *Déle seguimiento al método.* A intervalos regulares, audite el método instalado con el fin de determinar si se están alcanzando la productividad y la calidad planeadas, si los costos se proyectaron correctamente y si se pueden hacer mejoras adicionales. (Consulte el capítulo 16 para obtener más detalles.)

En resumen, la ingeniería de métodos es el análisis sistemático a fondo de todas las operaciones directas e indirectas con el fin de implementar mejoras que permitan que el trabajo se desarrolle más fácilmente, en términos de salud y seguridad del trabajador, y permite que éste se realice en menos tiempo con una menor inversión por unidad (p. ej., con una mayor rentabilidad).

DISEÑO DEL TRABAJO

Como parte del desarrollo o del mantenimiento del nuevo método, los principios de diseño del trabajo deben utilizarse con el fin de adaptar la tarea y la estación de trabajo ergonómicamente al operador humano. Desafortunadamente, por lo general el diseño del trabajo se olvida cuando se persigue un incremento en la productividad. Con mucha frecuencia, la sobreposición de procedimientos simplificados da como resultado que los operadores realicen tareas repetitivas tipo máquina, lo cual provoca un mayor índice de lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo.

Cualquier aumento de la productividad y reducción de costos se ven más que disminuidos ante los altos costos de la compensación médica de los trabajadores, especialmente si se considera la tendencia en aumento en los costos del cuidado de la salud. Por lo tanto, es necesario que el ingeniero de métodos incorpore los principios de diseño del trabajo en todo nuevo método, de tal manera que no sólo sea más productivo sino también más seguro y libre de riesgos para el operador. (Consulte los capítulos 4 a 7.)

ESTÁNDARES

Los estándares son el resultado final del estudio de tiempos o de la medición del trabajo. Esta técnica establece un estándar de tiempo permitido para llevar a cabo una determinada tarea, con base en las mediciones del contenido de trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga y retardos inevitables del personal. Los expertos en el estudio del tiempo utilizan varias técnicas para establecer un estándar: estudio cronometrado de tiempos, recolección computarizada de datos, datos estándares, sistemas de tiempos predeterminados, muestreo del trabajo y pronósticos con base en datos históricos. Cada técnica es aplicable en ciertas condiciones. Los analistas del estudio de tiempos deben saber cuándo utilizar una técnica determinada y deben utilizarla con criterio y en forma correcta.

Los estándares que resulten se utilizan para implantar un esquema de pago de salarios. En muchas compañías, en particular en pequeñas empresas, la actividad de pago de salarios es llevada a cabo por el mismo grupo responsable de establecer métodos y estándares del trabajo. También, la actividad del pago de salarios se realiza conjuntamente con las personas responsables de efectuar los análisis y evaluaciones del trabajo, de tal manera que estas dos actividades íntimamente relacionadas funcionen apropiadamente.

El control de la producción, la distribución de la planta, las compras, la contabilidad y control de costos y el diseño de procesos y productos son áreas adicionales relacionadas íntimamente con las funciones de los métodos y los estándares. Para operar de manera eficiente, todas estas áreas dependen de datos relacionados con tiempos y costos, hechos y procedimientos operativos provenientes del departamento de métodos y estándares. Dichas relaciones se explican brevemente en el capítulo 16.

OBJETIVOS DE LOS MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO

Los objetivos primordiales de los métodos, estándares y diseño del trabajo son 1) incrementar la productividad y la confiabilidad en la seguridad del producto y 2) reducir los costos unitarios, lo cual permite que se produzcan más bienes y servicios de calidad para más gente. La capacidad para producir más con menos dará como resultado más trabajos para más personas por un número mayor de horas por año. Sólo a través de la aplicación inteligente de los principios de los métodos, estándares y diseño del trabajo, puede aumentar el número de fabricantes de bienes y servicios, al mismo tiempo que incrementa el potencial de compra de todos los consumidores. A través de estos principios se pueden minimizar el desempleo y los despidos, lo cual reduce el alto costo económico de mantener a la población no productiva.

Los corolarios que se desprenden de los objetivos principales son los siguientes:

1. Minimizar el tiempo requerido para llevar a cabo tareas.
2. Mejorar de manera continua la calidad y confiabilidad de productos y servicios.
3. Conservar recursos y minimizar costos mediante la especificación de los materiales directos e indirectos más apropiados para la producción de bienes y servicios.
4. Considerar los costos y la disponibilidad de energía eléctrica.
5. Maximizar la seguridad, salud y bienestar de todos los empleados.
6. Producir con interés creciente por proteger el medio ambiente.
7. Aplicar un programa de administración del personal que dé como resultado más interés por el trabajo y la satisfacción de cada uno de los empleados.

1.3 DESARROLLOS HISTÓRICOS

EL TRABAJO DE TAYLOR

Frederick W. Taylor es considerado generalmente el fundador del estudio moderno de tiempos en Estados Unidos. Sin embargo, estudios de tiempos se realizaron en Europa muchos años antes de la época de Taylor. En 1760, Jean Rodolphe Perronet, un ingeniero francés, hizo un gran número de estudios de tiempos sobre la fabricación de broches comunes número 6, mientras que 60 años más tarde, el economista inglés Charles W. Babbage efectuó estudios de tiempos acerca de la fabricación de broches comunes número 11.

Taylor comenzó su trabajo acerca del estudio de tiempos en 1881, mientras era socio de Midvale Steel Company, en Filadelfia. A pesar de que nació en el seno de una familia acomodada, desdeñó sus orígenes y comenzó a trabajar como aprendiz. Después de 12 años de trabajo, desarrolló un sistema basado en la "tarea". Taylor propuso que el trabajo de cada empleado fuera planeado por la gerencia al menos con un día de anticipación. Los empleados recibirían instrucciones escritas que describían sus tareas a detalle y especificaban los medios para realizarlas. Cada tarea debía tener un tiempo estándar determinado mediante estudios de tiempos realizados por expertos. En el proceso de asignación de tiempos, Taylor propuso dividir la tarea en pequeños fragmentos de esfuerzo conocidos como "elementos". Los expertos medían el tiempo de dichos fragmentos en forma individual y utilizaban colectivamente los valores para determinar el tiempo permitido para cada tarea.

Las primeras presentaciones de los descubrimientos de Taylor fueron recibidas sin entusiasmo, ya que muchos ingenieros interpretaron sus investigaciones como un nuevo sistema de ritmo por pieza más que una técnica para analizar el trabajo y mejorar los métodos. Tanto la gerencia como los empleados estaban escépticos sobre la utilidad del ritmo por pieza, ya que, por lo general, muchos estándares se basaban en el juicio del supervisor o eran inflados por los jefes con el fin de proteger el desempeño de sus departamentos.

En junio de 1903, en la reunión de Saratoga de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés), Taylor presentó su famoso artículo "Shop Management", que incluía los elementos de la administración científica: estudio de tiempos, estandarización de todas las herramientas y tareas, creación de un departamento de planeación, uso de reglas de cálculo e instrumentos similares para el ahorro de tiempo, tarjetas con instrucciones para los trabajadores, bonos por desempeño exitoso, salarios diferenciales así como sistemas nemotécnicos para clasificar productos, sistemas de enrutamiento y sistemas de costos modernos. Las técnicas de Taylor fueron bien recibidas por parte de muchos gerentes de fábricas y, en 1917, de las 113 plantas que habían instalado el "sistema de administración científica", 59 consideraron que ello les había significado todo un éxito, 20 sólo un éxito parcial y 34 que fue un fracaso (Thompson, 1917).

En 1898, mientras trabajaba para la Bethlehem Steel Company (ya había renunciado a su puesto en Midvale), Taylor llevó a cabo el experimento con lingotes de hierro que se convirtió en una de las más famosas demostraciones de sus principios. Estableció el método correcto, junto con incentivos económicos, y trabajadores transportando lingotes de hierro de 92 libras a través de una rampa a un camión de carga para poder incrementar la productividad de un promedio de 12.5 toneladas/día a un rango de entre 47 y 48 toneladas/día. Este trabajo se desarrolló con un incremento salarial diario de 1.15 a 1.85 dólares. Taylor afirmó que los trabajadores se desempeñaron a una mayor velocidad "sin que ninguno de ellos se rindiera, sin ninguna pelea y estuvieron más felices y más motivados".

Otro de los estudios de Taylor en Bethlehem Steel que ganó fama fue el experimento con palas. Los trabajadores que paleaban en Bethlehem eran propietarios de sus propias palas y usaban la misma para realizar cualquier tarea, desde levantar hierro pesado hasta palear carbón ligero. Después de una gran cantidad de estudios, Taylor diseñó palas que se acoplaban a diferentes cargas: palas con mango corto para el hierro, cucharas con mango largo para el carbón ligero. Como resultado, se incrementó la productividad y el costo del manejo de materiales se redujo de 8 a 3 centavos por tonelada.

Otra de las famosas contribuciones de Taylor fue el descubrimiento del proceso Taylor-White para el tratamiento térmico del acero de herramientas. Mediante el estudio de aceros autoendurecidos, desarrolló una forma para endurecer acero con aleación cromo-tungsteno sin hacerla frágil, calentándola cerca de su punto de fusión. El acero de "alta velocidad" resultante aumentó a más del doble la productividad de la máquina de corte y en la actualidad continúa utilizándose en todo el mundo. Posteriormente desarrolló la ecuación de Taylor para cortar metales.

No tan bien conocidas como sus contribuciones a la ingeniería es el hecho que en 1881, fue campeón de dobles en tenis de Estados Unidos. En este caso, Taylor utilizó una raqueta de apariencia extraña que había diseñado con un mango curvo en forma de cuchara. Taylor murió de neumonía en 1915 a la edad de 59 años. Para obtener más información acerca de este talentoso personaje, los autores recomiendan consultar su biografía realizada por Kanigel (1997).

A principios de 1900, Estados Unidos enfrentaba un periodo inflacionario sin precedente. La eficiencia mundial había pasado de moda y la mayoría de los negocios e industrias buscaban nuevas ideas que ayudaran a mejorar su desempeño. La industria ferrocarrilera también sintió la necesidad de incrementar las tarifas de embarque de una manera sustancial con el fin de solventar los aumentos

generales de sus costos. Louis Brandeis, quien en ese entonces representaba a las asociaciones empresariales del Este de Estados Unidos, afirmaba que los ferrocarriles no merecían, o que en realidad no necesitaban, el incremento debido a que habían sido negligentes, pues no habían introducido de manera oportuna la nueva "ciencia de la administración" en su sector. Brandeis afirmaba que las compañías ferroviarias podrían ahorrar 1 millón de dólares al día mediante la introducción de las técnicas elaboradas por Taylor. Por lo tanto, Brandeis y la Eastern Rate Case (como se le llegó a conocer) introdujeron por primera vez los conceptos de Taylor como "administración científica".

En ese entonces, muchas personas que no contaban con las habilidades de Taylor, Barth, Merick y otros pioneros, estaban deseosas de hacerse famosas en este novedoso campo. Se llamaron a sí mismos "expertos en eficiencia" y se lanzaron a instalar programas de administración científica en la industria. Muy pronto pudieron experimentar una resistencia natural al cambio por parte de los empleados y, puesto que no estaban en posición de manejar problemas de relaciones humanas, se enfrentaron a grandes dificultades. Ansiosos por hacer un buen papel y basados sólo en un conocimiento pseudocientífico, establecieron cuotas que fueron muy difíciles de alcanzar. La situación se puso tan difícil que algunos gerentes se vieron obligados a cancelar todo el programa con la finalidad de poder continuar sus operaciones.

En otros casos, los gerentes de fábricas permitían que los supervisores establecieran los estándares de tiempos , pero éstos casi nunca eran satisfactorios. Una vez que los estándares se establecieron, muchos gerentes de fábricas de ese entonces, interesados básicamente en la reducción de los costos de mano de obra, sin escrúpulos reducían los salarios; si algún empleado ganaba más de acuerdo a sus criterios, el resultado era una cantidad de trabajo mucho mayor por la misma y en ocasiones menor paga. Como es natural, estas medidas trajeron como resultado una reacción violenta por parte de los trabajadores.

Estos conflictos se diseminaron por Estados Unidos a pesar de los múltiples casos de implementación favorables por Taylor. En el Watertown Arsenal, los trabajadores rechazaron a tal grado el nuevo sistema de estudio de tiempos que en 1910 la Comisión de Comercio Interestatal (ICC) tuvo que realizar una investigación acerca del método. Algunos reportes despectivos acerca del tema influyeron para que el Congreso agregara una cláusula al presupuesto de gastos del gobierno en 1913, que disponía que ninguna parte de ese dinero se utilizaría para pagar a cualquier persona involucrada en estudio de tiempos. Esta restricción se aplicó a las plantas operadas por el gobierno donde los fondos gubernamentales se destinaban a pagar los salarios de los empleados.

No fue sino hasta 1947 que la Cámara de Representantes expidió una carta que eliminaba la prohibición contra el uso de cronómetros y los estudios de tiempos. Es de interés mencionar que aún en la actualidad, el uso del cronómetro está prohibido por parte de los sindicatos en algunas instalaciones de reparación ferroviaria. También es interesante observar que el taylorismo aún sobrevive en líneas de ensamblado, en los pagos a abogados, que se calculan en fracciones de hora, y en la documentación en la que se determina lo que deben pagar los pacientes en los hospitales.

ESTUDIO DE MOVIMIENTOS Y EL TRABAJO DE LOS GILBRETH

Frank y Lilian Gilbreth fueron los fundadores de la *técnica moderna de estudio de movimientos*, la cual puede definirse como el estudio de los movimientos corporales que se utilizan para realizar una operación, para mejorar la operación mediante la eliminación de movimientos innecesarios, simplificación de movimientos necesarios y, posteriormente, la determinación de la secuencia de movimientos más favorable para obtener una máxima eficiencia. Originalmente, Frank Gilbreth introdujo sus ideas y filosofías en una comercializadora de ladrillos, en la que estaba empleado. Después de introducir mejoras a los métodos a través del estudio de movimientos, incluyendo un andamio ajustable que él había inventado, así como entrenamiento al operador, pudo incrementar el número promedio de ladrillos que colocaba un trabajador a 350 por hora. Antes de los estudios de Gilbreth, 120 ladrillos por hora se consideraban una cantidad satisfactoria.

Más que cualquier otra cosa, los Gilbreth fueron responsables de que la industria reconociera la importancia de un estudio detallado de los movimientos del cuerpo para incrementar la producción, reducir la fatiga y capacitar a los operadores acerca del mejor método para realizar una operación. Desarrollaron la técnica de filmar los movimientos para estudiarlos mediante una técnica llamada

estudio de los micromovimientos. El estudio de movimientos corporales a través de la ayuda de la cinematografía de baja velocidad de ninguna manera está restringido a aplicaciones industriales.

Además, los Gilbreth desarrollaron las técnicas de análisis ciclográficas y cronociclográficas que se utilizan para estudiar las trayectorias de los movimientos que realiza un operador.

El método ciclográfico involucra la conexión de una pequeña bombilla de luz eléctrica al dedo o mano o parte del cuerpo objeto de estudio para, posteriormente, fotografiar el movimiento mientras el operador realiza la operación. La fotografía resultante proporciona un registro permanente del patrón de movimiento empleado y puede analizarse para su mejora. El método cronociclográfico es similar al ciclográfico, con la diferencia de que su circuito eléctrico se interrumpe regularmente lo que provoca que la luz parpadee. Por lo tanto, en lugar de mostrar líneas continuas de los patrones de movimiento, la fotografía resultante muestra pequeños periodos de luz espaciados en proporción a la velocidad del movimiento corporal que se ha fotografiado. En consecuencia, con el empleo del cronociclógrafo es posible calcular la velocidad, aceleración y desaceleración, así como estudiar los movimientos del cuerpo. El mundo del deporte ha comprobado que esta técnica de análisis, actualizada en video, es invaluable como herramienta de entrenamiento para mostrar el desarrollo de la forma y la habilidad.

Como nota adicional, es probable que el lector quiera leer acerca de los extremos en las que Frank Gilbreth logró mayor eficiencia, aun en su vida personal. Su hijo e hija mayores recuerdan escenas de su padre rasurándose con navajas simultáneamente con ambas manos o utilizando ciertas señales para reunir a todos los niños, los cuales eran 12. De aquí el título de su libro *Cheaper by the Dozen* (Gilbreth and Gilbreth, 1948). Después de la muerte relativamente temprana de Frank a la edad de 55 años, Lillian, que había recibido un doctorado en psicología y había sido más que una colaboradora, continuó sus propias investigaciones y avanzó en el concepto de simplificación del trabajo, especialmente el de las personas discapacitadas físicamente. Murió en 1972 a la respetable edad de 93 años (Gilbreth, 1988).

PRIMEROS CONTEMPORÁNEOS

Carl G. Barth, un socio de Frederick W. Taylor, desarrolló una regla de cálculo para la producción con el fin de determinar las combinaciones más eficientes de velocidades de corte y alimentación para el maquinado de metales con diferentes durezas, considerando la profundidad del corte, el tamaño de la herramienta y su tiempo de vida útil. Es también famoso por su trabajo para determinar tolerancias. Investigó el número de pie-libras de trabajo que un empleado podía hacer en un día. Después desarrolló una regla que igualaba un cierto empuje o tracción en los brazos de un trabajador con la cantidad de peso que éste podía realizar en cierto porcentaje del día.

Por su parte, Harrington Emerson aplicó los métodos científicos a las operaciones del Ferrocarril de Santa Fe y escribió el libro *Twelve Principles of Efficency*, en el que realizó un esfuerzo para informar a la gerencia acerca de los procedimientos para obtener una operación eficiente. Reorganizó la compañía, integró sus procedimientos de compra, instaló costos estándares y un plan de bonos y transfirió el trabajo de contabilidad a las máquinas tabuladoras Hollerith. Este esfuerzo generó ahorros anuales de más de 1.5 millones de dólares y el reconocimiento de este método conocido con el nombre de *ingeniería de la eficiencia.*

En 1917, Henry Laurence Gantt desarrolló gráficas simples que podían medir el desempeño mientras se mostraba de forma visual la programación proyectada. Esta herramienta para el control de la producción fue adoptada con entusiasmo por la industria de la construcción de barcos durante la Primera Guerra Mundial. Por primera vez, esta técnica hizo posible comparar el desempeño real con el plan original y ajustar la programación diaria de acuerdo con la capacidad, registro y los requerimientos del cliente. Gantt es conocido también por su invención de un sistema de pago de salarios que recompensaba a los trabajadores que tenían un desempeño superior al estándar, eliminaba cualquier penalización por concepto de fallas y ofrecía al jefe un bono por cada trabajador que se desempeñara por arriba del estándar. Gantt hizo hincapié en las relaciones humanas y promovió la administración científica a algo más que una simple "aceleración" inhumana de trabajo.

El estudio de tiempos y movimientos recibió estímulos adicionales durante la Segunda Guerra Mundial cuando Franklin D. Roosevelt, a través del Departamento del Trabajo, abogó por establecer estándares para incrementar la producción. La política propuesta sostenía que una mejor paga

estimulaba una mayor producción, pero sin aumento en los costos unitarios de mano de obra, esquemas de incentivos a negociarse de manera colectiva entre los operarios y la administración y el uso de estudio de tiempos o registros de datos pasados para establecer los estándares de producción.

SURGIMIENTO DEL DISEÑO DEL TRABAJO

El diseño del trabajo es una ciencia relativamente nueva que se refiere al diseño de tareas, estaciones de trabajo y del ambiente laboral para que se acoplen mejor al operador humano. Por lo general, en Estados Unidos se conoce como *factores humanos*, mientras que internacionalmente se denomina *ergonomía*, palabra que proviene de los términos griegos para trabajo (*erg*) y leyes (*nomos*).

En Estados Unidos, después de los trabajos iniciales de Taylor y de los Gilbreth, la selección y entrenamiento de personal militar durante la Primera Guerra Mundial y los experimentos psicológicos industriales de la Escuela de Graduados de Harvard en Western Electric (vea los estudios Hawthorne en el capítulo 9) fueron contribuciones importantes al área del diseño del trabajo. En Europa, durante y después de la Primera Guerra Mundial, el British Industrial Fatigue Board (Consejo de Fatiga Industrial Británico) llevó a cabo numerosos estudios acerca del desempeño humano en condiciones diversas. Posteriormente, estas investigaciones se ampliaron al estrés por calor y a otras condiciones por parte del Consejo de Investigación Médica y del Almirantazgo Británico.

La complejidad del equipo y aviones militares, durante la Segunda Guerra Mundial, propició el desarrollo de laboratorios de psicología en ingeniería militar en Estados Unidos y un crecimiento real de la profesión. El comienzo de la carrera espacial con el lanzamiento del *Sputnik* en 1957, sólo aceleró el desarrollo de los factores humanos, especialmente en los sectores aeroespacial y militar. A partir de los años setenta, este desarrollo se ha desplazado hacia el sector industrial y, más recientemente, hacia el equipo de cómputo, software amigable con el usuario y al ambiente de oficina. Otras fuerzas que han conducido al desarrollo de los factores humanos son el surgimiento de litigios acerca de la responsabilidad del producto y los daños al personal y también, desafortunadamente, grandes y trágicos desastres tecnológicos como el incidente nuclear en la isla Three-Mile y la fuga de gas en la Planta de Union Carbide en Bhopal, India. Obviamente, el desarrollo de la tecnología y las computadoras mantendrán a los especialistas en factores humanos y ergonomía ocupados en el diseño de mejores lugares de trabajo y productos así como en la mejora de la calidad de vida y trabajo por muchos años en el futuro.

ORGANIZACIONES

Desde 1911 se ha llevado a cabo un esfuerzo organizado por mantener a la industria al tanto de los últimos desarrollos en las técnicas iniciadas por Taylor y Gilbreth. Las organizaciones técnicas han contribuido de manera significativa para acercar a la ciencia del estudio de tiempos, del diseño del trabajo y de la ingeniería de métodos a los estándares actuales. En 1915, se fundó la Taylor Society para promover la ciencia de la administración, mientras que en 1917 la Sociedad de Ingenieros Industriales fue organizada por aquellas personas interesadas en los métodos de producción. Los orígenes de la Asociación Estadounidense de Administración (AMA) se remontan a 1913, cuando un grupo de gerentes de entrenamiento formaron la Asociación Nacional de Escuelas Corporativas. Sus diferentes divisiones patrocinaron cursos y publicaciones acerca de la mejora de la productividad, medición del trabajo, incentivos salariales, simplificación del trabajo y estándares administrativos. En conjunto con la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME), la AMA otorga anualmente la medalla Memorial Gantt a la contribución más distinguida a la administración industrial como un servicio para la comunidad.

La Sociedad para el Avance de la Administración (SAM) se formó en 1936 mediante la fusión de la Sociedad de Ingenieros Industriales y la Sociedad Taylor. Esta nueva organización enfatizó la importancia del estudio y método de tiempos y el pago de salarios. La industria ha utilizado las películas sobre valoración del estudio de tiempos de SAM por un periodo de varios años. SAM ofrece anualmente la Llave Taylor por contribuciones sobresalientes al avance de la ciencia de la administración y la medalla Gilbreth por el logro más sobresaliente en el campo de estudio de movimientos, habilidades y fatiga. En 1972, SAM unió sus fuerzas con la AMA.

El Instituto de Ingenieros Industriales (IIE) se fundó en 1948 con el propósito de mantener la práctica de la ingeniería industrial en un nivel profesional; promover un alto grado de integridad entre los miembros de la profesión; incentivar y ayudar a la educación e investigación en áreas de interés para los ingenieros industriales; promover el intercambio de ideas e información entre miembros de la profesión (por ejemplo, mediante la publicación de la revista *IIE Transactions*); servir al interés público identificando a personas calificadas para desempeñarse como ingenieros industriales; y promover el registro profesional de ingenieros industriales. La Sociedad de la Ciencia del Trabajo del IIE (resultado de la unión de las Divisiones de Medición del Trabajo y de Ergonomía en 1994) mantiene la membresía actualizada en todas las facetas de esta área del trabajo. Anualmente esta sociedad otorga los premios Phil Carroll y el M.M. Ayoub por los logros sobresalientes en las áreas de medición del trabajo y ergonomía, respectivamente.

En el área de diseño del trabajo, la primera organización profesional, la Sociedad en Investigaciones sobre Ergonomía, se fundó en el Reino Unido en 1949, que comenzó a editar la primera revista profesional, *Ergonomics*, en 1957. La organización profesional estadounidense The Human Factors and Ergonomics fue fundada en 1957. En los años sesenta se produjo un desarrollo muy acelerado de la sociedad, que ascendió de 500 a 3 000 miembros. En la actualidad tiene más de 5 000 miembros organizados en 20 grupos técnicos diferentes. Sus objetivos principales son 1) definir y apoyar el desarrollo de factores humanos/ergonómicos como una disciplina científica y práctica mediante el intercambio de información técnica entre sus miembros; 2) educar e informar a empresas, industria y gobierno sobre los factores humanos/ergonómicos; y 3) promover los factores humanos/ergonómicos como un medio para mejorar la calidad de vida. La sociedad también publica la revista coleccionable *Human Factors,* e imparte conferencias anuales donde los miembros pueden conocerse e intercambiar ideas.

Debido a la proliferación de las sociedades profesionales nacionales en 1959 se fundó una organización que engloba a las demás, la Asociación Internacional de Ergonomía, cuya finalidad es coordinar las actividades ergonómicas a nivel internacional. En la actualidad, existen 42 sociedades que cuentan con más de 15 000 miembros en todo el mundo.

TENDENCIAS ACTUALES

Los practicantes de métodos, estándares y diseño del trabajo se han dado cuenta que factores como el género, edad, salud y bienestar, tamaño físico y fortaleza, aptitud, actitudes hacia el entrenamiento, satisfacción en el trabajo y respuesta motivacional tienen un efecto directo en la productividad. Además, los analistas modernos reconocen que los trabajadores rechazan, y con justa razón, ser tratados como máquinas. A ellos les disgusta y le tienen miedo a un método puramente científico e inherentemente rechazan cualquier cambio en su forma actual de trabajo. Incluso la gerencia a menudo rechaza innovaciones valiosas al método tradicional debido a esa resistencia al cambio.

Los trabajadores tienden a temer al estudio de métodos y tiempos, ya que perciben que los resultados implican un aumento de la productividad. Para ellos, esto significa menos trabajo y, como consecuencia, menos paga. Se les debe vender la idea de que ellos, como consumidores, se benefician de menores costos y que mercados más grandes producen a costos menores, lo cual significa más trabajo para más personas más semanas del año.

Algunos miedos actuales acerca del estudio de tiempos se deben a experiencias desagradables con los expertos en eficiencia. Para muchos trabajadores, el estudio de tiempos y movimientos es sinónimo de acelerar el trabajo y el uso de incentivos para invitar a los empleados a obtener mayores niveles de producción. Si los nuevos niveles establecidos representaban una producción normal, los trabajadores eran forzados a obtener aún más para mantener sus ingresos anteriores. En el pasado, gerentes con poca visión y sin escrúpulos hacían uso de esta práctica.

Aun en la actualidad, algunos sindicatos se oponen al establecimiento de estándares mediante mediciones, al desarrollo de índices de producción basados en la evaluación del trabajo y la aplicación de incentivos a los salarios. Dichos sindicatos creen que el tiempo permitido para llevar a cabo una tarea y la cantidad de dinero que debe pagársele a un empleado representan problemas que deben ser resueltos a través de acuerdos de negociación colectiva.

Los practicantes actuales deben utilizar el método "humano". Por lo tanto, deben ser expertos en el estudio del comportamiento humano y muy diestros en el arte de la comunicación. Deben ser

también muy buenos oyentes, respetar las ideas y el pensamiento de los demás, particularmente del trabajador de los niveles inferiores. Deben dar crédito a quien deba darse. En realidad, deben otorgar crédito a las otras personas de manera habitual, aun si existen dudas acerca de dicho merecimiento. Asimismo, los practicantes del estudio de tiempos y movimientos deben siempre recordar la buena práctica de preguntarse todo, la cual fue destacada por los Gilbreth, Taylor y otros pioneros en este campo. La idea de que "siempre hay una manera mejor" necesita ser continuamente alentada en el desarrollo de nuevos métodos que mejoren la productividad, la calidad, la entrega, la seguridad en el trabajo y el bienestar del trabajador.

En la actualidad, existe una mayor intrusión por parte de gobierno en los aspectos regulatorios de los métodos, estándares y el diseño del trabajo. Por ejemplo, los contratistas y subcontratistas de equipo militar se encuentran bajo una presión cada vez mayor para documentar los estándares de trabajos directos como resultado de la MIL-STD 1567A (versión 1975; revisada en 1983 y 1987). A cualquier compañía que se le asigne un contrato mayor de 1 millón de dólares está sujeto al estándar MIL-STD 1567A, el cual impone un plan para la medición del trabajo y procedimientos, otro para establecer y mantener estándares de ingeniería de precisión y trazabilidad conocidos, un programa para la mejora de los métodos en conjunto con estándares, otro para el uso de los estándares como un insumo para el presupuesto, las estimaciones, la planeación y la evaluación del desempeño, así como documentación detallada de los planes anteriormente mencionados. Sin embargo, este requisito se eliminó en 1995.

De manera similar, en el área del diseño del trabajo, el Congreso aprobó el OSHAct que estableció el Instituto Nacional para la Salud y la Seguridad Ocupacional (NIOSH), un organismo de investigación para el desarrollo de lineamientos y estándares para la salud y seguridad del trabajador y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), una dependencia encargada de vigilar el mantenimiento de dichos estándares. Debido al incremento repentino de lesiones como producto de movimientos repetitivos en la industria del procesamiento de alimentos, en 1990 la OSHA estableció los Lineamientos para la Administración del Programa de Ergonomía para las Plantas Empacadoras de Carne. Disposiciones similares para la industria en general evolucionaron lentamente hasta que se aprobó finalmente el Estándar de Ergonomía de la OSHA, el cual fue firmado por el presidente Clinton en 2001. Sin embargo, la medida fue denegada poco tiempo después por parte del Congreso.

Debido al creciente número de individuos con habilidades diferentes, en 1990 el Congreso aprobó la Ley para Estadounidenses con Discapacidades (ADA). Esta regulación tiene un gran efecto en todos los empleadores con 15 o más trabajadores, pues afecta prácticas de empleo tales como reclutamiento, contratación, promociones, entrenamiento, despidos, ausencias, permisos para dejar el trabajo y asignación de tareas.

Mientras que la medición del trabajo se concentró en el trabajo directo, el desarrollo de métodos y estándares se han utilizado cada vez más para evaluar el trabajo indirecto. Esta tendencia continuará a medida que el número de trabajos convencionales en manufactura disminuya y el número de trabajos en el sector servicios aumente en Estados Unidos. El uso de técnicas computarizadas también continuará en crecimiento, por ejemplo, los sistemas de tiempo predeterminado como el MOST. Muchas compañías también han desarrollado software para el estudio de tiempos y muestreo del trabajo utilizando colectores electrónicos de datos para compilar la información requerida.

La tabla 1.1 muestra el progreso realizado en el estudio de métodos, estándares y diseño del trabajo.

RESUMEN

La industria, las empresas y el gobierno están de acuerdo en que el potencial sin explotar para lograr una productividad cada vez mayor es la mejor opción para lidiar con la inflación y la competencia. La clave principal para alcanzar una mayor productividad es la aplicación continua de los principios de los métodos, estándares y del diseño del trabajo. Sólo de esta forma puede obtenerse una mayor productividad a partir del personal y de las máquinas. El gobierno de Estados Unidos ha asumido el compromiso de seguir una filosofía cada vez más paternalista para proteger a la gente menos favorecida: hogar para el pobre, servicios médicos para las personas de edad avanzada, trabajo para las minorías, etc. Para poder pagar los costos cada vez más elevados relacionados con los impuestos del trabajo y del gobierno y aún estar dentro de la competencia, debemos obtener un mayor provecho de nuestros elementos productivos: el personal y las máquinas.

Tabla 1.1 Avance realizado en conexión con los métodos, estándares y el diseño del trabajo

Año	Evento
1760	Perronet realiza estudio de tiempos en broches comunes núm. 6.
1820	Charles W. Babbage realiza estudio de tiempos en broches comunes núm. 11.
1832	Charles E. Babbage publica *On the Economy of Machinery and Manufactures.*
1881	Frederick W. Taylor comienza el trabajo de estudio de tiempos.
1901	Henry L. Gantt desarrolla el sistema de pago por tareas e incentivos.
1903	Taylor presenta el artículo sobre la administración de compras ante el ASME.
1906	Taylor publica el artículo *On the Art of Cutting Metals.*
1910	La Comisión de Comercio Interestatal comienza una investigación sobre el estudio de tiempos. Gilbreth publica *Motion Study*. Gantt publica *Work, Wages and Profits.*
1911	Taylor publica el libro *The Principles of Scientific Management.*
1912	Se organiza la Sociedad para la Promoción de la Ciencia de la Administración. Emerson estima que se puede ahorrar 1 millón de dólares diariamente si los ferrocarriles del este aplican la administración científica.
1913	Emerson publica *The Twelve Principles of Efficency.* El Congreso adiciona una cláusula al presupuesto del gobierno, la cual estipula que ninguna parte de dicho presupuesto podrá utilizarse para el pago de cualquier persona dedicada al trabajo del estudio de tiempos. Henry Ford instala la primera línea de ensamblado móvil en Detroit.
1915	Se forma la Sociedad Taylor con el fin de reemplazar a la Sociedad para la Promoción de la Ciencia de la Administración.
1917	Frank B. y Lillian M. Gilbreth publican *Applied Motion Study.*
1923	Se funda la Asociación Estadounidense de Administración.
1927	Elton Mayo comienza el estudio Hawthorne en la planta Western Electric Company en Hawthorne, Illinois.
1933	Ralph M. Barnes recibe el primer doctorado otorgado en Estados Unidos en el campo de la ingeniería industrial de la Universidad Cornell. Su tesis condujo a la publicación del artículo "Motion and Time Study".
1936	Se organiza la Sociedad para el Avance de la Administración.
1945	El Departamento del Trabajo aboga por el establecimiento de estándares para mejorar la productividad de la fabricación de suministros de guerra.
1947	Se difunde una carta donde se permite al Departamento de Guerra utilizar el estudio de tiempos.
1948	Se funda en Columbus, Ohio, el Instituto de Ingenieros Industriales. Eiji Toyoda y Taichi Ohno, de Toyota Motor Company, inventan el concepto de producción esbelta.
1949	Se elimina la prohibición del uso de cronómetros en el lenguaje salarial. En el Reino Unido se funda la Sociedad de Investigación sobre Ergonomía (en al actualidad, Sociedad de Ergonomía).
1957	Se funda en Estados Unidos la Sociedad de Factores Humanos y Ergonomía. E.J. McCormick publica *Human Factors Engineering.*
1959	Se funda la Asociación Internacional de Ergonomía con el fin de coordinar las actividades en materia de ergonomía en todo el mundo.
1970	El congreso aprueba la OSHAct, que establece la Administración de la Salud y la Seguridad Ocupacional.
1972	La Sociedad para el Avance de la Administración se fusiona con la Asociación Estadounidense de Administración.
1975	Se emite la MIL-STD 1567 (USAF), Medición del Trabajo.
1981	Se presentan por primera vez los lineamientos de carga de NIOSH.
1986	Se termina la MIL-STD 1567A, Apéndice de la Guía de Medición del Trabajo.
1988	Se emite el estándar 100-1988 de la ANSI/HFS para la Ingeniería de los Factores Humanos de las Estaciones de Trabajo Terminales con Pantalla Visual.
1990	El Congreso aprueba la Ley para Estadounidenses con Discapacidades (ADA).

Tabla 1.1 (*continuación*)

Año	Evento
	La OSHA fija los Lineamientos para la Administración del Programa de Ergonomía para las Plantas Empacadoras de Carne. Éstos sirven como modelo para el desarrollo de un estándar de ergonomía de la OSHA.
1991	Se revisan los lineamientos de la NIOSH para el levantamiento de cargas.
1995	Se emite el borrador del estándar Z-365 de la ANSI para el Control de Desórdenes de Trauma Acumulativos Relacionados con el Trabajo.
1995	Se cancela el MIL-STD 1567A sobre la Medición del Trabajo.
2001	El estándar sobre ergonomía de la OSHA se acepta legalmente, pero es abrogado poco después por el Congreso.
2006	Se celebra el 50 Aniversario de la Sociedad de Ergonomía y Factores Humanos.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el otro nombre que se utiliza para referirse al *estudio de tiempos*?
2. ¿Cuál es el objetivo principal de la ingeniería de métodos?
3. Haga una lista de los ocho pasos para aplicar la ingeniería de métodos.
4. ¿Dónde se realizaron originalmente los estudios de tiempos y quién los llevó a cabo?
5. Explique los principios de Frederick W. Taylor de la administración científica.
6. ¿Qué se entiende por estudio de movimientos y quiénes son los fundadores de la técnica movimiento-estudio?
7. ¿Era comprensible el escepticismo de la administración y del personal acerca de los resultados establecidos por los "expertos en eficiencia"? Explique su respuesta.
8. ¿Qué organizaciones se preocupan por el desarrollo de las ideas de Taylor y los Gilbreth?
9. ¿Qué reacción psicológica es característica de los trabajadores cuando se sugieren cambios en los métodos?
10. Explique la importancia del método humanista en el estudio de tiempos y métodos.
11. ¿Cómo se relacionan el estudio de tiempos y la ingeniería de métodos?
12. ¿Por qué es el diseño del trabajo un elemento importante para el estudio de métodos?
13. ¿Qué eventos importantes han contribuido al surgimiento de la ergonomía?

REFERENCIAS

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Eastman Kodak Co., Human Factors Section, *Ergonomic Design for People at Work,* Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

Gilbreth, F. y L. Gilbreth, *Cheaper by the Dozen*, Nueva York: T.W. Crowell, 1948.

Gilbreth, L.M., *As I Remember: An Autobiography*, Norcross, GA: Engineering & Management Press, 1988.

Kanigel, R., *One Best Way*, Nueva York: Viking, 1997.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed., Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway, 2000.

Mundell, Marvin E., *Motion and Time Study: Improving Productivity*, 5a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1978.

Nadler, Gerald, "The Role and Scope of Industrial Engineering", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Niebel, Benjamin W., *A History of Industrial Engineering at Penn State*, University Park, PA: University Press, 1992.

Salvendry, G., ed. *Handbook of Human Factors*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1987.

Saunders, Byron W., "The Industrial Engineering Profession", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Taylor, F.W., *The Principles of Scientific Management*, Nueva York: Harper, 1911.

Thompson, C. Bertrand, *The Taylor System of Scientific Management*, Chicago: A.W. Shaw, 1917.

United Nations Industrial Development Organization, *Industry in the 1980s: Structural Change and Interdependence*, Nueva York: United Nations, 1985.

SITIOS EN INTERNET

The Ergonomics Society; http://www.ergonomics.org.uk/
Human Factors and Ergonomics Society; http://hfes.org/
Institute of Industrial Engineers; http://www.iienet.org/
International Ergonomics Association; http://www.iea.cc/
OSHA; http://www.osha.gov/

Herramientas para la solución de problemas

CAPÍTULO 2

PUNTOS CLAVE

- *Seleccione el proyecto* con las herramientas de exploración: análisis de Pareto, diagramas de pescado, gráficas de Gantt, gráficas PERT y guías para el análisis de trabajo/lugar de trabajo.
- *Obtenga y presente datos* con las herramientas de registro: operación, flujo, hombre/máquina, gráficas de procesos de grupo y diagramas de flujo.
- *Desarrolle el método ideal* con herramientas cuantitativas: relaciones hombre/máquina con servicio sincrónico y aleatorio y cálculos del balanceo de la línea.

Un buen programa de ingeniería de métodos sigue un proceso en forma ordenada: comenzando con la selección del proyecto y finalizando con la implantación de éste (consulte la figura 1.3). El primero, y quizás el paso crucial tanto para el diseño de un nuevo centro de trabajo como para la mejora de una operación existente es la identificación del problema de una manera clara y lógica. De la misma forma en que el operador utiliza herramientas tales como los micrómetros y calibradores para facilitar el trabajo, el ingeniero de métodos utiliza las herramientas apropiadas para realizar un mejor trabajo en menos tiempo. Existe una gran variedad de herramientas disponibles para la solución de problemas y cada una de ellas tiene aplicaciones específicas.

Las primeras cinco herramientas se utilizan fundamentalmente en la primera etapa del análisis de métodos, *seleccionar el proyecto*. El análisis de Pareto y los diagramas de pescado surgieron a partir de los círculos de calidad japoneses a principios de los años sesenta (consulte el capítulo 18) y fueron muy exitosos en la mejora de la calidad y en la reducción de costos de los procesos de fabricación. Las gráficas de Gantt y PERT surgieron durante los años cuarenta como respuesta a la necesidad de una mejor planeación de proyectos y el control de proyectos militares complejos. Sin embargo, también pueden ser muy útiles para identificar problemas en una planta industrial.

Por lo general, la selección del proyecto se basa en tres consideraciones: económica (probablemente la más importante), técnica y humana. Las consideraciones económicas pueden involucrar nuevos productos para los cuales no se han implantado estándares o productos existentes que tienen un elevado costo de manufactura. Los problemas podrían ser grandes cantidades de desperdicio o retrabajo, excesivo manejo de materiales, en términos de costo o distancia, o simplemente operaciones de "cuello de botella". Las consideraciones técnicas pueden incluir técnicas de procesamiento que necesiten ser mejoradas, problemas de control de calidad debidos al método, o problemas de funcionamiento del producto comparado con el de la competencia. Las consideraciones humanas pueden involucrar trabajos altamente repetitivos que tengan como consecuencia lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo, un elevado índice de accidentes, tareas con excesiva fatiga o tareas acerca de las cuales los trabajadores se quejen constantemente.

Por lo general, las primeras cuatro herramientas de exploración se utilizan en la oficina del analista. La quinta herramienta, la guía para el análisis de trabajo/sitio de trabajo, permite identificar los problemas dentro de un área en particular, departamento o sitio de trabajo y se desarrolla mejor como parte de una inspección física y observaciones en el sitio. La guía proporciona una identificación subjetiva de factores administrativos, ambientales, de la tarea o de los empleados clave que podrían causar problemas potenciales. También identifica las herramientas adecuadas para mejorar las evaluaciones en forma más cuantitativa. El uso de la guía para el análisis del trabajo/sitio de trabajo debe ser un primer paso antes de que se recaben grandes cantidades de datos cuantitativos acerca del presente método.

Las siguientes cinco herramientas, se utilizan para mantener un registro del método en cuestión, constituyen el segundo paso del análisis de métodos, *obtener y presentar los datos*. La información pertinente de los hechos —tales como la cantidad de producción, programación de entregas, tiempos operativos, instalaciones, capacidades de las máquinas, materiales y herramientas especiales— pueden tener un efecto importante en la solución del problema, y dicha información necesita ser registrada. (Los datos son también útiles en el tercer paso del análisis de métodos, *análisis de datos.*)

Las tres últimas herramientas son muy útiles como un procedimiento cuantitativo en el cuarto paso del análisis de métodos, *desarrollo del método ideal.* Una vez que se han presentado los datos de una manera clara y precisa, se examinan de forma crítica, de tal forma que se pueda definir e instalar el método más práctico, económico y eficiente. Por lo tanto, deben utilizarse en conjunto con las técnicas del análisis operacional descritas en el capítulo 3. Observe que la mayoría de las herramientas de los cuatro grupos pueden utilizarse fácilmente en la fase de desarrollo del análisis operacional.

2.1 HERRAMIENTAS EXPLORATORIAS

ANÁLISIS DE PARETO

Las áreas del problema pueden definirse mediante una técnica desarrollada por el economista Vilfredo Pareto para explicar la concentración de la riqueza. En el *análisis de Pareto,* los artículos de interés son identificados y medidos con una misma escala y luego se ordenan en orden descendente, como una distribución acumulativa. Por lo general, 20% de los artículos evaluados representan 80% o más de la actividad total; como consecuencia, esta técnica a menudo se conoce como la *regla 80-20*. Por ejemplo, 80% del inventario total se encuentra en sólo 20% de los artículos del inventario, o 20% de los trabajos provocan aproximadamente 80% de los accidentes (figura 2.1), o 20% de los trabajos

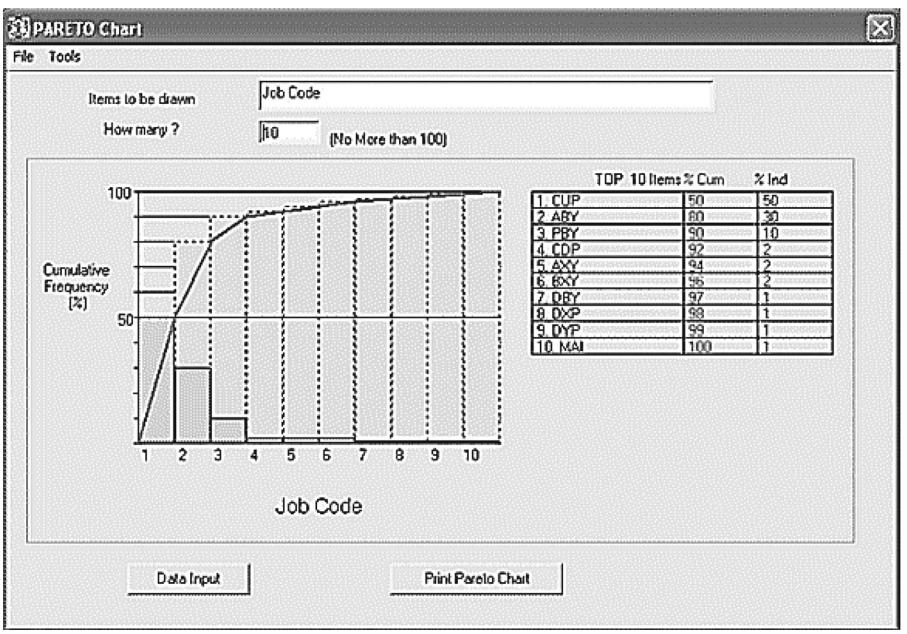


Figura 2.1 Distribución de Pareto de accidentes industriales. Veinte por ciento de los códigos de trabajo (CUP y ABY) provocan alrededor de 80 por ciento de los accidentes.

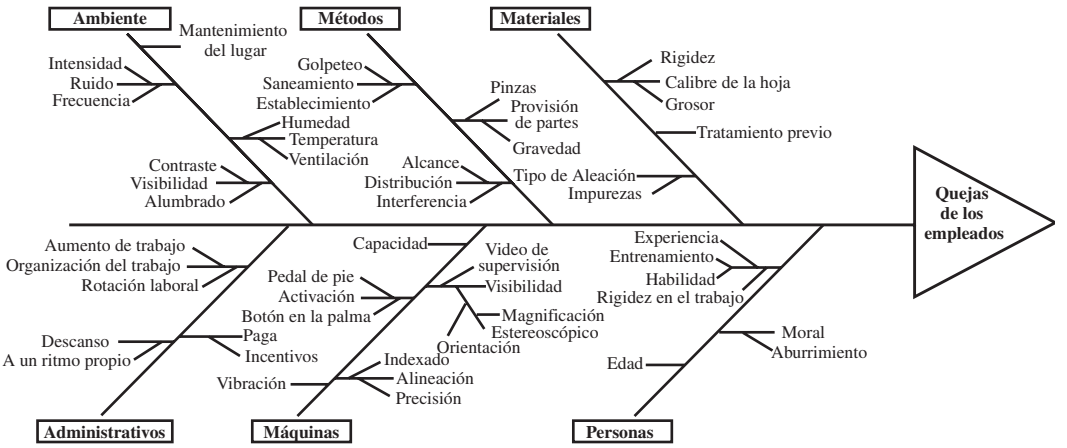


Figura 2.2 Diagrama de pescado de las quejas relacionadas con la salud de los operadores en una operación de corte.

representan 80% de los costos de compensación de los empleados. Conceptualmente, el analista de métodos concentra el mayor esfuerzo sólo en algunos pocos trabajos que generan la mayor parte de los problemas. En muchos casos, la distribución de Pareto puede transformarse en una línea recta utilizando la transformación lognormal, a partir de la cual se pueden hacer más análisis cuantitativos (Herron, 1976).

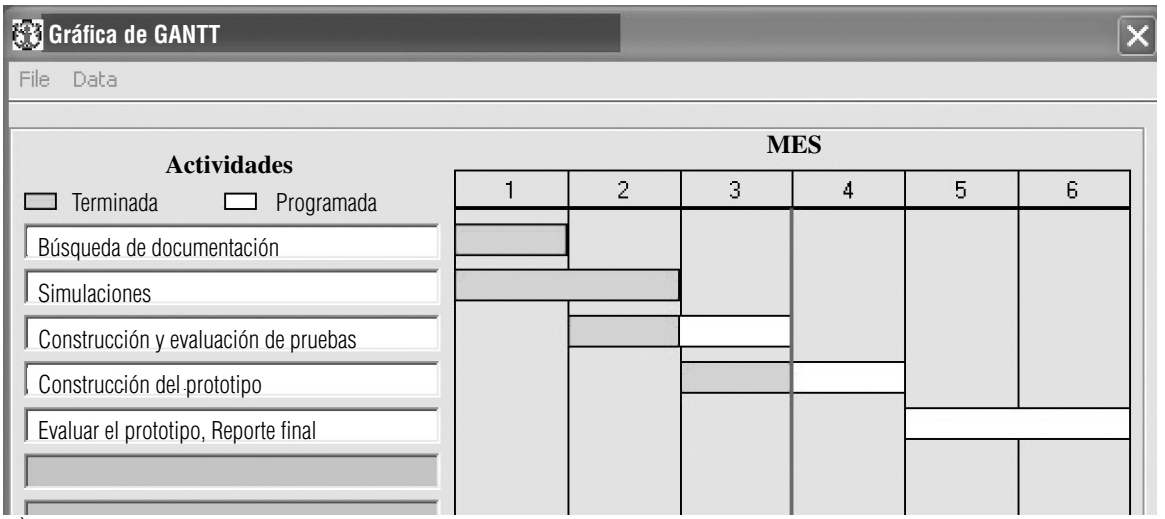
DIAGRAMAS DE PESCADO

Los *diagramas de pescado,* también conocidos como *diagramas causa-efecto,* fueron desarrollados por Ishikawa a principios de los años cincuenta mientras trabajaba en un proyecto de control de calidad para Kawasaki Steel Company. El método consiste en definir la ocurrencia de un evento o problema no deseable, esto es, el *efecto*, como la "cabeza del pescado" y, después, identificar los factores que contribuyen a su conformación, esto es, las *causas*, como las "espinas del pescado" unidas a la columna vertebral y a la cabeza del pescado. Por lo general, las principales causas se subdividen en cinco o seis categorías principales —humanas, de las máquinas, de los métodos, de los materiales, del medio ambiente, administrativas—, cada una de las cuales se subdividen en subcausas. El proceso continúa hasta que se detectan todas las causas posibles, las cuales deben incluirse en una lista. Un buen diagrama tendrá varios niveles de espinas y proporcionará un buen panorama del problema y de los factores que contribuyen a su existencia. Después, los factores se analizan de manera crítica en términos de su probable contribución a todo el problema. Es posible que este proceso también tienda a identificar soluciones potenciales. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de un diagrama de pescado que se utiliza para identificar las quejas de salud de los trabajadores en una operación de corte.

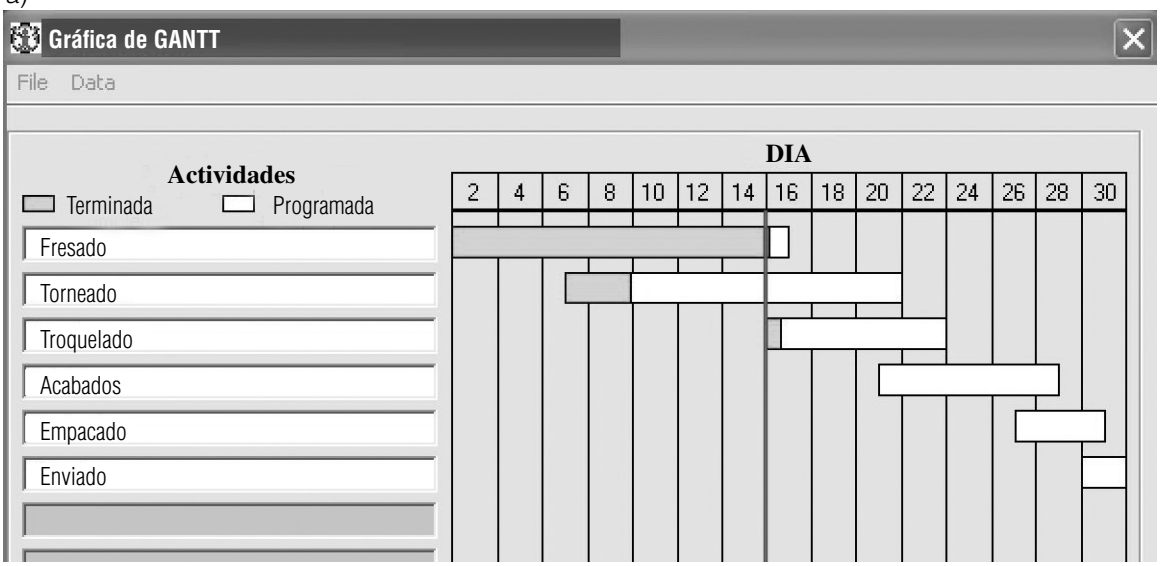
Los diagramas de pescado han tenido mucho éxito en los círculos de calidad japoneses, donde se espera la contribución de todos los niveles de trabajadores y gerentes. Se puede demostrar que dichos diagramas no han tenido tanto éxito en la industria de Estados Unidos, donde la cooperación entre el trabajo y la administración puede ser menos eficiente en la producción de las soluciones y resultados deseados (Cole, 1979).

DIAGRAMA DE GANTT

El *diagrama de Gantt* constituyó probablemente la primera técnica de control y planeación de proyectos que surgió durante los años cuarenta como respuesta a la necesidad de administrar proyectos y sistemas complejos de defensa de una mejor manera. El diagrama de Gantt muestra anticipadamente de una manera simple las fechas de terminación de las diferentes actividades del proyecto en forma de barras graficadas con respecto al tiempo en el eje horizontal (figura 2.3*a*). Los tiempos reales de terminación se muestran mediante el sombreado de barras adecuadamente. Si se dibuja una línea vertical en una fecha determinada, usted podrá determinar qué componentes del proyecto están retrasadas o adelantadas. Por ejemplo, en la figura 2.3*a*, para finales del tercer mes, el trabajo de elaboración del modelo se encuentra retrasado. El diagrama de Gantt obliga al administrador del



a)



b)

Figura 2.3 Ejemplo de *a*) una gráfica de Gantt basada en un proyecto y *b*) una gráfica de Gantt basada en procesos o maquinaria.

proyecto a desarrollar un plan con antelación y proporciona un vistazo rápido del avance del proyecto en un momento dado. Desafortunadamente, este diagrama no siempre describe por completo la interacción entre las diferentes actividades del proyecto. Para dicho propósito, se requiere de técnicas más analíticas como los diagramas de PERT.

El diagrama de Gantt se puede utilizar también para organizar la secuencia de las actividades de las máquinas en la planta. El diagrama basado en la máquina puede incluir actividades de reparación y mantenimiento marcando el periodo en el que éstas se llevarán a cabo. Por ejemplo, en la figura 2.3*b*, a mitad del mes, el trabajo de torneado está atrasado, mientras que la producción de la prensa está adelantada respecto de la programación.

DIAGRAMAS DE PERT

PERT, Program Evaluation and Review Technique, que significa Técnica de Revisión y Evaluación de Programas. *Un diagrama de PERT,* también conocido como diagrama de red o *método de la ruta crítica*, es una herramienta de planeación y control que retrata de manera gráfica la forma óptima de

obtener un objetivo predeterminado, generalmente en términos de tiempo. Esta técnica fue utilizada por las fuerzas armadas estadounidenses para diseñar procesos tales como el desarrollo del misil Polaris y la operación de sistemas de control de submarinos nucleares. Normalmente, los analistas de métodos utilizan los diagramas de PERT para mejorar la programación mediante la reducción de los costos y la satisfacción del cliente.

Cuando se utilizan los diagramas de PERT para programar, por lo general los analistas proporcionan dos o tres valores de tiempo para cada actividad. Por ejemplo, si se utilizan tres valores de tiempo, ellos se basan en las preguntas siguientes:

1. ¿Cuánto tiempo se necesita para llevar a cabo una actividad específica si todo trabaja perfectamente (valor optimista)?
2. En condiciones normales, ¿cuál sería la duración más probable de esta actividad?
3. ¿Qué tiempo se necesita para llevar a cabo esta actividad si casi todo falla (valor pesimista)?

Con estos valores, el analista puede desarrollar una distribución de probabilidad del tiempo necesario para llevar a cabo la actividad.

En un diagrama de PERT, los eventos (representados mediante nodos) son posiciones en el tiempo que muestran el comienzo y término de una operación particular o grupo de operaciones. Cada operación o grupo de operaciones que se llevan a cabo en un departamento se definen como una actividad y se llaman *arcos*. Cada arco tiene un número asociado que representa el tiempo (días, semanas, meses) necesario para llevar a cabo la actividad. Las actividades que no consumen tiempo ni costo, pero que sin embargo son necesarias para conservar una secuencia correcta, se llaman *actividades supuestas* y se muestran con líneas punteadas (actividad *H* en la figura 2.4).

Las actividades supuestas se utilizan típicamente para indicar precedencia o dependencias debido a que, de acuerdo con las reglas, no se pueden representar dos actividades mediante el mismo nodo; es decir, cada actividad tiene un solo conjunto de nodos.

El tiempo mínimo necesario para llevar a cabo todo el proyecto corresponde a la trayectoria más larga desde el nodo inicial hasta el nodo final. El término *ruta crítica* de la figura 2.4 representa el tiempo mínimo necesario para llevar a cabo el proyecto y es la trayectoria más larga desde el nodo 1 al nodo 12. Mientras que existe siempre una trayectoria como ésta en cualquier proyecto, más de una trayectoria puede reflejar el tiempo mínimo necesario para llevar a cabo el proyecto.

Las actividades que no se encuentran a lo largo de la ruta crítica tienen cierta flexibilidad temporal. Dicha flexibilidad, o libertad, se conoce como *flotación* y se define como la cantidad de tiempo que una actividad no crítica puede extenderse sin retrasar la fecha de término del proyecto. Esto implica que cuando la intención es reducir el tiempo de terminación del proyecto, llamado *ruptura*, es mejor concentrarse en las actividades que se encuentran en la ruta crítica que en las que se encuentran en otras rutas.

Aunque la ruta crítica puede encontrarse a través de prueba y error, existe un procedimiento formal para encontrar, únicamente, la ruta crítica mediante el uso de varios conceptos de tiempo. Éstos son 1) el comienzo más temprano (ES) para cada actividad tal que todas las relaciones precedentes

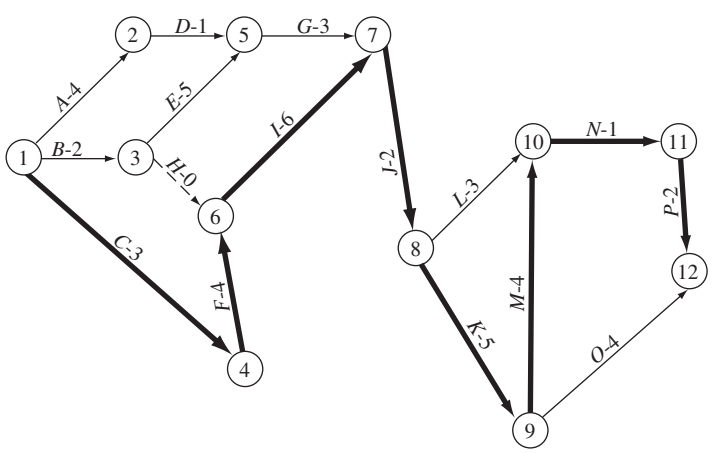


Figura 2.4 Red que muestra la ruta crítica (línea gruesa).
Los números dentro de círculos son nodos que representan el comienzo y el final de las actividades que están representadas como líneas. Los valores sobre cada línea representan la duración normal de esa actividad en semanas.

son respetadas y 2) una terminación más temprana (EF) para esa actividad, la cual es el comienzo más temprano más el tiempo estimado para esa actividad, o

$$EF_{ij} = ES_{ij} + t_{ij}$$

donde *i* y *j* son los nodos.

Por lo general, estos tiempos se calculan mediante un recorrido a través de la red, como se muestra en la tabla de red de la tabla 2.1. Observe que para una actividad que tenga dos actividades precedentes, el comienzo más cercano se calcula como el máximo de los finales previos

$$ES_{ij} = \text{máx}\,(EF_{ij})$$

Así como existen los tiempos de comienzo y terminación, existe el comienzo más tardío (LS) y la terminación más tardía (LF), los cuales se calculan a través de un recorrido hacia atrás a través de la red. El tiempo de comienzo más tardío es el momento más tardío en el que una actividad puede comenzar sin retrasar el proyecto. Se calcula restando el tiempo de duración de la actividad del tiempo de terminación más tardío.

$$LS_{ij} = LF_{ij} - t_{ij}$$

Donde dos o más actividades parten de un nodo, el tiempo de terminación más tardío es el mínimo de los tiempos de comienzo más tardíos de las actividades que parten.

$$LF_{ij} = \text{mín}(LS_{ij})$$

La tabla de red del diagrama de red de la figura 2.5 se proporciona en la tabla 2.1. La flotación se define de manera formal como

$$\text{Flotación} = LS - ES$$

o

$$\text{Flotación} = LF - EF$$

Observe que todas las actividades con flotación igual a cero definen la ruta crítica, la cual para este ejemplo es de 27 semanas.

Se pueden utilizar diferentes métodos para reducir la duración de un proyecto y se puede calcular el costo de las diferentes opciones. Por ejemplo, la tabla 2.2 identifica los tiempos y costos normales así como los tiempos y costos críticos que ocurrirían si el tiempo del proyecto que se muestra en la figura 2.4 fuera acortado. Mediante el uso de esta tabla y el diagrama de la red y suponiendo que

Tabla 2.1 Diagrama de red

Actividad	Nodos	ES	EF	LS	LF	Flotación
A	(1, 2)	0	4	5	9	4
B	(1, 3)	0	2	3	5	3
C	(1, 4)	0	3	0	3	0
D	(2, 5)	4	5	9	10	5
E	(3, 5)	2	7	5	10	3
F	(4, 6)	3	7	3	7	0
G	(5, 7)	7	10	10	13	3
H (simulada)	(3, 6)	2	2	7	7	0
I	(6, 7)	7	13	7	13	0
J	(7, 8)	13	15	13	15	0
K	(8, 9)	15	20	15	20	0
L	(8, 10)	15	18	21	24	3
M	(9, 10)	20	24	20	24	0
N	(10, 11)	24	25	24	25	0
O	(9, 12)	20	24	23	27	3
P	(11, 12)	25	27	25	27	0

Tabla 2.2 Valores de costo y tiempo para llevar a cabo una gran variedad de actividades en condiciones normales y críticas

		Normal		Crítica		Costo semanal
Actividades	**Nodos**	**Semanas**	**$**	**Semanas**	**$**	**$**
A	(1, 2)	4	4 000	2	6 000	1 000
B	(1, 3)	2	1 200	1	2 500	1 300
C	(1, 4)	3	3 600	2	4 800	1 200
D	(2, 5)	1	1 000	0.5	1 800	1 600
E	(3, 5)	5	6 000	3	8 000	1 000
F	(4, 6)	4	3 200	3	5 000	1 800
G	(5, 7)	3	3 000	2	5 000	2 000
H	(3, 6)	0	0	0	0	—
I	(6, 7)	6	7 200	4	8 400	600
J	(7, 8)	2	1 600	1	2 000	400
K	(8, 9)	5	3 000	3	4 000	500
L	(8, 10)	3	3 000	2	4 000	1 000
M	(9, 10)	4	1 600	3	2 000	400
N	(10, 11)	1	700	1	700	—
O	(9, 12)	4	4 400	2	6 000	800
P	(11, 12)	2	1 600	1	2 400	800

Tabla 2.3 Tiempos y costos de varias alternativas de la red que se muestra en la figura 2.4 y de los datos que se proporcionan en la tabla 2.2.

Calendario (semanas)	Opción menos costosa	Total de semanas ganadas	Costo total adicional
27	Duración normal del proyecto	0	0
26	Actividad crítica M (o J) en una semana y un costo adicional de $400	1	400
25	Actividad crítica J (o M) en una semana y un costo adicional de $400	2	800
24	Actividad crítica K en una semana y un costo adicional de $500	3	1 300
23	Actividad crítica K en otra semana y un costo adicional de $500	4	1 800
22	Actividad crítica I en una semana y un costo adicional de $600	5	2 400
21	Actividad crítica I en otra semana y un costo adicional de $600	5	3 000
20	Actividad crítica P en una semana y un costo adicional de $800	7	3 800
19	Actividad crítica C en una semana y un costo adicional de $1 200	8	5 000

existiera una relación lineal entre el tiempo y el costo por semana, se podrían calcular las diferentes alternativas que se muestran en la tabla 2.3.

Observe que, a las 19 semanas, se desarrolla una segunda ruta crítica a través de los nodos 1, 3, 5 y 7 y que cualquier ruptura adicional necesitará considerar ambas rutas.

GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE TRABAJO-SITIO DE TRABAJO

La guía para el análisis del trabajo-sitio de trabajo (vea la figura 2.5) identifica los problemas dentro de un área, departamento o sitio de trabajo en particular. Antes de recabar datos cuantitativos, el

Guía para el análisis del trabajo/lugar de trabajo				
Trabajo-sitio de trabajo CALENTADO FINAL		Analista AF		Fecha 1-27
Descripción INSERCIÓN DE VAPOR A TRAVÉS DE UN CANAL				
Factores del trabajador		**Remítase a**		
Nombre:	Edad: 42	Sexo: (M) F	Altura 6'	Peso 180
Motivación: *Alta Media* (*Baja*)		Satisfacción en el trabajo: *Alta Media* (*Baja*)		
Nivel de educación: *Algunos estudios superiores,* (*Estudios superiores,*) *Universitarios*		Nivel de destreza: *Alta* (*Media*) *Baja*		
Equipo de protección personal: (*Gafas de protección,*) *Máscara, Zapatos de seguridad,* (*Tapones en los oídos,*) *Otras:* GUANTES, MANGAS				
Factores de la tarea				
¿Qué pasa? ¿Cómo fluyen las partes hacia adentro/afuera? CONDUCTO DESDE LA BANDA HASTA LA MÁQUINA DE INSERCIÓN, DESPUÉS EL SELLADOR, DESPUÉS DE NUEVO A LA BANDA		Diagramas de flujo de procesos		
¿Qué tipos de movimientos están involucrados? LEVANTAMIENTO REPETITIVO, CAMINAR, MOVER		Análisis del video, Principios de economía de movimiento		
¿Existen soportes o monturas para la operación? ¿Automatización? SÍ, PARA COLOCAR EL CONDUCTO Y PROCESOS BÁSICOS, NINGUNO PARA LEVANTAR CARGAS				
¿Se utilizan herramientas? NO		Lista de verificación para evaluar las herramientas		
¿El lugar de trabajo se encuentra bien diseñado? ¿Hay distancias grandes? ES NECESARIO CAMINAR UN POCO Y TODO ESTÁ AL ALCANCE DEL TRABAJADOR		Lista de verificación para evaluar la estación de trabajo		
¿Se presentan movimientos irregulares de dedos o muñecas? ¿Con qué frecuencia? NO		CTD (ÍNDICE DE RIESGO)		
¿Existe algún levantamiento de cargas? SÍ, CONDUCTORES PESADOS DE VIDRIO		Análisis de levantamiento NIOSH, modelo UM2D		
¿Está fatigado el trabajador? ¿Carga de trabajo físico? ALGO, POCO		Análisis del ritmo cardiaco. Tiempos de descanso permitidos		
¿Existen entradas sensoriales, procesamiento de información, tomas de decisiones o carga de trabajo mental? MÍNIMO		Lista de verificación para evaluar el trabajo cognitivo, Listas de verificación del diseño de pantallas		
¿Qué duración tiene cada ciclo? ¿Cuál es el tiempo estándar? APROX. MINUTO Y MEDIO		Estudio de tiempos. Lista de verificación MTM-2		
Factores del ambiente de trabajo		**Lista de verificación del ambiente de trabajo**		
¿Es aceptable la iluminación? ¿Hay reflejos? SÍ, NO		Valores recomendados del IESNA		
¿Es aceptable el nivel de ruido? NO, SE REQUIEREN TAPONES PARA LOS OÍDOS		Niveles OSHA		
¿Existe tensión por calor? SÍ		*WBGT*		
¿Existe vibración? NO		Estándares ISO		
Factores administrativos		Comentarios:		
¿Existen incentivos salariales? NO				
¿Hay rotación en el trabajo? ¿Ampliación del horario de trabajo? SÍ, NO				
¿Se imparte entrenamiento o instrucción acerca del trabajo? SÍ				
¿Cuáles son las políticas administrativas generales? ?				

Figura 2.5 Guía para el análisis del trabajo-lugar de trabajo de un trabajo rudo en una planta de fabricación de televisores.

analista primero debe recorrer el área y observar al trabajador, la tarea, el lugar de trabajo y el ambiente laboral circundante. Además, el analista debe identificar cualquier factor administrativo que pueda afectar el comportamiento o desempeño del trabajador. Todos estos factores proporcionan una perspectiva general de la situación y sirven como guía al analista en el uso de otras herramientas más cuantitativas para recabar y analizar los datos. El ejemplo de la figura 2.5 muestra la aplicación de la guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo en una operación crítica en un complejo de manufactura de televisores. Dentro de los aspectos clave se incluyen las cargas pesadas, la resistencia al calor y la exposición al ruido.

2.2 HERRAMIENTAS DE REGISTRO Y ANÁLISIS

GRÁFICA DEL PROCESO OPERATIVO

La gráfica del proceso operativo muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones, tiempos permitidos y materiales que se utilizan en un proceso de manufactura o de negocios, desde la llegada de la materia prima hasta el empaquetado del producto terminado. La gráfica muestra la entrada de todos los componentes y subensambles al ensamble principal. De la misma manera como un esquema muestra detalles de diseño tales como partes, tolerancias y especificaciones, la gráfica del proceso operativo ofrece detalles de la manufactura y del negocio con sólo echar un vistazo.

Se utilizan dos símbolos para construir la gráfica del proceso operativo: un pequeño círculo representa una operación y un pequeño cuadrado representa una inspección. Una operación se lleva a cabo cuando una parte bajo estudio se transforma intencionalmente, o cuando se estudia o se planea antes de que se realice cualquier trabajo productivo en dicha parte. Una inspección se realiza cuando la parte es examinada para determinar su cumplimiento con un estándar. Observe que algunos analistas prefieren describir sólo las operaciones, por lo que al resultado le llaman *gráfica de la descripción del proceso.*

Antes de comenzar la construcción real de la gráfica de procesos operativos, los analistas identifican la gráfica por medio del título —Gráfica del proceso operativo—, e información adicional como el número de parte, número de plano, descripción del proceso, método actual o propuesto, fecha y nombre de la persona que elaboró la gráfica. Dentro de la información adicional se pueden incluir datos tales como el número de gráfica, la planta, el edificio y el departamento.

Las líneas verticales indican el flujo general del proceso a medida que se realiza el trabajo, mientras que las líneas horizontales que alimentan a las líneas de flujo vertical indican materiales, ya sea comprados o elaborados durante el proceso. Las partes se muestran como ingresando a una línea vertical para ensamblado o abandonando una línea vertical para desensamblado. Los materiales que son desensamblados o extraídos se representan mediante líneas horizontales de materiales y se dibujan a la derecha de la línea de flujo vertical, mientras que los materiales de ensamblado se muestran mediante líneas horizontales dibujadas a la izquierda de la línea de flujo vertical.

En general, el diagrama del proceso operativo se construye de tal manera que las líneas de flujo verticales y las líneas de materiales horizontales no se crucen. Si es estrictamente necesario el cruce de una línea vertical con una horizontal, se debe utilizar la convención para mostrar que no se presenta ninguna conexión; esto es, dibujar un pequeño semicírculo en la línea horizontal en el punto donde la línea vertical lo cruce (vea la figura 2.6).

Los valores del tiempo, basados en estimaciones o en mediciones reales, pueden asignarse a cada operación o inspección. En la figura 2.7 se muestra un diagrama típico de proceso operativo completo que ilustra la fabricación de bases para teléfono.

El diagrama de proceso operativo terminado ayuda a los analistas a visualizar el método en curso, con todos sus detalles, de tal forma que se pueden identificar nuevos y mejores procedimientos. Este diagrama muestra a los analistas qué efecto tendrá un cambio en una determinada operación en las operaciones precedentes y subsecuentes. Es muy usual lograr 30% de reducción de tiempo mediante el uso de los principios del análisis de operaciones (vea el capítulo 3) en conjunto con el diagrama de procesos operativos, el cual sugiere inevitablemente posibilidades para la mejora. Asimismo, puesto que cada etapa se muestra en su secuencia cronológica apropiada, el diagrama en sí mismo constituye una distribución ideal de la planta. En consecuencia, los analistas de métodos

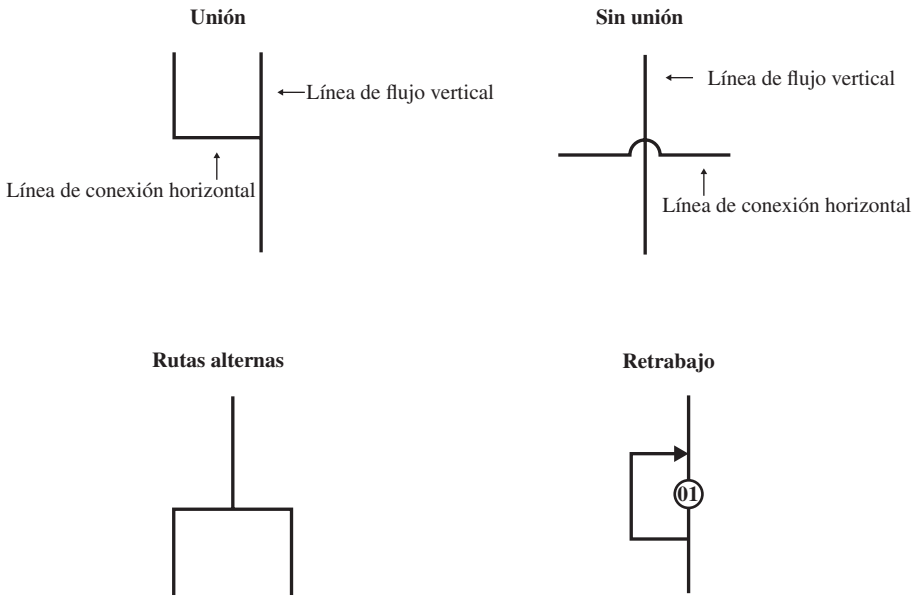


Figura 2.6 Convenciones de los diagramas de flujo.

consideran esta herramienta extremadamente útil para desarrollar nuevas distribuciones y mejorar las existentes.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

En general, el *diagrama de flujo del proceso* cuenta con mucho mayor detalle que el diagrama del proceso operativo. Como consecuencia, no se aplica generalmente a todos los ensambles, sino que a cada componente de un ensamble. El diagrama de flujo del proceso es particularmente útil para registrar los costos ocultos no productivos como, por ejemplo, las distancias recorridas, los retrasos y los almacenamientos temporales. Una vez que estos periodos no productivos se identifican, los analistas pueden tomar medidas para minimizarlos y, por ende, reducir sus costos.

Además de registrar operaciones e inspecciones, los diagramas de flujo de procesos muestran todos los retrasos de movimientos y almacenamiento a los que se expone un artículo a medida que recorre la planta. Los diagramas de flujo de procesos, por lo tanto, necesitan varios símbolos además de los de operación e inspección que se utilizan en los diagramas de procesos operativos. Una flecha pequeña significa transporte, el cual puede definirse como mover un objeto de un lugar a otro excepto cuando el movimiento se lleva a cabo durante el curso normal de una operación o inspección. Una letra D mayúscula representa un retraso, el cual se presenta cuando una parte no puede ser procesada inmediatamente en la próxima estación de trabajo. Un triángulo equilátero parado en su vértice significa almacenamiento, el cual se presenta cuando una parte se guarda y protege en un determinado lugar para que nadie la remueva sin autorización. Estos cinco símbolos (vea la figura 2.8) constituyen el conjunto estándar de símbolos que se utilizan en los diagramas de flujo de procesos (ASME, 1974). En ciertas ocasiones, algunos otros símbolos no estándar pueden utilizarse para señalar operaciones administrativas o de papeleo u operaciones combinadas, como se muestra en la figura 2.9.

Dos tipos de diagramas de flujo se utilizan actualmente: de productos o materiales (vea la figura 2.10, preparación de publicidad directa por correo) y de personas u operativos (vea figura 2.11, personal de servicio que inspeccionan unidades de campo LUX). El diagrama de producto proporciona los detalles de los eventos que involucran un producto o un material, mientras que el diagrama de flujo operativo muestra a detalle cómo lleva a cabo una persona una secuencia de operaciones.

De la misma forma que el diagrama de procesos de operación, el diagrama de flujo del proceso se identifica mediante un título —Diagrama de flujo de procesos—, y la información adicional que lo acompaña que generalmente incluye el número de parte, el número de diagrama, la descripción del proceso, el método actual o propuesto, la fecha y el nombre de la persona que elaboró el diagrama. Dentro de la información adicional que puede ser útil para identificar totalmente el trabajo que se

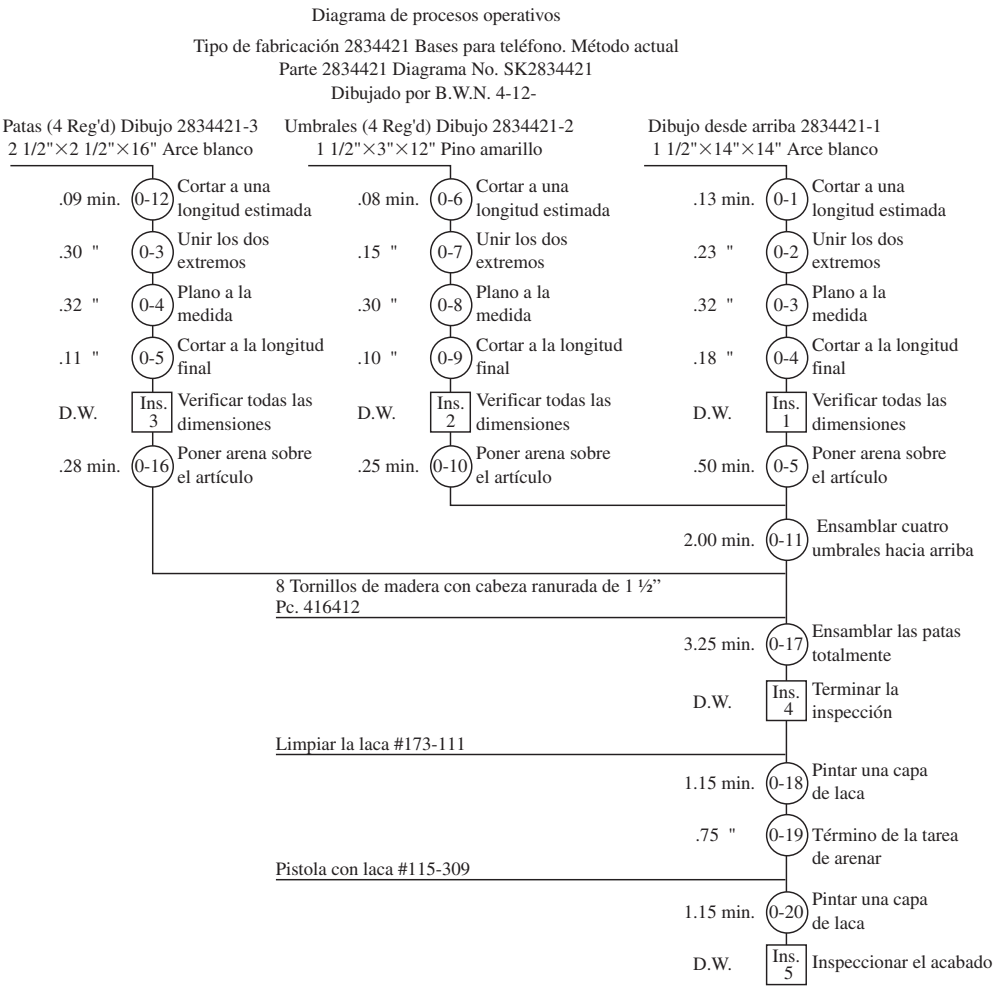


Figura 2.7 Diagrama de procesos operativos que muestran la fabricación de estaciones para teléfonos.

está realizando se encuentra la planta, edificio o departamento; el número de diagrama; la cantidad; y el costo.

El analista debe describir cada evento del proceso, encerrar en un círculo el símbolo adecuado del diagrama del proceso e indicar los tiempos asignados para los procesos o retrasos y las distancias de transporte. Después tiene que conectar los símbolos de eventos consecutivos con una línea vertical. La columna del lado derecho proporciona suficiente espacio para que el analista incorpore comentarios o haga recomendaciones que conduzcan a cambios en el futuro.

Para determinar la distancia desplazada, no es necesario que el analista mida cada movimiento de una manera precisa con una cinta o una regla de 6 pies. Se obtiene un valor lo suficientemente correcto si se cuenta el número de columnas que el material se desplaza y luego se multiplica dicho número, menor a 1, por la distancia entre columnas. Los desplazamientos de 5 pies o menores por lo general no se registran; sin embargo, pueden registrarse si el analista considera que afectan el costo total del método que se está graficando.

En el diagrama se deben incluir todos los retrasos y tiempos de almacenamiento. A medida que una parte permanezca más tiempo en almacenamiento o se retrasa, mayor será el costo que acumule así como el tiempo que el cliente tendrá que esperar para la entrega. Por lo tanto, es importante saber cuánto tiempo consume una parte por cada retraso o almacenamiento. El método más económico

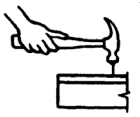
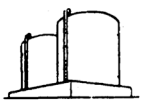
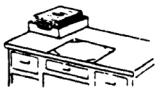
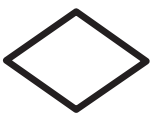
Operación Un círculo grande indica una operación, como	 Clavar	 Mezclar	 Taladrar orificio
Transporte Una flecha indica transporte, como	 Mover material mediante un carro	 Mover material mediante una banda transportadora	 Mover material transportándolo (mediante un mensajero)
Almacenamiento Un triángulo representa almacenamiento, como	 Materia prima en algún almacenamiento masivo	 Producto terminado apilado sobre tarimas	 Archiveros para proteger documentación
Retrasos Una letra D mayúscula indica un retraso, como	 Esperar un elevador	 Material en un camión o sobre el piso en una tarima esperando a ser procesado	 Documentos en espera a ser archivados
Inspección Un cuadrado indica inspección, como	 Examinar material para ver si está bien en cuanto a cantidad y calidad	 Leer el medidor de vapor en el quemador	 Analizar las formas impresas para obtener información

Figura 2.8 Conjunto de símbolos de diagrama de proceso de acuerdo con el estándar ASME.


Se generó un registro.


Se tomó una decisión.


Se agregó información a un registro.


Se llevó a cabo una inspección en conjunto con una operación.

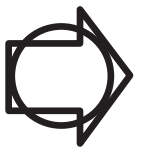

Una operación y un transporte se llevaron a cabo de manera simultánea.

Figura 2.9 Símbolos no estándares de los diagramas de procesos.

para determinar la duración de los retrasos y almacenamientos es mediante el marcado de varias partes con un gis, que indique el tiempo exacto durante el cual se almacenaron o se retrasaron. Después es necesario verificar periódicamente la sección para ver cuándo entraron de nuevo a producción las partes marcadas. Se verifica un número de veces, se registra el tiempo consumido y luego se promedian los resultados, y así, los analistas pueden obtener valores de tiempo suficientemente precisos.

El diagrama de flujo del proceso, de la misma forma que el diagrama de procesos operativos, no es el final en sí mismo; es sólo un medio para llegar al final. Esta herramienta facilita la eliminación o reducción de los costos ocultos de un componente. Puesto que el diagrama de flujo muestra claramente todos los transportes, retrasos y almacenamientos, la información que ofrece puede dar como consecuencia una reducción en la cantidad y la duración de estos elementos. Asimismo, puesto que las distancias se encuentran registradas en el diagrama de flujo del proceso, este diagrama es excepcionalmente valioso para mostrar cómo puede mejorarse la distribución de una planta. En el capítulo 3 se describen estas técnicas con más detalle.

Diagrama de flujo del proceso Página 1 de 1

Ubicación: Dorben Ad Agency	
Actividad: Preparación de anuncios por correo directo	
Fecha 1-26-98	
Operador: J.S. / Analista: A. F.	
Encierre en un círculo el método y tipo apropiados	
Método: (*Presente*) *Propuesto*	
Tipo: (*Trabajador*) *Material* *Máquina*	
Comentarios:	

Resumen

Evento	Presente	Propuesto	Ahorros
Operación	4		
Transporte	4		
Retrasos	4		
Inspección	0		
Almacenamiento	2		
Tiempo (min)			
Distancia (pies)	340		
Costo			

Descripción de los eventos	Símbolo	Tiempo (en minutos)	Distancia (en pies)	Recomendaciones al método
Cuarto con la existencia de materiales	○ ◇ D □ ▽			
Hacia el cuarto de recopilación	○ ◇ D □ ▽		100	
Ordenar los estantes por tipo	○ ◇ D □ ▽			
Ordenar cuatro hojas	○ ◇ D □ ▽			
Apilar	○ ◇ D □ ▽			
Hacia el cuarto de doblado	○ ◇ D □ ▽		20	
Empujar, doblar, rayar	○ ◇ D □ ▽			
Apilar	○ ◇ D □ ▽			
Colocar la engrapadora	○ ◇ D □ ▽		20	
Poner la grapa	○ ◇ D □ ▽			
Apilar	○ ◇ D □ ▽			
Hacia el cuarto del correo	○ ◇ D □ ▽		200	
Colocar la dirección	○ ◇ D □ ▽			
A la bolsa del correo	○ ◇ D □ ▽			
	○ ◇ D □ ▽			
	○ ◇ D □ ▽			
	○ ◇ D □ ▽			
	○ ◇ D □ ▽			
	○ ◇ D □ ▽			

Figura 2.10 Diagrama de flujo de procesos (material) para la preparación de correo publicitario directo.

DIAGRAMA DE FLUJO O RECORRIDO

A pesar de que el diagrama de flujo del proceso proporciona la mayor parte de la información pertinente relacionada con un proceso de manufactura, no muestra un plan pictórico del flujo del trabajo. A veces esta información es útil para desarrollar un nuevo método. Por ejemplo, antes de que se pueda reducir un transporte, el analista necesita observar o visualizar dónde hay suficiente espacio para construir una instalación de tal manera que la distancia de transporte puede acortarse. De la misma forma, es de utilidad visualizar las áreas potenciales de almacenamiento temporal o permanente, las estaciones de inspección y los puntos de trabajo.

La mejor manera de proporcionar esta información es conseguir un diagrama de las áreas de la planta involucradas y después bosquejar las líneas de flujo, es decir, indicar el movimiento del material de una actividad a la otra. El diagrama de flujo o recorrido es una representación gráfica de la distribución de los pisos y edificios que muestra la ubicación de todas las actividades en el diagrama de *flujo del proceso*. Cuando los analistas elaboran un diagrama de flujo o recorrido, identifican cada actividad mediante símbolos y números correspondientes a los que aparecen en el diagrama de flujo del proceso. La dirección del flujo se indica colocando pequeñas flechas periódicamente a lo largo de las líneas de flujo. Se pueden utilizar colores diferentes para indicar líneas de flujo en más de una parte.

Diagrama de flujo del proceso **Página 1 de 1**

Ubicación: Dorben Co.	
Actividad: Inspección en campo de LUX	
Fecha: 4-17-97	
Operador: T. Smith / Analista: R. Ruhf	
Encierre en un círculo el método y tipo apropiados	
Método: (*Presente*) *Propuesto*	
Tipo: (*Trabajador*) *Material* *Máquina*	
Comentarios	

Resumen

Evento	Presente	Propuesto	Ahorros
Operación	7		
Transporte	6		
Retrasos	2		
Inspección	6		
Almacenamiento	0		
Tiempo (min)	32.60		
Distancia (pies)	375		
Costo			

Descripción de los eventos	Símbolo	Tiempo (en minutos)	Distancia (en pies)	Recomendaciones al método
Bajarse del vehículo, caminar hacia la puerta frontal, tocar el timbre.		1.00	75	Llamar a casa con antelación para reducir la espera.
Esperar, entrar a la casa.				
Caminar hacia el depósito en el campo.		.25	25	
Desconectar el depósito de la unidad.		.35		
Inspeccionar si hay abolladuras, rupturas en el envoltorio, vidrio roto o hardware faltante.		1.25		Esto puede hacerse mientras se camina de regreso al vehículo.
Limpiar la unidad con un limpiador y desinfectante aprobado.		2.25		Esto puede hacerse de una manera más eficiente en el vehículo.
Regresar al vehículo con el tanque vacío.		1.00	75	
Quitar el seguro del vehículo, colocar el tanque vacío en su base y conectar el hardware.		1.75		
Abrir la válvula; comenzar a llenar.		.25		
Esperar a que se llene el tanque.		12.00		Limpiar la unidad mientras se está llenando.
Verificar que el humidificador funcione correctamente.		.5		Eliminar. No es necesario hacer esto dos veces.
Verificar la presión (indicador).		.2		
Verificar el contenido del tanque (indicador).		.2		
Regresar con el paciente con el tanque lleno.		1.10	100	
Conectar al tanque lleno.		1.00		
Verificar que el humidificador funcione correctamente.		.75		
Esperar al paciente para retirar la cánula nasal o máscara facial.		2.00		
Instalar una nueva cánula nasal o máscara facial.		2.50		
Verificar los flujos del paciente.		2.25		
Colocar la etiqueta con la inspección inicial y la fecha.		1.00		Llevar a cabo esta tarea mientras la unidad se está llenando.
Regresar al vehículo.		1.00	100	

Figura 2.11 Diagrama de flujo del proceso (trabajador) para la inspección en campo de LUX.

La figura 2.12 muestra un diagrama de recorrido hecho en conjunto con un diagrama de flujo de procesos con el fin de mejorar la producción del rifle Garand (M1) de la Armería Springfield. Esta representación gráfica, junto con un diagrama de flujo de procesos, dio como consecuencia ahorros que incrementaron la producción de 500 cañones de rifle por turno a 3 600 con el mismo número de empleados. La figura 2.13 muestra el diagrama de recorrido de la distribución revisada.

El diagrama de recorrido representa un complemento útil del diagrama de flujo de procesos debido a que indica el camino hacia atrás y las áreas posibles de congestión de tráfico y facilita el desarrollo de una configuración ideal de la planta.

DIAGRAMAS DE PROCESOS HOMBRE-MÁQUINA

El diagrama de procesos hombre-máquina se utiliza para estudiar, analizar y mejorar una estación de trabajo a la vez. El diagrama muestra la relación de tiempo exacta entre el ciclo de trabajo de la persona y el ciclo de operación de la máquina. Estos hechos pueden conducir a una utilización más completa del tiempo del trabajador y de la máquina así como a obtener un mejor balance del ciclo de trabajo.

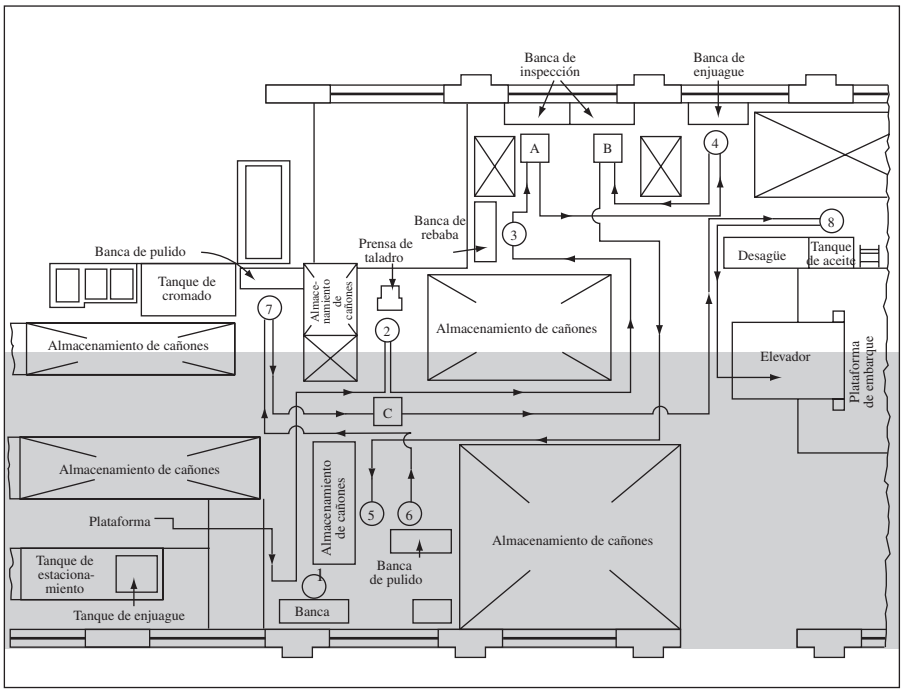


Figura 2.12 Diagrama de flujo de la distribución antigua de un grupo de operaciones del rifle Garand.
(La sección sombreada de la planta representa el espacio total necesario para la distribución revisada [figura 2.13]. Ésta representa 40% de ahorro de espacio.)

Muchas máquinas herramienta son totalmente automáticas (la máquina de tornillo automático) o semiautomáticas (el torno de torreta). Con este tipo de equipos, el operador muy a menudo está desocupado en una parte del ciclo. La utilización de este tiempo ocioso puede incrementar las ganancias del operador y mejorar la eficiencia de la producción.

La práctica de hacer que un empleado maneje más de una máquina se conoce como *acoplamiento de máquinas*. Debido a que los sindicatos se podrían resistir a aceptar este concepto, la mejor manera de "vender" el acoplamiento de máquinas es demostrar la oportunidad de obtener ganancias adicionales. Puesto que el acoplamiento de máquinas aumenta el porcentaje de "tiempo de esfuerzo" durante el ciclo de operación, son posibles mayores incentivos si la compañía trabaja con base en un plan de pago de incentivos. También se obtienen ganancias base mayores cuando se pone en práctica el acoplamiento de máquinas, puesto que el operador tiene una mayor responsabilidad y puede ejercer un esfuerzo mental y físico mayores.

Cuando se elabora el diagrama de procesos hombre-máquina, en primer lugar el analista debe identificar el diagrama con un título tal como Diagrama de procesos hombre-máquina. Información adicional acerca de la identificación podría incluir el número de parte, el número de diagrama, la descripción de la operación, el método actual o propuesto, la fecha y el número de la persona que elabora el diagrama.

En razón de que los diagramas hombre-máquina se dibujan siempre a escala, el analista debe seleccionar una distancia en pulgadas o centímetros para estar de acuerdo con una unidad de tiempo

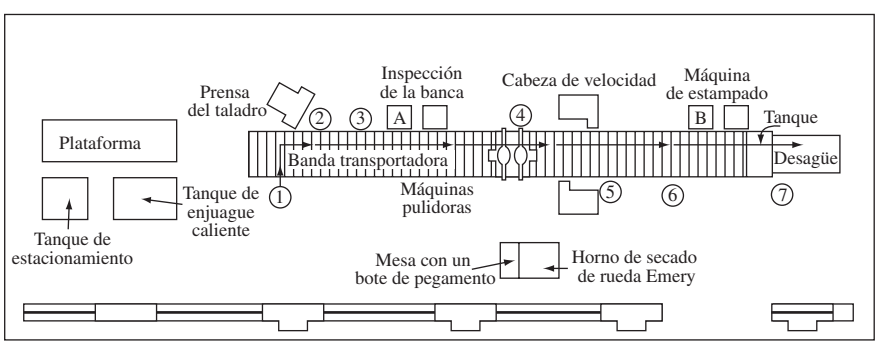


Figura 2.13 Diagrama de flujo de la distribución revisada de un grupo de operaciones del rifle Garand M1.

tal que el diagrama pueda distribuirse adecuadamente. A medida que el tiempo del ciclo de la operación que se analiza sea mayor, la distancia por minuto decimal será más corta. Una vez que se han establecido los valores exactos de la distancia, en pulgadas o centímetros por unidad de tiempo, el diagrama puede comenzar. El lado izquierdo muestra las operaciones y el tiempo para el empleado, mientras que el derecho muestra el tiempo trabajado y el tiempo ocioso de la máquina o máquinas. Una línea continua que se dibuja verticalmente representa el tiempo de trabajo del empleado. Un corte en la línea trabajo-tiempo vertical significa tiempo ocioso. De la misma manera, una línea vertical continua por debajo de cada encabezado de máquina indica el tiempo de operación de la máquina y un corte en la línea vertical de la máquina señala el tiempo ocioso de ésta. Una línea punteada por debajo de la columna máquina indica el tiempo de carga y de descarga de la máquina, durante el cual la máquina no está ociosa ni en operación (vea la figura 2.14).

El analista debe elaborar diagramas de todos los elementos de tiempo ocioso y ocupado tanto del trabajador como de la máquina a lo largo de la terminación del ciclo. La parte inferior del diagrama muestra el tiempo de trabajo total y el tiempo ocioso total del trabajador así como el tiempo de trabajo total y el tiempo ocioso de cada máquina. El tiempo productivo más el tiempo ocioso del trabajador debe ser igual al tiempo productivo más el tiempo ocioso de cada máquina con la que él opera.

Es necesario contar con valores elementales de tiempo precisos antes de que el diagrama del trabajador y la máquina puedan construirse. Dichos valores deben representar tiempos estándar que incluyan una tolerancia aceptable para la fatiga, retrasos inevitables y retardos del personal (consulte el capítulo 11 para obtener más detalles). El analista nunca debe utilizar lecturas generales del cronómetro para elaborar el diagrama.

El diagrama de proceso hombre-máquina terminado muestra claramente la áreas en las que ocurre el tiempo ocioso de máquina y el tiempo ocioso del trabajador. Por lo general, estas áreas son un buen lugar para comenzar a llevar a cabo mejoras. Sin embargo, el analista también debe comparar el costo de la máquina ociosa con el del trabajador ocioso. Es sólo cuando se considera el costo total que el analista puede recomendar con seguridad un método por encima de otro. En la siguiente sección se presentan las consideraciones económicas.

DIAGRAMAS DE PROCESOS DE GRUPO

El diagrama de procesos de grupo es, en un sentido, una adaptación del diagrama hombre-máquina. El diagrama de procesos hombre-máquina determina el número de máquinas más económico que un trabajador puede operar. Sin embargo, varios procesos e instalaciones son de tal magnitud que en lugar de que un solo trabajador opere varias máquinas, es necesaria la participación de varios trabajadores para operar una sola máquina de manera eficiente. El diagrama de procesos de grupo muestra la relación exacta entre los ciclos ociosos y operativos de la máquina y los tiempos ociosos y operativos por ciclo de los trabajadores que operan dicha máquina. Este diagrama revela las posibilidades de mejora mediante la reducción de los tiempos ociosos tanto para la máquina como el operador.

La figura 2.15 muestra un diagrama de proceso de grupo de un proceso en el que un gran número de horas de trabajo están ociosas, hasta 18.4 horas por turno de 8 horas. El diagrama también muestra que la compañía emplea dos o más operadores de los necesarios. Mediante la reubicación de algunos de los controles del proceso, la compañía pudo reasignar los elementos de trabajo por lo que cuatro trabajadores en lugar de seis pudieron operar de manera eficiente la máquina de extrusión. En el diagrama de procesos de grupo de la figura 2.16 se muestra una mejor operación del mismo proceso. Se alcanzaron ahorros de 16 horas por turno a través del uso de este diagrama.

2.3 HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS: RELACIONES ENTRE EL OPERADOR Y LA MÁQUINA

A pesar de que el diagrama de procesos hombre-máquina puede ilustrar el número de equipo que puede asignarse a un operador, a veces dicho número puede calcularse en mucho menor tiempo a través del desarrollo de un modelo matemático. La relación entre el operador y la máquina es, en general, de uno de estos tres tipos: 1) servicio sincrónico, 2) servicio totalmente aleatorio, y 3) una combinación de servicios sincrónico y aleatorio.

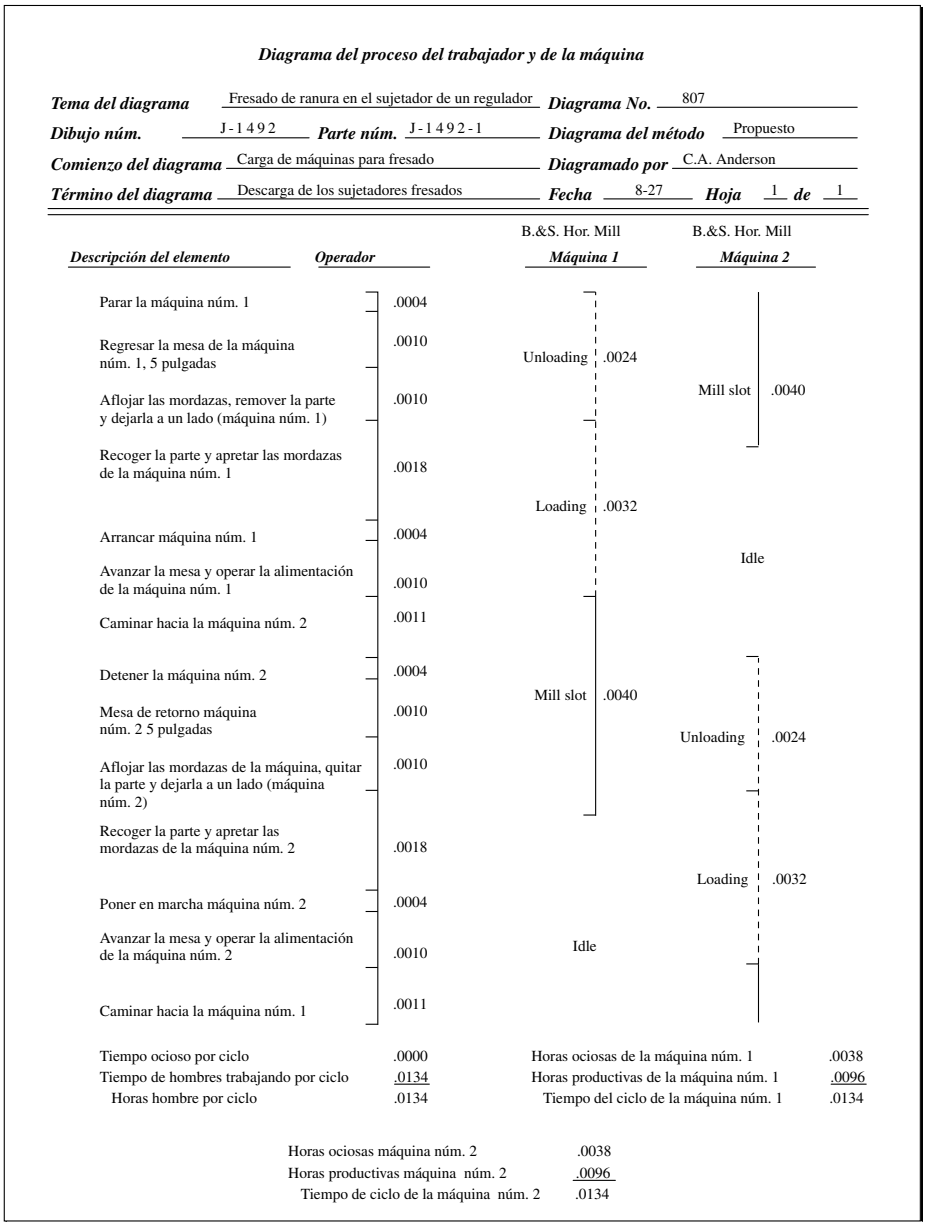


Diagrama del proceso del trabajador y de la máquina

Tema del diagrama Fresado de ranura en el sujetador de un regulador *Diagrama No.* 807
Dibujo núm. J-1492 *Parte núm.* J-1492-1 *Diagrama del método* Propuesto
Comienzo del diagrama Carga de máquinas para fresado *Diagramado por* C.A. Anderson
Término del diagrama Descarga de los sujetadores fresados *Fecha* 8-27 *Hoja* 1 *de* 1

Descripción del elemento	*Operador*	B.&S. Hor. Mill *Máquina 1*	B.&S. Hor. Mill *Máquina 2*
Parar la máquina núm. 1	.0004		
Regresar la mesa de la máquina núm. 1, 5 pulgadas	.0010	Unloading .0024	
Aflojar las mordazas, remover la parte y dejarla a un lado (máquina núm. 1)	.0010		Mill slot .0040
Recoger la parte y apretar las mordazas de la máquina núm. 1	.0018		
		Loading .0032	
Arrancar máquina núm. 1	.0004		
Avanzar la mesa y operar la alimentación de la máquina núm. 1	.0010		Idle
Caminar hacia la máquina núm. 2	.0011		
Detener la máquina núm. 2	.0004		
Mesa de retorno máquina núm. 2 5 pulgadas	.0010	Mill slot .0040	
Aflojar las mordazas de la máquina, quitar la parte y dejarla a un lado (máquina núm. 2)	.0010		Unloading .0024
Recoger la parte y apretar las mordazas de la máquina núm. 2	.0018		
			Loading .0032
Poner en marcha máquina núm. 2	.0004		
Avanzar la mesa y operar la alimentación de la máquina núm. 2	.0010	Idle	
Caminar hacia la máquina núm. 1	.0011		

Tiempo ocioso por ciclo	.0000	Horas ociosas de la máquina núm. 1	.0038
Tiempo de hombres trabajando por ciclo	.0134	Horas productivas de la máquina núm. 1	.0096
Horas hombre por ciclo	.0134	Tiempo del ciclo de la máquina núm. 1	.0134

Horas ociosas máquina núm. 2	.0038
Horas productivas máquina núm. 2	.0096
Tiempo de ciclo de la máquina núm. 2	.0134

Figura 2.14
Diagrama de proceso del trabajador y de la máquina para la operación de una fresadora.

SERVICIO SINCRÓNICO

La asignación de más de una máquina a un operador casi siempre resulta en el caso ideal, donde tanto el operador como la máquina están ocupados durante todo el ciclo. Dichos casos ideales se conocen como *servicio sincrónico*, y el número de máquina que se asignará puede calcularse como

$$n = \frac{l + m}{l}$$

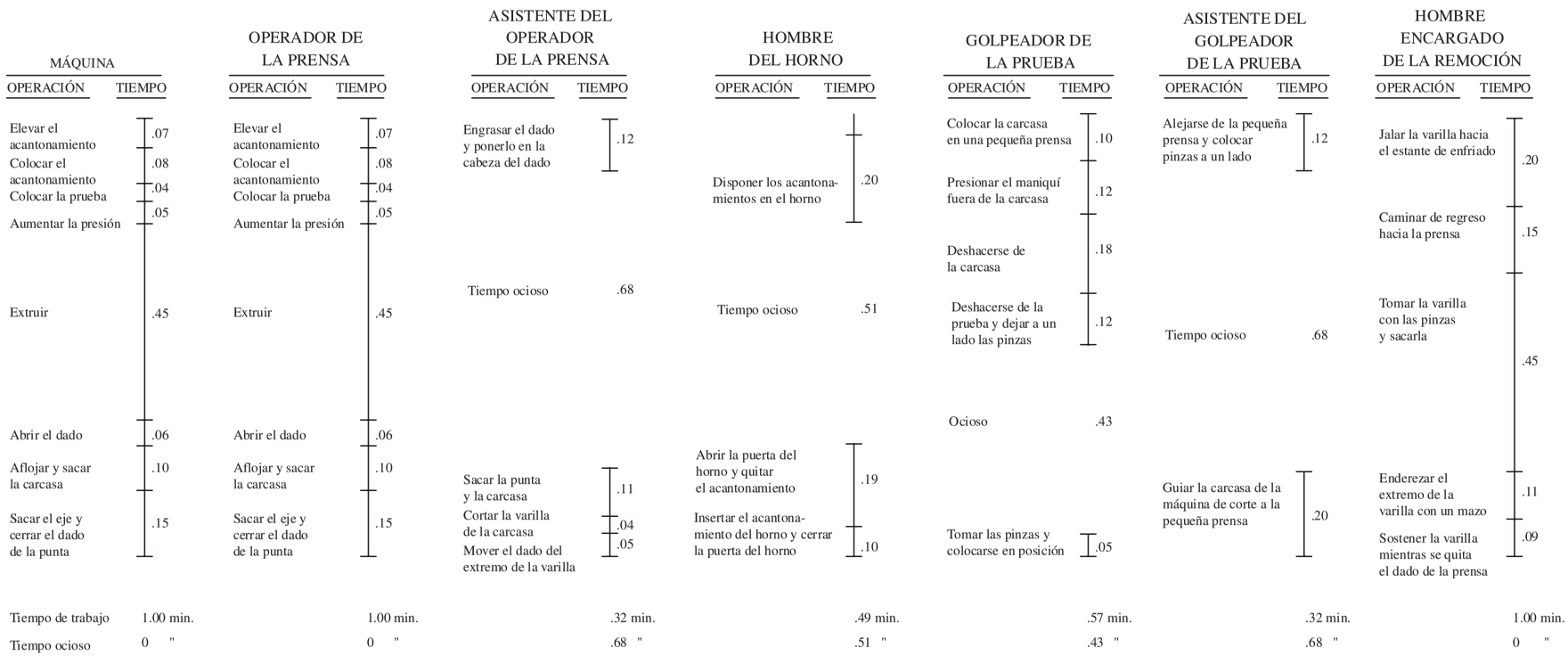
donde n = número de máquinas asignadas al operador
l = tiempo total de carga y descarga (servicio) por máquina
m = tiempo total de operación de la máquina (alimentación automática de energía)

Por ejemplo, suponga un tiempo total de un ciclo de 4 minutos para fabricar un producto, medido desde el comienzo de la descarga del producto anteriormente terminado hasta el final del tiempo de ciclo de la máquina. El servicio del operador, que incluye la descarga del producto terminado y la

DIAGRAMA DE PROCESOS DE GRUPO DEL MÉTODO ACTUAL

Extrusión hidráulica Departamento de prensado II Planta de Bellefonte, Pa.

Dibujado por B.W.N. 4-15- Diagrama núm. G-85



Tiempo ocioso = 2.30 horas-hombre por ciclo = 18.4 horas-hombre por día de 8 horas.

Figura 2.15 Diagrama de procesos de grupo del método de operación actual correspondiente a un proceso de extrusión hidráulico.

DIAGRAMA DE PROCESOS DE GRUPO. MÉTODO PROPUESTO
Prensa de extrusión hidráulica dept. II Planta de Bellefonte, Pa.
Elaborado por B.W.N 4-15 Diagrama G-85

MÁQUINA		MÁQUINA		ASISTENTE DEL OPERADOR DE LA PRENSA		GOLPEADOR DE LA PRUEBA		HOMBRE ENCARGADO DE LA REMOCIÓN	
OPERACIÓN	TIEMPO	OPERACIÓN	TIEMPO	OPERACIÓN	TIEMPO	OPERACIÓN	TIEMPO	OPERACIÓN	TIEMPO
Elevar el acantonamiento	.07	Elevar el acantonamiento	.07	Engrasar el dado y ponerlo en la punta del dado	.12	Colocar la carcasa en una pequeña prensa	.10	Jalar la varilla hacia el estante de enfriado	.20
Colocar el acantonamiento	.08	Colocar el acantonamiento	.08	Caminar hacia el horno	.05	Presionar la prueba fuera de la concha	.12	Caminar de regreso hacia la prensa	.15
Colocar la prueba	.04	Colocar la prueba	.04	Arreglar el acantonamiento en el horno	.20	Disponer de la carcasa	.18		
Aumentar la presión	.05	Aumentar la presión	.05	Regresar a la prensa	.05	Deshacerse de la prueba y dejar a un lado las pinzas	.12	Tomar la varilla con las pinzas y sacarla	.45
Extruir	.45	Extruir	.45	Tiempo ocioso	.09	Tiempo ocioso	.23		
				Abrir la puerta del horno y quitar el acantonamiento	.19				
				Insertar el acantonamiento del horno y cerrar la puerta del horno	.10				
Abrir el dado	.06	Abrir el dado	.06	Trabajar la punta y la carcasa	.11	Tomar las pinzas y colocarse en posición	.05		
Aflojar y sacar la carcasa	.10	Aflojar y sacar la carcasa	.10	Desprender la varilla de la carcasa	.04	Guiar la carcasa de la máquina de corte a la pequeña prensa	.20	Enderezar el extremo de la varilla con un mazo	.11
Sacar el eje y cerrar el dado de la punta	.15	Sacar el eje y cerrar el dado de la punta	.15	Jalar el dado fuera del extremo de la varilla	.05			Sostener la varilla mientras se quita el dado de la prensa	.09
Tiempo de trabajo	1.00 min.		1.00 min.		.91 min.		.77 min.		1.00 min.
Tiempo ocioso	0		0		.09 min.		.23 min.		0

Figura 2.16 Diagrama de proceso de grupo del método de operación propuesto para un proceso de extrusión hidráulico.

carga de la materia prima, es de 1 minuto, mientras que el tiempo del ciclo de la máquina automática es de 3 minutos. El servicio sincrónico daría como resultado la asignación de

$$n = \frac{1 + 3}{1} = 4 \text{ máquinas}$$

De manera gráfica, esta asignación parecería como se muestra en la figura 2.17, donde el operador se desplaza a la segunda máquina una vez que la primera ha recibido servicio. Para cuando se le ha dado servicio a la cuarta máquina, el operador necesitará regresar a la primera máquina para atenderla, puesto que el ciclo automático de la máquina habrá acabado justamente en ese momento.

Si el número de máquinas aumenta en este caso, se presentará interferencia entre máquinas y se tendrá una situación en la que una o más instalaciones estarán ociosas en una parte del ciclo de trabajo. Si el número de máquinas se reduce a algún número menor a 4, el operador estará ocioso en una parte del ciclo. En dichos casos, el costo mínimo total por pieza generalmente representa el criterio para una operación máxima.

Una dificultad adicional se presenta debido a la existencia de condiciones menos ideales. Es posible que el operador necesite caminar entre las máquinas o limpiarlas y ajustarlas. Este tiempo del operador también necesita tomarse en cuenta con base en el costo de cada máquina ociosa y el costo por hora del operador.

El número de máquinas que a un operador debe asignársele en condiciones realistas puede recalcularse mediante el número entero menor a partir de la ecuación revisada:

$$n_1 \leq \frac{l + m}{l + w}$$

donde n_1 = número entero más bajo

w = tiempo total del trabajador (por lo general, cuando no interactúa directamente con la máquina, es el tiempo que emplea cuando se dirige caminando a la máquina siguiente).

El tiempo del ciclo cuando el operador está trabajando n_1 máquinas es $l + m$, puesto que, en este caso, el operador no está ocupado todo el ciclo, pero el equipo se encuentra ocupado durante el ciclo completo.

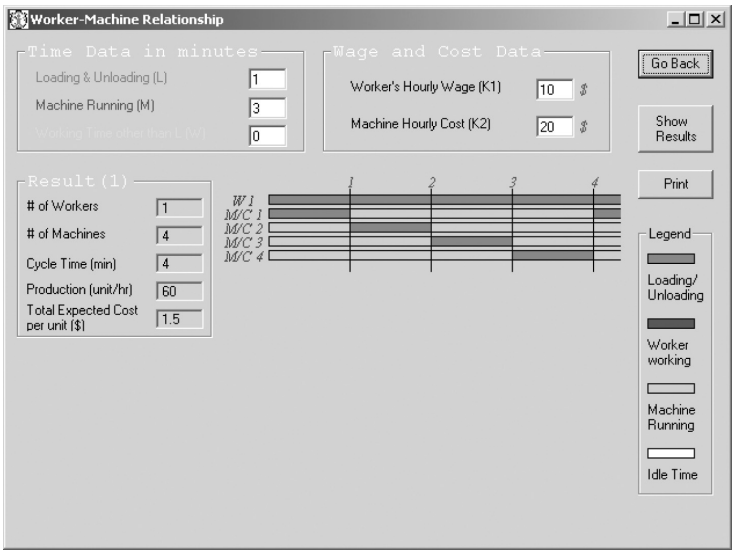


Figura 2.17 Asignación de servicio sincrónico para un operador y cuatro máquinas.

Utilizando n_1, podemos calcular el costo total esperado (TEC) de la manera siguiente:

$$\text{TEC}_{n_1} = \frac{K_1(l + m) + n_1K_2(l + m)}{n_1} = \frac{(l + m)(K_1 + n_1K_2)}{n_1} \tag{1}$$

donde: TEC = costo total esperado por unidad de producción de una máquina

K_1 = salario del operador por unidad de tiempo

K_2 = costo de la máquina por unidad de tiempo

Después de que se ha calculado este costo, se debe calcular el costo con $n_1 + 1$ máquinas asignadas al operador. En este caso, el tiempo del ciclo está gobernado por el ciclo de trabajo del operador, puesto que existe cierto tiempo de máquina ocioso. El tiempo del ciclo es ahora de $(n_1 + 1)(l + w)$. Sea $n_2 = n_1 + 1$. Entonces, el costo esperado total con n_2 equipos es

$$\text{TEC}_{n_2} = \frac{(K_1)(n_2)(l + w) + (K_2)(n_2)(n_2)(l + w)}{n_2} = (l + w)(K_1 + n_2K_2) \tag{2}$$

El número de máquinas asignadas depende de que n_1 o n_2 produzcan el costo esperado total más bajo por pieza.

EJEMPLO 2.1 Servicio sincrónico

Un operador emplea 1 minuto para dar servicio a una máquina y 0.1 minuto para llegar caminando a la siguiente. Cada máquina trabaja automáticamente durante 3 minutos, el operador gana 10.00 dólares/hora y la operación de las máquinas cuesta 20.00 dólares/hora. ¿Cuántas máquinas puede servir el operador?

El número óptimo de máquinas que el operador puede servir es

$$n = (l + m)/(l + w) = (1 + 3)/(1 + 0.1) = 3.6$$

Debido a que el número es fraccionario, nos deja dos opciones. Al operador pueden asignársele 3 máquinas (opción 1), en cuyo caso estará ocioso parte del tiempo. O pueden asignársele 4 máquinas (opción 2), en cuyo caso serán las máquinas la que estarán ociosas parte del tiempo. La mejor opción podría estar basada en la economía de la situación, esto es, en el costo mínimo por unidad.

En la opción 1, el costo de producción esperado a partir de la ecuación (1) es (dividido entre 60 para convertir las horas a minutos)

$$\text{TEC}_3 = (l + m)(K_1 + n_1K_2)/n_1 = (1 + 3)(10 + 3 \times 20)(3/60) = \$1.556/\text{unidad}$$

Un plan alterno consiste en calcular la velocidad de producción R por hora:

$$R = \frac{60}{l + m} \times n_1$$

La velocidad de producción se basa en que las máquinas representan el factor limitante (es decir, el trabajador está ocioso a veces) y en que las máquinas producen una unidad por máquina por ciclo total de 4.0 minutos (1.0 minutos de tiempo de servicio, 3.0 minutos de tiempo máquina). Con 3 máquinas que trabajen 60 min/h, la velocidad de producción es

$$R = \frac{60}{1 + 3} \times 3 = 45 \text{ unidades/h}$$

En consecuencia, el costo esperado es el costo de la mano de obra y de las máquinas dividido entre la velocidad de producción:

$$\text{TEC}_3 = (K_1 + n_1K_2)/R = (10 + 3 \times 20)/45 = \$1.556/\text{unidad}$$

En la opción 2, el costo de producción esperado, a partir de la ecuación (2) es

$$\text{TEC}_4 = (1 + w)(K_1 + n_2K_2) = (1 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.65/\text{unidad}$$

En el método alterno, la velocidad de producción se basa en el supuesto de que el trabajador es el factor limitante (es decir, las máquinas están ociosas todo el tiempo). Puesto que el operador puede producir una unidad por ciclo de 1.1 minutos (tiempo de servicio de 1.0 minuto y 0.1 minutos de tiempo de desplazamiento), la velocidad de producción (R) por hora de un método alterno es

$$R = \frac{60}{1 + w} = \frac{60}{1.1} = 54.54 \text{ unidades/h}$$

Por lo tanto, el costo esperado es el costo de las máquinas y la mano de obra dividido entre la velocidad de producción:

$$\text{TEC}_4 = (K_1 + n_1K_2)/R = (10 + 4 \times 20)/54.54 = \$1.65/\text{unidades}$$

Basado en el costo mínimo, la configuración con tres máquinas es la mejor. Sin embargo, si existe una demanda del mercado a precios de venta atractivos, las ganancias pueden maximizarse mediante el uso de una configuración con cuatro máquinas. Observe también que en este ejemplo, con un tiempo de desplazamiento de 0.1 minutos, la producción disminuye respecto a su valor ideal de 60 unidades/minuto (consulte la figura de la página 40).

Observe el efecto de reducir el tiempo de carga/descarga de 1 minuto a 0.9 minutos, una cantidad relativamente pequeña. El número óptimo de máquinas que el operador puede servir ahora es de

$$n = (l + m)/(l + w) = (0.9 + 3)/(0.9 + 0.1) = 3.9$$

Aunque el número es aún fraccionario, es muy cercano a 4, una cantidad realista. Si se le asignan al operador tres máquinas (opción 1), estará ocioso una gran parte del tiempo, aumentando de 0.7 a 0.9 minutos o casi 25% del tiempo. El costo de producción esperado a partir de la ecuación (1) es (incluye el número 60 para convertir horas en minutos)

$$\text{TEC}_3 = (l + m)(K_1 + n_1K_2)/n_1 = (0.9 + 3)(10 + 3 \times 20)(3/60)$$

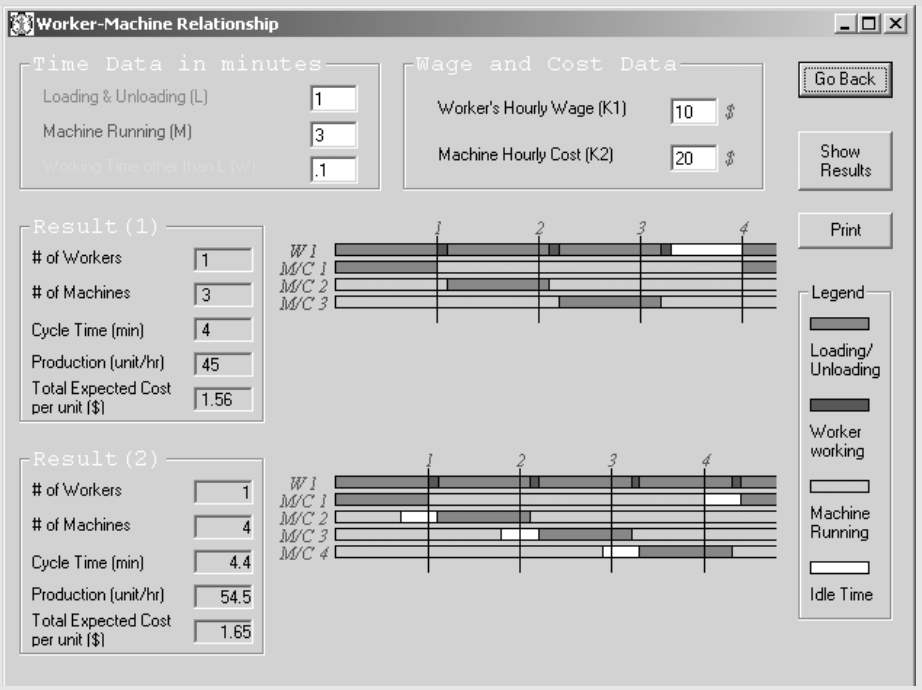
$$= \$1.517/\text{unidades}$$

El método alterno nos da una velocidad de producción de

$$R = \frac{60}{l + m} \times n_1 = \frac{60}{3.9} \times 3 = 46.15 \text{ unidades/h}$$

El costo esperado es el costo de las máquinas y la mano de obra dividido entre la velocidad de producción:

$$\text{TEC}_3 = (K_1 + n_1K_2)/R = (10 + 3 \times 20)/46.5 = \$1.517/\text{unidad}$$



Si al trabajador se le asigna el número más realista de 4 máquinas (opción 2), el tiempo ocioso de la máquina más costosa disminuye de 0.4 a 0.1 minutos. El costo de producción esperado a partir de la ecuación (2) es

$$\text{TEC}_4 = (l + w)(K_1 + n_2K_2) = (0.9 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.50/\text{unidad}$$

El plan alterno nos da una velocidad de producción R por hora de

$$R = \frac{60}{l + w} = \frac{60}{1.0} = 60 \text{ unidades/h}$$

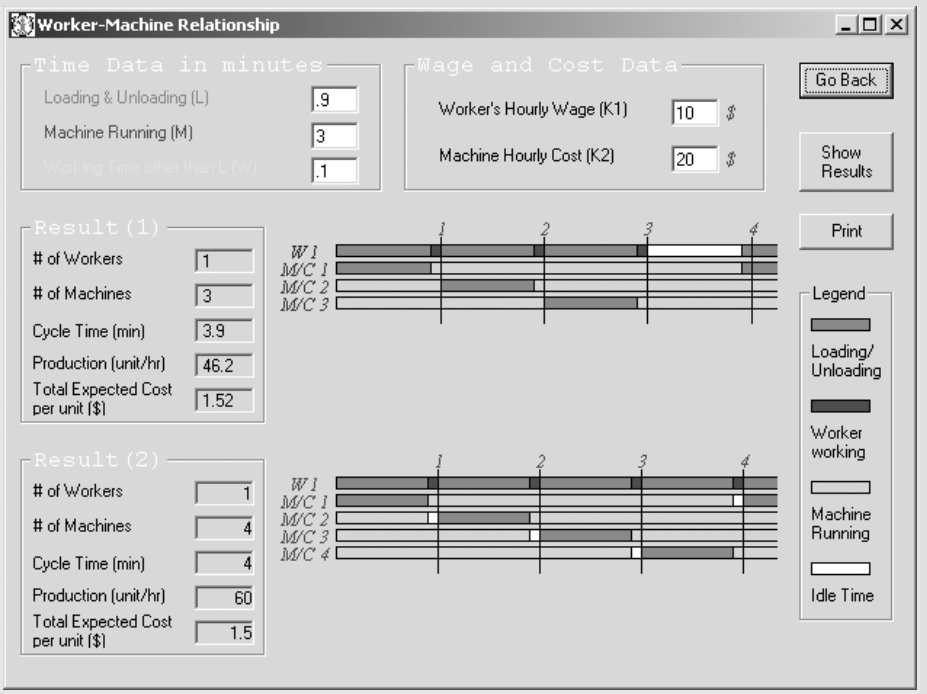
El costo esperado es el costo de la mano de obra y de las máquinas dividido entre la velocidad de producción:

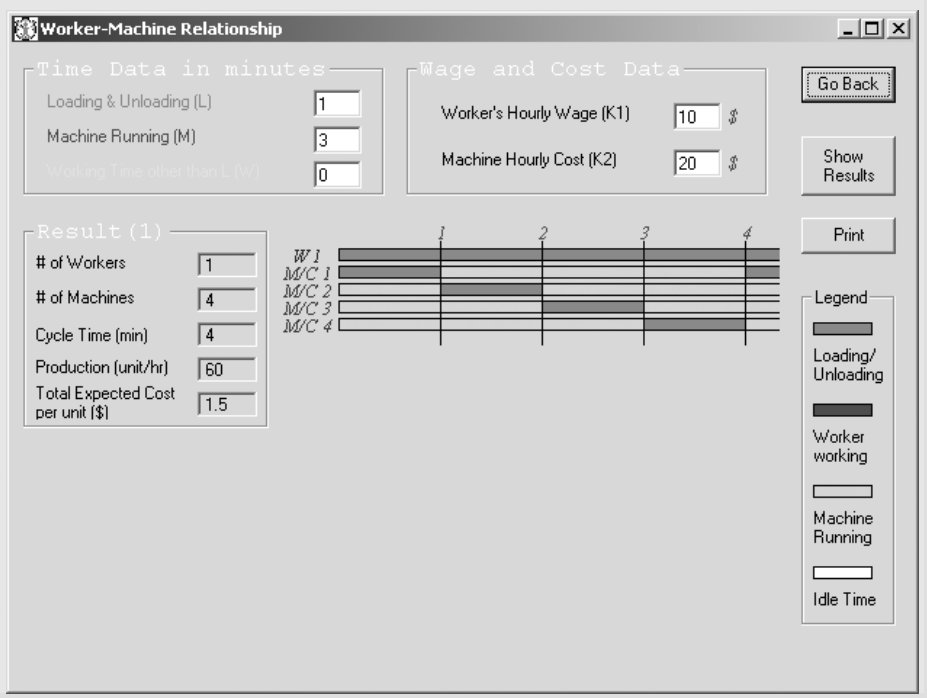
$$\text{TEC}_4 = (K_1 + n_1K_2)/R = (10 + 4 \times 20)/60 = \$1.50/\text{unidad}$$

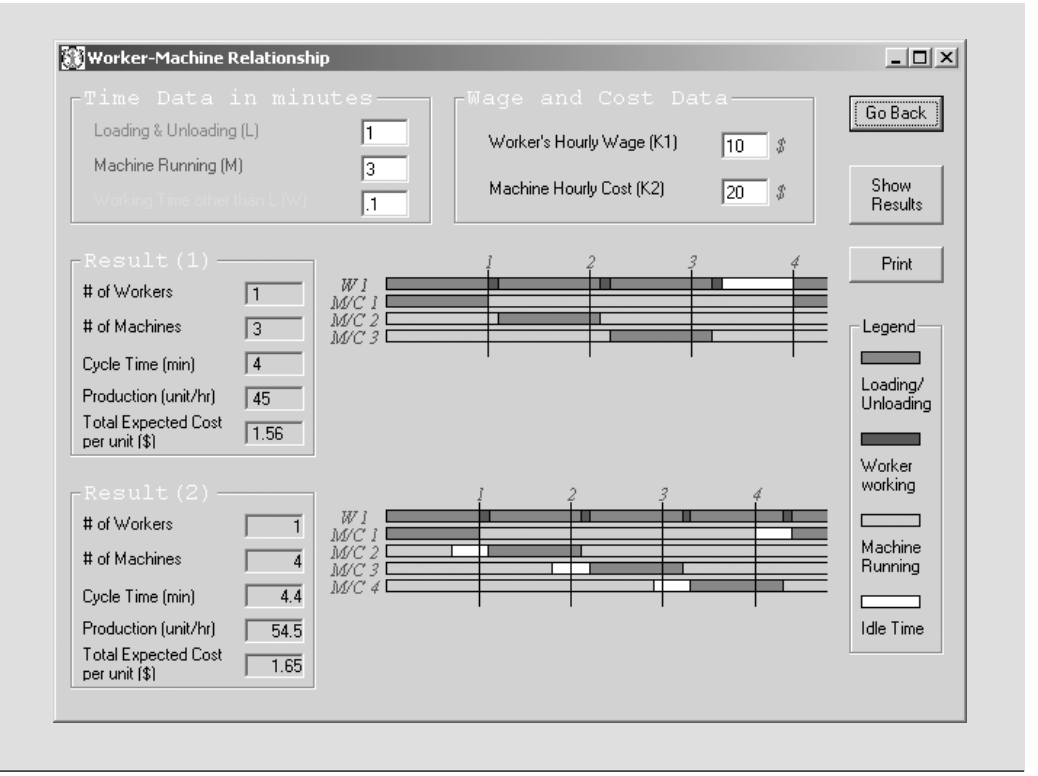
Con base en el costo más bajo y al tiempo ocioso mínimo, la configuración con 4 máquinas es la mejor. Observe que una reducción de 10% del tiempo de carga/descarga (de 1 a 0.9 minutos) nos genera varias mejoras positivas:

- Un aumento de 10% en la producción (60 comparado con 54.54 unidades/hora).
- Una reducción del tiempo ocioso del operador de 0.7 min (17.5% del tiempo del ciclo) en el primer escenario a 0.1 minutos de las máquinas en el segundo escenario.
- Una disminución de 3.6% en los costos unitarios de 1.556 a 1.50 dólares por unidad.

Esto demuestra la importancia de reducir el tiempo de carga o el de configuración de la máquina, tema que se analizará con más detalle en el capítulo 3. Observe también que la reducción del tiempo de desplazamiento en una cantidad comparable (0.1 minutos el cual, en este caso, lo elimina totalmente) resulta en el caso ideal que se muestra más adelante o en el de la figura 2.17 con el mismo costo unitario de 1.50 dólares.







SERVICIO ALEATORIO

Las situaciones de *servicio totalmente aleatorio* son aquellos casos en los que no se conoce cuándo se debe proporcionar servicio o cuánto tiempo dura el servicio a un equipo. Por lo general, los valores promedio se conocen o pueden ser determinados; con dichos promedios, las leyes de probabilidad pueden proporcionar una herramienta útil para determinar el número de máquinas que se debe asignar a un solo operador.

Los términos sucesivos de la expansión binomial proporcionan una aproximación útil de la probabilidad de 0, 1, 2, 3,…, n máquinas fuera de operación (donde el valor de n es relativamente pequeño), suponiendo que cada máquina está fuera de servicio en tiempos aleatorios durante el día y que la probabilidad de que estén fuera de servicio sea p y la probabilidad de que estén en operación sea $q = 1 - p$. Cada término de la expansión binomial puede representarse como una probabilidad m (de n) máquinas fuera de servicio:

$$P(m \text{ de } n) = \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m}$$

Como ejemplo, determinemos la proporción mínima de tiempo de máquina perdido de varios tornos de torreta asignados a un operador donde la máquina promedio trabaja sin prestársele atención 60% del tiempo. El tiempo de atención del operador (la máquina está fuera de servicio o requiere servicio) a intervalos irregulares es 40% en promedio. El analista estima que deben asignarse tres tornos de torreta por operador en este tipo de trabajo. En esta configuración, la probabilidad de que m (de n) máquinas estén fuera de servicio será como sigue:

Máquinas fuera de servicio *m*	Probabilidad
0	$\frac{3!}{0!(3-0)!}(0.4^0)\,(0.6^3) = (1)(1)(0.216) = 0.216$
1	$\frac{3!}{1!(3-1)!}(0.4^1)\,(0.6^2) = (3)(0.4)(0.36) = 0.432$
2	$\frac{3!}{2!(3-2)!}(0.4^2)\,(0.6^1) = (3)(0.16)(0.6) = 0.288$
3	$\frac{3!}{3!(3-3)!}(0.4^3)\,(0.6^0) = (1)(0.064)(1) = 0.064$

Mediante el uso de este método puede determinarse la proporción del tiempo en la que algunas máquinas estarán fuera de servicio y el tiempo perdido resultante de un operador de tres máquinas puede calcularse fácilmente. En este ejemplo, tenemos lo siguiente:

Núm. de máquinas fuera de servicio	Probabilidad	Horas máquina perdidas en un día de 8 horas
0	0.216	0
1	0.432	0*
2	0.288	(0.288)(8) = 2.304
3	0.064	(2)(0.064)(8) = 1.024
	1.000	3.328

*Puesto que sólo una máquina está fuera de servicio a la vez, el operador puede atender la máquina que está en esa situación.

$$\text{Proporción del tiempo perdido por máquina} = \frac{3.328}{24.0} = 13.9 \text{ por ciento}$$

Se pueden hacer cálculos similares en el caso de más o menos asignaciones de máquinas, con el fin de determinar la asignación que da como resultado el menor tiempo fuera de servicio de éstas. La asignación más satisfactoria es generalmente la configuración que tenga el menor costo total esperado por pieza, mientras que el costo esperado total por pieza de una configuración dada se calcula mediante la expresión

$$\text{TEC} = \frac{K_1 + nK_2}{R}$$

donde K_1 = velocidad del operador en horas
K_2 = velocidad de la máquina en horas
n = número de máquinas asignadas
R = velocidad de producción, piezas de n máquinas por hora

La velocidad de producción, en piezas por hora, de n máquinas se calcula con el tiempo promedio de máquina que se requiere por pieza, el tiempo promedio de servicio de máquina por pieza y el tiempo muerto esperado o tiempo perdido por hora.

Por ejemplo, con la ayuda de un operador al que se le han asignado cinco máquinas, un analista puede determinar que el tiempo de maquinado por pieza fue de 0.82 h, el tiempo de servicio a la máquina por pieza fue de 0.17 horas y el tiempo perdido por máquina fue en promedio de 0.11 horas por hora. Por lo tanto, cada máquina estuvo disponible para realizar trabajo productivo solamente 0.89 horas cada hora. El tiempo promedio que se necesita para producir una pieza por máquina será de

$$\frac{0.82 + 0.17}{0.89} = 1.11$$

Por lo tanto, las cinco máquinas producirán 4.5 piezas por hora. Con un costo operador-hora de $12 y un costo hora-máquina de $22, tenemos un costo total esperado por pieza de

$$\frac{\$12.00 + 5(\$22.00)}{4.5} = \$27.11$$

EJEMPLO 2.2 Servicio aleatorio

Un operador debe dar servicio a tres máquinas que tienen un tiempo fuera de servicio esperado de 40%. Cuando está trabajando, cada máquina puede producir 60 unidades/hora. Al operador se le paga $10.00/hora y una máquina cuesta $60.00/hora. ¿Vale la pena contratar a otro operador para que mantenga a las máquinas en operación?

Caso A. Un operador

Máquinas fuera de servicio *m*	**Probabilidad**	**Horas máquina perdidas por día de 8 horas**
0	$\frac{3!}{0!\,3!}(0.4)^0(0.6)^3 = 0.216$	0
1	$\frac{3!}{1!\,2!}(0.4)^1(0.6)^2 = 0.432$	0
2	$\frac{3!}{2!\,1!}(0.4)^2(0.6)^1 = 0.288$	$0.288 \times 8 = 2.304$
3	$\frac{3!}{3!\,0!}(0.4)^3(0.6)^0 = 0.064$	$0.064 \times 16 = 1.024$

Considerando que en un día de 8 horas se pierden un total de 3.328 horas productivas (2.304 + 1.024), sólo pueden producirse 1 240.3 unidades (20.672×60) a un promedio de 155.04 por hora. El costo unitario es

$$\text{TEC} = (10 + 3 \times 60)/155.04 = \$1.23/\text{unidad}$$

Caso B. Dos operadores

Máquinas fuera de servicio *m*	**Probabilidad**	**Horas máquina perdidas por día de 8 horas**
0	$\frac{3!}{0!\,3!}(0.4)^0(0.6)^3 = 0.216$	0
1	$\frac{3!}{1!\,2!}(0.4)^1(0.6)^2 = 0.432$	0
2	$\frac{3!}{2!\,1!}(0.4)^2(0.6)^1 = 0.288$	0
3	$\frac{3!}{3!\,0!}(0.4)^3(0.6)^0 = 0.064$	$0.064 \times 8 = 0.512$

Hay un mejoramiento considerable del caso A. Puesto que sólo se pierden 0.512 horas de producción en un día de 8 horas, la producción aumenta a 1 409.28 unidades (23.488×60), esto es, a un promedio de 176.16 por hora. El costo unitario es

$$\text{TEC} = (2 \times 10 + 3 \times 60)/176.16 = \$1.14/\text{unidad}$$

Por lo tanto, es más eficiente desde el punto de vista económico contratar a otro operador y mantener las máquinas en operación.

Observe que contratar a un tercer operador para mantener las tres máquinas operando todo el tiempo no sería eficiente desde el punto de vista de las economías que se podrían obtener. Aunque la producción total aumenta marginalmente, el costo total aumenta más y el costo unitario se calcula como sigue

$$\text{TEC} = (3 \times 10 + 3 \times 60)/180 = \$1.17/\text{unidad}$$

RELACIONES COMPLEJAS

Las combinaciones de servicio sincrónico y aleatorio son quizás el tipo más común de relación entre operador y máquina. En este caso, el tiempo de servicio es relativamente constante, a pesar de que las máquinas son operadas de manera aleatoria. Además, se supone que el tiempo entre fallas tiene una distribución particular. A medida que el número de máquinas aumenta y la relación entre el operador y la máquina se hace más compleja, la interferencia con la máquina y, como consecuencia, el tiempo de retardo, aumentan. En la práctica, la interferencia con la máquina predominantemente representa de 10 a 30% del tiempo total de trabajo, con valores extremos de hasta 50%. Se han desarrollado varios métodos para lidiar con dichas situaciones.

Uno de ellos supone una carga de trabajo esperada por el operador basada en el número de máquinas asignadas y en los tiempos promedio de operación de las máquinas y los tiempos promedios de servicio. Para un total de hasta seis máquinas, se recomienda el uso de las curvas empíricas que se muestran en la figura 2.18.

Para siete o más máquinas, puede utilizarse la *fórmula de Wright* (Wright, Dubai y Freeman, 1936):

$$I = 50\{\sqrt{[(1 + X - N)^2 + 2N]} - (1 + X - N)\}$$

donde I = interferencia, expresada como el porcentaje del tiempo medio de servicio

X = relación entre el tiempo promedio de operación de la máquina y el tiempo promedio de servicio de la máquina

N = número de máquinas asignadas a un operador

En el ejemplo 2.3 se muestra una aplicación de esta fórmula.

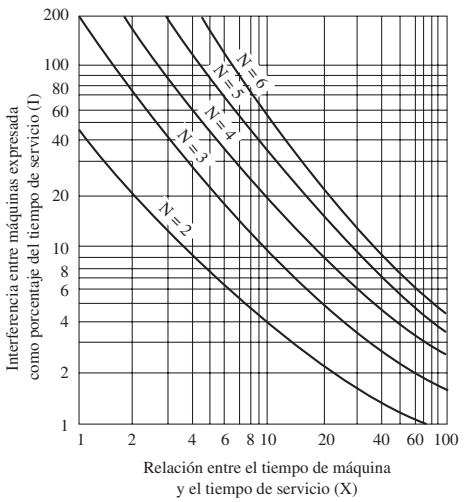


Figura 2.18
La interferencia entre máquinas expresada como porcentaje del tiempo de servicio cuando el número de máquinas asignadas a un operador es seis o menor.

EJEMPLO 2.3 Cálculo del tiempo de interferencia con las máquinas

En la producción de plumas, a un operador se le asignan 60 ejes. El tiempo promedio de operación de la máquina por paquete, determinado mediante un estudio con cronómetro, es de 150 minutos. El tiempo promedio estándar de servicio por paquete, también desarrollado mediante un estudio de tiempos, es de 3 minutos. El cálculo de la interferencia con la máquina, expresado como un porcentaje del tiempo promedio de atención del operador es

$$I = 50\{\sqrt{[(1 + X - N)^2 + 2N]} - (1 + X - N)\}$$

$$= 50\left[\sqrt{\left(1 + \frac{150}{3.00} - 60\right)^2 + 120} - \left(1 + \frac{150}{3.00} - 60\right)\right]$$

$$I = 50[\sqrt{(1 + 50 - 60^2) + 120} - (1 + 50 - 60)]$$

$$I = 1.159\%$$

Por lo tanto, tendremos

Tiempo de operación de la máquina	150.0 min
Tiempo de servicio	3.0 min
Tiempo de interferencia con la máquina	$11.6 \times 3.0 = 34.8$ min

Mediante el uso de la teoría de colas, y bajo el supuesto de que el lapso de tiempo entre los tiempos muertos tiene una distribución exponencial, Ashcroft (1950) extendió el método anterior y desarrolló tablas para determinar los tiempos de interferencia de las máquinas. Dichos tiempos se muestran en la tabla A3-13 (apéndice 3) y proporcionan valores de tiempo de operación de las máquinas y de tiempo de interferencia entre ellas para valores de la relación de servicio k:

$$k = l/m$$

donde l = tiempo de servicio

m = tiempo de operación de las máquinas

El tiempo total del ciclo para producir una pieza es

$$c = m + l + i$$

donde c = tiempo total del ciclo

i = tiempo de interferencia con las máquinas

Observe que los valores del tiempo de operación de la máquina y el tiempo de interferencia entre máquinas de la tabla A3-13 están dados como porcentaje del tiempo total del ciclo. Además, cualquier tiempo de desplazamiento o tiempo de trabajador w debe incluirse como parte del tiempo de servicio. El ejemplo 2.4 muestra el *método de Ashcroft* para calcular el tiempo de interferencia con las máquinas.

EJEMPLO 2.4 Cálculo de la interferencia entre máquinas mediante el uso del método de Ashcroft

En referencia al ejemplo 2.3:

$$k = l/m = 3/150 = 0.02$$

$$N = 60$$

De la tabla A3-13, del apéndice 3, con tiempo de servicio exponencial y $k = 0.02$ y $N = 60$, tenemos un tiempo de interferencia entre máquinas de 16.8% del tiempo del ciclo. Tenemos $T_i = 0.168c$, donde c es el tiempo del ciclo para producir una unidad por eje. Entonces,

$$c = m + l + i$$
$$c = 150 + 3.00 + 0.168c$$
$$0.832c = 153$$
$$c = 184 \text{ minutos}$$

y

$$T_i = 0.168c = 30.9 \text{ minutos}$$

El tiempo de interferencia calculado mediante la ecuación (34.8 minutos, ejemplo 2.3) coincide en buena medida con el desarrollado aquí mediante el modelo de la teoría de colas. Sin embargo, a medida que n (el número de máquinas asignadas) es menor, la diferencia proporcional entre las dos técnicas aumenta.

BALANCEO DE LÍNEA

El problema de determinar el número ideal de operadores que se deben asignar a una línea de producción es análogo al que se presenta cuando se desea calcular el número de operadores que se deben asignar a una estación de trabajo; el diagrama de procesos de grupo resuelve ambos problemas. Quizá la situación *de balanceo de línea* más elemental, que se encuentra muy a menudo, es uno en el que varios operadores, cada uno de los cuales lleva a cabo operaciones consecutivas, trabajan como si fueran uno solo. En dicha situación, la velocidad de producción depende del operador más lento. Por ejemplo, tenemos una línea con cinco operadores que ensamblan montajes de hule enlazados antes de entrar al proceso de curado. Las tareas específicas del trabajo podrían ser las siguientes: Operador 1, 0.52 minutos: operador 2, 0.48 minutos; operador 3, 0.65 minutos; operador 4, 0.41 minutos; operador 5, 0.55 minutos. El operador 3 establece el paso, como lo evidencia lo siguiente:

Operador	Minutos estándar para llevar a cabo la operación	Tiempo de espera con base en el operador más lento	Tiempo estándar (minutos)
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	—	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.10	0.65
Totales	2.61		3.25

La eficiencia de esta línea puede calcularse como la relación entre la cantidad de minutos estándar reales y el total de minutos estándar permitidos, es decir

$$E = \frac{\sum_{1}^{5} \text{SM}}{\sum_{1}^{5} \text{AM}} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

donde E = eficiencia

SM = minutos estándar por operación

AM = minutos estándar permitidos por operación

Los detalles acerca de los tiempos estándar se analizarán en el capítulo 9.

Algunos analistas prefieren considerar el tiempo ocioso en porcentaje (% ocioso):

$$\%\text{ocioso} = 100 - E = 20\%$$

En una situación de la vida real similar a este ejemplo, existe la oportunidad de lograr ahorros significativos. Si un analista puede ahorrar 0.10 minutos en el operador 3, los ahorros totales por ciclo no son de 0.10 minutos, sino que son de 0.10×5, esto es, 0.50 minutos.

Sólo en las situaciones más inusuales podría existir una línea perfectamente balanceada; esto es, los minutos estándar para llevar a cabo una operación serían idénticos para cada miembro del equipo. Los "minutos estándar para llevar a cabo una operación" en realidad no es un estándar. Es sólo un estándar para la persona que lo estableció. Por lo tanto, en nuestro ejemplo, donde el operador 3 tiene un tiempo estándar de 0.65 minutos para llevar a cabo la primera operación, un analista de medición de trabajo diferente pudo haber asignado un valor tan pequeño como 0.61 minutos o tan grande como 0.69 minutos. El rango de estándares establecidos por diferentes analistas de medición del trabajo acerca de la misma operación puede ser aún mayor que el rango sugerido. La cuestión es que ya sea que el estándar generado haya sido de 0.61, 0.65 o 0.69, el operador típico consciente debió haber tenido un poco de dificultad para cumplir con el estándar. De hecho, el operador probablemente mejorará el estándar en vista del desempeño de los operadores de la línea con menor contenido de trabajo en sus asignaciones. Los operadores que tienen un tiempo de espera basado en la producción del operador más lento casi nunca están esperando. En lugar de eso, reducen el tiempo de sus movimientos para utilizar el número de minutos estándar establecido por el operador más lento.

El número de operadores necesarios para fijar la velocidad de producción requerida puede calcularse mediante

$$N = R \times \Sigma \text{AM} = R \times \frac{\Sigma \text{SM}}{E}$$

donde N = número de operadores necesarios en la línea

R = velocidad de producción que se desea

Por ejemplo, suponga que tenemos un nuevo diseño para el cual deseamos establecer una línea de ensamblado. Están involucradas ocho operaciones distintas. La línea debe producir 700 unidades diarias (o 700/480 = 1.458 unidades/minuto), y debido a que queremos minimizar el almacenamiento, no deseamos producir más de 700 unidades/día. Las ocho operaciones involucran los minutos estándar siguientes con base en datos estándares existentes: Operación 1, 1.25 minutos; operación 2, 1.38 minutos; operación 3, 2.58 minutos; operación 4, 3.84 minutos; operación 5, 1.27 minutos; operación 6, 1.29 minutos; operación 7, 2.48 minutos; y operación 8, 1.28 minutos. Para planear esta línea de ensamblado con el fin de lograr la configuración más económica, calculamos el número de operadores que se requieren para un nivel de eficiencia determinado (idealmente, 100%), de la manera siguiente:

$$N = 1.458 \times (1.25 + 1.38 + 2.58 + 3.84 + 1.27 + 1.29 + 2.48 + 1.28)/1.00 = 22.4$$

Para obtener una eficiencia más realista de 95%, el número de operadores debe ser de 22.4/0.95 = 23.6.

Puesto que es imposible tener seis décimas de operador, es necesario configurar la línea utilizando 24 operadores. Un método alterno sería utilizar operadores a tiempo parcial que trabajen por hora.

A continuación calculamos el número de operadores que se utilizarán en cada una de las ochos operaciones específicas. Puesto que se requieren de 700 unidades de trabajo al día, será necesario producir 1 unidad en aproximadamente 0.685 minutos (480/700). Calculamos el número de operadores necesarios para cada operación dividiendo el número de minutos permitidos para producir una pieza entre los minutos estándar para cada operación, de la manera siguiente:

Operación	Minutos estándar	Minutos estándar Minutos/unidad	Número de operadores
Operación 1	1.25	1.83	2
Operación 2	1.38	2.02	2
Operación 3	2.58	3.77	4
Operación 4	3.84	5.62	6
Operación 5	1.27	1.86	2
Operación 6	1.29	1.88	2
Operación 7	2.48	3.62	4
Operación 8	1.28	1.87	2
Total	15.37		24

Para identificar la operación más lenta, dividimos el número estimado de operadores entre los minutos estándar asignados a cada una de las ocho operaciones. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Operación 1	$1.25/2 = 0.625$
Operación 2	$1.38/2 = 0.690$
Operación 3	$2.58/4 = 0.645$
Operación 4	$3.84/6 = 0.640$
Operación 5	$1.27/2 = 0.635$
Operación 6	$1.29/2 = 0.645$
Operación 7	$2.48/4 = 0.620$
Operación 8	$1.28/2 = 0.640$

Por lo tanto, la operación 2 determina la salida de la línea. En este caso, ésta es

$$\frac{2 \text{ trabajadores} \times 60 \text{ minutos}}{1.38 \text{ minutos estándar}} = 87 \text{ piezas o } 696 \text{ piezas/día}$$

Si este ritmo de producción no es adecuado, se necesitará incrementar el ritmo de producción del operador 2, objetivo que puede lograrse mediante

1. Uno o ambos operarios trabajen en la segunda operación tiempo extra, lo que acumula un pequeño inventario en esta estación de trabajo.
2. Mediante el empleo de los servicios de un tercer operador de tiempo parcial en la estación de trabajo de la operación 2.
3. A través de la reasignación de parte del trabajo de la operación 2 a la operación 1 o a la operación 3. (Sería preferible asignar más trabajo a la operación 1.)
4. Mejorar el método en la operación 2 para reducir el tiempo del ciclo de esta operación.

En el ejemplo anterior, dados el tiempo de ciclo y los tiempos de las operaciones, un analista puede determinar el número de operadores necesarios para que cada operación cumpla con un horario de producción deseado. El problema de la asignación de trabajo en una línea de producción también puede tener por objetivo minimizar el número de estaciones de trabajo, dado el tiempo deseado del ciclo; o, dado el número de estaciones de trabajo, asignar los elementos de trabajo a las estaciones de trabajo, dentro de las restricciones establecidas, con el fin de minimizar el tiempo del ciclo.

Una estrategia importante para balancear la línea de ensamblado consiste en compartir los de elementos de trabajo. Dos o más operadores cuyo ciclo de trabajo incluya tiempo ocioso podrían compartir el trabajo con otra estación, para hacer más eficiente a toda la línea. Por ejemplo, la figura 2.19 muestra una línea de ensamblado que involucra seis estaciones de trabajo. La estación 1 cuenta con tres elementos de trabajo —A, B y C— para un total de 45 segundos. Observe que los elementos de trabajo B, D y E no pueden comenzar hasta que A haya terminado y que B, D y E pueden llevarse

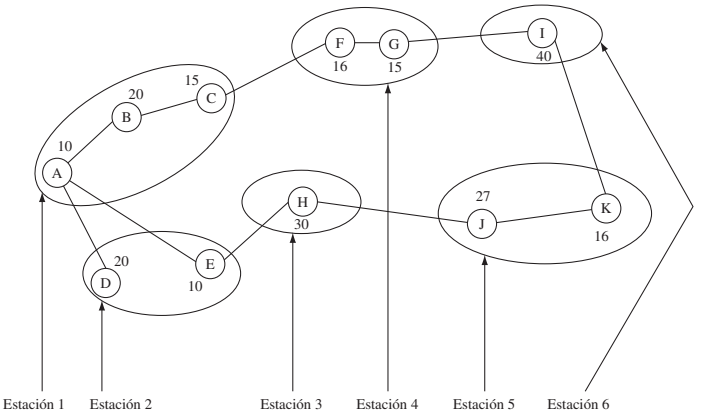


Figura 2.19 Línea de ensamblado con seis estaciones de trabajo.

a cabo en cualquier orden. Puede ser posible compartir el elemento H entre las estaciones 2 y 4, con sólo 1 segundo de incremento del tiempo del ciclo (de 45 a 46 seg.), mientras que se ahorraron 30 seg por unidad ensamblada. Es necesario observar que compartir los elementos puede dar como resultado un aumento en el manejo del material, puesto que las partes pueden tener que ser entregadas en más de un lugar. Además, este tipo de colaboración puede implicar costos adicionales asociados con la duplicación del herramental.

Una segunda posibilidad para mejorar el balance de una línea de producción consiste en dividir un elemento de trabajo. Con referencia de nuevo a la figura 2.19, puede ser posible dividir el elemento H, en lugar de enviar a la estación 2 la mitad de las partes y la otra mitad a la estación 4.

En muchas ocasiones no resulta económico dividir un elemento. Un ejemplo podría ser colocar ocho tornillos de máquinas con un desarmador de potencia. Una vez que el operador ha ubicado la parte en un accesorio, ha logrado controlar su herramienta y la ha puesto a trabajar, será generalmente mucho mejor poner en su lugar los ocho tornillos, en lugar de sólo hacerlo con una parte de ellos y dejar el resto a otro operador. Siempre que los elementos puedan dividirse, las estaciones de trabajo pueden balancearse mejor como resultado de la división.

El procedimiento siguiente para resolver un problema de balanceo en una línea de ensamblado se basa en el método de Helgeson y Birnie (1961). El cual asume lo siguiente:

1. Los operadores no pueden moverse de una estación de trabajo a otra para ayudar a conservar la carga de trabajo uniforme.
2. Los elementos de trabajo que se han establecido son de tal magnitud que divisiones adicionales minimizarían de forma sustancial la eficiencia del desempeño del elemento de trabajo. (Una vez establecidos, los elementos de trabajo deben identificarse mediante un código.)

El primer paso para solucionar el problema consiste en determinar la secuencia de los elementos de trabajo individuales. A medida que las restricciones sean menores respecto al orden en el que pueden realizarse los elementos de trabajo, mayor será la probabilidad de que se pueda lograr un balance favorable en las asignaciones laborales. Para determinar la secuencia de los elementos de trabajo, el analista contesta la pregunta siguiente: ¿Qué otros elementos de trabajo, si existen, deben terminarse antes de que este elemento de trabajo pueda comenzar? Esta pregunta se aplica a cada elemento con el fin de establecer un diagrama de precedencia para la línea de producción que se estudia (consulte la figura 2.20). Un diseño funcional, la disponibilidad de métodos de producción, el espacio físico, etc., pueden presentar restricciones respecto a la secuencia de los elementos de trabajo.

Una segunda consideración en el problema de la asignación de trabajo en una línea de producción consiste en las restricciones zonales. Una zona representa una subdivisión que puede o no estar físicamente separada o diferenciada de las demás zonas del sistema. Confinar ciertos elementos de trabajo a una zona determinada puede justificarse, así como congregar tareas similares, condiciones de trabajo o pago de salarios. O las restricciones zonales pueden ayudar a identificar físicamente etapas específicas de un componente como, por ejemplo, mantenerlo en una cierta posición mientras se llevan a cabo ciertos elementos de trabajo. Como ejemplo, todos los elementos de trabajo relacionados con un lado de un componente deben actuar en cierta zona antes de que dicho componente sea terminado.

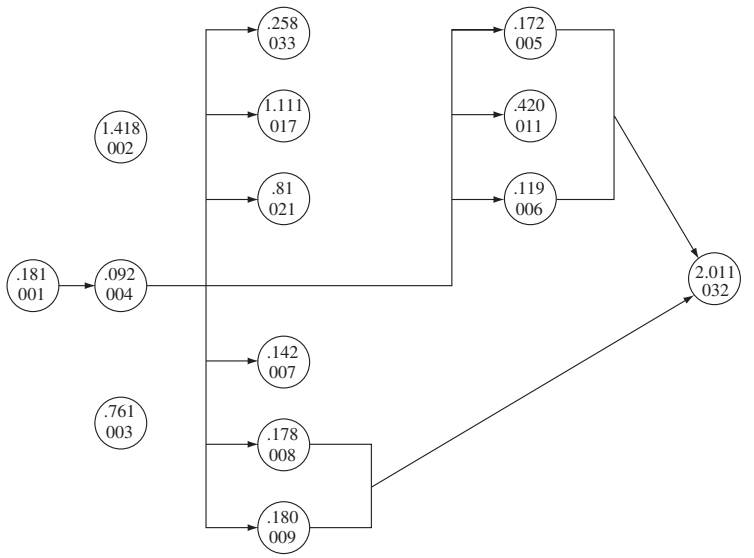


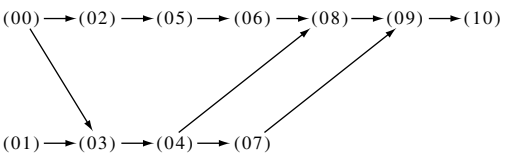
Figura 2.20 Diagrama de precedencia terminado en forma parcial.
Observe que los elementos de trabajo 002 y 003 pueden realizarse en cualquier secuencia respecto a cualquier otro elemento de trabajo, y que el 032 no puede comenzar hasta que se hayan terminado los elementos de trabajo 005, 006, 008 y 009. Observe también que inmediatamente después de que el elemento de trabajo 004 haya sido terminado, podemos arrancar con los elementos de trabajo 033, 017, 021, 005, 011, 006, 007, 008 o 009.

Como es evidente, a medida que hay mayor número de restricciones zonales en el sistema, serán menores las combinaciones posibles para investigación. El analista comienza con la elaboración de un bosquejo del sistema y la codificación de las zonas aplicables. Dentro de cada zona se muestran los elementos de trabajo que pueden elaborarse en dicha área. El analista, posteriormente, calcula el ritmo de producción mediante el uso de la expresión

$$\text{Producción diaria} = \frac{\text{minutos/días trabajados}}{\text{tiempo del ciclo del sistema (minutos/unidad)}}$$

donde el tiempo del ciclo del sistema es el tiempo estándar de la zona o de la estación límite.

Considere otra línea de ensamblado con el diagrama de precedencia siguiente:



Este diagrama de precedencia muestra que la unidad de trabajo (00) debe terminarse antes de (02), (03), (05), (06), (04), (07), (08), (09) y (10); y que la unidad (01) debe terminarse antes de (03), (04), (07), (08), (09) y (10). Tanto (00) como (01) pueden hacerse primero, o ambas se pueden llevar a cabo de manera simultánea. Asimismo, la unidad de trabajo (03) no puede comenzar hasta que las unidades de trabajo (00) y (01) hayan terminado, y así sucesivamente.

Para describir estas relaciones, se establece la matriz de relaciones que se muestra en la figura 2.21. Aquí, el número 1 significa que una relación "debe preceder". Por ejemplo, la unidad de trabajo (00) debe preceder a las unidades de trabajo (02), (03), (04), (05), (06), (07), (08), (09) y (10). También, la unidad de trabajo (09) debe preceder sólo a (10).

Se debe calcular una *ponderación posicional* por cada unidad de trabajo. Esta operación se lleva a cabo calculando la suma de la unidad de trabajo determinada y de todas las unidades de trabajo que le siguen. Por lo tanto, la ponderación posicional de la unidad de trabajo (00) sería

$$\Sigma 00, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10$$
$$= 0.46 + 0.25 + 0.22 + 1.10 + 0.87 + 0.28 + 0.72 + 1.32 + 0.49 + 0.55$$
$$= 6.26$$

Tiempo estimado por unidad de trabajo (minutos)	*Unidad de trabajo*	*Unidad de trabajo*										
		00	*01*	*02*	*03*	*04*	*05*	*06*	*07*	*08*	*09*	*10*
0.46	*00*			1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.35	*01*				1	1			1	1	1	1
0.25	*02*						1	1		1	1	1
0.22	*03*					1			1	1	1	1
1.10	*04*								1	1	1	1
0.87	*05*							1		1	1	1
0.28	*06*									1	1	1
0.72	*07*										1	1
1.32	*08*										1	1
0.49	*09*											1
0.55	*10*											
6.61												

Figura 2.21 Matriz de precedencia utilizada en un problema de balanceo de una línea.

Si se hace una lista de las ponderaciones posicionales en orden de magnitudes decrecientes nos da lo siguiente:

Elementos de trabajo sin ordenar	Elementos de trabajo ordenados	Ponderación posicional	Predecesores inmediatos
00	00	6.26	—
01	01	4.75	—
02	03	4.40	(00), (01)
03	04	4.18	(03)
04	02	3.76	(00)
05	05	3.51	(02)
06	06	2.64	(05)
07	08	2.36	(04), (06)
08	07	1.76	(04)
09	09	1.04	(07), (08)
10	10	0.55	(09)

Los elementos de trabajo deben asignarse a las diferentes estaciones de trabajo. Este proceso está basado en las ponderaciones posicionales (es decir, aquellos elementos de trabajo con las ponderaciones posicionales más bajas se asignan primero) y en el tiempo del ciclo del sistema. El elemento de trabajo con el mayor peso posicional se asigna a la primera estación de trabajo. El tiempo no asignado para esta estación de trabajo se determina restando la suma de los tiempos asignados al elemento de trabajo del tiempo estimado del ciclo. Si existe tiempo no asignado, se asigna el elemento de trabajo con el siguiente peso posicional más alto, siempre y cuando los elementos de trabajo de la columna "predecesores inmediatos" ya hayan sido asignados. Una vez que se haya terminado el tiempo asignado a una estación de trabajo, el analista continúa con la estación de trabajo siguiente y el proceso también lo hace hasta que todos los elementos de trabajo hayan sido asignados.

Como ejemplo, suponga que la producción requerida por turno de 450 minutos es de 300 unidades. El tiempo del ciclo del sistema es 450/300 = 1.50 minutos y la línea balanceada final se muestra en la figura 2.4.

Con relación a la configuración que se ilustra, con seis estaciones de trabajo, tenemos un tiempo de ciclo de 1.32 minutos (estación de trabajo 4). Este arreglo produce 450/1.32 = 341 unidades, lo cual satisface el requerimiento diario de 300 unidades.

Sin embargo, con seis estaciones de trabajo, tenemos también un tiempo ocioso considerable. El tiempo ocioso por ciclo es

$$\sum_{1}^{6} 0.04 + 0.22 + 0.17 + 0 + 0.11 + 0.77 = 1.31 \text{ minutos}$$

Para lograr un balanceo más favorable, el problema puede resolverse en tiempos de ciclo menores a 1.50 minutos. Este nuevo enfoque puede traer como consecuencia la necesidad de contar con más operadores y una mayor producción diaria, la cual tendrá que ser almacenada. Otra posibilidad involucra operar la línea bajo un esquema más eficientemente balanceado durante un número limitado de horas por día.

Una gran variedad de paquetes de software disponibles en el mercado, así como herramientas de diseño, eliminan el trabajo rutinario que representa hacer los cálculos y realiza estos pasos de manera automática.

Tabla 2.4 Línea de ensamble balanceada

Trabajo		Ponderación posicional	Predecesores inmediatos	Tiempo de un elemento de trabajo	Tiempo de estación		Comentarios
Estación	Elemento				Acumulado	No asignado	
1	00	6.26	—	0.46	.46	1.04	—
1	01	4.75	—	0.35	.81	0.69	—
1	03	4.40	(00), (01)	0.22	1.03	0.47	—
1	04	4.18	(03)	1.10	(2.13)	—	N.A.
1	02	3.76	(00)	0.25	1.28	0.22	—
1	05	3.56	(02)	0.87	(2.05)	—	N.A.
2	04	4.18	(03)	1.10	1.10	0.40	—
2	05	3.56	(02)	0.87	(1.97)	—	N.A.
3	05	3.56	(02)	0.87	0.87	0.63	—
3	06	2.64	(05)	0.28	1.15	0.35	—
3	08	2.36	(04), (06)	1.32	(2.47)	—	N.A.
4	08	2.36	(04), (06)	1.32	1.32	0.18	—
4	07	1.76	(04)	0.72	(2.04)	—	N.A.
5	07	1.76	(04)	0.72	0.72	0.78	—
5	09	1.04	(07), (08)	0.49	1.21	0.29	—
5	10	0.55	(09)	0.55	(1.76)	—	N.A.
6	10	0.55	(09)	0.55	0.55	0.95	—

*N.A. significa no aceptable.

RESUMEN

Los diferentes diagramas que se muestran en este capítulo son herramientas muy valiosas para presentar y resolver problemas. De la misma manera en que existen varios tipos de herramientas para realizar trabajos en particular, también se cuenta con diversos diseños de diagramas que pueden ayudar a resolver problemas de ingeniería. Los analistas deben comprender las funciones específicas de cada diagrama de proceso y seleccionar el adecuado para resolver un problema específico y mejorar las operaciones.

El análisis de Pareto y los diagramas de pescado se utilizan para seleccionar una operación crítica y para identificar las causas raíz y los factores que contribuyen a generar el problema. Los diagramas de Gantt

y PERT son herramientas de programación de proyectos. El diagrama de Gantt sólo proporciona un panorama claro, mientras que los diagramas de PERT cuantifican las interacciones entre las diferentes actividades. La guía para el análisis trabajo-sitio de trabajo se utiliza fundamentalmente en un recorrido físico para identificar los factores clave relacionados con el trabajador, la tarea, el ambiente y la administración que pueden provocar problemas potenciales. El diagrama de procesos de operación proporciona un buen panorama de las relaciones entre las diferentes operaciones e inspecciones en ensamblados que involucran varios componentes. El diagrama de flujo del proceso proporciona más detalles para el análisis de las operaciones de manufactura, para encontrar costos ocultos o indirectos, tales como el tiempo de retardo, costos de almacenamiento y costos relacionados con el manejo de materiales. El diagrama de flujo o recorrido representa un complemento útil para el diagrama de flujo del proceso en el desarrollo de las configuraciones de la planta. Los diagramas de procesos hombre-máquina y de grupo muestran las máquinas o equipos en conjunto con el operador u operadores, y se utilizan en el análisis del tiempo ocioso del operador y del tiempo ocioso de la máquina. Se utilizan cálculos de servicios sincrónicos y aleatorios, así como técnicas de balanceo de líneas para desarrollar operaciones más eficientes a través de métodos cuantitativos.

Estas 13 herramientas son muy importantes para los analistas de métodos. Los diagramas representan ayudas descriptivas y de comunicación muy valiosas para comprender un proceso y sus actividades asociadas. Su correcto uso puede ayudar a presentar y resolver el problema y en la venta e instalación de la solución. Las técnicas cuantitativas pueden determinar el arreglo óptimo de operadores y máquinas. Los analistas deben estar familiarizados con los conocimientos suficientes en álgebra y teoría de la probabilidad para desarrollar un modelo matemático que proporcione la mejor solución al problema de la máquina o de la instalación. De esta forma, ellos serán eficientes en la presentación de métodos mejorados a la gerencia, en el entrenamiento de los empleados en el método prescrito y en el enfoque de los detalles pertinentes en conjunto con el trabajo de distribución de la planta.

PREGUNTAS

1. ¿Qué muestra el diagrama de procesos operativos?
2. ¿Qué símbolos se utilizan en la construcción del diagrama de procesos operativos?
3. ¿Cómo muestra el diagrama de procesos operativos los materiales introducidos en el flujo general?
4. ¿De qué forma el diagrama de flujo de procesos difiere del diagrama de procesos operativos?
5. ¿Cuál es el propósito principal del diagrama de flujo de procesos?
6. ¿Qué símbolos se utilizan en la construcción de un diagrama de flujo de procesos?
7. ¿Por qué es necesario construir diagramas de proceso a partir de la observación directa, en contraste con la información que obtiene el encargado?
8. En la construcción de diagrama de flujo de procesos, ¿qué método puede utilizarse para calcular las distancias recorridas?
9. ¿Cómo pueden determinarse los tiempos de retraso en la construcción del diagrama de flujo de procesos?
10. ¿Cómo podría usted abogar por el uso del diagrama de flujo?
11. ¿Cómo puede mostrarse en el diagrama de flujo el flujo de varios productos diferentes?
12. ¿Qué par de símbolos del diagrama de flujo se utilizan exclusivamente en el estudio de la documentación?
13. ¿Cuáles son las limitaciones de los diagramas de flujo de procesos y de procesos operativos y del diagrama de flujo?
14. Explique cómo el diagrama PERT puede ahorrar dinero a la compañía.
15. ¿Cuál es el propósito de la ruptura?
16. ¿Cuándo es recomendable construir un diagrama de procesos hombre-máquina?
17. ¿Qué es el acoplamiento de máquinas?
18. ¿De qué manera se beneficia un operador a través del acoplamiento de máquinas?
19. ¿De qué manera difiere el diagrama de procesos de grupo del diagrama de procesos hombre-máquina?
20. En una planta de procesos, ¿cuáles de los siguientes diagramas de proceso tienen una mayor aplicación: el del trabajador y de las máquinas, el de grupo, el operativo, el de flujo o recorrido? Explique su respuesta.
21. ¿Cuál es la diferencia entre el servicio sincrónico y el aleatorio?
22. ¿La reducción de cuál de los tres tiempos —del trabajador, de la máquina o de la carga— tendrá un mayor efecto en el incremento de la productividad? Explique su respuesta.

PROBLEMAS

	Programación de la ruptura	
	Semanas	**$**
A	2	7 000
B	1	2 500
C	2	5 000
D	0.5	2 000
E	4	6 000
F	3	5 000
G	2	6 000
H	0	0
I	4	7 600
J	1	2 200
K	4	4 500
L	2	2 200
M	3	3 000
N	1	700
O	2	6 000
P	1	3 000

1. Con base en la tabla de costos de ruptura que se presenta a continuación, ¿cuál será el tiempo mínimo para terminar el proyecto descrito en la figura 2.4, cuyos costos normales se muestran en la tabla 2.2? ¿Cuál sería el costo adicional para terminar el proyecto dentro de este periodo?
2. El tiempo de maquinado por pieza es de 0.164 horas y el tiempo de carga de la máquina es de 0.038 horas. Con un salario del operador de $12.80/hora y un costo de máquina de $14/hora, calcule el número óptimo de máquinas que produzca el costo más bajo por unidad de producción.
3. En la Dorben Company se le asigna a un trabajador la operación de varias máquinas. Cada una de ellas está fuera de servicio en tiempos aleatorios durante el día. Un estudio muestra del trabajo indica que, en promedio, las máquinas trabajan desatendidas 60% del tiempo. El tiempo de atención del operador a intervalos irregulares promedio es del 40%. Si el costo de la máquina es de $20/hora y el salario del operador es de $12/hora, ¿cuál será el número más favorable de máquinas (desde el punto de vista económico) que deba operar un empleado?
4. El analista en la Dorben Company desea asignar un número de equipos similares a un operador con base en la minimización del costo por unidad de producción. Un estudio detallado de los equipos revela lo siguiente:

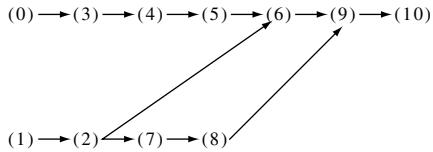
Tiempo estándar de la carga de la máquina = 0.34 minutos
Tiempo estándar de la descarga de la máquina = 0.26 minutos
Tiempo de recorrido entre las dos máquinas = 0.06 minutos
Salario del operador = $12.00/hora
Tarifa de la máquina (ociosa y trabajando) = $18.00/hora
Tiempo de alimentación de energía = 1.48 minutos

¿Cuántas máquinas deben asignarse a cada operador?

5. Un estudio revela que un grupo de tres máquinas semiautomáticas asignadas a un operador trabajan de forma independiente 80% del tiempo. El tiempo de servicio del operador a intervalos irregulares promedia 20% del tiempo en estas tres máquinas. ¿Cuál sería la pérdida en horas máquina estimada por día de 8 horas debida a la pérdida de un operador?
6. Con base en los datos siguientes, desarrolle su asignación recomendada de trabajo y el número de estaciones de trabajo.

Unidades de trabajo	**Trabajo estimado tiempo unitario (minutos)**
0	0.76
1	1.24
2	0.84
3	2.07
4	1.47
5	2.40
6	0.62
7	2.16
8	4.75
9	0.65
10	1.45

La producción mínima requerida por día es de 90 ensamblados. La matriz de precedencia siguiente fue desarrollada por el analista.



7. **¿**Cuántas máquinas deben asignársele a un operador para operar al mínimo costo cuando:

a) El tiempo de carga y descarga de una máquina es de 1.41 minutos.
b) El tiempo de desplazamiento hacia el siguiente equipo es de 0.08 minutos.
c) El tiempo de máquina (alimentación de energía) es de 4.34 minutos.
d) El salario del operador es de $13.20/hora.
e) La velocidad de la máquina es de $18.00/hora?

8. ¿Qué proporción de tiempo máquina se perderá al operar cuatro máquinas cuando cada una de ellas trabaja sin operador 70% del tiempo y el tiempo de atención del operador a intervalos irregulares promedia 30%? ¿Es ésta la mejor configuración para minimizar la proporción del tiempo de máquina perdido?

9. En un proceso de ensamblado que involucra seis operaciones distintas, es necesario producir 250 unidades en un día de 8 horas. Los tiempos de operación medidos son los siguientes:

a) 7.56 minutos
b) 4.25 minutos
c) 12.11 minutos
d) 1.58 minutos
e) 3.72 minutos
f) 8.44 minutos

¿Cuántos operadores se requerirán para un nivel de eficiencia de 80%? ¿Cuántos operadores se deben utilizar en cada una de las seis operaciones?

10. Un estudio revela los siguientes pasos en el ensamblado de una armadura (un pequeño triángulo de tres piezas pequeñas dentro de un triángulo grande de tres piezas mayores):
La carretilla elevadora entrega 2×4 trozos de pino desde un área de almacenamiento externa (20 minutos).
El operador de la sierra corta seis trozos de la longitud adecuada (5 minutos).
El ensamblador núm. 1 recibe tres trozos pequeños y arma un pequeño triángulo (5 minutos).
El ensamblador núm. 2 recibe tres trozos grandes y arma un triángulo grande (10 minutos).
El ensamblador núm. 3 recibe uno de cada triángulo y los une para formar la armadura (20 minutos).
El supervisor inspecciona la armadura terminada y la prepara para su entrega (5 minutos).

a) Realice un diagrama de flujo de procesos de la operación.
b) ¿Cuál es el porcentaje del tiempo ocioso y la producción de una línea de ensamblado lineal desbalanceada?
c) Balancee la línea de ensamblado mediante el uso de las estaciones de trabajo adecuadas. ¿Cuál es el porcentaje del tiempo ocioso y de la producción ahora?

11. La operación actual consta de los siguientes elementos:
El operador quita la unidad de prensado (0.2 minutos).
El operador camina al área de inspección, verifica los defectos (0.1 minutos).
El operador lima las orillas con rebaba (0.2 minutos).
El operador coloca la unidad en la banda transportadora para su procesamiento y regresa a la prensa (0.1 minutos).
El operador limpia el dado de la prensa con aire comprimido (0.3 minutos).
El operador aplica lubricante en el dado (0.1 minutos).
El operador coloca una hoja de metal en la prensa, presiona el botón START (0.2 minutos).
La prensa efectúa su ciclo automáticamente en 1.2 minutos.
Dado que al operador se le paga $10/hora y que cuesta $15/hora operar las prensas, encuentre y dibuje el diagrama hombre-máquina para obtener la operación con menor costo. ¿Cuál es la producción? ¿Cuál es el costo unitario?

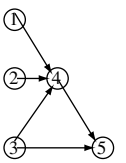
12. Dadas las lesiones registradas por la OSHA (es decir, las lesiones que deben inscribirse en el registro de la OSHA 300 y estar disponibles para su inspección) que se muestran en la página siguiente, ¿qué puede usted concluir acerca de las lesiones? ¿Qué código de trabajo estudiaría usted primero? Si usted tuviera recursos limitados, ¿dónde los colocaría?

13. Un análisis exploratorio ha identificado el trabajo siguiente como un área problemática. Realice un diagrama de flujo de procesos (del tipo material) de las operaciones de desarmado de la máquina, limpieza y remoción de grasa siguientes.

En el almacén de motores viejos se encuentran guardados algunos motores. Cuando es necesario, se levanta un motor mediante una grúa eléctrica en un monorriel, se le transporta hacia el área de desarme y se descarga en una base para motores. Ahí el operador desarma el motor y pone las partes que lo integran en el contenedor de desengrasado. El contenedor se transporta hacia el desengrasador, se carga en el aparato desengrasador, se desengrasa y después se retira del aparato. Después, el contenedor con las partes del motor desengrasado se transporta al área de lavado, donde las partes son depositadas simplemente sobre el piso para su secado. Después de varios minutos de secado, las partes se levantan hasta las bancas de limpiado y se les limpia. Las partes, una vez que se han limpiado, se colocan en charolas especiales donde esperan ser transportadas. Las partes se cargan en un carrito y se transportan a la estación de inspección. Una vez ahí, se transportan de las charolas a las bancas de inspección.

	Tipo de lesión		
Código del trabajo	**Tensión/torsión**	**CTD**	**Otro**
AM9	1	0	0
BTR	1	2	0
CUE	2	0	1
CUP	4	4	19
DAW	0	0	2
EST	0	0	2
FAO	3	1	1
FAR	3	1	3
FFB	1	0	1
FGL	1	0	1
FPY	1	2	0
FQT	0	0	3
FQ9	2	0	3
GFC	0	0	1
IPM	4	1	16
IPY	1	0	0
IP9	1	0	0
MPL	1	0	0
MST	0	0	0
MXM	1	0	2
MYB	1	1	3
WCU	1	0	1

14. Dadas las operaciones y tiempos unitarios en minutos siguientes (núm. 1 = 1.5, núm. 2 = 3, núm. 3 = 1, núm. 4 = 2, núm. 5 = 4), balancee la línea de producción con la finalidad de producir 30 unidades/hora.



15. Un operador de moldeado registró las siguientes actividades y tiempos (en minutos) :

- Remueve la pieza moldeada del dado 0.6
- Camina 10 pies hacia una mesa de trabajo 0.2
- Coloca las piezas en cajas y las pone sobre una banda transportadora 1.0
- Camina hacia el moldeador 0.2
- Remueve la suciedad del molde con aire 0.4
- Rocía aceite en el molde y presiona el botón “GO” 0.2
- El ciclo de moldeo es automático 3.0

El ciclo se repite una vez que termina. Al operador se le paga $10.00/hora y cuesta $15.00/hora operar el moldeador. ¿Cuál es el número óptimo de máquinas que pueden asignarse al operador con el fin de producir los artefactos al menor costo posible? Dibuje un diagrama hombre-máquina.

16. TOYCO produce palas de juguete en una prensa de 20 toneladas. Los pasos que toma el operador de la prensa para fabricar una pala son:

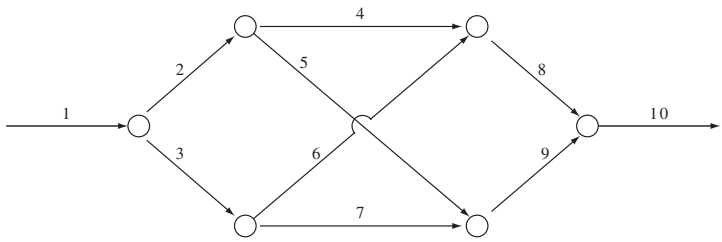
■ Remueve la pala terminada y la pone en la banda transportadora	0.1 minuto
■ Remueve los desperdicios de los dados	0.2 minuto
■ Rocía los dados con aceite	0.1 minuto
■ Verifica la materia prima (hoja plana) para ver si no tiene defectos	0.3 minuto
■ Coloca la hoja plana en la prensa	0.1 minuto
■ La prensa opera el ciclo de manera automática	1.0 minuto

Al operador se le paga $10/hora y el costo de operación de la prensa es de $100/hora. La materia prima de la pala cuesta $1.00, y se vende a $4.00. ¿Cuál es el número óptimo de prensas por operador por costo unitario mínimo? Dibuje el diagrama hombre-máquina para representar esta situación.

17. En el proyecto que se muestra a continuación, las actividades se representan mediante flechas y el número de cada actividad también indica su duración normal (en días).

a) Determine la ruta crítica y la magnitud de este proyecto.

b) Suponga que cada actividad, excepto la 1 y la 2, puede llevarse a cabo en 2 días a un costo igual al número de actividad. Por ejemplo, la actividad 6 normalmente toma 6 días, pero podría realizarse en 5 días a un costo de $6 o en 4 días por un total de $12. Determine la programación en 26 días al menor costo. Muestre las actividades que sufren ruptura o los costos totales de ruptura.



REFERENCIAS

Ashcroft, H., "The Productivity of Several Machines under the Care of One Operator", en *Journal of the Royal Statistical Society B,* 12, núm. 1 (1950), pp. 145-151.

ASME. *ASME Standard—Operation and Flow Process Charts, ANSI Y15.3-1974*, Nueva York: American Society of Mechanical Engineers, 1974.

Baker, Kenneth R., *Elements of Sequencing and Scheduling,* Hannover, NJ: K.R. Baker, 1995.

Cole, R., *Work, Mobility and Participation: A Comparative Study of American and Japanese Industry*, Berkeley, CA: University of California Press, 1979.

Helgeson, W.B. y D.P. Birnie, "Assembly Line Balancing Using Ranked Positional Weight Technique", en *Journal of Industrial Engineering,* 12, núm., 6, (1961) pp. 394-398.

Herron, D., "Industrial Engineering Applications of ABC Curves", en *AIIE Transactions* 8, núm. 2 (junio 1976), pp. 210-218.

Moodie, C., "Assembly Line Balancing", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992, pp. 1446-1459.

Stecke, K., "Machine Interference", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992, pp. 1460-1494.

Tekeji, K. y S., Sakamoto, "Charting Techniques", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992, pp. 1415-1445.

Wright, W.R., W.G. Duvall y H.A. Freeman, "Machine Interference", en *Mechanical Engineering*, 58, núm. 8 (agosto 1936), pp. 510-514.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (disponible en el sitio en internet McGraw-Hill del libro en www.mhhe.com/niebel-freivalds). Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Análisis de operaciones

CAPÍTULO

3

PUNTOS CLAVE

- Uso del análisis de operaciones para mejorar el método preguntando *qué*.
- Enfoque en el propósito de la operación preguntando *por qué*.
- Enfoque en el diseño, materiales, tolerancias, procesos y herramientas preguntando *cómo*.
- Enfoque en el operador y en el diseño del trabajo preguntando *quién*.
- Enfoque en la distribución del trabajo preguntando *dónde*.
- Enfoque en la secuencia de manufactura preguntando *cuándo*.
- Siempre trate de *simplificar* mediante las operaciones de eliminación, combinación y redistribución.

Los analistas de métodos utilizan el análisis de operaciones para estudiar todos los elementos productivos y no productivos de una operación, incrementar la productividad por unidad de tiempo y reducir los costos unitarios con el fin de conservar o mejorar la calidad.

Cuando se utiliza adecuadamente, el análisis de métodos desarrolla un mejor método para hacer el trabajo mediante la simplificación de procedimientos operativos y manejo de materiales y la utilización del equipo de una manera más eficaz. Por lo tanto, las compañías pueden incrementar la producción y reducir los costos unitarios; garantizar la calidad y reducir la mano de obra defectuosa; e incrementar el entusiasmo del operador a través de las mejoras a las condiciones de trabajo, la minimización de la fatiga y la obtención de salarios más atractivos.

El análisis de operaciones es la tercera etapa del método. En ella se lleva a cabo el análisis y se cristalizan los diferentes componentes del método propuesto. Inmediatamente después se obtienen y presentan los hechos mediante el uso de una gran variedad de herramientas útiles para elaborar los diagramas de flujo de procesos que se muestran en el capítulo 2. El analista debe revisar cada operación e inspección que se presenta gráficamente en estos diagramas y realizar una serie de preguntas, la más importante de ellas es *por qué:*

1. ¿Por qué es necesaria esta operación?
2. ¿Por qué esta operación se lleva a cabo de esta manera?
3. ¿Por qué estas tolerancias son tan estrechas?
4. ¿Por qué se ha especificado este material?
5. ¿Por qué se ha asignado para hacer el trabajo a esta clase de operador?

La pregunta por qué de inmediato sugiere otras, entre las que se incluyen cómo, quién, dónde y cuándo. Por lo tanto, los analistas se pueden preguntar:

1. ¿Cómo puede llevarse a cabo esta operación de una manera mejor?
2. ¿Quién puede realizar mejor esta operación?
3. ¿Dónde puede realizarse la operación a un menor costo o con una mayor calidad?
4. ¿Cuándo debe realizarse la operación para invertir la menor cantidad de manejo de materiales?

Por ejemplo, en el diagrama de procesos operativos que se muestra en la figura 2.7, los analistas se podrían formular las preguntas que se muestran en la tabla 3.1 con el fin de determinar qué tan prácticas son las mejoras que se quieren incorporar a los métodos. La respuesta a estas preguntas ayuda a iniciar la eliminación, combinación y simplificación de las operaciones. Asimismo, cuando obtienen las respuestas a dichas preguntas, los analistas se hacen más conscientes de la existencia de otras preguntas que pueden conducir a diversas mejoras. Las ideas parecen generar más ideas, y los analistas con experiencia por lo general pueden plantearse otras posibilidades de mejora. Por lo tanto, siempre deben conservar la mente abierta, de tal manera que los fracasos anteriores no los desilusionen e insistir en probar nuevas ideas. Por lo general, dichas oportunidades para mejorar los métodos se presentan en cada planta con los consecuentes resultados benéficos.

Observe que una parte significativa de la información que se presenta en el capítulo 3 se utiliza en la actualidad en un formato integrado que se llama *manufactura esbelta*. Ésta se originó en la *Toyota Motor Company* como una forma de eliminar el desperdicio en el periodo inmediatamente después del embargo petrolero de 1973 y siguió los pasos del sistema Taylor de administración científica pero de una manera mucho más amplia, pues se enfocó no sólo en los costos de manufactura, sino que también en los costos de ventas, administrativos y de capital. Los puntos importantes del Sistema de Producción Toyota (TPS) incluyen siete tipos de desperdicio (Shingo, 1987): 1) sobreproducción, 2) espera del siguiente paso, 3) transporte innecesario, 4) procesamiento innecesario, 5) exceso de inventario, 6) movimiento innecesario y 7) productos defectuosos. Las coincidencias con los métodos convencionales se ejemplifican mediante lo siguiente: 1) las pérdidas en esperas y en transporte representan elementos que se deben examinar y eliminar mediante análisis de diagramas de flujo de procesos, 2) el desperdicio de movimiento resume el trabajo de toda la vida de Gilbreth acerca del estudio de movimientos, el cual culmina en los principios del diseño del trabajo y la economía de movimientos, 3) la pérdida de la sobreproducción y el exceso de inventarios están basados en los requerimientos adicionales de almacenamiento para trasladar artículos dentro y fuera de la bodega y 4) los desperdicios que implican los productos defectuosos representa una pérdida pues generan basura o necesitan retrabajos.

Un corolario de los siete desperdicios es el sistema 5S para reducir los desechos y optimizar la productividad mediante el reordenamiento del lugar de trabajo y la aplicación de métodos consistentes. Los pilares del sistema 5S son 1) *clasificar* (seiri), 2*) poner en orden* (seiton), 3) *pulir* (seiso), 4) *estandarizar* (seiketsu) y 5) *conservar* (shitsuke). *Clasificar* se enfoca en la remoción de todos los artículos innecesarios del lugar de trabajo para dejar sólo lo que es fundamental. *Poner en orden* implica arreglar los artículos necesarios de tal manera que sean fáciles de encontrar y usar. Una vez que se elimina el desorden, el *brillo* garantiza la limpieza y la pulcritud. A partir de que se han implantado los primeros tres primeros pilares, la *estandarización* sirve para conservar el orden y la consistencia de las tareas domésticas y de los métodos. Por último, el paso *conservar* proporciona el mantenimiento de todo el proceso de manera continua.

3.1 FINALIDAD DE LA OPERACIÓN

Éste quizá represente el punto más importante de los nueve que conforman el análisis de operaciones. La mejor manera de simplificar una operación es vislumbrar alguna forma de obtener los mismos o mejores resultados sin que ella implique costos adicionales. Una regla de gran importancia del analista es tratar de eliminar o combinar una operación antes de tratar de mejorarla. De acuerdo con nuestra experiencia, alrededor de 25% de las operaciones que se llevan a cabo pueden eliminarse si se invierte suficiente tiempo en el estudio del diseño y del proceso. Ello también implica la eliminación de los desperdicios (*muda*) asociados con procesamientos inapropiados.

En la actualidad se realiza mucho trabajo innecesario. En muchos casos, la tarea o el proceso no deben simplificarse o mejorarse, sino que se deben eliminar por completo. La eliminación de una actividad ahorra dinero en la instalación de un método mejorado y no hay interrupción o retraso debido

Tabla 3.1 Preguntas que deben formularse en la manufactura de bases para teléfono

Pregunta	Método mejorado
1. ¿Pueden comprarse longitudes fijas de 1½″ × 14″ de maple blanco sin ningún costo extra por pie cuadrado?	Eliminar los extremos de desecho de los tramos de 14 pulgadas.
2. ¿Pueden asegurarse las placas de arce compradas con orillas cepilladas y paralelas?	Eliminar las uniones de los extremos (operación 2).
3. ¿Pueden comprarse placas de un determinado grosor y tener al menos un lado cepillado? Si es así, ¿cuál sería el costo extra?	Eliminar el cepillado a la medida.
4. ¿Por qué no pueden apilarse dos placas y serrucharse en secciones de 14 pulgadas de manera simultánea?	Reduce el tiempo en 0.18 (operación 4).
5. ¿Qué porcentaje de rechazos tenemos en la primera estación de inspección?	Si el porcentaje es pequeño, quizás esta inspección pueda eliminarse.
6. ¿Por qué la cubierta de la mesa debe arenarse completamente?	Suprimir el arenado de un lado de la cubierta y reducir tiempo (operación 5).
7. ¿Pueden comprarse pedazos de longitud fija de 1½″ × 3″ de pino amarillo sin ningún costo extra por pie cuadrado?	Eliminar los extremos desperdiciados de tramos que no sean múltiplos de 12 pulgadas.
8. ¿Pueden asegurarse que placas compradas de pino amarillo tengan orillas cepilladas y paralelas?	Eliminar la unión de un extremo.
9. Pueden comprarse placas al tamaño del espesor y tener un lado plano y cepillado? Si es así, ¿cuánto dinero extra va a costar esto?	Eliminar el cepillado a la medida.
10. ¿Por qué no pueden dos o más placas apilarse y serrucharse en secciones de 14 pulgadas de manera simultánea?	Reducción de tiempo de 0.10 (operación 9).
11. ¿Qué porcentaje de rechazos tenemos en la primera inspección de los umbrales?	Si el porcentaje es bajo, quizás esta inspección pueda eliminarse.
12. ¿Por qué es necesario arenar completamente los umbrales?	Suprimir parte del arenado y reducir tiempo (operación 10).
13. ¿Pueden comprarse pedazos fijos de 2½″ × 2½″ de maple blanco sin costo extra por pie cuadrado?	Eliminar extremos desperdiciados de tramos que no sean múltiplos de 16 pulgadas.
14. ¿Se puede utilizar un tamaño más pequeño de 2½″ × 2½″	Reducir el costo del material.
15. ¿Pueden asegurarse placas de arce blanco compradas con orillas cepilladas y paralelas?	Eliminar las unión de los extremos.
16. ¿Pueden comprarse placas con patas para adelgazar el tamaño y tener los lados cepillados en forma pareja? Si es así, ¿cuánto dinero extra costará hacerlo?	Eliminar el cepillado a la medida.
17. ¿Por qué no pueden apilarse y serrucharse dos o más placas en secciones de 14 pulgadas de forma simultánea?	Reducir tiempo (operación 15).
18. ¿Qué porcentaje de rechazos tendremos en la primera inspección de las patas?	Si el porcentaje es bajo, quizás esta inspección pueda eliminarse.
19. ¿Por qué es necesario arenar las patas completamente?	Eliminar parte del arenado y reducir el tiempo (operación 16).
20. ¿Podría una reparación facilitar el ensamblado de las patas en la cubierta?	Reducir el tiempo de ensamblado (operación 11).
21. ¿Podría utilizarse la inspección de muestras en la primera inspección del ensamblado?	Reducir el tiempo de inspección (operación 4).
22. ¿Es necesario arenar después de aplicar una cubierta de laca?	Eliminar la operación 19.

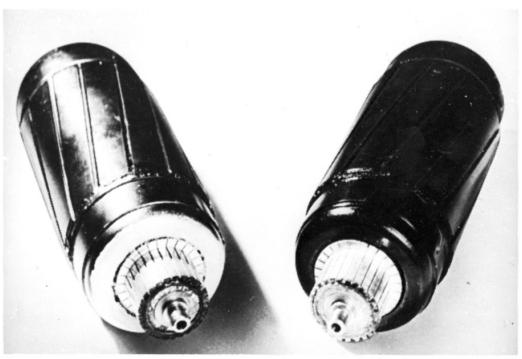
a que no se debe desarrollar, probar o instalar ningún método mejorado. Los operadores no necesitan recibir ninguna clase de entrenamiento sobre el nuevo método y se minimiza la resistencia al cambio cuando se elimina una actividad o tarea innecesaria. Respecto al papeleo administrativo, antes de que se desarrolle un formato para la transferencia de información, los analistas deben preguntarse si en realidad es necesario un formato. En la actualidad, los sistemas controlados por computadora pueden reducir la generación de formatos y el trabajo administrativo.

Con frecuencia, las operaciones innecesarias son producto de una planeación inadecuada cuando la tarea se hace por primera vez. Una vez que se ha establecido una rutina estándar, es difícil cambiarla, aun si dicho cambio elimina una parte del trabajo y lo vuelve más sencillo. Cuando se planean nuevos trabajos, el encargado de la planeación debe incluir una operación extra si existe alguna posibilidad de que el producto sea rechazado sin ella. Por ejemplo, en el torneado de un eje de acero, si surge una pregunta en cuanto a realizar dos o tres cortes para conservar un acabado de 40 micropulgadas, la persona encargada de la planeación invariablemente especifica tres cortes, a pesar de que el mantenimiento apropiado de las herramientas de corte complementado con las velocidades y los alimentadores ideales permitan que el trabajo se lleve a cabo sólo con dos cortes.

A menudo, las operaciones innecesarias se llevan a cabo debido al desempeño inadecuado de las operaciones anteriores. Se debe realizar una segunda operación para "darle un retoque" o hacer aceptable el trabajo realizado en ellas. En una planta, por ejemplo, unas armaduras colocadas en una instalación eran rociadas con pintura , lo que imposibilitaba cubrir el fondo de la armadura con pintura debido a que la instalación impedía que el chorro de pintura llegara hasta él. Por lo tanto, era necesario darle un retoque a los fondos de la armadura después de que se habían pintado. Un estudio de este trabajo trajo como consecuencia un rediseño de la instalación que mantenía a la armadura, lo que permitió una cobertura total. Además, una nueva base hizo posible pintar siete armaduras de manera simultánea, mientras que con el viejo método sólo se podía pintar una a la vez. Por lo tanto, considerando que una operación innecesaria se pudo haber desarrollado debido al funcionamiento inadecuado de la operación anterior, el analista pudo eliminar la operación de retoque (vea la figura 3.1).

Otro ejemplo: en una fábrica de grandes engranes fue necesario incluir una operación para remover y limpiar manualmente con el fin de quitar las ondulaciones que se formaban en los dientes después de que éstos habían sido puestos al fuego. Una investigación permitió ver que la contracción y expansión generadas por cambios de temperatura en el curso del día eran responsables de esos defectos. Luego de cerrar herméticamente la planta e instalar un sistema de aire acondicionado en el depósito, la compañía pudo mantener la temperatura adecuada durante todo el día. Las ondas desaparecieron de inmediato y ya no fue necesario continuar con las operaciones de remoción y limpieza manual.

Para eliminar una operación, los analistas deben preguntar y responder la pregunta siguiente: ¿Puede un proveedor externo realizar la operación de manera más económica? Por ejemplo: se compraron cojinetes circulares a un proveedor externo, a los cuales se les tuvo que untar grasa antes de ser ensamblados. Un estudio de proveedores de cojinetes reveló que cojinetes "sellados de por vida" podían comprarse a otro proveedor a un menor precio.



a)



b)

Figura 3.1
a) Armadura pintada cuando se ha quitado de la base vieja (*izquierda*) y cuando se ha quitado de la base arreglada (*derecha*). *b*) Armadura en la base de pintado que le permite una cobertura total de su parte inferior.

Los ejemplos proporcionados en esta sección destacan la necesidad de establecer el propósito de cada operación antes de darse a la tarea de mejorar ésta. Una vez que se ha determinado la necesidad de la operación, los nueve pasos restantes del análisis de operaciones deben ayudar a determinar cómo debe mejorarse.

3.2 DISEÑO DE LAS PARTES

Con frecuencia, los ingenieros de métodos se inclinan a pensar que una vez que ha sido aceptado un diseño, su único recurso es planear su fabricación de la manera más económica posible. Mientras que la introducción de un ligero cambio en el diseño puede ser difícil, un buen analista de métodos debe revisar cada diseño con el fin de introducirle posibles mejoras. Los diseños pueden modificarse y si dicho cambio da como resultado una mejora y la actividad que implica realizar la tarea es considerable, se debe proseguir con el cambio.

Para mejorar el diseño, los analistas deben tener en cuenta los siguientes aspectos con el fin de reducir el costo de los diseños de cada componente y subensamble:

1. Reducir el número de partes mediante la simplificación del diseño.
2. Reducir el número de operaciones y la distancia de los recorridos en el proceso de manufactura mediante la unión más eficiente de las partes y la simplificación del maquinado y del ensamblado.
3. Utilizar materiales de mejor calidad.
4. Ampliar las tolerancias y confiar en las operaciones clave para obtener precisión, en lugar de confiar en una serie de límites muy estrictos.
5. Realizar los diseños para mejorar la fabricación y el ensamblado.

Observe que las primeras dos ayudarán a reducir los desperdicios resultado de procesamientos inadecuados, del transporte innecesario y del exceso de inventario.

General Electric resumió las ideas para desarrollar diseños a un mínimo costo tal como se muestra en la tabla 3.2.

Los siguientes ejemplos de mejora de métodos se lograron a partir de emplear un mejor material o proceso en un esfuerzo para mejorar el diseño. Las cajas de cables se construyeron originalmente de acero fundido. El diseño mejorado, que representa una caja de cables más resistente, más atractiva, más ligera y menos costosa fue posible gracias al empleo de acero laminado en su fabricación. Se utilizó un proceso de cuatro etapas para doblar las partes en la forma correcta (vea la figura 3.2), el cual fue ineficiente y tensionó el metal en los dobleces. El diseño fue alterado ligeramente de tal manera que pudo utilizarse un proceso de extrusión menos costoso. Las secciones extraídas fueron posteriormente cortadas a la longitud deseada. Durante el rediseño, se eliminaron tres etapas.

La simplificación del diseño a través de la unión más eficiente de las partes se puso en práctica en el ensamblado de los sujetadores terminales a sus conductores de unión. La práctica original requirió torcer el extremo del sujetador para formar una base. La base se llenó de soldadura, posteriormente el alambre conductor se cubrió con estaño, se insertó en la base llena de soldadura y fue mantenida en esa posición hasta que la soldadura se solidificó. El diseño modificado fue más resistente pues se soldó el sujetador al alambre conductor, lo cual eliminó las operaciones de formado y de hundimiento. La parte original se diseñó con tres componentes que tuvieron que ensamblarse (vea figura 3.3). Un método significativamente menos costoso utilizó un diseño de una pieza que pudo maquinarse como una pieza sólida, lo que eliminó dos componentes y varias operaciones.

De la misma forma en que existen oportunidades para mejorar la productividad mediante un mejor diseño del producto, también la hay para mejorar el diseño de los formatos (ya sea en papel o en formato digital) que se utilizan en la industria y en los negocios. Una vez que se ha determinado la necesidad de un formato, debe estudiarse con el fin de mejorar la recolección y el flujo de información. Los siguientes criterios se aplican en el desarrollo de formatos:

1. Su diseño debe ser simple, lo que implica, entre otros aspectos, conservar la cantidad de información de entrada necesaria en un nivel mínimo.
2. Proporcionar suficiente espacio para cada bit de información para permitir su ingreso a través de varios métodos (escritura a mano, máquina, procesador de palabras).

Tabla 3.2 Métodos para un diseño de costo mínimo

Fundidos

1. Eliminar núcleos de arena secos (arena horneada).
2. Minimizar la profundidad para obtener fundidos más planos.
3. Utilizar un peso mínimo que sea consistente con el suficiente grosor para fundir sin enfriar.
4. Seleccionar formas sencillas.
5. Las formas simétricas generan un encogimiento uniforme.
6. Radio libre: sin esquinas puntiagudas.
7. Si las superficies van a ser precisas en relación una con la otra, si es posible deben estar en la misma parte del patrón.
8. Ubique las líneas de partición, de tal forma que ellas no afecten la apariencia y la utilidad, y no necesiten ser sujetadas a la tierra.
9. Especifique patrones múltiples en lugar de únicos.
10. Los patrones metálicos son preferibles a la madera.
11. Utilice moldes permanentes en lugar de patrones metálicos.

Moldes

1. Elimine insertos de las partes.
2. Diseñe moldes con el menor número de partes.
3. Utilice formas sencillas.
4. Ubique las líneas de rebabas de tal manera que la rebaba no necesite ser aplanada o pulida.
5. Minimice el peso.

Perforaciones

1. Utilice partes perforadas en lugar de partes moldeadas, fundidas, maquinadas o fabricadas.
2. Las perforaciones "anidadas" economizan material.
3. Los agujeros que requieran una relación precisa entre sí deben fabricarse con el mismo dado.
4. Diseñe el empleo de la existencia de bobinas.
5. Diseñe perforaciones para tener una longitud mínima de corte y una máxima resistencia del dado con el mínimo número de movimientos.

Partes formadas

1. Embone partes en lugar de unirlas, soldarlas o fundirlas.
2. Empate bajo si es posible.
3. Radio libre en las esquinas.
4. Partes dobladas en lugar de empatadas.
5. Partes formadas de hilo o alambre en lugar de perforarlas a partir de una hoja.

Partes fabricadas

1. Tornillos autocolocables en lugar de tornillos estándar.
2. Coloque remaches en lugar de tornillos estándar.
3. Remaches en lugar de tornillos.
4. Remaches huecos en lugar de sólidos.
5. Soldadura de punto o de proyección en lugar de remaches.
6. Soldadura en lugar de *brazing* o *soldering*.
7. Utilice fundidos de dado o partes moldeadas en lugar de construcción fabricada que requiera varias partes.

Partes maquinadas

1. Utilice procesos de maquinado rotatorio en lugar de métodos de formado.
2. Utilice maquinado automático o semiautomático en lugar de operación manual.
3. Reduzca el número de soportes.
4. Omita los acabados cuando sea posible.
5. Utilice un acabado duro cuando sea satisfactorio.
6. Dimensione los dibujos desde algún punto como se utilizan en la fábrica en la medición e inspección.
7. Utilice esmerilado sin centro en lugar de esmerilados entre centros.
8. Evite las intrusiones y los contornos formados.
9. Permita un radio o corte en el soporte.

Partes de la máquina destornilladora

1. Elimine una segunda operación.
2. Utilice existencia fría enrollada.
3. Diseñe el encabezado en lugar de la máquina de tornillos.
4. Utilice hebras enrolladas en lugar de hebras cortadas.

Partes soldadas

1. Construcción fabricada en lugar de fundidos o forjados.
2. Soldaduras de tamaños mínimos.
3. Soldaduras hechas en posición plana en lugar de vertical o sobrepuestas.
4. Elimine las orillas biseladas antes de soldar.
5. Utilice contornos "quemados" (contornos cortados con soplete) en lugar de contornos maquinados.
6. Distribuya las partes a cortar para sacar más provecho de las placas rectangulares estándar y evite el raspado.
7. Utilice soldadura intermitente en lugar de continua.
8. Diseñe soldadura circular o en línea recta para utilizar máquinas automáticas.

Tratamientos y acabados

1. Reduzca el tiempo de horneado lo más posible.
2. Utilice aire seco en lugar del horneado.
3. Utilice menos capas o capas más delgadas.
4. Elimine totalmente los tratamientos y acabados.

Ensamblados

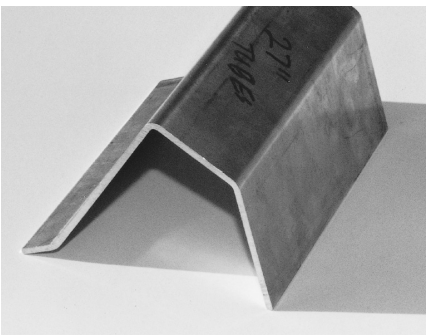
1. Ensamble de manera sencilla.
2. Elabore los ensamblados progresivos.
3. Haga sólo un ensamblado y elimine los ensamblados de prueba.
4. Fabrique las partes de los componentes *correctamente* la primera vez, de tal manera que no se requiera de adecuaciones y ajustes en el ensamblado.

   Esto significa que los diagramas deben ser precisos, con las tolerancias adecuadas y que las partes deben estar hechas de acuerdo con los diagramas.

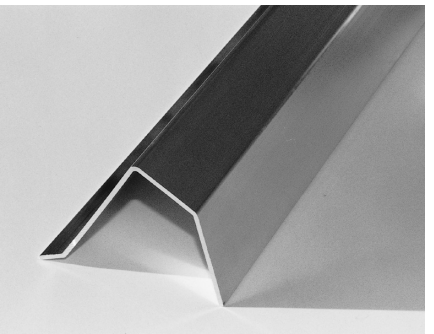
General

1. Reduzca el número de partes.
2. Reduzca el número de operaciones.
3. Reduzca la distancia de desplazamiento durante la manufactura.

Fuente: Adaptado de: *American Machinist*, hojas de referencia, 12a. ed., Nueva York, McGraw-Hill Publishing, Co.



a)

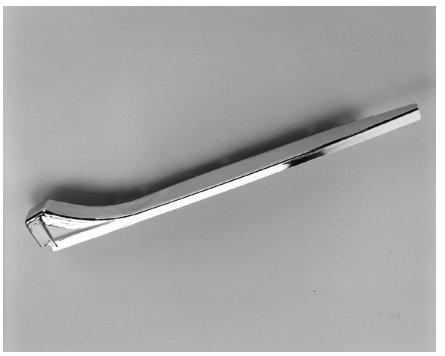


b)

Figura 3.2 Rediseño de la parte con el fin de eliminar tres pasos. *a*) Se utilizó un proceso de cuatro etapas para doblar esta pieza de la forma deseada. Este procedimiento es ineficiente y ejerce presión en el metal en el lugar de los dobleces. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.) *b*) Esta pieza fue extruida en un solo paso y posteriormente se cortará en trozos de una determinada longitud. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.)



a)



b)

Figura 3.3 Rediseño de la parte con el fin de eliminar múltiples piezas. *a*) La parte original se diseñó en tres piezas que tuvieron que ser ensambladas. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.) *b*) El diseño mejorado de una sola pieza puede maquinarse como una pieza sólida. (Cortesía de Minister Machine Company.)

3. La secuencia de la entrada de información se debe realizar a través de un patrón lógico.
4. El formato debe contar con un código de colores que facilite la distribución y el enrutamiento.
5. Limitar los formatos de computadora a una sola página.

3.3 TOLERANCIAS Y ESPECIFICACIONES

El tercero de los nueve puntos del análisis de operaciones se refiere a las tolerancias y especificaciones que se relacionan con la calidad del producto, esto es, su capacidad para satisfacer determinadas necesidades. A pesar de que las tolerancias y especificaciones se consideran siempre cuando se revisa el diseño, en general esta medida no es suficiente: se deben considerar de manera independiente los diferentes aspectos de los métodos del análisis de operaciones.

Los diseñadores suelen tener la tendencia a incorporar especificaciones más rígidas de lo necesario cuando desarrollan un producto. Este sesgo se puede deber a una falta de conocimiento acerca del costo y a la idea de que es necesario especificar tolerancias y especificaciones más cercanas de las que en realidad se necesitan con el fin de hacer que los departamentos de manufactura produzcan dentro del rango de tolerancia realmente requerido.

Los analistas de métodos deben ser muy versados en los detalles del costo y estar conscientes de cómo las tolerancias demasiado estrechas o los rechazos innecesarios impactan al precio de venta. La figura 3.4 muestra la pronunciada relación que tiene el costo con el incremento de la severidad de las tolerancias de maquinado. Si los diseñadores son innecesariamente estrictos cuando establecen las tolerancias y especificaciones, la gerencia debe implantar un programa de entrenamiento en el que se prueben de manera clara las economías de las especificaciones. El desarrollo de productos de calidad de una manera que reduzca los costos representa el postulado principal del método de calidad instituido por Taguchi (1986). Este método involucra la combinación de métodos de ingeniería y estadísticos con el fin de alcanzar mejoras en costo y calidad mediante la optimización del diseño del producto y de los métodos de manufactura. Este paso tiene por objetivo reducir el desecho que representa un procesamiento inapropiado.

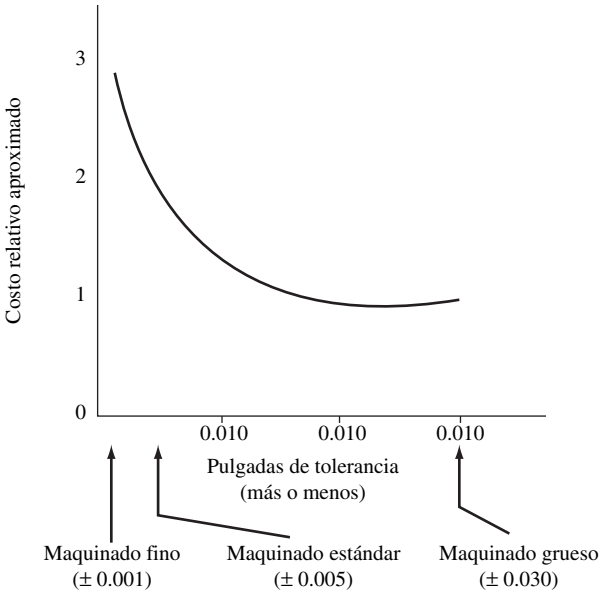


Figura 3.4 Relación aproximada entre el costo y la tolerancia al maquinado.

Los diagramas de los fabricantes especifican que los anillos de soporte del eje de un motor de CD deben tener una tolerancia de 0.0005 pulgadas. Las especificaciones originales del diámetro interior definen una tolerancia de 1.8105 a 1.8110 pulgadas. Esta tolerancia tan estricta fue considerada necesaria debido a que el anillo de soporte se encuentra hundido en el eje del motor. Diversas investigaciones revelaron que la tolerancia adecuada para ese hundimiento era de 0.003 pulgadas. El diagrama fue modificado de inmediato con el fin de especificar un diámetro interior en el rango de 1.809 a 1.812 pulgadas. Este cambio significaba que la operación de rectificado debía eliminarse debido a que alguien cuestionó la absoluta necesidad de una tolerancia tan estricta.

Los analistas deben tomar en consideración el procedimiento ideal de inspección, que consiste en una verificación de cantidad, calidad, dimensiones y funcionamiento. Por lo general, dichas inspecciones pueden llevarse a cabo a través de una variedad de técnicas: inspección a simple vista, inspección lote por lote o inspección del lote completo. La inspección a simple vista es una verificación periódica que garantiza el cumplimiento de los estándares establecidos. Por ejemplo, la configuración de una operación de troquelado y perforado sin precisión en una prensa de golpe debe pasar por una inspección a simple vista con el fin de garantizar que se conserve el tamaño y que no se presenten rebabas. A medida que el troquel comience a desgastarse o a presentarse deficiencias en el material con el que se trabaja, la inspección a simple vista puede detectar el problema a tiempo con el fin de realizar los cambios necesarios, sin que se presente una cantidad de rechazos significativa.

La inspección lote por lote es un procedimiento de muestreo en el que se examina una muestra con el fin de determinar la calidad de una corrida o de un lote. El tamaño de la muestra depende del porcentaje permitido de unidades defectuosas y del tamaño del lote de producción que se somete a revisión. Una inspección total implica la inspección de cada unidad producida y el rechazo de las unidades defectuosas. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que este tipo de inspección no garantiza un producto perfecto. La monotonía de la inspección tiende a generar fatiga, lo que hace que la atención del operador disminuya. El inspector puede dejar pasar algunas partes defectuosas o rechazar algunas que estén bien. Debido a que un producto perfecto no puede garantizarse a través de este tipo de inspección, se puede lograr una calidad aceptable mediante el uso de métodos considerablemente más económicos como la inspección a simple vista o la inspección lote por lote.

Por ejemplo, en una tienda, una cierta operación de pulido automático tenía una cantidad de rechazo normal de 1%. Realizar una inspección total a cada lote de bienes pulidos hubiera sido muy costoso. Por lo tanto, la administración decidió, con ahorros significativos, considerar que el porcentaje permitido de artículos defectuosos sería de 1%, cantidad que pasaría a las etapas de cromado y acabado, desechándose sólo en la inspección final antes de su embarque.

Mediante la investigación de tolerancias y especificaciones y la aplicación de medidas correctivas cuando sea necesario, las compañías pueden reducir los costos de inspección, minimizar el desperdicio, reducir los costos de reparación y mantener una elevada calidad. Al mismo tiempo, resuelven el problema de los desperdicios resultado de los productos defectuosos.

3.4 MATERIAL

Una de las primeras cuestiones que un ingeniero debe tomar en cuenta cuando está en proceso de diseñar un nuevo producto es qué material debe utilizar. Debido a que la elección del material correcto puede ser compleja en razón de la gran variedad de productos disponibles, a menudo es más práctico incorporar un material mejor y más económico en un diseño existente.

Los analistas de métodos deben considerar las posibilidades que se presentan a continuación para obtener los materiales directos o indirectos que utilizarán en un proceso:

1. Buscar un material más ligero y menos costoso.
2. Buscar materiales que sean fáciles de procesar.
3. Utilizar materiales de manera más económica.
4. Utilizar materiales recuperables.
5. Utilizar materiales y herramientas de manera más económica.
6. Estandarizar materiales.
7. Buscar al mejor proveedor desde el punto de vista del precio y de la disponibilidad.

BÚSQUEDA DE UN MATERIAL MÁS LIGERO Y MÁS BARATO

La industria desarrolla de manera continua procesos para producir y refinar materiales. Las publicaciones mensuales muestran el costo aproximado por peso (kg) de hojas de acero, barras y placas, así como el costo del hierro fundido, el acero fundido, al aluminio fundido, el bronce fundido, de las resinas termoplásticos y termoformados y de otros materiales básicos. Dichos costos pueden utilizarse como base a partir de la cual juzgar la aplicación de nuevos materiales. Un material cuyo precio que no era competitivo el día de ayer, puede ser competitivo en la actualidad.

Una compañía utilizó las barras espaciadoras Micarta entre los devanados de las bobinas de transformadores. La separación de los devanados permitió la circulación de aire entre los devanados. Una investigación reveló que el tubo de vidrio podía ser sustituido por las barras Micarta con el subsecuente ahorro de dinero. Los tubos de vidrio eran más baratos y satisfacían mejor las necesidades de servicio debido a que el vidrio podía soportar temperaturas más elevadas. Además, los tubos ahuecados permitieron una mayor circulación de aire que las barras sólidas Micarta.

Otra compañía utilizó un material más barato que aún satisfacía los requisitos de servicio de la producción y distribución de transformadores. Originalmente, una placa de porcelana separaba y mantenía las puntas del alambre que salían de los transformadores. La compañía descubrió que una placa resistía aun cuando el transformador estaba en operación, pero era significativamente más barata. En la actualidad, uno de los muchos tipos de plástico disponibles brinda soluciones más baratas.

Otra preocupación de los fabricantes, especialmente en la actualidad, debido a los elevados costos de transporte consecuencia de los aumentos continuos del precio del petróleo crudo, es el peso del producto en sí. Encontrar un material más ligero o reducir la cantidad de materia prima que se utiliza es la preocupación principal. Un buen ejemplo se puede encontrar en la naturaleza cambiante de las latas de bebidas (vea la figura 3.5). A principio de los años setenta, todas las latas de acero pesaban 1.94 onzas (55 gramos) (vea la figura 3.5*a*). Mediante el reemplazo de la tapa superior y la inferior con discos de aluminio se pueden lograr ahorros en peso de aproximadamente 0.25 onzas (7 gramos) (vea la figura 3.5*b*). Fabricar toda la lata de aluminio puede reducir el peso total a 0.6 onzas (17 gramos), lo cual representa ahorros muy significativos en cuanto a peso (vea la figura 3.5*c*). Sin embargo, las paredes de la lata se hacen tan delgadas que pueden deformarse muy fácilmente. Este punto se resolvió mediante la creación de soportes en las paredes (vea figura 3.5*d*).

Los analistas de métodos deben recordar que, por lo general, artículos tales como válvulas, relevadores, cilindros de aire, transformadores, partes de las tuberías, cojinetes, acopladores, cadenas, bisagras, hardware y motores pueden comprarse a un menor costo del que pueden ser fabricados.



Figura 3.5 Disminución del peso en las latas de bebidas.
a) Todas las latas de acero desde el año 1970 pesaban 1.94 onzas (55 gramos). *b*) Lata de acero con tapa y base de aluminio desde el año 1975 pesaban 1.69 onzas (48 gramos). *c*) Todas las latas de aluminio desde el año 1980 pesaban 0.6 onzas (17 gramos). *d*) Todas las latas de aluminio acanaladas desde el año 1992 pesan 0.56 onzas (16 gramos). (Cortesía de R. Voigt, Penn State.)

BÚSQUEDA DE UN MATERIAL QUE SEA FÁCIL DE PROCESAR

En general, algunos materiales se procesan más fácilmente que otros. Remitirse a los datos de manuales acerca de las propiedades físicas generalmente representa una ayuda para los analistas porque con base en ellos pueden discernir qué material reaccionará más favorablemente a los procesos a los que deberán sujetarse en su transformación de materia prima en productos terminados. Por ejemplo, el maquinado varía en proporción inversa con la dureza y ésta generalmente varía en proporción inversa con la resistencia.

En la actualidad, el material más versátil son los compuestos reforzados. El moldeado de transferencia de resinas puede producir partes más complejas, lo cual representa una ventaja desde el punto de vista de la calidad y cantidad de producción respecto a la mayoría de los demás procedimientos de formado de plástico y metal. Por lo tanto, si especifica un plástico elaborado con fibras de carbón reforzado y epóxico, el analista puede sustituir un material compuesto por una parte metálica, con ventaja en cuanto a calidad y costo. Este paso también incluye el desperdicio o muda que representa un procesamiento inapropiado.

USO MÁS ECONÓMICO DE MATERIALES

La posibilidad de usar materiales de una manera más económica representa un campo fértil para el análisis. Si la relación entre el material de desecho y el que en realidad conforma el producto es alta, se debe buscar una mejor utilización del material. Por ejemplo, si el material que se coloca en un molde de compresión de plástico se pesa con antelación, es factible utilizar sólo la cantidad exacta que se requiera para llenar la cavidad y también eliminar la rebaba excesiva.

En otro ejemplo, en la producción de estampados a partir de hojas metálicas se deben utilizar múltiples troqueles dispuestos con mucho cuidado con el fin de garantizar el uso más eficiente del material. Debido a la materia prima sólida y los troqueles de tamaño estándar, por lo general esta tarea se hace mediante una distribución asistida por CAD, que proporciona eficiencias superiores a 95% (es decir, menos de 5% en desechos). Se utilizan métodos similares en la industria de la confección para diseñar patrones para ropa y en la industria del vidrio para cortar ventanas de diferentes tamaños. Sin embargo, si el material no es consistente, surgen problemas y es probable que el diseño deba ser realizado por un obrero. La producción de asientos de piel para automóviles requiere el diseño de troqueles de corte sobre un compartimiento de bronceado antes de entrar a una prensa rotatoria, la cual aplica presión en los troqueles para cortar la piel con los patrones adecuados. El operador requiere tener mucha habilidad para manejar cueros de vaca llenos de imperfecciones provenientes de marcas y alambres de púas, especialmente para maximizar el uso de la piel que es demasiado costosa (vea la figura 3.6).

Muchos fabricantes de clase mundial se han percatado de que no sólo es deseable sino absolutamente necesario eliminar peso de sus diseños. Por ejemplo, los ingenieros de Ford tratan de reducir



Figura 3.6 Distribución de los troqueles de corte sobre una base bronceada antes de ingresar a la prensa rotatoria (observe la cuidadosa distribución de los troqueles con el fin de maximizar el uso de la costosa piel).

40% del peso para que el Taurus pueda alcanzar una eficiencia de 80 millas/galón. Esto va a requerir que un recubrimiento de acero inoxidable con aluminio de alta resistencia reemplace a las defensas de acero cromadas, así como un mayor uso de plásticos y que compuestos estructurales sustituyan a los componentes ferrosos. Una reducción de peso similar se está presentando en muchos otros productos de uso común como las lavadoras, las videocámaras, las grabadoras de video, las maletas y las televisiones.

En la actualidad, los recubrimientos a base de polvos representan una tecnología probada que está reemplazando a muchos otros métodos de acabado metálico. Los polvos de recubrimiento son partículas finas fragmentadas de polímeros orgánicos (acrílico, epóxico, poliéster o mezclas) que generalmente contienen pigmentos, material de relleno y aditivos. El recubrimiento a base de polvo requiere la aplicación de una formulación apropiada a un substrato, el cual posteriormente se fusiona en una película continua mediante la aplicación de calor, lo cual forma un acabado protector y decorativo. En vista de que las leyes ambientales actuales afectan las operaciones tradicionales de acabado metálico, tales como el electro-cromado y la pintura por inyección, los recubrimientos a base de polvos permiten contar con un ambiente más seguro y limpio. Esta metodología también puede ofrecer un acabado durable, atractivo y económico a las superficies metálicas que se utilizan en muchos productos comerciales, tales como estantería de alambres, cajas de control, enganchado de tráilers, medidores de agua, pasamanos, cubiertas de botes, divisiones para las oficinas y palas para la nieve.

USO DE MATERIALES RESCATADOS

A menudo, los materiales pueden ser rescatados en lugar de venderse como desperdicio. En ocasiones, los productos derivados de una porción no trabajada o que se encuentran en la sección de desperdicios pueden proporcionar grandes posibilidades de ahorro. Por ejemplo, un fabricante de compartimientos para enfriar de acero inoxidable tenía que desechar secciones de 4 por 8 pulgadas de ancho como desperdicio de un corte. Un analista identificó a las cubiertas de los contactos de luz como un posible producto derivado. Otro fabricante, después de rescatar la inserción de acero adherido a anillos de hule defectuosos, utilizó los rollos cilíndricos de hule como defensas para proteger lanchas de motor y veleros.

Si no es factible desarrollar un producto derivado, los materiales de desecho deben separarse con el fin de obtener pedazos grandes de desperdicio. Luego se deben colocar en contenedores independientes para el acero de herramientas, acero, latón, cobre y aluminio. Al personal que recoge la viruta y a los barredores se les debe instruir para que mantengan separado el desperdicio. Por ejemplo, para los focos eléctricos, la base de latón puede almacenarse en un área y después de que se rompa la bombilla de vidrio y se deseche, se quita el filamento de tungsteno y se almacena de manera independiente ya que tiene un gran valor residual. Muchas compañías guardan las cajas de madera de los embarques que llegan y después serruchan las tablas en longitudes estándar para utilizarlas

en la manufactura de cajas para los embarques que van a enviar. Por lo general esta práctica resulta económica y en la actualidad muchas industrias así como centros de mantenimiento y servicio la han puesto en práctica.

Existen también algunos ejemplos interesantes en la industria alimenticia. Un fabricante de tofu procesa los frijoles, separa el material proteico comestible y desecha toneladas de fibra. En lugar de pagar para que la lleven a un basurero, la regala a los granjeros locales para alimentar cerdos siempre y cuando ellos vayan a recogerla. De manera similar, los empacadores de carne utilizan todas las partes de la res: pellejos, huesos y aun la sangre, todo menos el mugido.

UTILIZACIÓN TOTAL DE LAS HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

La administración debe estimular el uso de todos los accesorios. Un fabricante de equipo para la industria lechera implantó la política de que no se entregaría soldadura a los trabajadores que no devolvieran las puntas viejas que tuvieran una longitud menor de 2 pulgadas. El costo de la soldadura se redujo de inmediato más de 15%. Por lo general el soldar o utilizar el proceso de soldadura *brazing* son las formas más económicas de reparar herramientas de corte costosas, tales como brochas, herramientas con forma especial y cortadores de molinos. Si ha sido una práctica de la compañía desechar herramientas rotas de esta naturaleza, el analista debe investigar los ahorros potenciales que representa la implantación de un programa de rescate de ellas.

Los analistas también pueden encontrar utilidad a porciones no desgastadas de las sierras de pulido, discos de esmeril y así sucesivamente. Asimismo, artículos como guantes y trapos no deben ser desechados simplemente porque están manchados. Almacenar artículos sucios y después lavarlos es menos costoso que reemplazarlos. Los analistas de métodos pueden hacer una contribución real a una compañía si simplemente minimizan el desperdicio o las mudas mediante un sistema TPS (Sistema de Producción Toyota).

ESTANDARIZACIÓN DE MATERIALES

Los analistas de métodos siempre deben estar alertas ante la posibilidad de estandarización de materiales. Deben minimizar los tamaños, formas, calibres, etc. de cada material que se utilizan en los procesos de producción y ensamblado. Las economías que por lo general resultan de la reducción de los tamaños y calibres de los materiales empleados incluyen las siguientes:

- Las órdenes de compra se utilizan en grandes cantidades, las cuales casi siempre son menos caras que por unidad.
- Los inventarios son menores puesto que debe almacenarse menos material de reserva.
- En los registros del almacén se deben hacer menos ingresos de material.
- Se deben pagar menos facturas.
- Se necesita menos espacio para almacenar los materiales en la bodega.
- La inspección por muestreo reduce el número total de partes inspeccionadas.
- Se necesitan menos cotizaciones de precios y órdenes de compra.

La estandarización de materiales, de la misma manera que otras técnicas para la mejora de métodos, es un proceso continuo. Requiere de la cooperación continua de los departamentos de diseño, producción, planeación y compras y se acopla de una manera sorprendente con el sistema 5S.

BÚSQUEDA DEL MEJOR PROVEEDOR

Muchos proveedores cotizan diferentes precios, ofrecen distintos niveles de calidad, tiempos de entrega y muestran diversa disposición para mantener inventarios de la gran mayoría de materiales, accesorios y partes. En general, es responsabilidad del departamento de compras seleccionar al mejor proveedor. Sin embargo, puede ser que el mejor proveedor del año pasado no sea el mejor este año. Los analistas de métodos deben estimular al departamento de compras a negociar los materiales, accesorios y partes de mayor costo para obtener mejores precios y calidad superior y con el fin de incrementar la existencia de proveedores, y que ellos estén de acuerdo en mantener inventarios para

sus clientes. No es raro que los analistas de métodos logren una reducción de 10% del precio de los materiales y una reducción de 15% de los inventarios si aplican este método de forma regular a través de los departamentos de compras.

Quizá la razón más importante que explica el éxito continuo de los japoneses en el sector manufacturero sea el *keiretsu*. Ésta es una forma de organización de las empresas y la manufactura que mantiene unidos a los negocios. Se puede ejemplificar como una telaraña de relaciones entrelazadas entre fabricantes, a menudo entre un fabricante grande y sus principales proveedores. Por lo tanto, en Japón, compañías como Hitachi y Toyota y otros competidores internacionales pueden adquirir partes de sus productos a sus proveedores regulares que producen con la calidad deseada y continuamente intentan introducir mejoras para poder cobrar menores precios a las firmas que integran sus redes. Con frecuencia, los departamentos de compras pueden crear relaciones con los proveedores comparables con la llamada producción keiretsu.

3.5 SECUENCIA Y PROCESO DE FABRICACIÓN

A medida que la tecnología de manufactura del siglo XXI elimina la manufactura de trabajo intensivo a favor de los procedimientos que requieren inversiones masivas de capital, el ingeniero de métodos se debe enfocar en el maquinado y ensamblado multieje y multifuncional. Los equipos modernos pueden cortar a velocidades más elevadas en máquinas más precisas, rígidas y flexibles que utilizan controles avanzados y grandes herramientas. Las funciones de programación permiten la calibración durante y después del proceso en el que se prueba la sensibilidad y la compensación de la herramienta, lo cual permite un control de calidad fiable.

El ingeniero de métodos debe comprender que el tiempo empleado en el proceso de manufactura se divide en tres pasos: control y planeación de inventarios, operaciones de configuración (setup) y manufactura del proceso. Además, no es nada raro encontrar que la suma de estos procedimientos representa sólo cerca de 30% de eficiencia desde el punto de vista de la mejora.

Para mejorar el proceso de manufactura, el analista debe considerar 1) la modificación de las operaciones; 2) la mecanización de las operaciones manuales; 3) la utilización de recursos más eficientes en las operaciones mecánicas; 4) la operación de los recursos mecánicos de manera más eficiente; 5) la fabricación cercana a la forma final (manufactura de forma neta); y 6) la utilización de robots; todo lo anterior permite manejar el desperdicio (muda), resultado de un procesamiento inapropiado.

MODIFICACIÓN DE OPERACIONES

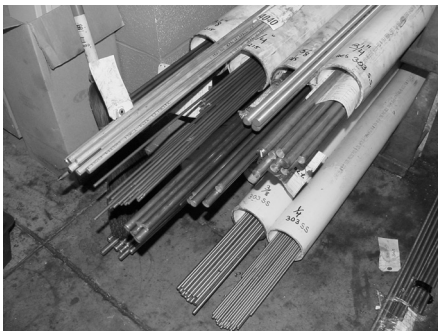
Con frecuencia, la modificación de operaciones da como resultado ahorros. Como ejemplo, la pestaña de una caja de motor requería de la perforación de cuatro agujeros, uno en cada esquina. Asimismo, la base tenía que ser pareja y plana. Al principio, el operador comenzó por esmerilar la base y después taladró los cuatro agujeros utilizando una sierra. El trabajo de perforado generó rebabas, las cuales tuvieron que removerse como parte de otra etapa. Ante ello, se modificó la operación de tal forma que los agujeros se perforaran primero y después se fijara la base, con lo cual se eliminó la etapa de remoción de rebaba, debido a que el esmerilado de la base la expulsó de manera automática.

Por lo general, mediante la combinación de operaciones se reducen los costos. Por ejemplo, un manufacturero fabricó el soporte de los motores y la caja de salida de sus ventiladores eléctricos. Después de pintar las partes por separado, los operadores las remacharon entre sí. Mediante el remachado de la caja de salida del soporte del motor antes de pintarla, los analistas redujeron apreciablemente el tiempo de la operación de pintado. De manera similar, mediante el uso de una máquina más compleja que combine varias operaciones, se puede reducir el tiempo para producir la pieza terminada e incrementar la productividad (vea la figura 3.7). A pesar de que la máquina puede ser más cara, se pueden lograr ahorros significativos en la reducción de los costos de mano de obra.

En otro ejemplo, el mercado de cabezas de cilindro de aluminio está creciendo, y las fundidoras están percatándose de que es productivo ir del proceso de fundición de moldes de acero al proceso de hule espuma perdido. Este último es un procedimiento de fundición invertida que utiliza un modelo desechable de espuma de poliestireno rodeado de una carcasa cerámica delgada. La fundición en moldes de acero requiere de un considerable maquinado subsecuente. En comparación, el proceso



a)



b)



c)

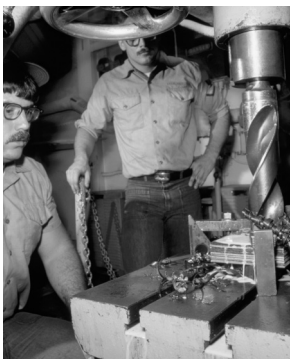
Figura 3.7 Combinación de operaciones para eliminar etapas de proceso. El material que se muestra en *b*) se corta a la medida y se enrosca en un solo paso en el torno Citizen CNC que se muestra en *a*) para dar como resultado la pieza terminada que se muestra en *c*).
a) Torno CNC de Citizen. (Cortesía de Jergens, Inc.) *b*) Materia prima. (Cortesía de Jergens, Inc.) *c*) Pieza terminada. (Cortesía de Jergens, Inc.)

basado en el hule espuma perdido reduce la cantidad de maquinado y también elimina los costos de desecho de la arena normalmente asociados con la inversión de la fundición.

Sin embargo, antes de modificar cualquier operación, el analista debe tener en cuenta los efectos negativos en las operaciones subsecuentes a lo largo de la línea de producción. La reducción de costos de una operación podría resultar en costos más elevados de otras operaciones. Por ejemplo, un cambio en la manufactura de bobinas de campo de AC dio como resultado la elevación de los costos y, por lo tanto, no fue algo práctico. Las bobinas de campo estaban hechas de tiras pesadas de cobre, las cuales se formaron y después se aislaron con película de mica. Dicha película fue colocada a mano en las diferentes partes de la bobina. La compañía decidió envolver las tiras de cobre a máquina antes de colocarlas en las bobinas. Esta medida no mostró ser práctica, ya que la formación de las bobinas rompió la película de mica, por lo que se necesitaron reparaciones que consumieron mucho tiempo antes de que el producto fuera aceptado.

MECANIZACIÓN DE LAS OPERACIONES MANUALES

En la actualidad, todo analista de métodos práctico debe tener en cuenta el uso de equipo y herramientas automáticos de propósito especial, particularmente si las cantidades que se desean producir son grandes. Entre las últimas ofertas significativas de la industria se pueden mencionar las máquinas controladas por programa, las de control numérico (NC) y las controladas por computadora (CNC) así como otros equipos. Todos ellos generan ahorros substanciales en costos de mano de obra y tienen las ventajas siguientes: reducción del inventario del trabajo en proceso, menos partes dañadas debido al manejo, menos desperdicios, menor utilización de espacio y un tiempo de producción menor. Por ejemplo (vea la figura 3.8), mientras que se necesitan dos operadores para usar una máquina herramienta operada manualmente, sólo se requiere uno para utilizar una máquina herramienta controlada por computadora. El uso de un brazo robotizado que opere una máquina herramienta totalmente automatizada ni siquiera requerirá de un operador, lo cual reduce de manera considerable los costos de mano de obra (con la salvedad de que los costos iniciales de capital serán mayores).



a)



b)



c)



d)

Figura 3.8 Mediante la mecanización de operaciones manuales se pueden reducir los costos de mano de obra.
a) Se requieren dos personas para operar manualmente la máquina herramienta. *b*) Una máquina herramienta controlada por computadora actual sólo requiere de un operador. *c*) Una máquina herramienta de última generación controlada por computadora aún requiere de un operador pero puede realizar más operaciones. *d*) Un brazo robotizado que opera una máquina herramienta totalmente automatizada no requiere operadores.
[*a*) © Yogi, Inc./CORBIS; *b*) © Molly O'Bryon Welpott; *c*) y *d*) Cortesía de Okuma.]

Entre otros equipos automáticos se incluyen las máquinas automáticas para destornillar; las perforadoras con múltiples brocas, perforadoras y máquinas de intrusión; máquinas herramienta de mesa indexada; equipo de fundición automática que combina la fabricación automática de moldes de arena, vertido, mezclado y esmerilado; y el equipo para dar el acabado de pintura y cromado. El uso de herramientas eléctricas para ensamblado, tales como los desarmadores eléctricos, los martillos neumáticos y eléctricos y los alimentadores mecánicos, es a veces más económico que el uso de herramientas manuales.

Para ilustrar, una compañía que produce ventanas especiales utilizaba métodos manuales para prensar las guías sobre ambos extremos de la placa de vidrio de las ventanas que había sido cubierta con una envoltura de hule sintético. Las placas de vidrio se mantenían en posición mediante dos superficies acolchonadas que se mantenían unidos entre sí mediante métodos neumáticos. El operador levantaba la guía y la colocaba sobre el extremo del vidrio de una ventana y después levantaba el mazo y martillaba la guía para colocarla en su posición sobre el vidrio. La operación era lenta y traía como consecuencia que el operador sufriera de un gran número de lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con su trabajo.

Además, el desperdicio era considerable debido a la ruptura de vidrios producida por los golpes de las guías sobre el vidrio. Ante ello, se diseñó un nuevo método que de manera neumática aprisionaba las guías del vidrio de la ventana sobre una envoltura de hule sintético. Con mucho entusiasmo, los operadores aceptaron este nuevo método debido a que el trabajo era mucho más fácil; los problemas de salud desaparecieron, aumentó la productividad y la ruptura de vidrio descendió a niveles cercanos a cero.

La mecanización se aplica no sólo a la operación de procesos, sino también al papeleo administrativo. Por ejemplo, las aplicaciones de los códigos de barras pueden ser invaluables para el analista de operaciones. Mediante los códigos de barras se pueden ingresar de manera rápida y precisa una gran variedad de datos. En consecuencia, las computadoras pueden manipular datos para alcanzar un objetivo deseado como, por ejemplo, el conteo y control de inventarios, el enrutamiento de artículos específicos hacia o a través de un proceso, o la identificación del estado de avance o del operador que en ese momento trabaja en cada artículo en un proceso en marcha.

UTILIZACIÓN DE INSTALACIONES MECÁNICAS MÁS EFICIENTES

Si una operación se lleva a cabo mecánicamente, siempre existe la posibilidad de emplear medios más eficientes de mecanización. En una compañía, por ejemplo, las bases de las aspas de las turbinas se maquinaban mediante tres operaciones independientes de fresado. Tanto el tiempo del ciclo como los costos eran elevados. Cuando se introdujo el punzón externo, las tres superficies podían terminarse de una vez, con los considerables ahorros en costo y tiempo. Otra compañía no vislumbró la posibilidad de utilizar una operación de prensado. Este proceso es uno de los más rápidos para el formado y el dimensionamiento de procesos. Un soporte estampado tenía cuatro agujeros que se perforaban después de que el soporte se había formado. Mediante el uso de un dado diseñado para perforar los agujeros, el trabajo pudo realizarse en una fracción del tiempo que se empleaba anteriormente.

La mecanización del trabajo se aplica a otras áreas, además del trabajo manual. Por ejemplo, una compañía de la industria alimenticia debía verificar el peso de varias líneas de producto con una báscula. Este equipo requería que el operador observara el peso visualmente, lo registrara en un formulario y, posteriormente, llevara a cabo varios cálculos. Un estudio de ingeniería de métodos dio como consecuencia la introducción de un sistema estadístico para controlar el peso. Con este método mejorado, el operador pesa el producto en una báscula digital programada para aceptar el producto dentro de un cierto rango de peso. A medida que el producto se pesa, la información relativa al peso se transfiere a una computadora personal que compila la información e imprime el reporte que se desea.

OPERACIÓN DE INSTALACIONES MÉCANICAS DE MANERA MÁS EFICIENTE

Una buena consigna de los analistas de métodos es ésta: “Diseñe por dos al mismo tiempo”. En general, la operación de múltiples dados en el trabajo de prensado es más económica que la operación de una sola etapa. De nuevo, múltiples cavidades en el fundido de dados, moldeo y procesos similares son opciones viables cuando existe un volumen suficiente. En las operaciones con máquinas, los analistas deben asegurarse que se utilicen los alimentadores y las velocidades apropiadas. Ellos deben investigar el afilado de las herramientas de corte para obtener un máximo beneficio. Deben verificar que las herramientas de corte se encuentran montadas adecuadamente, que se utilice el lubricante correcto y que la máquina herramienta esté en buenas condiciones y reciba el mantenimiento adecuado. Muchas máquinas herramienta trabajan a sólo una fracción de su eficiencia. Promover que se trabajen las herramientas mecánicas de una manera más eficiente casi siempre genera dividendos.

FABRICACIÓN CERCANA A LA FORMA FINAL

Utilizando un proceso de manufactura que genere componentes más cercanos a la forma final (manufactura de forma neta) se puede maximizar el uso de material, reducir el desperdicio, minimizar el procesamiento secundario tal como el maquinado y terminado finales y permite fabricar con materiales menos dañinos para el ambiente. Por ejemplo, la formación de partes con polvos metálicos (PM) en lugar del fundido y el forjado convencionales a menudo permite fabricar formas casi finales para muchos componentes, lo que genera ahorros económicos enormes, así como ventajas funcionales. En el caso de polvos metálicos forjados en forma de varillas, se ha reportado que éstos han reducido la masa recíprocante de alternativas en competencia, lo cual produce menos ruido y vibración así como mayores economías de costos.

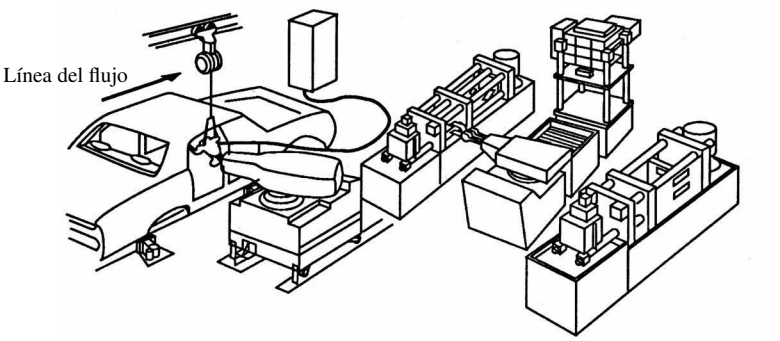
CONSIDERACIÓN DEL USO DE ROBOTS

Por razones de productividad y costos, en la actualidad es importante considerar el uso de robots en muchas áreas de manufactura (vea la figura 3.9). Por ejemplo, las áreas de ensamblado incluyen trabajo que típicamente contiene un alto costo de mano de obra directa, que en algunos casos representa más de la mitad del costo de manufactura de un producto. La ventaja principal de integrar un robot moderno en el proceso de ensamblado es su inherente flexibilidad. Estos mecanismos pueden ensamblar múltiples productos en un solo sistema y ser programados para manejar varias tareas con

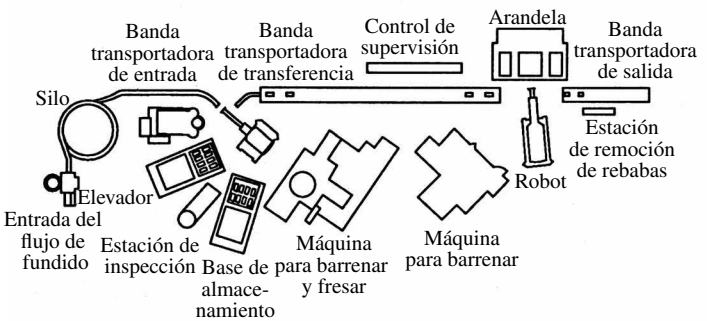
variaciones en las partes. Además, el ensamblado mediante el uso de un robot puede proporcionar una calidad repetida de manera permanente y predecir el rendimiento de la producción.

El tiempo de vida típico de un robot es de 10 años. Si recibe un buen mantenimiento y se utiliza para mover pequeñas cargas, su vida puede extenderse hasta 15 años. Como consecuencia, la depreciación del costo de un robot puede ser relativamente insignificante. También, si el tamaño y la configuración de un determinado robot son adecuados, puede utilizarse en una gran variedad de operaciones. Por ejemplo, podría utilizarse para cargar un troquel de fundición, para cargar un tanque de enfriamiento, para cargar y descargar una operación de forjado de una placa, para cargar un aparato para lavar placas de vidrio, etc. En teoría, un robot del tamaño y configuración correctos puede ser programado para hacer cualquier tipo de trabajo.

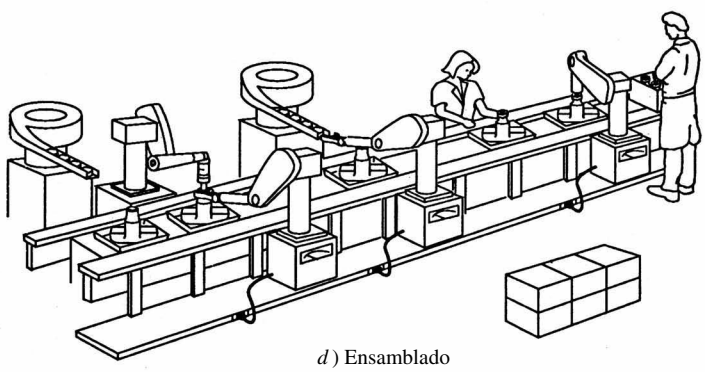
Además de las ventajas de la productividad, los robots también ofrecen ventajas en seguridad, pues pueden utilizarse en centros de trabajo donde existe peligro para el trabajador debido a la naturaleza del proceso. Por ejemplo, en un proceso de fundición con troqueles, puede existir una probabilidad considerable de peligro debido a las salpicaduras de metal hirviendo cuando el metal fundido se inyecta en la cavidad del troquel. Una de las primeras aplicaciones de los robots fue en el fundido de dados. En una compañía, un robot de cinco ejes desarrollado por la compañía Unimation, Inc., opera una máquina de fundido a troquel de 600 toneladas controlada por un microprocesador. En la operación, el robot



a) Soldadura *b*) Fundición a troquel y alimentación de la prensa



c) Centro de maquinado



d) Ensamblado

Figura 3.9 Dibujo que ilustra algunas de las aplicaciones industriales más comunes de los robots.
a) Se muestra un robot para soldadura, pero por lo general se pueden utilizar varios de ellos a lo largo de una línea de ensamble automotriz. *b*) En una aplicación de fundido a troquel, un robot descarga las máquinas para el fundido, realiza operaciones de enfriamiento y carga material en una prensa. *c*) La línea de producción de maquinado se utiliza para producir las camisa de las levas. *d*) La línea de ensamble utiliza una combinación de robots, alimentadores de partes y operadores humanos.

se mueve de posición cuando el troquel se abre, toma la pieza fundida por su agarradera y la retira de la cavidad. Al mismo tiempo, comienza a rociar automáticamente el lubricante en el troquel. El robot despliega la pieza fundida a través de escáneres infrarrojos, después envía señales a la máquina fundidora para aceptar otro flujo de lubricante. El metal fundido se deposita por medio de un robot en una estación de salida para su recorte. En este punto, un operador, ubicado en un sitio lejano de la máquina fundidora, recorta con seguridad la pieza fundida y la prepara para operaciones subsecuentes.

Los fabricantes de automóviles otorgan una importancia particular en el uso de robots para efectuar las soldaduras. Por ejemplo, en Nissan Motors, 95% de las soldaduras que se realizan en sus vehículos se llevan a cabo por medio de robots; por su parte, Mitsubishi Motors reportó que aproximadamente 70% de sus procesos de soldado se llevan a cabo mediante robots. En estas compañías, los tiempos perdidos promedian menos de 1%.

3.6 CONFIGURACIÓN Y HERRAMIENTAS

Uno de los elementos más importantes de todas las formas de elementos de sujeción, herramientas y configuraciones del trabajo es la economía. La cantidad de herramental más ventajosa depende de 1) la cantidad de la producción, 2) las acciones repetidas, 3) la mano de obra, 4) los requisitos de entrega y 5) el capital que se requiere.

El error más usual del personal que se encarga de la planeación y de los fabricantes de herramientas es invertir dinero en instalaciones o accesorios que generan un ahorro significativo cuando están en uso pero que muy rara vez se utilizan. Por ejemplo, un ahorro de 10% en costos directos de mano de obra en un trabajo que se realiza de manera constante probablemente justifique un mayor gasto en herramientas que ahorros de 80 o 90% en un pequeño trabajo que sólo aparece en el calendario de programación algunas veces al año. (Éste es un ejemplo del análisis de Pareto, del capítulo 2.) La ventaja económica de menores costos de mano de obra es el factor de control para determinar el herramental; en consecuencia, puede ser deseable el uso de guías para fabricar piezas idénticas y accesorios, aun cuando sólo estén involucradas pequeñas cantidades. Otras consideraciones, tales como un mayor intercambio, una mayor precisión o la reducción de problemas de mano de obra pueden ser las razones dominantes para emplear herramental elaborado, aunque éste generalmente no es el caso. En el capítulo 9, en la sección sobre diagramas de cobertura de gastos, se analiza un ejemplo del compromiso entre los costos de los accesorios y de las herramientas.

Una vez que se ha determinado la cantidad necesaria de herramental (o si el herramental ya existe, una vez que la cantidad ideal necesaria se ha determinado), se deben evaluar las consideraciones específicas para producir los diseños más favorables. Estas cuestiones se enumeran en la Lista de verificación para evaluar la configuración y el herramental que se muestra en la figura 3.10.

La configuración va de la mano con el herramental, ya que éste invariablemente determina los tiempos de configuración y arranque. Cuando hablamos del tiempo de configuración, generalmente incluimos aspectos tales como ponerse de acuerdo acerca del trabajo a realizar; generar instrucciones, diagramas, herramientas y material; preparar las estaciones de trabajo de tal manera que la producción pueda comenzar de la manera prescrita (configurar herramientas; ajustar los topes; configurar los alimentadores y la profundidad de corte; y así sucesivamente); desmontar la configuración; y devolver las herramientas a su caja.

Las operaciones de configuración (setup) son especialmente importantes en los lugares de trabajo donde las corridas de producción tienden a ser pequeñas. Aun si este tipo de lugares cuentan con modernas instalaciones y dedican un gran esfuerzo, es probable que tengan problemas en igualar a la competencia si las configuraciones son muy largas debido a una pobre planeación y un herramental ineficiente. Cuando la relación entre el tiempo de configuración y el tiempo de corrida de la producción es muy grande, un analista de métodos puede desarrollar varias formas para mejorar la configuración y el herramental. Una opción significativa es un sistema de tecnologías de grupos.

La esencia de la tecnología de grupo radica en la clasificación de los diferentes componentes de los productos de la compañía, de tal manera que las partes similares en forma y en secuencia de procesamiento sean idénticas desde un punto de vista numérico. Las partes pertenecientes al mismo grupo de familia, como por ejemplo, anillos, mangas, discos y collares, están programadas para su producción durante el mismo intervalo en una línea de producción de propósito general configurada en la secuencia óptima de operación.

Soporte	**Sí**	**No**
1. ¿Puede un soporte utilizarse para producir otros diseños similares para introducir ventajas?	❑	❑
2. ¿Será similar el soporte a algunos otros que se han utilizado para generar ventajas? Si es así, ¿cómo podría usted mejorarlos?	❑	❑
3. ¿Puede utilizarse la existencia de material existente para hacer un soporte?	❑	❑
4. ¿Puede incrementarse la producción si se coloca más de una parte en un soporte?	❑	❑
5. ¿Pueden removerse fácilmente las rebabas de los soportes?	❑	❑
6. ¿Son los sujetadores de un soporte lo suficientemente resistentes para evitar que se tuerzan cuando se aprieten?	❑	❑
7. ¿Deben diseñarse llaves especiales para trabajar con los soportes?	❑	❑
8. ¿Deben diseñarse fresas especiales, pérgolas o collares para instalarse con el soporte?	❑	❑
9. Si el soporte es del tipo rotatorio, ¿ha diseñado usted un arreglo adecuado de indexado?	❑	❑
10. ¿Puede un soporte utilizarse en una cabeza de indexado rotatorio estándar?	❑	❑
11. ¿Puede hacerse que el soporte maneje más de una operación?	❑	❑
12. Al diseñar un soporte, ¿ha acercado un trabajo lo más próximo a la mesa de la fresadora como le haya sido posible?	❑	❑
13. ¿Puede calibrarse el trabajo en el soporte? ¿Puede utilizarse un calibrador de presión?	❑	❑
14. ¿Puede usted utilizar remaches para ayudar a detener el trabajo mientras se está fresando?	❑	❑
15. ¿Colocó resortes debajo de todas las mordazas?	❑	❑
16. ¿Están endurecidos todos los puntos de contacto de acero, mordazas, etcétera?	❑	❑
17. ¿Qué tipo o clase de soportes desea diseñar?	❑	❑
18. ¿Puede usted utilizar doble o triple rosca en un tornillo que detiene el trabajo en el soporte, de tal forma que tomará menos vueltas para sacar el tornillo fuera de su posición para remover la parte más rápido?	❑	❑
19. ¿Puede un fabricante de herramientas hacer la guía o soporte?	❑	❑
20. ¿Son las piernas de la guía o soporte lo suficientemente largas para permitir que el taladro, el escariador o el piloto del escariador pase a través de la parte una distancia razonable sin hacer contacto con la mesa de la prensa del taladro?	❑	❑
21. ¿Son las guías o soportes muy pesadas para ser manejadas?	❑	❑
22. ¿Se identifica la guía o el soporte con el número de ubicación para almacenarse y un número de parte que identifica la parte o partes que la guía ayuda a producir?	❑	❑
23. ¿Está la pieza soportada adecuadamente de tal forma que la fuerza de sujeción no lo doble o quiebre?	❑	❑

Pieza	**Sí**	**No**
1. ¿Ha sido sometida la pieza a una operación anterior? Si es así, ¿puede usted utilizar cualquiera de estos puntos o superficies para colocarla o fijarla?	❑	❑
2. ¿Puede la parte colocarse rápidamente en el soporte?	❑	❑
3. ¿Puede quitarse la parte rápidamente del soporte?	❑	❑
4. ¿Está la parte soportada firmemente de tal manera que no puede trabajar floja, con juego o interferir con la herramienta mientras se lleva a cabo el corte? (El corte debe realizarse en contra de la parte sólida del soporte y no en contra de la mordaza)	❑	❑
5. ¿Puede fresarse la parte en un torno estándar armando un conjunto de quijadas especiales, por lo tanto, suprimiendo un soporte costoso?	❑	❑
6. Si la parte va a ser fresada a un ángulo, ¿podría simplificarse el soporte utilizando un ángulo de fresado ajustable estándar?	❑	❑
7. ¿Pueden fundirse las agarraderas de la parte que se va a maquinar para que usted pueda sujetarla?	❑	❑
8. ¿Ha escrito usted una nota en el diagrama o estampado todas las partes sueltas indicando las guías para las que fueron hechas, de tal manera que las partes perdidas o colocadas fuera de su lugar puedan regresarse a sus guías cuando se encuentren?	❑	❑
9. ¿Están redondeadas todas las esquinas necesarias?	❑	❑

Taladros	**Sí**	**No**
1. ¿Qué le da el empuje al taladro?	❑	❑
2. ¿Puede usted utilizar cualquier remache o tornillo para sujetar la pieza mientras está siendo perforada?	❑	❑
3. ¿Son los cojinetes del taladro tan largos que sea necesario hacer agujeros de extensión?	❑	❑
4. ¿Están colocados los sujetadores de tal manera que resistan o ayuden a resistir la presión del taladro?	❑	❑
5. ¿Tiene la prensa del taladro las velocidades necesarias para el perforado y escariado de todos los orificios?	❑	❑
6. ¿Debe tener la prensa de perforado un anexo de intrusión?	❑	❑
7. El perforado y escariado de varios orificios pequeños y sólo uno grande en las guías no es práctico debido a que se pueden obtener resultados más rápidamente si se perforan agujeros pequeños sobre una prensa de perforado más pequeña, mientras que sólo tener uno grande requerirá que se utilice la guía en una máquina grande:		
a) ¿Es más barato perforar el agujero grande en otra guía o soporte?	❑	❑
b) ¿El resultado será lo suficientemente preciso?	❑	❑

Varios	**Sí**	**No**
1. ¿Puede diseñarse un calibrador o añadirse remaches endurecidos para ayudar al operador a configurar los cortadores de molido o verificar el trabajo?	❑	❑
2. ¿Existe una gran cantidad de espacio para que las abrazaderas de la pérgola pasen sobre el trabajo sin que se impacten?	❑	❑

Figura 3.10 Lista de verificación para evaluar la configuración y el herramental.

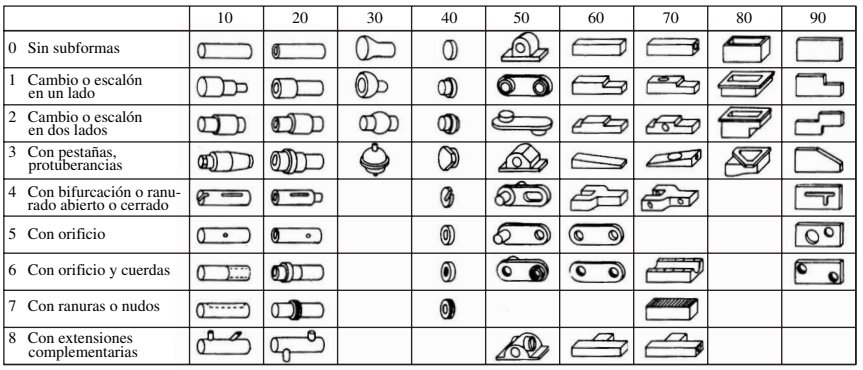


Figura 3.11 Subdivisión del sistema de agrupamiento para tecnología de grupos.

Puesto que tanto el tamaño como la forma de las partes de una determinada familia varían de manera considerable, por lo general la línea está equipada con accesorios y soportes tipo universal y de acción rápida para fabricar piezas idénticas. Este método también es acorde con la eliminación de desperdicios (mudas) de un inventario excesivo y con el pilar de las 5S de la estandarización.

Como ejemplo, la figura 3.11 muestra un sistema de agrupamiento subdividido en nueve clases de partes. Observe la similitud de las partes en cada columna vertical. Si fuéramos a maquinar un eje con rosca exterior y un agujero parcial en un extremo, la parte se identificaría como Clase 206.

TIEMPO DE CONFIGURACIÓN (SETUP) REDUCIDO

Las técnicas de *justo a tiempo (JIT),* la cuales se popularizaron en años recientes, hacen hincapié en la reducción de los tiempos de configuración hasta el mínimo mediante su simplificación o eliminación. El Sistema SMED (cambio de dado en sólo un minuto) del sistema de producción Toyota, TPS (Shingo, 1981) representa un buen ejemplo de este método. Con frecuencia, una gran parte del tiempo de configuración puede eliminarse si se garantiza que la materia prima respete las especificaciones, que las herramientas estén afiladas y que los accesorios estén disponibles y en buenas condiciones. En ocasiones, puede ser más eficiente la producción en lotes más pequeños. Los tamaños de lote más pequeños pueden permitir que los inventarios sean más pequeños, con menos problemas de costos de transporte y de almacenamiento, tales como contaminación, corrosión, deterioro, obsolescencia y robo. El analista debe comprender que la reducción del tamaño de los lotes dará como consecuencia un incremento de los costos totales de configuración de la misma cantidad total de producción en un periodo determinado. Cuando se intenta reducir el tiempo de configuración se deben tomar en cuenta varios aspectos:

1. El trabajo que pueda realizarse mientras el equipo esté en operación deberá hacerse en el momento. Por ejemplo, la preconfiguración de las herramientas del equipo de control numérico (NC) puede hacerse mientras la máquina se encuentre trabajando.
2. Uso de elementos de sujeción más eficientes. En general, los sujetadores de acción rápida que emplean acción de levas, palancas, cuñas, etc., son mucho más rápidos, proporcionan una fuerza adecuada y son generalmente una buena opción respecto a los sujetadores de rosca. Cuando sea necesario utilizar sujetadores de rosca (como fuerza sujetadora), las arandelas C o los agujeros rasurados se pueden emplear de tal manera que las tuercas y tormillos no tengan que ser quitados de la máquina y puedan reutilizarse, lo que reduce el tiempo de configuración del siguiente trabajo.
3. Eliminación del ajuste de la base de la máquina. El rediseño de los accesorios de las partes y la utilización de herramientas preconfiguradas puede eliminar la necesidad de emplear espaciadores o ajustes del bloque guía a la posición de la mesa.
4. Empleo de patrones o calibradores de bloques con la finalidad de realizar ajustes rápidos a los topes de las máquinas.

El tiempo invertido en la requisición de herramientas, en la preparación de la estación de trabajo para la producción real, la limpieza de la estación de trabajo y la devolución de las herramientas a su

caja representan tareas que generalmente están incluidas en el tiempo de configuración. Con frecuencia, dicho tiempo es difícil de controlar y por lo general el trabajo se realiza con una menor eficiencia. En ocasiones, el control eficiente de la producción puede reducir este tiempo. Hacer que la sección de despacho sea responsable de ver que las herramientas, calibradores, instrucciones y materiales sean entregados a tiempo y que las herramientas sean devueltas a sus respectivos lugares una vez que se ha realizado el trabajo, elimina la necesidad de que el operador abandone su área de tareas. El operador, entonces, sólo tiene que llevar a cabo la configuración y el arranque de la máquina. La función administrativa y de rutina de proporcionar diagramas, instrucciones y herramientas puede realizarse por los trabajadores más familiarizados con este tipo de trabajo. Por lo tanto, un gran número de requisiciones se pueden realizar de manera simultánea y el tiempo de configuración se puede minimizar. Aquí, de nuevo, la tecnología de grupos puede representar una ventaja.

Para evitar que los operadores tengan que afilar sus herramientas cada vez que las necesiten, se debe contar con herramientas de corte de repuesto de fácil disponibilidad. Cuando los operadores adquieran nuevas herramientas, las usadas deben ser devueltas al encargado del almacén de herramientas y ser reemplazadas por las nuevas. El afilado de herramientas se convierte en una nueva función que permite que éstas puedan estandarizarse más fácilmente.

Con el fin de minimizar tiempos perdidos, cada operador debe contar con un registro del trabajo, pues es imprescindible que siempre sepa cuál será el siguiente trabajo. Una técnica que se utiliza con frecuencia para mantener la carga de trabajo a la vista del operador, supervisor y superintendente es una pizarra sobre cada instalación de producción, con tres sujetadores o bolsas para recibir las órdenes de trabajo. El primer sujetador contiene todas las órdenes de trabajo programadas con antelación; el segundo sirve para tener las órdenes que se están realizando en un determinado momento; y el último para conservar todas las órdenes de trabajo terminadas. Cuando se generen órdenes de trabajo, el despachador las debe colocar en la estación de trabajo pendiente. Al mismo tiempo, tiene que recoger todos los reportes de órdenes terminadas de la estación de trabajo y entregarlos al departamento de programación para su registro. Este sistema garantiza que los operadores reciban trabajo de manera continua y hace innecesario que tengan que dirigirse al supervisor para recibir su siguiente asignación de trabajo.

Elaborar un registro con las configuraciones difíciles y recurrentes puede ahorrar un tiempo considerable de configuración cuando se reciban trabajos repetidos. Quizá la forma más simple y, sin embargo, la más eficiente de compilar un registro de una configuración, sea tomarle una fotografía una vez que se haya terminado. Dicha fotografía debe engraparse y archivarse con la tarjeta de operaciones de producción o colocarse en una envoltura de plástico y pegarse en las herramientas antes de que éstas sean almacenadas en su caja.

UTILICE TODA LA CAPACIDAD DE LA MÁQUINA

Con frecuencia, una revisión cuidadosa de un gran número de trabajos revela posibilidades para utilizar una porción mayor de la capacidad de una máquina. Por ejemplo, una operación de molienda de una palanca de tiro se cambió de tal manera que las seis caras fresaban de manera simultánea mediante el uso de cinco cortadores. La vieja configuración requería que el trabajo se realizara en tres etapas, lo cual significaba que la parte tenía que colocarse en una base diferente tres veces. La nueva redujo el tiempo total de maquinado e incrementó la precisión de la relación entre las seis caras maquinadas.

Los analistas también deben tomar en cuenta el posicionamiento de una parte mientras que la otra está siendo maquinada. Esta oportunidad se presenta en muchas tareas de fresado en las cuales es posible fresar de manera convencional en un paso de la mesa y hacer el fresado de altura en el paso de regreso. Mientras el operador carga un accesorio en un extremo de la mesa de maquinado, un accesorio similar sujeta la pieza que está siendo maquinada por alimentación de energía. A medida que la mesa de la máquina regresa, el operador quita el primer pedazo de la máquina y recarga el accesorio. Mientras se lleva a cabo este trabajo interno, la máquina corta la pieza en el segundo accesorio.

En vista del costo cada vez más elevado de la energía, es importante utilizar el equipo más económico para realizar la tarea. Hace varios años, el costo de la energía era una parte tan insignificante del costo total que se prestaba muy poca atención al hecho de que se utilizaran las máquinas a su máxima capacidad. Existen literalmente miles de operaciones donde sólo una fracción de la capaci-

dad de la máquina se utiliza, con el consiguiente desperdicio de energía eléctrica. En la industria del comercio de los metales, el costo de la energía es de más de 2.5% del costo total, y existen indicios significativos de que el precio de la energía aumentará al menos 50% en la próxima década. Es muy probable que una planeación cuidadosa en la utilización de proporciones mayores de la capacidad de una máquina para hacer el trabajo pueda representar un ahorro de 50% en el uso de la energía en una gran parte de nuestras plantas. Típicamente, para la mayoría de los motores, se cumple que si el porcentaje de la carga total estimada aumenta de 25 a 50%, cuando mucho se puede alcanzar 11% de aumento de eficiencia.

INTRODUCCIÓN DE HERRAMIENTAS MÁS EFICIENTES

De la misma manera que continuamente se desarrollan nuevas técnicas de procesamiento, se debe considerar el empleo de un herramental novedoso y más eficiente. Las herramientas de corte con recubrimientos han mejorado de manera dramática la combinación crítica desgaste-resistencia/ruptura-resistencia. Por ejemplo, las herramientas recubiertas con TiC (carburo de titanio) han proporcionado un aumento de 50 a 100% de velocidad con respecto a las de carburo sin recubrimiento, donde cada una tiene la misma resistencia a la ruptura. Entre las ventajas se encuentran superficies más duras, por lo cual se reduce el desgaste por abrasión; una excelente adhesión a los sustratos; un bajo coeficiente de fricción con la mayoría de los materiales de trabajo; un material químico inerte; y resistencia a temperaturas elevadas.

Por lo general, en muchos trabajos, las herramientas de carburo son más atractivas en cuanto a costo que las de acero de alta velocidad. Por ejemplo, una compañía alcanzó 60% de ahorros con sólo modificar la operación de fresado de una fundición de magnesio. Originalmente, la base era fresada totalmente en dos operaciones, utilizando cortadores para fresar de acero de alta velocidad. Un análisis dio como resultado que era más productivo emplear tres cortadores con punta de carburo montados en un soporte especial para fresar totalmente las partes. Se obtuvieron alimentaciones y velocidades más rápidas y no se dañó el acabado de la superficie.

A menudo se pueden lograr ahorros mediante la alteración de la geometría de las herramientas. Cada configuración implica requisitos diferentes que pueden lograrse sólo mediante el diseño de un sistema de ingeniería que optimice el rango de alimentación para el control de rebabas, fuerzas cortantes y resistencia de bordes. Por ejemplo, se pueden diseñar geometrías de un solo lado y fuerza moderada con el fin de proporcionar un buen control de la rebaba y una reducción de la fuerza. En este caso, se agrupan elevados ángulos de inclinación positivos con el fin de reducir el cociente del grosor de la rebaba, lo que proporciona bajas fuerza de corte y temperatura de cortado.

Cuando se desee adquirir un herramental más eficiente, el analista deberá desarrollar mejores métodos para sujetar el trabajo. Las piezas deben sujetarse de tal forma que puedan colocarse y quitarse rápidamente (vea la figura 3.12). A pesar de que la carga de las partes aún es una operación manual, se incrementará la productividad así como también la uniformidad.

3.7 MANEJO DE MATERIALES

El manejo de materiales incluye restricciones de movimiento, tiempo, lugar, cantidad y espacio. En primer lugar, el manejo de materiales debe garantizar que las partes, materia prima, materiales en proceso, productos terminados y materiales sean desplazados periódicamente de un lugar a otro. En segundo, puesto que cada operación requiere de materiales y productos en un momento determinado, debe garantizar que ningún proceso de producción o individuo sea entorpecido por el arribo temprano o tardío de materiales. En tercero, el manejo de materiales debe garantizar que éstos sean entregados en el lugar correcto. En cuarto lugar, se debe asegurar que los materiales sean entregados en el lugar adecuado sin que hayan sufrido daños y en la cantidad correcta. Por último, se debe tener en cuenta el espacio para el almacenaje tanto temporal como permanente.

Un estudio realizado por el Instituto de Manejo de Materiales reveló que entre 30 y 85% del costo de introducir un producto al mercado está asociado con el manejo de materiales. De manera axiomática, la parte mejor manejada es la que menos se manejó de manera manual. Ya sea que las distancias de los desplazamientos sean grandes o pequeñas, los movimientos deberán ser analizados

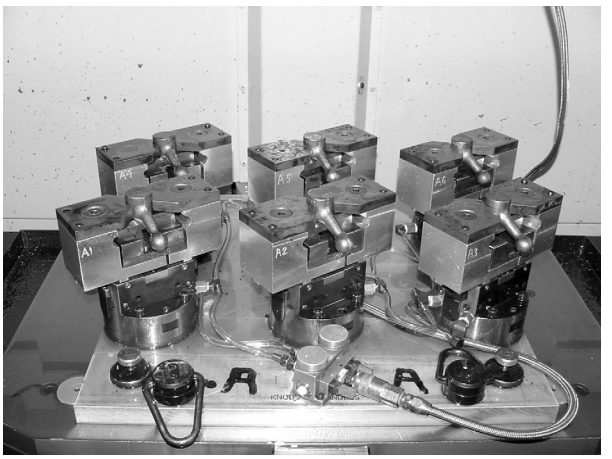


Figura 3.12 Accesorios y herramental más eficiente.
(Cortesía de Jergens, Inc.)

con mucho detalle. Los cinco puntos siguientes deben tomarse en cuenta para reducir el tiempo empleado en el manejo de materiales: 1) reducir el tiempo invertido en recoger los materiales; 2) utilizar equipo mecanizado o automático; 3) hacer un mejor uso de las instalaciones existentes para el manejo de materiales; 4) manejar el material con más cuidado; y 5) considerar la aplicación del código de barras en los inventarios y aplicaciones relacionadas.

Un buen ejemplo de la aplicación de estos cinco puntos es la evolución del almacenamiento: el antiguo centro de almacenamiento se ha convertido en un centro automático de distribución. En la actualidad, la bodega automatizada utiliza un control computarizado para administrar el movimiento de materiales, así como el flujo de información a través del procesamiento de datos. En este tipo de bodega automatizada, la recepción, el transporte, el almacenamiento, la recuperación y el control de inventarios se realizan como una función integral.

REDUCCIÓN DEL TIEMPO INVERTIDO EN RECOGER MATERIALES

Con frecuencia, del manejo de materiales sólo se considera el transporte, sin tener en cuenta la ubicación de ellos en la estación de trabajo, lo cual es igualmente importante. Debido a que a veces se pasa por alto, la ubicación del material en la estación de trabajo puede ofrecer oportunidades de ahorro tan grandes como el transporte. La reducción del tiempo invertido en recoger materiales minimiza el cansancio, el manejo manual costoso de la máquina o del lugar de trabajo. Proporciona al operador la oportunidad de realizar el trabajo más rápido con menos fatiga y una mayor seguridad.

Por ejemplo, considere la eliminación de las pilas de material mal colocadas sobre el piso. Quizás el material puede apilarse directamente sobre soportes o patines después de ser procesados en la estación de trabajo. Este nuevo orden puede dar como resultado una reducción sustancial de tiempo de transporte terminal (el tiempo que está ocioso el equipo que sirve para el manejo de materiales mientras se llevan a cabo las maniobras de carga y descarga). Por lo general, algún tipo de banda transportadora o patines mecánicos pueden llevar el material a la estación de trabajo, lo cual reduce o elimina el tiempo necesario para recoger el material. Las plantas pueden instalar también bandas transportadoras por gravedad, en conjunto con la remoción automática de las partes terminadas, para minimizar el manejo de materiales en la estación de trabajo. La figura 3.13 muestra ejemplos del típico equipo para el manejo de materiales.

Se deben estudiar las interfaces entre los diferentes tipos de equipo para el manejo y almacenamiento de materiales con el fin de implantar configuraciones más eficientes. Por ejemplo, el dibujo que se muestra en la figura 3.14, presenta arreglos para recoger materiales de manera ordenada, muestra las formas en que los materiales pueden retirarse del almacén de reserva o de los estantes, ya sea mediante un vehículo con un trabajador a bordo (izquierda) o manualmente (derecha). Se puede utilizar una grúa para poner el material en sus estantes. Después de que los artículos requeridos se retiran de los estantes, se envían mediante una banda transportadora para realizar las operaciones de acumulación en orden y empaque.

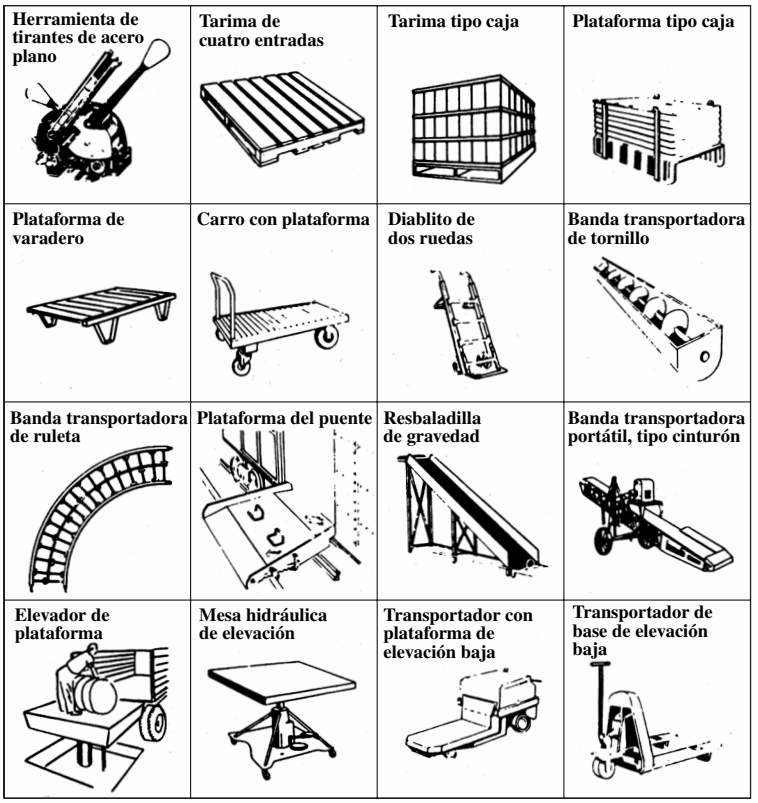


Figura 3.13 Equipo de manejo típico que actualmente se utiliza en la industria.
(Fuente: Instituto para el Manejo de Materiales.)

UTILIZACIÓN DE EQUIPO MECÁNICO

Por lo general, la mecanización del manejo de materiales reduce los costos de mano de obra, los daños de los materiales, mejora la seguridad, disminuye la fatiga e incrementa la producción. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado en el momento de seleccionar el equipo y los métodos apropiados. La estandarización del equipo es importante debido a que simplifica el entrenamiento del operador, permite el intercambio del equipo y requiere de un número reducido de partes de repuesto.

Los ahorros que se pueden lograr a través de la mecanización del equipo para el manejo de materiales se representan mediante los ejemplos siguientes. En el diseño original de una tarea de ensamblado de una tarjeta de circuito impreso, el operador debía ir al lugar de almacenamiento, seleccionar los componentes electrónicos requeridos para una tarjeta específica con base en su lista de "conexión", regresar a su mesa de trabajo y, después, proceder a insertar los componentes en la tarjeta de acuerdo con la lista de conexiones. Este método mejorado utiliza dos máquinas de almacenamiento vertical automatizadas, cada una con 10 niveles y cuatro cajones por nivel (vea la figura 3.15). Los niveles se mueven hacia arriba y hacia abajo en un sistema que es una versión condensada de la rueda de Ferris. Con 20 posiciones de detención posibles, la unidad siempre selecciona la ruta más cercana —ya sea hacia adelante o hacia atrás— para colocar los cajones al frente de tal forma que se puedan abrir en el tiempo más corto posible. Sentado, el operador marca la detención correcta, abre el cajón para tener a la vista los componentes necesarios, toma los que desea y los coloca sobre la tarjeta. Este método mejorado ha reducido el área de almacenamiento necesaria aproximadamente 50%, ha mejorado la distribución de la estación de trabajo y ha reducido sustancialmente la acumulación de errores pues minimiza el manejo de materiales por parte del operador, la toma de decisiones y la fatiga.

A menudo, un vehículo guiado automáticamente (AGV) puede reemplazar a un conductor. Los AGV se utilizan con mucho éxito en una gran variedad de aplicaciones tales como la entrega de correo. Por lo general, dichos vehículos no están programados sino que son guiados mediante una guía magnética u óptica a través de una ruta planeada. Realiza paradas en lugares específicos por un determinado periodo, lo que proporciona al empleado el tiempo suficiente para cargar y descargar.

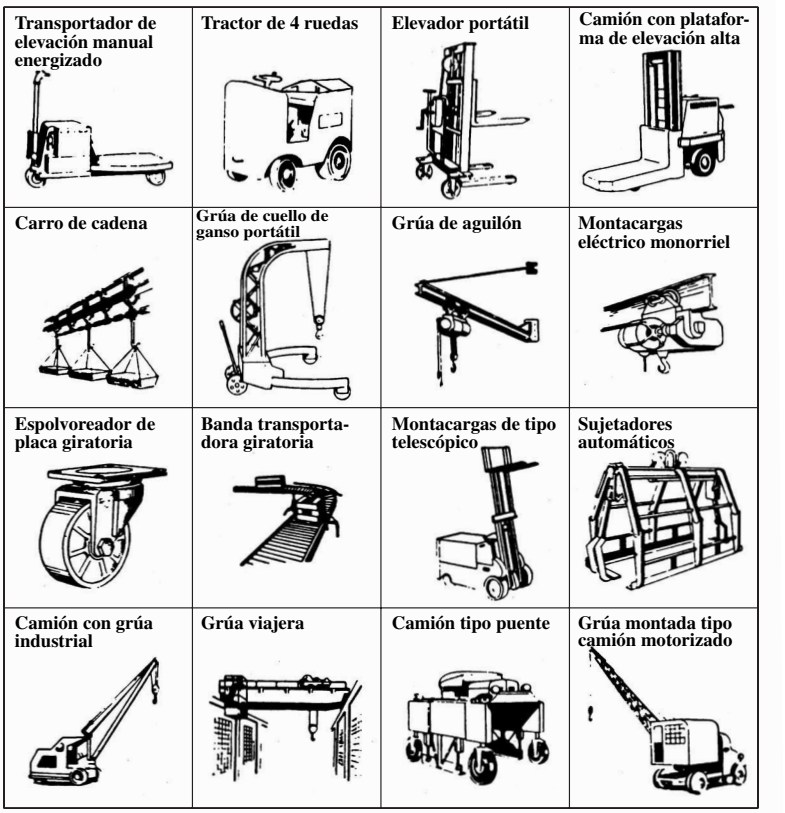


Figura 3.13 (*continuación*).

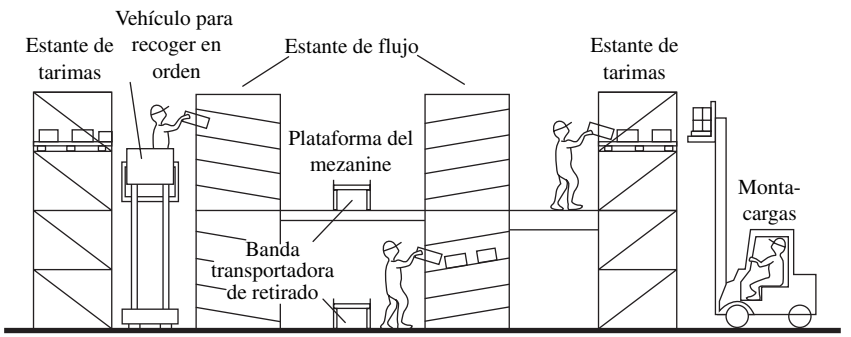


Figura 3.14 Diagrama de operaciones eficientes de almacenamiento.

Oprimiendo el botón de "parada" y después el de "comienzo" cuando haya concluido la operación de carga/descarga, el operador puede alargar el periodo de permanencia en cada parada. Los AGV pueden programarse para ir a cualquier lugar a través de más de una trayectoria. Están equipados con instrumentos sensores y de control con el fin de evitar colisiones con otros vehículos. Asimismo, cuando se utiliza dicho equipo de guiado, los costos asociados con el manejo de materiales varían muy poco en función de las distancias.

La mecanización es también muy útil para manejar materiales en forma manual como, por ejemplo, el entarimado. Existe una gran variedad de equipos con el nombre genérico de mesas de elevación, los cuales eliminan la mayor parte del trabajo de elevación que requiere el operador. Algunas mesas de elevación utilizan resortes de carga, las que, cuando la configuración de la resistencia del resorte es apropiada, se ajustan de manera automática a la altura óptima para el operador a medida que las cajas se colocan en la paleta en la parte superior de la elevación. (Vea el capítulo 4 donde se encontrará un análisis de la determinación de la altura óptima de elevación). Otras son neumáticas (vea la figura 3.16) y puede ajustarse fácilmente mediante un mecanismo de control, de tal forma que se elimina la elevación y el material puede desplazarse de una superficie a otra.



Figura 3.15 Área de trabajo de máquinas de almacenamiento vertical que se utilizan en el ensamblado de tableros de computadoras.

Algunas se inclinan para tener acceso más fácil a los contenedores, mientras que otras giran, para facilitar el entarimado. En general, las mesas elevadores constituyen probablemente la medida de control ingenieril menos costosa que se utiliza en conjunto con los lineamientos de elevación de la NIOSH[1] (vea el capítulo 4).

MEJOR USO DE LOS RECURSOS EXISTENTES PARA EL MANEJO DE MATERIALES

Con el fin de asegurar el mayor retorno de la inversión del equipo para el manejo de materiales, éste debe utilizarse de una manera eficiente. Por lo que, tanto los métodos como el equipo deben ser lo suficientemente flexibles como para permitir que pueda llevarse a cabo una gran variedad de tareas asociadas con el manejo de materiales en condiciones muy diversas. El entarimamiento de materiales en almacenamiento temporal y permanente permite que sean transportadas mayores cantidades más rápidamente que en el caso del almacenamiento de materiales sin el uso de plataformas o tarimas,

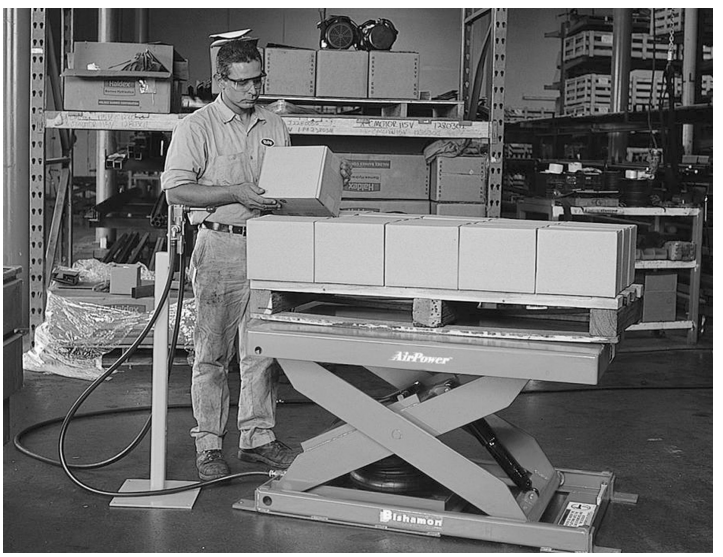


Figura 3.16 Mesa elevadora hidráulica que se utiliza para minimizar la elevación manual. (Cortesía de Bishamon.)

EJEMPLO 3.1

Máxima carga neta que puede ser manejada de forma segura por medio de montacargas

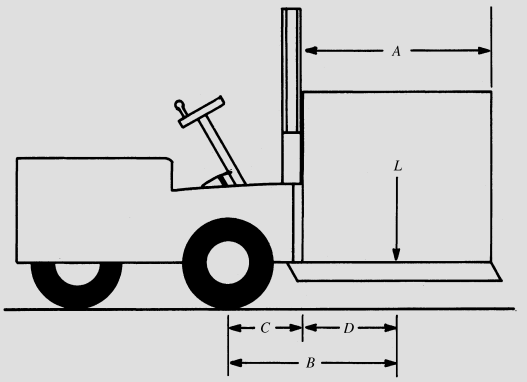


Figura 3.17
Montacargas típico.

Comience calculando el valor del torque multiplicando la distancia que existe desde el centro del eje frontal hasta el eje del centro de la carga (vea la figura 3.17):

$$Carga = valor\ del\ torque/B$$

donde B es la distancia $C + D$, donde $D = A/2$.

Si la distancia C desde el centro del eje central hasta el extremo frontal del montacargas es de 18 pulgadas y la longitud de la plataforma A es de 60 pulgadas, entonces el peso neto máximo que un montacargas de 200 000 pulgadas-libra puede manejar será de

$$L = \frac{200\,000}{18 + 60/2} = 4\,167 \text{ lb}$$

Mediante la planeación del tamaño de la plataforma para obtener el máximo beneficio del equipo, la compañía puede recibir un mayor retorno de la inversión que realizó en el equipo para el manejo de materiales.

lo cual ahorra hasta 65% de los costos asociados con la mano de obra. A menudo, el material puede manejarse en unidades más grandes o más convenientes mediante el diseño de estantería especial. En este caso, los compartimentos, ganchos, remaches y soportes para detener el trabajo deben ser múltiplos de 10 para facilitar el conteo durante el procesamiento y la inspección final. Si cualquier equipo para manejar materiales se utiliza sólo temporalmente, considere la posibilidad de mantenerlo en operación el mayor tiempo posible. A través de la reubicación de las instalaciones de producción o la adaptación de equipo para el manejo de materiales a las diversas áreas de trabajo, las compañías pueden lograr una gran utilización.

MANEJO CUIDADOSO DE MATERIALES

Los estudios industriales indican que aproximadamente 40% de los accidentes en plantas industriales suceden durante las operaciones de manejo de materiales. De éstos, 25% son causados por el levantamiento y desplazamiento de materiales. Si se pone más atención al manejo de materiales y se utilizan dispositivos mecánicos siempre que sea posible para esas tareas, se puede reducir la fatiga y los accidentes que afectan a los empleados. Las estadísticas demuestran que la fábrica más segura es también la más eficiente. Varios aspectos como la presencia de guardias de seguridad en puntos de transmisión de energía eléctrica, prácticas operativas más seguras, buena iluminación y una buena economía interna son esenciales para hacer más seguro el manejo de materiales. Los trabajadores

deben instalar y operar todos los equipos para el manejo de materiales de una manera compatible con los códigos de seguridad vigentes en la actualidad.

Un mejor manejo de materiales reduce los daños que pueden sufrir los productos. Si el número de partes rechazadas en el manejo de partes entre estaciones de trabajo es muy significativo, se debe realizar una investigación en estas áreas. En general, las partes dañadas durante el manejo de materiales pueden minimizarse si se fabrican estantes y bandejas especialmente diseñadas para colocar las piezas inmediatamente después de ser procesadas. Por ejemplo, un fabricante de partes para motores de aviones se vio afectado por un gran número de roscas externas dañadas en un componente que era almacenado en bandejas portátiles metálicas una vez que se terminaba cada operación. Cuando carritos manuales con dos ruedas movían las bandejas portátiles metálicas a la siguiente estación de trabajo, las forjas maquinadas se impactaban unas contra otras y contra los lados de las bandejas metálicas a tal grado que resultaban severamente dañadas. Alguien investigó la causa de los rechazos y sugirió hacer estanterías de madera con compartimentos individuales para almacenar las forjas maquinadas. Este arreglo evitó que las partes se impactasen unas contra otras o con la bandeja portátil metálica, lo que redujo de manera significativa el número de partes dañadas. Las corridas de producción se controlaron más fácilmente debido al conteo más rápido de las piezas y los rechazos.

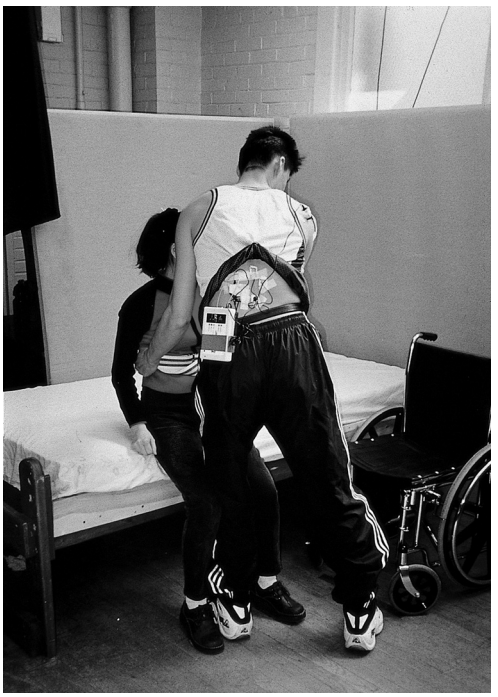
Se realizan consideraciones similares en la industria de los servicios en el sector salud, no sólo desde el punto de vista del "producto", el cual en muchos casos es una persona, sino también con respecto al manejo de materiales. Por ejemplo, el cuidado de pacientes en los hospitales y en instalaciones para el cuidado personal representa un factor crítico en la aparición de lesiones de espalda y de hombros en las enfermeras. Tradicionalmente, los pacientes con algún grado de inmovilidad son movidos de una cama a una silla de ruedas o viceversa con el uso de una banda para caminar (vea la figura 3.18*a*). Sin embargo, estas maniobras requieren de una gran fuerza y generan niveles muy elevados de fuerzas compresivas en la parte inferior de la espalda (vea la sección 4.4). Los dispositivos de ayuda como la base para girar de Williamson, requieren de mucha menor fuerza por parte de la enfermera y generan mucho menos tensión en la parte inferior de la espalda (vea la figura 31.8*b*). Sin embargo, el paciente debe tener la suficiente fortaleza en las piernas para soportar su peso corporal con algún soporte. Por último, el elevador tipo Hoyer requiere de menor fortaleza, pero es significativamente más caro y difícil de manejar en áreas pequeñas (vea la figura 3.18*c*).

CONSIDERACIÓN DEL USO DE CÓDIGO DE BARRAS EN INVENTARIOS Y APLICACIONES RELACIONADAS

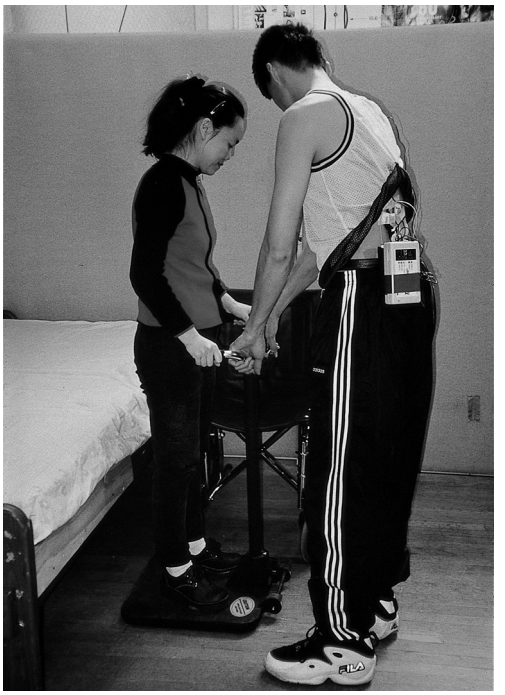
La mayoría de las personas con conocimientos técnicos tiene alguna familiaridad con los códigos de barras y el escaneo por códigos de barras. Los códigos de barras han hecho que las filas se reduzcan en las cajas de las tiendas departamentales y de los supermercados. Las barras negras y espacios blancos representan dígitos que identifican de manera única tanto el artículo como el fabricante. Una vez que este Código Universal de Productos (UPC) se explora a través de un lector en la caja, los datos decodificados se envían a una computadora que registra información precisa acerca de productividad del trabajo, estado de los inventarios y las ventas. Las cinco razones siguientes justifican el uso del código de barras en inventarios y aplicaciones relacionadas:

1. *Precisión*. Su desempeño típico es de menos de 1 error en 3.4 millones de caracteres. Este porcentaje es muy favorable si se compara con el 2 a 5% de error que es el característico de las máquinas de teclado para ingresar datos.
2. *Desempeño*. Un escáner de código de barras procesa datos tres o cuatro veces más rápido que el tecleado común y corriente.
3. *Aceptación*. La mayoría de los empleados disfrutan del uso del lector del aparato. De manera inevitable, prefieren utilizar un lector que un teclado.
4. *Bajo costo.* Puesto que los códigos de barras están impresos en paquetes y contenedores, el costo que representa agregar este medio de identificación es extremadamente bajo.
5. *Portabilidad*. Un operador puede transportar un aparato de código de barras de un lugar a otro dentro de una planta con el fin de revisar inventarios, estado de las órdenes, etcétera.

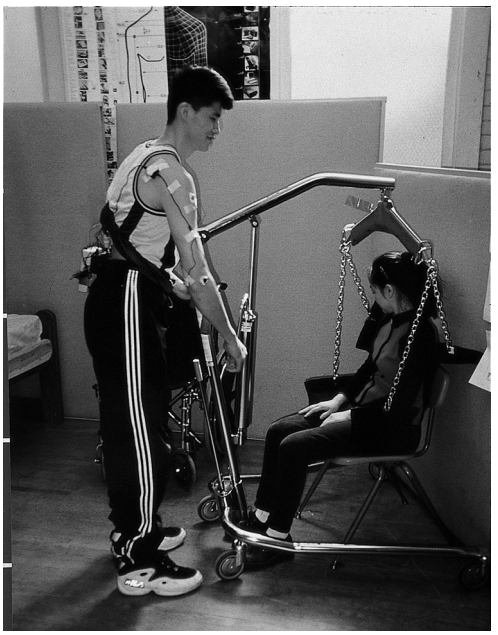
El código de barras es útil para recibir, almacenar, registrar el trabajo, reportarlo, controlar las bandejas de herramientas, embarques, reporte de fallas, aseguramiento de la calidad, rastreo,



a)



b)



c)

Figura 3.18 Manejo de pacientes mediante tres asistentes.
a) La banda caminadora convencional requiere una resistencia considerable y genera fuerza de compresión en la parte inferior de la espalda muy elevada, *b*) La base giratoria de Williamson requiere de mucha menos resistencia y genera menos tensión en la parte inferior de la espalda. *c*) La máquina elevadora tipo Hoyer requiere aún menos resistencia, pero es significativamente más costosa y de manejo difícil en pequeños espacios.

control de la producción y programación. Por ejemplo, la etiqueta típica de un contenedor de almacenamiento proporciona la siguiente información: descripción de la pieza, tamaño, cantidad del paquete, número de departamento, número de almacén, nivel de existencias y cuándo se ordenó. Se puede ahorrar una gran cantidad de tiempo si se utiliza un lector de exploración para colectar estos datos para realizar un reordenamiento del inventario.

Algunas aplicaciones prácticas reportadas por Accu-Sort Systems, Inc., incluyen los sistemas de bandas transportadoras controladas automáticamente, el envío de materiales al lugar donde se

necesiten y proporcionar manejadores de material con instrucciones claras y precisas acerca de dónde deben tomar los materiales, verificando de manera automática que se trate del material apropiado. Si se incorpora el código de barras a los controladores programables y al equipo de empacado automático, se puede utilizar la verificación en línea en tiempo real de etiquetas de empacado con el contenido del envase, para evitar las costosas reclamaciones del producto.

RESUMEN: MANEJO DE MATERIALES

Los analistas siempre deben de buscar formas de eliminar el manejo ineficiente de materiales sin que esto signifique poner en riesgo la seguridad. Para ayudar al analista de métodos en esta misión, el Instituto de Manejo de Materiales (1998) ha desarrollado 10 principios para ello.

1. *Principio de la planeación*. Todo manejo de materiales debe ser el resultado de un plan deliberado en el que las necesidades, objetivos de desempeño y especificaciones funcionales de los métodos propuestos serán definidos totalmente desde el inicio.
2. *Principio de estandarización*. Los métodos para manejar materiales, equipo, controles y software deben estar estandarizados dentro de los límites del logro de los objetivos de desempeño y sin sacrificar la flexibilidad, modularidad y productividad necesarias.
3. *Principio del trabajo*. El trabajo del manejo de materiales debe minimizarse sin sacrificar la productividad o el nivel de servicio que la operación requiere.
4. *Principio de la ergonomía*. Las virtudes y limitaciones de los seres humanos deben reconocerse y respetarse en el diseño de las tareas de manejo de materiales y del equipo, para garantizar que las operaciones se lleven a cabo de una manera segura y eficaz.
5. *Principio de las cargas unitarias*. Las cargas unitarias deben ser dimensionadas y configuradas de manera adecuada de forma tal que cumplan con los objetivos de flujo de materiales e inventarios en cada etapa de la cadena de suministro.
6. *Principio de la utilización del espacio.* Se debe hacer uso eficaz y eficiente de todo el espacio disponible.
7. *Principio del sistema.* Las actividades de movimiento y almacenamiento de materiales deben estar totalmente integradas para formar un sistema operativo y coordinado que abarque la recepción, inspección, almacenamiento, producción, ensamblado, empaquetado, unificación, selección del orden, embarque, transporte y manejo de devoluciones.
8. *Principio de la automatización.* Las operaciones de manejo de materiales deben estar mecanizadas o automatizadas donde sea factible, con el fin de incrementar la eficiencia operativa, elevar el grado de respuesta, mejorar la consistencia y predictibilidad, reducir los costos operativos y eliminar la mano de obra repetitiva y potencialmente insegura.
9. *Principio ambiental.* El efecto en el ambiente y el consumo de energía son criterios que se deben tomar en cuenta en el diseño y selección de equipo alterno y de sistemas de manejo de materiales.
10. *Principio del costo del ciclo de vida.* Un análisis económico minucioso debe tomar en cuenta el ciclo de vida completo de todo el equipo para el manejo de materiales y los sistemas que resulten.

Para ser reiterativos, el principio predominante es que a medida que haya menos manejo de materiales, éstos serán mejor manejados, lo cual está muy relacionado con la eliminación de los desperdicios (mudas) de transporte y movimientos innecesarios.

3.8 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

El objetivo principal de la distribución eficaz de una planta consiste en desarrollar un sistema de producción que permita la fabricación del número deseado de productos con la calidad que se requiere y a bajo costo. La distribución física constituye un elemento importante de todo sistema de producción que incluye tarjetas de operación, control de inventarios, manejo de materiales, programación, enrutamiento y despacho. Todos estos elementos deben estar cuidadosamente integrados para cumplir con el objetivo establecido. La pobre distribución de las plantas da como resultado elevados costos.

El gasto en mano de obra indirecta que representan los extensos desplazamientos, rastreos previos, retrasos y paros de trabajo debidos a cuellos de botella en el desperdicio de transporte, son característicos de una planta con una distribución costosa y anticuada.

TIPOS DE DISTRIBUCIÓN

¿Existe un tipo de distribución que tienda a ser el mejor? La respuesta es no. Una determinada distribución puede ser la mejor en una serie de condiciones y, sin embargo, puede ser pobre en otra. En general, todas las distribuciones de la planta representan una o la combinación de dos distribuciones básicas: *distribución por producto* o *en línea recta* y *distribución por funciones* o *por procesos.* En la distribución en línea recta, la maquinaria se ubica de tal manera que el flujo de una operación a la siguiente sea el mínimo para cualquier clase de producto. En una organización que utilice esta técnica, sería poco usual ver un desbastado de superficie ubicado entre una máquina fresadora y un torno de torreta, con una mesa de ensamble y tanques de cromado en el área intermedia. Este tipo de distribución es muy popular en cierto tipo de manufactura de producción masiva, debido a que los costos asociados con el manejo de materiales son menores a los que genera el agrupamiento por procesos.

La distribución por productos tiene algunas desventajas distintivas. Debido a que en un área relativamente pequeña se encuentra gran variedad de ocupaciones, es posible que el nivel de insatisfacción de los empleados aumente. Esta insatisfacción es particularmente notable cuando diferentes oportunidades conllevan un diferencial significativo en cuanto a nivel salarial. Debido a que están agrupadas instalaciones diferentes, el entrenamiento del operador puede ser más ineficaz, especialmente si en las inmediaciones no está disponible un empleado con experiencia para entrenar al nuevo operario. El problema que representa encontrar supervisores competentes es enorme debido a la gran variedad de equipos y tareas que deben ser supervisadas. Entonces, también, este tipo de configuración invariablemente necesita de una inversión inicial más elevada debido a que se requieren líneas de servicio duplicadas como, por ejemplo, aire, agua, gas, petróleo y energía eléctrica. Otra desventaja de la distribución por productos es el hecho de que este arreglo tiene tendencia a parecer caótico y desordenado. En estas condiciones, a menudo es difícil promover una buena economía interna. Sin embargo, en general, las desventajas de la agrupación por productos son más que sobrepasadas por las ventajas, si los requerimientos de producción son sustanciales.

La distribución por procesos implica agrupar instalaciones similares. Por lo tanto, todos lo tornos de torreta deben agruparse en una sección, departamento o edificio. Las máquinas de fresado, las prensas de taladro y la prensas de perforado también tienen que estar agrupadas en sus respectivas secciones. Este tipo de distribución proporciona una apariencia general de limpieza y orden y tiende a promover una buena economía interna. Otra ventaja de la distribución funcional es la facilidad con la que un nuevo operador puede entrenarse. Rodeado de empleados experimentados que trabajan con máquinas similares, el nuevo operario tiene mejor oportunidad de aprender de ellos. El problema que representa encontrar supervisores competentes es menor, ya que las demandas de trabajo no son tantas. Puesto que estos supervisores sólo necesitan estar familiarizados con un tipo o clase general de equipos, sus antecedentes no tienen que ser tan estrictos como los de los supervisores de las empresas que utilizan agrupación por productos. Asimismo, si las cantidades de producción de productos similares son limitadas y existe "trabajo" frecuente u órdenes especiales, la distribución por procesos resulta más eficiente.

La desventaja del agrupamiento por procesos es la posibilidad de que se presenten desplazamientos largos y será necesario dar un seguimiento a tareas que requieran una serie de operaciones en diversas máquinas. Por ejemplo, si la tarjeta de operaciones de un trabajo especifica una secuencia de operaciones de perforado, torneado, fresado, escariado y esmerilado, el movimiento del material de una sección a la siguiente podría ser exageradamente costosa. Otra desventaja importante de este enfoque es el gran volumen de papeleo que se requiere para generar órdenes y controlar la producción entre secciones.

DIAGRAMAS DE RECORRIDOS

Antes de corregir una configuración o diseñar una nueva, el analista debe acumular los hechos que pueden influir sobre la distribución. *Los diagramas de recorridos*, o *desde-hacia,* pueden ser de gran utilidad para diagnosticar problemas relacionados con el arreglo de departamentos y áreas de servi-

cio, así como con la ubicación de equipo dentro de un determinado sector de la planta. El diagrama de recorridos consiste en una matriz que despliega la magnitud del manejo de materiales que se lleva a cabo entre dos instalaciones en un periodo determinado. La unidad que identifica la cantidad de manejo de materiales puede ser la que le parezca más apropiada al analista. Pueden ser libras, toneladas, frecuencia de manejo de materiales, etc. La figura 3.19 muestra un diagrama de recorridos muy elemental a partir del cual el analista puede deducir el correspondiente de las demás máquinas. El torno de torreta W&S No. 4 y el centro de maquinado horizontal Cincinnati No. 2 deben estar próximos entre sí debido al elevado número de artículos (200) que pasan entre las dos máquinas.

PLANEACIÓN SISTEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE MUTHER

El método sistemático para configurar plantas desarrollado por Muther (1973) se llama planeación sistemática de distribuciones (SLP). El objetivo del SLP es ubicar dos áreas con grandes relaciones lógicas y de frecuencia cercanas entre sí mediante el uso de un procedimiento directo de seis pasos:

1. **Diagrame las relaciones.** En esta primera etapa se establecen las relaciones entre las diferentes áreas; después, se elabora un diagrama sobre un formato especial llamado *diagrama de relaciones* (o diagrama rel, para abreviar; vea la figura 3.20). Una relación es el grado relativo de acercamiento, que se desea o que se requiere, entre diferentes actividades, áreas, departamentos, habitaciones, etc., según lo determine la información cuantitativa del flujo (volumen, tiempo, costo, enrutamiento) de un diagrama desde-hacia, o más cualitativamente, de las interacciones funcionales o información subjetiva. Por ejemplo, a pesar de que el pintado podría ser el paso lógico entre el acabado y la inspección final y el empacado, los materiales tóxicos y las condiciones peligrosas y de probable incendio pueden requerir que el área de pintura esté completamente separada de las demás áreas. Los valores que se les asignan a las relaciones

		Hasta							
		Torno de torreta No. 4 W.& S.	Prensa de perforado Delta de 17'	Taladro de 2 ejes L. & D.	Fresa No. 1 Cinn. Hor.	Fresa vertical No. 3 B. & S.	Prensa Niágara de 100 toneladas	No. 2 Cinn, sin centro	Pulidora No. 3 Excello Thd.
Desde	Torno de torreta No. 4 W.& S.		20	45	80	32	4	6	2
	Prensa de perforado 17"			6	8	4	22	2	3
	Taladro de 2 ejes L. & D.				22	14	18	4	4
	Fresa No. 1 Cinn. Hor.	120				10	5	4	2
	Fresa vertical No. 3 B. & S.						6	3	1
	Prensa Niágara de 100 toneladas		60	12	2			0	1
	No. 2 Cinn, sin centro		15						15
	Pulidora No. 3 Excello Thd.				15	8			

Figura 3.19 El diagrama de recorridos es una herramienta muy útil para resolver problemas de manejo de materiales y distribución de planta relacionados con las distribuciones por procesos. El diagrama enumera el número de artículos (por un periodo determinado) o el volumen (por ejemplo, toneladas por turno) transportado entre las diferentes máquinas.

Diagrama de relaciones Página 1 de 1

Proyecto: Construcción de una nueva oficina	Comentarios:
Planta: Dorben Consulting	
Fecha: 6-9-97	
Elaborador por: AF	
Referencia:	

Actividad	Área (pies^2)
Oficina de M. Dorben (DOR)	125
Oficina de ingeniería (ENG)	120
Secretaria (SEC)	65
Recibidor (FOY)	50
Archivo (FIL)	40
Área de copiado (COP)	20
Bodega (STO)	80

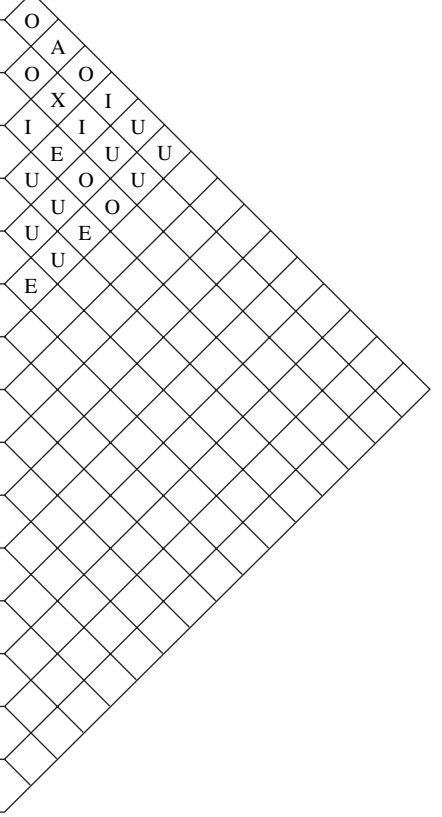


Figura 3.20 Diagrama de relaciones de Dorben Consulting.

varían de 4 a –1, con base en las vocales que semánticamente definen la relación, como se muestra en la tabla 3.3.

2. **Establezca las necesidades de espacio.** En la segunda etapa se establecen las necesidades de espacio en términos de los pies cuadrados que existen. Estos valores pueden calcularse con base en las necesidades de producción, extrapoladas a partir de áreas existentes, proyectadas para expansiones futuras o establecidas por estándares legales, tales como la ADA o estándares arquitectónicos. Además de los pies cuadrados, el tipo y forma del área que se desee definir, así como la ubicación respecto a los servicios que se requieran, pueden ser aspectos muy importantes.
3. **Elabore diagramas de relaciones entre actividades**. En la tercera etapa se dibuja una representación visual de las diferentes actividades. El analista comienza con las relaciones absolutamente importantes (A), utilizando cuatro líneas cortas paralelas para conectar las dos áreas. Luego, el analista procede con las E, utilizando tres líneas paralelas aproximadamente del doble de longitud que las líneas A. El analista continúa este procedimiento con las I, O, etc., aumentando de manera progresiva la longitud de las líneas, a la vez que intenta evitar que las líneas se crucen o se enreden. En el caso de relaciones indeseables, las dos áreas se colocan lo más alejadamente posible y se dibuja una línea serpenteante (que representa un resorte) entre ellas. (Algunos analistas pueden también definir una relación extremadamente indeseable con un valor –2 y una línea serpenteante doble.)

Tabla 3.3 Valores de relación del SLP

Relación	Valores más cercanos	Valor	Líneas en el diagrama	Color
Absolutamente necesario	**A**	4	≡	Rojo
Especialmente importante	**E**	3	═	Amarillo
Importante	**I**	2	═	Verde
Ordinario	**O**	1	———	Azul
Sin importancia	**U**	0		
No deseable	**X**	−1	/\/\/\	Café

4. **Elabore relaciones de espacio en la distribución.** Después, se crea una representación espacial escalando las áreas en términos de su tamaño relativo. Una vez que los analistas están satisfechos con la distribución, las áreas se compactan en un plano. Esta tarea no es tan fácil como parece, por lo cual el analista normalmente debe utilizar patrones. Además, se pueden introducir modificaciones al plano con base en las necesidades del manejo de materiales (por ejemplo, el departamento de embarques o de recepción necesariamente deben estar ubicados en una pared exterior), instalaciones de almacenamiento (quizá necesidades para el acceso exterior similares), necesidades del personal (una cafetería o sala de descanso localizadas en las inmediaciones), características del edificio (actividades con grúas en un área elevada; operaciones de levantamiento sobre el piso) y los servicios generales.
5. **Evalúe una distribución alterna.** Debido a que existen tantas opciones de distribución, no es nada raro encontrar que varias aparentan ser igualmente probables. En ese caso, el analista debe evaluar las diferentes opciones para poder determinar la mejor solución. Primero, es necesario que identifique factores que se consideran importantes: por ejemplo, la posibilidad de que se desee ampliar las instalaciones en el futuro, flexibilidad, eficiencia de flujo, manejo de materiales eficiente, seguridad, facilidad de supervisión, apariencia y estética, etc. Segundo, la importancia relativa de dichos factores debe establecerse a través de un sistema de ponderaciones, como por ejemplo de 0 a 10. Luego se le asigna un valor a cada opción para satisfacer cada factor. Muther (1973) sugiere la misma escala de 4 a –1; 4 representa casi perfecto; 3, especialmente bueno; 2, importante; 1, resultado ordinario, 0, sin importancia; y –1, no aceptable. Después, cada valor se multiplica por su peso. Los productos de cada opción se suman y el valor más grande indica la mejor solución.
6. **Seleccione la distribución e instálela.** El paso final consiste en implantar el nuevo método.

EJEMPLO 3.2 Distribución de la planta de Dorben Consulting basada en el SLP

El grupo Dorben Consulting desea planear una nueva área de oficinas. Existen siete áreas de actividad: la oficina de M. Dorben, la oficina de ingeniería (ocupada por dos ingenieros), el área secretarial, el recibidor y el área de espera para visitantes, el área del archivo, el área de copiado y la bodega. Las relaciones entre actividades son analizadas subjetivamente por M. Dorben, como se muestra en el diagrama de relaciones de la figura 3.20. El diagrama también indica la asignación de espacios para cada área, los cuales varían desde un valor de 20 pies cuadrados correspondiente al área de copiado hasta 125 pies cuadrados para la oficina de M. Dorben. Por ejemplo, la relación entre M. Dorben y la secretaria se considera absolutamente importante (A), mientras que la que existe entre el área de ingeniería y el recibidor se considera no deseable (X), para que los ingenieros no sean distraídos de su trabajo por los visitantes.

Un primer intento relativamente bueno de un diagrama de relación de actividades da como resultado la figura 3.21. Si se suman el tamaño relativo de cada área el resultado es el diagrama de relación de espacios de la figura 3.22. Comprimiendo las áreas se obtiene la distribución final que se muestra en la figura 3.23.

Debido a que la oficina de Dorben y el área de ingeniería son prácticamente del mismo tamaño, pueden intercambiarse de una manera muy sencilla, lo cual dejaría dos distribuciones alternas. Dichas distribuciones se evalúan (figura 3.24) con base en el aislamiento de personal (el cual es muy importante para M. Dorben, que le asigna una ponderación de 8), movimiento de suministros, recep-

ción de visitantes y flexibilidad. La enorme diferencia entre las distribuciones es la cercanía del área de ingeniería al recibidor. Por lo tanto, la alternativa B (que se muestra en la figura 3.23) de 68 puntos, comparada con los 60 puntos de la alternativa A, resulta la distribución predilecta.

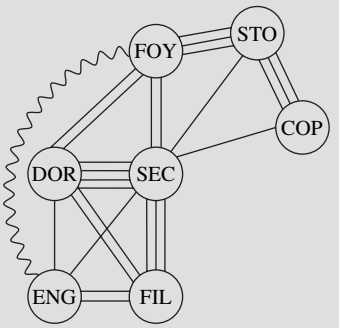


Figura 3.21 Diagrama de relación entre actividades de Dorben Consulting.

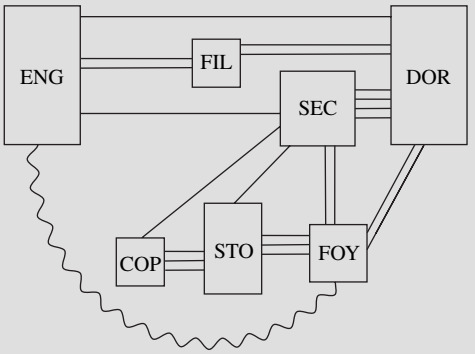


Figura 3.22 Configuración de la relación espacial de Dorben Consulting.

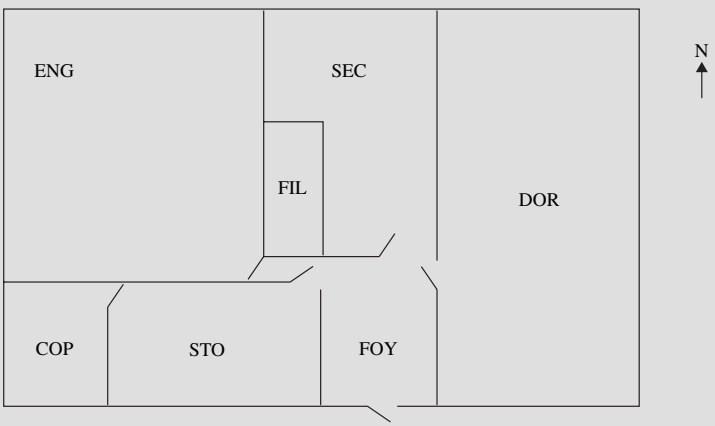


Figura 3.23 Diagrama de distribución de Dorben Consulting.

CONFIGURACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA

Cierto software disponible en el mercado puede ayudar a los analistas a desarrollar distribuciones realistas de una manera rápida y a bajo precio. El programa de Ubicación de Instalaciones Relativamente Computarizadas (CRAFT) es un programa que se utiliza de manera muy amplia. El centro de actividades podría ser un departamento o centro de trabajo dentro de un departamento. Cualquier centro de actividades puede identificarse como fijo, lo que lo libera y permite libertad de movimiento de aquellos que pueden moverse fácilmente. Por ejemplo, a menudo se quiere congelar centros de actividad tales como elevadores, salas de descanso y escaleras. Los datos de entrada incluyen los números y ubicaciones de los centros fijos de trabajo, costos del manejo de materiales, flujo interactivo en el centro y una representación de la distribución mediante bloques. El algoritmo heurístico que gobierna pregunta: ¿Qué cambios sufrirán los costos del manejo de material si los centros de trabajo fueran intercambiados? Una vez que se ha almacenado la respuesta, la computadora procede de una manera iterativa hasta que llega a una buena solución. CRAFT calcula la matriz de distancia como las distancias rectangulares desde los centroides de los departamentos.

Otro programa para realizar distribuciones se llama CORELAP. Los insumos de entrada del CORELAP son el número de departamentos, las áreas departamentales, las relaciones departamentales y los pesos de dichas relaciones. Luego, el programa elabora distribuciones y ubica los departamentos mediante el empleo de áreas rectangulares. El objetivo es proporcionar una distribución donde se encuentren juntos los departamentos de “alto rango”.

Evaluación de alternativas Página 1 de 1

Planta: Dorben Consulting	Alternativas	A	B	C	D	E	
Proyecto: Construcción de una nueva oficina		Cara oeste de la oficina de Dorben	Cara este de la oficina de Dorben				
Fecha: 6-9-97							
Analista: AF							

Factor/Consideración	Peso	Valores y valores ponderados										Comentarios
		A		B		C		D		E		
Aislamiento del personal	8	1	8	3	24							
Movimiento de los suministros	4	3	12	3	12							
Recepción de visitantes	4	4	16	4	16							
Flexibilidad	8	3	24	2	16							
Totales		60		68								

Comentarios:
La alternativa B, en la que la oficina de Dorben apunta hacia el este y la de los ingenieros hacia el oeste, hace que los visitantes interrumpan menos el trabajo de estos últimos.

Figura 3.24 Evaluación de las alternativas de Dorben Consulting.

ALDEP es otro programa para realizar distribuciones que distribuye las plantas con base en la selección aleatoria de un departamento al que ubica en un determinado arreglo. El diagrama de relaciones es posteriormente escaneado y los departamentos que tengan un alto valor de cercanía se introducen en la distribución. Este proceso continúa hasta que el programa coloca todos los departamentos. Después, el programa ALDEP calcula una puntuación de la distribución y repite el proceso un número específico de veces. El programa también puede proporcionar distribuciones en múltiples pisos.

Todos estos programas para elaborar la distribución de plantas se desarrollaron originalmente para ser usados en grandes computadoras. Con la llegada de las computadoras personales, los algoritmos han sido incorporados a los programas de PC, así como a otros algoritmos. Uno de ellos, el SPIRAL, fue diseñado para optimizar la relación adyacente mediante la suma de las relaciones positivas y la resta de las negativas en áreas adyacentes. Esencialmente, éste es un método cuantificado de Muther y se describe con más detalle en Goestschalckx (1992). Por ejemplo, si se ingresan los

datos del ejemplo de Dorben Consulting obtenemos una distribución ligeramente diferente, como se muestra en la figura 3.25.

Observe que existe una tendencia a generar oficinas largas y angostas con el fin de minimizar la distancia entre los centros. Esto representa un gran problema en los programas CRAFT, ALDEP, etc. Por suparte, SPIRAL al menos intenta modificar esta tendencia agregando una penalización por la forma. También, en muchos de estos programas existe la tendencia (es decir, aquellos que son programas de *mejora*, como el CRAFT, que se construyen sobre una distribución inicial) a alcanzar una distribución mínima local y no la distribución óptima. Este problema puede solucionarse comenzan-

a)

```
[project_name]              DORBEN
[number_of_departments]     7
[department_file_name]      DORBEN.DEP
[building_width]            25
[building_depth]            20
[seed]                      12345
[tolerance]                 0.00010
[time_limit]                120
[number_of_iterations]      20
[report_level]              2
[max_shape_ratio]           2.50
[shape_penalty]             500.00
```

b)

```
DOR   0   0   125   0   0   VERDE      Dorben
ENG   0   0   120   0   0   AZUL       Ingenieros
SEC   0   0    65   0   0   ROJO       Secretaria
FOY   0   0    50   0   0   AMARILLO   Recibidor
FIL   0   0    40   0   0   CAFÉ       Archivo
COP   0   0    20   0   0   GRIS       Copiado
STO   0   0    80   0   0   NEGRO      Bodega
DOR   ENG   1
DOR   SEC   4
DOR   FOY   1
DOR   FIL   2
ENG   SEC   1
ENG   FOY  –1
ENG   FIL   2
SEC   FOY   2
SEC   FIL   3
SEC   COP   1
SEC   STO   1
FOY   STO   3
COP   STO   3
OUT   OUT   0
```

c)

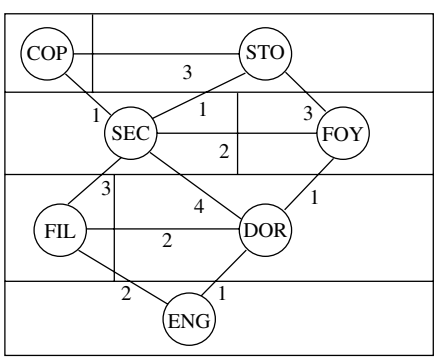


Figura 3.25 Archivos de entrada de SPIRAL: *a*) DORBEN.DAT, *b*) DORBEN.DEP y *c*) distribución resultante del ejemplo de DORBEN Consulting.

do con distribuciones alternas. Esto no representa mayor problema con programas de *construcción*, tales como SPIRAL, el cual genera una solución desde el comienzo. Un conjunto de programas más poderoso y quizá más útil son FactoryPLAN, FactoryFLOW y FactoryCAD, que ingresan archivos AutoCAD existentes de distribuciones de pisos y crean distribuciones muy detalladas apropiadas a la planeación arquitectónica.

3.9 DISEÑO DEL TRABAJO

Debido a problemas recientes de tipo regulatorio (es decir, la OSHA) y de salud (por ejemplo, los crecientes costos de compensaciones médicas y para los trabajadores), las técnicas de diseño del trabajo se estudiarán con detalle en capítulos independientes. El capítulo 4 aborda el tema del trabajo manual y los principios de la economía del movimiento; el capítulo 5 trata acerca de los principios ergonómicos del lugar de trabajo y del diseño de herramientas; el capítulo 6 aborda el tema de las condiciones de trabajo y ambientales; el capítulo 7 presenta el trabajo congnitivo con respecto a la entrada informacional desde pantallas, procesamiento de información e interacción con computadoras; por su parte, el capítulo 8 trata de la seguridad en el lugar de trabajo y en los sistemas.

RESUMEN

Los nueve principales análisis de operaciones representan un método sistemático para analizar los hechos que se incluyen en los diagramas de operaciones y de flujo de procesos. Dichos principios se aplican de la misma forma en la planeación de nuevo trabajo como en la mejora de trabajo que ya está realizándose. Mientras que una reducción en desperdicios, un incremento en producción y una calidad mejorada consistente con los principios de la manufactura esbelta representan los resultados principales del análisis de operaciones, también proporcionan beneficios a todos los trabajadores mediante la implantación de mejores métodos y condiciones de trabajo.

Un método sistemático para recordar y aplicar los nueve análisis de operaciones se presenta por medio de una lista de verificación de las preguntas pertinentes, como se muestra en la figura 3.26. En la figura, la lista de verificación demuestra cómo su uso dio como resultado una reducción de costos en una manta eléctrica con un eje en el control de botón. El rediseño del eje de tal manera que pueda ser económicamente producido mediante fundición en lugar de una parte de una máquina con tornillo, redujo el costo de fábrica de $68.75 por 1 000 piezas a $17.19 por la misma cantidad de piezas. Esta hoja de verificación es también útil como una guía para ofrecer los métodos para entrenar a los capataces y superintendentes de las fábricas. Las preguntas que invitan al análisis minucioso, cuando se utilizan con inteligencia, ayudan a los supervisores de las fábricas a desarrollar ideas constructivas y a ayudar en el análisis de operaciones.

PREGUNTAS

1. Explique cómo se puede aplicar la simplificación del diseño en el proceso de manufactura.
2. ¿Cómo se relaciona el análisis de operaciones con la ingeniería de métodos?
3. ¿Por qué se desarrollan las operaciones innecesarias en una industria?
4. Compare y contraste el análisis de operaciones con el método de la manufactura esbelta.
5. ¿Cuáles son los siete desperdicios (mudas)?
6. ¿Qué son los pilares 5S?
7. ¿Qué se entiende por tolerancias “estrictas”?
8. Explique por qué es deseable “hacer muy estrictas” las tolerancias y especificaciones.
9. ¿Qué quiere decir inspección lote por lote?
10. ¿Cuándo no es justificable un procedimiento elaborado para controlar la calidad?
11. ¿Cuáles son los seis puntos que deben considerarse cuando la misión consiste en reducir los costos de materiales?
12. ¿De qué forma una situación de trabajo y equipo cambiantes afecta el costo de los componentes comprados?
13. Explique de qué forma la reconfiguración de operaciones puede generar ahorros.
14. Por lo general, ¿qué proceso se considera el más rápido para definir y dimensionar operaciones?
15. ¿Cómo debe el analista investigar la configuración y herramientas con el fin de desarrollar mejores métodos?

Fecha 9/15 Departamento 11 Diagrama 18-4612 Sub.. 2
Molde ____ Troquel ____ Estilo ____ Artículo 2
Patrón ____ Ins. Spec. C L. Spec. ____ Sub. ____
Descripción de la parte Eje de la cobija controlada por botón
Operación Torneado, ranurado, perforado, ramificado, moleteado, enroscado, corte Operador Blazer

DETERMINE Y DESCRIBA

1. PROPÓSITO DE LA OPERACIÓN
Formar contornos de 3/8" varilla S.A.E. 1112 en máquina de tornillo automática para cumplir con las especificaciones del diagrama.

2. LISTA COMPLETA DE TODAS LAS OPERACIONES LLEVADAS A CABO A LA PARTE

No.	Descripción	Estado del trabajo	Dept.
1.	Torneado, ranurado, perforado, ramificado, moleteado, enroscado, corte.	B. & S.	11
2.	Rebaba	Banca	12
3.	Inspección de 1%	Banca	18
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

3. REQUISITOS DE INSPECCIÓN
a) De operaciones anteriores
b) De esta operación. Sí. Quizás S.Q.C. reduzca la cantidad de inspección.
c) De la operación siguiente.

4. MATERIAL
Metal fundido para el dado a base de zinc podría ser menos costoso.
Compuestos de corte y otros materiales de suministro

5. MANEJO DE MATERIALES
a) Movido por: un montacargas de 4 ruedas automático
b) Removido por: carrito de 2 ruedas manual
c) Manejado en la estación de trabajo por

6. CONFIGURACIÓN (Anexe una descripción con bosquejos si fuere necesario)
Como se está haciendo es satisfactorio

a) Equipo de herramientas
Presente

Sugerencias
Rediseñe la parte a fabricar como fundido del dado a base de zinc en lugar de la parte de la máquina de tornillo S.A.E. 1112.

DETALLES DEL ANÁLISIS

¿Se puede cumplir el propósito mejor de otra forma?
Sí, por medio del fundición a troquel

¿La operación que se está analizando puede eliminarse? **No**
¿Combinarse con otra? **No**
¿Realizarse durante el periodo ocioso de otra? **Sí, mediante el acoplamiento de máquinas.**
¿Es la secuencia de operaciones la mejor posible? **Sí**
¿Deberían realizarse las operaciones en otro departamento para ahorrar dinero en costo o manejo?
Quizás se puede comprar fuera a un menor costo.

¿Son necesarios las tolerancias, canonjías, acabados y otros requisitos?
¿Muy costosos?
¿Apropiados para el propósito?

Considere el tamaño, nivel de adecuación, resistencia y las condiciones físicas
¿Puede sustituirse el material más barato?

¿Deberían utilizarse la grúa, la banda transportadora por gravedad, desplazadores u otros vehículos especiales?
Considere la distribución respecto a la distancia desplazada. **Quizá la gravedad a la estación de rebaba.**

¿Cómo se aseguran los diagramas y las herramientas?
¿Podría mejorarse la distribución?
Piezas de prueba
Ajustes mecánicos

Herramientas
¿Apropiadas?
¿Proporcionadas?
Herramientas de trinquete
Herramientas eléctricas
Herramientas de propósito especial
Guías, soportes
Sujetadores especiales
Accesorios:
múltiples
y duplicados

Consejo de Ingeniería de Métodos. Forma No. 101 **HOJA DE ANÁLISIS**

Figura 3.26 Lista de verificación del análisis de operaciones para la fabricación para la cobija eléctrica controlada por botón.

16. Señale algunas aplicaciones del código de barras para mejorar la productividad.
17. ¿Cuáles son los dos tipos generales de distribuciones de plantas? Explique cada uno de ellos a detalle.
18. ¿Cuál es la mejor forma de probar una distribución propuesta?
19. ¿Qué preguntas debe realizar el analista cuando estudia el trabajo que se realiza en una estación de trabajo específica?
20. Explique las ventajas del uso de una lista de verificación.
21. En relación con los vehículos guiados automáticos, ¿por qué los costos varían muy poco en función de la distancia?
22. ¿De qué depende el alcance del herramental?
23. ¿De qué forma el control de la planeación y de la producción afecta el tiempo de la configuración (setup)?

7. CONSIDERE LAS POSIBILIDADES SIGUIENTES

1. Instalar rampas de entrega por gravedad
2. Utilizar la entrega por caída
3. Comparar los métodos si más de un operador trabaja en la misma tarea.
4. Proporciónele al operador la silla correcta
5. Mejore las guías o accesorios proporcionando evacuadores, sujetadores de acción rápida, etcétera.
6. Utilice mecanismos operados con los pies.
7. Configure para operación con dos manos.
8. Arregle las partes y las herramientas dentro del área normal de trabajo.
9. Cambie la distribución para eliminar el registro de regreso y permita el acoplamiento de máquinas.
10. Utilice todas las mejoras llevadas a cabo en otras tareas.

ACCIÓN RECOMENDADA

Sí, acumule las caídas

8. CONDICIONES DE TRABAJO

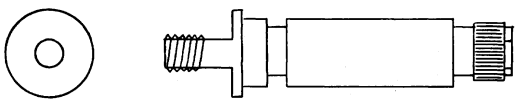
Satisfactorias, en general

a) Otras condiciones

Luz O.K.
Calor O.K.
Ventilación, humos O.K.
Fuentes para beber agua O.K.
Lavabos O.K.
Aspectos de seguridad O.K.
Diseño de partes O.K.
Tareas administrativas necesarias (llenado de tarjetas de tiempo, etc.) O.K.
Probabilidad de retrasos O.K.
Volumen de fabricación probable O.K.

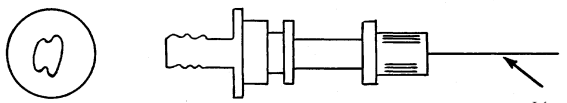
9. MÉTODO (Anexe bosquejos o procesos si fuere necesario)

a) Antes del análisis y del estudio de movimientos



Eje controlado por botón diseñado como parte de una máquina de tornillo

b) Después del análisis y del estudio de movimientos



Línea de partido

Rediseño del botón de control como una parte fundida a troquel. Las roscas en la extensión del lado izquierdo cubren sólo 50% de la periferia; de la misma forma, el moleteado en la extensión del extremo derecho a la mitad de la periferia permite que la pieza sea quitada con facilidad del dado.

Distribución del área de trabajo
Colocación de
Herramientas
Materiales
Suministros
Posición del trabajo
¿El método cumple con las leyes de la economía de movimientos?
¿Se utilizan clases más bajas de movimientos?

Vea el reporte complementario titulado **fundido del dado, eje de control**

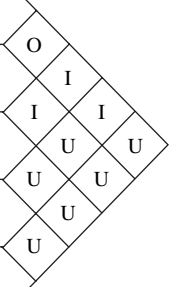
Fecha

OBSERVADOR R. Guild APROBADO POR R. Hussey

Figura 3.26
(*continuación*)

24. ¿Cómo pueden manejarse de mejor manera los materiales?
25. ¿Cómo se relaciona el diagrama de recorridos con el SLP de Muther?
26. ¿Por qué el diagrama de recorrido tiene una mayor aplicación en la distribución por procesos que en la distribución por productos?
27. Explique el propósito fundamental de la tecnología de grupos.
28. Explique cómo la conservación de varilla para soldar puede dar como resultado un ahorro de 20% en materiales.
29. Identifique algunos componentes de automóvil que antes eran construidos de metal y ahora lo son de plástico.
30. ¿Dónde encontraría usted una aplicación de la mesa hidráulica elevadora?
31. ¿Cuál es la diferencia entre una plataforma y una tarima?

Actividad	Área (pies cuadrados)
A	160
B	160
C	240
D	160
E	80



Tamaño	Área	A	B	C	D	E
150	A	—	1	20	8	1
50	B	0	—	30	0	8
90	C	20	5	—	40	20
90	D	0	1	2	—	*
40	E	0	0	11	0	—

Figura 3.27 Información para el problema 4.

PROBLEMAS

1. La tolerancia del acabado del eje de la figura 3.4 se modificó de 0.004 pulgadas a 0.008 pulgadas. ¿Qué cantidad de mejora de costo dio como resultado este cambio?
2. La compañía Dorben está diseñando una parte de hierro fundido cuya resistencia T es una función conocida del contenido de carbón C, donde $T = 2C^2 + 3/4C - C^3 + k$. Para maximizar la resistencia, ¿qué contenido de carbón debe especificarse?
3. Para hacer que una determinada parte sea intercambiable, fue necesario reducir la tolerancia del diámetro externo de ±0.010 a ±0.005, lo que generó un aumento del costo de 50% de la operación de torneado. La operación de torneado representa 20% del costo total. Hacer la parte intercambiable significó que el volumen de esta parte pudiera incrementarse 30%. El aumento de volumen hará posible la producción a 90% del costo anterior. ¿Deberá el ingeniero de métodos proceder con este cambio de tolerancias? Explique su respuesta.
4. El complejo del Grupo Dorben consta de cinco oficinas, con áreas y relaciones como se muestra en la figura 3.27. Obtenga una distribución óptima, utilizando el SLP de Muther y SPIRAL. Compare y contraste las distribuciones resultantes.
5. Utilizando el diagrama desde-hacia (presentado en esta página) que muestra el número de unidades manejadas de un área a otra por hora y el tamaño deseado de cada área (en pies cuadrados), desarrolle una configuración óptima mediante el uso del SLP de Muther y SPIRAL. Observe que será necesario que usted observe el esquema de relaciones de los flujos dados. Asimismo, * significa relación indeseable.

REFERENCIAS

Bralla, James G., *Handbook of Product Design for Manufacturing*, Nueva York: McGraw-Hill, 1986.
Buffa, Elwood S., *Modern Production Operations Management,* 6a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Chang, Tien-Chien, Richard A. Wysk y Wang Hsu-Pin, *Computer Aided Manufacturing,* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
Drury, Colin G., "Inspection Performance", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Francis, Richard L. y John A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1974.
Goetschalckx, M., "An Interactive Layout Heuristic Based on Hexagonal Adjacency Graphs", en *European Journal of Operations Research,* 63, núm. 2 (diciembre de 1992), pp. 304-321.
Konz, Stephan, *Facility Design*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1985.
Material Handling Institute, *The Ten Principles of Material Handling.* Charlotte, NC,1998.
Muther, R., *Systematic Layout Planning*, 2a. ed., Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1973.
Niebel, Benjamin W. y C. Richard Liu, "Designing for Manufacturing", en *Handbook of Industrial Engineering,* 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Nof, Shimon Y., "Industrial Robotics", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Shingo, S., *Study of Toyota Production System*, Tokyo, Japón: Japan Management Assoc. (1981), pp. 167-182.
Sims, Ralph E., "Material Handling Systems", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Spur, Gunter, "Numerical Control Machines", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Taguchi, Genichi, *Introduction to Quality Engineering,* Tokyo, Japón: Asian Productivity Organization, 1986.
Wemmerlov, Urban y Nancy Lea Hyer, "Group Technology", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Wick, Charles y Raymond F. Veilleux, *Quality Control and Assembly*, 4, Detroit, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1987.

SOFTWARE SELECCIONADO

ALDEP, IBM Corporation, program order no. 360D-15.0.004.
CORELAP, Engineering Management Associates, Boston, MA.
CRAFT, IBM share library No. SDA 3391.
Herramientas de diseño (disponible del sitio de Internet del libro de McGraw-Hill www.mhhe.com/niebelfreivalds. Nueva York: McGraw-Hill, 2002.
FactoryPLAN, FactoryFLOW y FactoryCAD, (vol. 3) EDS PLM Solutions, 2321 North Loop Dr. ISU Research Park, Ames, IA, 50010, 2001. (http://www.eds.com/).
SPIRAL, *User's Manual*, 4031 Bradbury Dr., Marrieta, GA, 30062,1994.

VIDEOCINTAS/DVD SELECCIONADOS

Design for Manufacture and Assembly, DV05PUB2, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2005.
Flexible Material Handling, DV03PUB104, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2003.
Flexible Small Lot Production for Just-In-Time, DV03PUB107, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2003.
Introduction to Lean Manufacturing, DV03PUB46, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2003.
Layout Improvements for Just-In-Time, Manufacturing Insights Videotape Series, 1/29 VHS VT393-1368 & 3/49 U-Matic VT393U-1368, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1990.
Quick Changeover for Lean Manufacturing, DV03PUB33, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2003.
Total Quality Management, Manufacturing Insights Videotape Series, VT91PUB1, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1991.

Diseño del trabajo manual

CAPÍTULO 4

PUNTOS CLAVE

- Diseño del trabajo de acuerdo con las capacidades y limitaciones del ser humano.
- Para las tareas manuales:
  - Utilice movimientos dinámicos en lugar de mantenerse estático.
  - Mantenga el requisito de esfuerzo por debajo del 15% del máximo.
  - Evite los rangos de movimientos extremos.
  - Utilice los músculos más pequeños para obtener velocidad y precisión.
  - Utilice los músculos más grandes para hacer fuerza.
- Para levantar cargas y otro tipo de trabajo manual pesado:
  - Mantenga las cargas a un tercio por debajo de la capacidad máxima de trabajo.
  - Minimice las distancias horizontales de carga.
  - Evite los giros.
  - Utilice ciclos breves de trabajo/descanso.

El diseño del trabajo manual fue introducido por los Gilbreth a través del estudio de movimientos y los principios de la economía de movimientos y, después, de manera científica, por especialistas en factores humanos en aplicaciones militares. Tradicionalmente, los principios se han dividido en tres subdivisiones básicas: 1) el uso del cuerpo humano, 2) el arreglo y las condiciones del lugar de trabajo, y 3) el diseño de herramientas y equipo. Algo más importante, aunque desarrollado de manera empírica, es que los principios están basados en principios anatómicos, biomecánicos y psicológicos conocidos del cuerpo humano. Dichos principios forman la base científica de la ergonomía y el diseño del trabajo. De acuerdo con lo anterior, se presentarán algunos antecedentes teóricos de tal manera que los principios de la economía de movimiento pueden comprenderse mejor, en lugar de aceptarse como reglas que se deban memorizar. Además, los principios convencionales de la economía de movimientos se han diseminado de forma considerable y, en la actualidad, se llaman principios y lineamientos para el diseño del trabajo. Este capítulo presenta los principios relacionados con el cuerpo humano y los lineamientos para diseñar el trabajo en relación con la actividad física. El capítulo 5 abarca los principios relacionados con el diseño de estaciones de trabajo, herramientas y equipo. El capítulo 6 presenta los lineamientos para diseñar el ambiente de trabajo. El capítulo 7 presenta el diseño del trabajo cognitivo, tema que, aunque no ha sido convencionalmente

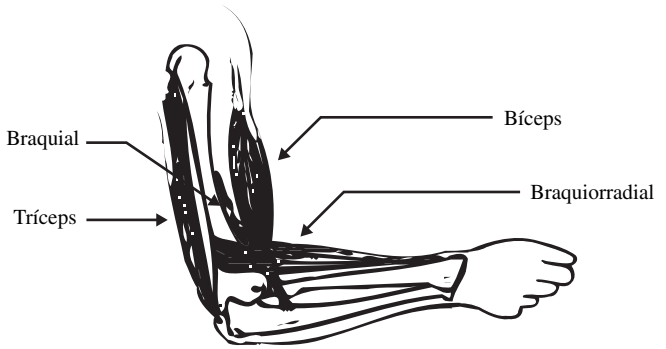


Figura 4.1 Sistema músculo-esquelético del brazo.

incluido como parte de la ingeniería de métodos, se ha convertido en un aspecto de gran importancia del diseño del trabajo. El capítulo 8 estudia el lugar de trabajo y la seguridad de los sistemas.

4.1 SISTEMA MÚSCULO-ESQUELÉTICO

El cuerpo humano puede generar movimientos debido a un complejo sistema de músculos y huesos que, en conjunto, se llama *sistema músculo-esquelético*. Los músculos están conectados a los huesos junto a toda articulación (vea la figura 4.1), de tal manera que uno o varios de ellos, llamados *agonistas*, actúan como los principales activadores del movimiento. Otros músculos, llamados *antagonistas*, contrarrestan a los agonistas y se oponen al movimiento. Para *flexionar* el codo, lo cual representa una disminución del ángulo interno de la articulación, los músculos bíceps, braquiorradial y el braquial forman al agonista, mientras que el tríceps forma al antagonista. Sin embargo, para *extenderlo*, lo cual representa un aumento del ángulo de la articulación, el tríceps se convierte en el agonista mientras que los otros tres músculos conforman el antagonista.

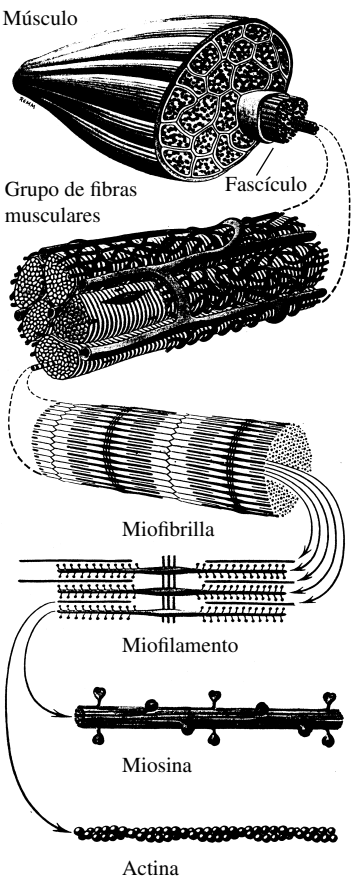


Figura 4.2 Estructura del músculo.
(*De: Anatomía de Gray,* 1973, con el permiso de W. B. Saunders Co., Londres)

En el cuerpo humano existen tres tipos de músculos: músculos esqueléticos o estriados, los cuales están conectados a los huesos; músculo cardiaco, que está en el corazón; y músculo plano, que se encuentra en los órganos internos y en las paredes de los vasos sanguíneos. En este texto sólo se estudiarán los músculos esqueléticos (de los cuales existen alrededor de 500 en el cuerpo humano), debido a su relevancia para el movimiento.

Cada músculo está formado por un gran número de fibras musculares, de alrededor de 0.004 pulgadas (0.1 mm) de diámetro y cuya longitud varía entre 0.2 y 5.5 pulgadas (5 a 140 mm), dependiendo del tamaño del músculo. Por lo general, dichas fibras están conectadas entre sí en paquetes a través de tejido conectivo, el cual se extiende hasta los extremos de los músculos y ayuda para conectar firmemente el músculo y sus fibras al hueso (vea la figura 4.2). Estos paquetes son penetrados por pequeños vasos sanguíneos que transportan oxígeno y nutrientes a las fibras musculares, así como también por pequeñas terminaciones nerviosas que transportan impulsos eléctricos del cordón espinal y del cerebro.

Cada fibra muscular se subdivide en *miofibrillas* más pequeñas y finalmente en filamentos proteicos que proporcionan el mecanismo de contracción. Existen dos tipos de filamentos: *filamentos gruesos*, compuestos por grandes proteínas con cabezas moleculares, llamadas miosina; y *filamentos delgados*, compuestos por proteínas globulares, llamados actina. El entrelazamiento de los dos tipos de filamentos les otorga la apariencia estriada y da origen a su nombre alterno, como se muestra en la figura 4.3. Esto permite que el músculo se contraiga a medida que los filamentos de deslizan unos sobre otros, lo cual se presenta a medida que se forman puentes moleculares o uniones, se rompen y se reforman entre las cabezas de miosina y los glóbulos de actina. Esta *teoría del filamento deslizante* explica por qué la longitud del músculo puede variar hasta aproximadamente el 50% de su longitud en reposo (la longitud no contráctil neutral

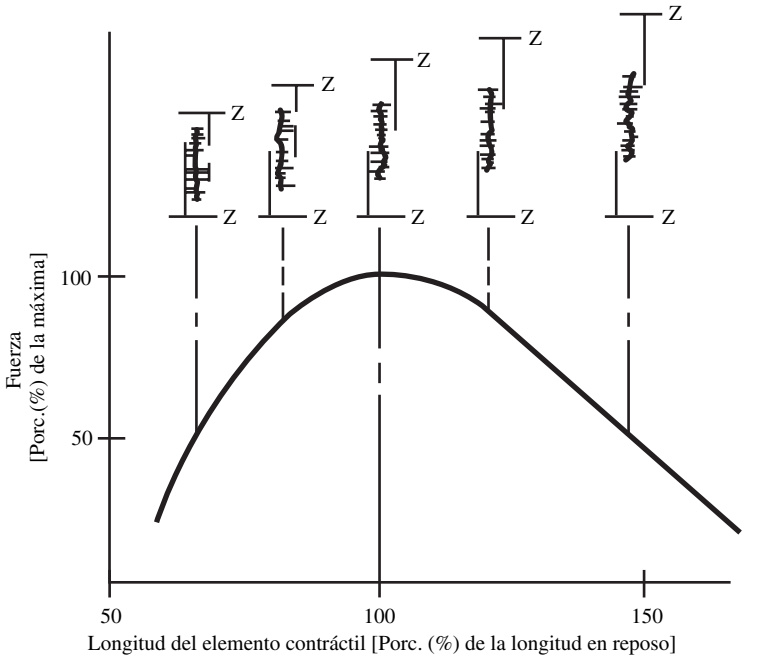


Figura 4.3 Relación fuerza-longitud del músculo esquelético. (*De*: Winter, 1979, p. 114. Reimpreso con el permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

en aproximadamente el punto medio del rango normal del movimiento) totalmente contraído, hasta 180% de su longitud en reposo cuando se encuentra totalmente extendido (vea la figura 4.3).

4.2 PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL TRABAJO: CAPACIDADES HUMANAS Y ECONOMÍA DE LOS MOVIMIENTOS

LOGRE LA MÁXIMA FORTALEZA MUSCULAR A LA MITAD DEL RANGO DE MOVIMIENTO

El primer principio de la capacidad humana se deriva de la propiedad de U-invertida de la contracción muscular que se muestra en la figura 4.3. A la longitud de reposo, se presenta la conexión óptima entre los filamentos grueso y delgado, lo cual da como resultado una fuerza muscular considerablemente disminuida (casi cero). De manera similar, en estado totalmente contraído, se presenta interferencia entre los filamentos delgados opuestos, lo que otra vez evita una conexión óptima y una disminución de la fuerza muscular. Esta propiedad muscular se llama típicamente *relación fuerza-longitud*. Por lo tanto, una tarea que requiera una fuerza muscular considerable debe realizarse en la posición óptima. Por ejemplo, la posición neutral o recta proporciona la fuerza de sujeción más grande a los movimientos de muñecas. Para la flexión del codo, la posición más firme sería con el codo doblado en una posición mayor a 90°. Para una flexión de las plantas (es decir, para liberar un pedal), de nuevo la posición óptima es ligeramente mayor a 90°. Una regla práctica para encontrar el rango medio del movimiento es considerar la postura que toma un astronauta en condiciones de peso nulo cuando tanto los músculos agonistas como los antagonistas alrededor de la articulación están muy relajados y la extremidad alcanza una posición neutral (vea la figura 4.4).

ALCANCE LA MÁXIMA RESISTENCIA MUSCULAR CON MOVIMIENTOS LENTOS

El segundo principio de la capacidad humana se basa en otra propiedad de la teoría de los filamentos deslizantes y la contracción muscular. A medida que las uniones moleculares se forman, rompen y

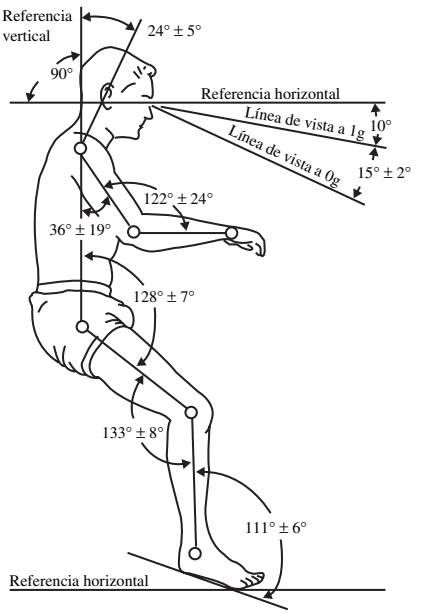


Figura 4.4 Típica postura relajada que asume la gente en condiciones sin peso. (*De*: Thornton, 1978, figura 16.)

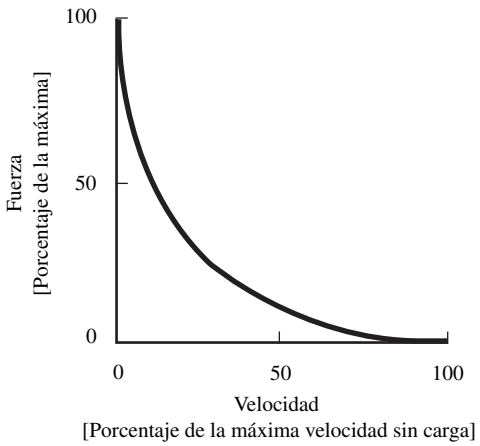


Figura 4.5
Relación fuerza-velocidad del músculo esquelético.

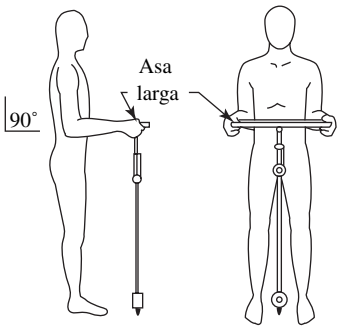
reforman, la unión es menos eficiente y se produce la menor fuerza muscular. Éste es un efecto no lineal pronunciado (vea la figura 4.5) donde la fuerza muscular máxima se produce sin un acortamiento medible externamente (es decir, a velocidad cero o contracción estática), y a una mínima fuerza muscular que está siendo producida a la velocidad máxima de la contracción del músculo. La fuerza es suficiente para desplazar la masa de ese segmento del cuerpo. Esta propiedad muscular, que se conoce como *relación fuerza-velocidad*, es particularmente importante para el trabajo manual pesado.

UTILICE EL IMPULSO PARA AYUDAR A LOS EMPLEADOS SIEMPRE QUE SEA POSIBLE; MINIMÍCELO SI ES CONTRARRESTADO POR ESFUERZO MUSCULAR

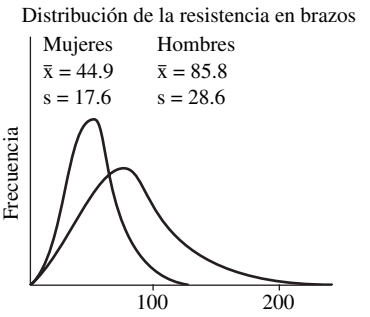
Existe una concesión entre los principios segundo y tercero. Los movimientos más rápidos generan un mayor impulso y mayores fuerzas de impacto en el caso de los codos. Los movimientos hacia abajo son más eficaces que los movimientos hacia arriba, debido a la ayuda que proporciona la fuerza de gravedad. Para hacer un uso total del impulso que se forma, las estaciones de trabajo deben permitir que los operarios liberen una parte terminada en un área de entrega mientras sus manos estén en el proceso de tomar las partes o las herramientas para comenzar el ciclo de trabajo siguiente.

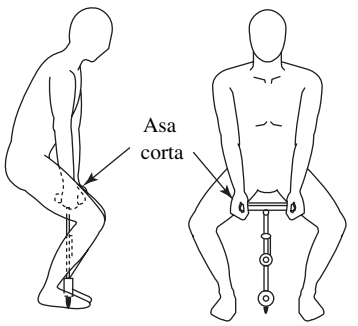
DISEÑO DE TAREAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DE ESFUERZO HUMANA

La capacidad de esfuerzo humana depende de tres factores principales de la tarea: 1) el tipo de esfuerzo, 2) el movimiento del músculo o articulación que se esté utilizando, y 3) la postura. Existen tres tipos de esfuerzos musculares, que se definen principalmente por la forma en que se mide la resistencia del esfuerzo. Los esfuerzos musculares que resultan en movimientos corporales son consecuencia del esfuerzo dinámico. Con frecuencia, dichos esfuerzos se llaman contracciones *isotónicas*, debido a que los segmentos de carga y de cuerpo levantados nominalmente conservan una fuerza externa constante en el músculo. (Sin embargo, la fuerza interna producida por el músculo varía debido a la geometría del impulso efectivo de los brazos.) Debido a las diferentes variables involucradas en dichas contracciones, algunas de ellas necesitan obligadamente ser restringidas con el fin de obtener un esfuerzo medible. Por lo tanto, las mediciones del esfuerzo dinámico se han realizado típicamente mediante el empleo de dinamómetros de velocidad constante (*isocinéticos*) como, por ejemplo, el Cybex o el Mini-Gym (Freivalds y Fotouhi, 1987). En el caso donde el movimiento del cuerpo es restringido, se obtiene un esfuerzo *isométrico* o estático. Como se puede observar en la figura 4.5,

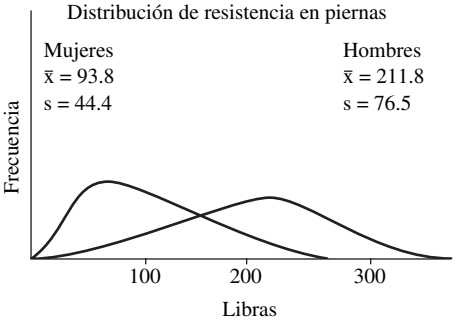


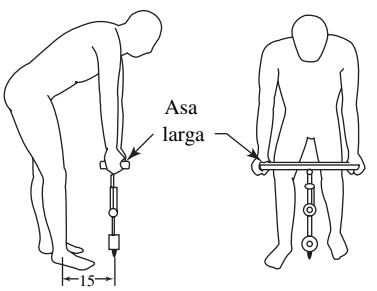
Posición para prueba de resistencia de levantamiento de brazos





Posición para prueba de resistencia de levantamiento de piernas





Posición para prueba de resistencia de levantamiento de torso

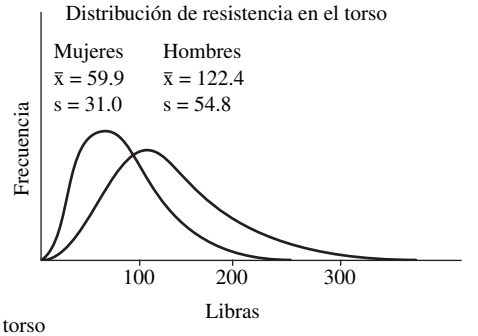


Figura 4.6 Posiciones de resistencia estática y resultados de 443 hombres, 108 mujeres. (Chaffin *et al.*, 1977.)

el esfuerzo isométrico es necesariamente mayor que el esfuerzo dinámico debido a la conexión más eficiente de los filamentos musculares de desplazamiento más bajos. En la tabla 4.1 se muestran algunos esfuerzos musculares isométricos representativos de varias posturas mientras que en la figura 4.6 se muestran esfuerzos de levantamiento representativos de 551 trabajadores de la industria en diferentes posturas.

Por lo general, la mayoría de las tareas industriales involucra algún movimiento; por lo tanto, las contracciones totalmente isométricas son raras. Por lo normal, la gama de movimientos es limitada de alguna manera, y la contracción dinámica no es en realidad una contracción isocinética, sino que es un conjunto de contracciones cuasicinéticas. Por lo tanto, los esfuerzos dinámicos son en gran medida dependientes de la tarea y de la condición y se ha publicado muy poco respecto a los datos del esfuerzo dinámico.

Por último, un tercer tipo de capacidad de esfuerzo muscular, el esfuerzo *psicofísico*, se define para aquellas situaciones en las que se requieren demandas de esfuerzo durante un tiempo prolongado. Una capacidad estática de esfuerzo no es representativa por necesidad de lo que sería repetitivamente posible en un turno de 8 horas. Por lo general, la carga máxima aceptable (determinada mediante el ajuste de la carga levantada o fuerza ejercida hasta que el sujeto sienta que la carga o fuerza sería aceptable con base en repeticiones por un periodo determinado) es entre 40 y 50% menor que

Tabla 4.1 A. Datos del impulso de resistencia muscular estática (pies · libra) de 25 hombres y 22 mujeres empleadas para realizar trabajos manuales en la industria

		Hombres (percentil)			Mujeres (percentil)		
Función muscular	**Ángulos de la articulación**	**5**	**50**	**95**	**5**	**50**	**95**
Flexión del codo	90° incluyendo el brazo (brazo en el costado)	31	57	82	12	30	41
Extensión del codo	70° incluyendo el brazo (brazo en el costado)	23	34	49	7	20	28
Rotación humeral media (hombro)	90° hombro vertical (extendido)	21	38	61	7	15	24
Rotación humeral lateral (hombro)	5° hombro vertical (en un costado)	17	24	38	10	14	21
Flexión horizontal de hombro	90° hombro vertical (en un costado)	32	68	89	9	30	44
Extensión horizontal del hombro	90° hombro vertical (en un costado)	32	49	76	14	24	42
Abducción vertical del hombro	90° hombro vertical (en un costado)	26	49	85	10	22	40
Abdución vertical del hombro	90° hombro vertical (en un costado)	32	52	75	11	27	42
Extensión del tobillo (flexión plantar)	90° incluye la espinilla	51	93	175	29	60	97
Extensión de la rodilla	120° incluye el muslo (sentado)	62	124	235	38	78	162
Flexión de la rodilla	135° incluye el muslo (sentado)	43	74	116	16	46	77
Extensión de la cadera	100° incluye el torso (sentado)	69	140	309	28	72	133
Flexión de la cadera	110° incluye el torso (sentado)	87	137	252	42	93	131
Extensión del torso	100° incluye el muslo (sentado)	121	173	371	52	136	257
Flexión del torso	100° incluye el muslo (sentado)	66	106	159	36	55	119
Flexión lateral de torso	Sentado erguido	70	117	193	37	69	120

(*continúa*)

el esfuerzo estático una sola vez. Se han elaborado tablas extensivas de los esfuerzos psicofísicos con varias frecuencias y posturas (Snook y Ciriello, 1991). Un resumen de estos valores se proporciona en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4.

UTILIZACIÓN DE LOS MÚSCULOS GRANDES PARA LAS TAREAS QUE REQUIEREN FUERZA

La fuerza muscular es directamente proporcional al tamaño del músculo, como lo define el área de la sección transversal [específicamente, 87 psias (60 N/cm^2) tanto en el caso de hombres como de mujeres] (Ikai y Fukunaga, 1968). Por ejemplo, los músculos de las piernas y del tronco deben utilizarse para levantar cargas muy pesadas, en lugar de usar los músculos más débiles de los brazos. El factor postural, aunque de alguna manera determinado por los cambios geométricos del impulso muscular o brazo de palanca, está relacionado con la longitud en reposo de las fibras musculares que están en el rango medio del movimiento en la mayoría de las articulaciones, como quedó establecido en el primer principio de la economía de movimientos.

PERMANEZCA POR DEBAJO DEL 15% DE LA MÁXIMA FUERZA VOLUNTARIA

La fatiga muscular es un criterio muy importante, pero poco utilizado para diseñar tareas adecuadas para el operario humano. El cuerpo humano y el tejido muscular dependen principalmente de dos tipos de fuentes de energía, la *aeróbica* y la *anaeróbica* (consulte la siguiente sección que trata acerca del Trabajo Manual). Como el metabolismo anaeróbico puede suministrar energía sólo por un periodo muy pequeño, el oxígeno suministrado a las fibras musculares a través del flujo sanguíneo periférico se convierte en un aspecto crítico para determinar cuánto tiempo durarán las contracciones

Tabla 4.1 B. Datos del impulso de resistencia muscular estática (N · m) de 25 hombres y 22 mujeres empleadas para realizar trabajos manuales en la industria (*continuación*).

		Hombres (percentil)			Mujeres (percentil)		
Función muscular	**Ángulos de la articulación**	**5**	**50**	**95**	**5**	**50**	**95**
Flexión del codo	90° incluyendo el brazo (brazo en el costado)	42	77	111	16	41	55
Extensión del codo	70° incluyendo el brazo (brazo en el costado)	31	46	67	9	27	39
Rotación humeral media (hombro)	90° hombro vertical (extendido)	28	52	83	9	21	33
Rotación humeral lateral (hombro)	5° hombro vertical (en un costado)	23	33	51	13	19	28
Flexión horizontal de hombro	90° hombro vertical (en un costado)	44	92	119	12	40	60
Extensión horizontal del hombro	90° hombro vertical (en un costado)	43	67	103	19	33	57
Abducción vertical del hombro	90° hombro vertical (en un costado)	35	67	115	13	30	54
Abdución vertical del hombro	90° hombro vertical (en un costado)	43	71	101	15	37	57
Extensión del tobillo (flexión plantar)	90° incluye la espinilla	69	126	237	31	81	131
Extensión de la rodilla	120° incluye el muslo (sentado)	84	168	318	52	106	219
Flexión de la rodilla	135° incluye el muslo (sentado)	58	100	157	22	62	104
Extensión de la cadera	100° incluye el torso (sentado)	94	190	419	38	97	180
Flexión de la cadera	110° incluye el torso (sentado)	118	185	342	57	126	177
Extensión del torso	100° incluye el muslo (sentado)	164	234	503	71	184	348
Flexión del torso	100° incluye el muslo (sentado)	89	143	216	49	75	161
Flexión lateral de torso	Sentado erguido	95	159	261	50	94	162

Fuente: Chaffin y Anderson, 1991. Reimpreso con el permiso de John Wiley & Sons, Inc.

Tabla 4.2 Pesos máximos (en libras y kilogramos) aceptables por hombres y mujeres promedio para levantar cajas compactas [14 pulgadas (34 cms.) de ancho] con asas

	1 levantamiento en 0.5 minutos				1 levantamiento en 1 minuto				1 levantamiento en 30 minutos			
	Hombres		**Mujeres**		**Hombres**		**Mujeres**		**Hombres**		**Mujeres**	
Tarea	**lb**	**kg**	**lb**	**kg**	**lb**	**kg**	**lb**	**kg**	**lb**	**kg**	**lb**	**kg**
Del piso a la altura de los nudillos	42	19	26	12	66	30	31	14	84	38	37	17
De los nudillos a la altura de los hombros	42	19	20	9	55	25	29	13	64	29	33	15
De los hombros al alcance del brazo	37	17	18	8	51	23	24	11	59	27	29	13

Nota: Para bajar, aumente 6% los valores. Para cajas sin asas, reduzca 15% los valores. El aumento del tamaño de la caja (hacia afuera del cuerpo) a 30 pulgadas (75 cm) reduce 16% los valores.
Fuente: Adaptado de Snook y Ciriello, 1991.

musculares. Desafortunadamente, a medida que las fibras musculares se contraen de una manera más fuerte, se comprimen más las arteriolas y capilaridades entrelazadas (vea la figura 4.2), y a medida que se restringen más los suministros de flujo sanguíneo y oxígeno, las fatigas musculares serán más rápidas. El resultado es la curva de resistencia que se muestra en la figura 4.8. La relación es marcadamente no lineal y varía desde un tiempo de resistencia muy corto de alrededor de 6 segundos a una máxima contracción, en cuyo punto la fuerza muscular disminuye drásticamente hasta un tiempo de resistencia muy indefinido de alrededor de 15% de una contracción máxima.

Tabla 4.3 Fuerzas de empuje (en libras y kilogramos) a la altura de la cintura aceptables por hombres y mujeres (I = Inicial, S = Sostenido)

	1 levantamiento/minuto								1 levantamiento en 30 minutos							
	Hombres				Mujeres				Hombres				Mujeres			
	I		S		I		S		I		S		I		S	
Distancia empujada, pies (m)	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg
150 (45)	51	23	26	12	40	18	22	10	66	30	42	19	51	23	26	12
50 (15)	77	35	42	19	44	20	29	13	84	38	51	23	53	24	33	15
7 (2)	95	43	62	28	55	25	40	18	99	45	75	34	66	30	46	21

Nota: Para fuerza de empuje a la altura de los hombros o de los nudillos/rodillas, reduzca 11% los valores.
Fuente: Adaptado de Snook y Ciriello, 1991.

Tabla 4.4 Fuerzas de arrastre (en libras y kilogramos) a la altura de la cintura aceptables por hombre y mujeres (I = Inicial, S = Sostenido)

	1 arrastre/minuto								1 arrastre en 30 minutos							
	Hombres				Mujeres				Hombres				Mujeres			
	I		S		I		S		I		S		I		S	
Distancia de arrastre, pies (m)	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg
150 (45)	37	17	26	12	40	18	24	11	48	22	42	19	48	22	26	12
50 (15)	57	26	42	19	42	19	26	12	62	28	51	23	51	23	33	15
7 (2)	68	31	57	26	55	25	35	16	73	33	70	32	66	30	44	20

Nota: Para fuerza de arrastre a la altura de los hombros o de los nudillos/rodillas, reduzca 11% los valores.
Fuente: Adaptado de Snook y Ciriello, 1991.

EJEMPLO 4.1 Torsión de la flexión del codo

Considere el diagrama de cuerpo libre de la extremidad superior con el codo a 90° de la figura 4.7. Hay tres músculos involucrados en la flexión del codo: braquio-bíceps, braquio-radial y braquial (vea la figura 4.1). Sin embargo, el bíceps es el flexor principal y para los propósitos de este ejemplo, es el único músculo que se muestra, y también puede considerarse como un músculo equivalente que combina las características de los tres músculos. (Observe que una solución de los tres músculos en forma independientes no es factible debido a una condición llamada *indeterminancia estática.*) El músculo equivalente se inserta aproximadamente a 2 pulgadas adelante del punto de rotación del codo. El antebrazo pesa aproximadamente 3 libras en un hombre promedio y el peso puede considerarse que actúa en el centro de gravedad del antebrazo, aproximadamente 4 pulgadas (0.33 pies) adelante del codo. La mano sostiene una carga desconocida L a una distancia de 11 pulgadas (0.92 pies) respecto al codo. La máxima carga que puede sostenerse está determinada por la torsión máxima de flexión voluntaria del codo, la cual para el 50avo percentil en el hombre es de 57 pies-libra (vea la tabla 4.1). En la posición de equilibrio estático que se muestra en la figura 4.7, la torsión en sentido contrario al de las manecillas del reloj de 57 pies-libra está balanceada por otras dos torsiones en el sentido de las manecillas del reloj, una para el peso de la extremidad inferior y otra para la carga:

$$57 = 0.33 \times 3 + 0.92 \times L$$

Resolviendo la ecuación obtenemos L = 60.9 libras. Por lo tanto, la máxima carga que un hombre promedio puede levantar mediante la flexión del codo es aproximadamente de 61 libras.

Sería interesante calcular cuánta fuerza debe ejercer un músculo equivalente para levantar esta carga. La torsión máxima voluntaria es producida por una fuerza muscular conocida $F_{\text{bíceps}}$ que actúa a través de un brazo con un impulso de 2 pulgadas (0.167 pies).

$$57 = 0.167 \times F_{\text{bíceps}}$$

Entonces, $F_{\text{bíceps}}$ es igual a 57/0.167 o 342 libras, lo que significa que el músculo ejerce cerca de 6(342/61) veces más fuerza a medida que se levanta la carga. A partir de este dato se puede concluir que el cuerpo humano no está diseñado para tener una gran resistencia, sino para realizar una gran cantidad de movimientos.

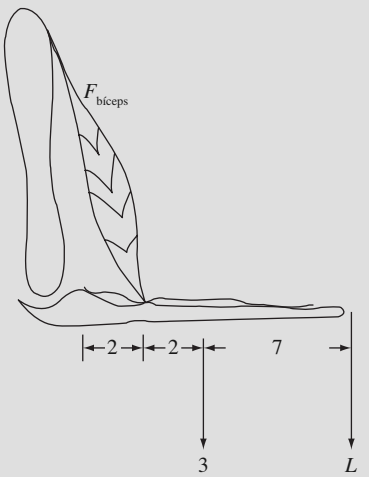


Figura 4.7

Esta relación puede modelarse mediante

$$T = 1.2/(f - 0.15)^{0.618} - 1.21$$

donde $T =$ tiempo de resistencia, en minutos
$f =$ fuerza que se requiere expresada como una fracción de la resistencia isométrica máxima

Por ejemplo, un trabajador puede soportar un nivel de fuerza de 50% de la resistencia máxima aproximadamente por sólo un minuto:

$$T = 1.2/(0.5 - 0.15)^{0.618} - 1.21 = 1.09 \text{ minutos}$$

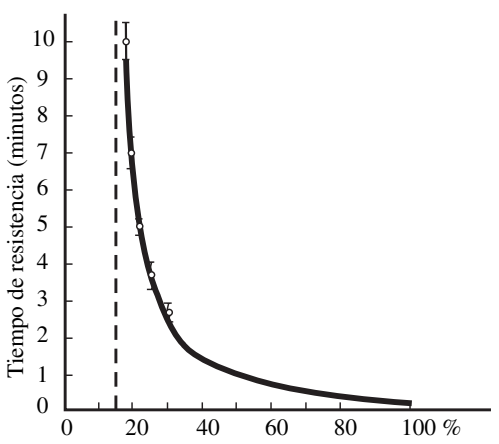


Figura 4.8 Relación de los niveles de resistencia-esfuerzo de los músculos estáticos que muestran los rangos de ± 1 SD.
(*De*: Chaffin y Anderson, 1991.) Reimpreso con el permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

La asíntota crece indefinidamente debido a que los investigadores dejaron de experimentar tempranamente sin alcanzar el punto de fatiga muscular total. Después, los investigadores sugirieron reducir este nivel de fuerza estática aceptable de 15% hasta un nivel por debajo de 10%, quizás hasta 5% (Jonsson, 1978). La cantidad de descanso necesario para recuperarse de un trabajo estático se presentará como un conjunto de holguras de relajación que dependen de la fuerza ejercida y el tiempo de levantamiento (vea el capítulo 11).

UTILICE CICLOS DE TRABAJO/DESCANSO BREVES, FRECUENTES E INTERMITENTES

Ya sea que se lleven a cabo contracciones estáticas repetidas (como, por ejemplo, sostener una carga con el codo flexionado) o una serie de elementos de trabajo dinámicos (como por ejemplo, girar manivelas con los brazos y las piernas), el trabajo y la recuperación deben distribuirse en ciclos frecuentes y cortos. Esto se debe principalmente a un rápido periodo inicial de recuperación, el cual tiende a estabilizarse al aumentar el tiempo. Por lo tanto, la mayor parte del beneficio se gana en un periodo relativamente corto. Se puede mantener un porcentaje mucho más elevado de máxima fortaleza si se ejerce la fuerza como una serie de contracciones repetitivas en lugar de una sola contracción estática sostenida (vea la figura 4.9). Sin embargo, si la persona es llevada hacia una fatiga muscular completa (de todo el cuerpo), la recuperación total tomará una gran cantidad de tiempo, quizá varias horas.

DISEÑE LAS TAREAS DE TAL FORMA QUE LA MAYORÍA DE LOS TRABAJADORES PUEDAN REALIZARLAS

Como puede observarse en la figura 4.6, cada grupo muscular tiene un rango de resistencia considerable en la población adulta normal saludable, a la vez que la más resistente es de cinco a ocho veces más fuerte que la más débil. La existencia de estos rangos tan amplios se debe a factores individuales que afectan el desempeño de la resistencia: género, edad, si la persona es diestra o zurda y el entrenamiento/estado físico. El género constituye la variación más notable en cuanto a fuerza muscular, dado que una mujer promedio tiene de 35 a 85% de la fuerza del hombre promedio, con un efecto promedio de 66% (vea la figura 4.10). La diferencia es mayor en el caso de la fuerza en las extremidades superiores y es menor en el de las extremidades inferiores. Sin embargo, este efecto se debe principalmente al tamaño corporal promedio (es decir, a la masa muscular total) y no de manera estricta al género; la mujer promedio es considerablemente más pequeña y ligera que el hombre promedio. Además, debido a la amplia distribución de una fuerza muscular dada, hay muchas mujeres que son más fuertes que muchos hombres.

En términos de edad, la fuerza muscular parece tener un pico a la edad de los veinte años y, después, disminuye linealmente de 20 a 25% a la edad de los sesenta (vea la figura 4.10). Esta disminución de la fuerza se debe a la reducción de la masa muscular y a la pérdida de fibras musculares.

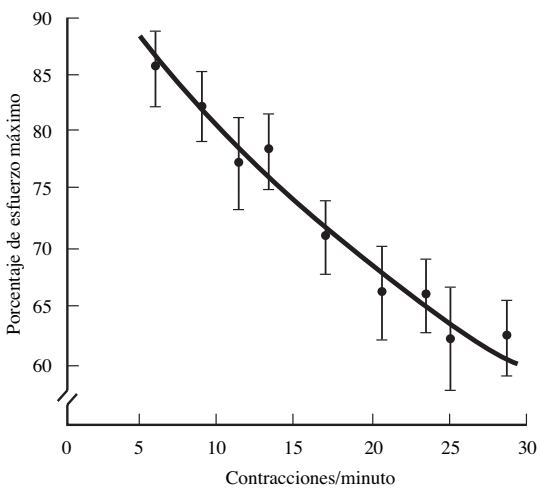


Figura 4.9 Porcentaje de esfuerzo isométrico máximo que puede mantenerse en un estado estable durante contracciones rítmicas.
Los puntos representan promedios de la combinación de los músculos de los dedos, de las manos, de los brazos y de las piernas. Las líneas verticales representan ± error estándar. (*De*: Åstrand y Rodahl, 1986.)

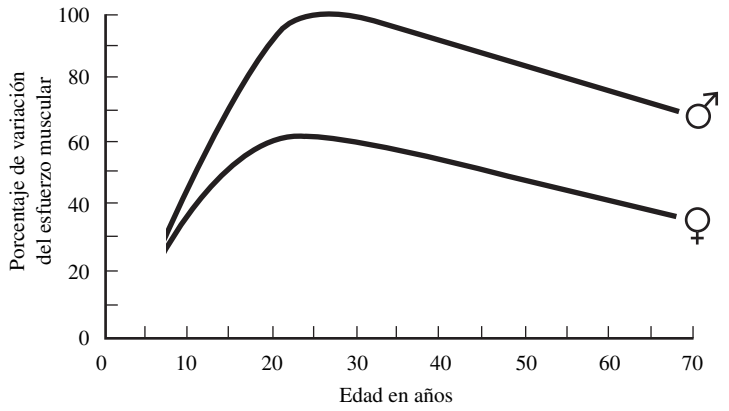


Figura 4.10 Cambios del esfuerzo isométrico máximo debidos a la edad en las mujeres y en los hombres.
(*De*: Åstrand y Rodahl, 1986.)

Sin embargo, todavía no se sabe con certeza si esta pérdida se deba a cambios fisiológicos propios de la edad o sólo a una reducción gradual de los niveles de actividad. Se ha demostrado de manera contundente que siguiendo un programa de entrenamiento para aumentar la fuerza muscular, una persona puede aumentar su fortaleza 30% en las primeras semanas, y llegar a un incremento máximo de hasta 100% (Åstrand y Rodahl, 1986). En términos del uso de la mano derecha o izquierda, la mano no dominante típicamente produce alrededor de 90% de la fuerza de sujeción o agarre de la mano dominante, efecto menos pronunciado en los zurdos, probablemente debido a que han sido de alguna manera forzados a adaptarse a un mundo de diestros (Miller y Freivalds, 1987). De cualquier forma, es mejor diseñar herramientas y máquinas de tal forma que puedan ser utilizadas tanto por los diestros como por los zurdos con el fin de evitar una situación en la que algún individuo se encuentre en desventaja.

UTILICE POCA FUERZA PARA REALIZAR MOVIMIENTOS PRECISOS O UN CONTROL FINO DE LOS MOVIMIENTOS

Las contracciones musculares se inician debido a la inervación neural del cerebro y la médula espinal, los cuales forman en conjunto el sistema nervioso central. Una neurona motora típica o célula nerviosa que se dirija hacia el músculo proveniente del sistema nervioso central puede inervar o tener conexiones con varios cientos de fibras musculares. El cociente de innervación del número de fibras por neurona varía de menos de 10 en los músculos pequeños del ojo hasta más de 1 000 de los grandes músculos de la pantorrilla y pueden variar de manera significativa aun dentro del mismo músculo. Dicho arreglo funcional se conoce con el nombre de *unidad motora* y tiene implicaciones importantes en el control de los movimientos. Una vez que se ha estimulado una neurona, el potencial eléctrico se transfiere de manera simultánea a todas las fibras musculares inervadas por ella y la unidad motora actúa como una unidad de control contráctil o motora. Asimismo, el sistema nervioso central tiende a admitir dichas unidades motoras de manera selectiva aumentando su tamaño a medida que sean necesarias fuerzas musculares mayores (figura 4.11). Las unidades motoras inicialmente admitidas son de tamaño pequeño con sólo unas pocas fibras musculares y bajas fuerzas producidas. Sin embargo, como éstas son pequeñas y de baja tensión, el cambio de la producción de fuerzas de una a dos o más unidades motoras admitidas es muy gradual y se puede generar una precisión muy fina en el control de movimientos. En las últimas etapas de la admisión de movimiento, la fuerza muscular total es elevada y cada unidad motora adicional admitida significa un gran incremento de la fuerza, con muy poca sensibilidad en términos de precisión o control. A esta propiedad muscular a menudo se le conoce como el *principio del tamaño.*

La actividad eléctrica de los músculos, llamada *electromiogramas* (EMG), es una medida de gran utilidad de la actividad muscular local. Dicha actividad se mide mediante electrodos de grabación que se colocan en la superficie de la piel sobre los músculos de interés, y después se modifican y se procesan la amplitud y frecuencia de la señal. En el análisis de la amplitud, normalmente la señal se rectifica y se aplana (con un circuito resistencia-capacitancia). El resultado mantiene una relación

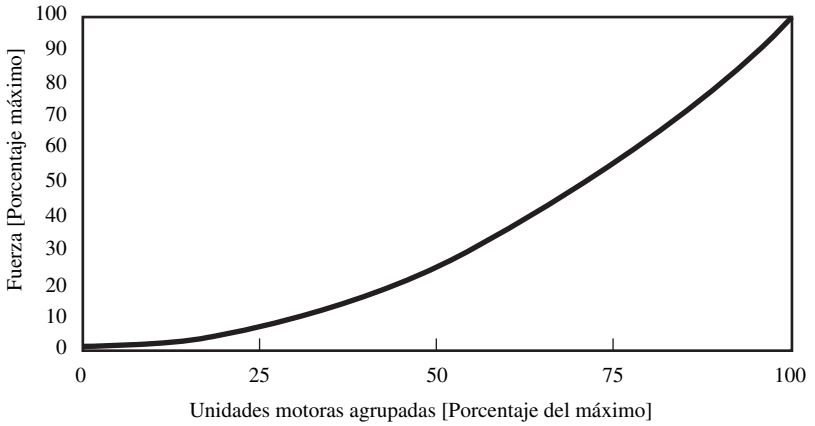


Figura 4.11 Agrupación de músculos que demuestran el principio del tamaño.

razonablemente lineal con la fuerza muscular ejercida (Bouisset, 1973). El enfoque de la frecuencia involucra la digitalización de la señal y la realización del análisis de la transformada rápida de Fourier con el fin de obtener el espectro de la frecuencia. A medida que el músculo comienza a fatigarse, la actividad muscular se desplaza de altas frecuencias (>60 Hz) a bajas frecuencias (<60 Hz)(Chaffin, 1969). También, la amplitud del EMG tiende a aumentar con la fatiga en un determinado nivel de fuerza ejercida.

NO INTENTE REALIZAR MOVIMIENTOS PRECISOS O CONTROL FINO INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE REALIZAR TRABAJO PESADO

Éste es el corolario del principio anterior de las capacidades humanas. Las pequeñas unidades motoras tienden a utilizarse continuamente durante los movimientos normales y, a pesar de que son más resistentes a la fatiga que las unidades motoras grandes, pueden experimentar fatiga. Un ejemplo típico donde este principio se viola se presenta cuando los operarios cargan sus estaciones de trabajo antes de su turno o se surten de partes durante un turno. Levantar contenedores con cargas pesadas requiere la admisión de unidades motoras pequeñas, así como de unidades motoras más grandes con el fin de generar las fuerzas musculares necesarias. Durante el levantamiento y reaprovisionamiento, algunas de las unidades motoras se fatigarán mientras que se admitirán otras para compensar las fatigadas. Una vez que el operario ha reabastecido los depósitos y regresado al trabajo de ensamble más preciso, algunas de las unidades motoras, incluyendo las de menor precisión, no estarán disponibles para su uso. Las unidades motoras más grandes admitidas para reemplazar las fatigadas proporcionarán incrementos más grandes de fuerza y un control menos preciso de los movimientos. Después de varios minutos, las unidades motoras se habrán recuperado y estarán disponibles, pero, en lo que esto sucede, la calidad y velocidad del trabajo de ensamble se verán afectadas. Una solución podría ser contratar trabajadores con menos experiencia para reabastecer los contenedores de manera regular.

USO DE MOVIMIENTOS BALÍSTICOS PARA ADQUIRIR VELOCIDAD

Durante los reflejos de la espina, siempre se presenta la innervación cruzada de agonista y antagonista. Esto minimiza cualquier conflicto innecesario entre los músculos así como el consecuente gasto de un exceso de energía. Por lo general, en un movimiento corto (menor a 200 milisegundos), torpe y voluntario, el agonista es activado y el antagonista es inhibido (proceso que se llama *inhibición recíproca*), con el fin de reducir contracciones musculares contraproducentes. Por otro lado, para movimientos precisos se utiliza el control de la retroalimentación de ambos conjuntos de músculos, lo cual incrementa el tiempo de los movimientos. Con frecuencia esto se conoce con el nombre de *concesión velocidad-precisión.*

COMIENCE Y TERMINE LOS MOVIMIENTOS CON AMBAS MANOS SIMULTÁNEAMENTE

Cuando la mano derecha trabaja en el área normal del lado derecho del cuerpo y la mano izquierda lo hace en el área normal a la izquierda del cuerpo, la sensación de equilibrio tiende a inducir un ritmo en el desempeño del operario, el cual da como resultado un nivel de productividad óptimo. La mano izquierda, en la gente diestra, puede ser tan eficiente como la derecha y debe utilizarse. Un boxeador diestro aprende a golpear de una manera tan eficiente con la mano izquierda como con la derecha. Una mecanógrafa veloz es tan buena para utilizar una mano como la otra. En un gran número de casos, se pueden diseñar las estaciones para hacer "dos a la vez". Mediante el uso de accesorios dobles para sujetar dos componentes, ambas manos puede trabajar al mismo tiempo, haciendo movimientos simétricos en direcciones opuestas. Un corolario de este principio es que ambas manos no deben estar ociosas simultáneamente, excepto durante periodos de descanso. (Este principio fue el que siguió Frank Gilbreth al rasurarse con ambas manos de manera simultánea.)

MUEVA LAS MANOS SIMÉTRICAMENTE Y DE FORMA SIMULTÁNEA HACIA Y DESDE EL CENTRO DEL CUERPO

Es natural que las manos se muevan en patrones simétricos. Cualquier desviación respecto a la simetría en una estación de trabajo para dos manos da como resultado movimientos torpes por parte del operario. La dificultad de palmearse el estómago con la mano izquierda mientras se toca la parte superior de la cabeza con la mano derecha es algo muy familiar para muchas personas. Otro experimento que puede ilustrar fácilmente la dificultad que representa realizar operaciones no simétricas consiste en tratar de dibujar un círculo con la mano izquierda mientras se intenta dibujar un cuadrado con la derecha. La figura 4.12 muestra una estación de trabajo ideal que permite al operario ensamblar un producto de acuerdo con una serie de movimientos simétricos simultáneos hacia afuera y hacia el centro del cuerpo.

UTILICE LOS RITMOS NATURALES DEL CUERPO

Los reflejos de la espina dorsal que excitan o inhiben los músculos también conducen a ritmos naturales en el movimiento de los segmentos del cuerpo. Éstos pueden compararse de manera lógica con los sistemas de segundo orden masa-resorte-carga, donde los segmentos del cuerpo representan la masa y el músculo resistencia interna y amortiguamiento. La frecuencia natural del sistema dependerá de los tres parámetros, pero la masa del segmento tendrá el efecto mayor. Esta frecuencia natural es fundamental para el desempeño eficaz y automático de una tarea. Drillis (1963) ha estudiado una gran variedad de tareas manuales comunes y ha sugerido ritmos óptimos de trabajo de la manera siguiente:

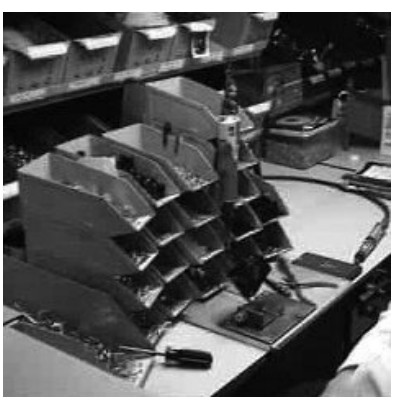


Figura 4.12 Estación de trabajo ideal que permite al operario ensamblar un producto a través de una serie de movimientos simétricos realizados de manera simultánea hacia afuera y hacia el centro del cuerpo.

Limado de metales	60-78 golpes por minuto
Tallado	60 golpes por minuto
Giro de un brazo	35 rpm
Giro de una pierna	60-72 rpm
Paleado	14-17 lanzamientos por minuto

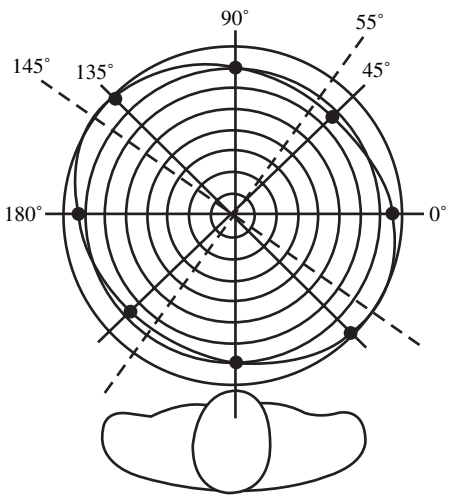
USO DE MOVIMIENTOS CURVOS CONTINUOS

Debido a la naturaleza de los enlaces de los segmentos del cuerpo (los cuales típicamente se aproximan a las articulaciones), es más fácil que el ser humano produzca movimientos curvos, esto es, que gire alrededor de una articulación. Los movimientos en línea recta que involucran cambios repentinos y agudos de dirección requieren de más tiempo y son menos precisos. Esta ley puede demostrarse fácilmente si se mueve cualquiera de las manos siguiendo un patrón rectangular y después moviendo la misma mano, ahora con un patrón circular de aproximadamente la misma magnitud. Es muy evidente la gran cantidad de tiempo que se requiere para realizar los cambios repentinos de dirección de 90°. Para realizar un cambio de dirección, la manos deben desacelerarse, cambiar de dirección y acelerarse hasta que sea el momento de desacelerar de nuevo para hacer el siguiente cambio de dirección. Los movimientos curvos continuos no requieren desaceleración y, en consecuencia, se llevan a cabo más rápido por unidad de distancia. Lo anterior se demuestra de una manera muy precisa en la figura 4.13, con sujetos que realizan movimientos posicionales con la mano derecha en ocho direcciones en un plano horizontal a partir de un punto de comienzo central. El movimiento de la izquierda inferior a la derecha superior (giro alrededor del codo) requirió 20% menos de tiempo que el movimiento perpendicular desde la derecha inferior hasta la izquierda superior (movimientos adicionales no normales lineales de los brazos y hombros).

USO DE LA CLASIFICACIÓN PRÁCTICA MÁS BAJA DE MOVIMIENTOS

El conocimiento de la clasificación de los movimientos juega un papel importante en el uso apropiado de esta ley fundamental de la economía de movimientos en los estudios de métodos. La clasificación es la siguiente:

1. Los movimientos de los dedos se llevan a cabo moviendo el o los dedos mientras que el resto del brazo se mantiene inmóvil. Éstos son movimientos de primera clase y los más rápidos de las cinco clases de movimientos. Los movimientos típicos de los dedos son enroscar una tuerca, golpear las teclas de una máquina de escribir o tomar una pieza pequeña. Por lo general



Los círculos concéntricos representan intervalos idénticos.

Figura 4.13 El movimiento del antebrazo es mejor cuando éste gira alrededor del codo.
(*Fuente*: Adaptado de Schmidtke y Stier 1960).

existe una diferencia muy significativa en el tiempo que se requiere para llevar a cabo movimientos con los dedos, de los cuales el índice es el más rápido. Debido a que los movimientos repetitivos de los dedos pueden traer como consecuencia desórdenes de trauma acumulativo (vea el capítulo 5), las fuerzas de éstos deben mantenerse en un nivel bajo mediante el uso de interruptores de barra en lugar de interruptores de disparo.

2. Los movimientos de dedos y muñecas se llevan a cabo mientras el antebrazo y el brazo superior se mantienen estacionarios y se conocen con el nombre de movimientos de segunda clase. En la mayoría de los casos, los movimientos de dedos y muñecas consumen más tiempo que, estrictamente, los movimientos de dedos. Los movimientos típicos de dedos y muñecas ocurren cuando se coloca una parte en una base o soporte o cuando se ensamblan dos partes que embonan.
3. Los movimientos de dedos, muñecas o del brazo inferior, que se conocen comúnmente como movimientos del antebrazo o movimientos de tercera clase, incluyen aquellos movimientos realizados por el brazo debajo del codo mientras que el brazo superior permanece estacionario. Como el antebrazo está formado por músculos relativamente fuertes y que no se fatigan, las estaciones de trabajo deberían estar diseñadas para hacer uso de estos movimientos de tercera clase en lugar de movimientos de cuarta clase. Sin embargo, el trabajo repetitivo que involucra fuerza con los brazos extendidos pueden provocar lesiones, por lo que la estación de trabajo deberá estar diseñada de tal manera que los codos puedan mantenerse a 90° mientras se realiza el trabajo.
4. Los movimientos de dedos, muñecas, antebrazos y brazos superiores, que comúnmente se conocen con el nombre de movimientos de hombros o de cuarta clase, requieren considerablemente más tiempo para una distancia determinada que las tres clases descritas con anterioridad. Los movimientos de cuarta clase se utilizan para realizar movimientos de transporte de partes que no se pueden alcanzar con sólo estirar el brazo. Con el fin de reducir la carga estática de los movimientos de los hombros, las herramientas deben diseñarse de tal manera que el codo no tenga que elevarse mientras se lleva a cabo el trabajo.
5. En los movimientos de quinta clase se incluyen movimientos corporales tales como del tronco, los cuales son los que consumen una mayor cantidad de tiempo y que, en general, deben evitarse.

Los movimientos de primera clase requieren la menor cantidad de esfuerzo y tiempo, mientras que los de quinta clase se consideran los menos eficientes. Por lo tanto, en la práctica utilice siempre la clasificación de movimientos más baja posible para realizar el trabajo de manera adecuada. Lo anterior involucrará una consideración muy cuidadosa de la ubicación de las herramientas y materiales, de tal manera que se puedan diseñar los patrones de movimiento ideales.

Esta clasificación del movimiento fue demostrada de manera experimental por Langolf *et al.* (1976), mediante una serie de movimientos posicionales hacia y desde objetivos, conocidos como tarea de ramificación de Fitts (Fitts, 1954), tema que se estudia con mayor detalle en el capítulo 7. El tiempo del movimiento aumenta en función de la dificultad de la tarea (vea la figura 4.14), pero también aumenta a mayores niveles de clasificación; esto es, la pendiente del brazo (105 ms) es más abrupta que la de la muñeca (45 ms), la cual a su vez es más abrupta que la del dedo (26 ms). El efecto se debe simplemente al tiempo adicional que se requiere para que el sistema nervioso central procese articulaciones adicionales, unidades motoras y receptores.

TRABAJO CON AMBAS MANOS Y PIES DE MANERA SIMULTÁNEA

En razón de que la mayoría de los ciclos de trabajo se lleva a cabo con las manos, resulta económico liberarlas del trabajo que puede llevarse a cabo con los pies, pero sólo si este trabajo se realiza mientras las manos están ocupadas. Puesto que las manos son más hábiles que los pies, sería un poco tonto dejar que éstos ejecuten tareas mientras las manos estuvieran ociosas. Los dispositivos de pedal que permiten la sujeción, sacado de partes o alimentación a menudo pueden arreglarse para liberar las manos para otro trabajo más útil y, en consecuencia, reducir el tiempo del ciclo (vea la figura 4.15). Cuando las manos están en movimiento los pies no deben moverse, puesto que los movimientos simultáneos de las manos y pies son difíciles. Sin embargo, los pies pueden estar aplicando presión a algo, como, por ejemplo, a un pedal. Asimismo, el operario debe estar sentado,

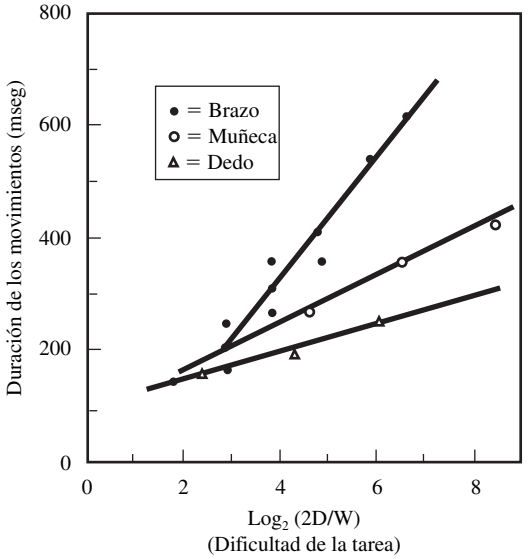


Figura 4.14 Clasificaciones de los movimientos. (*Fuente*: Datos de Langolf *et al*., 1976. Reproducido con permiso de McGraw-Hill Companies.)

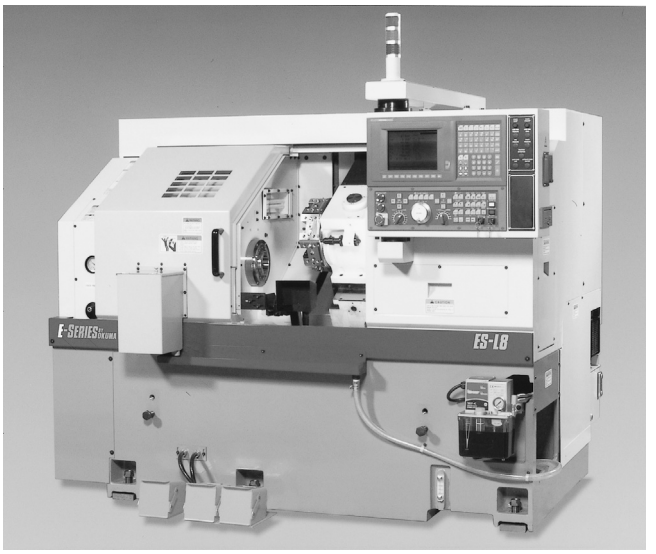


Figura 4.15 Máquina herramienta operada con los pies. (Cortesía de Okuma.)

ya que es difícil operar un pedal mientras se está parado, lo cual significa mantener el peso de todo el cuerpo con el otro pie.

MINIMICE LA FIJACIÓN DE LA VISTA

Aunque las fijaciones y movimientos de los ojos no pueden eliminarse en la mayoría de los trabajos, la ubicación de los objetivos visuales principales debe optimizarse respecto al operario. La línea de vista normal es de alrededor de 15° por debajo de la horizontal (vea la figura 5.5) y el campo visual principal se define, *grosso modo*, como un cono con un arco de ±15° centrado en la línea de vista. Ello implica que, dentro de esta área no son necesarios los movimientos de la cabeza y se minimiza la fatiga de los ojos.

RESUMEN

Los principios de las capacidades humanas y la economía de movimientos se basan en una comprensión elemental de la psicología humana y deben ser de gran utilidad en la aplicación del análisis de métodos con el operario en mente. Sin embargo, el analista no necesita ser un experto en anatomía y psicología humanas para poder aplicar estos principios. En realidad, para propósitos de la mayoría de las tareas, es suficiente utilizar la Lista de verificación de la economía de movimientos, la cual resume la mayoría de estos principios en un formato tipo cuestionario (vea la figura 4.16).

4.3 ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS

El estudio de los movimientos implica el análisis cuidadoso de los movimientos corporales que se emplean para realizar una tarea. Su propósito es eliminar o reducir movimientos ineficientes y facilitar y acelerar los movimientos eficientes. A través del estudio de los movimientos en conjunto con los principios de la economía de movimientos, el trabajo puede rediseñarse para que incremente su eficacia y genere un elevado índice de producción. Los Gilbreth fueron pioneros en el estudio de los movimientos manuales y desarrollaron leyes básicas de la economía de movimientos que aún se consideran fundamentales. Ellos también fueron responsables del desarrollo de los estudios detallados de la fotografía en movimiento, conocidos como *estudios de micromoción*, los cuales han demostrado ser invaluables para estudiar las operaciones manuales altamente repetitivas. El estudio de los movimientos, en un sentido amplio, abarca ambos estudios que se llevan a cabo como un simple

Suboperaciones	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse una suboperación?	❑	❑
a) ¿como innecesaria?	❑	❑
b) ¿Mediante un cambio en la orden de trabajo?	❑	❑
c) ¿Mediante un cambio en la herramienta o el equipo?	❑	❑
d') ¿Mediante un cambio en la distribución del lugar de trabajo?	❑	❑
e) ¿Mediante la combinación de herramientas?	❑	❑
f) ¿Mediante un ligero cambio de material?	❑	❑
g) ¿Mediante un ligero cambio en el producto?	❑	❑
h) ¿Mediante un sujetador de acción rápida en los soportes o guías?	❑	❑
2. ¿Puede hacerse más fácilmente una suboperación?	❑	❑
a) ¿Mediante el uso de mejores herramientas?	❑	❑
b) ¿Mediante la modificación de la distribución del trabajo?	❑	❑
c) ¿Mediante el cambio de las posiciones de los controles o herramientas?	❑	❑
d') ¿Mediante el uso de mejores contenedores de material?	❑	❑
e) ¿Mediante el uso de la inercia cuando sea posible?	❑	❑
f) ¿Haciendo menos estrictos los requisitos de visibilidad?	❑	❑
g) ¿Mediante mejores alturas del lugar de trabajo?	❑	❑
Movimientos	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse un movimiento?	❑	❑
a) ¿Como innecesario?	❑	❑
b) ¿Mediante un cambio en la orden de trabajo?	❑	❑
c) ¿Mediante la combinación de herramientas?	❑	❑
d') ¿Mediante un cambio en las herramientas o en el equipo?	❑	❑
e) ¿Mediante la eliminación del depósito de material terminado?	❑	❑
2. ¿Puede hacerse el movimiento más fácil?	❑	❑
a) ¿Mediante un cambio en la distribución, acortando distancias?	❑	❑
b) ¿Mediante el cambio de la dirección de los movimientos?	❑	❑
c) ¿Mediante el uso de diferentes músculos?	❑	❑
Uso del primer grupo de músculos que sea lo suficientemente fuerte para la tarea:		
1. ¿Dedo?	❑	❑
2. ¿Muñeca?	❑	❑
3. ¿Antebrazo?	❑	❑
4. ¿Brazo superior?	❑	❑
5. ¿Tronco?	❑	❑
d') ¿Mediante movimientos continuos en lugar de movimientos bruscos?	❑	❑
Paros	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse el sostener? (Sostener es extremadamente fatigoso)	❑	❑
a) ¿Como innecesario?	❑	❑
b) ¿Mediante un dispositivo simple de sujeción o soporte?	❑	❑
2. ¿Puede hacerse más fácil el sostener?	❑	❑
a) ¿Mediante el acortamiento de su duración?	❑	❑
b) ¿Utilizando grupos de músculos más fuertes, tales como las piernas con dispositivos operados con los pies?	❑	❑
Retrasos	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse o acortarse un retraso?	❑	❑
a) ¿Como innecesario?	❑	❑
b) ¿Mediante un cambio en el trabajo que cada miembro realiza?	❑	❑
c) ¿Equilibrando trabajo entre los miembros del cuerpo?	❑	❑
d') ¿Trabajando de manera simultánea en dos artículos?	❑	❑
e) ¿Alternando el trabajo, con cada una de las manos haciendo el mismo trabajo pero fuera de fase?	❑	❑
Ciclos	**Sí**	**No**
1. ¿Puede configurarse el ciclo para que se realice más trabajo manual durante el tiempo de operación?	❑	❑
a) ¿Mediante la alimentación automática?	❑	❑
b) ¿Mediante el suministro automático de material?	❑	❑
c) ¿Mediante un cambio en la relación de fase del hombre y la máquina?	❑	❑
d') ¿Mediante el corte automático de alimentación al término del corte o en caso de una falla de la herramienta o el material?	❑	❑
Tiempo máquina	**Sí**	**No**
1. ¿Puede reducirse el tiempo de máquina?	❑	❑
a) ¿Mediante el uso de mejores herramientas?	❑	❑
b) ¿Mediante el uso de herramientas combinadas?	❑	❑
c) ¿Mediante el uso de alimentación y velocidades más rápidas?	❑	❑

Figura 4.16 Lista de verificación de la economía de movimientos.

análisis visual y estudios que utilizan equipo más costoso. Tradicionalmente se utilizaron cámaras de película de imágenes en movimiento, pero en la actualidad se emplea de manera exclusiva videocámaras, debido a la facilidad que poseen de regresar y volver a reproducir secciones, la capacidad de congelar una imagen en grabadoras de casete de videocinta de cuatro cabezas (VCR) y la eliminación de la necesidad del revelado de la película. En vista de su costo significativamente más elevado, la micromoción por lo general se emplea sólo para estudiar tareas extremadamente más activas con un alto grado de repetitividad.

Los dos tipos de estudios pueden compararse de la siguiente manera: observe una pieza bajo una lupa y luego obsérvela bajo el microscopio. El detalle adicional que revela el microscopio es necesario sólo en el caso de las tareas más productivas. De manera tradicional, los estudios de micromoción se grababan en un *diagrama de movimiento simultáneo (simo)*, mientras que los estudios de movimiento se registraban en un *diagrama de procesos de bimanual*. En realidad, un diagrama simo se utiliza rara vez en la actualidad, pero el término a veces se aplica al diagrama de procesos de bimanual.

MOVIMIENTOS BÁSICOS

Como parte del análisis de movimientos, los Gilbreth concluyeron que todo trabajo, ya sea productivo o no, se realiza mediante el uso de combinaciones de 17 movimientos básicos a los que ellos llamaron *therbligs* (Gilbreth pronunciado al revés). Los therbligs pueden ser eficientes o ineficientes. Los primeros directamente estimulan el progreso del trabajo y con frecuencia pueden ser acortados, pero por lo general no pueden eliminarse por completo. Los therbligs ineficientes no representan un avance en el progreso del trabajo y deben eliminarse aplicando los principios de la economía de movimientos. Los 17 therbligs, junto con sus símbolos y definiciones, se muestran en la tabla 4.5.

DIAGRAMA DE PROCESOS DE BIMANUAL

El *diagrama de procesos de bimanual*, a veces conocido como diagrama de procesos del operario, es una herramienta para el estudio del movimiento. Este diagrama muestra todos los movimientos y retrasos atribuibles a las manos derecha e izquierda y las relaciones que existen entre ellos. El propósito del diagrama de procesos de bimanual es identificar los patrones de movimiento ineficientes y observar las violaciones a los principios de la economía de movimientos. Este diagrama facilita la modificación de un método, de tal manera que se pueda lograr una operación equilibrada de las dos manos así como un ciclo parejo más rítmico que mantenga los retrasos y la fatiga del operario a niveles mínimos.

Como de costumbre, el analista le pone el título Diagrama de procesos de dos manos y le añade toda la información de identificación necesaria, entre ella el número de parte, el número de diagrama, la descripción de la operación o proceso, el método actual o propuesto, la fecha y el nombre de la persona que hizo el diagrama. Inmediatamente debajo de la información de identificación, el analista bosqueja la estación de trabajo dibujada a escala. El bosquejo materialmente ayuda a presentar el método en estudio. La figura 4.17 muestra un típico diagrama de procesos de bimanual de un ensamblado sujetado por cable, con los tiempos de cada therblig obtenidos a partir de un cronómetro.

En seguida, el analista comienza a construir el diagrama de procesos de bimanual mediante la observación de la duración de cada elemento, luego de lo cual determina la cantidad de tiempo que va a representarse en el diagrama dibujado a escala. Por ejemplo, en la figura 4.17, el primer elemento, "Obtenga el perno-U", tiene un tiempo de 1.00 minutos y se marca un espacio largo o cinco espacios pequeños verticales. Bajo la columna "Símbolos" está escrito RE (alcanzar), que indica que se ha llevado a cabo un movimiento eficiente. Observe también que está involucrada una sujeción (G), la cual no se mide de manera independiente, puesto que no es posible en la mayoría de los casos medir el tiempo de los therbligs de manera individual. En seguida, el analista diagrama "Colocar el perno U" y continúa con la mano izquierda. En general, es menos confuso diagramar completamente las actividades de una mano antes de estudiar la otra.

Después de que se han diagramado las actividades de ambas manos, el analista genera un resumen en la parte inferior de la hoja, en el cual indica el tiempo del ciclo, las piezas por ciclo y el tiempo por pieza. Una vez que se ha elaborado el diagrama de procesos de bimanual de un método

Tabla 4.5 Therbligs de los Gilbreth

Therbligs eficientes (Avanza el progreso del trabajo directamente. Puede reducirse, pero es difícil eliminarlo completamente).		
Therblig	**Símbolo**	**Descripción**
Alcanzar	RE	"Mover" la mano vacía hacia o desde el objeto; el tiempo depende de la distancia recorrida; por lo general es precedido por "Liberar" y seguido por "Sujetar".
Mover	M	"Mover" la mano cargada; el tiempo depende de la distancia, el peso y el tipo de movimiento; por lo general es precedido por "Sujetar" y seguido por "Liberar" o "Posicionar".
Sujetar o tomar	G	"Cerrar" los dedos alrededor de un objeto; comienza a medida que los dedos tocan el objeto y termina cuando se ha ganado el control; depende del tipo de sujeción; por lo general, es precedido por "Alcanzar" y seguido por "Mover".
Liberar	RL	"Soltar" el control de un objeto, típicamente el más corto de los therbligs.
Preposicionar	PP	"Posicionar" un objeto en una ubicación predeterminada para su uso posterior; por lo general ocurre en conjunto con "Mover", como cuando se orienta una pluma para escribir.
Utilizar	U	"Manipular" una herramienta para el uso para el que fue diseñada; fácilmente detectable, a medida que avanza el progreso del trabajo.
Ensamblar	A	"Unir" dos partes que embonan; por lo general es precedido por "Posicionar" o "Mover" y seguido por "Liberar".
Desensamblar	DA	Es lo opuesto a "Ensamblar", pues separa partes que embonan; por lo general es precedido por "Sujetar" y seguido por "Liberar".
Therbligs ineficientes (No avanza el progreso del trabajo. Si es posible, debe eliminarse)		
Therblig	**Símbolo**	**Descripción**
Buscar	S	Ojos o manos buscan un objeto; comienza a medida que los ojos se mueven para localizar un objeto.
Seleccionar	SE	"Seleccionar" un artículo de varios; por lo general es seguido por "Buscar".
Posicionar	P	"Orientar" un objeto durante el trabajo, por lo general precedido por "Mover" y seguido por "Liberar" (en oposición a *durante* en Preposicionar).
Inspeccionar	I	"Comparar" un objeto con el estándar, típicamente a la vista, pero podría ser también con los demás sentidos.
Planear	PL	"Pausar" para determinar la acción siguiente; por lo general se lo detecta como un titubeo que precede a "Mover".
Retraso inevitable	UD	Más allá del control del operario debido a la naturaleza de la operación, por ejemplo, la mano izquierda espera mientras la derecha termina una búsqueda prolongada.
Retraso evitable	AD	El operario es el único responsable del tiempo ocioso, por ejemplo, toser.
Descanso para contrarrestar la fatiga	R	Aparece periódicamente, no en cada ciclo; depende de la carga de trabajo física.
Parar	H	Una mano soporta el objeto mientras la otra realiza trabajo útil.

existente, el analista puede determinar qué mejoras puede implantar. A estas alturas se deben aplicar algunos corolarios importantes de los principios de la economía de movimientos:

1. Establecer las mejores secuencias de los therbligs.
2. Investigar cualquier variación sustancial en el tiempo que se requiere para llevar a cabo cierto therblig y determinar la causa.
3. Examinar y analizar los titubeos para determinar y, posteriormente, eliminar sus causas.
4. Como un objetivo a lograr, enfocarse en los ciclos y en sus partes terminadas en la menor cantidad de tiempo. Estudie las desviaciones respecto a estos tiempos mínimos para determinar las causas.

En el ejemplo, los "retrasos" y los "paros" son buenos puntos para comenzar. Por ejemplo, en la figura 4.17, la mano izquierda actúa como dispositivo de sujeción en casi todo el ciclo. Esto podría sugerir el desarrollo de un accesorio para fijar el perno en U. Consideraciones adicionales para lograr movimientos balanceados de ambas manos sugieren que cuando el soporte sujete los pernos en U, ambas manos pueden utilizarse de manera simultánea de tal forma que cada una ensamble totalmente un sujetador de cable. Un estudio adicional de este diagrama puede dar como resultado la introducción de un eyector automático y de una rampa de gravedad para eliminar el elemento final del ciclo "despache el ensamble". El uso de la Lista de verificación del análisis de therblig (vea figura 4.18) puede también ser de gran utilidad en este análisis.

4.4 TRABAJO MANUAL Y LINEAMIENTOS DE DISEÑO

Aunque la automatización ha reducido drásticamente las demandas de energía humana en el ambiente industrial de nuestros días, la fortaleza muscular aún es la parte esencial de muchas ocupaciones, en particular de aquellas que involucran el manejo manual de materiales (MMH) o el trabajo manual. En dichas actividades, sobrepasarse en el movimiento de cargas pesadas puede estresar en gran medida el sistema músculo-esquelético, y dar como resultado casi un tercio de todas las lesiones que se presentan en el trabajo. Sólo la espalda inferior representa casi un cuarto de todas estas lesiones y una cuarta parte de los costos de compensación anuales de los trabajadores (Consejo de Seguridad Nacional, 2003). Las lesiones en la espalda van especialmente en detrimento de las personas debido a que a menudo dan como resultado lesiones permanentes, lo que significa malestar y limitaciones del empleado así como un gasto significativo para la compañía (un caso promedio que involucre cirugía puede exceder los 60 000 dólares en costos directos).

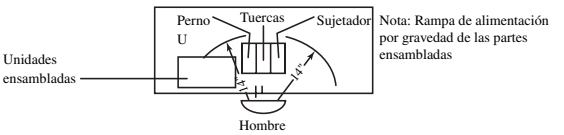
LINEAMIENTOS PARA EL GASTO DE ENERGÍA Y PARA LA CARGA DE TRABAJO

El proceso de contracción muscular requiere de energía. La molécula llamada *ATP* (adenosín-trifosfato) representa la fuente inmediata de energía, la cual interactúa físicamente con el puente de cruce de la proteína a medida que se rompe uno de los enlaces de fosfato de alta energía del ATP. Esta fuente es muy limitada pues dura sólo varios segundos y el ATP debe reabastecerse de inmediato de otra molécula llamada *CP* (fosfato de creatina). La fuente de CP también es limitada con menos de 1 minuto de duración (vea la figura 4.19) y debe ser regenerada a partir del metabolismo de los alimentos básicos que comemos: carbohidratos, grasas y proteínas. Este metabolismo puede ocurrir de dos modos diferentes: *aeróbica*, que requiere de oxígeno y *anaeróbica*, que no utiliza oxígeno. El metabolismo aeróbico, mucho más eficiente, genera 38 ATP por cada molécula de *glucosa* (unidad básica de los carbohidratos), pero es relativamente lento. El metabolismo anaeróbico es muy ineficiente, pues produce sólo 2 ATP por cada molécula de glucosa, pero es mucho más rápido. Asimismo, la molécula de glucosa se fragmenta de manera parcial en dos moléculas de lactasa, las cuales en el ambiente acuoso del cuerpo humano forman *ácido láctico*, el cual está asociado directamente con la fatiga. Por lo tanto, durante los primeros minutos de trabajo pesado, las fuentes de energía del ATP y del CP se agotan muy rápidamente, por lo cual debe utilizarse el metabolismo anaeróbico para re-

Diagrama de procesos bimanual Página 1 de 1

Operación: Ensamble de sujetadores de cable	Parte: SK-112	Resumen	Mano izquierda	Mano derecha
Nombre y número del operario: J.B. #1157		Tiempo efectivo:	2.7	11.6
Analista: G. Thuering	Fecha: 6-11-98	Tiempo no efectivo:	11.6	2.7
Método (ponga un círculo en su elección) (Presente) Pospuesto		Tiempo del ciclo =14.30 seg.		

Bosquejo:



Descripción de la mano izquierda	Símbolo	Tiempo	Tiempo	Símbolo	Descripción de la mano derecha
Tome el perno en U (10")	RE G	1.00	1.00	RE G	Tome el sujetador del cable (10")
Coloque el perno en U (10")	M P	1.20	1.20	M P RL	Coloque el sujetador del cable (10")
Sostenga el perno en U	H	11.00	1.00	RE G	Tome la primera tuerca (9")
			1.20	M P	Coloque la primera tuerca (9")
			3.40	U RL	Localice la primera tuerca
			1.00	RE G	Tome la segunda tuerca (9")
			1.20	M P	Coloque la segunda tuerca (9")
			3.40	U RL	Localice la segunda tuerca
Coloque el ensamble	M RL	1.10	0.90	UD	Espere

Figura 4.17
Diagrama de procesos bimanual del ensamble de sujetadores de cable.

generar los almacenes de ATP. De un momento a otro, a medida que el trabajador alcanza el estado estable, el metabolismo aeróbico se iguala y mantiene la salida de energía, a medida que el metabolismo anaeróbico disminuye. Mediante el calentamiento y el comienzo lento del trabajo pesado, el trabajador puede minimizar la cantidad de metabolismo anaeróbico y la formación concurrente de ácido láctico asociado con la sensación de fatiga. A este retraso del metabolismo aeróbico completo se le conoce como *déficit de oxígeno*, el cual finalmente debe ser compensado por la *deuda de oxígeno* de un periodo de enfriamiento, el cual siempre es mayor que el déficit de oxígeno.

La energía que se gasta en una tarea puede calcularse si se supone que la mayoría de la energía se produce a través del metabolismo aeróbico y se mide la cantidad de oxígeno consumido por el trabajador. La cantidad de aire inspirado se mide con la ayuda de un medidor de flujo y se asume

Alcanzar y mover	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse cualquiera de estos therbligs?	❑	❑
2. ¿Pueden acortarse las distancias para lograr ventajas?	❑	❑
3. ¿Se utilizan los mejores recursos (bandas transportadoras, tenazas, pinzas)?	❑	❑
4. ¿Se utiliza el miembro corporal correcto (dedos, muñecas, antebrazo, hombros)?	❑	❑
5. ¿Puede utilizarse una rampa por gravedad?	❑	❑
6. ¿Pueden efectuarse los trasportes a través de la mecanización y los dispositivos operados con los pies?	❑	❑
7. ¿Se reducirá el tiempo si se transporta en unidades más grandes?	❑	❑
8. ¿Se incrementa el tiempo debido a la naturaleza del material que se está moviendo o debido a su posicionamiento delicado subsecuente?	❑	❑
9. ¿Pueden eliminarse los cambios abruptos de dirección?		
Tomar	**Sí**	**No**
1. ¿Sería recomendable que el operario tomara más de una parte u objeto a la vez?	❑	❑
2. ¿Puede utilizarse una toma de contacto en lugar de una toma de levantamiento?	❑	❑
3. En otras palabras, ¿pueden desplazarse los objetos en lugar de cargarse?	❑	❑
4. ¿Podría una ceja al frente de los contenedores simplificar la sujeción de partes pequeñas?	❑	❑
5. ¿Podrían las herramientas o partes preposicionarse para una toma fácil?	❑	❑
6. ¿Podría utilizarse un dispositivo de vacío, magnético o de puntas de hule en los dedos para mejorar?	❑	❑
7. ¿Puede utilizarse una banda transportadora?	❑	❑
8. ¿Se ha diseñado la guía para que los operarios puedan tomar fácilmente la parte cuando se quite?	❑	❑
9. ¿Podría preposicionar el operario anterior la herramienta o el trabajo, simplificando la toma para el siguiente operario?	❑	❑
10. ¿Pueden preposicionarse las herramientas en un sujetador que se balancee o de columpio?		
11. ¿Puede ser cubierta la superficie de la mesa de trabajo con una capa de material esponjoso de tal manera que los dedos puedan abarcar más fácilmente las partes pequeñas?	❑	❑
Liberar	**Sí**	**No**
1. ¿Puede hacerse la liberación en tránsito?	❑	❑
2. ¿Puede utilizarse un eyector mecánico?	❑	❑
3. ¿Son del tamaño y diseño apropiados los contenedores que conservan la parte después de su liberación?	❑	❑
4. Al final del therblig de liberación, ¿están las manos en la posición más ventajosa para el siguiente therblig?	❑	❑
5. ¿Pueden liberarse múltiples unidades?	❑	❑
Preposición	**Sí**	**No**
1. ¿Puede un dispositivo de sujeción en la estación de trabajo mantener las herramientas en las posiciones adecuadas y las asas en la posición vertical correcta?	❑	❑
2. ¿Pueden colgarse las herramientas?	❑	❑
3. ¿Puede utilizarse una guía?	❑	❑
4. ¿Puede utilizarse una alimentación por carrusel?	❑	❑
5. ¿Puede utilizarse un dispositivo para apilar?	❑	❑
6. ¿Puede utilizarse un accesorio giratorio?	❑	❑
Usar	**Sí**	**No**
1. ¿Puede utilizarse una guía o accesorio?	❑	❑
2. ¿La actividad justifica el uso de equipo mecanizado o automático?	❑	❑
3. ¿Sería práctico hacer el ensamble en múltiples unidades?	❑	❑
4. ¿Puede utilizarse una herramienta más eficiente?	❑	❑
5. ¿Se pueden utilizar topes?	❑	❑
6. ¿Opera la herramienta a las velocidades y alimentaciones más eficientes?	❑	❑
7. ¿Se debe utilizar una herramienta eléctrica?	❑	❑

Figura 4.18 Lista de verificación del análisis de therbligs.

que contiene 21% de oxígeno. Sin embargo, no todo este oxígeno es utilizado por el cuerpo; por lo tanto, el oxígeno que se expira también debe medirse. Por lo general, el volumen de aire inspirado y expirado es el mismo, y sólo debe calcularse el porcentaje de oxígeno expirado a través del uso de un medidor de oxígeno. Se incluye un factor de conversión en una dieta típica en la que 4.9 kcal (19.6 Btu) de energía se produce por cada litro de oxígeno que se utiliza en el metabolismo.

$$E\,(\text{kcal/min}) = 4.9 * \dot{V}(0.21 - E_{O_2})$$

donde E = gasto de energía, kcal/minuto
$\dot{V}$ = volumen de aire inspirado, L/minuto
E_{O_2} = fracción de oxígeno (O_2) de aire expirado (alrededor de 0.17)

Búsqueda	**Sí**	**No**
1. ¿Están los artículos identificados apropiadamente?	❑	❑
2. ¿Podrían quizás utilizarse etiquetas o colores?	❑	❑
3. ¿Pueden utilizarse contenedores transparentes?	❑	❑
4. ¿Una mejor distribución de la estación de trabajo eliminará la búsqueda?	❑	❑
5. ¿Se utiliza la iluminación adecuada?	❑	❑
6. ¿Pueden reposicionarse las herramientas y partes?	❑	❑
Selección	**Sí**	**No**
1. ¿Son intercambiables las partes comunes?	❑	❑
2. ¿Pueden estandarizarse las herramientas?	❑	❑
3. ¿Están almacenadas las partes y materiales en el mismo estante?	❑	❑
4. ¿Pueden reposicionarse las partes en un estante o charola?	❑	❑
Posición	**Sí**	**No**
1. ¿Pueden utilizarse dispositivos como una guía, un conducto, un cojinete, un tope, un sujetador, un remache localizador, un hueco, una llave, un piloto o un bisel?	❑	❑
2. ¿Pueden modificarse las tolerancias?	❑	❑
3. ¿Puede el agujero ser perforado o avellanado?	❑	❑
4. ¿Puede utilizarse un machote?	❑	❑
5. ¿Las rebabas incrementan el problema del posicionamiento?	❑	❑
6. ¿Puede el artículo ser puntiagudo para actuar como piloto?	❑	❑
Inspección	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse la inspección o combinarse con otra operación o therblig?	❑	❑
2. ¿Pueden utilizarse múltiples calibradores o pruebas?	❑	❑
3. ¿Se reducirá el tiempo de inspección si se aumenta la iluminación?	❑	❑
4. ¿Están los artículos en inspección a la distancia correcta con respecto a los ojos del operario?	❑	❑
5. ¿Facilitará la inspección un graficador de sombras?	❑	❑
6. ¿Tiene alguna aplicación el ojo eléctrico?	❑	❑
7. ¿Justifica el volumen la inspección electrónica automática?	❑	❑
8. ¿Podría un vidrio de aumento facilitar la inspección de partes pequeñas?	❑	❑
9. ¿Se utiliza el mejor método de inspección?	❑	❑
10. ¿Se han considerado la luz polarizada, los calibradores de machotes, los probadores de sonido, las pruebas de desempeño, etcétera?	❑	❑
Descanso para contrarrestar la fatiga	**Sí**	**No**
1. ¿Se utiliza la mejor clasificación del orden de los músculos?	❑	❑
2. ¿Son satisfactorias la temperatura, humedad, ventilación, ruido, luz y otras condiciones de trabajo?	❑	❑
3. ¿Tienen las mesas la altura adecuada?	❑	❑
4. ¿Puede el operario sentarse y pararse alternadamente mientras desarrolla el trabajo?	❑	❑
5. ¿Tiene el operario una silla cómoda con la altura adecuada?	❑	❑
6. ¿Se utilizan medios mecánicos para cargas pesadas?	❑	❑
7. ¿Está consciente el operario de sus necesidades de ingesta promedio de calorías diarias?	❑	❑
Paro	**Sí**	**No**
1. ¿Puede utilizarse una guía mecánica como un tope, un remache, un gancho, un estante, un sujetador o el vacío?	❑	❑
2. ¿Puede utilizarse la fricción?	❑	❑
3. ¿Puede utilizarse un soporte magnético?	❑	❑
4. ¿Debe utilizarse un soporte de sujeción gemelo?	❑	❑

Figura 4.18 (*continuación*)

La energía que se consume en una tarea varía de acuerdo con el tipo de trabajo a realizarse, la postura que se mantiene durante dicho trabajo y el tipo de transporte de carga. Se han recabado datos acerca del gasto de energía en cientos de tipos diferentes de trabajos, los más comunes de los cuales se muestran en la figura 4.20. De manera alterna, se puede calcular el consumo de energía mediante el empleo del modelo de predicción metabólica de Garg (1978). En el caso del manejo manual de materiales, la forma en la que se transporta la carga es un aspecto crítico, con costos de energía más bajos para cargas balanceadas sostenidas en el punto más cercano al centro de gravedad del cuerpo, donde se encuentran los grupos más grandes de músculos. Por ejemplo, una mochila en la espalda soportada por los músculos del tronco es menos demandante que cargar un peso igual en dos maletas, una en cada brazo. A pesar de que la carga está balanceada, esta última situación coloca la carga muy lejos del centro de gravedad y en músculos más pequeños como los de los brazos. La postura también

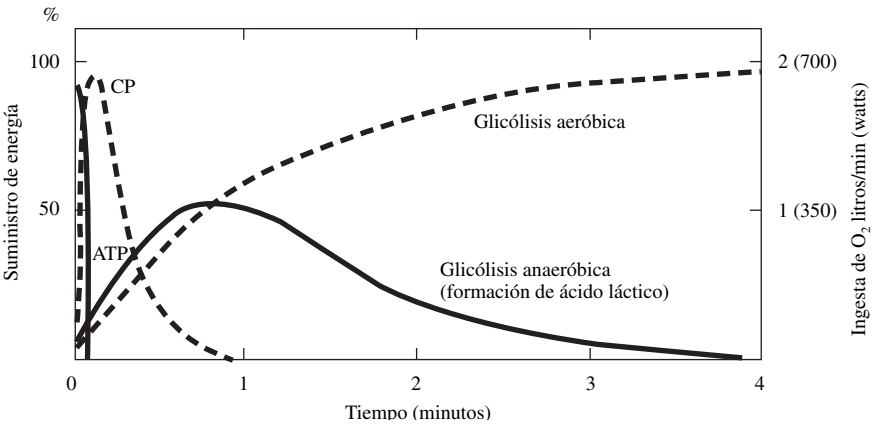


Figura 4.19 Fuentes de energía durante los primeros minutos de un trabajo moderadamente pesado.
Los almacenes de fosfato de alta energía (ATP y CP) proporcionan la mayor parte de la energía durante los primeros segundos de trabajo. La glicólisis anaeróbica suministra cada vez menos cantidad de la energía requerida a medida que la duración del trabajo aumenta y el metabolismo aeróbico se hace cargo. (*Fuente*: Jones, Moran-Campbell, Edwards y Robertson, 1975.)

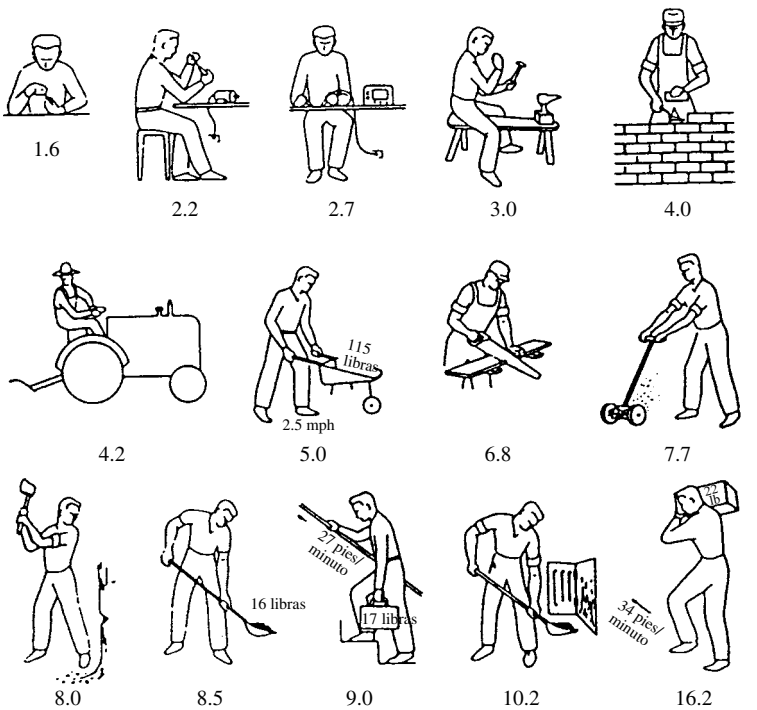


Figura 4.20 Ejemplos de costos energéticos de diferentes tipos de actividad humana. Los costos energéticos se proporcionan en kilocalorías por minuto.
(*Fuente*: Passmore y Dumin, 1955, como lo adaptó y presentó Gordon, 1957).

juega un papel importante debido al menor gasto de energía en las posturas con algún tipo de apoyo. Por lo tanto, una postura con el tronco inclinado, sin ningún soporte del brazo, consumirá 20% más energía que una postura totalmente vertical.

Bink (1962) propuso un límite de 5.33 kcal/min (21.3 Btu/min) para el consumo de energía aceptable en un día de trabajo de 8 horas. Este número corresponde a un tercio del consumo de energía máximo del hombre estadounidense promedio [en el caso de las mujeres, sería de $1/3 \times 12 = 4$ kcal/min (16 Btu/min)]. Si la carga de trabajo total es demasiado elevada (es decir, excede los límites recomendados), el metabolismo aeróbico podría no ser suficiente para proporcionar todos los requerimientos de energía y el trabajador debería depender de cantidades mayores de metabolismo anaeróbico, lo que le provocaría fatiga y la formación de ácido láctico. Por lo tanto, se debe proporcionar una suficiente recuperación para permitir que el cuerpo se restablezca de la fatiga y recicle el ácido láctico. Una pauta para la asignación de descanso fue desarrollado por Murrell (1965):

$$R = (W - 5.33)/(W - 1.33)$$

donde: $R =$ tiempo requerido para el descanso, expresado en porcentaje del tiempo total
$W =$ gasto promedio de energía durante el trabajo, kcal/min

El valor de 1.33 kcal/min (5.3 Btu/min) es el consumo de energía durante el descanso. Considere el trabajo estresante que representa palear carbón en una tolva, que implica un gasto de energía de 9.33 kcal/min (37.3 Btu/min). Sustituyendo el valor $W = 9.33$ en la ecuación se obtiene $R = 0.5$. Por lo tanto, para proporcionar un tiempo adecuado para recuperarse de la fatiga, el trabajador necesitará permanecer en descanso aproximadamente la mitad del turno de 8 horas, es decir, 4 horas.

La forma en la que se asigna el descanso también es importante. No tiene ningún sentido poner a un trabajador a laborar por 4 horas sin descanso a una velocidad de 9.33 kcal/min (37.3 Btu/min), esto es, exponerlo a sufrir de fatiga extrema y después darle un descanso de 4 horas. En general, la duración del ciclo de trabajo es la causa principal de que la fatiga aumente. Cuando se realiza trabajo pesado, el flujo sanguíneo tiende a ocluirse, lo que acelera aún más el uso de trayectorias anaeróbicas. Además, el proceso de recuperación tiende a ser exponencial, y los últimos momentos son los que menores beneficios incrementales proporcionan. Por lo tanto, rachas cortas (de ½ a 1 minuto aproximadamente) de trabajo pesado combinado con periodos cortos de descanso proporcionan un máximo beneficio. Durante periodos de ½ a 1 minuto, las fuentes de energía inmediatas de ATP y CP se agotan, pero pueden reabastecerse de manera muy rápida. Una vez que se acumula ácido láctico durante periodos de trabajo muy prolongados, se hace más difícil removerlo. Las micropausas de 1 a 3 segundos son de mucha utilidad ya que destapan cualquier vaso sanguíneo ocluido, y los descansos activos, durante los cuales el trabajador alterna el uso de sus manos y utiliza otros músculos, sirven para poner a descansar los músculos fatigados. También, es mejor que los trabajadores decidan el momento de tomar descansos cuando sientan la necesidad de ellos (a su ritmo) en contraste con los descansos prescritos (que dependen de la máquina). En resumen, se recomienda categóricamente el uso de ciclos trabajo/descanso cortos y frecuentes.

LINEAMENTOS DEL RITMO CARDIACO

Desafortunadamente, en un ambiente de trabajo industrial, medir el consumo de oxígeno y calcular el gasto de energía son procesos costosos y tediosos. El equipo cuesta varios miles de dólares e interfiere con el desempeño de las labores del trabajador. Una medición indirecta alternativa del gasto de energía es el nivel del ritmo cardiaco. En razón de que el corazón bombea la sangre que transporta oxígeno a los músculos que trabajan, a medida que el gasto de energía que se requiere es mayor, más elevado será el ritmo cardiaco correspondiente (figura 4.21). La instrumentación necesaria para medir el ritmo cardiaco es poco costoso (menos de 100 dólares en el caso de una pantalla visual, hasta varios cientos en el de una interfaz para PC) y relativamente no intrusivo (lo utilizan regularmente los atletas para supervisar su desempeño). Por otro lado, el analista debe ser cuidadoso, ya que la medición del ritmo cardiaco es más adecuada para el trabajo dinámico que exige a los músculos grandes del cuerpo a niveles no muy elevados (40% del máximo) y puede variar considerablemente entre individuos en función de sus niveles de condición física y edad. Además, el ritmo cardiaco puede confundirse con otras fuentes de estrés como el calor, la humedad, los niveles emocionales y el estrés mental. Limitar estas influencias externas da como resultado un mejor cálculo de la carga física de

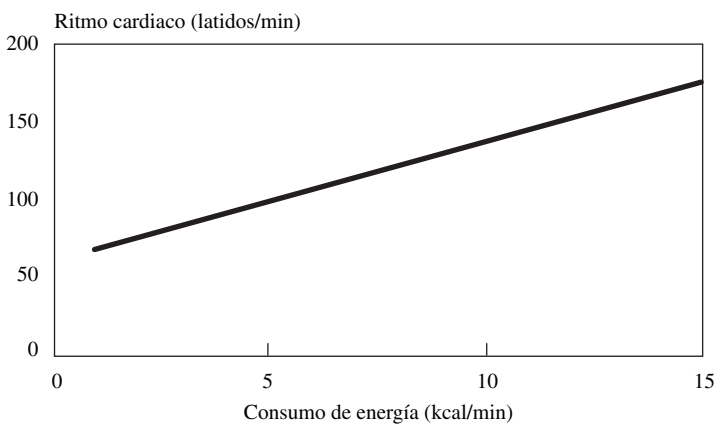


Figura 4.21 Incremento lineal del ritmo cardiaco con carga de trabajo física, medido como consumo de energía.

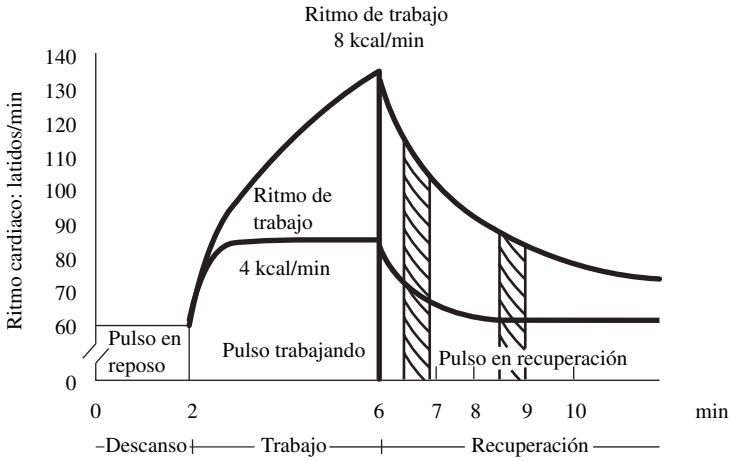


Figura 4.22 Ritmo cardiaco de dos cargas de trabajo diferentes.
La velocidad de trabajo de 8 kcal/min exhibe una elevación del ritmo cardiaco. Los dos periodos marcados se utilizan en el criterio de Brouha.

trabajo. Sin embargo, si el parámetro que se desea medir es el estrés total del trabajador durante el desempeño de su tarea, puede que esto no sea necesario.

Varios investigadores alemanes (citados en Grandjean, 1988) han propuesto una metodología para interpretar el ritmo cardiaco. El ritmo cardiaco promedio durante el trabajo se compara con el ritmo cardiaco de descanso antes del trabajo, a la vez que se propone un valor de 40 latidos/min como un incremento aceptable. Este incremento corresponde a los límites de consumo de energía recomendados. El incremento promedio del ritmo cardiaco por incremento de consumo de energía en el caso del trabajo dinámico (es decir, la pendiente de la figura 4.21) es de 10 latidos/min por 1 kcal/min. Por lo tanto, una carga de trabajo de 5.33 kcal/min (4 kcal/min por arriba del nivel de descanso de 1.33 kcal/min) produce un incremento de 40 latidos/min en el ritmo cardiaco, el cual es el límite para una carga de trabajo aceptable. Este valor es muy cercano al índice de recuperación del ritmo cardiaco que presentó Brouha (1967).

El ritmo cardiaco promedio se mide en dos periodos (áreas sombreadas) durante la recuperación posterior a la finalización de las tareas (vea la figura 4.22): 1) entre ½ y 1 minuto después y 2) entre 2 ½ y 3 minutos después. Una recuperación aceptable del ritmo cardiaco (y, por lo tanto, una carga de trabajo aceptable) se presenta si la primera lectura no excede de 110 latidos/minuto y la diferencia entre las dos lecturas es de al menos 20 latidos. Dado un típico ritmo cardiaco en reposo de 72 latidos/minuto, la adición de un incremento aceptable de 40 latidos/minuto nos da un ritmo cardiaco de trabajo de 112 latidos/minuto, el cual está muy cercano al primer criterio de Brouha.

Como comentario final en relación con el ritmo cardiaco, es muy importante observar el comportamiento de éste durante horas de trabajo. Un incremento durante el trabajo en estado estable (vea la curva superior de la figura 4.22), que se llama *elevación del ritmo cardiaco*, indica una formación incremental de fatiga y una recuperación insuficiente durante las pausas para descanso (Brouha, 1967). Es muy probable que esta fatiga sea consecuencia de la carga de trabajo físico, pero también podría ser el resultado del calor y el estrés mental y de una mayor proporción de trabajo estático en lugar de dinámico. En cualquier caso, la elevación del ritmo cardiaco debe evitarse mediante descansos adicionales.

VALORES SUBJETIVOS DE ESFUERZO PERCIBIDO

Un método aún más sencillo para calcular la carga de trabajo y el estrés de un trabajador es el uso de *valores subjetivos del esfuerzo percibido.* Dichos valores pueden reemplazar el costoso y relativamente voluminoso equipo que se requiere para realizar mediciones fisiológicas con la simplicidad de los valores verbales. Borg (1967) desarrolló la escala más popular para evaluar el ejercicio percibido durante las actividades de todo el cuerpo: *la escala de Valores de Borg del esfuerzo percibido (RPE).* Esta escala se construyó de tal manera que los valores entre 6 y 20 corresponden directamente al ritmo cardiaco (dividido entre 10) previsto para ese nivel de ejercicio (tabla 4.6). Se proporcionan anclas verbales para ayudar al trabajador en el desempeño de sus valores. Por lo tanto, con el fin de

Tabla 4.6 Escala RPE de Borg (1967) con anclas verbales

Puntuación	Ancla verbal
6	Sin ejercer ninguna fuerza
7	Extremadamente ligera
8	
9	Muy ligera
10	
11	Ligera
12	
13	Un poco difícil
14	
15	Difícil
16	
17	Muy difícil
18	
19	Extremadamente difícil
20	Máxima fuerza ejercida

garantizar una recuperación aceptable del ritmo cardiaco, con base en los lineamientos anteriores de ritmo cardiaco, la escala de Borg probablemente no deba exceder un valor de 11.

Observe que los valores, debido a que son subjetivos, pueden ser afectados por experiencias anteriores y por el nivel de motivación del individuo. Por lo tanto, los valores deben utilizarse con precaución y quizá tengan que estar normalizados a los valores máximos de cada individuo.

FUERZAS DE COMPRESIÓN EN LA PARTE INFERIOR DE LA ESPALDA

La espina dorsal o columna vertebral de un adulto está formada por 25 huesos independientes ensamblados (*vértebras*) en forma de S que se dividen en cuatro regiones principales: 7 vértebras *cervicales* en el cuello, 12 vértebras *torácicas* en la espalda superior, 5 vértebras *lumbares* en la espalda inferior y el sacro en el área pélvica (figura 4.23). Los huesos tienen un cuerpo aproximadamente cilíndrico, varias protuberancias óseas que emanan de la parte trasera, las cuales sirven para fijar los músculos de la espalda, el *espinal erector*. En el centro de cada vértebra existe una abertura que contiene y protege la médula espinal a medida que ésta viaja desde el cerebro hacia el final de la columna vertebral (figura 4.24). En varios puntos del camino, las raíces del nervio espinal se separan de la médula espinal y pasan entre los huesos vertebrales hacia las extremidades, el corazón, los órganos y otras partes del cuerpo.

Los huesos vertebrales están separados por medio de tejido blando, los *discos* intervertebrales, que sirven de articulaciones y permiten un amplio rango de movimiento de la espina, a pesar de que la mayor parte de la flexión del tronco ocurre en las dos articulaciones inferiores, la que está en la frontera entre la vértebra lumbar inferior y el sacro (llamado disco L_5/S_1, pues la numeración de las vértebras va de arriba hacia abajo por región), y la siguiente hacia arriba (disco L_4/L_5). Los discos también actúan como colchones entre los huesos vertebrales y, junto con la espina en forma de S, ayudan a proteger la cabeza y el cerebro de los impactos trepidantes que se producen al caminar, correr y saltar. Los discos están formados por un centro conformado por una sustancia similar a un gel rodeado por una capa de fibra con la forma de cebolla, separada del hueso mediante una placa terminal de cartílago. Existe un constante movimiento de fluido entre el centro de gel y el tejido circundante, el que depende de la presión en el disco. En consecuencia, la longitud de la columna vertebral (medida por el cambio de la estatura total) puede variar en una magnitud de ½ a 1 pulgada (1.3 a 2.5 cm) a lo largo de un día de trabajo y, a veces, se utiliza como una medida independiente de la carga de trabajo física de un individuo. (Como nota de interés, en el espacio, los astronautas, una vez libres de los efectos de la gravedad, pueden medir hasta 2 pulgadas más de sus estaturas normales.)

Desafortunadamente, debido a los efectos combinados de la edad y a la realización de trabajo manual pesado (ambos efectos son difíciles de separar), con el tiempo los discos pueden debilitarse.

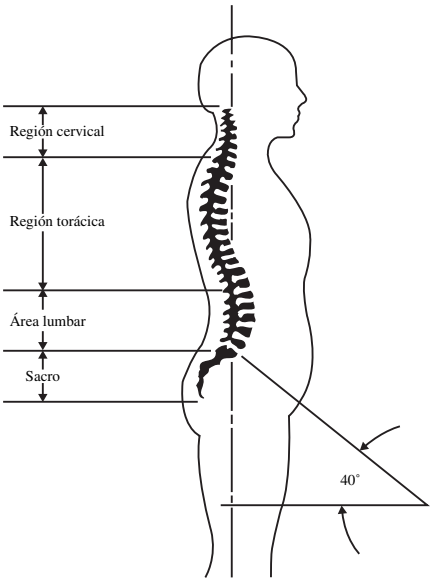
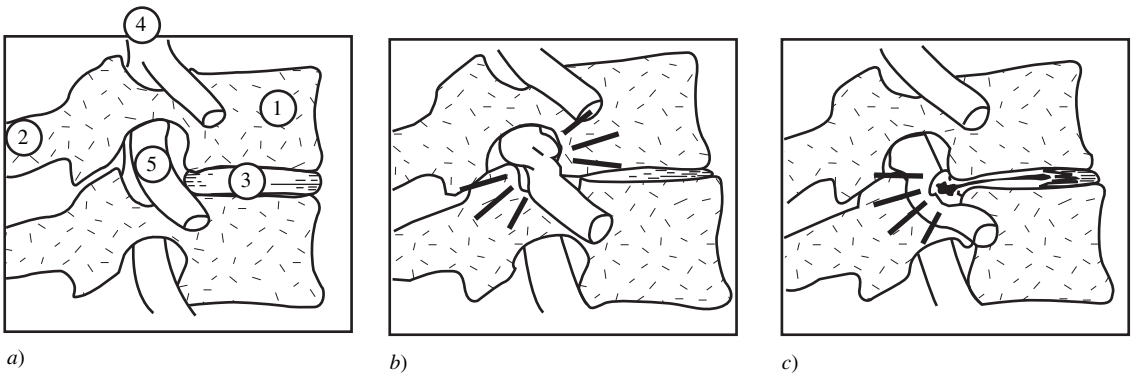


Figura 4.23 Anatomía de la espina dorsal humana. (*De*: Rowe, 1983.)



a) *b*) *c*)

Figura 4.24 Anatomía de una vértebra y el proceso de degeneración de los discos. *a*) Estado normal: 1) cuerpo de la vértebra, 2) proceso espinal, que sirve como punto de conexión del músculo; 3) disco intervertebral; 4) médula espinal; 5) raíz del nervio. *b*) Angostamiento del espacio entre discos, que permite que se aprisione la raíz del nervio. *c*) Disco herniado, que permite que el gel se extruya e incida sobre la raíz del nervio. (Adaptado de Rowe, 1983.)

Algunas de las fibras encerradas pueden deshilacharse o la placa terminal de cartílago puede experimentar microfracturas y liberar algo del material gelatinoso, lo cual reduce las presiones internas y permite que el centro comience a secarse. Proporcionalmente, los espacios entre los discos se hacen más angostos, lo que permite que los huesos vertebrales se junten y, eventualmente, se toquen entre sí y provoquen irritación y dolor. Aún peor, las raíces de los nervios inciden y generan dolor y lesiones sensoriales y motoras. A medida que las fibras pierden su integridad, los huesos vertebrales se pueden desplazar y provocar una presión dispareja en los discos y aún más dolor. En casos más catastróficos, llamados *hernia discal*, o de una forma más familiar, *resbalamiento de discos,* las protecciones de las fibras pueden llegar a romperse, lo que permite que grandes cantidades de sustancia gelatinosa se extruya e incida todavía más sobre las raíces de los nervios (figura 4.24*c*).

Las causas de los problemas en la parte inferior de la espalda no son siempre fáciles de identificar. De la misma forma que con la mayoría de las enfermedades ocupacionales, están en juego factores de trabajo e individuales. En estos últimos se puede incluir la predisposición genética hacia tejidos conectivos más débiles, discos y ligamentos así como las condiciones del estilo de vida personal como, por ejemplo, el consumo de tabaco y la obesidad, circunstancias sobre las cuales el ingeniero industrial tiene muy poco control. Los cambios sólo pueden afectar los factores del trabajo. A pesar de que los datos epidemiológicos se confunden muy fácilmente con los efectos de la sobrevivencia de la

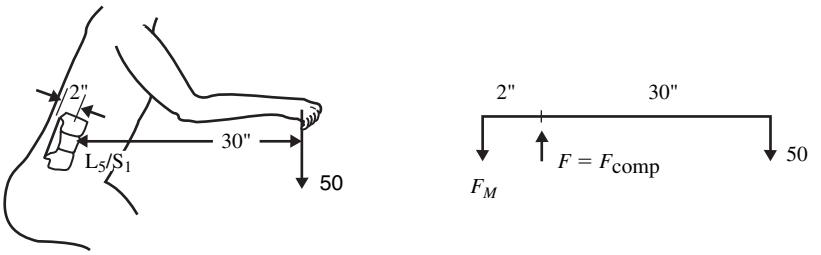


Figura 4.25 Fuerzas de compresión de la espalda modeladas como una palanca de primera clase.

población o los mecanismos compensatorios individuales, se puede demostrar estadísticamente que el trabajo pesado genera un incremento de las lesiones en la parte inferior de la espalda. El trabajo pesado incluye más que sólo levantamientos frecuentes de cargas pesadas; también incluye la conservación de posturas estáticas del tronco doblado hacia adelante por periodos prolongados. También son factores contribuyentes los largos periodos de inmovilidad aun sentados, así como la vibración de todo el cuerpo. Por lo tanto, los científicos han asociado la formación de altas presiones sobre los discos con las fallas eventuales en los discos y han optado por los cálculos biomecánicos o los de las fuerzas de compresión en los discos a partir de las mediciones de presión intradiscales directas o intraabdominales, ninguna de las cuales es de interés práctico para la industria.

Una analogía cruda pero de gran utilidad (figura 4.25) considera el diagrama de cuerpo libre del disco L_5/S_1 (en el cual se produce la mayor parte de la flexión del tronco y el herniado de discos) y modela los componentes como una palanca de primera clase, donde el centro del disco actúa como un fulcro. La carga que actúa a través de un brazo de impulso determinado por la distancia desde el centro de las manos hasta el centro del disco genera un impulso en el sentido de las manecillas del reloj, mientras que el músculo espinal erector se modela como una fuerza que actúa hacia abajo a través de un brazo de impulso muy pequeño [aproximadamente de 2 pulgadas (5 cm)], lo que genera un impulso en sentido opuesto al de las manecillas del reloj apenas suficiente para mantener el equilibrio. Por lo tanto, los dos impulsos deben ser iguales para permitir el cálculo de la fuerza interna del músculo espinal erector:

$$2 \times F_M = 30 \times 50$$

donde F_M = fuerza muscular. Entonces F_M = 1 500/2 o 750 libras (341 kg). Despejando la fuerza total de compresión F_{comp} ejercida en los discos se obtiene

$$F_{comp} = F_M + 50 = 800$$

Esta fuerza de compresión de los discos de 800 libras (364 kg) representa una carga considerable, la cual puede provocar lesiones en ciertos individuos.

Observe que esta simple analogía no toma en cuenta la falta de alineación de los discos, los pesos de los segmentos del cuerpo y otros factores y, probablemente, falla al predecir las extremadamente elevadas fuerzas de compresión que por lo general se ejercen en el área inferior de la espalda. En la figura 4.26 se presentan valores más precisos para diferentes cargas y distancias horizontales. Debido a la variación individual considerable en los niveles de fuerza que dan como resultado la aparición de lesiones en los discos, Waters (1994) recomendó que una fuerza de compresión de 770 libras (350 kg) se considerará un umbral peligroso.

Los cálculos a mano de dichas fuerzas de compresión a través del modelado biomecánico representa una inversión de tiempo significativamente elevada y ha llevado al desarrollo de varios modelos biomecánicos computarizados, el más conocido de los cuales es el Programa de predicción de esfuerzo estático en 3D.

Observe que a pesar de que el herniado de los discos puede representar la lesión más severa de la parte inferior de la espalda, existen otros problemas, tales como las lesiones del tejido blando que conforma los ligamentos, músculos y tendones. Probablemente, estas lesiones son más comunes y dan como resultado el dolor de espalda que la mayoría de la gente asocia con el trabajo manual. Dicho dolor, a pesar de ser muy molesto, posiblemente se elimine con varios días de descanso moderado. En la actualidad, los médicos recomiendan una actividad diaria moderada para acelerar la recu-

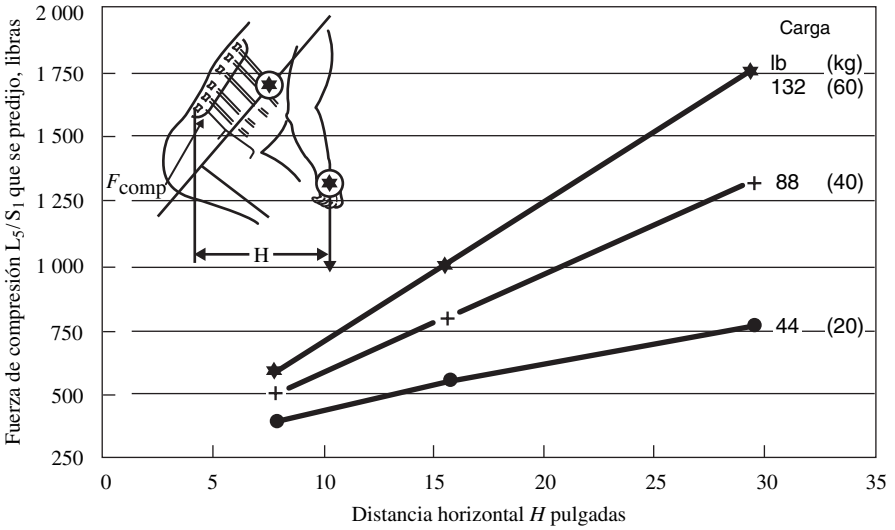


Figura 4.26
Efecto del peso de la carga y la distancia horizontal entre el centro de gravedad de la carga y el disco L_5/S_1 en la fuerza de compresión que se predijo en el disco L_5/S_1. (*Fuente*: Adaptado del NIOSH, 1981, figuras 3.4 y 3.5.)

peración, en lugar de permanecer en absoluto descanso. Además, los investigadores han incorporado los componentes de tejido blando en modelos de la espalda cada vez más complejos.

LINEAMIENTOS DEL NIOSH PARA EL LEVANTAMIENTO DE CARGAS

Con la finalidad de reconocer e intentar controlar el creciente problema de las lesiones en la espalda relacionadas con el trabajo, el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) publicó los que comúnmente se conocen como *lineamientos para el levantamiento de cargas del NIOSH* (Waters *et al*., 1994).

Aunque éstos son sólo lineamientos, la OSHA los utiliza de manera extensa en sus inspecciones de los lugares de trabajo y publicará citas con base en ellos mediante la Cláusula del trabajo general.

La observación clave es el *límite de peso recomendado* (RWL), el cual se basa en el concepto de peso óptimo, con ajustes de varios factores relacionados con las variables de la tarea. El RWL representa la carga que puede ser manejada por la mayoría de los trabajadores:

1. La fuerza de compresión de 770 lb (350 kg) en el disco L_5/S_1, generada por el RWL, puede ser tolerada por la mayoría de los trabajadores jóvenes y saludables.
2. Más de 75% de las mujeres y más de 99% de los hombres tienen la suficiente fuerza para levantar la carga que se describe en el RWL.
3. Los consumos de energía máximos resultantes de 4.7 kcal/min (18.8 Btu/min) no deben exceder los límites recomendados.

Una vez que se ha excedido el RWL, los índices de lesiones músculo-esqueléticas y los grados de severidad aumentan de manera considerable. La ecuación del RWL se basa en la carga máxima que puede ser manejada en una postura ideal. A medida que la postura se desvía de la ideal, los ajustes de varios factores de la tarea, en forma de multiplicadores, disminuyen la carga aceptable.

$$RWL = LC * HM * VM * DM * AM * FM * CM$$

donde:
LC = constante de carga = 51 libras
HM = multiplicador horizontal = $10/H$
VM = multiplicador vertical = $1 - 0.0075|V - 30|$
DM = multiplicador de la distancia = $0.82 + 1.8/D$
AM = multiplicador de asimetría = $1 - 0.0032*A$
FM = multiplicador de frecuencia de la tabla 4.7

CM = multiplicador de acoplamiento de la tabla 4.8
H = ubicación horizontal de la carga cg hacia adelante del punto medio entre los tobillos, $10 \leq H \leq 25$ pulgadas
V = ubicación vertical de la carga cg, $0 \leq V \leq 70$ pulgadas
D = distancia del recorrido vertical entre el origen y el destino del levantamiento, $10 \leq D \leq 70$ pulgadas
A = ángulo de asimetría entre las manos y los pies (grados), $0° \leq A \leq 135°$.

De una manera más simple,

$$\text{RWL (lb)} = 51(10/H)\,(1 - 0.0075\,|V - 30\,|)\,(0.82 + 1.8/D)\,(1 - 0.0032A) \times \text{FM} \times \text{CM}$$

Estos multiplicadores varían desde un valor mínimo de 0 para posturas extremas a uno máximo de 1 para una posición o condición ideal. La tabla 4.7 proporciona los multiplicadores de frecuencia para tres duraciones de trabajo diferentes y para frecuencias que varían desde 0.2/min hasta 15/min. La duración del trabajo se divide en tres categorías:

Tabla 4.7 Tabla de multiplicadores de frecuencia (FM)

	Duración del trabajo					
	≤ 1 h		**>1 pero ≤ 2 h**		**>2 pero ≥ 8 h**	
Frecuencia Levantamientos/min (F)[‡]	**$V < 30$**[†]	**$V \geq 30$**	**$V < 30$**	**$V \geq 30$**	**$V < 30$**	**$V \geq 30$**
≤ 0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

[†] Los valores de V están en pulgadas.
[‡] Para levantamientos menos frecuentes a uno cada 5 minutos, fije el valor de $F = 0.2$ levantamientos/min.

Tabla 4.8 Multiplicador de acoplamiento

	Multiplicador de acoplamiento	
Tipo de acoplamiento	**$V < 30$ pulgadas (75 cm)**	**$V \geq 30$ pulgadas (75 cm)**
Bueno	1.00	1.00
Regular	0.95	1.00
Pobre	0.90	0.90

1. *Corta duración*. Una hora o menos seguida de un tiempo de recuperación igual a 1.2 veces el tiempo de trabajo. (Por lo tanto, a pesar de que un individuo trabaje tres periodos de 1 hora, siempre y cuando estos periodos de trabajo estén mezclados con periodos de recuperación de 1.2 horas, el trabajo total aún se considerará de corta duración.)
2. *Duración moderada*. Entre 1 y 2 horas de trabajo, seguidas de un periodo de recuperación de al menos 0.3 veces el tiempo de trabajo.
3. *Larga duración*. Cualquier periodo mayor a 2 horas pero menor a 8 horas.

El multiplicador de acoplamiento depende de la naturaleza de la interfaz mano-a-objeto. En general, una buena interfaz o sujeción reducirá las fuerzas de sujeción que se requieren e incrementa el peso de levantamiento aceptable. Por otro lado, una pobre interfaz requiere grandes fuerzas de sujeción y reduce el peso aceptable. En los lineamientos revisados del NIOSH se utilizan tres clases de acoplamientos: bueno, razonable y pobre.

Un buen acoplamiento se obtiene si el contenedor tiene un diseño óptimo, tales como cajas y cajones con asas bien definidas o asas de mano. También debe tener una textura plana no resbalosa y no mayor a 16 pulgadas (40 cm) en la dirección horizontal, y no mayor a 12 pulgadas (30 cm) de altura. Un asa óptima es cilíndrica con una superficie plana no resbalosa de 0.75 a 1.5 pulgadas (1.9 a 3.8 cm) de diámetro, mayor a 4.5 pulgadas (11.3 cm) de largo y con 2 pulgadas (5 cm) de margen de espacio. En el caso de partes flojas u objetos irregulares que no se encuentran en contenedores, un buen acoplamiento podría consistir en una sujeción confortable en la cual la mano pudiera envolverse alrededor del objeto sin grandes movimientos de las muñecas (típicamente, partes pequeñas en una *sujeción de fuerza*).

Un acoplamiento razonable es el resultado de interfaces por debajo del diseño óptimo debido a asa o asas de mano menores a lo óptimo. En el caso de contenedores con un diseño óptimo, sin asas o manijas, o con partes sueltas, se puede decir que tiene un buen acoplamiento si la mano no puede

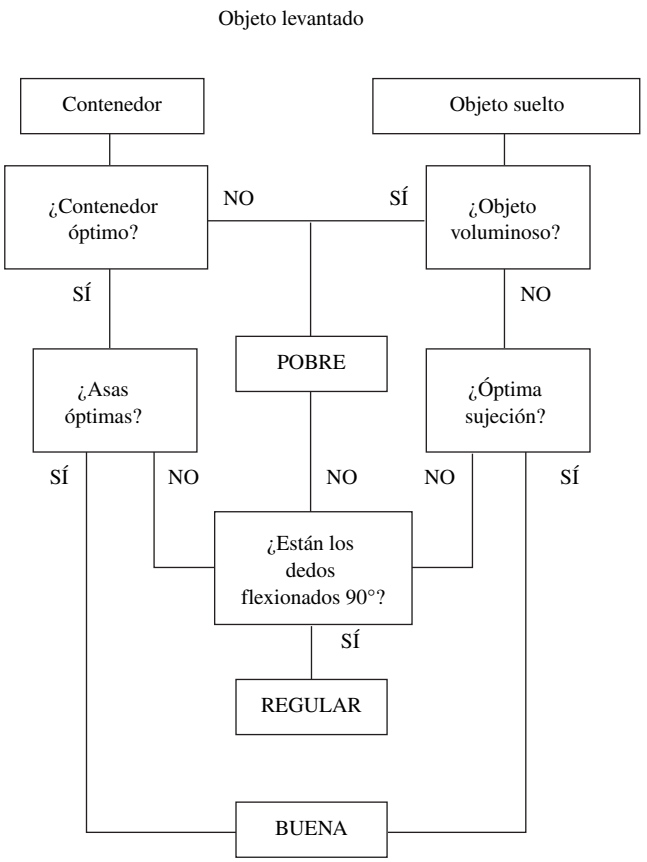


Figura 4.27 Árbol de decisión de las calidades de acoplamiento.

envolverse completamente pero se flexiona sólo 90°. Esta apreciación se aplica típicamente a la mayoría de las cajas industriales para empaque.

Un acoplamiento pobre es el resultado de contenedores por debajo de lo óptimo sin asas o manijas o con partes sueltas que son voluminosas o difíciles de manejar. Por lo tanto, cualquier contenedor con superficies rugosas o resbalosas, orillas puntiagudas, un centro de gravedad asimétrico o contenidos inestables, o uno que requiera guantes es un pobre acoplamiento, por definición. Para ayudar a clasificar los acoplamientos, el árbol de decisiones que se muestra en la figura 4.27 podría ser de gran utilidad.

Los multiplicadores de cada variable actúan como herramientas simples de diseño para el rediseño de trabajo relativamente directo. Por ejemplo, si HM = 0.4, 60% de la capacidad potencial de levantamiento se pierde debido a una gran distancia horizontal. Por lo tanto, la distancia horizontal debe reducirse lo más posible.

NIOSH también ideó un *índice de levantamiento* (LI) para ofrecer un valor estimado del nivel de riesgo al levantar una determinada carga, donde los valores que excedan de 1.0 se consideren inseguros. También, el LI es de utilidad para asignar prioridades para el rediseño ergonómico.

$$\text{LI} = \text{peso de la carga/RWL}$$

En términos de controlar el riesgo, el NIOSH recomienda los controles de ingeniería, cambios físicos o un rediseño del trabajo y del lugar de trabajo en lugar de los controles administrativos que consistan de la selección y entrenamiento especializados de los trabajadores. Los cambios más comunes incluyen evitar ubicaciones muy altas o muy bajas, utilizar montacargas y mesas de elevación, el empleo de asas o contenedores especiales para manejar cargas y la reducción de la distancia horizontal para acortar las superficies de trabajo y colocar las cargas en las cercanías del cuerpo.

EJEMPLO 4.2

Análisis de NIOSH del levantamiento de un paquete en la cajuela de un automóvil.

Antes de que el diseño de automóviles cambiara, no era nada extraño tener que doblar la espalda y extender los brazos mientras se colocaba un objeto dentro de la cajuela del auto (figura 4.28). Suponga que el ocupante carga un paquete de 30 libras desde el piso hasta la cajuela. Si es un poco flojo, el ocupante simplemente gira 90° para levantar la caja desde el nivel del piso ($V = 0$) a una distancia horizontal corta ($H \sim 10$ pulgadas). La distancia de recorrido vertical es la diferencia entre la ubicación vertical del paquete hasta su destino (suponga que el fondo de la cajuela está a 25 pulgadas respecto al piso) y la ubicación vertical de la caja en el origen ($V = 0$), nos da $D = 25$. Suponga que éste es un levantamiento que se realiza de una sola vez; por lo tanto, FM = 1. También suponga que el paquete es muy pequeño y compacto, pero no tiene asas. Por lo tanto, el acoplamiento es razonable con un valor CM = 0.95. Esta igualdad nos permite hacer el cálculo siguiente para el origen:

$$\begin{aligned}\text{RWL}_{\text{ORG}} &= 51(10/10)\,(1 - 0.0075|0 - 30|)\,(0.82 + 1.8/25) \\ &\quad \times (1 - 0.0032 * 90)\,(1)\,(0.95) \\ &= 51(1)(0.775)\,(0.892)\,(0.712)\,(1)\,(0.95) = 23.8\end{aligned}$$



Figura 4.28 Postura del ejemplo del levantamiento de una carga y su colocación dentro de la cajuela.

Suponiendo una distancia de alcance mayor ($H = 25$ pulgadas) hasta la cajuela debido a que la defensa y al elevado tope de la cajuela, sin girar, la distancia recorrida permanece igual, y el acoplamiento es suficiente, el cálculo en el destino es

$$\begin{aligned}\text{RWL}_{\text{DEST}} &= 51(10/25)\,(1 - 0.0075|25 - 30|)(0.82 + 1.8/25) \\ &\quad \times (1 - 0.0032 * 0)\,(1)\,(0.95) \\ &= 51(0.4)(0.963)\,(0.892)\,(1)\,(1)\,(0.95) = 16.6\end{aligned}$$

y

$$\text{LI} = 30/16.6 = 1.8$$

Por lo tanto, en el peor de los casos, la mayoría de los individuos sólo podrán levantar de manera segura 16.6 libras, mientras que el paquete de 30 libras crearía un riesgo que casi duplicaría los niveles aceptables. La mayor reducción de la capacidad es la distancia horizontal hasta el destino debido al diseño de la cajuela. Si se reduce la distancia horizontal a 10 pulgadas, el factor *H* aumentará a 10/10 = 1 y el RWL a 41.5 libras. En la mayoría de los autos nuevos estos resultados se han logrado abriendo la parte frontal de la cajuela de tal manera que una vez que la carga ha sido levantada hasta el tope inferior, sólo es necesario realizar un mínimo levantamiento horizontal y empujar la carga hacia adelante. Sin embargo, el caso límite es ahora el origen, el cual puede mejorarse si se mueven los pies y se elimina el giro, lo cual aumenta el RWL a 33.4 libras. Observe que es necesario un análisis de dos etapas si el ocupante levanta la carga desde el piso hasta el tope de la cajuela y después baja el paquete hasta el fondo de la cajuela. Este levantamiento también ha sido mejorado en los modelos más nuevos debido a una disminución de la altura vertical del tope, lo cual también hace que disminuya la distancia de levantamiento.

Tabla 4.9 Muestra de las características del trabajo de levantamiento de tres tareas

Número de tarea	1	2	3
Peso de la carga *L*	20	30	10
Frecuencia de la tarea *F*	2	1	4
FIRWL	20	20	15
FM	0.91	0.94	0.84
STRWL	18.2	18.8	12.6
FILI	1.0	1.5	0.67
STLI	1.1	1.6	0.8
Nuevo número de tarea	2	1	3

LINEAMIENTOS PARA EL LEVANTAMIENTO MULTITAREAS

Para trabajos que incluyan una gran variedad de tareas de levantamiento, la carga total física/metabólica se incrementa en comparación con la tarea de levantamiento única. Este aumento se refleja en una disminución del RWL y un incremento del LI, pero existe un procedimiento especial para manejar dichas situaciones. El concepto es un *índice compuesto de levantamiento* (CLI), el cual representa las demandas colectivas del trabajo. El CLI es igual al *índice de levantamiento de tarea única* (STLI) más grande y aumenta de forma incremental por cada tarea subsecuente. El procedimiento multitarea es el siguiente:

1. Calcule *una sola tarea RWL* (STRWL) para cada tarea.
2. Calcule un *RWL de frecuencia independiente* (FIRWL) para cada tarea haciendo que FM =1.
3. Calcule *una sola tarea LI* (STLI) mediante la división de la carga entre el STRWL.
4. Calcule un *LI de frecuencia independiente* (FILI) dividiendo la carga entre FIRWL.
5. Calcule el CLI de todo el trabajo mediante la asignación de un orden a las tareas de acuerdo con la disminución del estrés físico, esto es, el STLI de cada tarea. El CLI es, entonces,

$$CLI = STLI_1 + \Sigma\Delta LI$$

donde $\Sigma\Delta LI = FILI_2\,(1/FM_{1,2} - 1/FM_1) + FILI_3\,(1/FM_{1,2,3} - 1/FM_{1,2}) + \cdots$

Considere el trabajo de levantamiento de tres tareas que se muestra en la tabla 4.9. El análisis del levantamiento multitareas es el siguiente:

1. La tarea con el mayor índice de levantamiento es la nueva tarea 1 (antes tarea 2) con un STLI = 1.6.
2. La suma de las frecuencias de las nuevas tareas 1 y 2 es 1 + 2 = 3.
3. La suma de las frecuencias de las nuevas tareas 1, 2 y 3 es 1 + 2 + 4 = 7.
4. De la tabla 4.7, los nuevos multiplicadores de frecuencia son $FM_1 = 0.94$, $FM_{1,2} = 0.88$ y $FM_{1,2,3} = 0.70$.

Hoja de trabajo para analizar el trabajo multitareas

Departamento _____ Descripción del trabajo
Título del trabajo _____ _____
Nombre del analista _____ _____
Fecha _____ _____

Paso 1. Medición y registro de datos variables de la tarea

Tarea núm.	Peso del objeto (en libras)		Ubicación de la mano (pulgadas)				Distancia vertical (pulgadas)	Ángulo asimétrico (grados)		Frecuencia	Duración	Acoplamiento
			Origen		Destino			Origen	Destino	Levantamientos/minuto	Horas	
	L (promedio)	L (máximo)	H	V	H	V	D	A	A	F		C
_____												
_____												
_____												
_____												
_____												
_____												

Paso 2. Calcule los multiplicadores y el FIRWL, STRWL, FILI y el STLI de cada tarea

Tarea núm.	LC x HM x VM x DM x AM x CM						FIRWL x FM		STRWL	FILI = L/FIRWL	STLI = L/STRWL	Núm. de la tarea nueva	F
	51												
	51												
	51												
	51												
	51												

Paso 3. Calcule el índice compuesto de levantamiento de la tarea (después de numerar las tareas)

CLI =	$STLI_1, + \Delta FILI_2 + \Delta FILI_3 + \Delta FILI_4 + \Delta FILI_5$				
		$FILI_2(1/FM_{1,2} - 1/FM_1)$	$FILI_3(1/FM_{1,2,3} - 1/FM_{1,2})$	$FILI_4(1/FM_{1,2,3,4} - 1/FM_{1,2,3})$	$FILI_5(1/FM_{1,2,3,4,5} - 1/FM_{1,2,3,4})$
CLI =					

Figura 4.29 Hoja de trabajo para analizar el trabajo multitareas.

5. El índice combinado de levantamiento es, por lo tanto,

$$\begin{aligned} CLI &= 1.6 + 1\,(1/0.88 - 1/0.94) + 0.67\,(1/0.7 - 1/0.88) \\ &= 1.60 + 0.07 + 0.20 = 1.90 \end{aligned}$$

Este procedimiento se facilita mediante el empleo de la Hoja para el análisis del trabajo multitareas del NIOSH (vea la figura 4.29). Sin embargo, una vez que el número de tareas excede de tres o cuatro, se convierte en una labor que consume mucho tiempo el calcular manualmente el CLI. Una gran variedad de programas de software y sitios en Internet se encuentran disponibles en la actualidad para ayudar en este esfuerzo, entre los que se incluye el Design Tools. Desde luego, la mejor solución de todas consiste en evitar el manejo manual de materiales y utilizar dispositivos mecánicos de ayuda o sistemas completamente automatizados (vea el capítulo 3).

LINEAMIENTOS GENERALES: LEVANTAMIENTO MANUAL

A pesar de que ninguna técnica de levantamiento óptimo es apropiada para todos los individuos o condiciones de trabajo, se pueden mencionar algunas pautas que, en general, son apropiadas (vea la figura 4.30). En primer lugar, planee el levantamiento luego de evaluar el tamaño y la forma de la carga, y determine si es necesario solicitar ayuda y qué condiciones del lugar de trabajo podrían interferir con el levantamiento. En segundo lugar, determine la mejor técnica de levantamiento que utilizará. En general, un levantamiento en cuclillas, con la espalda relativamente erguida y levantando con las rodillas dobladas, representa el más seguro en términos de menores fuerzas de compresión en la espalda. Sin embargo, las cargas voluminosas pueden interferir con las rodillas, por lo que puede ser necesario un levantamiento agachado, en el cual el individuo se inclina y después extiende la espalda. En tercer lugar, coloque sus pies separados a ambos lados y de adelante hacia atrás para mantener un buen

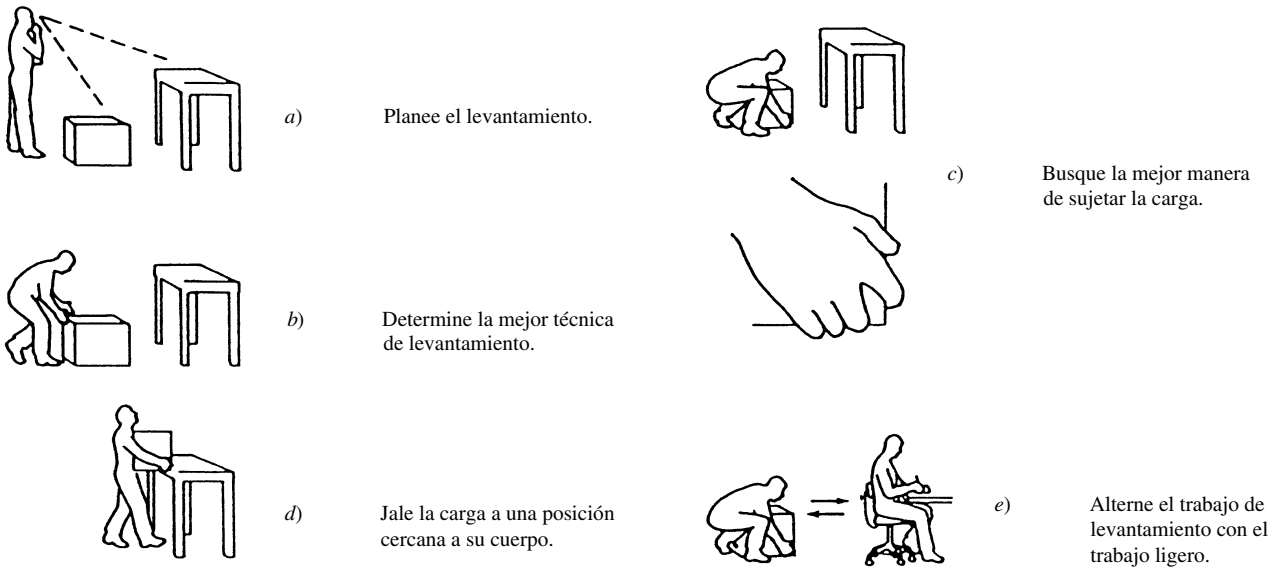


Figura 4.30 Procedimiento para un levantamiento seguro.
(Disponible a través de Dr. S.H. Rodgers, P.O. Box 23446, Rochester, NY 14692.)

equilibrio y una postura estable. En cuarto lugar, asegúrese de contar con un buen punto de sujeción de la carga. Estos últimos dos lineamientos son particularmente importantes con el fin de evitar movimientos con rotación y bruscos, los cuales son exageradamente perjudiciales para la parte inferior de la espalda. En quinto lugar, sujete la carga cerca del cuerpo con el fin de minimizar el brazo de palanca horizontal que produce la carga y el impulso resultante sobre la parte inferior de la espalda.

Evitar las torsiones y los movimientos bruscos es un aspecto muy importante. Las primeras producen una orientación asimétrica de los discos, lo cual genera una elevada presión en los discos, mientras que los segundos provocan fuerzas de aceleración adicionales en la espalda. Un método no intuitivo para evitar que los trabajadores se tuerzan consiste en incrementar la distancia de recorrido entre el origen y el destino. Ello obligará al trabajador a dar un paso y, al hacerlo, volteará todo el cuerpo en lugar de sólo rotar el tronco. Cargar diferentes pesos en ambos brazos o una carga completa en un brazo sólo generan orientaciones asimétricas similares en los discos y, por lo tanto, deben evitarse.

Las Listas de verificación de la postura general y Evaluación de la tarea (vea la figura 4.31) puede ser de gran utilidad como recordatorio para el analista de los principios básicos del buen diseño de trabajo.

CINTURONES PARA LA ESPALDA

No se deben pasar por alto las advertencias respecto a los cinturones para la espalda. Aunque es evidente que son utilizados por muchos trabajadores y prescritos automáticamente en algunas compañías, los cinturones para la espalda no representan la panacea definitiva y se debe tener precaución al utilizarlos. Los cinturones para la espalda se originaron a partir de estudios antiguos acerca del levantamiento de pesas, que demostraron que en el caso de cargas extremas, los cinturones eliminaban de 15 a 30% de las fuerzas de compresión que afectaban la parte inferior de la espalda, de acuerdo con los valores de los electromiogramas de esa parte del cuerpo (Morris *et al*., 1961). Sin embargo, dichos estudios se llevaron a cabo en levantadores de pesas entrenados que cargaban mucho más peso en un plano completamente sagital. Los trabajadores industriales levantaban cargas mucho más ligeras, lo que les producía un efecto mucho menor. Los giros debidos a músculos desalineados probablemente reduzcan este efecto aún más. Existen también datos anecdóticos del efecto "superhombre" —los trabajadores industriales con cinturones para la espalda seleccionaban cargas más pesadas que los que no los utilizaban— y algunos trabajadores que tenían enfermedades en las coronarias incrementaban la presión sanguínea de 10 a 15 mmHg debido a la compresión abdominal.

Evaluación de la postura general	Sí	No
1. ¿Se mantienen las articulaciones en una posición neutral (la mayoría están estiradas, el codo está a 90°)?	❑	❑
2. ¿Está sostenida la carga o el trabajo cerca del cuerpo?	❑	❑
3. ¿Se evitan las posturas inclinadas hacia adelante?	❑	❑
4. ¿Se evitan las posturas con el tronco torcido?	❑	❑
5. ¿Se evitan los movimientos repentinos y bruscos?	❑	❑
6. ¿Se evitan las posturas estáticas? Es decir, ¿Hay cambios en la postura?	❑	❑
7. ¿Se evita un gran número de operaciones que impliquen alcanzar objetos?	❑	❑
8. ¿Se utilizan las manos enfrente del cuerpo?	❑	❑
Evaluación de la tarea	**Sí**	**No**
1. ¿Se evita ejercitar músculos estáticos?	❑	❑
a) ¿Se limitan los esfuerzos estáticos repetitivos a una resistencia máxima <15%?	❑	❑
b) ¿Se limitan las duraciones de los esfuerzos estáticos a varios segundos?	❑	❑
2. ¿Los sujetadores de presión se utilizan sólo en tareas de precisión de fuerza reducida?	❑	❑
3. ¿Se utilizan grandes grupos musculares y sujetadores de poder en tareas que requieren fuerza?	❑	❑
4. ¿Se utiliza el impulso para ayudar al operario?	❑	❑
5. ¿Se utilizan los movimientos curvos que pivotean alrededor de las articulaciones de más bajo orden?	❑	❑
6. ¿Están los materiales y herramientas colocados dentro del área de trabajo normal?	❑	❑
7. ¿Se utilizan contenedores por gravedad y la caída de objetos?	❑	❑
8. ¿Se llevan a cabo las tareas debajo del hombro y arriba del nivel de los nudillos?	❑	❑
9. ¿Se llevan a cabo los levantamientos despacio y con las rodillas flexionadas?	❑	❑
10. ¿Se utilizan las ayudas mecánicas o adicionales para cargas mayores a 50 libras?	❑	❑
11. ¿Es la carga de trabajo lo suficientemente ligera para que el ritmo cardiaco sea estable y por debajo de 110 latidos/minuto?	❑	❑
12. ¿Se conceden descansos frecuentes de poca duración?	❑	❑

Figura 4.31 Listas de verificación de la postura general y de la evaluación de la tarea.

Por último, un estudio longitudinal de los manipuladores del equipaje de una línea aérea (Ridell *et al*., 1992) concluyó que no había una diferencia significativa en las lesiones en la espalda entre los trabajadores que usaban cinturones y los trabajadores de "control" que no los utilizaban. De manera sorprendente, un grupo más pequeño de trabajadores, que por alguna razón u otra (por ejemplo, incomodidad, calor) dejaron de usar los cinturones pero continuaron con el estudio, tuvieron un mayor número de lesiones. Lo anterior puede atribuirse a la atrofia de los músculos abdominales, los cuales de manera natural deben proporcionar un cinturón interno para la espalda, pero que se debilitaron debido a la reducción del estrés. Un enfoque muy positivo podría ser estimular a los trabajadores a fortalecer los músculos a través de movimientos abdominales (abdominales modificadas), ejercicio de manera regular y reducción de peso corporal. Los cinturones para la espalda deben utilizarse sólo con un entrenamiento adecuado y después de que se haya intentado implantar controles de ingeniería.

RESUMEN

El capítulo 4 presenta algunos conceptos teóricos de los sistemas fisiológico y músculo-esquelético humanos como una forma de ofrecer una estructura para una mejor comprensión de los principios de la economía de movimientos y del diseño del trabajo. Dichos principios se presentan como un conjunto de reglas que deben utilizarse para rediseñar el trabajo manual de ensamble como parte del estudio de movimientos. Se espera que mediante una mejor comprensión del funcionamiento del cuerpo humano, el analista pueda ver estas reglas como menos arbitrarias. En el capítulo 5 se expondrán estos mismos conceptos para el estudio del diseño del lugar de trabajo, de las herramientas y del equipo.

PREGUNTAS

1. ¿Qué componentes estructurales se encuentran en los músculos? ¿Qué relación tienen estos componentes con el desempeño muscular?
2. Explique los elementos del desempeño de los músculos estáticos y dinámicos mediante la teoría del filamento deslizante.

3. Describa los diferentes tipos de fibras musculares y relacione sus propiedades con el desempeño muscular.
4. ¿Por qué un cambio en el número de unidades motoras activas no trae como consecuencia un cambio proporcional en la tensión muscular?
5. ¿Qué mide el EMG? ¿Cómo se interpreta un EMG?
6. Explique por qué los diseñadores de las estaciones de trabajo deben esforzarse para que los operarios lleven a cabo elementos de trabajo sin levantar los codos.
7. ¿Qué distancia de visión recomendaría usted a un operario que trabaja sentado en una terminal de computadora?
8. Defina y proporcione ejemplos de los 17 movimientos fundamentales o therbligs.
9. ¿Cómo podría eliminarse el movimiento básico "Buscar" del ciclo de trabajo?
10. ¿Qué movimiento básico generalmente precede a "Alcanzar"?
11. ¿Cuáles son las tres variables que afectan el tiempo del movimiento básico "Mover"?
12. ¿Cómo determina el analista cuándo el operario realiza el elemento "Inspeccionar"?
13. Explique la diferencia entre los retrasos evitables y los no evitables.
14. ¿Cuáles de los 17 therbligs se clasifican como eficientes y generalmente no pueden eliminarse del ciclo de trabajo?
15. ¿Por qué se deben proporcionar ubicaciones fijas en la estación de trabajo para las herramientas y los materiales?
16. ¿Cuáles de las cinco clases de movimientos prefieren los trabajadores industriales? Explique su respuesta.
17. ¿Por qué es deseable tener los pies trabajando sólo cuando las manos están ocupadas?
18. En un estudio de movimientos, ¿por qué no es recomendable analizar ambas manos simultáneamente?
19. ¿Qué factores de la tarea incrementan el índice de dificultad de una tarea de ramificación de Fitts?
20. ¿Qué factores afectan las fuerzas de compresión de la espalda durante un levantamiento?
21. ¿Qué factores influyen sobre la medición de la resistencia muscular isométrica?
22. ¿Por qué difieren las capacidades de resistencia psicofísicas, dinámicas y estáticas?
23. ¿Qué métodos pueden utilizarse para estimar las necesidades de energía de un trabajo?
24. ¿Qué factores modifican la energía que se consume en un determinado trabajo?
25. ¿Cómo varía la capacidad de trabajo en relación con el género y la edad?
26. ¿Qué limita la resistencia en una tarea manual que ocupa todo el cuerpo?

PROBLEMAS

1. ¿Cuál es la carga máxima que puede ser levantada por un brazo rígido estirado de una mujer que pertenece al 50avo percentil? (Para estimar la antropometría utilice la tabla 5.1.)
2. En el departamento de empacado, un trabajador está parado a la mitad entre un extremo de una banda transportadora y una tarima. La superficie de la banda transportadora se encuentra a 40 pulgadas del piso y la parte superior de la tarima a 6 pulgadas. A medida que se mueve la caja hacia el extremo de la banda transportadora, el trabajador gira 90° para levantarla, y después se mueve 180° en la dirección contraria y la coloca sobre la tarima. Cada caja tiene 12 pulgadas de lado y pesa 25 libras. Suponga que el trabajador mueve cinco cajas por minuto en una jornada de 8 horas y una distancia horizontal de 12 pulgadas. Mediante la ecuación de levantamiento del NIOSH, calcule el RWL y el LI. Rediseñe la tarea para mejorarla. ¿Cuáles son los valores del RWL y del LI ahora?
3. En el problema 2, calcule las fuerzas de compresión en la parte inferior de la espalda que se experimentan en el desempeño de esta tarea mediante el Programa para predecir la resistencia estática 3D de la Universidad de Michigan.
4. Un hombre que pertenece al 95avo percentil sostiene una carga de 20 libras con su brazo estirado con una abducción de 90°. ¿Cuál es la torsión voluntaria que se necesita en el hombro para poder sostener esta carga?
5. Un trabajador palea arena a una velocidad de 8 kcal/min. ¿Qué cantidad de descanso necesita durante un turno de 8 horas? ¿Cómo debe distribuirse dicho descanso?
6. Un problema actual en el ejército de Estados Unidos es la fatiga cuello/hombro que experimentan los pilotos de helicóptero. Para poder realizar misiones nocturnas, los pilotos usan lentes de visión nocturna, los cuales están sujetos a la parte frontal del casco. Desafortunadamente, son muy pesados, lo que provoca una torsión significativa hacia abajo de la cabeza. Esta torsión debe ser contrarrestada por los músculos del cuello, los cuales se fatigan. Para contrarrestar este problema, muchos pilotos

sujetan pesos de plomo de manera aleatoria a la parte trasera del casco. Encuentre el peso apropiado que equilibre mejor la cabeza y minimice la fatiga en el cuello. Supuestos: *a*) el cg de los lentes está a 8 pulgadas al frente del punto de giro del cuello; *b*) los lentes pesan 2 libras; *c*) por naturaleza, la torsión máxima del cuello es de 480 pulgadas·libra; *d*) el cg del peso de plomo está 5 pulgadas abajo del punto de giro del cuello; *e*) el casco pesa 4 libras; y *f*) el cg del casco está 0.5 pulgadas al frente del pivote del cuello.

7. El operario de una operación carga en tarimas se ha quejado de la fatiga y la falta de descanso. Usted mide su ritmo cardiaco y se percata de que es de 130 latidos/minuto, nivel que baja lentamente durante el trabajo. Cuando se sienta, su ritmo cardiaco decrece a 125 latidos/minuto al final del primer minuto de descanso y a 120 latidos/minuto al final del tercer minuto. ¿Qué conclusiones puede obtener al respecto?
8. El sindicato de Dorben, Co. ha interpuesto una queja contra la estación de inspección final, en la que el operario levanta ligeramente una pieza de 20 libras, examina todos sus lados y, si es aceptable, la coloca sobre la banda transportadora que la lleva a la estación de empacado. En promedio, el inspector examina cinco piezas por minuto, a un nivel de consumo de energía de 6 kcal/min. La banda transportadora está a 40 pulgadas por encima del piso y la pieza aproximadamente a 20 pulgadas del inspector cuando es revisada. Evalúe el trabajo respecto a las pautas de levantamiento del NIOSH y a las consideraciones de consumo de energía metabólica. Indique si el trabajo excede los límites permitidos. Si es así, calcule cuántas piezas por minuto puede revisar el inspector sin exceder las pautas aceptables.
9. Un trabajador relativamente fuera de forma con un ritmo cardiaco en reposo de 80 latidos/min comienza a trabajar en la colocación de cajas sobre una tarima. Durante el descanso matinal, un ingeniero industrial mide rápidamente el ritmo cardiaco del trabajador y encuentra un valor pico de 110 latidos/min, un valor de 105 latidos/min un minuto después de que ha dejado de trabajar y un valor de 95 latidos/min 3 minutos después de que ha dejado de trabajar. ¿Qué conclusiones puede usted obtener respecto a la carga de trabajo de este operario?

REFERENCIAS

Åstrand, P. O. y K. Rodahl, *Textbook of Work Physiology*, 3a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1986.

Bink, B., "The Physical Working Capacity in Relation to Working Time and Age", en *Ergonomics*, 5, núm. 1 (enero de 1962), pp. 25-28.

Borg, G. y H. Linderholm, "Perceived Exertion and Pulse Rate During Graded Exercise in Various Age Groups", en *Acta Medica Scandinavica,* Suppl. 472 (1967), pp. 194-206.

Bouisset, S., "EMG and Muscle Force in Normal Motor Activities", en *New Developments in EMG and Clinical Neurophysiology,* Ed. J. E. Desmedt, Basilea, Suiza: S. Karger, 1973.

Brouha, L., *Physiology in Industry*, Nueva York: Pergamon Press, 1967.

Chaffin, D. B., "Electromyography —A Method of Measuring Local Muscle Fatigue", en *The Journal of Methods-Time Measurement,* 14 (1969), pp. 29-36.

Chaffin, D. B., y G. B. J. Andersson, *Occupational Biomechanics,* Nueva York: John Wiley & Sons, 1991.

Chaffin, D. B., G. D. Herrin, W. M. Keyserling y J. A. Foulke, *Preemployment Strength Testing*, NIOSH Publication 77-163. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1977.

Drillis, R., "Folk Norms and Biomechanics", en *Human Factors*, 5 (octubre de 1963), pp. 427-441.

Dul, J. y B., Weerdmeester, *Ergonomics for Beginners*, London: Taylor & Francis, 1993.

Eastman Kodak Co., Human Factors Section, *Ergonomic Design for People at Work*, Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

Fitts, P., "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement", en *Journal of Experimental Psychology*, 47, núm. 6 (junio de 1954), pp. 381-391.

Freivalds, A. y D. M. Fotouhi, "Comparision of Dynamic Strenght as Measured by the Cybex and Mini-Gym Isokinetic Dynamometers", en *Internacional Journal of Industrial Ergonomics,* 1, núm. 3 (mayo de 1987), pp. 189-208.

Garg, A., "Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs", en *American Industrial Hygiene Association Journal,* 39, pp. 661-674.

Gordon, E., "The use of energy costs in regulating physical activity in chronic disease", en *A.M.A. Archives of industrial Health,* 16, (1957), 437-441.

Grandjean, E., *Fitting the Task to the Man*, Nueva York: Taylor & Francis, 1988.

Gray, H. Gray's *Anatomy*, 35a. edición. Eds. R. Warrick y P. Williams, Philadelphia: W. B. Saunders, 1973.

Ikai, M. y T. Fukunaga, "Calculation of Muscle Strenght per Unit Cross-Sectional Area of Human Muscle by Means of Ultrasonic Measurement", en *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschlieβlich Arbeitsphysiologie*, 26 (1968), pp. 26-32.
Jonsson, B., "Kinesiology", en *Contemporary Clinical Neurophysiology* (EEG Sup. 34), Nueva York: Elsevier-North-Holland, 1978.
Langolf, G., D. G. Chaffin y J. A. Foulke, "An Investigations of Fitt's Law Using a Wide Range of Movement Amplitudes", en *Journal of Motor Behavior*, 8, núm. 2 (junio de 1976), pp. 113-128.
Miller, G. D. y A. Freivalds, "Gender and Handedness in Grip Strenght —A Double Whammy for Females", en *Proceeding of the Human Factors Society*, 31 (1987), pp. 906-910.
Morris, J. M., D. B. Lucas y B. Bressler, "Role of the Trunk in Stability of the Spine", en *Journal of Bone and Joint Surgery*, 43-A, núm. 3 (abril de 1961), pp. 327-351.
Mundel, M. E. y D. L., Danner, *Motion and Time Study*, 7a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
Murrell, K. F. H., *Human Performance in Industry*, Nueva York: Reinhold Publishing, 1965.
National Safety Council, *Accident Facts*, Chicago: National Safety Council, 2003.
Passmore, R. y J. Durnin, (1955), Human energy expenditure, en *Physiological Reviews*, 35, 801-875.
Ridell, C. R., J. J. Congleton, R. D. Huchingson y J. T. Montgomery, "An Evaluation of a Weightlifting Belt and Back Injury Prevention Training Class for Arline Baggage Handlers", en *Applied Ergonomics*, 23, núm. 5 (octubre de 1992), pp. 319-329.
Rodgers, S. H*., Working with Backache.* Fairport, NY: Princeton Press, 1983.
Rowe, M. L., *Backache at Work*. Fairport, NY: Perinton Press, 1983.
Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design,* Nueva York: McGraw-Hill, 1993.
Snook, S. H. y V. M. Ciriello, "The Design of Manual Handling Tasks: Revised Tables of Maximum Acceptable Weights and Forces", en *Ergonomics*, 34, núm. 9 (septiembre de 1991), pp. 1197-1213.
Thorton, W. "Anthropometric Changes in Weightlessness", en *Anthropometrics Source Book*, 1 ed. Anthropology Research Project, Webb Associates, NASA RP1024, Houston, TX: National Aeronautics and Space Administration, 1978.
Waters, T. R., V. Putz-Anderson y A. Garg, *Revised NIOSH Lifting Equation*, pub. núm. 94-110, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.
Winter, D. A., *Biomechanics of Human Movement*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1979.

SOFTWARE RECOMENDADO

3D Static Strength Prediction Program. Software de la Universidad de Michigan, 475 E. Jefferson, Room 2354, Ann Arbor, MI 48109. (http://www.umichergo.org)
Design Tools (disponible en el sitio de Internet de McGraw-Hill www.mhhe.com/neibel-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.
Energy Expenditure Prediction Program. Software de la Universidad de Michigan, 475 E. Jefferson, Room 2354, Ann Arbor, MI 48109. (http://www.umichergo.org)
Ergointelligence (Manual Material Handling). Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z 3B8. (http://www.nexgenergo.com/)
ErgoTRACK (NIOSH Lifting Equation). ErgoTrack.com, P.O. Box 787, Carrboro, NC 27510.

SITIOS EN INTERNET

Página en Internet del NIOSH http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html
Lineamientos para el levantamiento de cargas del NIOSH http://www.cdc.gov/niosh/94-110.html
Calculador del levantamiento de cargas del NIOSH http://www.industrialhygiene.com/calc/lift.html
Calculador del levantamiento de cargas del NIOSH http://tis.eh.doe.gov/others/ergoeaser/download.html

Lugar de trabajo, equipo y diseño de herramientas

CAPÍTULO 5

PUNTOS CLAVE

- Adecue el lugar de trabajo al operador.
- Proporcione ajustabilidad.
- Mantenga posturas neutrales (articulaciones en el rango medio).
- Minimice repeticiones.
- Utilice agarre de fuerza cuando se requiera de fuerza.
- Utilice agarre de precisión para obtener precisión y no fuerza.

El diseño del lugar de trabajo, herramientas, equipo y ambiente de trabajo con el fin de adecuarlos al operador se llama *ergonomía*. En lugar de dedicar una gran cantidad de espacio a la teoría en la que se basa la psicología, capacidades y limitaciones del ser humano, este capítulo presenta los principios del diseño del trabajo y las listas de verificación apropiadas con el fin de facilitar el uso de dichos principios de diseño. Junto con cada uno de los principios de diseño, se proporciona una breve explicación de su origen o su relación con los seres humanos. Esta técnica ayuda a los analistas de métodos a diseñar el lugar de trabajo, el equipo y las herramientas para cumplir los objetivos simultáneos de 1) lograr una mayor producción y eficiencia operativas y 2) reducir la cantidad de lesiones que sufren los operadores.

5.1 ANTROPOMETRÍA Y DISEÑO

El lineamiento principal es diseñar el lugar de trabajo para proporcionar espacio a más individuos respecto al tamaño y estructura del cuerpo humano. La ciencia de la medición del cuerpo humano se llama *antropometría* y, por lo general, utiliza una gran cantidad de dispositivos parecidos a los calibradores para medir las dimensiones estructurales, por ejemplo, la estatura y la longitud del antebrazo. Sin embargo, en la práctica, sólo una pequeña cantidad de ergonomistas e ingenieros recaban sus propios datos, debido a la enorme cantidad de información que ya ha sido recolectada y tabulada. Cerca de 1 000 dimensiones diferentes del cuerpo humano de cerca de 100 tipos de población, la mayoría militar, se encuentran disponibles en el *desactualizado* libro *Manual de Recursos Antropométrica* (Webb Associates, 1978). En fechas más recientes, el proyecto CAESAR (Investigación Antropométrica Superficial Civil Estadounidense y Europeo) recabó más de 100 medidas de 5 000 civiles mediante el uso de exploraciones tridimensionales del cuerpo humano. En la tabla 5.1 se proporciona un resumen de las mediciones útiles que se aplican a ciertas posturas necesarias para diseñar

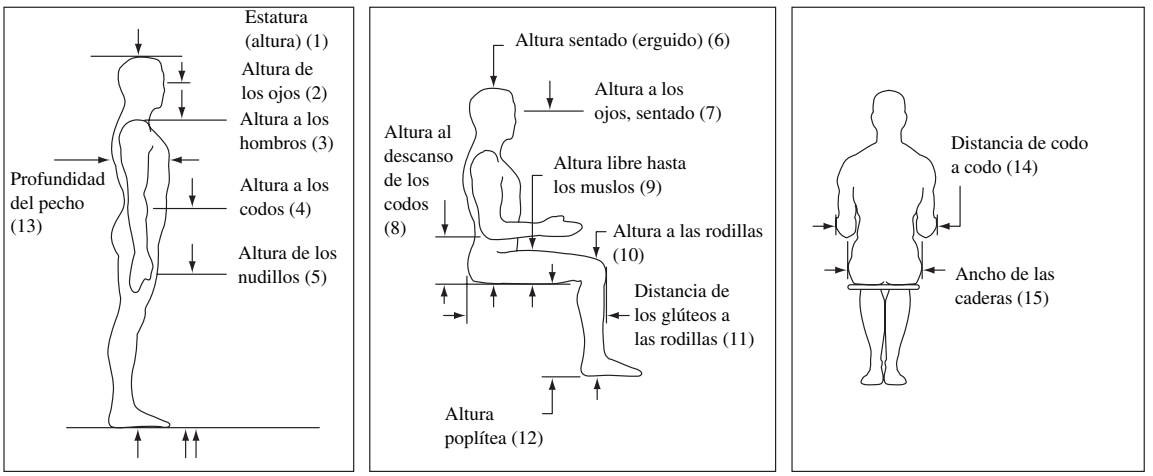


Tabla 5.1 Dimensiones y pesos de cuerpos seleccionados de civiles adultos en Estados Unidos.

		Dimensión (pulgadas)			Dimensión (centímetros)		
Dimensiones corporales	**Sexo**	**5a.**	**50ava.**	**95ava.**	**5a.**	**50ava.**	**95ava.**
1. Estatura (altura)	Hombre	63.7	68.3	72.6	161.8	173.6	184.4
	Mujer	58.9	63.2	67.4	149.5	160.5	171.3
2. Altura de los ojos	Hombre	59.5	63.9	68.0	151.1	162.4	172.7
	Mujer	54.4	58.6	62.7	138.3	148.9	159.3
3. Altura a los hombros	Hombre	52.1	56.2	60.0	132.3	142.8	152.4
	Mujer	47.7	51.6	55.9	121.1	131.1	141.9
4. Altura a los codos	Hombre	39.4	43.3	46.9	100.0	109.9	119.0
	Mujer	36.9	39.8	42.8	93.6	101.2	108.8
5. Altura de los nudillos	Hombre	27.5	29.7	31.7	69.8	75.4	80.4
	Mujer	25.3	27.6	29.9	64.3	70.2	75.9
6. Altura, sentado	Hombre	33.1	35.7	38.1	84.2	90.6	96.7
	Mujer	30.9	33.5	35.7	78.6	85.0	90.7
7. Altura a los ojos,	Hombre	28.6	30.9	33.2	72.6	78.6	84.4
sentado	Mujer	26.6	28.9	30.9	67.5	73.3	78.5
8. Altura al descanso de	Hombre	7.5	9.6	11.6	19.0	24.3	29.4
los codos, sentado	Mujer	7.1	9.2	11.1	18.1	23.3	28.1
9. Altura libre hasta	Hombre	4.5	5.7	7.0	11.4	14.4	17.7
los muslos	Mujer	4.2	5.4	6.9	10.6	13.7	17.5
10. Altura hasta las	Hombre	19.4	21.4	23.3	49.3	54.3	59.3
rodillas, sentado	Mujer	17.8	19.6	21.5	45.2	49.8	54.5
11. Distancia de los	Hombre	21.3	23.4	25.3	54.0	59.4	64.2
glúteos a las rodillas, sentado	Mujer	20.4	22.4	24.6	51.8	56.9	62.5
12. Altura poplítea,	Hombre	15.4	17.4	19.2	39.2	44.2	48.8
sentado	Mujer	14.0	15.7	17.4	35.5	39.8	44.3
13. Profundidad	Hombre	8.4	9.5	10.9	21.4	24.2	27.6
del pecho	Mujer	8.4	9.5	11.7	21.4	24.2	29.7
14. Distancia de	Hombre	13.8	16.4	19.9	35.0	41.7	50.6
codo a codo	Mujer	12.4	15.1	19.3	31.5	38.4	49.1
15. Ancho de las	Hombre	12.1	13.9	16.0	30.8	35.4	40.6
caderas, sentado	Mujer	12.3	14.3	17.2	31.2	36.4	43.7
X. Peso (libras y	Hombre	123.6	162.8	213.6	56.2	74.0	97.1
kilogramos)	Mujer	101.6	134.4	197.8	46.2	61.1	89.9

Fuente: Kroemer, 1989.

Distribuciones de probabilidad y percentiles

EJEMPLO 5.1

Un *kavo percentil* se define como un valor tal que *k* por ciento de los valores de los datos (graficados en orden ascendente) están en dicho valor o por abajo del mismo, mientras que 100-*k* por ciento de los valores de los datos están en este valor o por arriba de él. La gráfica de histograma de las estaturas de hombres adultos de Estados Unidos muestra una curva en forma de campana, llamada *distribución normal,* con un valor medio de 68.3 pulgadas (vea la figura 5.1). Éste es también el valor percentil 50avo; por ejemplo, la mitad de la totalidad de los hombres tienen una estatura inferior a 68.3 pulgadas, mientras que la mitad son más altos. El 5o. percentil de hombres sólo tiene una estatura de 63.7 pulgadas, mientras que la del 95avo. percentil es de 72.6 pulgadas. La demostración de esta afirmación es la siguiente.

Por lo general, desde el punto de vista estadístico, la curva con la forma que se aproxima a la de una campana se normaliza mediante la transformación

$$z = (x - \mu)/\sigma$$

donde μ = media
σ = desviación estándar (medida de dispersión)

para formar una distribución normal estándar (también llamada distribución *z*; vea la figura 5.2).

Una vez normalizada, cualquier distribución de población cuya forma se aproxime a la de una campana tendrá las mismas propiedades estadísticas. Esto permite un cálculo fácil de cualquier valor percentil deseado, mediante el uso de los valores *k* y *z* apropiados, de la manera siguiente:

κavo percentil	10 o 90	5 o 95	2.5 o 97.5	1 o 99
valor de *z*	± 1.28	± 1.645	± 1.96	± 2.33

$$k\text{avo percentil} = \mu \pm z\sigma$$

Como la estatura media de los hombres en Estados Unidos es de 68.3 pulgadas (173.6 cm), mientras que la desviación estándar es de 2.71 pulgadas (6.9 cm)(Webb Associates, 1978), el 95avo. percentil de la estatura de los hombres se calcula como

$$68.3 + 1.645(2.71) = 72.76 \text{ pulgadas}$$

mientras que el 5o. percentil de la estatura de los hombres es

$$68.3 - 1.645(2.71) = 63.84 \text{ pulgadas}$$

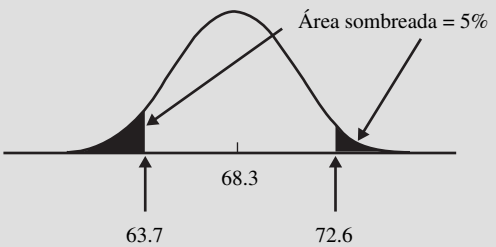


Figura 5.1 Distribución normal de las estaturas de hombres adultos en Estados Unidos.

Observe que los valores calculados 72.76 y 63.84 no son exactamente iguales a los valores reales de 72.6 y 63.7 pulgadas. Esta diferencia se debe a que la distribución de estaturas de los hombres en Estados Unidos no es una distribución totalmente normal.

(*continúa*)

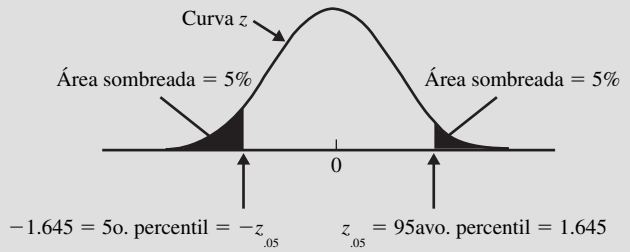


Figura 5.2 Distribución normal estándar de pesos de hombres.

el lugar de trabajo de hombres y mujeres estadounidenses. Una gran parte de los datos antropométricos se incluye en modelos humanos computarizados tales como COMBIMAN, Jack, MannequinPro y Safeworks que proporcionan ajustes de tamaño fáciles de realizar y limitaciones de los rangos del movimiento o visibilidad como parte del proceso de diseño asistido por computadora.

DISEÑO PARA LOS EXTREMOS

Diseñar para la mayoría de los individuos es un método que involucra el uso de uno de tres principios de diseño específicos diferentes, determinado por el tipo de problema de diseño. *El diseño para los extremos* implica que una característica de diseño específica representa un factor limitante en la determinación del valor máximo o mínimo de la variable poblacional que se calculará. Por ejemplo, los espacios libres en las puertas o la entrada a un tanque de almacenamiento deben diseñarse para que quepa el individuo de mayor altura, esto es, para una estatura o ancho de espaldas de los hombres del 95avo. percentil. Entonces, 95% de los hombres y de casi todas las mujeres podrán pasar a través de la puerta. Evidentemente, tratándose de puertas, por lo general el espacio no es un factor muy importante, y la puerta puede diseñarse para dar cabida a personas aun de mayor estatura. Por otro lado, la adición de espacio en naves o submarinos militares es costosa, por lo cual dichas áreas se diseñan para dar cabida sólo a personas de cierto rango (más pequeñas). Los alcances, para cuestiones como pedales de frenos o botones de control, se diseñan para las personas con tamaño mínimo, esto es, una longitud de brazos y piernas del 5o. percentil. En consecuencia, 95% de todas las mujeres y prácticamente todos los hombres tendrán un alcance mayor y, por ende, podrán activar el pedal o el control.

DISEÑO PARA LA AJUSTABILIDAD

Por lo general, el *diseño para la ajustabilidad* se utiliza en equipo e instalaciones que puedan ajustarse para que quepa una amplia gama de personas. Sillas, mesas, escritorios, asientos de vehículos, columnas de dirección y soportes de herramientas son dispositivos que se ajustan para que puedan ser manejados por la población trabajadora cuyo rango es del 5o. percentil de mujeres al 95avo. percentil de hombres. Evidentemente, el diseño para la ajustabilidad es el método de diseño preferido, pero existe un compromiso con el costo de implantación. (Los rangos específicos de ajuste del diseño de asientos se proporcionan más adelante en la tabla 5.2.)

DISEÑO PARA EL TAMAÑO PROMEDIO

El diseño para el tamaño promedio representa el método más barato, pero es el que menos se prefiere. A pesar de que no existe una persona con las dimensiones promedio, hay ciertas situaciones donde resultaría impráctico o muy costoso incluir la ajustabilidad en todos los aspectos. Por ejemplo, la mayoría de las máquinas industriales son demasiado grandes y pesadas para que puedan ajustarse a la estatura del operador. Diseñar la altura operativa del 50avo. percentil de la altura del codo para la población combinada de hombres y mujeres (aproximadamente el promedio de los valores 50avo. percentil de hombres y mujeres) significa que la mayoría de las personas no tendrán ningún problema

para caber. Sin embargo, un hombre excepcionalmente alto o una mujer muy baja podría experimentar una postura poco cómoda.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

Por último, el diseñador industrial debe también considerar las ramificaciones legales del diseño del trabajo. Debido al avance de la ley de 1990 de los Estadounidenses con Discapacidades (vea la sección 9.6), se debe realizar un esfuerzo razonable con el fin de diseñar para las personas con todas las habilidades. Se han publicado lineamientos especiales para accesibilidad (Departamento de Justicia de Estados Unidos, 1991) respecto a los lotes de estacionamiento y entradas a los edificios, áreas de reunión, pasillos, rampas, elevadores, puertas, fuentes de agua, sanitarios, instalaciones de restaurantes y cafeterías, alarmas y teléfonos.

Es también muy útil, práctico y rentable construir un modelo a escala real del equipo o instalación que se desea diseñar con el fin de que posteriormente los usuarios evalúen dicho modelo. Por lo general, las mediciones antropométricas se realizan en posturas estándar. En la vida real, las personas se encorvan o toman posturas muy relajadas, cambiando las dimensiones vigentes y el último diseño. Debido a la falta de evaluación de modelos se han cometido errores muy costosos durante la producción. En el ejemplo 5.2, el diseño final da cabida a más de 95% de la población, lo que da como resultado un incremento de la altura mayor que el necesario. El diseño debió haber utilizado las dimensiones corporales de la población combinada de hombres y mujeres. Sin embargo, dichos datos combinados están disponibles muy raramente. Los datos pueden generarse a través de técnicas estadísticas, pero el método general de diseño es suficiente en la mayoría de las aplicaciones industriales.

5.2 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE TRABAJO: EL LUGAR DE TRABAJO

DETERMINE LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DEL TRABAJO A TRAVÉS DE LA ALTURA DE LOS CODOS

La altura de la superficie de trabajo (ya sea que el empleado esté sentado o parado) debe determinarse con base en una postura de trabajo cómoda para el operador. Por lo general, esto significa que los brazos superiores deben colgar de forma natural y los codos flexionarse a 90° de tal manera que los antebrazos estén paralelos respecto al piso (vea la figura 5.4). La altura del codo se convierte en la operación adecuada o altura de la superficie de trabajo. Si ésta es muy elevada, los brazos superiores se abducen, lo cual conduce a la fatiga del hombro. Si es muy baja, el cuello y la espalda se flexionan hacia adelante, lo cual produce fatiga en la espalda.

AJUSTE LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DE TRABAJO CON BASE EN LA TAREA QUE SE REALIZA

Existen modificaciones a este principio. Para un ensamble que involucra el levantamiento de partes pesadas, representa una gran ventaja bajar la superficie de trabajo 8 pulgadas (20 cm) para utilizar los músculos más fuertes del tronco (vea la figura 5.5). En el caso de un ensamble fino que involucra detalles visuales muy pequeños, resulta de gran utilidad elevar la superficie de trabajo 8 pulgadas (20 cm) para acercar los detalles a la línea de vista óptima de 15° (principio del capítulo 4). Otra alternativa, probablemente mejor, es inclinar la superficie de trabajo aproximadamente 15°, y así cumplir con ambos principios. Sin embargo, las piezas redondas tenderán a rodar sobre la superficie.

Estos principios también se aplican a una estación de trabajo fija. Un gran número de tareas, como la escritura y el ensamble, se pueden llevar a cabo de una mejor manera a la altura de descanso del codo. Si la tarea requiere la percepción del detalle fino, puede ser necesario elevar el trabajo para acercarlo a los ojos. Las estaciones de trabajo fijas deben contar con asientos y descansa pies ajustables (vea la figura 5.6). De forma ideal, después de que el operador se haya sentado cómodamente con ambos pies sobre el piso, la superficie de trabajo se coloca a la altura del codo adecuada para realizar la operación. Por lo tanto, la estación de trabajo también debe ser ajustable. Los operadores de

EJEMPLO 5.2 Diseño de los asientos en una sala de entrenamiento de gran tamaño

Este ejemplo le mostrará los procedimientos paso a paso que se utilizan en un problema típico de diseño: colocar los asientos en una sala de entrenamiento industrial de tal forma que la mayoría de las personas puedan tener una vista libre de obstrucciones del conferencista y la pantalla (vea la figura 5.3).

1. Determine las dimensiones del cuerpo críticas para el diseño: altura del asiento, erguida; y altura de la vista, sentado.
2. Defina la población a la que se le dará servicio: hombres y mujeres adultos de Estados Unidos.
3. Seleccione un principio de diseño y el porcentaje de la población que deberá caber: Diseñar para los casos extremos y dar acomodo a 95% de la población. El principio clave consiste en permitir que el 5o. percentil de mujeres sentadas detrás del 95avo. percentil de hombres tenga una línea de vista sin obstáculos.
4. Determine los valores antropométricos apropiados de la tabla 5.1. La altura de los ojos del 5o. percentil de las mujeres sentadas es de 26.6 pulgadas (67.5 cm), mientras que la altura del 95avo. percentil de los hombres sentados en posición erguida es de 38.1 pulgadas (96.7 cm). Por lo tanto, para que una mujer de tamaño pequeño pueda ver sobre el hombre grande, es necesaria una altura de 11.5 pulgadas (29.2 cm) entre las dos filas. Esta diferencia podría representar una gran altura, la cual podría dar lugar a una pendiente muy abrupta. Por lo tanto, típicamente, los asientos están escalonados, de tal forma que la persona ubicada en la parte de atrás pueda mirar sobre la cabeza de una persona que está dos filas enfrente, lo cual reduce la altura a la mitad.
5. Agregue tolerancias y pruebe. Se ha realizado un gran número de mediciones antropométricas en cuerpos humanos desnudos. Por lo tanto, se deben considerar las tolerancias necesarias para permitir ropa gruesa, sombreros y zapatos. Por ejemplo, si los estudiantes van a utilizar sombreros durante una sesión, será necesario elevar la altura 2 o 3 pulgadas adicionales. Sería mucho más práctico quitarse el sombrero en la sala de entrenamiento.

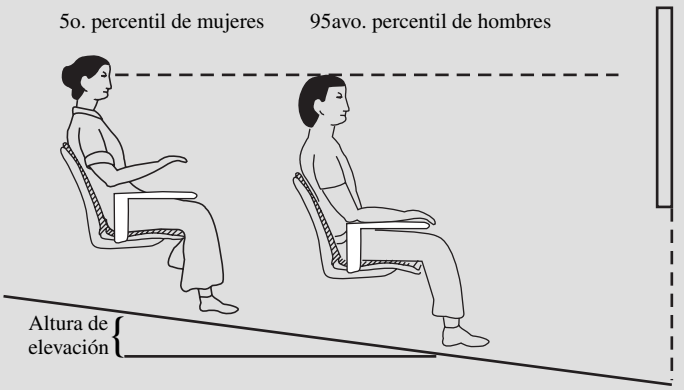


Figura 5.3 Diseño de asientos en una sala de entrenamiento grande

baja estatura cuyos pies no alcancen el piso, aun después de haber ajustado la silla, deben utilizar un descansa pies con el fin de proporcionar un soporte para sus extremidades inferiores.

PROPORCIONE UNA SILLA CÓMODA AL OPERADOR

El estar sentado es importante desde el punto de vista de la reducción del estrés en los pies y del consumo total de energía. Debido a que la comodidad es una respuesta muy personal, el establecimiento de principios estrictos del buen sentarse son difíciles de definir de alguna manera. Además, algunas sillas se adaptan cómodamente a muchas posturas posibles para sentarse (vea la figura 5.7). Sin embargo, algunos principios generales son válidos para todos los asientos. Cuando una persona se encuentra parada de manera erguida, la porción lumbar de la espina (la pequeña parte

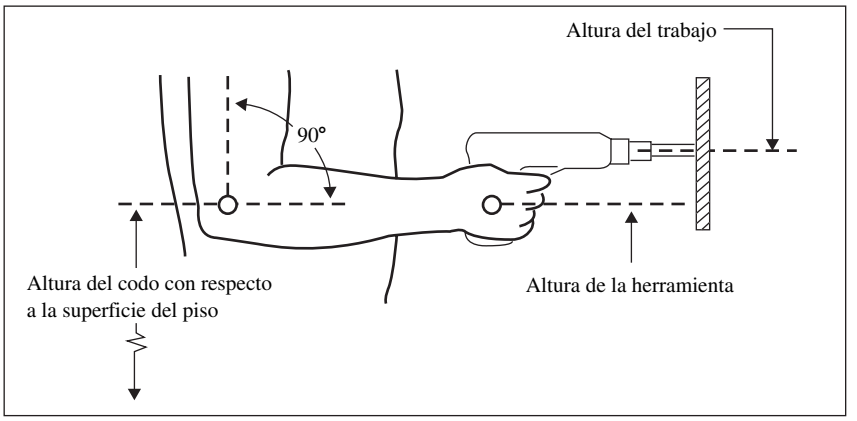


Figura 5.4 Ayuda gráfica para determinar la altura correcta de la superficie de trabajo.
(*De*: Putz-Anderson, 1988.)

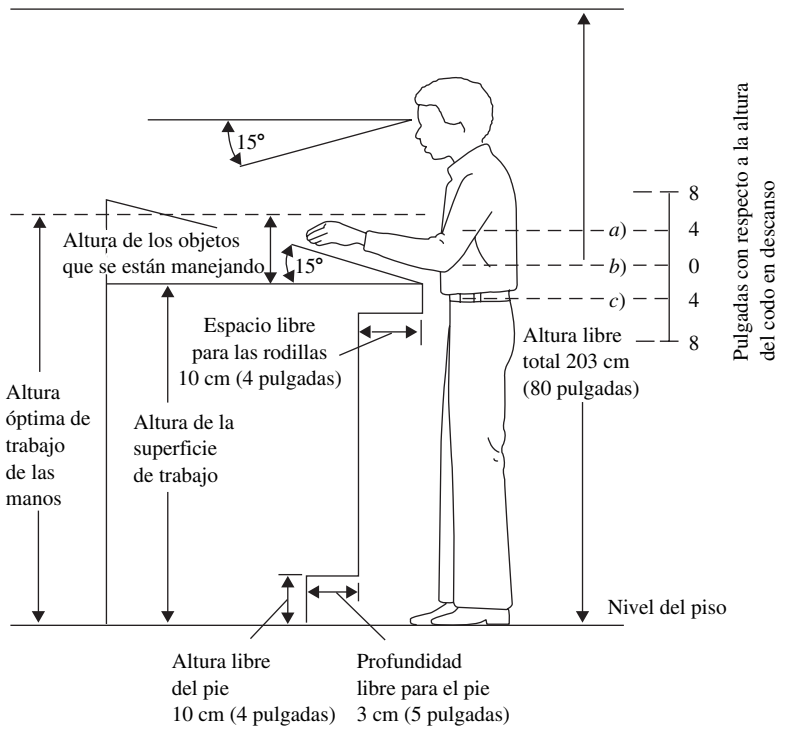


Figura 5.5 Dimensiones recomendadas del lugar de trabajo de pie.
a) Para realizar un trabajo de precisión con descansa-brazos, *b*) para ensamble ligero, *c*) para trabajo pesado.

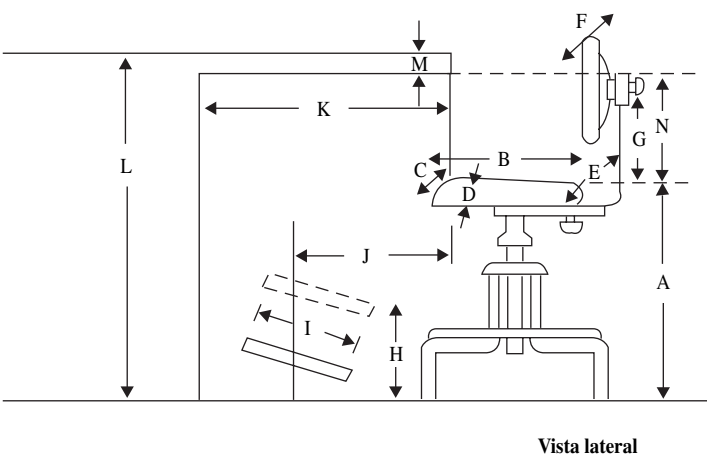


Figura 5.6 Silla ajustable (los valores específicos de los parámetros de la silla se pueden encontrar en la tabla 5.2).

Tabla 5.2 Rangos de ajuste recomendados para los asientos

Parámetro del asiento	Valor de diseño [Pulgadas (centímetros) a menos que se especifique otra cosa]	Comentarios
A: Altura del asiento	16–20.5 (40–52)	Muy alto: muslos comprimidos; muy bajo: aumenta la presión en los discos
B: Profundidad del asiento	15–17 (38–43)	Muy largo: corta la región popliteal, utilice contorno de cascada
C: Ancho del asiento	≥18.2 (≥46.2)	Se recomienda el uso de asientos más anchos para personas más pesadas
D: Ángulo del asiento	−10°– +10°	La inclinación hacia abajo requiere de una mayor fricción de la tela
E: Ángulo entre el respaldo y el asiento	>90°	preferible >105°, sin embargo, requiere de modificaciones en la estación de trabajo
F: Ancho del respaldo del asiento	>12 (>30.5)	Medidos en la región lumbar
G: Soporte lumbar	6–9 (15–23)	La altura vertical con respecto al asiento se expande hacia el centro del soporte lumbar
H: Altura del descanso para los pies	1–9 (2.5–23)	
I: Profundidad del descanso para los pies	12 (30.5)	
J: Distancia del descanso para los pies	16.5 (42)	
K: Espacio libre para las piernas	26 (66)	
L: Altura de la superficie de trabajo	~32 (~81)	Determinado por la altura del codo en posición de descanso
M: Grosor de la superficie de trabajo	<2 (<5)	Valor máximo
N: Espacio libre para los muslos	>8 (>20)	Valor mínimo

Nota: A-G de la ANSI (1988); H-M de Eastman Kodak (1983).

en la espalda, aproximadamente a la altura de la cintura) se curva de manera natural hacia adentro, lo cual se llama *lordosis*. Sin embargo, a medida que la persona se sienta, la pelvis gira hacia atrás, aplana la curva lordótica y aumenta la presión sobre los discos de la columna vertebral (vea la figura 5.8). Por lo tanto, es muy importante proporcionar *soporte lumbar* en la forma de un abultamiento hacia afuera en el respaldo del asiento, o aun un simple cojín lumbar colocado a nivel de la cintura.

Otro método para evitar el aplastamiento de la curva lordótica implica reducir el giro pélvico para mantener un ángulo grande entre el torso y los muslos, vía un asiento inclinado hacia delante (postura de rodillas de la figura 5.7). La teoría sostiene que ésta es la postura que adoptan los astronautas en el ambiente ingrávido del espacio (vea la figura 4.4). La desventaja de este tipo de asiento es que puede agregar estrés en las rodillas. La adición de una perilla al asiento inclinado hacia adelante, para formar un asiento parecido a una silla de montar, representa una mejor técnica, ya que elimina la necesidad de tener soportes para las rodillas y aun permite tener un soporte para la espalda (vea la figura 5.9).

PROPORCIONE AJUSTABILIDAD EN EL ASIENTO

Un segundo aspecto que se debe considerar es la reducción de la presión en los discos, la cual puede aumentar de forma considerable cuando varía la inclinación del tronco hacia adelante. Reclinar el



Figura 5.7 Seis posturas básicas para sentarse.
(*De*: Serber, 1990. Reimpreso con el permiso de la Sociedad de Ergonomía y Factores Humanos. Todos los derechos reservados.)

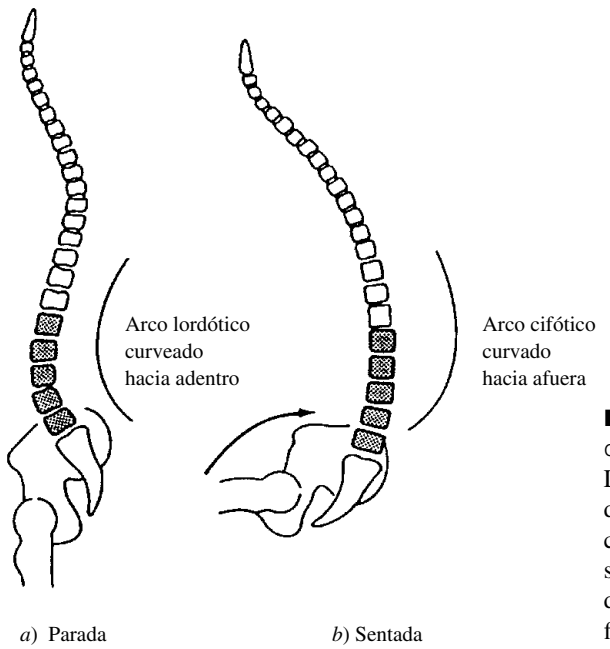


Figura 5.8 Postura de la espina cuando la persona está parada y sentada. La porción lumbar de la espina es lordótica cuando está parada *a*) y cifótica cuando está sentado *b*). Las vértebras sombreadas son la porción lumbar de la espina. (*Fuente*: Grandjean 1988, figura 47.)

respaldo posterior respecto a la vertical tiene un efecto muy notorio en la reducción de las presiones en los discos (Andersson y cols., 1974). Desafortunadamente, hay una desventaja. Cuando aumentan los ángulos, se hace más difícil mirar hacia abajo y realizar trabajo productivo.

Otro factor es la necesidad de proporcionar un ajuste fácil a los parámetros específicos del asiento. La altura del asiento es el más crítico, y la altura ideal se puede determinar por la altura poplítea de la persona, la cual se define en la figura que acompaña a la tabla 5.1. Un asiento muy alto comprime la parte posterior de los muslos. Un asiento muy bajo eleva las rodillas a un nivel muy encumbrado e incómodo y reduce el ángulo del tronco, lo cual incrementa la presión en los discos. En la tabla 5.2 se proporcionan recomendaciones específicas para la altura de los asientos y otros parámetros relacionados (los cuales se muestran en la figura 5.6).

Además, se recomienda el uso de los descansabrazos para soportar las extremidades superiores y hombros y de los descansapies para personas de corta estatura. Las ruedas giratorias en las patas del asiento ayudan a realizar movimientos durante el ingreso/egreso de las estaciones de trabajo. Sin embargo, pueden presentarse situaciones donde sea más deseable utilizar una silla estacionaria. En general, la silla debe tener un ligero contorno, estar ligeramente acolchonada y estar cubierta por un forro de tela que permita la entrada de aire con el fin de evitar la formación de humedad. Los cojines

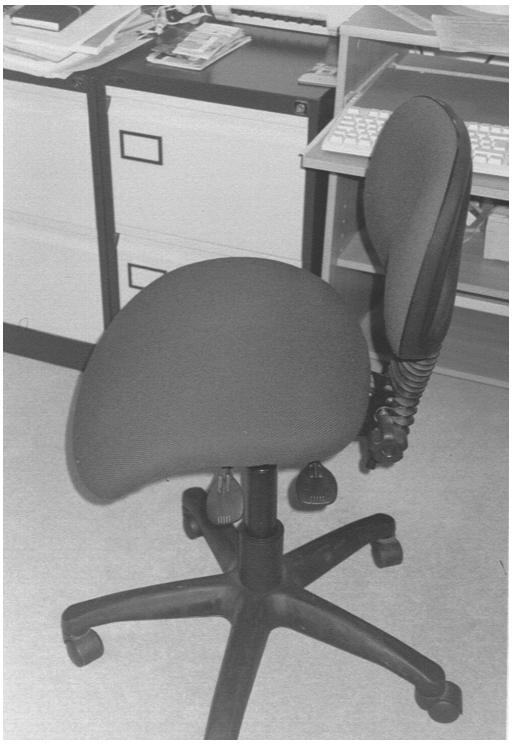


Figura 5.9 Silla de montar. (*Cortesía*: Esta versión de la silla Nottingham se llama la Checkmate, y está fabricada por el Osmond Group: fotografía de Nigel Corlett. Para obtener información adicional acerca de la silla Nottingham consulte Nottinghamchair.com; acerca de la Checkmate, consulte el sitio ergonomics.co.uk y busque silla Checkmate.)

sobrepuestos restringen la postura y pueden evitar una buena circulación de sangre en las piernas. En la figura 5.10 se muestra una persona en la postura de trabajo óptima así como su estación de trabajo.

PROMUEVA LA FLEXIBILIDAD POSTURAL

La altura de la estación de trabajo debe ser ajustable, de tal manera que el trabajo pueda realizarse de manera eficiente ya sea parado o sentado. El cuerpo humano no está diseñado para permanecer largos periodos sentado. Los discos entre las vértebras no cuentan con un suministro de sangre independiente, y dependen de los cambios de presión que resultan del movimiento para recibir los nutrientes y desechar el desperdicio. La rigidez de la postura también reduce el flujo sanguíneo hacia los músculos e induce la fatiga muscular y los calambres. Un compromiso alterno consiste en proporcionar un banco para sentarse/pararse de tal manera que el operador pueda cambiar posturas fácilmente. Dos características clave del banco para sentarse/pararse son el ajuste de la altura y una base de soporte grande de tal manera que el banco no se pare en una pata y, de preferencia, lo suficientemente grande para que los pies puedan descansar en dicha base y así equilibrar el banco (vea la figura 5.11).

PROPORCIONE TAPETES ANTIFATIGA PARA EL OPERADOR DE PIE

Permanecer parado sobre piso de cemento por largos periodos es muy fatigante. A los operadores se les debe proporcionar tapetes elásticos antifatiga. Dichos tapetes permiten que se lleven a cabo las pequeñas contracciones musculares en las piernas que obligan a que la sangre circule y evitan que tienda a estancarse en las extremidades inferiores.

COLOQUE TODAS LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO NORMAL

En cada movimiento que se realiza está involucrada una distancia. A medida que dicha distancia es mayor, el esfuerzo muscular, control y tiempo son mayores. Por lo tanto, es importante minimizar

Brazos: Cuando las manos del operador se encuentran en el teclado, el brazo superior y el antebrazo deberán formar un ángulo recto; las manos deben estar alineadas respecto al antebrazo; si las manos forman un ángulo con respecto a la muñeca, trate de reducir la inclinación del teclado; los descansabrazos deben ser ajustables.

Respaldo: Ajustable para variaciones ocasionales; la forma debe coincidir con el contorno de la parte inferior de la espalda para proporcionar una presión y soporte parejos.

Postura: Siéntese totalmente en la silla para obtener un soporte adecuado de la espalda; el cuello y la espalda deben estar cómodamente erguidos; las rodillas deben estar ligeramente por debajo de las caderas; no cruce las piernas o cargue su peso de un solo lado; déle a sus articulaciones y músculos la oportunidad de sentirse relajados; de manera periódica, levántese y póngase a caminar.

Escritorio: Reduzca la superficie de trabajo para permitir suficiente espacio para las piernas y ajustes de la postura; de preferencia, la altura de la superficie debe ser ajustable; la mesa debe ser lo suficientemente grande para que quepan libros, archivos y el teléfono a la vez que permita que la pantalla, el teclado y el tapete del ratón tengan diferentes posiciones.

Teléfono: Colocar el receptor del teléfono entre la cabeza y el hombro puede provocar tensión muscular; una diadema hace posible que la cabeza y el cuello se mantengan en una posición erguida a la vez que permite usar las manos libremente.

Sujetador de documentos: Debe colocarse a la misma altura y distancia del usuario que la pantalla.

Pantalla: Colóquela de tal forma que el punto medio de la pantalla esté 15° por debajodel nivel de los ojos.

Teclado: Coloque el teclado de tal forma que permita que las manos, los antebrazos conserven derechos y nivelados.

Silla: Altura ajustable y que se pueda inclinar el respaldo; cojín firme; el frente tiene "cascada" ayuda a la circulación de la sangre en las piernas.

Pies: Toda la planta del pie debe descansar cómodamente sobre el piso o el descansapiés.

Evite la tensión en los ojos:
1. Utilice lentes que le permitan enfocarse en la pantalla; mida la distancia antes de visitar al oculista.
2. Trate de colocar la pantalla o las lámparas de tal manera que la iluminación sea indirecta; no permita que la luz brille directamente sobre la pantalla o sus ojos.
3. Utilice una pantalla que reduzca el reflejo.
4. De manera periódica, descanse sus ojos mirando lo más lejos que pueda.

Figura 5.10 Estación de trabajo ajustada adecuadamente.

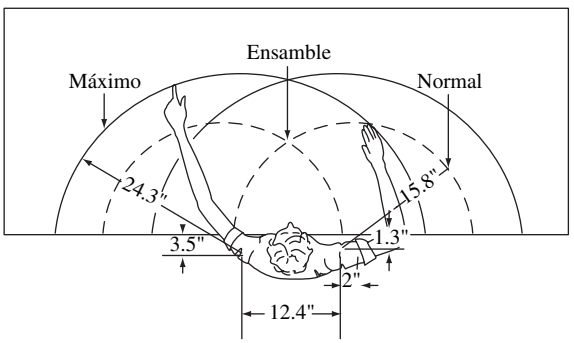


Figura 5.11 Bancos industriales para sentarse/pararse.
(*Cortesía*: BioFit, Waterville, OH.)

las distancias. El área de trabajo normal en el plano horizontal de la mano derecha incluye el área circunscrita por el brazo bajo el codo cuando se mueve para formar un arco que gira con respecto al codo (vea la figura 5.12). Esta área representa la zona más conveniente dentro de la cual se pueden realizar movimientos con la mano con un consumo normal de energía. El área normal de la mano izquierda se puede establecer de manera similar. Debido a que los movimientos se llevan a cabo en la tercera dimensión, así como en el plano horizontal, el área de trabajo normal también se aplica al plano vertical. El área normal relativa a la altura para la mano derecha incluye el área circunscrita por el brazo inferior en una posición vertical fijada en el codo moviéndose en forma de arco. Existe un área normal similar en el plano vertical (vea figura 5.13).

UBICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA PERMITIR LA MEJOR SECUENCIA

Cuando manejan un automóvil, las personas se familiarizan con el reducido tiempo que se requiere para aplicar el pedal del freno. La razón es obvia: puesto que dicho pedal está en una posición fija, no se requiere de tiempo para decidir dónde se localiza el freno. El cuerpo responde de manera instintiva y aplica presión al área donde el conductor sabe que se encuentra el pedal del freno. Si se modifica la ubicación de éste, el conductor necesitará un tiempo significativamente mayor para frenar el automóvil. De manera similar, proporcionar una ubicación fija a todas las herramientas y materiales en la estación de trabajo elimina, o al menos minimiza, las molestias que implica buscar y seleccionar los objetos que se necesitan para realizar un trabajo. Éstos son los therbligs Buscar y Seleccionar ineficientes que se analizaron en el capítulo 4 (consulte la figura 5.14).



Longitud del brazo	28"
Longitud del antebrazo	10"
Longitud del brazo superior	12"
Longitud de la mano	6.7"
Longitud de la articulación terminal (2o. dedo)	0.9"

Figura 5.12 Áreas de trabajo normales y máximas en el plano horizontal para mujeres (para los hombres, multiplique por 1.09)

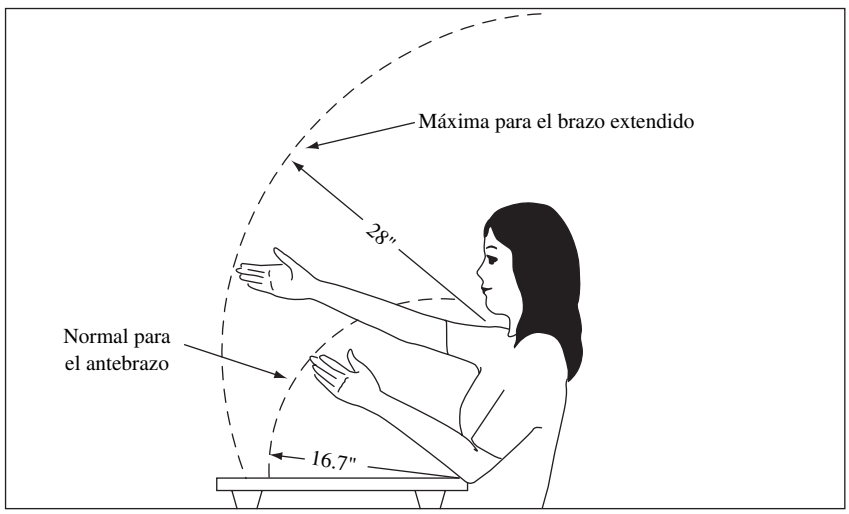


Figura 5.13 Áreas de trabajo normal y máxima en el plano vertical para mujeres (para los hombres, multiplique por 1.09).

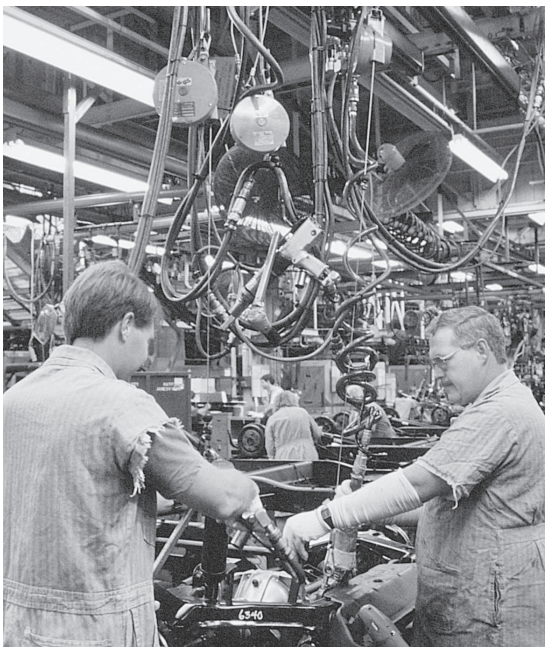


Figura 5.14 Los sujetadores de herramienta proporcionan una ubicación fija de las herramientas.
(*Cortesía* de Packers Kromer.)

UTILICE CONTENEDORES POR GRAVEDAD Y ENTREGA POR CAÍDA PARA REDUCIR LOS TIEMPOS DE ALCANZAR Y MOVER

El tiempo que se requiere para llevar a cabo las tareas de Alcanzar y Mover los therbligs de transporte es directamente proporcional a la distancia a la que se deben mover las manos cuando realizan estos therbligs. Mediante el uso de contenedores por gravedad, los componentes pueden acercarse continuamente al área normal de trabajo para eliminar los largos alcances que implica tomar estos materiales (vea la figura 5.15). De manera similar, las rampas por gravedad permiten colocar las partes terminadas dentro del área normal de trabajo y eliminar la necesidad de movimientos largos para hacerlo. A veces, los eyectores pueden quitar los productos terminados de manera automática. Las

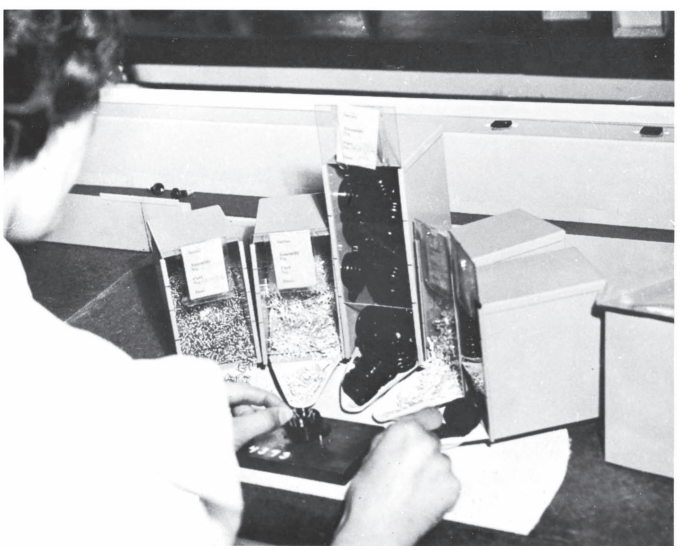


Figura 5.15 Estación de trabajo que utiliza contenedores por gravedad y una banda transportadora que reduce los tiempos de alcance y de movimientos. La banda transportadora en la parte posterior de la foto transporta otras partes además de las necesarias para esta estación de trabajo en particular. El operador alimenta dicha banda desde abajo de la plataforma con sólo dejar caer las partes ensambladas en la banda de alimentación (*Fuente*: Alden Systems Co.)

rampas de gravedad hacen posible mantener un área limpia, ya que el material terminado es transportado fuera del área de trabajo, en lugar de mantenerlo apilado en ella. Un contenedor colocado a una determinada altura con respecto a la superficie de trabajo (de tal manera que la mano pueda desplazarse parcialmente por debajo) reduce el tiempo que se requiere para llevar a cabo esta tarea de 10 a 15%, aproximadamente.

DISPONGA DE MANERA ÓPTIMA LAS HERRAMIENTAS, CONTROLES Y OTROS COMPONENTES PARA MINIMIZAR LOS MOVIMIENTOS

La disposición óptima depende de muchas características tanto humanas (fuerza, alcance, sensoriales) como de la tarea (cargas, repetición, orientación). Evidentemente, es imposible optimizar todos los factores. El diseñador debe establecer prioridades y hacer arreglos en cuanto a la disposición del lugar de trabajo. Sin embargo, deben seguirse ciertos principios básicos. Primero, es necesario que el diseñador considere la ubicación general de los componentes entre sí, utilizando los principios de *importancia* y *frecuencia de uso.* Los más importantes, como está determinado en las metas u objetivos generales o los que se utilizan con mayor frecuencia, deben colocarse en los lugares más convenientes. Por ejemplo, el botón de paro de emergencia de una actividad se debe colocar en una posición fácilmente visible, alcanzable y conveniente. De manera similar, un botón de activación que se utilice de manera regular, o los sujetadores que se emplean con mayor frecuencia, deben ubicarse dentro del alcance del operador.

Una vez que se ha determinado la ubicación general de un grupo de componentes, esto es, las partes que se utilizan con mayor frecuencia durante el proceso de ensamble, se deben considerar los principios de *funcionalidad* y *secuencia de uso*. La funcionalidad se refiere a la agrupación de componentes por función similar, por ejemplo, todos los sujetadores en un área, todas las juntas y componentes de hule en otra. Puesto que muchos productos son ensamblados en una estricta secuencia, un ciclo después de otro, es muy importante colocar los componentes o subensambles en el orden en el que serán ensamblados, ya que ello tendrá un efecto enorme en la reducción de movimientos inútiles. El diseñador debe usar también el Planeador de configuración sistemática de Muther (vea el capítulo 3) u otro tipo de técnicas de diagramación de configuraciones adyacentes, con el fin de desarrollar una comparación cuantitativa o relativa de varias disposiciones de componentes sobre una superficie de trabajo. Las relaciones entre los componentes pueden modificarse a partir de información anterior respecto al flujo de un área a otra y debe incluir enlaces visuales (movimientos de los ojos), enlaces audibles (comunicación de voz o señales) y movimientos táctiles y de control.

Estos principios de diseño de trabajo aplicables a las estaciones de trabajo se encuentran resumidos en la Lista de verificación para evaluación de las estaciones de trabajo (vea la figura 5.16). El analista puede encontrar que este tema es de gran utilidad cuando se evalúan las estaciones de trabajo existentes o se desea implantar nuevas estaciones.

5.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE TRABAJO: MÁQUINAS Y EQUIPO

REALICE MÚLTIPLES CORTES SIEMPRE QUE SEA POSIBLE COMBINANDO DOS O MÁS HERRAMIENTAS EN UNA O MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE CORTES SIMULTÁNEOS DE AMBOS DISPOSITIVOS DE ALIMENTACIÓN

La planeación avanzada de la producción para lograr una manufactura más eficiente incluye la realización de múltiples cortes mediante la combinación de herramientas y cortes simultáneos con herramientas diferentes. Desde luego, el tipo de trabajo que se va a procesar y el número de partes que se van a fabricar determinan la conveniencia de cortes combinados, tales como los cortes con la torreta cuadrada y la hexagonal.

Estación de trabajo-sentado	**Sí**	**No**
1. ¿Se ajusta fácilmente la silla de acuerdo con las características siguientes?:	❑	❑
a) ¿Es ajustable la altura de la silla de 15 a 22 pulgadas?	❑	❑
b) ¿Tiene la silla una ancho mínimo de 18 pulgadas?	❑	❑
c) ¿Es la profundidad de la silla de 15 a 16 pulgadas?	❑	❑
d) ¿Se puede reclinar la silla ±10º respecto a la horizontal?	❑	❑
e) ¿Se proporciona un respaldo con soporte lumbar?	❑	❑
f) ¿Es el tamaño mínimo del respaldo de 8 × 12 pulgadas?	❑	❑
g) ¿Puede moverse el respaldo de 7 a 10 pulgadas sobre el asiento?	❑	❑
h) ¿Puede moverse el respaldo de 12 a 17 pulgadas con respecto al frente de la silla?	❑	❑
i) ¿Tiene la silla cinco patas de soporte?	❑	❑
j) ¿Tienen ruedas y cabezas giratorias para realizar tareas móviles?	❑	❑
k) ¿Puede respirar la cubierta de la silla?	❑	❑
l) ¿Se proporciona descansapies (grande, estable y ajustable en cuanto a altura e inclinación)?	❑	❑
2. ¿Se ha ajustado adecuadamente la silla?	❑	❑
a) ¿Está ajustada la altura de la silla a la altura poplítea con los pies sobre el piso?	❑	❑
b) ¿Existe un ángulo de aproximadamente 90º entre el tronco y los muslos?	❑	❑
c) ¿Está el área lumbar del respaldo en la parte pequeña de la espalda (~línea de la cintura)?	❑	❑
d) ¿Hay suficiente espacio para las piernas (es decir, hacia la parte de atrás de la estación de trabajo)?	❑	❑
3. ¿Es ajustable la cubierta de la estación de trabajo?	❑	❑
a) ¿Está la superficie de la estación de trabajo aproximadamente a la altura del descanso del codo?	❑	❑
b) ¿Se puede bajar la superficie de 2 a 4 pulgadas para el trabajo pesado?	❑	❑
c) ¿Se puede elevar (o inclinar) de 2 a 4 pulgadas para el ensamblado a detalle o para tareas en la que se requiera mucho la vista?	❑	❑
d) ¿Hay suficiente espacio para los muslos (es decir, con respecto al fondo de la superficie de trabajo)?	❑	❑
4. ¿Se alternan periodos de trabajo con periodos de descanso?	❑	❑

Estación de trabajo con computadora	**Sí**	**No**
1. ¿Se ha ajustado la silla, el teclado y el ratón y, por último, la pantalla?	❑	❑
2. ¿Está el teclado lo más bajo posible (sin que tope con las piernas)?	❑	❑
a) ¿Están relajados los hombros, los brazos superiores cuelgan cómodamente y los antebrazos por debajo de la horizontal (es decir, el ángulo del codo es >90º)?	❑	❑
b) ¿Se utiliza una repisa para el teclado (es decir, por debajo de la superficie de escritura normal a 28 pulgadas)?	❑	❑
c) ¿Está reclinado el teclado hacia abajo de tal manera que se conserve una posición neutral de las muñecas?	❑	❑
d) ¿Está colocado el ratón en la cercanía del teclado a la misma altura?	❑	❑
e) ¿Se proporcionan descansabrazos (ajustables en cuanto a altura al menos 5 pulgadas)?	❑	❑
f) Si no se proporcionan descansabrazos, ¿se ofrecen descansamuñecas?	❑	❑
3. ¿Está colocada la pantalla de 16 a 39 pulgadas (aproximadamente la longitud del brazo) de distancia con respecto a los ojos?	❑	❑
a) ¿Está la parte superior de la pantalla ligeramente por debajo del nivel de los ojos?	❑	❑
b) ¿Está la parte inferior de la pantalla a aproximadamente 30º por debajo del nivel horizontal de los ojos?	❑	❑
c) ¿Se encuentra la pantalla ubicada en un ángulo de 90º con respecto a las ventanas para minimizar el reflejo?	❑	❑
d) ¿Se pueden colocar cortinas o persianas en las ventanas con el fin de reducir la luz brillante?	❑	❑
e) ¿Está la pantalla lo suficientemente inclinada para minimizar las reflexiones de luz provenientes del techo?	❑	❑
f) Si todavía hay reflejo, ¿se utiliza un filtro antirreflejante?	❑	❑
g) ¿Se utiliza un soporte para documentos para copiar información de artículos?	❑	❑
h) ¿Está colocada la tarea visual principal (pantalla o documentos) directamente enfrente?	❑	❑

Estación de trabajo: parado	**Sí**	**No**
1. ¿Es ajustable la superficie de la estación de trabajo?	❑	❑
a) ¿Está la superficie de la estación de trabajo aproximadamente a la altura del descanso de los codos?	❑	❑
b) ¿Se puede bajar la superficie de 4 a 8 pulgadas para el ensamblado rudo?	❑	❑
c) ¿Está la superficie elevada de 4 a 8 pulgadas (o inclinada) para el ensamblado a detalle o para trabajos intensamente visuales?	❑	❑
2. ¿Hay suficiente espacio para las piernas?	❑	❑
3. ¿Se ofrece un banquillo para pararse/sentarse (con altura ajustable)?	❑	❑
4. ¿Se alternan periodos de pie con periodos sentado?	❑	❑

Figura 5.16 Lista de verificación para evaluar estaciones de trabajo.

UTILICE UN SOPORTE EN LUGAR DE LA MANO COMO DISPOSITIVO DE SUJECIÓN

Si cualquiera de las manos se utiliza como dispositivo de sujeción durante el procesado de una pieza, dicha mano no lleva a cabo trabajo útil. Siempre se puede diseñar un soporte para sujetar el trabajo de manera satisfactoria, lo que permite que ambas manos realicen trabajo útil. Los accesorios no sólo ahorran tiempo en el procesado de las partes, sino que también permiten una mejor calidad debido a que el trabajo puede sujetarse de una manera más firme y precisa. Muchas veces, los mecanismos operados con los pies permiten que ambas manos lleven a cabo trabajo productivo.

Un ejemplo ayuda a aclarar el principio de uso de un soporte, en lugar de las manos, para sujetar un trabajo. Una compañía que producía ventanas especiales necesitaba quitar una banda de 0.75 pulgadas de ancho de papel protector de las cuatro orillas de ambos lados de paneles de Lexan. El operador levanta una sola hoja de Lexan y la lleva al área de trabajo. Después toma un lápiz y una escuadra y marca las cuatro esquinas del panel. El lápiz y la escuadra se dejan a un lado y se levanta una plantilla que se coloca en las marcas realizadas con el lápiz. Posteriormente, el operador quita el papel protector del contorno de los paneles. El tiempo estándar desarrollado por el MTM-1 fue de 1.063 minutos por pieza.

Un simple soporte de madera se desarrolló con el fin de sostener tres paneles de Lexan a la vez que, a cada uno de ellos, se le quitaba el papel protector de 0.75 pulgadas de ancho de su periferia. Con el nuevo método, el trabajador tomaba tres hojas de Lexan y las colocaba en el accesorio (vea la figura 5.17). El papel protector se removía, las hojas se hacían girar 180º y el papel protector se quitaba de los dos lados que quedaban. Este método mejorado dio como resultado un tiempo estándar de 0.46 minutos por panel o, los que es lo mismo, ahorros de 0.603 minutos de trabajo por panel.

UBIQUE TODOS LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL PARA OBTENER UN MEJOR ACCESO Y MAYOR FUERZA POR PARTE DEL OPERADOR

Un gran número de máquinas herramienta y otros dispositivos son perfectos desde el punto de vista mecánico, pero no se puede llevar a cabo con ellos una operación eficiente debido a que el diseñador pasó por alto varios factores humanos. Botones, manivelas y palancas deben tener un tamaño y colocarse en posiciones tales que los operadores puedan manipularlas con la mayor facilidad y la mínima fatiga. Los controles que se utilizan con mucha frecuencia deben colocarse a una altura media entre el codo y el hombro; los operadores sentados pueden aplicar la máxima fuerza a las palancas que se encuentran a la altura del codo; los que están parados, a las palancas ubicadas a la altura de los hombros. Los diámetros de los manubrios volantes y manivelas dependen de la torsión al que se van a someter y de la posición de montado. Los diámetros máximos de las agarraderas manuales dependen de las fuerzas que se van a ejercer. Por ejemplo, para una fuerza de 10 a 15 libras (4.5 a 6 kg), el diámetro no debe ser menor a 0.25 pulgadas (0.6 cm), y preferentemente más grandes; para una fuerza de 15 a 25 libras (6.8 a 11.4 kg), debe utilizarse un mínimo de 0.5 pulgadas (1.3 cm); y para una fuerza de 25 libras o más (11.4 kg), un mínimo de 0.75 pulgadas (1.9 cm). Sin embargo, los diámetros no deben ser mayores a 1.5 pulgadas (3.8 cm) y la longitud de la agarradera debe ser de al menos 4 pulgadas (10 cm), para que el ancho de la mano pueda caber sin problemas.

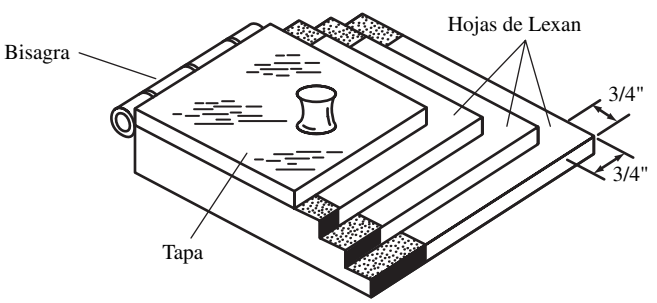
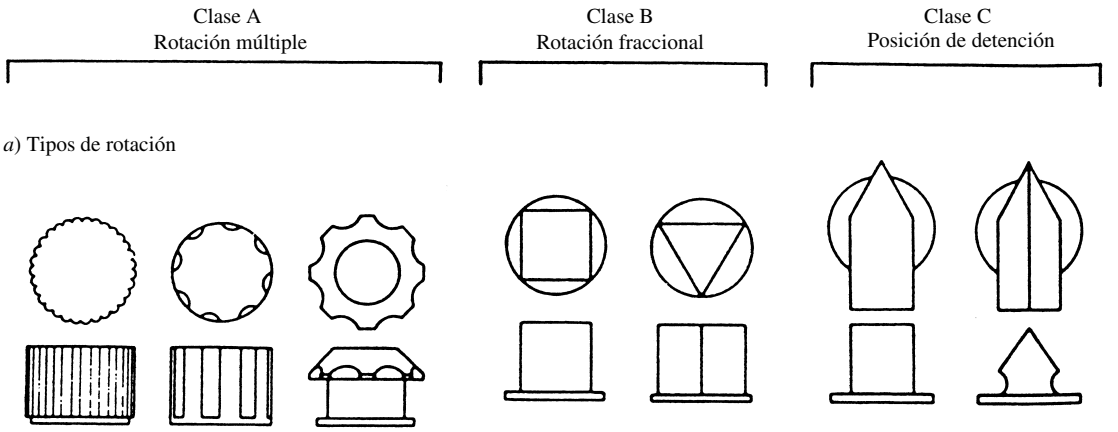


Figura 5.17 Accesorio para remover papel protector de ¾ de pulgada de ancho en la periferia de las hojas Lexan.

Los lineamientos respecto a los radios de las manivelas y los manubrios volantes son las siguientes: para cargas ligeras, radios de 3 a 5 pulgadas (7.6 a 12.7 cm); para cargas medianas a pesadas, radios de 4 a 7 pulgadas (10.2 a 17.8 cm); para cargas muy pesadas, radio de más de 8 pulgadas (20 cm), pero no mayores a 20 pulgadas (51 cm). Los diámetros de la perilla de 0.5 a 2 pulgadas (1.3 a 5.1 cm) son generalmente satisfactorios. Los diámetros de las pareillas se deben incrementar a medida que sean necesarias torsiones mayores.

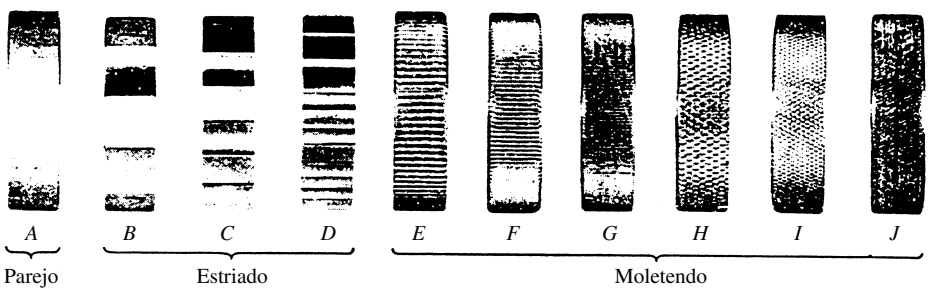
UTILICE LA CODIFICACIÓN POR FORMA, TEXTURA Y TAMAÑO PARA IDENTIFICAR LOS CONTROLES

La codificación por forma, que utilice configuraciones geométricas de dos o tres dimensiones, permite la identificación tanto por medio del tacto como visual. Este arreglo es especialmente útil en condiciones de baja intensidad luminosa o en situaciones donde se desea identificación redundante o de doble calidad, lo que ayuda a minimizar los errores. La codificación por forma permite el uso de un número relativamente grande de formas diferentes. En la figura 5.18 se muestra un conjunto especialmente útil de formas conocidas que casi nunca se confunden. Los botones de rotación múltiple se utilizan para los controles continuos en los que el rango de ajuste es mayor a una vuelta completa.



a) Tipos de rotación

b) Forma de los botones



c) Textura de los botones

Figura 5.18 Ejemplos de diseños de perillas para tres clases de uso que prácticamente nunca se confunden a través del tacto.
El diámetro o longitud de dichos controles debe estar entre 0.5 y 4.0 pulgadas (1.3 y 10 cm), excepto para la clase C, donde 0.75 pulgadas (1.9 cm) es el mínimo sugerido. La altura debe estar entre 0.5 y 1 pulgada (1.3 y 2.5 cm). (a&b) Adaptado de Hunt, © 1953 *Fuente*: Bradley, 1967.

Los botones de rotación fraccional se emplean para controles continuos con rangos menores a una vuelta completa, mientras que los botones de posicionamiento de seguro son convenientes para fijar parámetros discretos. Además de la forma, la textura de la superficie puede permitir la discriminación por tacto. Por lo general, las texturas plana, estriada y moleteada se confunden muy rara vez. Sin embargo, a medida que el número de formas y texturas aumenta, la discriminación puede ser difícil y lenta en el caso en el que el operador deba identificar los controles sin usar la vista. Si se le obliga a utilizar guantes, la codificación por forma únicamente es deseable para la discriminación visual o la discriminación mediante el tacto de sólo dos de cuatro formas.

La codificación por tamaño, de manera análoga a la codificación por forma, permite la identificación visual mediante el tacto de los controles. Este tipo de codificación se utiliza principalmente cuando los operadores no pueden ver los controles. Desde luego, como es el caso de la codificación por forma, la codificación por tamaño permite la codificación redundante, puesto que los controles pueden ser diferenciados ya sea mediante el tacto o la vista. En general, trate de limitar las categorías de tamaño a tres o cuatro, con al menos una diferencia de tamaño de 0.5 pulgadas entre los controles. La codificación operativa que requiera un solo movimiento (por ejemplo, invertir la marcha) es particularmente útil para controles críticos que no deban activarse de manera inadvertida.

Tabla 5.3 Criterios para el tamaño de los controles

			Tamaño del control	
Control	**Dimensión**		**Mínimo (mm)**	**Máximo (mm)**
Botón de opresión	Yemas de los dedos	Diámetro	13	*
	Dedo pulgar/palma	Diámetro	19	*
	Pie	Diámetro	8	*
Interruptor de disparo		Diámetro de la punta	3	25
		Longitud del cuerpo de la palanca	13	50
Selector de rotación		Longitud	25	*
		Ancho	*	25
		Profundidad	16	*
Botón de ajuste continuo	Dedo/dedo pulgar	Profundidad	13	25
		Diámetro	10	100
	Mano/palma	Profundidad	19	*
		Diámetro	38	75
Manivelas	por velocidad	Radio	13	113
	por fuerza	Radio	13	500
Perilla de mano		Diámetro	175	525
		Grosor del contorno	19	50
Perilla de dedo		Diámetro	38	*
		Ancho	*	*
		Protuberancia de la superficie	3	*
Manija de palanca	Dedo	Diámetro	13	75
	Mano	Diámetro	38	75
Pedal de la manivela		Área de la agarradera	75	*
		Longitud	88	†
		Ancho	25	†
Válvulas manual		Diámetro de 75 pulgadas por pulgada del tamaño de la válvula.		

* No está fijado un límite relacionado con el desempeño del operador.
† Depende del espacio disponible.

Tabla 5.4 Criterios para el desplazamiento de los controles

		Desplazamiento	
Control	**Condición**	**Mínimo**	**Máximo**
Botones de opresión	Operación con el dedo pulgar/yema de los dedos	3 mm	25 mm
	Pies normal	13 mm	—
	Bota pesada	25 mm	—
	Sólo flexión del tobillo	—	63 mm
	Movimiento de la pierna	—	100 mm
Interruptor de disparo	Entre posiciones adyacentes	30°	—
	Total	—	120°
Selector de rotación	Entre posiciones de fiadores: Visual	15°	—
	No visual	30°	—
	Para facilitar el desempeño	—	40°
	Cuando se requiera de ingeniería especial	—	90°
Perilla de ajuste continuo	Determinado por la relación control/pantalla deseada (mm de movimiento de control por cada mm de movimiento de la pantalla)		
Manivela	Determinado por la relación control/pantalla deseada.		
Perilla de mano	Determinado por la relación control/pantalla deseada 90°-120°†		
Perilla de dedo	Determinado por el número de posiciones		
Manija de palanca	Movimiento hacia adelante	*	350 mm
	Movimiento lateral	*	950 mm
Pedales	Normal	13 mm	—
	Bota pesada	25 mm	—
	Flexión del tobillo (levantado)	—	63 mm
	Movimiento de las piernas	—	175 mm

*Ningún valor establecido.
†Siempre y cuando la relación óptima control/pantalla no sea afectada.

UTILICE EL TAMAÑO, DESPLAZAMIENTO Y RESISTENCIA APROPIADOS DEL CONTROL

En sus asignaciones de trabajo, los operadores utilizan de manera continua diferentes tipos y diseños de controles. Los tres parámetros que tienen gran influencia en el desempeño son el tamaño del control, la relación control-respuesta y la resistencia del control cuando se encuentra activado. Un control que sea muy pequeño o muy grande no puede activarse de manera eficiente. Las tablas 5.3, 5.4 y 5.5 proporcionan información útil de diseño respecto a las dimensiones mínima y máxima de los diferentes mecanismos de control.

La *relación control-respuesta (C/R)* se define como la cantidad de movimiento de un control dividida entre la cantidad de movimiento de la respuesta (vea la figura 5.19).

Un valor reducido del cociente C/R indica una alta sensibilidad como, por ejemplo, en el ajuste burdo de un micrómetro. Una relación C/R elevada significa baja sensibilidad, situación que se presenta en el ajuste fino de un micrómetro. El movimiento general de los controles depende de la

Tabla 5.5 Criterios para la resistencia de los controles

Control	Condición	Resistencia Mínimo (kg)	Resistencia Máximo (kg)
Botones de opresión	Punta de los dedos	0.17	1.14
	Pie: Normalmente fuera de control	1.82	9.10
	Descansado con control	4.55	9.10
Interruptor de disparo	Operación con los dedos	0.17	1.14
Selector de rotación	Torsión	1 cm·kg	7 cm·kg
Botón de ajuste continuo	Torsión: Punta de los dedos <1 pulgada de diámetro	*	0.3 cm·kg
	Punta de los dedos >1 pulgada de diámetro	*	0.4 cm·kg
Manivela	Vuelta constante, rápida: <3 pulgadas de radio	0.91	2.28
	de 5 a 8 pulgadas de radio	2.28	4.55
	Parámetros precisos	1.14	3.64
Botón manual†	Operación de precisión: <3 pulgadas de radio	*	*
	de 5 a 8 pulgadas de radio	1.14	3.64
	Resistencia en el contorno: Una mano	2.28	13.64
	Dos manos	2.28	22.73
Botón de dedo pulgar	Torsión	1 cm·kg	3 cm·kg
	Tomar con los dedos	0.34	1.14
	Tomar con la mano: Una mano	0.91	—
	Dos manos	1.82	—
Manija de la palanca	Hacia adelante: A lo largo del plano medio:		
	Una mano: 10 pulgadas hacia adelante SRP§	—	13.64
	16–24 pulgadas hacia adelante SRP	—	22.73
	Dos manos: 10–19 pulgadas hacia adelante SRP	—	45
	Lateral:		
	Una mano: 10–19 pulgadas hacia adelante SRP	—	9.09
	Dos manos: 10–19 pulgadas hacia adelante SRP	—	22.73
Pedal	Pie: Normalmente fuera de control	1.82	—
	Descansado con control	4.55	—
	Sólo flexión del tobillo	—	4.55
	Movimiento de las piernas	—	80

* No establecido.

† Para manijas/ruedas de las válvulas: 25 ± cm·kg de torque/cm del tamaño de la válvula (8 cm·kg de torque/cm de diámetro de la manija).

§ SRP = Punto de referencia sentado.

combinación del tiempo principal de recorrido para alcanzar el objetivo aproximado y el tiempo de ajuste secundario para alcanzar el objetivo exacto de una manera precisa. El cociente C/R óptimo que minimiza este tiempo total de movimientos depende del tipo de control y las condiciones de la tarea (vea figura 5.20). Observe que también existe un *efecto rango*, esto es, la tendencia a salirse del rango en cortas distancias y quedarse corto en distancias largas.

La resistencia del control es importante puesto que ofrece retroalimentación al operador. De manera ideal, puede ser de dos tipos: desplazamiento puro sin resistencia, o fuerza pura sin desplazamiento. El primero tiene la ventaja de producir menos fatiga, mientras que el segundo es un *control de hombre muerto*, esto es, el control regresa a cero una vez que éste se libera. Por lo general, en la vida real los controles están típicamente cargados con resortes, lo que incorpora así las características de ambos. Entre los aspectos principales de un control en estado de falla se incluye una elevada

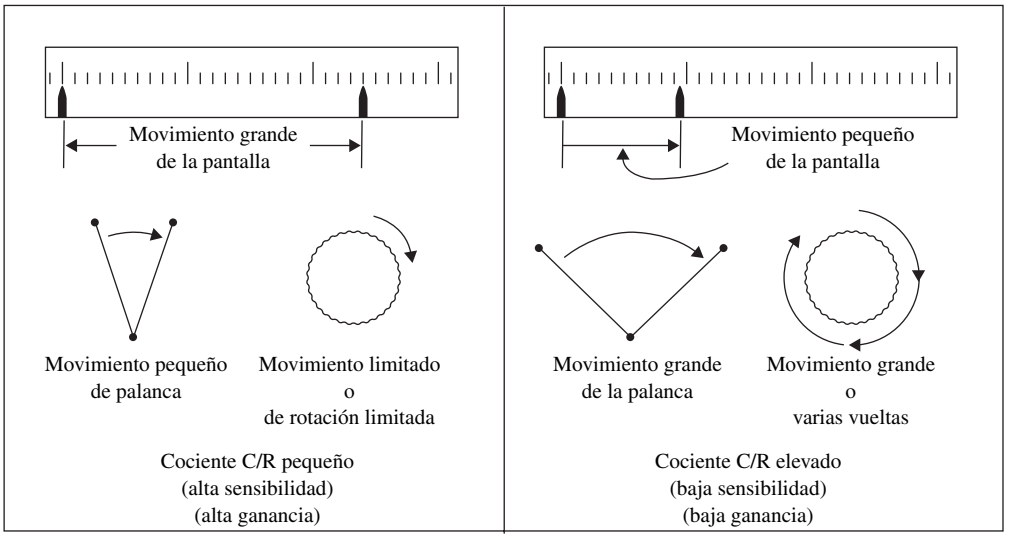


Figura 5.19
Ilustraciones generales de cocientes control-respuesta (relaciones C/R) altos y bajos para controles de palanca y rotatorios. El cociente C/R es una función del enlace entre el control y la pantalla.

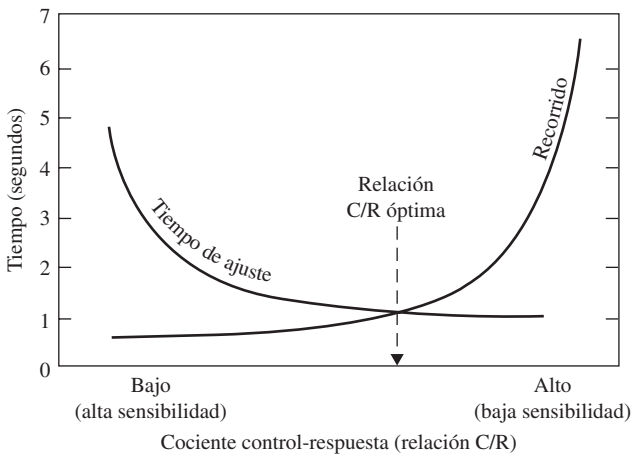


Figura 5.20 Relación entre el cociente C/R y la duración del movimiento (tiempo de recorrido y tiempo de ajuste). Los cocientes C/R específicos no tienen ningún significado fuera de su contexto original, por lo que aquí se omiten. Sin embargo, dichos datos muestran típicamente la naturaleza de las relaciones, en especial en los controles por medio de botones.
(*Fuente*: Jenkins y Connor, 1949.)

fricción estática inicial, excesivo amortiguamiento viscoso y la existencia de *espacio muerto*, esto es, el movimiento del control sin obtener ninguna respuesta. Los tres aspectos perjudican el rastreo y el desempeño durante el uso. Sin embargo, los dos primeros a veces se incorporan con toda intención con el fin de evitar la activación del control de forma inadvertida (Sanders y McCormick, 1993).

ASEGÚRESE DE LOGRAR LA COMPATIBILIDAD APROPIADA ENTRE LOS CONTROLES Y LAS PANTALLAS

La *compatibilidad* se define como la relación entre los controles y las pantallas que es consistente con las expectativas humanas. Los principios básicos incluyen la *asequibilidad*, la propiedad percibida que da como resultado la acción deseada; la *ubicación*, la evidente relación entre los controles y las respuestas; y la *retroalimentación*, de manera que el operador sepa que la función ha sido lograda. Por ejemplo, una buena asequibilidad es una puerta con una manija que se jala para abrirla o una puerta con una placa que se presiona para abrirse. La ubicación espacial se ofrece en estufas bien diseñadas. La compatibilidad de movimientos es proporcionada mediante la acción directa del controlador, lecturas de escalas que aumentan de izquierda a derecha y movimientos en el sentido de las manecillas del reloj que incrementan los parámetros. En pantallas circulares, la mejor compatibilidad se logra con una escala fija y una pantalla con indicador móvil (vea la sección 7.4). En las pantallas verticales u horizontales, el *principio de Warrick,* sostiene que los indicadores más cercanos a la pantalla y al control que se mueven en la misma dirección ofrecen la mejor compatibilidad (vea la

figura 5.19). En controles y pantallas ubicados en planos diferentes, un movimiento en el sentido de las manecillas del reloj para los incrementos y la regla de la mano derecha (la pantalla avanza en la dirección del movimiento de un tornillo o control de mano derecha) son los más compatibles. En controles tipo varilla de un controlador directo, el mejor método es obtener resultados hacia arriba en movimientos hacia arriba (Sanders y McCormick, 1993).

Los principios del diseño del trabajo de máquinas y equipo se resumen en la lista de verificación para la evaluación de las máquinas (figura 5.21). El analista puede encontrar esta lista de mucha utilidad cuando desee evaluar y diseñar máquinas y otros equipos.

5.4 DESÓRDENES DE TRAUMA ACUMULATIVO

El costo de los desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo como, por ejemplo, los desórdenes de trauma acumulativo (*Cumulative trauma disorders* CTD) en la industria de Estados Unidos, a pesar de que no todos son consecuencia de un diseño del trabajo inadecuado, es demasiado elevado. Los datos del Consejo de Seguridad Nacional (2003) sugieren que entre 15 y 20% de quienes trabajan en industrias clave (empacadoras de carne, procesamiento de aves, ensamblado de automóviles y manufactura textil) corren el riesgo de sufrir CTD y 61% de todas las lesiones ocupacionales están asociadas con movimientos repetitivos. La industria más afectada es la manufacturera, mientras que el peor puesto ocupacional es el de carnicero con 222 quejas de CTD por cada 100 000 trabajadores. Con estos índices tan elevados y con costos de servicio médico promedio de 30 000 dólares por caso, el NIOSH y la OSHA se han enfocado en la tarea de reducir los índices de incidencia de las lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo como uno de sus objetivos principales.

Los desórdenes de trauma acumulativo (a menudo llamados *lesiones por movimiento repetitivo* o *desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo*) son lesiones del sistema músculo-esquelético que se desarrollan gradualmente como resultado de microtraumas repetitivos debidos a un pobre diseño y al excesivo uso de herramientas de mano y otros equipos. Como tienen un lento nacimiento y a la naturaleza relativamente apacible de la lesión, a menudo son ignoradas hasta que se vuelven crónicas y se presentan lesiones más severas. Estos problemas representan una gran variedad de problemas, entre ellos desórdenes por movimientos repetitivos, estrechamiento del túnel carpal, tendonitis, ganglionitis, tenosinovitis y bursitis, términos que, con frecuencia, se utilizan de manera intercambiable.

Cuatro factores principales relacionados con el trabajo parecen ser los que generan el desarrollo de CTD: 1) fuerza excesiva, 2) movimientos no naturales o de los extremos de las articulaciones, 3) gran número de repeticiones y 4) duración del trabajo. Dentro de los síntomas más comunes asociados con el CTD se incluyen: dolor, limitaciones de los movimientos de las articulaciones e inflamación del tejido blando. En las primeras etapas pueden existir algunos signos visibles; sin embargo, si los nervios están afectados, pueden dañarse las respuestas sensoriales y el control de movimientos. Si no es tratado, los CTD pueden provocar una incapacidad permanente.

La mano humana es una estructura compleja de huesos, arterias, nervios, ligamentos y tendones. Los dedos están controlados mediante los músculos carpio extensor y carpio flexor del antebrazo. Los músculos están conectados a los dedos mediante tendones, los cuales pasan a través de un canal en la muñeca, formado por los huesos de la parte trasera de la mano de un lado y por el ligamento carpiano transverso del otro lado. A través de dicho canal, llamado túnel carpal, también pasan varias arterias y nervios (vea la figura 5.22). Los huesos de la muñeca se conectan a los dos huesos largos del antebrazo, el cúbito y el radio. El radio está conectado al lado del dedo pulgar de la muñeca mientras que el cúbito se conecta al lado del dedo meñique. La orientación de la articulación de la muñeca permite el movimiento en dos planos, a 90° entre sí (vea la figura 5.23). El primero permite la *flexión* y la *extensión* mientras que el segundo hace posible la *desviación del cúbito y el radio*. Asimismo, la rotación del antebrazo puede dar como resultado una *pronación* con la palma hacia abajo o una *supinación* con la palma hacia arriba.

La *tendosinovitis*, uno de los CTD más comunes, consiste en la inflamación de las capas de los tendones y se debe al uso exagerado de las herramientas o a la falta de costumbre en el uso de herramientas diseñadas inadecuadamente. Si la inflamación se esparce hacia los tendones, se convierte en una *tendonitis*. A menudo esta lesión la experimentan los aprendices expuestos a grandes desviaciones

Eficiencia de la máquina y seguridad	**Sí**	**No**
1. ¿Son factibles los cortes múltiples o simultáneos?	❑	❑
2. ¿Son fácilmente accesibles las manijas, botones y palancas?	❑	❑
3. ¿Están las manijas, botones y palancas diseñadas para que representen una ventaja mecánica?	❑	❑
a) ¿Tienen los botones al menos 0.5 a 2 pulgadas de diámetro, más grandes para torques mayores?	❑	❑
b) ¿Tienen las manivelas y botones un mínimo de 3 a 5 pulgadas de diámetro para cargas ligeras?	❑	❑
c) ¿Tienen las manivelas y los botones más de 8 pulgadas de diámetros para cargas pesadas?	❑	❑
4. ¿Se utilizan accesorios para evitar la sujeción con la mano?	❑	❑
5. ¿Se utilizan guardas o cerrojos para evitar el acceso prohibido?	❑	❑

Diseño de los controles generales	**Sí**	**No**
1. ¿Se utilizan diferentes colores para los diferentes controles?	❑	❑
2. ¿Están claramente identificados los controles?	❑	❑
3. ¿Se utiliza la codificación de forma y textura para la identificación mediante el tacto?	❑	❑
a) ¿Se utilizan no más de siete códigos únicos?	❑	❑
4. ¿Se utiliza la codificación por tamaño para la identificación mediante el tacto?	❑	❑
a) ¿Se utilizan no más de tres códigos únicos?	❑	❑
b) ¿Son las diferencias en tamaño mayores a 0.5 pulgadas?	❑	❑

Diseño de controles de emergencia	**Sí**	**No**
1. ¿Están los controles de encendido diseñados para evitar su activación accidental?	❑	❑
2. ¿Requieren los controles de activación un movimiento de acción única o doble?	❑	❑
3. ¿Están los botones de alimentación empotrados?	❑	❑
4. ¿Son de color verde los controles de activación?	❑	❑
5. ¿Se utilizan los controles de seguridad para los controles activados continuamente?	❑	❑
6. ¿Están diseñados los controles de emergencia para activarse rápidamente?	❑	❑
7. ¿Los botones de paro están dispuestos de tal manera que sobresalgan?	❑	❑
8. ¿Son los controles de emergencia grandes y fáciles de activar?	❑	❑
9. ¿Son fácilmente alcanzables los controles de emergencia?	❑	❑
10. ¿Son los controles de emergencia visibles y de color rojo?	❑	❑
11. ¿Están instalados los controles de emergencia lejos de los demás controles que se utilizan normalmente?	❑	❑

Ubicación de los controles	**Sí**	**No**
1. ¿Están los controles principales enfrente del operador a la altura de los codos?	❑	❑
a) ¿Se aplican los principios de frecuencia de uso e importancia para identificar los controles principales?	❑	❑
2. ¿Se encuentran los controles secundarios colocados junto a los primarios, pero aún dentro del rango de alcance?	❑	❑
3. ¿Se evitan las posturas torcidas para alcanzar los controles?	❑	❑
4. ¿Están ubicados los controles en la secuencia de operación adecuada?	❑	❑
5. ¿Se encuentran agrupados los controles mutuamente relacionados?	❑	❑
6. ¿Están los controles manuales separados al menos 2 pulgadas entre sí?	❑	❑
7. ¿Se utilizan tres o menos pedales?	❑	❑
8. ¿Están ubicados los pedales a nivel de piso con el fin de evitar el levantamiento de las piernas?	❑	❑
9. ¿Se proporciona un banquillo de parado/sentado para la operación de pedales con el pie extendido?	❑	❑

Diseño de la pantalla	**Sí**	**No**
1. ¿Se encuentran las pantallas dentro del cono visual de visión (en dirección horizontal 30º hacia abajo)?		
2. ¿Se utilizan lámparas indicadoras para llamar la atención del operador?		
3. ¿Se utilizan señales acústicas como señales de advertencia crítica?		
4. ¿Se utilizan punteros móviles para indicar tendencias?		
5. ¿Se proporcionan contadores para obtener lecturas precisas?		
6. ¿Están las pantallas agrupadas de tal manera que resalte una pantalla anormal?		
7. ¿Están agrupadas las pantallas que se relacionan mutuamente?		

Compatibilidad de la pantalla de control	**Sí**	**No**
1. ¿Se utiliza la asequibilidad (la propiedad que se percibe da como resultado la acción deseada)?	❑	❑
2. ¿Se utiliza la retroalimentación para indicar el término de la acción?	❑	❑
3. ¿Tanto el control como la pantalla tienen una relación directa?	❑	❑
4. ¿La lectura de la pantalla aumenta de izquierda a derecha?	❑	❑
5. ¿Los movimientos en el sentido de las manecillas del reloj aumentan el valor de los parámetros?	❑	❑

Figura 5.21 Lista de verificación para evaluar la máquina.

(*continúa*)

6. ¿Los movimientos en el sentido de las manecillas del reloj cierran las válvulas?	❑	❑
7. En los controles mediante palancas, ¿el movimiento hacia arriba y hacia abajo produce movimiento hacia arriba?	❑	❑
8. Para los controles fuera del plano, ¿se aplica la regla de la mano derecha?	❑	❑

Diseño de etiquetas	**Sí**	**No**
1. ¿Se utiliza un lenguaje claro y conciso?	❑	❑
2. ¿Las letras subtienden al menos 12 minutos del arco que forma el ángulo visual?	❑	❑
3. ¿Se utilizan letras oscuras sobre un fondo blanco?	❑	❑
4. ¿Se utilizan letras mayúsculas sólo en algunas palabras?		
5. ¿Se utilizan los símbolos (sencillos, de preferencia) sólo si éstos se entienden fácilmente?		

Figura 5.21 (*continuación*).

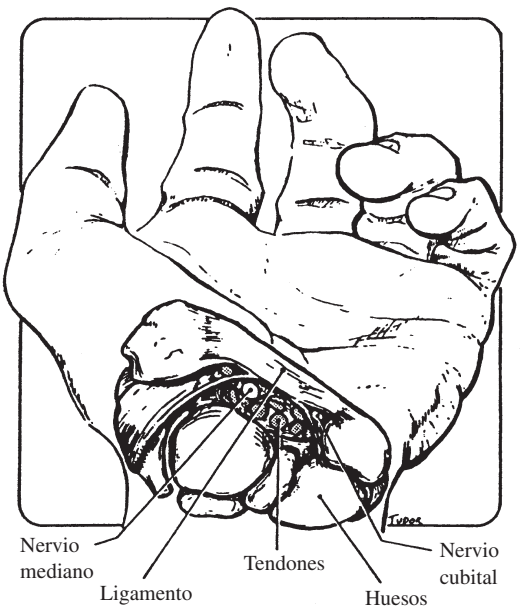


Figura 5.22 Vista ilustrativa del túnel carpal. (*De*: Putz-Anderson, 1988.)

del cúbito, en unión con la supinación de la muñeca. Los movimientos repetitivos y los impactos de choque pueden agravar aún más esta condición. *El síndrome del túnel carpal* es un desorden de la mano provocada por una lesión del nervio medio dentro de la muñeca. La flexión y extensión repetitiva de la muñeca en condiciones de estrés puede causar inflamación en las capas de los tendones. Dichas capas, al detectar una fricción elevada, segregan más fluido para lubricar las capas y facilitar el movimiento de los tendones. La acumulación de fluido resultante aumenta la presión en el túnel carpal, la cual a su vez comprime el nervio medio. Entre los síntomas se incluye la lesión o pérdida de la función nerviosa en los primeros tres dedos y medio, que se manifiesta como entumecimiento, hormigueo, dolor y pérdida de destreza. De nueva cuenta, el diseño apropiado de las herramientas es muy importante para evitar estas posiciones extremas de la muñeca. Las desviaciones radiales extremas de la muñeca son consecuencia de la presión entre la cabeza del radio y la parte adjunta del húmero, lo que da como resultado el codo de tenista, una forma de tendonitis. De manera similar, la extensión simultánea de la muñeca junto con la pronación total, es igualmente tensionante en el codo.

El dedo de disparo es una forma de tendonitis que resulta de una situación de trabajo en la que la falange distal del dedo índice debe doblarse y flexionarse contra la resistencia antes de que se flexionen las falanges más próximas. Las fuerzas isométricas excesivas producen un ranurado en el hueso, o se agranda el tendón debido a una inflamación. Cuando el tendón se mueve dentro de la vaina, puede sacudirse o producir un sonido audible. *El dedo blanco* es consecuencia de una excesiva vibración de las máquinas herramienta, lo que provoca la constricción de las arteriolas dentro de los dedos. La falta de flujo sanguíneo resultante se manifiesta como un palidecimiento de la piel, con la correspondiente pérdida del control motor. Un efecto similar, que puede presentarse como resultado

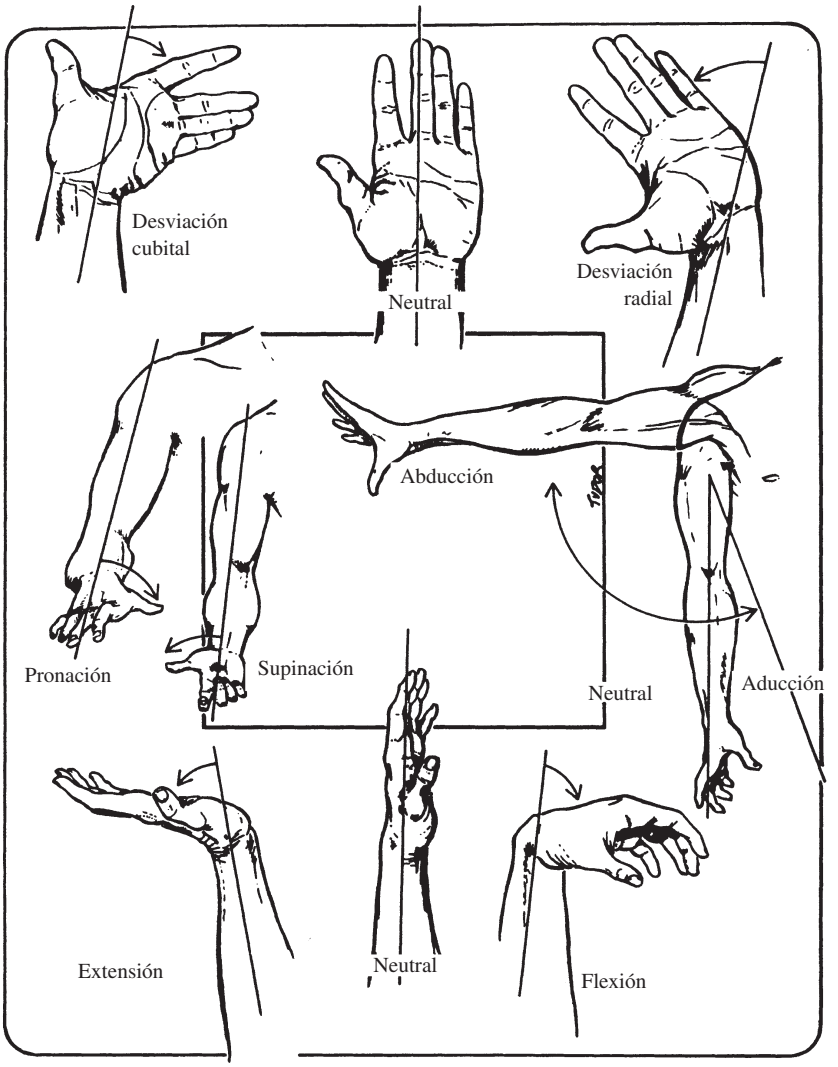


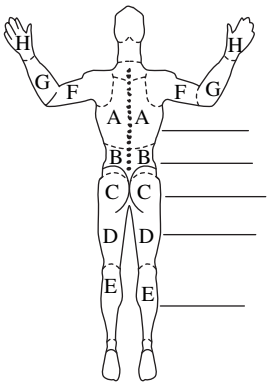
Figura 5.23 Posiciones de la mano y del brazo.
(*De*: Putz-Anderson, 1988.)

de una exposición al frío, se llama *síndrome de Raynaud*. Una muy buena introducción a éstos y otros CTD se pueden consultar en Putz-Anderson (1988).

No todas las incidencias son traumáticas. Se ha observado también que la fatiga e incomodidad de corto plazo son resultado de un pobre manejo y una deficiente orientación del martilleo así como de una forma inadecuada de la herramienta y mala altura del trabajo cuando se realizan tareas con desarmadores. Por lo general, un mal diseño de las manijas de una herramienta provoca que se deban ejercer elevadas fuerzas de sujeción y extremas desviaciones de la muñeca, lo que da como resultado una mayor fatiga (Freivalds, 1996).

Para evaluar el nivel de problemas relacionados con los CTD en una planta, el analista de métodos o ergonomista típicamente comienza con un estudio de los trabajadores con el fin de determinar su estado de salud e incomodidad durante la realización de sus labores. Una herramienta que se utiliza muy a menudo para este propósito es el *diagrama de incomodidad del cuerpo* (Corkett y Bishop, 1976; vea la figura 5.24), mediante el cual el trabajador evalúa el nivel de dolor o incomodidad en varias partes del cuerpo, en una escala del 0 (sin dolor) a 10 (casi máximo). La escala de evaluación se basa en la escala *de valores por categoría (CR-10)* de Borg (1990) con las anclas verbales que se muestran en la figura 5.24.

Un método más cuantitativo es el nuevo procedimiento de análisis de riesgos de los CTD que agrega los valores del riesgo de los tres factores causales más importantes en un solo resultado (vea figura 5.25; Seth *et al*., 1999). Un factor de frecuencia está determinado por el número de movimien-



0 Ningún dolor
.5 Dolor extremadamente ligero (apenas se nota)
1 Dolor muy ligero
2 Dolor débil (ligero)
3 Dolor moderado
4
5 Dolor fuerte (pesado)
6
7 Dolor muy fuerte
8
9
10 Dolor extremadamente intenso (casi el máximo)

● Dolor máximo

Figura 5.24 Diagrama de la incomodidad del cuerpo humano.
(Adaptado de Corlett y Bishop, 1976.)

tos dañinos para la muñeca, que después son puestos en una escala con un valor de umbral de 10 000. El factor de la postura se determina a partir del grado de desviación respecto a la postura neutral de los principales movimientos de las extremidades superiores. El factor fuerza se determina a partir del porcentaje relativo de la fuerza muscular máxima que se ejerce para realizar la tarea, y después se pone en una escala de 15%, el máximo valor permitido para contracciones estáticas extendidas (vea el capítulo 4). Un factor misceláneo final incorpora una gran variedad de condiciones que pueden jugar un papel en las causas de los CTD, como la vibración y la temperatura, los cuales se ponderan de manera adecuada y después se suman para determinar un índice final de riesgo al CTD. En condiciones relativamente seguras, dicho índice debe ser menor a 1 (parecido al índice de levantamiento del NIOSH, capítulo 4).

Un ejemplo (vea la figura 5.25) analiza el estrés CTD en el que se incurre en una operación de corte altamente repetitiva que se describe con mayor detalle en el ejemplo 8.1. Tanto el factor de frecuencia de 1.55 como el factor de fuerza de 2.00 exceden el umbral de seguridad de 1.0, lo cual da como resultado un valor total de riesgo de 1.34, que también supera a 1.0. Por lo tanto, el método más eficaz consiste en reducir la frecuencia mediante la eliminación o combinación de movimientos innecesarios (los cuales pueden o no ser factibles) y la reducción de la componente de la fuerza mediante la modificación del agarre utilizado (la base del cambio de métodos del ejemplo 8.1).

El índice CTD ha demostrado ser muy exitoso en la identificación de trabajos que producen lesiones, pero funciona mucho mejor en bases relativas más que en absolutas, por ejemplo, en trabajos críticos de ordenamiento por rango. Observe que el índice de riesgo CTD también sirve como una lista de verificación útil para identificar posturas muy deficientes y como una herramienta de diseño para seleccionar las condiciones clave para el rediseño.

5.5 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE TRABAJO: HERRAMIENTAS

UTILICE UN AGARRE DE FUERZA PARA LAS TAREAS QUE REQUIERAN FUERZA Y AGARRE DE PRECISIÓN PARA AQUELLAS QUE REQUIERAN PRECISIÓN

La *aprehensión* de la mano puede definirse básicamente como las variaciones del agarre entre dos extremos: un agarre de fuerza y un agarre de presión. En el agarre de fuerza, la empuñadura cilíndrica de la herramienta, cuyo eje es más o menos perpendicular al antebrazo, se mantiene en sujeción por los dedos flexionados parcialmente sobre la palma. El dedo pulgar ejerce una presión en sentido opuesto, que se superpone ligeramente con el dedo medio (vea la figura 5.26). La línea de acción de la fuerza puede variar según 1) la fuerza paralela al antebrazo, como cuando se serrucha; 2) la fuerza a un determinado ángulo respecto al antebrazo, como cuando se martilla; y 3) la fuerza que actúa en el brazo de palanca, que crea una torsión con relación al antebrazo, como cuando se usa el desarmador. Como su nombre implica, el agarre de fuerza se utiliza para ejercer fuerza o para sujetar

Índice de riesgo de los CTD

Título del trabajo: ***CORTE***	Contador del VCR Núm. ***2371***	Fecha: ***1-26-***
Descripción del trabajo: ***SEPARAR NAVAJAS***	Departamento: ***ESCALPELO***	Analista: ***AF***

Tiempo del ciclo (en minutos; obtener de la grabadora de video)		① ***5***
Núm. de ciclos/Día = $\frac{(480 - \text{Comida} - \text{Descansos})}{\text{Tiempo del ciclo}} = \frac{(480 - 20 - 30)}{5} \times 60$	② ***5 160***	③ Mayor a 2a o 2b ***5 160***
Núm. de partes/Día (si se conoce)	②	
Núm. de movimientos de la mano/Ciclo		④ ***3***
Núm. de movimientos de la mano/Día		⑤ ***15 480***
		Factor de frecuencia (Dividir ⑤ entre 10 000) = ***1.55***

Encerrar en un círculo la condición adecuada	Puntos			
	0	1	2	3
Postura de trabajo	Sentado	Parado		
Postura de las manos 1: Presión de pulpo	No	Sí		
Postura de las manos 2: Presión en el costado	No	Sí		
Postura de las manos 3: Presión sobre la palma	No	Sí		
Postura de las manos 4: Presión sobre el dedo	No	Sí		
Postura de las manos 5: Agarre con fuerza	Sí	No		
Tipo de alcance	Horizontal	Arriba/Abajo		
Desviación de la mano 1: Flexión	No	Sí		
Desviación de la mano 2: Extensión	No	Sí		
Desviación de la mano 3: Desviación radial	No	Sí		
Desviación de la mano 4: Desviación cubital	No	Sí		
Rotación del antebrazo	Neutral	Hacia adentro/Hacia afuera		
Ángulos de los codos	=90°	≠90°		
Abducción de los hombros	0	<45°	<90°	>90°
Flexión de los hombros	0	<90°	<180°	>180°
Ángulo de la espalda/cuello	0	<45°	<90°	>90°
Equilibrio	Sí	No		
Total de puntos de las condiciones encerradas en un círculo				⑥ ***8***
				Factor de postura (Dividir ⑥ entre 10) = ***.80***

Fuerza de agarre o de presión que se utiliza en la tarea	⑦ ***30*** lbs.	⑨Dividir ⑦ entre ⑧
Máximo agarre o fuerza de presión	⑧ ***100*** lbs.	***.30***
		Factor de fuerza (Dividir ⑨ entre 0.15) = ***2.00***

	Puntos			
	0	1	2	3
Orilla puntiaguda	No	Sí		
Guante	No	Sí		
Vibración	No	Sí		
Tipo de acción	Dinámico	Intermitente	Estático	
Temperatura	Caliente	Frío		
				⑩ ***1***
				Factor misceláneo (Dividir ⑩ entre 3) = ***.33***

Índice de riesgo CTD = .3 × Frecuencia + Postura + Factores de fuerza + .1 × (Factor misceláneo)

Índice de riesgo CTD = × (***1.55 + .80 + 2.00***) + .1 × (***.33***) = ***1.34***

Figura 5.25 Índice de riesgo de los CTD.

objetos pesados. Sin embargo, a medida que los dedos o el dedo pulgar se desvían respecto al agarre cilíndrico, se produce una menor fuerza pero es mayor la precisión que puede ofrecerse. Por ejemplo, si se sostiene un martillo ligero como cuando se está clavando, el dedo pulgar puede desviarse con relación a la oposición de los dedos para alinearse con el mango. Si el dedo índice también se desvía del eje de la herramienta, como cuando se sostiene un cuchillo para realizar un corte preciso, este tipo de agarre se asemeja a una sujeción de presión, con la hoja presionada entre el dedo pulgar y

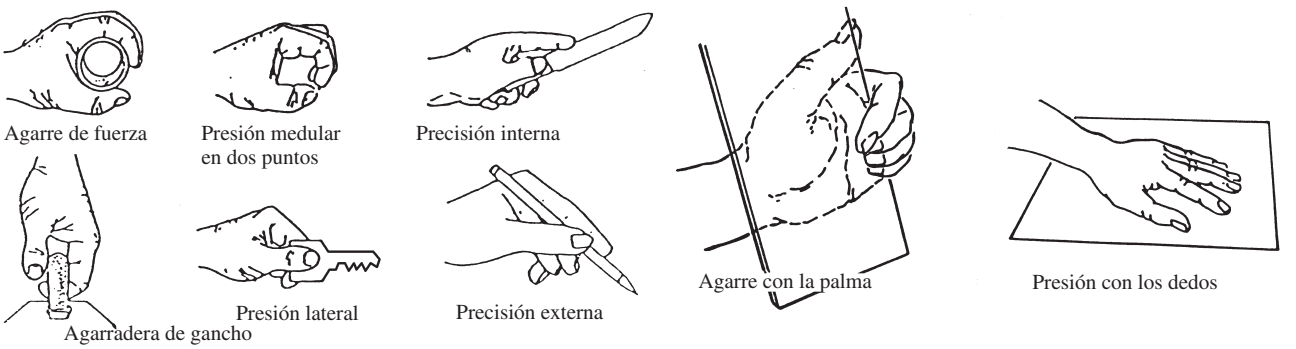


Figura 5.26 Tipos de agarre.

el dedo índice. En ocasiones, este agarre se denomina agarre de precisión interna (Konz y Johnson, 2000). Una sujeción mediante un asa, que se utiliza para sostener una caja o una agarradera, es un agarre de fuerza incompleto en el que no se aplica la fuerza opuesta del dedo pulgar, y, por ende, se reduce de manera considerable la fuerza de sujeción disponible.

El agarre de precisión se utiliza para control o precisión. Cuando se utiliza este tipo de sujeción, el artículo se sostiene entre los extremos distales de uno o más dedos y el dedo pulgar contrario (el dedo pulgar a veces se omite). La posición relativa del dedo pulgar y los otros dedos determina cuánta fuerza puede aplicarse y proporciona una superficie sensorial para recibir la retroalimentación necesaria para lograr la precisión que se necesita. Existen cuatro tipos básicos de agarres de precisión, con muchas variaciones (vea la figura 5.26): 1) presión lateral, cuando el dedo pulgar se opone a la parte lateral del dedo índice; 2) presiones en la punta de dos y tres puntos (o pulpo), en las que la punta (o base de la palma) del dedo pulgar se opone a las puntas (o bases de la palma) de uno o más dedos (en el caso de objetos cilíndricos relativamente pequeños, los tres dígitos actúan como un mandril, lo cual resulta en una sujeción de mandril); 3) presión de la palma, cuando los dedos se oponen a la palma de la mano sin que participe el dedo pulgar, como es el caso del transporte de una parabrisas de vidrio, y 4) presión con los dedos, cuando los pulgares así como lo demás dedos ejercen presión sobre una superficie, como si trabajadores de la industria de la confección alimentaran tela en una máquina de coser. Un agarre especializado es una sujeción de precisión externa o de escritura, esto es, una combinación de una fuerza lateral con el dedo medio y una fuerza en dos puntos para sostener al dispositivo de escritura (Konz y Johnson, 2000).

Una clasificación y jerarquización completa de los tipos de agarre se puede encontrar en Kroemer (1986). Observe la fuerza significativamente reducida de los agarres de presión en comparación con los agarres de fuerza (consulte la tabla 5.6). Nunca se debe aplicar fuerzas de gran magnitud a las sujeciones de presión.

EVITE LA CARGA MUSCULAR ESTÁTICA DURANTE PERIODOS PROLONGADOS

Cuando se utilizan herramientas en situaciones en las que es necesario levantar los brazos o sostener las herramientas por periodos prolongados, los músculos de los hombros, brazos y manos pueden cargarse estáticamente, lo cual trae como consecuencia la fatiga, una menor eficiencia laboral y dolor. La abducción de los hombros, con la correspondiente elevación de los codos, se presentará si el trabajo debe realizarse con una herramienta de sujeción tipo pistola sobre un lugar de trabajo horizontal. Una herramienta en línea o recta reduce la necesidad de levantar el brazo y también hace posible una postura neutral de la muñeca. El trabajo prolongado con los brazos extendidos, como es el caso de tareas de ensamble realizadas con fuerza, pueden producir dolor en el antebrazo. Cambiar la distribución del lugar de trabajo de tal manera que se mantengan los codos a 90° elimina la mayor parte del problema (vea la figura 5.4). De forma similar, mantener activado de manera continua un interruptor de activación puede producir fatiga de los dedos así como reducir la flexibilidad.

Tabla 5.6 Fuerzas relativas de los diferentes tipos de agarre

	Hombres		Mujeres		
Agarre	**lb**	**kg**	**lb**	**kg**	**Media en porcentaje del agarre de fuerza**
De fuerza	89.9	40.9	51.2	23.3	100
Presión en la punta	14.6	6.6	10.1	4.6	17.5
Presión medular	13.7	6.2	9.7	4.4	16.6
Presión lateral	24.5	11.1	17.1	7.8	29.5

Fuente: Adaptado de An *et al*, 1986.

REALICE MOVIMIENTOS DE TORCIDO CON LOS CODOS FLEXIONADOS

Cuando el codo está extendido, los tendones y músculos del brazo se estiran y, por lo tanto, producen poca fuerza. Cuando el codo se encuentra flexionado 90° o menos, los bíceps tienen una buena ventaja mecánica y pueden contribuir al giro del antebrazo.

MANTENGA LA MUÑECA ESTIRADA

A medida que la muñeca se mueve respecto a su posición neutral, se presenta una pérdida de fuerza en el agarre. Comenzando en una posición neutral de la muñeca, la pronación reduce 12% la fuerza de sujeción, 25% la flexión/extensión y 15% la desviación radial/anular (vea la figura 5.27). Además, las posiciones no naturales de las manos pueden dar como resultado dolores en las muñecas, pérdida de fuerza de agarre y, si se mantienen por mucho tiempo, la ocurrencia del síndrome del túnel carpal. Para reducir este problema, el lugar de trabajo o las herramientas se deben rediseñar con el fin de permitir que la muñeca siempre esté en una posición recta; por ejemplo, colocar más abajo la superficie de trabajo y las orillas de los contenedores e inclinar las agarraderas hacia el usuario. De manera similar, el mango de las herramientas debe reflejar el eje de la empuñadura, el cual está a aproxima-

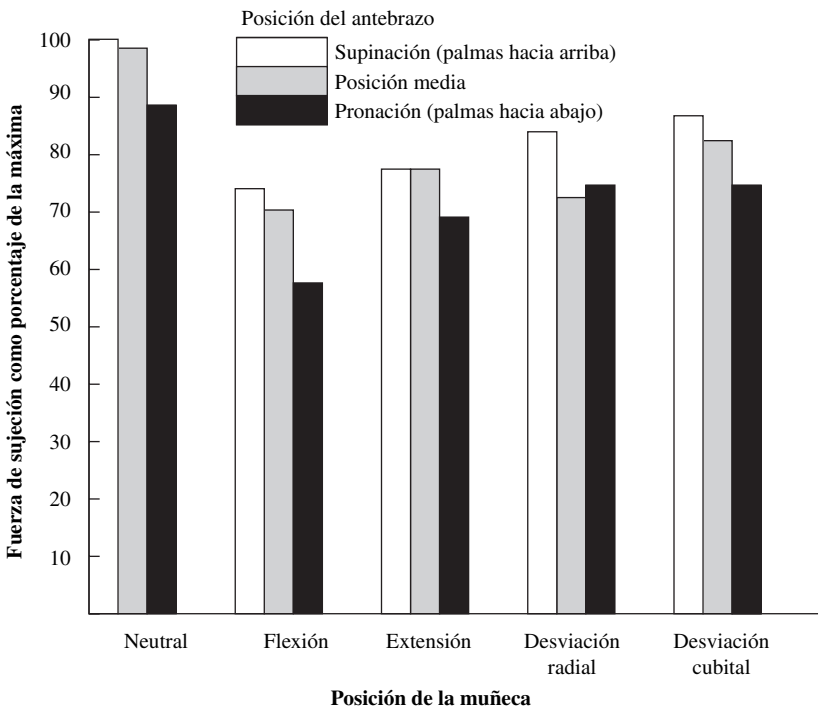


Figura 5.27 La fuerza de agarre en función de la posición de la muñeca y el antebrazo.
(*Fuente*: Basado en datos de Terrell y Purswell, 1976, tabla 1.)

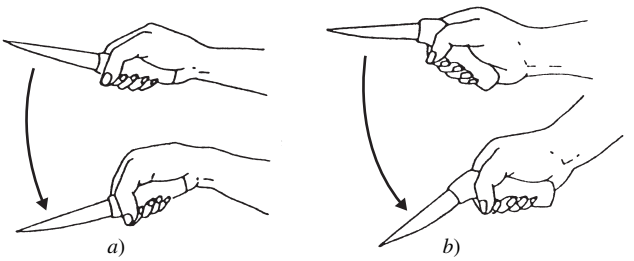


Figura 5.28 *a*) Cuchillo alineado convencional. *b*) Cuchillo de sujeción tipo pistola. (*De*: Putz-Anderson, 1988.)

damente 78° respecto a la horizontal y debe estar orientado de tal forma que el eje de la herramienta esté alineado con el dedo índice; ejemplos de lo anterior son los mangos de las pinzas para doblar y el cuchillo de sujeción de pistola (vea la figura 5.28).

EVITE LA COMPRESIÓN DE LOS TEJIDOS

A menudo, cuando se trabaja con herramientas manuales, la mano aplica una fuerza considerable. Dichas acciones pueden concentrar una fuerza de compresión de magnitud considerable sobre la palma de la mano y los dedos, lo que puede dar como resultado isquemia, esto es, la obstrucción del flujo sanguíneo hacia los tejidos y el entumecimiento y hormigueo de los dedos. Los mangos deben estar diseñados con grandes superficies de contacto con el fin de distribuir la fuerza sobre un área grande (vea la figura 5.29) o para dirigirla hacia áreas menos sensibles, tales como el tejido entre el dedo pulgar y el dedo índice. De manera similar, se deben evitar las ranuras o grietas en los mangos de las herramientas. Debido a que las manos pueden variar mucho en cuanto a tamaño, dichas ranuras sólo le serán útiles a una pequeña fracción de la población.

DISEÑE LAS HERRAMIENTAS DE TAL MANERA QUE PUEDAN SER EMPLEADAS CON CUALQUIER MANO POR LA MAYORÍA DE LAS PERSONAS

Alternar manos hace posible que se reduzca la fatiga muscular total. Sin embargo, en muchas situaciones, esto no es posible, ya que las herramientas están diseñadas para usarse con una mano. Además, si se diseña para usarse con la mano que el usuario prefiera, que para 90% de la población es la derecha, el resto, o sea 10%, quedaría inconforme. Buenos ejemplos de herramientas diseñadas para diestros que no pueden ser utilizadas por personas zurdas son el taladro con el mango lateral sólo en el lado izquierdo, la sierra circular y el cuchillo dentado diseñado para ser sólo de un lado. Por lo general, los hombres diestros muestran 12% de reducción de fuerza en la mano izquierda, mientras que las mujeres diestras padecen 7% de reducción de fuerza. Sorprendentemente, tanto los hombres como las mujeres zurdas tienen casi la misma fuerza en ambas manos. Una conclusión es que las personas zurdas son obligadas a adaptarse a un mundo diseñado para los diestros (Miller y Freivalds, 1987).

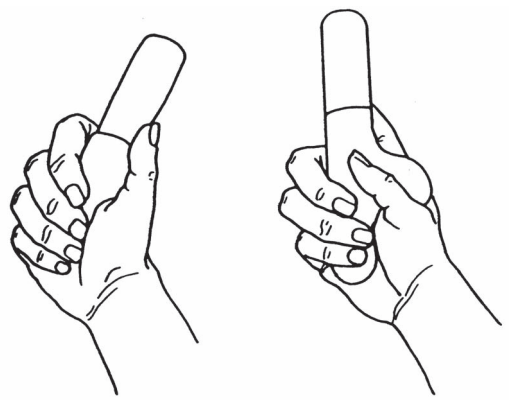
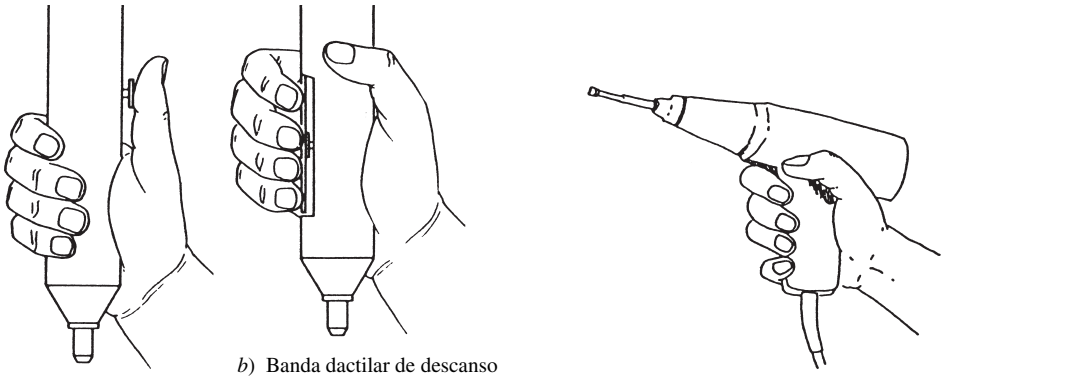


Figura 5.29 Diseño del mango. Aquí se muestra una rasqueta convencional para pintado *a*) que ejerce presión sobre la arteria cubital y un mango modificado *b*) que descansa en los tejidos duros entre el dedo pulgar y el índice y evita que se ejerza presión sobre las áreas críticas de la mano. Observe que el mango se extiende más allá de la base de la palma. (*Fuente*: Tichauer, 1967.)



a) Interruptor para el dedo pulgar

b) Banda dactilar de descanso

c) Disparo con tres dedos para herramientas automáticas

Figura 5.30 Herramienta neumática operada mediante el dedo pulgar y con la banda dactilar. La operación con el dedo pulgar *a*) resulta en la sobreextensión del dedo pulgar. El control con la banda dactilar *b*, *c*) permite que todos los dedos compartan la carga y el dedo pulgar sujete y guíe la herramienta.

La fuerza de agarre de la mujer varía entre 50 y 67% respecto a la de los hombres (Pheasant y Scriven, 1983). Por ejemplo, se puede esperar que el hombre promedio ejerza aproximadamente 110 libras (50 kg) mientras que la mujer promedio lo hará en alrededor de 60 libras (27.3 kg). Las mujeres tienen una desventaja doble: una menor fuerza de sujeción y un menor alcance promedio. La mejor solución consiste en ofrecer una amplia variedad de tamaños de herramientas.

EVITE EL MOVIMIENTO DACTILAR REPETITIVO

Si el dedo índice se utiliza de manera excesiva para operar disparadores, se desarrollarían síntomas del dedo disparador. Las fuerzas del disparo deben minimizarse lo más posible, de preferencia por debajo de 2 libras (0.9 kg) (Eastman Kodak, 1983), para reducir la carga en dicho dedo. Son preferibles los controles operados por dos o tres dedos (vea la figura 5.30); los controles de banda dactilar o la barra de sujeción de fuerza es aún mejor, ya que requieren el uso de más dedos más fuertes. En la tabla 5.7 se muestran las fuerzas absolutas de flexión de los dedos y sus contribuciones relacionadas con la sujeción.

Cuando se debe utilizar una herramienta de dos mangos, un mecanismo a base de resortes evita que los dedos tengan que regresar la herramienta a su posición inicial. Además, se debe evitar un elevado número de repeticiones. A pesar de que los niveles críticos de las repeticiones no se conocen, NIOSH (1989) demostró que existen elevados índices de desórdenes de músculo y tendón en los trabajadores que exceden 10 000 movimientos diarios.

UTILICE LOS DEDOS MÁS FUERTES PARA TRABAJAR: EL DEDO MEDIO Y EL PULGAR

A pesar de que el dedo índice es por lo común el que puede moverse más rápido, no es el más fuerte (vea la tabla 5.7). Cuando se trate de una carga relativamente pesada, en general resulta más eficiente el uso del dedo medio o una combinación del dedo medio y del índice.

Tabla 5.7 Fuerzas estáticas máximas de flexión de los dedos

	Fuerza máxima			
Dedo	**lb**	**kg**	**Porcentaje de fuerza (del dedo pulgar)**	**Porcentaje de contribución al agarre de fuerza**
Pulgar	16	7.3	100	—
Índice	13	5.9	81	29
Medio	14	6.4	88	31
Anular	11	5.0	69	24
Meñique	7	3.2	44	16

Fuente: Adaptado de Hertzberg, 1973.

DISEÑE MANGOS DE 1.5 PULGADAS DE DIÁMETRO PARA AGARRES DE FUERZA

Los agarres de fuerza alrededor de un objeto cilíndrico deben encerrar completamente la circunferencia del cilindro, con los dedos y el pulgar apenas tocándose. Para la mayoría de las personas, esto representa un diámetro del mango de aproximadamente 1.5 pulgadas (3.8 cm), lo que genera una actividad ECM mínima, un deterioro mínimo del tiempo de sujeción y fuerzas máximas de empuje. En general, el extremo superior del rango es mejor para una torsión máxima, y el extremo inferior es mejor para una mayor destreza y velocidad. El diámetro del mango para agarres de precisión debe ser de aproximadamente 0.5 pulgadas (1.3 cm) (Freivalds, 1996).

DISEÑE EL LARGO DE LOS MANGOS CON UN MÍNIMO DE 4 PULGADAS

Tanto en el caso de mangos como de cortes, debe haber espacio suficiente para que quepan los cuatro dedos. El ancho de la mano a lo largo de los metacarpianos varía entre 2.8 pulgadas (7.1 cm) para el 5° percentil de las mujeres y 3.8 pulgadas (9.7 cm) para el 95avo. percentil para los hombres (Garrett, 1971).

Por lo tanto, 4 pulgadas (10 cm) pueden ser un mínimo razonable, pero 5 pulgadas (12.5 cm) puede ser un valor muy recomendable. Si la sujeción está encerrada o si se utilizan guantes, se recomienda tener un espacio más grande para sujetar la herramienta. Para un agarre de precisión externa, el mango de la herramienta debe ser lo suficientemente largo para poder ser soportado en la base del primer dedo o el dedo pulgar. En el caso de un agarre de precisión interna, la herramienta debe extenderse más allá de la palma, pero no tanto como para que golpee la muñeca (Konz y Johnson, 2000).

DISEÑE UN ESPACIO DE AGARRE DE 3 PULGADAS PARA LAS HERRAMIENTAS CON DOS MANGOS

La fuerza de sujeción y la tensión resultante en los tendones flexores de los dedos varían en función del tamaño del objeto que se desee tomar. Con un dinamómetro con mangos que formen un ángulo hacia adentro, se logra una máxima fuerza de sujeción en aproximadamente 3 a 3.2 pulgadas (7.68.1 cm) (Chaffin y Anderson, 1991). A distancias diferentes respecto a la óptima, el porcentaje de fuerza de sujeción disminuye (vea la figura 5.31), como se define en la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de la fuerza de agarre} = 100 - 0.28*S - 65.8*S^2$$

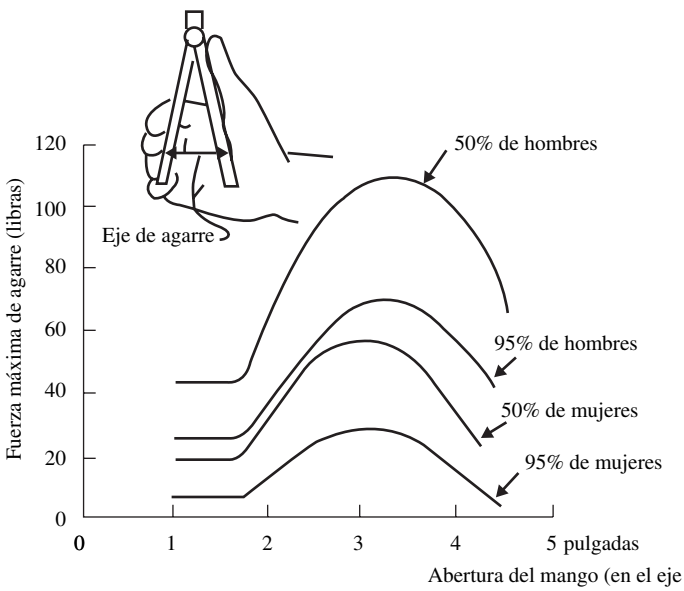


Figura 5.31 Capacidad de fuerza de agarre de varias distribuciones de población en función del rango de sujeción.
(*De*: Greenberg y Chaffin, 1976.)

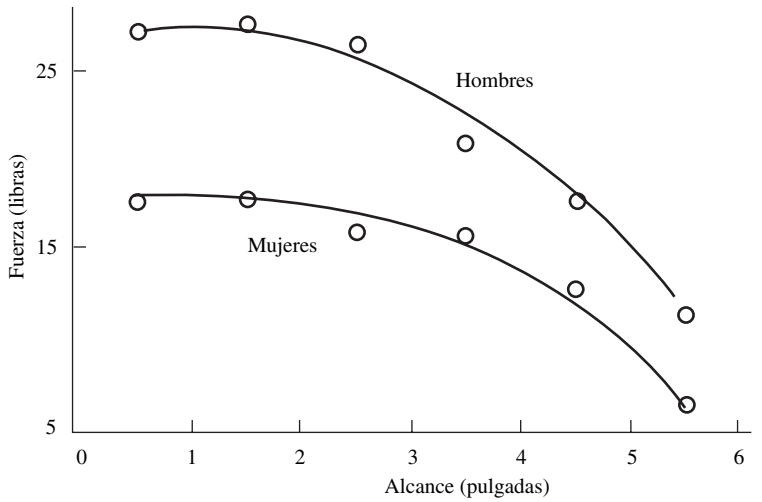


Figura 5.32 Capacidad de fuerza de la presión medular para varios alcances. (*De*: Hefferman y Freivalds, 2000.)

donde *S* es el rango de agarre dado menos el rango de agarre óptimo (3 pulgadas en el caso de las mujeres y 3.2 en el caso de los hombres). En dinamómetros con lados paralelos, este rango óptimo disminuye de 1.8 a 2 pulgadas (4.5 a 5 cm) (Pheasant y Scriven, 1983). Debido a la gran variación de las capacidades individuales en cuanto a fuerza y a la necesidad de satisfacer a la mayoría de la población laboral (es decir, el 5o. percentil de mujeres), los requisitos de sujeción máxima deben limitarse a menos de 20 libras. Un efecto similar se puede encontrar en la fuerza de precisión (vea la figura 5.32). Sin embargo, la fuerza de precisión total está a un nivel mucho más reducido (aproximadamente 20% del agarre de fuerza) y el espacio de precisión (para una presión medular en 4 puntos) varía de 0.5 a 2 pulgadas (1.3 a 5.1 cm) y después se reduce significativamente para rangos mayores (Heffernan y Freivalds, 2000).

DISEÑE LOS MANGOS CON LA FORMA APROPIADA

Para un agarre de fuerza, diseñe para la máxima superficie de contacto con el fin de minimizar la presión unitaria de la mano. Por lo general, se piensa que una herramienta con sección transversal circular proporciona la torsión más grande. Sin embargo, la forma puede depender del tipo de tarea y de los movimientos involucrados (Cochran y Riley, 1986). Por ejemplo, la fuerza máxima de jalado y los mejores empujes se obtienen en realidad usando una sección transversal triangular. Para una manipulación de tipo rodante, la forma triangular es la más lenta. La forma rectangular (con las esquinas redondeadas) con relaciones ancho/altura de 1:1.25 a 1:1.5 parecen ser un buen intercambio. Una ventaja adicional de la sección transversal rectangular es que la herramienta no rueda cuando se coloca sobre una mesa. Asimismo, los mangos no deben tener la forma de un cilindro perfecto, excepto en una sujeción de gancho. En el caso de las herramientas tipo desarmador, el extremo del mango debe ser redondo con el fin de evitar presiones indebidas sobre la palma; en el caso de las herramientas tipo martillo, el mango puede tener un curvado plano, para indicar su extremo.

A partir de los mangos en forma circular cilíndricamente, Bullinger y Solf (1979) propusieron un diseño más radical utilizando una sección transversal hexagonal, en forma de dos conos truncados que se conectan en los extremos más largos. Dicha forma se amolda mejor a los contornos de la palma y del dedo en los agarres de precisión y de fuerza, y proporciona las torsiones más grandes en comparación con los mangos convencionales. Una forma cónica similar doblemente truncada fue desarrollada también para un mango de lima. En este caso, se pudo observar que la sección transversal totalmente redonda en forma de cuadrado era significativamente superior a la mayoría de las formas convencionales.

Una nota final acerca de la forma es que los mangos en T ofrecen un torque mucho mayor (hasta 50% más) que los mangos rectos tipo desarmador. La inclinación del mango en T genera torsiones aún mayores a la vez que permite que la muñeca se mantenga derecha (Saran, 1973).

DISEÑE LA SUPERFICIE DE AGARRE DE TAL FORMA QUE SEA COMPRIMIBLE Y NO-CONDUCTORA

Durante siglos, la madera fue el material preferido para fabricar los mangos de las herramientas. La madera se encuentra disponible en muchos lugares y se trabaja muy fácilmente. Tiene una buena resistencia contra los golpes y a la conductividad térmica y eléctrica y posee buenas cualidades de fricción, aun cuando se encuentre húmeda. Puesto que los mangos de madera pueden romperse y mancharse con grasa y aceite, en los últimos años se ha presentado un cambio significativo al uso del plástico o, inclusive, del metal. Sin embargo, debe estar recubierto con hule o cuero con el fin de amortiguar los golpes, reducir la conductividad eléctrica e incrementar la fricción (Fraser, 1980). Dichos materiales compresibles también amortiguan las vibraciones y permiten una mejor distribución de la presión, a la vez que reducen la fatiga y las tensiones en la mano (Fellows y Freivalds, 1991). Sin embargo, el material de sujeción no debe ser muy suave; de otra forma, los objetos puntiagudos tales como las rebabas metálicas, permanecerán en el mango y harán difícil la utilización de la herramienta. La superficie de agarre debe maximizarse con el fin de garantizar la distribución de presión sobre un área lo mayor posible. La presión excesiva en un solo punto puede causar el dolor suficiente como para detener el trabajo que se esté realizando.

Las características de fricción de la superficie de la herramienta varían en función de la presión ejercida por la mano, el alisamiento y la porosidad de la superficie y el tipo de contaminación (Bobjer *et al*., 1993). El sudor incrementa el coeficiente de fricción, mientras que el aceite y la grasa lo reducen. La cinta adhesiva y las fundas de ante proporcionan una buena cantidad de fricción cuando hay humedad. El tipo de patrón de superficie, como lo define la relación entre el área rugosa y el área ranurada, muestran algunas características interesantes. Cuando la mano se encuentra limpia o sudorosa, las fricciones máximas se obtienen cuando dicha relación es elevada (lo que maximiza el área de contacto superficie-mano); cuando la mano está contaminada, las fricciones máximas se obtienen cuando dicha relación es pequeña (lo cual maximiza la capacidad de eliminar los contaminantes).

MANTENGA EL PESO DE LA HERRAMIENTA MENOR A LAS 5 LIBRAS

El peso de la herramienta de mano determina cuánto tiempo se puede sostener o utilizar y con qué precisión puede manipularse. En el caso de las herramientas que se pueden sostener con una sola mano con el codo a 90° por periodos prolongados, Greenberg y Chaffin (1976) recomiendan cargas de no más de 5 libras (2.3 kg). Además, la herramienta debe estar bien equilibrada, con el centro de gravedad tan cercano como sea posible al centro de gravedad de la mano (a menos que el propósito de la herramienta sea transferir fuerza, como es el caso de un martillo). Por lo tanto, los músculos de la mano y del brazo no necesitan oponerse a cualquier torsión que desarrolle una herramienta desequilibrada. Las herramientas pesadas que se utilizan para absorber impactos o vibraciones deben estar montadas sobre brazos telescópicos o balanceadores de herramienta con el fin de reducir el esfuerzo que el operador necesita realizar. En el caso de las operaciones en las que se requiere precisión, no se recomiendan herramientas con pesos mayores a 1 libra, a menos que se utilice un sistema de contrapesos.

UTILICE LOS GUANTES CON CRITERIO

Con frecuencia, los guantes se utilizan para manipular herramientas de mano por razones de seguridad y comodidad. Los guantes de seguridad son poco voluminosos, pero los que se usan en climas por debajo del punto de congelación pueden ser muy pesados e interferir con la facilidad de tomar los objetos. El uso de guantes de lana o piel puede aumentar en 0.2 pulgadas (0.5 cm) el grosor de la mano y 0.3 pulgadas (0.8 cm) el ancho de la mano hasta el dedo pulgar, mientras que las manoplas pesadas agregan 1 pulgada (2.5 cm) y 1.6 pulgadas (4.0 cm), respectivamente (Damon *et al*, 1966). Lo que es más importante, los guantes reducen la fuerza de agarre entre 10 y 20% (Hertzberg, 1973), la producción de torsión y los tiempos de desempeño de destreza manual. Los guantes de neopreno hacen 12.5% más lentos los tiempos de desempeño respecto al desempeño con las manos desnudas, la toalla 36%, el cuero 45% y el PVC 64% (Weidman, 1970). Se debe considerar como un intercambio entre una mayor seguridad y un menor desempeño con el uso de guantes.

UTILICE HERRAMIENTAS AUTOMÁTICAS TALES COMO COLOCADORES DE TUERCAS Y DESARMADORES EN LUGAR DE HERRAMIENTAS MANUALES

Las herramientas eléctricas no sólo realizan el trabajo más rápido que las manuales sino que fatigan considerablemente menos al operador. Se puede esperar una mayor uniformidad en el producto cuando se utilizan herramientas eléctricas. Por ejemplo, un apretador automático puede colocar tuercas de manera consistente a una determinada presión en pulgadas-libras, mientras que no se puede esperar que un apretador de tuercas manual mantenga una presión constante de apretado debido a la fatiga.

Sin embargo, con ello se pierde algo. Las herramientas eléctricas y automáticas generan vibración, la cual puede producir el síndrome de los dedos blancos, cuyo primer síntoma es la reducción del flujo sanguíneo hacia los dedos y las manos debido a la *vasoconstricción* de los vasos sanguíneos. Como resultado de ello se presenta una pérdida de retroalimentación sensorial y un desempeño aminorado. Además, esta condición puede contribuir al desarrollo del síndrome del túnel carpal, especialmente en trabajos que implican una combinación de movimientos fuertes y repetitivos. En general, se recomienda que se eviten vibraciones que se encuentren en el rango crítico de 40 a 130 Hz o ligeramente mayores (pero más seguro) entre 2 y 200 Hz (Lundstrom y Johansson, 1986). La exposición a la vibración puede minimizarse mediante la reducción de la fuerza de alimentación, el uso de mangos especialmente diseñados para amortiguarla (Anderson, 1990) o el uso de guantes que la absorben y un mejor mantenimiento con el fin de reducir la falta de alineación o desequilibrio de los ejes.

UTILICE LAS CONFIGURACIONES Y ORIENTACIONES APROPIADAS DE LAS HERRAMIENTAS AUTOMÁTICAS

En el caso de un taladro u otras herramientas automáticas, la función principal del operador consiste en sostener, estabilizar y supervisar la herramienta sobre una pieza de trabajo, mientras llevan a cabo el trabajo donde se requiere mayor esfuerzo. A pesar de que, en algunas ocasiones, el operador tenga que desplazar u orientar la herramienta, su función principal consiste en tomar y sostener la herramienta. Un taladro manual está compuesto por una cabeza, un cuerpo y un mango idealmente alineados. La línea de acción está representada por la línea del dedo índice extendido, lo cual significa que en un taladro ideal, la cabeza está descentrada respecto al eje central del cuerpo.

La configuración del mango es también un aspecto importante. Las opciones son la sujeción tipo pistola, en línea o en ángulo recto. Como regla general, las sujeciones en línea y en ángulo recto son las mejores para apretar hacia abajo sobre una superficie horizontal, mientras que las de tipo pistola son más adecuadas para apretar sobre una superficie vertical. En todos los casos, el objetivo es obtener una postura parada con la espalda recta, los brazos superiores colgados hacia abajo y la muñeca recta (vea la figura 5.33). Cuando se elige la sujeción tipo pistola, la posición del mango genera un ángulo de aproximadamente 78° con relación a la horizontal (Fraser, 1980).

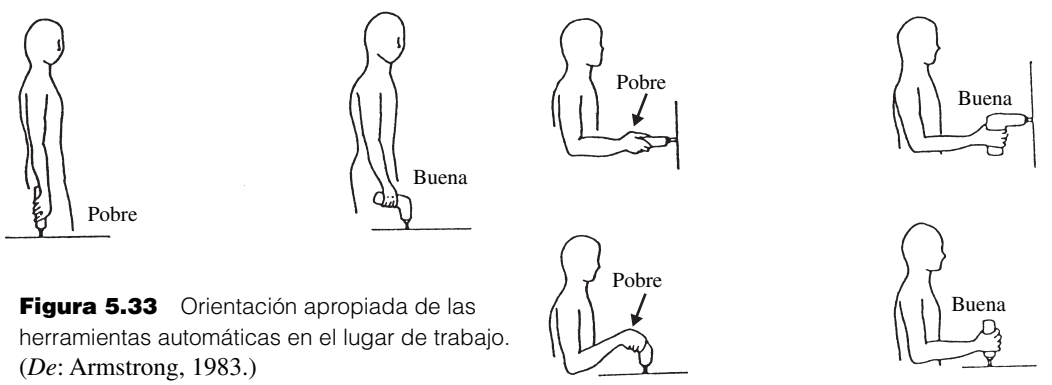


Figura 5.33 Orientación apropiada de las herramientas automáticas en el lugar de trabajo. (*De*: Armstrong, 1983.)

Otro factor importante es el centro de gravedad. Si está muy alejado hacia adelante respecto al cuerpo de la herramienta, se produce un momento giratorio, el cual deberá ser eliminado por los músculos de la mano y del antebrazo. Esta tarea extra implica un esfuerzo muscular adicional que se requiere para sostener, mantener en posición y presionar el taladro hacia la pieza de trabajo. El mango principal se coloca directamente por debajo del centro de gravedad, de tal manera que el cuerpo sobresalga por detrás del mango, así como también por el frente. Para perforaciones muy profundas, puede ser necesario instalar un mango de soporte secundario, ya sea en la parte lateral o de preferencia por debajo de la herramienta, de tal manera que el brazo de soporte pueda meterse en el cuerpo en lugar de ser abducido.

SELECCIONE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA CON LAS CARACTERÍSTICAS APROPIADAS

Las herramientas automáticas, tales como los colocadores utilizados para apretar tuercas se encuentran disponibles en el mercado en una gran variedad de configuraciones de mangos, diámetros de ejes, velocidades, pesos, mecanismos de apagado y salidas de torsión. Esta última se transfiere del motor hacia el eje a través de una gran variedad de mecanismos, de tal manera que la potencia (a menudo generada por medio de aire comprimido) pueda interrumpirse rápidamente una vez que la tuerca u otro sujetador estén apretados. El mecanismo más simple y barato es un controlador directo, bajo el control del operador, pero debido al tiempo prolongado que se necesita para liberar el disparador una vez que la tuerca se haya apretado, este tipo de controlador transfiere un torque de reacción muy grande hacia el brazo del operario. Los embragues de fricción mecánica permiten que el eje se deslice, lo que reduce, en parte, esta torsión de reacción. Un mecanismo más adecuado para reducir la torsión de reacción es el apagado mediante un flujo de aire, el cual sensa automáticamente cuándo se debe cortar el suministro de aire a medida que la tuerca se aprieta. Un mecanismo todavía más rápido es un embrague mecánico automático de apagado. Entre los mecanismos más recientes se puede mencionar el sistema hidráulico de pulsos, en el cual la energía rotacional proveniente del motor se transfiere a través de una unidad de pulsos que contiene un amortiguador de aceite (que filtra los pulsos de alta frecuencia, así como el ruido), y un sistema de pulsos eléctricos similar, los cuales reducen en gran medida el torque de reacción (Freivalds y Eklund, 1993).

Las variaciones de la torsión dada a la tuerca depende de varias condiciones, entre las que se destacan: las propiedades de la herramienta; el operador; las propiedades de la articulación, por ejemplo, la combinación del apretador y el material que está siendo apretado (el cual puede variar desde suave, en el cual los materiales cuentan con propiedades elásticas, como los paneles del cuerpo, hasta duro, en los que hay dos superficies rígidas, tales como las poleas de una grúa); y estabilidad del suministro de aire. El torque que experimenta el usuario (el torque de reacción) depende de dichos factores a los cuales se les suma el sistema de apagado del torque. En general, el uso de herramientas eléctricas a velocidades en rpm menores a las normales o la deficiente alimentación de las herramientas neumáticas, dan como resultado torques de reacción más grandes y valores más estresantes. Las herramientas tipo pulsadas generan los menores torques de reacción, quizá debido a que los pulsos cortos "reducen" el torque de reacción. Otros problemas potenciales son el ruido de los mecanismos neumáticos el cual alcanza niveles del orden de los 95 dB(A), niveles de vibración que excedan a los 132 dB(V) y el polvo o humos de aceite que emanan del escape (Freivalds y Eklund, 1993).

UTILICE LAS BARRAS DE REACCIÓN Y LOS BALANCEADORES DE HERRAMIENTA EN LAS MÁQUINAS AUTOMÁTICAS

Se deben proporcionar barras para el torque de reacción si el torque excede a 53 pulgadas·libra (6 N · m) en el caso de las herramientas alineadas que se utilizan para realizar una acción hacia abajo, 106 pulgadas · libra (12 N · m) para las herramientas de agarre tipo pistola que se utilizan en modo horizontal y 444 pulgadas·libra (50 N · m) para herramientas con ángulo recto que se utilizan en movimiento hacia abajo y hacia arriba (Mital y Kilbom, 1992).

Principios básicos	**Sí**	**No**
1. ¿La herramienta realiza la función deseada de manera eficiente?	❑	❑
2. ¿La herramienta se adecua al tamaño y fuerza del operador?	❑	❑
3. ¿Se puede utilizar la herramienta sin que cause fatiga?	❑	❑
4. ¿Proporciona la herramienta retroalimentación sensorial?	❑	❑
5. ¿Son razonables los costos de capital y mantenimiento de las herramientas?	❑	❑
Detalles anatómicos	**Sí**	**No**
1. Si se requiere de fuerza, ¿puede tomarse la herramienta mediante un agarre de fuerza (es decir, con la mano)?	❑	❑
2. ¿Se puede utilizar la herramienta sin abducir los hombros?	❑	❑
3. ¿Se puede utilizar la herramienta con un ángulo de 90º en los codos (es decir, con los antebrazos en dirección horizontal)?	❑	❑
4. ¿Se puede utilizar la herramienta con las muñecas extendidas?	❑	❑
5. ¿El mango de la herramienta cuenta con superficies de contacto grandes para distribuir las fuerzas?	❑	❑
6. ¿Puede utilizarse bancota herramienta de manera cómoda por el 5o. percentil de operadores mujeres?	❑	❑
7. ¿Puede utilizarse la herramienta con cualquier mano?	❑	❑
Mangos y agarraderas	**Sí**	**No**
1. Para usos de trabajo pesado, ¿es el mango de la herramienta de 1.5 a 2 pulgadas de diámetro?	❑	❑
a) ¿Puede tomarse el mango con el dedo pulgar y los demás dedos ligeramente sobrepuestos?	❑	❑
2. En tareas de precisión, ¿es el mango de la herramienta de 5/16 a 5/8 pulgadas de diámetro?	❑	❑
3. ¿Es la sección transversal del mango circular?	❑	❑
4. ¿Es la longitud del mango de al menos 4 pulgadas (5 pulgadas si se usan guantes)?	❑	❑
5. ¿Tiene la superficie del mango una fina textura y una ligera compresibilidad?	❑	❑
6. ¿Es el mango no conductor y libre de manchas?	❑	❑
7. Para usos de trabajo pesado, ¿tiene la herramienta una sujeción tipo pistola con un ángulo de 78º?	❑	❑
8. ¿Puede una herramienta de dos mangos ser operada con menos de 20 libras de fuerza de agarre?	❑	❑
9. ¿Está la longitud de los mangos de las herramientas entre el rango de 2¾ y 3¼?	❑	❑
Consideraciones sobre las herramientas automáticas	**Sí**	**No**
1. ¿Son las fuerzas de activación del disparador menores a 1 libra?	❑	❑
2. En caso de uso repetitivo, ¿está presente el disparador con barra para los dedos?	❑	❑
3. ¿Se requiere de un número menor a 10 000 acciones de disparo por turno?	❑	❑
4. ¿Se proporciona una barra de reacción para torques que excedan:	❑	❑
a) 50 pulgadas-libra para herramientas en línea?	❑	❑
b) 100 pulgadas-libra para herramientas de sujeción tipo pistola?	❑	❑
c) 400 pulgadas-libra para herramientas con ángulo recto?	❑	❑
5. ¿La herramienta crea menos de 85 dBA en un día completo de exposición al ruido?	❑	❑
6. ¿Vibra la herramienta?	❑	❑
a) ¿Están las vibraciones fuera del rango de 2 a 200 Hz?	❑	❑
Aspectos diversos y consideraciones generales	**Sí**	**No**
1. Para uso general, ¿es el peso de la herramienta menor a 5 libras?	❑	❑
2. Para trabajos que requieren de precisión, ¿es el peso de la herramienta menor a 1 libra?	❑	❑
3. Para uso extendido, ¿se encuentra la herramienta suspendida?	❑	❑
4. ¿Está la herramienta balanceada (es decir, el centro de gravedad se encuentra en el eje de sujeción?	❑	❑
5. ¿Se puede utilizar la herramienta sin guantes?	❑	❑
6. ¿Tiene la herramienta topes para limitar el cierre y prevenir el mordisco?	❑	❑
7. ¿Tiene la herramienta las orillas redondeadas y lisas?	❑	❑

Figura 5.34 Lista de verificación para evaluar herramientas.

Esta información se resume en una lista de verificación para la evaluación de herramientas (vea la figura 5.34). Si la herramienta no cumple con las recomendaciones y características deseables, debe rediseñarse o reemplazarse.

RESUMEN

Muchos factores tienen un efecto significativo en la productividad y el bienestar del operador de una estación de trabajo. Es necesario aplicar la tecnología ergonómica más actual al equipo que se utiliza, así como también a las condiciones generales que rodean al área de trabajo. Además, se debe proporcionar una flexibilidad adecuada al lugar donde está el equipo y al ambiente de la estación de trabajo, de tal manera que se puedan satisfacer las variaciones en cuanto a altura, alcance, fuerza, tiempo de reflejos, etc., del empleado. Una mesa de trabajo que tenga 32 pulgadas (81 cm) de altura está muy bien para una trabajador de 75 pulgadas (191 cm), pero sería demasiado alta para un empleado de 66 pulgadas (167.6 cm). Las estaciones de trabajo y sillas con altura ajustable pueden satisfacer las demandas de un gran número de empleados, con base en más o menos dos desviaciones estándar con respecto a la norma. En la medida que se pueda ofrecer un centro de trabajo flexible que satisfaga a toda la variedad de trabajadores, serán mejores los resultados de productividad y la satisfacción del trabajador.

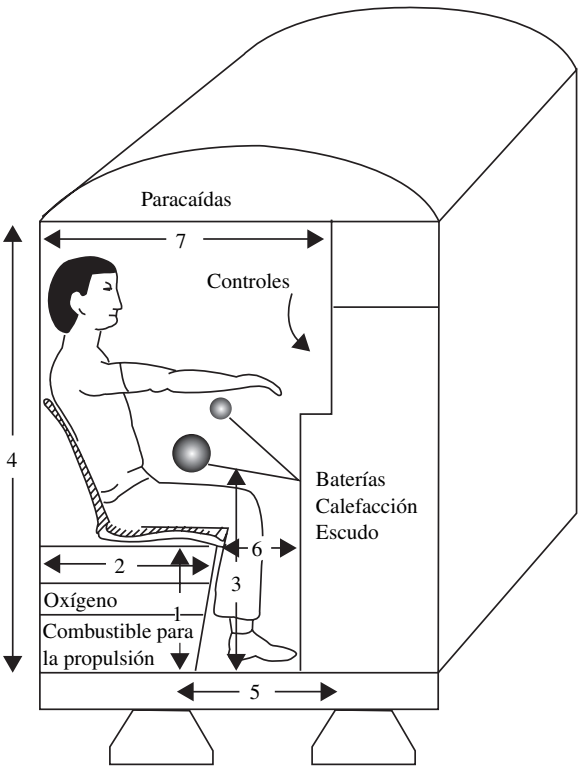
De la misma forma en que existen variaciones significativas en cuanto a altura y tamaño de la fuerza de trabajo, existen variaciones iguales o mayores de su capacidad visual, habilidad para oír, para sentir y su destreza manual. La gran mayoría de las estaciones de trabajo pueden mejorarse. La aplicación de los aspectos ergonómicos junto con la ingeniería de métodos dará como resultado ambientes de trabajo competitivos y más eficientes, que mejorarán el bienestar de los trabajadores, la calidad del producto, la facturación del negocio y el prestigio de la organización.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el ancho que debe tener una silla para que satisfaga a 90% de los adultos?
2. Compare y contraste las tres diferentes estrategias de diseño.
3. Explique cómo se podría determinar adecuadamente la altura de la superficie de trabajo.
4. ¿Cuáles son las características críticas de una silla bien diseñada desde el punto de vista ergonómico? ¿Cuáles deben ser ajustables?
5. ¿Cuál es el principio en el que se basa el diseño de un asiento tipo montura?
6. ¿Qué es la lordosis y cómo se relaciona con el soporte lumbar?
7. ¿Cuál es el principio de diseño de los tapetes antifatiga?
8. ¿Cuál es el principio de diseño de la distribución adecuada de contenedores, partes y herramientas en una superficie de trabajo?
9. ¿Por qué es un accesorio tan importante en el lugar de trabajo? Haga una lista de tantas como le sea posible.
10. ¿A qué se refiere el principio de Warrick respecto al diseño de controles y pantallas?
11. ¿Cuál es la línea de vista óptima?
12. Elabore una lista de los tres principios que sustentan la distribución de los componentes en un tablero.
13. ¿Qué es el efecto de rango?
14. Haga una lista de los tres principios de la compatibilidad efectiva control-pantalla.
15. ¿Qué es la codificación operacional?
16. ¿Cuál es la desventaja principal de los controles táctiles?
17. ¿Cómo se le conoce al "movimiento de control sin respuesta del sistema"?
18. Si la relación C/R aumenta de 1.0 a 4.0, ¿qué pasa con el tiempo de recorrido, el tiempo de ajuste y el tiempo total?
19. ¿Cuáles son los tres factores más importantes de la tarea que conducen a desórdenes de trauma acumulativo?
20. ¿Cuál es el factor más importante que provoca el dedo blanco?
21. ¿Qué es el dedo de disparo?
22. Describa el progreso del estado de la enfermedad del síndrome del túnel carpal.
23. Diseñe un mango ergonómico e indique todos los principios que se deben utilizar en su diseño.
24. ¿Cuáles son las preocupaciones clave en el diseño de una herramienta automática?

PROBLEMAS

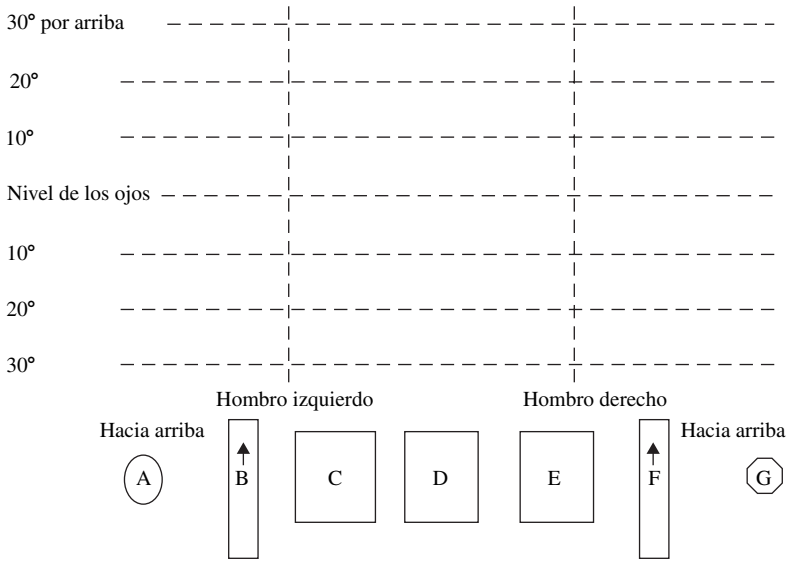
1. Debido al desastre del Challenger, la NASA decidió diseñar un sistema de escape personal (es decir, un compartimiento de lanzamiento) para cada astronauta del transbordador espacial. En razón de que



Característica del compartimiento de lanzamiento	Característica corporal	Principio de diseño	Valor real
1. Altura del asiento			
2. Profundidad del asiento			
3. Altura de la palanca			
4. Altura de compartimiento			
5. Profundidad del área para los pies			
6. Profundidad del área para las piernas			
7. Profundidad de la cámara			
8. Ancho del compartimiento			
9. Límite de peso			

el espacio es un factor de primordial importancia, el diseño antropométrico apropiado es un aspecto crucial. Asimismo, debido a restricciones presupuestales, el diseño debe ser no ajustable; es decir, el mismo diseño debe funcionar para todos los astronautas presentes y futuros, hombres y mujeres. Para cada una de las características del compartimiento de lanzamiento, indique la característica corporal utilizada en el diseño, el principio de diseño utilizado y el valor real (en pulgadas) que se empleará en su construcción.

2. Se le pide que diseñe un tablero de control/pantalla para el lanzamiento de escape de la NASA. Después del escape inicial, la propulsión se utilizará para desacelerar respecto al campo gravitacional terrestre. El paracaídas puede liberarse sólo dentro de un rango de altura reducido. Distribuya las siete pantallas/controles utilizando los cuadrantes del mismo tamaño que se muestran en el tablero de control que aparece en la tabla siguiente. Explique la lógica que siguió al realizar su distribución.



Control/Pantalla		Porcentaje de tiempo de vista	Importancia	Núm. de veces utilizados
A	Liberación del lanzamiento	1	Crítico	1
B	Nivel de combustible de propulsión	20	Muy importante	10
C	Indicador de la velocidad del aire	15	Importante	5
D	Presión de oxígeno	1	Sin importancia	2
E	Nivel de alimentación eléctrica	2	Importante	3
F	Indicador de altitud	60	Crítico	50
G	Liberación del paracaídas	1	Crítico	1

3. La Fundición Dorben utiliza una grúa con una cabeza magnética para cargar desperdicio de hierro en un horno de oxígeno. El operador de ella utiliza varias palancas con el fin de controlar los tres grados de libertad que necesita la grúa y su cabeza magnética. Se utiliza un control para activar/desactivar el empuje magnético de la cabeza. El operador está ubicado en la parte superior de la operación mirando hacia abajo la mayor parte del tiempo. Los operadores se quejan con frecuencia de dolores en la espalda. La información sobre diversos controles por palanca disponibles en el mercado es la siguiente:

Palanca	Distancia de lanzamiento (pulgadas)	Movimiento de la grúa (pies)	Tiempo para llegar al objetivo(s)
A	20	20	1.2
B	20	10	2.2
C	20	80	1.8
D	20	40	1.2

a) Diseñe un sistema de control apropiado para el operador de la grúa. Indique el número de controles necesarios, su ubicación (especialmente con referencia a la línea de vista del operador), su dirección de movimiento y su tipo de retroalimentación.
b) Exprese una relación control-respuesta apropiada para estos controles.
c) ¿Qué otros factores pueden ser de importancia para diseñar estos controles?

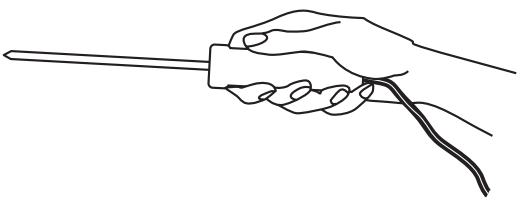
4. A continuación se muestran datos de dos configuraciones diferentes control-respuesta. Con base en dichos datos, ¿cuál es la relación C/R óptima para cada configuración? ¿Qué configuración (setup) considera que es la mejor?

Configuración	Relación C/R	Tiempo de recorrido (s)	Tiempo de ajuste (s)
	1	0.1	5
	5	1	2
A	10	5	0.5
	20	10	0.1
	2	1	6
	10	3	5
B	15	5	4
	20	10	3

5. En una planta pequeña de manufactura, el cautín que se muestra en la ilustración se utiliza para soldar las conexiones de un tablero vertical de grandes dimensiones. El año pasado se reportó que en este trabajo se habían producido varias lesiones músculo-esqueléticas además de muchas quejas por parte de los operadores. En general, parece ser que:

a) Resulta difícil ver el punto de aplicación cuando se está utilizando esta herramienta.
b) Los operadores sujetan innecesariamente la herramienta con mucha fuerza.
c) El cable de alimentación tiende a enredarse.
d) Los operadores se quejan de dolor en las muñecas.

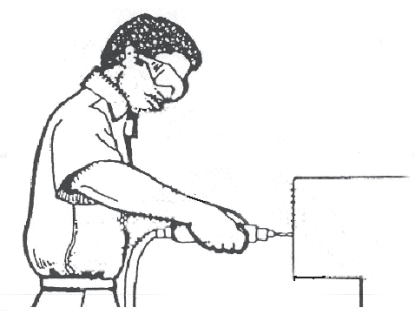
Rediseñe el cautín con el fin de eliminar los problemas mencionados anteriormente. Haga hincapié en la ergonomía u otras características especiales que usted haya incorporado a su diseño.



6. Utilice el índice de riesgos CTD para calcular el riesgo potencial de lesiones en la mano derecha de las siguientes tareas que se muestran en la página Web:

a) Extrusiones de estampado: suponga una fuerza de sujeción de 30% MVC.
b) Acoplamientos terminales del estampado: suponga una fuerza de sujeción de 15% MVC.
c) Ensamble relámpago: suponga una fuerza de sujeción de 15% MVC.
d) Ensamble de unión: suponga una sujeción de 15% MVC.
e) Ensamble de las guías de las camas de hospitales: suponga una fuerza de sujeción de 30% MVC.
f) Cosido (prendas): suponga una fuerza de sujeción de 30% MVC.
g) Etiquetado (prendas): suponga una fuerza de agarre de 15% MVC.
h) Cortar y etiquetar (prendas): suponga una fuerza de sujeción de 30% MVC.

7. El trabajador que se muestra en la parte inferior está colocando 4 tornillos en un tablero con una herramienta automática. Su producción es de 2 300 paneles por turno de 8 horas. ¿Qué problemas ergonómicos específicos se pueden encontrar en este trabajo? Para cada problema: *a*) especifique una mejora ergonómica que corregiría el problema y *b*) proporcione un principio específico de diseño de trabajo que apoye este cambio de método.



REFERENCIAS

An, K., L. Askew y E. Chao, "Biomechanics and Functional Assesment of Upper Extremities", en *Trends in Ergonomics/Human Factors III*. Ad. W. Karwowski, Amsterdam: Elsevier, 1986, pp. 573-580.

Andersson, E. R., "Design and Testing of a Vibration Attenuating Handle", en *International Journal of Industrial Ergonomics,* 6, núm. 2 (septiembre de 1990), pp. 119-125.

Andersson, G. B. J., R. Ortengren, A. Nachemson y G. Elfstrom, "Lumbar Disc Pressure y Myoelectric Back Muscle Activity During Sitting", I, Studies on an Experimental Chair, *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 6(1974), pp. 104-114.

Armstrong, T. J., *Ergonomics Guide to Carpal Tunnel Syndrome*, Faifax, VA: American Industrial Hygiene Association, 1983.

Bobjer, O., S. E. Johansson y S. Piguet, "Friction Between Hand and Andle. Effects of Oil and Lard on Textured and Non-textured Surfaces; Perception of Discomfort", en *Applied Ergonomics*, 24, núm. 3 (junio de 1993), pp. 190-202.

Borg, G., "Psychophysical Scaling with Applications in Physical Work and the Perception of Exertion", en *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 16, Supplement 1 (1990), pp. 55-58.

Bradley, J. V. (1967), Actual coding of cylindrical knobs, en *Human Factors*, 9(5), 483-496.

Bullinger, H. J. y J. J. Solf, *Ergonomische Arbeitsmittel-gestanltung, II-Handgefuhtre Werkzeuge-Fallstudien. Dortmund*, Alemania: Bundesanstalt fr Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1979.

Chaffin, D. B. y G. Andersson, *Occupational Biomechanics*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1991, pp. 355-368.

Cochran, D. J. y M. W. Riley, "An Evaluation of Knife Handle Guarding", en *Human Factors*, 28, núm. 3 (junio de 1986), pp. 295-301.

Congleton, J. J., *The Design and Evaluation of the Neutral Posture Chair*, Doctoral dissertation. Lubbock, TX: Texas Tech University, 1983.

Corlett, E. N. y R. A. Bishop, "A Technique for Assesing Postural Disconfort", en *Ergonomics*, 19, núm. 2 (marzo de 1976), pp. 175-182.

Damon, A., H. W. Stoudt y R. A. McFarland, *The Human Body in Equipment Design*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.

Eastman Kodak Co., *Ergonomic Design for People at Work*; Belmont, CA: Lifetime Learning Pub., 1983.

Fellows, G. L. y A. Freivalds, "Ergonomics Evaluation of a Foam Rubber Grip for Tool Handles", en *Applied Ergonomics*, 22, núm. 4 (agosto de 1991), pp. 225-230.

Fraser, T.M., *Ergonomic Principles in the Design of Hand Tools,* Ginebra, Suiza: International Labor Office, 1980.

Freivalds, A., "Tool Evaluation and Design", en *Occupational Ergonomics*, Eds. A. Bhattacharya y J. D. McGlothlin. Nueva York: Marcel Dekker, 1996, pp. 303-327.

Freivalds, A. y J. Eklund, "Reaction Torques and Operator Stress While using Powered Nutrunners", en *Applied Ergonomics*, 24, núm. 3 (junio de 1993), pp. 158-164.

Garret, J., "The Adult Human Hand: Some Anthropometric and Biomechanical Considerations", en *Human Factors*, 13, núm. 2 (abril de 1971), pp. 117-131.

Grandjean, E. (1998), *Fitting the task to the man*, 4a. ed. Londres: Taylor & Francis.

Greenberg, L. y D. B. Chaffin, *Workers and Their Tools*, Midland, MI: Pendell Press, 1976.

Heffernan, C. y A. Freivalds, "Optimum Pinch Grips in the Handling of Dies", en *Applied ergonomics*, 31(2000), pp. 409-414.

Hertzberg, H., "Enginnering Anthropometry", en *Human Engineering Guide to Equipment Design*, Eds. H. Van Cott y R. Kincaid, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1973, pp. 467-584.

Hunt, D.P. (1953), *The coding of aircraft controls* (Tech. Rept. 53-221). U.S. Air Force, Wright Air Development Center.

Jenkins, W. y Conner, M. B. (1949), Some design factors in making settings on a linear scale, en *Journal of Applied Psychology*, 33, 395-409.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed. Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.

Kroemer, K. H. E., "Coupling the Hand with the Handle: An Improved Notation of Touch, Grip and Grasp", en *Human Factors*, 28, núm. 3 (junio de 1986), pp. 337-339.

Kroemer, K. (1989), Engineering anthropometry, *Ergonomics*, 32(7), 767-784.

Lundstrom, R. y R. S. Johansson, "Acute Impairment of the Sensitivity of Skin Mechanoreceptive Units Caused by Vibrations Exposure of the Hand", en *Ergonomics*, 29, núm. 5 (mayo de 1986), pp. 687-698.

Miller, G. y A. Freivald, "Gender and Handedness in Grip Strenght", en *Proceedings of the Human Factors Society 31th Annual Meeting*, Santa Mónica, CA, 1987, pp. 906-909.
Mital, A. y A. Kilbom, "Designs, Selection and Use of hand Tools to Alleviate Trauma of the Upper Extremities", en *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, núm. 1 (enero de 1992), pp. 1-21.
Consejo de Seguridad Nacional, Accidents facts, Chicago: Consejo de Seguridad Nacional, 2003.
NIOSH, *Health Hazard Evaluations-Eagle Convex Glass*, Co. HETA-89-137-2005. Cincinnati, OH: National Institute if Occupational Seafty and Health, 1989.
Pheasant, S. T. y S. J. Scriven, "Sex Differences in Strenght, Some Implications for the Design of handtools", en *Proceedings of the Ergonomics Society*, Ed. K. Coombes, Londres, Taylor & Francis, 1983, pp. 9-13.
Putz-Anderson, V., *Cumulative Trauma Disorders*, Londres: Taylor & Francis, 1988.
Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, Nueva York: McGraw-Hill, 1993.
Saran, C., "Biomechanical Evaluation of T-handles for a Pronation Supination Task", en *Journal of Occupational Medicine*, 15, núm. 9 (septiembre de 1973), pp. 712-716.
Serber, H. "New Developments in the Science of Sitting", en *Human Factors Bulletin*, 33, núm. 2 (febrero de 1990), pp. 1-3.
Seth, V., R. Weston y A. Freivalds, "Development of a Cummulative Trauma Disorder Risk Assesment Model", en *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, núm. 4 (marzo de 1999), pp. 281-291.
Terrell, R. y J. Purswell, "The Influence of Forearm and Wrist Orientation on Static Grip Stenght as a Design Criterion for hand Tools", en *Proceedings of the human Factors Society 20th Annual Meeting.* Santa Monica, CA. 1976, pp. 28-32.
Tichauer, E. (1967), Ergonomics: The state of the Art, en *American Industrial Hygene Association Journal*, 28,105-116.
U.S. Department of Justice, *American with Disabilities Act Handbook*, EEOC-BK-19, Washington, DC: U.S. Government Printing office, 1991.
Webb Associates*, Anthropometric Source Book*, II, Pub. 1024, Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1978.
Weidman, B., *Effect of Seafty Gloves on Simulated Work Tasks*, AD 738981, Springfield, VA: National Technical Information Service, 1970.

SOFTWARE RECOMENDADO

COMBIMAN*, User's Gide for COMBIMAN, CSERIAC*. Dayton, OH:Wright-Patterson AFB. (http://dtica.dtic.mil/hsi/srch/hsi5.html)
Design Tools(disponible en el sitio de Internet de este texto de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebelfreivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.
Ergointelligence (Upper Extremity Analysis). 3400 de Maisonneuve Blvd., West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canada H3Z 3B8.
Jack®. Engineering Animation, Inc., 2321 North Loop Dr., Ames, IA 50010. (http://www.eai.com/)
Job Evaluator ToolBox™. ErgoWeb, Inc., P.O. Box 1089, 93 Main St., Midway, UT 84032.
ManneQuinPRO. Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canada H3Z 3B8. (http://nexenergo.com/)
Multimedia Video Task Analysis. Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canada H3Z 3B8.
Safework. Safework (2000) Inc., 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canada H3Z 3B8.

SITIOS EN INTERNET

CTD News: http://ctdnews.com/
CTD Resource Network: http://www.ctdrn.org/
ErgoWeb: http://www.ergoweb.com/
Ejemplos de un mal diseño ergonómico: http://www.baddesigns.com/
CAESAR: http://store.sae.org/caesar

Diseño del ambiente de trabajo

CAPÍTULO 6

PUNTOS CLAVE

- Proporcione iluminación general y sobre las tareas: evite el reflejo.
- Controle el ruido en la fuente.
- Controle el estrés producido por el calor mediante la protección contra la radiación y la ventilación.
- Proporcione movimiento de aire general y ventilación local en las áreas calientes.
- Humedezca los mangos de las herramientas y los asientos con el fin de reducir la vibración.
- Implante turnos rotatorios hacia adelante en caso de que no pueda evitar el trabajo en turno nocturno.

Los analistas de métodos deben proporcionar condiciones de trabajo que sean buenas, seguras y cómodas para el operador. La experiencia ha demostrado de manera contundente que las plantas con buenas condiciones de trabajo rinden mucho más que las que carecen de ellas. Desde el punto de vista económico, el retorno de la inversión en un ambiente de trabajo mejorado es generalmente significativo. Además de incrementar la producción, las condiciones de trabajo ideales mejoran la seguridad registrada; reducen el ausentismo, el número de personas que llegan tarde y la rotación de personal; eleva la moral de los empleados; y mejora las relaciones públicas. En este capítulo se presentan con mayor detalle los niveles aceptables a los que deben equipararse las condiciones de trabajo así como las medidas de control que se recomiendan para supervisar las áreas problemáticas.

6.1 ILUMINACIÓN

TEORÍA

La luz es detectada por el ojo humano (vea la figura 6.1) y procesada en una imagen por el cerebro. Éste es un proceso muy complejo donde los rayos de luz pasan a través de la *pupila*, una abertura del ojo, y a través de la *córnea* y la *lente*, los cuales enfocan los rayos luminosos sobre la retina en la parte posterior del globo ocular. La retina se compone de receptores fotosensibles, los *bastones*, los cuales son sensibles al blanco y negro, especialmente en la noche, pero tienen una pobre agudeza visual, y los *conos*, sensibles a los colores en la luz del día y tienen buena agudeza visual. Los conos se encuentran concentrados en la *fovea*, mientras que los bastones se encuentran diseminados por toda la retina. Las señales eléctricas provenientes de los fotorreceptores se juntan y se transfieren

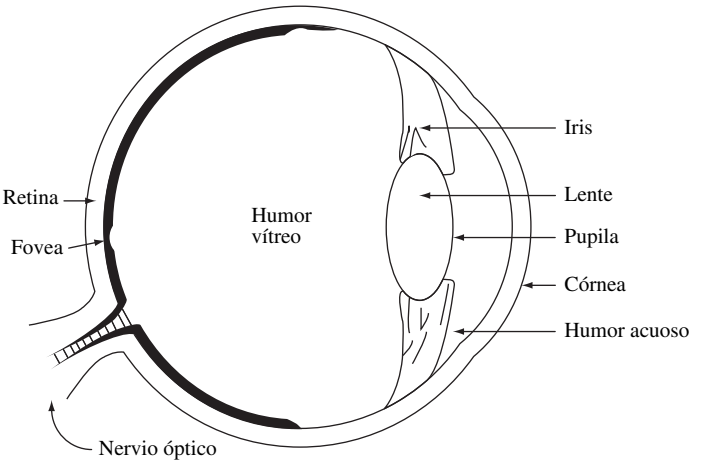


Figura 6.1 El ojo humano.

mediante el nervio óptico al cerebro, donde la luz proveniente de una fuente externa se procesa e interpreta.

La teoría básica de la iluminación se aplica a una fuente puntual de luz (como una vela, por ejemplo) de una determinada *intensidad luminosa*, medida en *candelas* (cd) (vea la figura 6.2). La luz emana esféricamente en todas direcciones desde su origen con fuentes de 1 candela que emiten 12.57 lúmenes (lm)(en función al área de la esfera, $4pr^2$). La cantidad de luz que incide sobre una superficie o una sección de esta esfera se llama *iluminación o iluminancia* y se mide en *fotocandelas* (fc). La cantidad de luz que incide sobre una superficie se reduce en función del cuadrado de la distancia *d* en pies que hay entre la fuente y la superficie:

$$\text{Iluminancia} = \text{intensidad}/d^2$$

Parte de esa luz es absorbida y una parte se refleja (en el caso de materiales translúcidos, una parte también se transmite), lo cual permite a los seres humanos "ver" ese objeto y proporciona una percepción de brillantez. A la cantidad de luz que se refleja se le conoce como *luminancia* y se mide

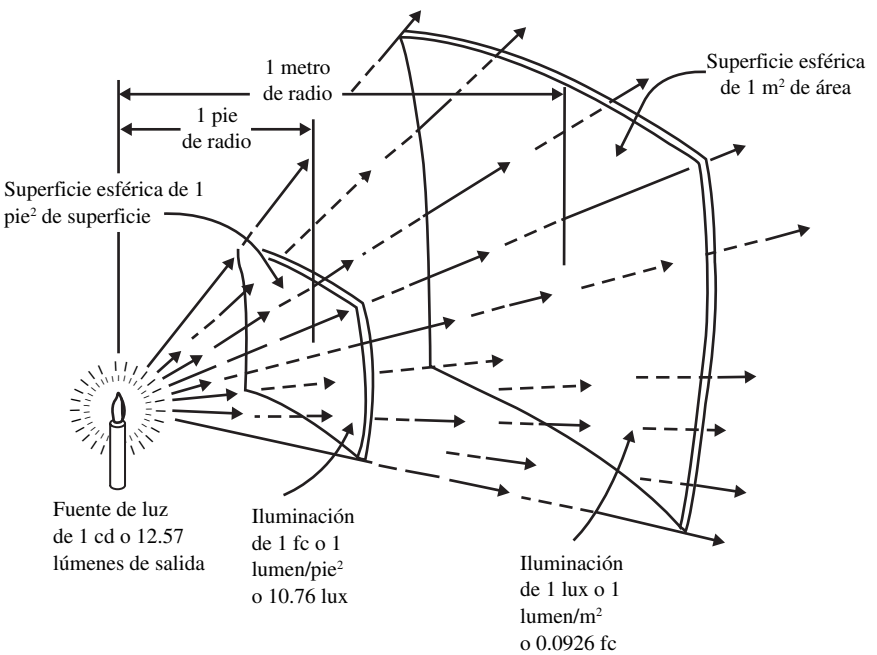


Figura 6.2 Ilustración de la distribución de la luz proveniente de una fuente luminosa que se rige por la ley cuadrada inversa. (*Fuente*: General Electric Company, 1965, p. 5.)

Tabla 6.1 Reflectancias de acabados típicos de pintura y madera

Color o acabado	Porcentaje de luz reflejada	Color o acabado	Porcentaje de luz reflejada
Blanco	85	Azul medio	35
Beige claro	75	Gris oscuro	30
Gris claro	75	Rojo oscuro	13
Amarillo claro	75	Café oscuro	10
Café claro	70	Azul oscuro	8
Verde claro	65	Verde oscuro	7
Azul claro	55	Arce	42
Amarillo medio	65	Satín	34
Café medio	63	Nogal	16
Gris medio	55	Caoba	12
Verde medio	52		

en *pie-lamberts* (fL). Ella está determinada por las propiedades de reflexión de la superficie, conocidas como *reflectancia*:

$$\text{Luminancia} = \text{luminiscencia} \times \text{reflectancia}$$

La reflectancia es una proporción adimensional y varía de 0 a 100%. El papel blanco de alta calidad tiene una reflectancia de alrededor de 90%, el papel periódico y el concreto alrededor de 55%, el carbón 30% y la pintura negro mate 5%. Las reflectancias de las diferentes pinturas de colores o acabados se muestran en la tabla 6.1.

VISIBILIDAD

La claridad con las que las personas ven los objetos se conoce con el nombre de *visibilidad*. Los tres factores críticos de la visibilidad son el *ángulo visual*, el *contraste* y el más importante, la *iluminancia*. El ángulo visual se define como el ángulo subtendido en el ojo por el objetivo mientras que el contraste es la diferencia en luminancia entre el objetivo visual y su fondo. Por lo general, el ángulo visual se define en minutos de arco (1/60 de grado) para objetivos pequeños como,

$$\text{Ángulo visual (minutos de arco)} = 3\,438 \times h/d$$

donde h es la altura del objetivo o detalle crítico (o ancho de una pincelada para cuestiones impresas), mientras que d es la distancia que existe entre el objetivo y el ojo (en las mismas unidades que h).

Contraste se puede definir de diferentes maneras, una de las cuales es:

$$\text{Contraste} = (L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}})/L_{\text{máx}}$$

donde L = luminancia. El contraste, entonces, está relacionado con la diferencia entre las luminancias máxima y mínima del objetivo y del fondo. Observe que el contraste es adimensional.

Otros factores menos importantes relacionados con la visibilidad son el tiempo de exposición, el movimiento del objetivo, la edad, la ubicación conocida y el entrenamiento, el cual no se incluirá aquí.

La relación entre estos tres factores críticos fue cuantificada por Blackwell (1959) en una serie de experimentos que condujeron al desarrollo de los estándares de la Sociedad de Ingeniería en Iluminación de Norteamérica (IESNA, 1995) para la iluminación. A pesar de que las curvas Blackwell (vea la figura 6.3) como tales no se utilizan a menudo en la actualidad, muestran la relación entre el tamaño del objeto, la cantidad de iluminación (en este caso, medida como la luminancia reflejada en el objetivo) y el contraste entre el objetivo y el fondo. Por lo tanto, a pesar de que aumentar la cantidad de iluminación es el método más sencillo para mejorar la visibilidad de la tarea, también se puede mejorar si se incrementa el contraste o el tamaño del objetivo.

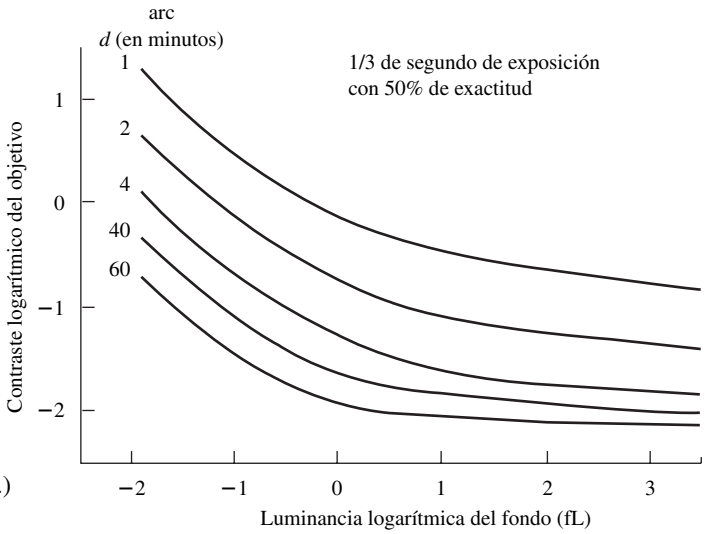


Figura 6.3 Curvas de contraste de umbral parejo de discos de diámetro *d*. (*Adaptado de*: Blackwell, 1959.)

ILUMINANCIA

Reconociendo la complejidad que implica extender la teoría de la fuente puntual a las fuentes luminosas reales (las cuales pueden ser cualquier cosa que sea diferente a una fuente puntual) y algunas de las incertidumbres o restricciones del experimento de laboratorio de Blackwell (1959), el IESNA adoptó un método mucho más sencillo para determinar los niveles mínimos de iluminación (IESNA, 1995). El primer paso consiste en identificar el tipo de actividad general que se va a realizar y clasificarlo en una de las nueve categorías que se muestran en la tabla 6.2. Una lista más extensa de las tareas específicas de este proceso se puede encontrar en IESNA (1995). Observe que las categorías A, B y C no involucran tareas visuales específicas. Para cada categoría existe un rango de iluminancia (baja, media, alta). El valor adecuado se selecciona mediante el cálculo de un factor de ponderación (–1, 0, +1) con base en tres tareas y características del trabajador, las cuales se muestran en la tabla 6.3. Dichas ponderaciones, posteriormente se suman con el fin de obtener el factor total de ponderación. Observe que puesto que las categorías A, B y C no involucran tareas visuales, no se utiliza la característica velocidad/exactitud para estas categorías por lo que se usan las superficies totales del espacio en lugar de usar el fondo de la tarea. Si la suma total de los dos o tres factores de ponderación es –2 o –3, se debe utilizar el menor valor de las tres luminiscencias; si es –1, 0 o +1, se utiliza el valor medio; y si es +2 o +3, se utiliza el valor más alto.

En la práctica, por lo general la iluminación se mide con un medidor de luz (parecido al que tienen las cámaras, pero en unidades diferentes), mientras que la luminiscencia se mide con un fotómetro (típicamente como una unidad independiente del medidor de luz). Por lo general, la reflectancia se calcula como la relación entre la luminancia de la superficie objeto y la luminancia de una superficie estándar de reflectancia conocida (por ejemplo, una tarjeta neutral de prueba Kodak de reflectancia = 0.9) colocada en la misma posición que la superficie del objetivo. La reflectancia del objetivo es, entonces,

$$\text{reflectancia} = 0.9 \times L_{\text{objetivo}} \big/ L_{\text{estándar}}$$

FUENTES DE LUZ Y SU DISTRIBUCIÓN

Después de determinar las necesidades de iluminación del área en estudio, los analistas seleccionan las fuentes de luz artificial apropiadas. Dos importantes parámetros relacionados con la luz artificial son la *eficiencia* [salida de luz por unidad de energía, típicamente, lumens por watt (lm/W)]; y el *procesamiento del color.* La eficiencia es particularmente importante ya que está relacionada con el costo; las fuentes luminosas eficientes reducen el consumo de energía. El procesamiento del color se relaciona con la cercanía con la que los colores percibidos del objeto observado coinciden

Tabla 6.2 Niveles de iluminación recomendados para utilizarse en el diseño de alumbrado en interiores

Categoría	Rango de luminiscencia (fc)	Tipo de actividad	Área de referencia
A	2-3-5	Áreas públicas con inmediaciones oscuras	
B	5-7.5-10	Orientación simple para visitas temporales breves	Alumbrado general a través de un cuarto o área.
C	10-15-20	Espacios de trabajo donde las tareas visuales se realizan sólo en ocasiones.	
D	20-30-50	Realización de tareas visuales de gran contraste y tamaño, por ejemplo, lectura de material impreso, captura de originales, escritura a mano con tinta y xerografía; trabajo rudo de prensa y máquina; inspección ordinaria; ensamblado rudo.	
E	50-75-100	Realización de tareas visuales de contraste medio o pequeño tamaño, por ejemplo, lectura de manuscritos a lápiz, material con muy baja calidad de impresión y reproducción; trabajo mediano de prensa y máquina; difícil inspección; ensamblado medio.	Luminancia en la tarea
F	100-150-200	Realización de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño, por ejemplo, lectura de manuscritos con lápiz duro sobre papel de muy baja calidad y material pobremente reproducido; inspección altamente difícil, ensamble difícil.	
G	200-300-500	Realización de trabajos visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño por un periodo prolongado, por ejemplo, ensamble fino; inspección muy difícil; trabajo fino de prensa y máquina; ensamble extrafino.	
H	500-750-1 000	Realización de trabajos visuales muy precisos y prolongados, por ejemplo, inspección difícil; trabajo extrafino de prensa y máquina; ensamble extrafino.	Luminancia sobre la tarea a través de combinación de alumbrados locales generales y complementarios.
I	1 000-1 500-2 000	Realización de trabajos visuales muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño, por ejemplo, procedimientos quirúrgicos.	

Fuente: Adaptado del IESNA, 1995.

Tabla 6.3 Factores de ponderación que deben tomarse en cuenta en la selección de los niveles de iluminación específicos dentro de cada categoría de la tabla 6.2

	Peso		
Características de la tarea y del trabajador	**–1**	**0**	**+1**
Edad	<40	40-55	>55
Reflectancia del fondo de la tarea/superficie	>70%	30-70%	<30%
Velocidad y precisión (sólo de las categorías D-I)	Sin importancia	Importante	Crítico

(Adaptado del IESNA, 1995.)

con los colores percibidos del mismo objeto cuando éste se encuentra iluminado mediante fuentes de luz estándar. Las fuentes de luz más eficientes (sodio a alta y baja presión) tienen características de procesamiento de regulares a malas y, en consecuencia, no son apropiadas para ciertas operaciones de inspección donde es necesario realizar una buena discriminación de colores. La tabla 6.4

Tabla 6.4 Fuentes de luz artificiales

Tipo	Eficiencia (lm/W)	Procesamiento de los colores	Comentarios
Incandescente	2-3-5	Bueno	Fuente de luz utilizada muy comúnmente, pero que es la menos eficiente. El costo de la lámpara es bajo. La vida útil de la lámpara es típicamente menor a 1 año.
Fluorescente	5-7.5-10	Regular a bueno	La eficiencia y el procesamiento de colores varía de manera muy significativa en función del tipo de lámpara: blanco frío, blanco caliente, blanco frío deluxe. Se puede reducir significativamente el costo de la energía con las novedosas lámparas ahorradoras de energía y los balastros. La vida útil de la lámpara es de 5 a 8 años, típicamente.
Mercurio	10-15-20	Muy malo a regular	Lámpara con una vida útil muy larga (de 9 a 12 años), pero su eficiencia se reduce considerablemente con el tiempo.
Haluro de metal	20-30-50	Regular a moderado	El procesamiento de colores es adecuado para muchas aplicaciones. La vida útil de la lámpara es, típicamente, de 1 a 3 años.
Sodio a alta presión	50-75-100	Regular	Fuente de luz muy eficiente. La vida útil de la lámpara es de 3 a 6 años con periodos promedio de falla de hasta 12 h/día.
Sodio a baja presión	100-150-200	Malo	Es la fuente de luz más eficiente. La vida útil de la lámpara es de 4 a 5 años con periodos promedio de falla de hasta 12 h/día. Se utiliza principalmente para iluminar caminos y bodegas.

Fuente: Cortesía de la Sección de Factores Humanos, Eastman Kodak Co.
Nota: Se indican la eficiencia (columna 2) en lúmenes por watt (lm/W) y el procesamiento de colores (columna 3) de seis fuentes de luz utilizadas con frecuencia (columna 1). La vida útil de la lámpara y otras características se proporcionan en la columna 4. El procesamiento de colores es una medida de cómo se ven los colores bajo cualquiera de estas fuentes de luz en comparación con su color bajo una fuente de luz estándar. Los valores elevados de esta eficiencia representan una mejor conservación de la energía.

proporciona información acerca de la eficiencia y el procesamiento del color correspondientes a los tipos principales de luz artificial. En la figura 6.4 se muestran las fuentes luminosas industriales más comunes, es decir, las luminarias.

Las *luminarias* para iluminación general se clasifican de acuerdo con el porcentaje de la salida total de luz emitida por arriba y por debajo de la horizontal (vea figura 6.5). La *iluminación indirecta* alumbra el techo, el cual, a su vez, refleja luz hacia abajo. Por lo tanto, los techos deben ser la superficie más brillante en el cuarto (vea la figura 6.6), con reflectancias superiores a 80%. Las demás áreas del cuarto deben reflejar porcentajes cada vez más reducidos de luz a medida que uno se mueve en dirección hacia abajo desde el techo hasta alcanzar el piso, el cual no debe reflejar más de 20% a 40% de la luz con el fin de evitar el reflejo. Para evitar la luminancia excesiva, las luminarias deben estar uniformemente distribuidas por todo el techo.

El *alumbrado directo* resta importancia a la superficie del techo e ilumina con mayor intensidad las superficies de trabajo y el piso. El alumbrado directo-indirecto representa una combinación de ambos. Esta distribución del alumbrado es importante, puesto que el IESNA (1995) recomienda que la relación de luminancias de cualquiera de las áreas adyacentes al campo visual no exceda el valor 3/1. El propósito de ello es evitar el reflejo y los problemas de adaptación.

EJEMPLO 6.1 Cálculo de la iluminación requerida

Considere a trabajadores de todas las edades que realizan un ensamble importante en un medio difícil en una estación de trabajo metálica oscura con una reflectancia de 35%. Los pesos apropiados serían: edad = +1, reflectancia = 0 y exactitud = 0. El peso total de +1 implica que se deberá utilizar el valor medio de la categoría E con una iluminación requerida de 75 fc.

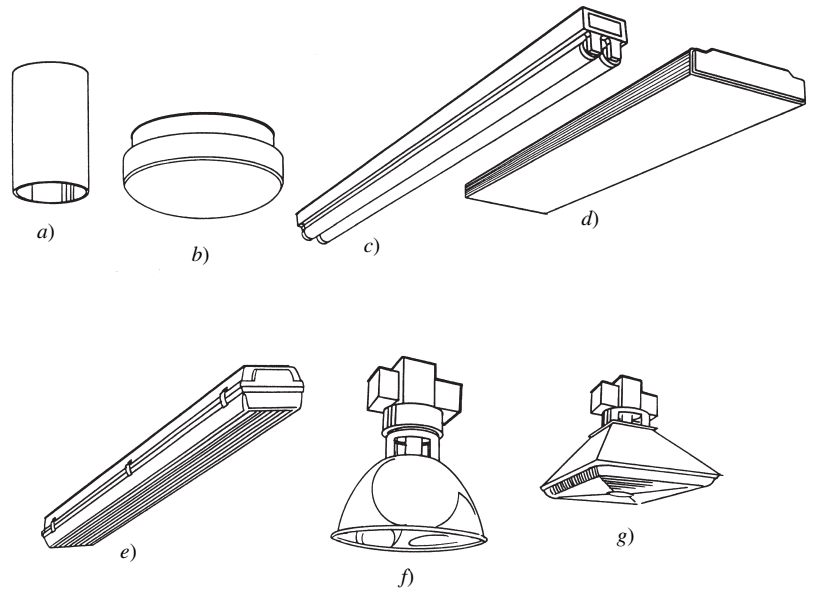


Figura 6.4
Tipos de luminarias industriales montadas en el techo: *a*), *c*) iluminación hacia abajo, *b*), *d*) difusa, *e*) ubicación del amortiguamiento de la luz, *f*) bahía luminosa, *g*) bahía inferior. (*De*: IESNA, 1995.)

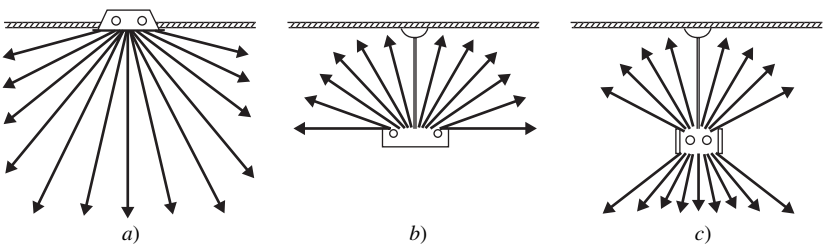


Figura 6.5
Las luminarias que se utilizan para la iluminación general se clasifican de acuerdo con el porcentaje de salida total de luz emitida por arriba o por debajo respecto a la horizontal. Tres de las clasificaciones son *a*) iluminación directa, *b*) iluminación indirecta, y *c*) iluminación directa-indirecta. (*De*: IESNA, 1995.)

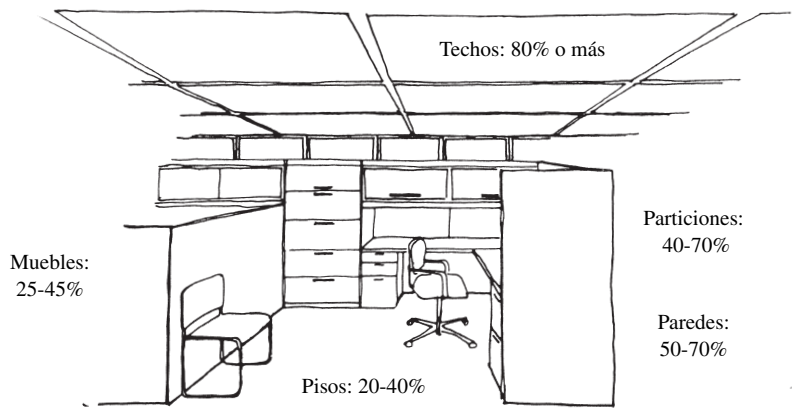


Figura 6.6 Reflectancias recomendadas para las superficies de los cuartos y el mobiliario de las oficinas. (*De*: IESNA, 1995.)

REFLEJO

El reflejo es el brillo excesivo del campo de visión. Esta excesiva luz, que se esparce en la córnea, lentes y aun en los lentes de corrección (Freivalds, Harpster y Heckman, 1983), reduce la visibilidad de tal manera que se requiera de tiempo adicional para que los ojos se adapten de una condición con mucha luz a otra más oscura. Además, desafortunadamente, los ojos tienden a ser atraídos directamente a la fuente luminosa más potente, lo cual se conoce con el nombre de *fototropismo*. El reflejo puede ser directo, como el causado por fuentes luminosas directamente en el campo de visión, o indirecto, como el que se refleja de una superficie en el campo de visión. El reflejo directo puede reducirse mediante el uso de más luminarias de menor intensidad con baffles o difusores en ellas, se

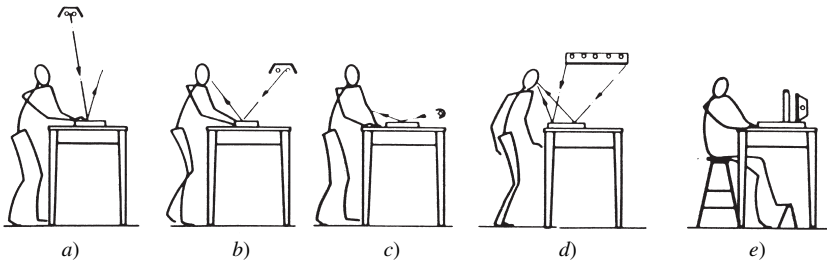


Figura 6.7 Ejemplos de la colocación de luminarias complementarias. *a*) Luminaria colocada para evitar reflexiones veladas y el brillo reflejado; la luz reflejada no coincide con el ángulo de visión. *b*) La luz reflejada coincide con el ángulo de visión. *c*) Iluminación a un ángulo pequeño (rasante) que destaca las irregularidades de una superficie. *d*) La fuente y el patrón de radiación de una fuente de gran superficie son reflejadas en el ojo. *e*) Transluminación de una fuente difusa (*De*: IESNA, 1995).

coloca la superficie del trabajo en posición perpendicular a la fuente de luz y se incrementa la iluminación panorámica del fondo de tal manera que disminuya el contraste.

El resplandor que se refleja puede reducirse si se utilizan superficies mate o sin brillo, se reorienta la superficie del trabajo o tarea y se llevan a cabo las modificaciones recomendadas para el reflejo directo. Asimismo, se pueden utilizar filtros de polarización en la fuente de luz como parte de las gafas que utiliza el operador. Un problema importante es el efecto estroboscópico provocado por las reflexiones de las partes móviles de la maquinaria. En este punto es importante evitar las superficies pulidas tipo espejo. Por ejemplo, las calidades tipo espejo de las pantallas de vidrio de los monitores de las computadoras representan un problema en las áreas de oficinas. La reubicación de los monitores o el uso de un filtro de pantalla podrían ser de gran ayuda. Típicamente, la mayor parte de los trabajos requieren iluminación adicional para la tarea. Ésta puede ofrecerse de una gran cantidad de formas, en función a la naturaleza de la tarea (vea la figura 6.7).

COLOR

Tanto el color como la textura tienen efectos psicológicos en la gente. Por ejemplo, el amarillo es un color aceptado para la mantequilla; por lo tanto, a la margarina se la debe colorear de amarilla para que atraiga el apetito. La carne representa otro ejemplo. Cocinada por 45 segundos en un horno electrónico no representa un atractivo para los clientes debido a que no tiene esa superficie dorada marrón "apetitosa". Por ello, fue necesario diseñar un condimento adicional para dorar la carne. En un tercer ejemplo, los empleados de una planta de Midwestern con aire acondicionado se quejaron del excesivo frío, a pesar de que la temperatura se mantuvo a 72°F (22.2°C). Cuando las paredes blancas de la planta fueron pintadas nuevamente de color coral regular, las quejas cesaron.

Quizás el uso más importante del color sea el de mejorar las condiciones ambientales de los trabajadores para proporcionarles más confort visual. Los analistas utilizaron los colores para reducir los contrastes agudos, aumentar la reflectancia, destacar los riesgos y llamar la atención de ciertos aspectos del entorno de trabajo.

Las ventas también resultan afectadas o condicionadas por los colores. La gente reconoce de inmediato los productos de una compañía por el patrón de colores que utiliza en sus paquetes, marcas registradas, encabezados, camiones y edificios. Diversas investigaciones han comprobado que las preferencias en cuanto a color son influenciadas por la nacionalidad, localización y clima. Las ventas de un producto anteriormente elaborado con un color aumentaron cuando se añadieron varios colores apropiados a las diferencias en cuanto a las demandas de los clientes. La tabla 6.5 muestra los efectos emocionales típicos y el significado psicológico de los colores más comúnmente utilizados.

6.2 RUIDO

TEORÍA

Desde el punto de vista del analista, el ruido consiste en cualquier sonido indeseable. Las ondas sonoras se originan a partir de la vibración de algún objeto, el cual a su vez forma una sucesión de ondas

Tabla 6.5 Significado emocional y psicológico de los colores principales

Color	Características
Amarillo	Tiene mayor visibilidad que cualquier color bajo prácticamente todas las condiciones de iluminación. Tiende a insinuar un sentimiento de frescura y resequedad. Puede proporcionar la sensación de riqueza y gloria, pero también puede sugerir cobardía y enfermedad.
Naranja	Tiende a combinar la alta visibilidad del amarillo con la vitalidad e intensidad característicos del color rojo. Atrae más la atención que cualquier otro color del espectro. Proporciona un sentimiento de calidez y con frecuencia posee un efecto estimulante o gratificante.
Rojo	Es un color de elevada visibilidad que posee intensidad y vitalidad. Es el color que físicamente se asocia con la sangre. Sugiere calor, estímulo y acción.
Azul	Es un color de baja visibilidad. Tiende a conducir la mente hacia un estado pensativo y deliberativo. Tiende a ser un color asociado con el apaciguamiento, a pesar de que puede promover una estado depresivo.
Verde	Es un color con baja visibilidad. Genera un sentimiento de descanso, tranquilidad y estabilidad.
Morado y violeta	Son colores de baja visibilidad. Están asociados con el dolor, la pasión, el sufrimiento, el heroísmo y otros estados semejantes. Tienden a generar un sentimiento de fragilidad, debilidad y torpeza.

de compresión y expansión a través del medio de transporte (aire, agua, etc.). Por lo tanto, el sonido no sólo puede transmitirse a través del aire y de los líquidos, sino que también de sólidos tales como las estructuras de las máquinas herramienta. Sabemos que la velocidad de las ondas sonoras en el aire es de aproximadamente 1 100 pies/s (340 m/s). En los materiales visco-elásticos, tales como el plomo y la masilla, la energía sonora se disipa muy rápido como fricción viscosa.

El sonido puede definirse en términos de las frecuencias que determinan su tono y calidad, junto con las amplitudes que determinan su intensidad. Las frecuencias audibles por el oído humano varían desde aproximadamente 20 a 20 000 ciclos por segundo, comúnmente llamados hertz y abreviados Hz. La ecuación fundamental de la propagación de ondas es:

$$c = f\lambda$$

donde $c =$ velocidad del sonido (1 100 pies/s)
$f =$ frecuencia, (Hz)
$\lambda =$ longitud de onda (pies)

Observe que a medida que aumenta la longitud de onda, la frecuencia disminuye.

Las ondas de presión sonora son capturadas por el oído humano (vea la figura 6.8) a través de un proceso complejo. El oído externo canaliza las ondas de presión hacia el *tambor* o *membrana timpánica*, el cual comienza a vibrar. La membrana está conectada a tres pequeños huesos (martillo, yunque y estribo), los cuales transmiten las vibraciones a la ventana oval de la *cóclea*. La cóclea es una estructura en forma de bobina llena de fluido extendida a lo largo de la *membrana basilar* que contiene células en forma de cabello con terminaciones nerviosas. Las vibraciones provenientes de los huesos provocan que el fluido se mueva como una onda, la cual provoca que las células en forma de cabello vibren, activando dichas terminaciones nerviosas, las cuales transmiten impulsos a través del nervio auditivo hacia el cerebro para su posterior procesamiento. Observe la serie de transformaciones de energía: las ondas originales de presión neumática se convierten en vibraciones mecánicas y después en ondas hidráulicas, posteriormente en vibraciones mecánicas y, por último, en impulsos eléctricos.

MEDICIÓN

Debido a la gran variedad de intensidades sonoras que se pueden encontrar en el ambiente humano normal, se seleccionó la escala del *decibel* (dB), que es la relación logarítmica entre la intensidad real

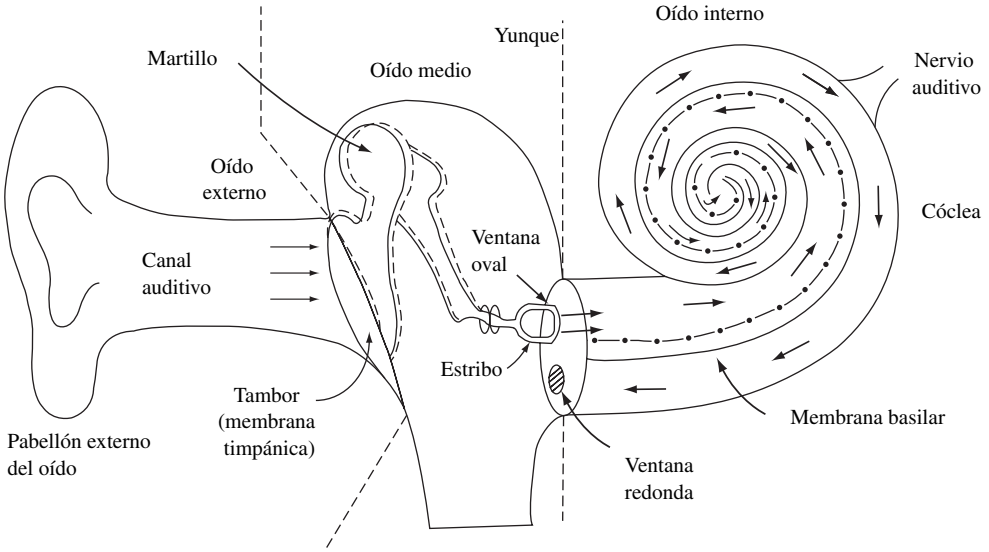


Figura 6.8
El oído humano.

del sonido y la intensidad sonora en el umbral del oído de una persona joven. Por lo tanto, el nivel de presión sonora L en decibeles está dado por

$$L = 20 \log_{10} P_{\text{rms}}/P_{\text{ref}}$$

donde P_{rms} = raíz media cuadrada de la presión sonora [microbars (μbar)]
P_{ref} = presión sonora en el umbral del oído de una persona joven a 1 000 Hz (0.0002 μbar)

Debido a que los niveles de presión sonora son cantidades logarítmicas, el efecto de la coexistencia de dos o más fuentes sonoras en un solo punto requiere que la suma logarítmica se lleve a cabo de la manera siguiente:

$$L_{\text{TOT}} = 10 \log_{10}(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots)$$

donde L_{TOT} = ruido total
L_1 y L_2 = dos fuentes de ruido

El nivel sonoro ponderado A que se utiliza en la figura 6.9 representa la medición del ruido del ambiente más ampliamente aceptada. La ponderación A reconoce que, tanto desde el punto de vista fisiológico como psicológico, las bajas frecuencias (de 50 a 500 Hz) son mucho menos molestas y dañinas que los sonidos que se ubican en el rango de frecuencias crítico de 1 000 a 4 000 Hz. Por arriba de la frecuencia de 10 000 Hz, la agudeza auditiva (y, por lo tanto, los efectos del ruido) se reduce de nuevo (vea la figura 6.10). La red electrónica apropiada está construida a partir de medidores de nivel sonoro con el fin de atenuar las altas y bajas frecuencias, de tal manera que el medidor de nivel sonoro pueda leerse directamente en unidades dBA, para que correspondan al efecto en el oído humano promedio.

PÉRDIDA DEL OÍDO

La probabilidad de daño en el oído, que resulta en la sordera del "nervio", aumenta a medida que la frecuencia se aproxima al rango de 2 400 a 4 800 Hz. Esta pérdida del oído es consecuencia de una pérdida de receptores en el oído interno, los cuales tienen problemas para transmitir las ondas sonoras hacia el cerebro. Asimismo, a medida que el tiempo de exposición aumenta, en especial donde están involucradas las frecuencias más altas, finalmente se presentará una lesión en el oído. Por lo general, la sordera del nervio se debe a la exposición excesiva al ruido. La susceptibilidad de las personas a la sordera por ruido inducido varía ampliamente.

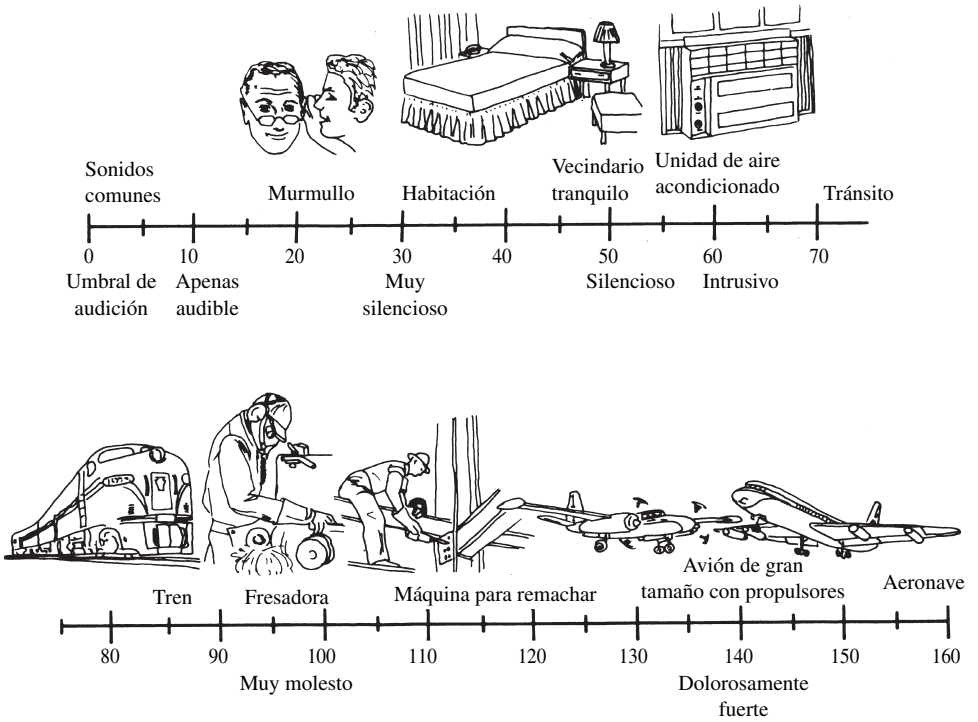


Figura 6.9 Valores en decibles de sonidos típicos (dBA).

En general, el ruido se clasifica en ruido de banda ancha y ruido significativo. El ruido de banda ancha está formado por frecuencias que abarcan una parte significativa del espectro sonoro. Este tipo de ruido puede ser continuo o intermitente. El ruido significativo representa información de distracción que afecta la eficiencia del trabajador. En situaciones de largo plazo, el ruido de banda ancha puede dar como resultado sordera; en quehacer cotidiano, puede dar como consecuencia una menor eficiencia por parte del trabajador y una comunicación ineficiente.

El ruido continuo de banda ancha es típico de industrias como la textil y un taller de herramientas automáticas, donde el nivel de ruido no varía significativamente durante todo el día de trabajo. El ruido intermitente de banda ancha es característico de una planta de fundición y un aserradero. Cuando una persona se expone a un ruido que excede el nivel de daño, es probable que el efecto inicial sea la pérdida del oído de manera temporal de la cual se puede recuperar dentro de unas pocas horas después de dejar el ambiente de trabajo. Si la exposición continúa repetidamente por un largo periodo, puede dar como resultado un daño irreversible del oído. Los efectos del ruido excesivo dependen de la energía total que el oído recibe durante el periodo de trabajo. Por lo tanto, la reducción del tiempo de exposición al ruido excesivo durante el turno de trabajo disminuye la probabilidad de lesiones permanentes del oído.

Tanto el ruido de banda ancha como el significativo han demostrado ser lo suficientemente molestos y distrayentes como para dar por resultado una menor productividad y una mayor fatiga por parte del empleado. Sin embargo, en Estados Unidos se ha promulgado una ley federal principalmente debido a la probabilidad de daño de pérdida permanente del oído por exposición al ruido ocupacional. Los límites establecidos por el OSHA en cuanto a la exposición permisible al ruido se muestran en la tabla 6.6.

Cuando los niveles de ruido están determinados por el *análisis en la banda de las octavas* (un filtro especial conectado al medidor del nivel de ruido que descompone el ruido en sus componentes de frecuencia), el nivel de sonido equivalente ponderado en A puede determinarse de la forma siguiente: grafique los niveles de presión sonora en la banda de las octavas en la gráfica de la figura 6.10 y observe el nivel sonoro ponderado en A correspondiente al punto de mayor penetración en los contornos del nivel sonoro. Éste es el valor en dBA que se utilizará en futuros cálculos.

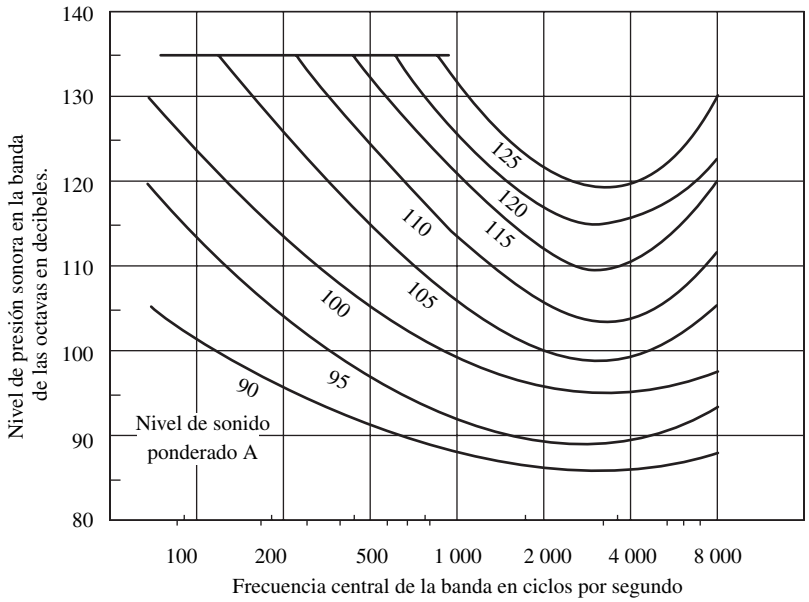


Figura 6.10 Contornos de nivel sonoro equivalentes.

DOSIS DE RUIDO

La OSHA utiliza el concepto de *dosis de ruido*. Así, la exposición a cualquier nivel sonoro que se encuentre por arriba de 80 dBA provoca que quien escucha sea afectado por una dosis parcial. Si la exposición total diaria consta de varias exposiciones parciales a diferentes niveles de ruido, las dosis parciales se suman con el fin de obtener una exposición combinada:

$$D = 100 \times (C_1/T_1 + C_2/T_2 + \cdots + C_n/T_n) \leq 100$$

donde: D = dosis de ruido

C = tiempo de permanencia bajo los efectos de un nivel de ruido específico (h)

T = tiempo permitido bajo los efectos de un nivel de ruido específico (h) (vea la tabla 6.6)

La exposición total a diferentes niveles de ruido no puede exceder a una dosis de 100%.

Tabla 6.6 Exposiciones al ruido permitidas

Duración por día (horas)	Nivel del sonido (dBA)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 o menor	115

Nota: Cuando la exposición diaria al ruido está compuesta por dos o más periodos de exposición a ruido de diferentes niveles, se debe considerar su efecto combinatorio en lugar de los efectos independientes de cada uno de ellos. Si la suma de las fracciones siguientes $C_1/T_1 + C_2/T_2 + \cdots + C_n/T_n$ excede a la unidad, se debe considerar la exposición combinada para exceder el valor límite. C_n indica el tiempo total de exposición a un nivel de ruido específico, mientras que T_n es igual al tiempo total de exposición permitida durante el día laboral.

La exposición al ruido impulsivo o de impacto no debe exceder el nivel de presión sonora pico de 140 dB.

Cálculo de la dosis de ruido de la OSHA

EJEMPLO 6.2

Un trabajador está expuesto a 95 dBA por un periodo de 3 horas y a 90 dBA por uno de 5 horas. A pesar de que cada dosis parcial es admisible de forma independiente, la dosis combinada no lo es:

$$D = 100 \times \left(\frac{3}{4} + \frac{5}{8}\right) = 137.5 > 100$$

Por lo tanto, 90 dBA representa el nivel máximo permisible en un día de 8 horas pero, para cualquier nivel de sonido por arriba de 90 dBA, se requiere de un mecanismo de atenuación. Todos los niveles sonoros entre 80 y 130 dBA deben incluirse en los cálculos de la dosis de ruido (a pesar de que no estén permitidos los niveles continuos superiores a 115 dBA). Puesto que la tabla 6.6 proporciona sólo ciertos tiempos clave, se puede utilizar una fórmula computacional para determinar los niveles intermedios de ruido:

$$T = 8/2^{(L-90)/5}$$

donde L = nivel de ruido (dBA).

La dosis de ruido también puede convertirse en un nivel sonoro *promedio ponderado en tiempo de 8 horas* (TWA). Éste es el nivel de sonido que produciría una determinada dosis de ruido si un trabajador fuera expuesto a ese nivel sonoro de manera continua en un día laboral de 8 horas continuas. El TWA se define como

$$\text{TWA} = 16.61 \times \log_{10}(D/100) + 90$$

Por lo tanto, en el último ejemplo, una dosis del 139.3% nos dará un TWA de

$$\text{TWA} = 16.61 \times \log_{10}(139.3/100) + 90 = 92.39 \text{ dB}$$

En la actualidad, la OSHA también requiere un programa obligatorio de conservación de la audición que incluya la supervisión de la exposición al ruido, la realización de audiometrías y el entrenamiento para todos los empleados que estén bajo los efectos de un ruido ocupacional que sea igual o mayor a un TWA de 85 dB. A pesar de que es probable que los niveles de ruido por debajo de 85 dB no puedan provocar la pérdida del oído, contribuyen a incrementar la distracción y el aburrimiento, lo cual da como resultado un pobre desempeño por parte del trabajador. Por ejemplo, los ruidos típicos que se presentan en un ambiente de oficinas, a pesar de no ser muy intensos, pueden provocar dificultad para concentrarse, lo cual provoca una baja productividad en el diseño y otros trabajos creativos. Asimismo, la eficacia del teléfono y las comunicaciones cara a cara puede ser significativamente menguada por los niveles de ruido menores a 85 dB.

EFECTOS SOBRE EL DESEMPEÑO

En general, la disminución del desempeño se observa más a menudo en los trabajos difíciles que demandan un alto grado de capacidad de percepción, de procesamiento de información y de memoria de corto plazo. Para su sorpresa, el ruido puede no tener ningún efecto o, inclusive, puede mejorar el desempeño en tareas rutinarias sencillas. Sin la fuente de ruido, la persona se distraería y aburriría.

Evitar la molestia es aún más complicado, especialmente cuando ésta se encuentra cargada con problemas emocionales. Los factores acústicos, tales como la intensidad, la frecuencia, la duración, las fluctuaciones de nivel y la composición espectral juegan un papel muy importante, así como también los factores no acústicos como la experiencia que se ha tenido en el pasado con el ruido, la actividad, la personalidad, la predicción de la ocurrencia del ruido, la hora del día, la época del año y el tipo de instalaciones. Existen aproximadamente una docena de métodos diferentes para evaluar los aspectos que producen molestia (Sanders y McCormick, 1993). Sin embargo, la mayoría de estas mediciones involucran problemas de tipo comunitario con niveles de ruido en el rango de 60 a 70

EJEMPLO 6.3 **Cálculo de la dosis de ruido de la OSHA cuando existen exposiciones adicionales**

Un trabajador se encuentra expuesto por un periodo de 1 hora a 80 dBA, 4 horas a 90 dBA y 3 horas a 96 dBA. Al trabajador se le permiten 32 horas para la primera exposición, 8 horas para la segunda y

$$T = 8/2^{(96-90)/5} = 3.48$$

horas para la tercera. La dosis total de ruido es

$$D = 100 \times (1/32 + 4/8 + 3/3.48) = 139.3$$

Por lo tanto, para este trabajador, la dosis de exposición al ruido de 8 horas excede los requisitos de la OSHA, por lo que el ruido debe reducirse o se le debe dar un periodo de descanso (vea el capítulo 11) con el fin de cumplir con los lineamientos de la OSHA.

dBA, los cuales son mucho menores a los que se podrían razonablemente aplicar en un ambiente industrial.

CONTROL DEL RUIDO

La gerencia puede controlar el nivel de ruido de tres maneras. La mejor y, en general, la más difícil consiste en reducir el nivel de ruido en la fuente que lo produce. Sin embargo, sería muy difícil rediseñar equipos tales como los martillos mecánicos, las prensas de fundición de vapor, los martillos y los aplanadores y ensambladores para el trabajo con madera, de tal manera que la eficiencia del equipo se conservara a la vez que los niveles de ruido se redujeran a un rango tolerable. Sin embargo, en algunos casos, pueden sustituirse instalaciones operativas que tienen un alto nivel de ruido por otras más silenciosas. Por ejemplo, una remachadora hidráulica puede sustituirse por una neumática, un aparato operado eléctricamente por uno operado mediante vapor y un barril de mezcla alineado por elastómero por un barril no alineado. El ruido de baja frecuencia en la fuente se controla de manera eficiente en la fuente mediante el uso de soportes de hule y una mejor alineación y mantenimiento del equipo.

Si el ruido no puede controlarse en la fuente, los analistas deben investigar la forma de aislar al equipo responsable del ruido; esto es, controlar el ruido que proviene de una máquina encerrándola toda o sólo una parte de ella en un contenedor aislado. Lo anterior se ha hecho muy a menudo en conjunto con las prensas de poder que cuentan con alimentación automática. Con frecuencia, el ruido presente en el ambiente se puede reducir aislando la fuente del ruido del resto de la estructura, lo que evita un efecto de cámara sonora. Lo anterior se puede llevar a cabo montando la instalación en un elastómero de tipo cortante, lo que amortigua la difusión del ruido.

En situaciones donde al aislamiento de la maquinaria no interfiera con la operación y la accesibilidad, los pasos siguientes pueden garantizar un diseño más satisfactorio del contenedor:

1. Establezca de manera clara los objetivos de diseño así como el desempeño acústico que requiere el contenedor.
2. Mida los niveles de ruido en la banda de las octavas del equipo que se va a colocar en el contenedor a 3 pies (1 metro) con respecto a las superficies principales de la máquina.
3. Determine la atenuación espectral de cada contenedor. Dicha atenuación es la diferencia entre el criterio de diseño calculado en el paso 1 y el nivel de ruido que se determinó en el paso 2.
4. Seleccione los materiales de la tabla 6.7 que sean de uso común para contenedores de tamaño relativamente pequeño y que ofrecen la protección que se necesita. Se debe aplicar un material de amortiguamiento visco-elástico, en caso de que se utilice cualquiera de estos materiales (a excepción del plomo). Éste elemento puede proporcionar una atenuación adicional de 3 a 5 dB.

La figura 6.11 muestra la cantidad de reducción de ruido que típicamente se puede alcanzar a través de los diferentes tratamientos y contenedores acústicos.

Observe que algunos sonidos son deseables en los ambientes de trabajo. Por ejemplo, por muchos años la música de fondo se ha utilizado en fábricas con la finalidad de mejorar el ambiente de

Tabla 6.7 Reducción de ruido en la banda de las octavas de materiales con una sola capa comúnmente utilizados para fabricar contenedores

Frecuencia central en la banda de las octavas	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Acero calibre 16	15	23	31	31	35	41
Acero de 7 mm	25	38	41	45	41	48
Triplay de 7 mm 0.32 kg/0.1 m^2	11	15	20	24	29	30
Triplay de ¾ de pulgada 0.9 kg/0.1 m^2	19	24	27	30	33	35
Placa de yeso de 14 mm 1 kg/0.1 m^2	14	20	30	35	38	37
Fibra de vidrio de 0.2 mm 0.23 kg/0.1 m^2	5	15	23	24	32	33
Plomo de 0.2 mm 0.45 kg/0.1 m^2	19	19	24	28	33	38
Plomo de 0.4 mm 0.9 kg/0.1 m^2	23	24	29	33	40	43

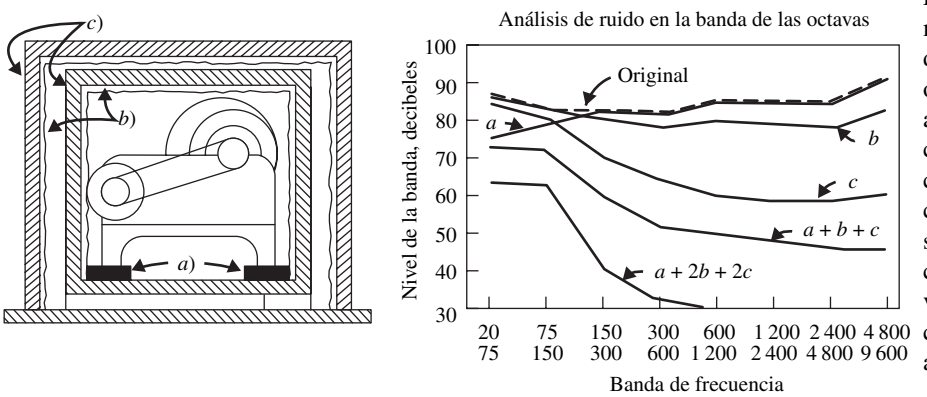


Figura 6.11 Ilustraciones de los posibles efectos de algunas medidas de control del ruido. Las líneas dibujadas en la gráfica muestran las posibles reducciones de ruido (con respecto al nivel original) que podrían esperarse del aislamiento a la vibración; *a*) un contenedor fabricado de material con absorbencia acústica; *b*) un contenedor rígido y sellado; *c*) un solo contenedor combinado incluyendo aislamiento contra la vibración; $a + b + c$. un contenedor combinado doble incluyendo aislamiento contra la vibración, $a + 2\,b + 2c$. (*Adaptado de:* Peterson y Gross, 1978).

trabajo, especialmente donde la comunicación de voz no representa un aspecto crítico. La gran mayoría de los trabajadores del área de producción e indirectos (mantenimiento, embarque, recepción, etc.) disfrutan escuchar música mientras trabajan. Sin embargo, primero consulte con los empleados acerca del tipo de música que desearían escuchar.

El tercer nivel de control de ruido es el uso de protección contra el ruido, aunque en muchos casos la OSHA acepta este tipo de medidas sólo como una solución temporal. El equipo de protección personal puede incluir diferentes tipos de protectores para oídos, algunos de los cuales pueden atenuar ruidos de todas las frecuencias hasta niveles de presión sonora de 110 dB o más. También se encuentran disponibles en el mercado orejeras que atenúan los ruidos de 125 dB sobre 600 Hz y hasta 115 dB por debajo de esta frecuencia. La eficacia de los protectores para el oído se mide de manera cuantitativa mediante la *tasa de reducción de ruido* (NRR), la cual se indica sobre el estuche de dicho dispositivo. La exposición al ruido equivalente del escucha es igual al TWA más 7 menos el NRR (NIOSH, 1998). En general, los dispositivos del tipo de relleno (por ejemplo, el hule espuma expandible) proporcionan una mejor protección que los dispositivos tipo orejera. Mediante la combinación de un dispositivo de inserción y uno de orejera se pueden alcanzar valores de NRR tan elevados como 30. Observe que éste es un valor que se obtuvo en el laboratorio en condiciones ideales. Por lo gene-

ral, en la vida real, debido al cabello, barba, lentes y una capacitación inadecuada, el valor NRR va a ser considerablemente menor, quizás en el orden de 10 (Sanders y McCormick, 1993).

6.3 TEMPERATURA

Tarde o temprano, la mayoría de los trabajadores está expuesta al calor excesivo. En muchas situaciones, se producen ambientes cálidos de manera artificial debido a las demandas de una industria en particular. Los mineros están sujetos a condiciones de trabajo cálidas debido al incremento de la temperatura en función de la profundidad, así como también a la falta de ventilación. Los trabajadores textiles están sujetos a las condiciones de calor y humedad necesarias para tejer la ropa. Los trabajadores del acero, coque y aluminio están expuestos a cargas de radiación intensa provenientes de hornos de fogón abierto y hornos refractarios. Dichas condiciones, aunque estén presentes sólo en un determinado periodo del día, pueden exceder el estrés climático que se encuentra en los climas más extremosos que se presentan en la naturaleza.

TEORÍA

Típicamente, el ser humano se puede representar como un cilindro con una protección que corresponde a la piel, los tejidos de la superficie del cuerpo y las extremidades y un núcleo que corresponde a los tejidos profundos del tronco y la cabeza. Las temperaturas del núcleo exhiben un rango estrecho alrededor del valor normal de 98.6 °F (37 °C). A valores entre 100 y 102 °F (37.8 y 38.9 °C), el desempeño psicológico se reduce considerablemente. A temperaturas por arriba de 105 °F (40.6 °C), el mecanismo mediante el cual se genera sudor puede fallar, lo cual genera un incremento rápido de la temperatura en el núcleo y la eventual muerte. Por otro lado, los tejidos de protección del cuerpo pueden variar a lo largo de un rango mucho más amplio de temperaturas sin mostrar una pérdida significativa de eficiencia, y pueden actuar como un recubrimiento para aislar el núcleo de las temperaturas. La ropa, si se utiliza, actúa como una segunda protección que sirve para aislar aún más el núcleo de la temperatura.

Los intercambios de calor entre el cuerpo y su medio ambiente puede representarse mediante la ecuación de balance de calor como:

$$S = M \pm C \pm R - E$$

donde M = ganancia de calor del metabolismo
C = calor ganado (o perdido) por convección
R = calor ganado (o perdido) por radiación
E = pérdida de calor a través de la evaporación del sudor
S = Almacenamiento de calor (o pérdida) en el cuerpo

Para obtener la neutralidad térmica, S debe ser cero. Si la suma de los diferentes intercambios de calor a través del cuerpo da como consecuencia una ganancia de calor, el calor resultante se almacenará en los tejidos del cuerpo, con el consiguiente incremento de la temperatura del núcleo y un problema potencial de estrés por calor.

Una zona de confort térmico, en áreas donde se realizan 8 horas de trabajo sedentario o ligero, se define como el rango de temperaturas de 66 a 79 °F (18.9 a 26.1 °C), con una humedad relativa que varía desde 20 a 80% (vea la figura 6.12). Desde luego, la carga de trabajo, la ropa y la carga de calor radiante afectan el sentido de confort del individuo dentro de la zona de confort.

ESTRÉS POR CALOR: WBGT

Se ha realizado una gran cantidad de intentos por combinar en un solo índice las manifestaciones psicológicas de estos intercambios de calor con las mediciones ambientales. Dichos intentos se han enfocado en el diseño de instrumentos para simular el cuerpo humano o para visualizar fórmulas y modelos basados en datos teóricos o empíricos para calcular las tensiones ambientales o los esfuerzos psicológicos resultantes. En su forma más simple, un índice consiste en el factor dominante como,

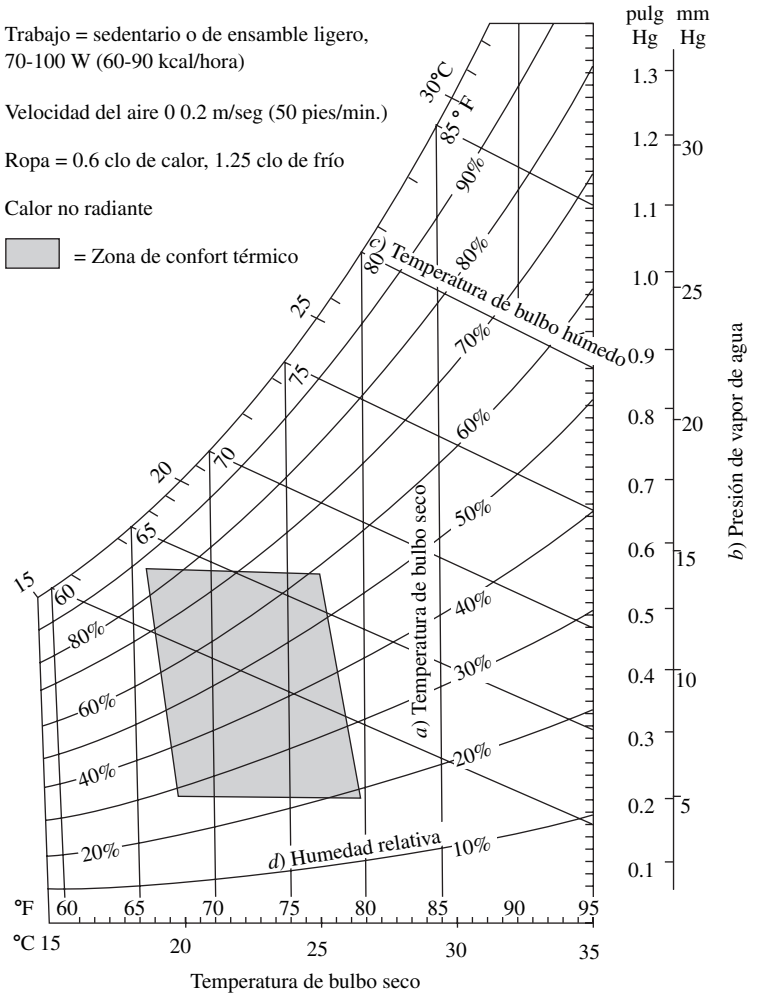


Figura 6.12 Zona de confort térmico. (*Cortesía*: Eastman Kodak Co.)

por ejemplo, la temperatura de bulbo seco, la cual utilizan la mayoría de los habitantes de zonas templadas.

Probablemente, el índice que más se utiliza actualmente en la industria establezca los límites de exposición al calor y los ciclos de trabajo/descanso con base en la *temperatura global de bulbo húmedo* o WBGT (*wet-bulb globe temperature*, Yaglou y Minard, 1957), y en la carga metabólica. De una forma un poco diferente, está recomendada por la SCGIH (1985), el NIOSH (1986) y ASHRAE (1991). En el caso de ambientes al aire libre con carga solar, el WBGT se define como

$$\text{WBGT} = 0.7\,\text{NWB} + 0.2\,\text{GT} + 0.1\,\text{DB}$$

y para interiores o ambientes al aire libre sin carga solar, el WBGT es

$$\text{WBGT} = 0.7\,\text{NWB} + 0.3\,\text{GT}$$

donde NWG = *temperatura natural de bulbo húmedo* (medida del enfriamiento por evaporación, mediante el uso de un termómetro con una mecha húmeda y un movimiento de aire natural).

GT = *temperatura del globo* (medida de la carga de radiación, mediante un termómetro en una esfera negra de cobre de 6 pulgadas de diámetro).

DB = *Temperatura de bulbo seco* (temperatura ambiente básica; el termómetro se aísla de la radiación).

Observe que el NWB es diferente del bulbo húmedo psicométrico, el cual utiliza una velocidad máxima del aire y se usa en conjunto con la DB con el fin de establecer la humedad relativa y las zonas de confort térmico.

Una vez que se mide el WBGT (los instrumentos disponibles en el mercado proporcionan lecturas ponderadas instantáneas), se utiliza junto con la carga metabólica de los trabajadores para establecer el tiempo que se le permitirá trabajar en las condiciones dadas a un trabajador no climatizado y a uno climatizado (vea la figura 6.13). Dichos límites se basan en la temperatura del núcleo del individuo luego de haber aumentado en aproximadamente 1.8 °F (1 °C), como se calculó mediante el uso de la ecuación de balance de calor. El incremento de 1.8 °F fue establecido por el NIOSH (1986) como el límite superior aceptable para el almacenamiento de calor en el cuerpo. Se asumió que la cantidad apropiada de descanso se realizara en las mismas condiciones. Evidentemente, si el trabajador descansa en un área más confortable, necesitará menos tiempo de descanso.

MÉTODOS DE CONTROL

El estrés por efecto del calor puede reducirse a través de la implantación de controles ingenieriles, esto es, la modificación del ambiente, o mediante controles administrativos. La modificación del ambiente se deriva de manera directa a partir de la ecuación de balance de calor. Si la carga metabólica representa un factor que contribuya significativamente al almacenamiento de calor, la carga de trabajo debe reducirse a través de la mecanización de la operación. Trabajar más despacio también reduce la carga de trabajo, pero tendrá el efecto negativo de reducir la productividad. La carga de radiación puede reducirse mediante el control del calor en la fuente por medio del aislamiento del equipo caliente, construcción de desagües para el agua caliente, ajuste de las uniones donde es posible que se escape el vapor y el empleo de ventilación local de descarga para dispersar el aire caliente que surge de un proceso caliente. La radiación también puede ser interceptada antes de que la perciba el operador a través de un escudo de radiación conformado por hojas de material reflejante como, por ejemplo, el aluminio, placas de yeso cubiertas con hojas metálicas, cortinas de cadenas metálicas,

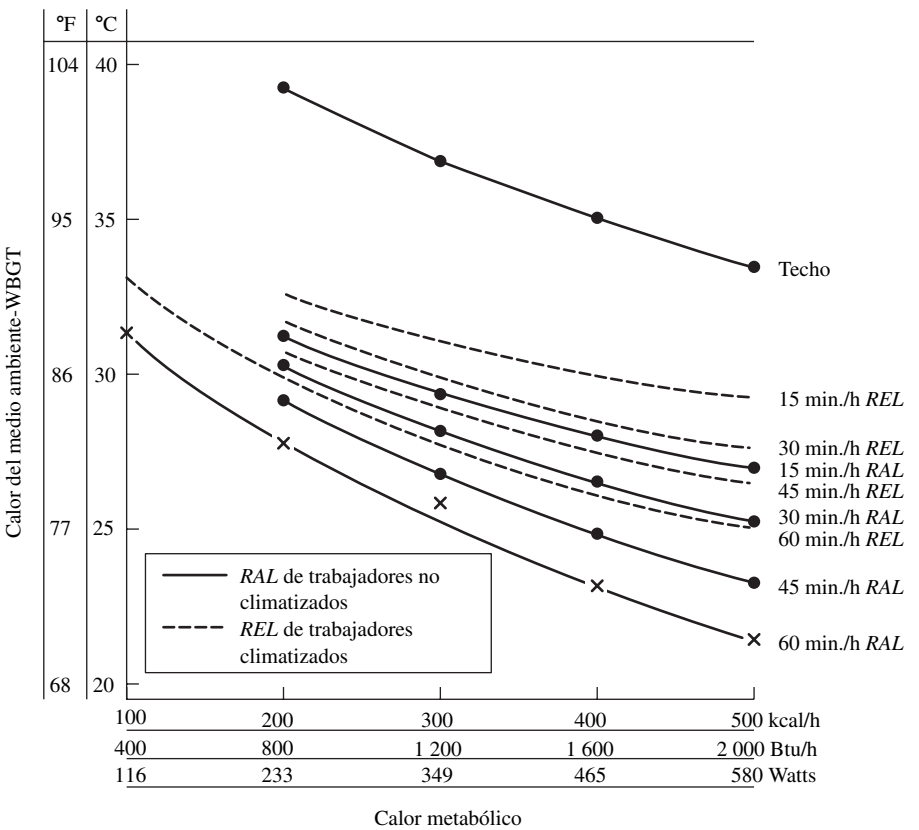


Figura 6.13 Niveles de estrés por calor recomendados con base en el calor metabólico (promedio de tiempo ponderado de 1 hora), aclimatación y ciclos de descanso en el trabajo.
Una aproximación *grosso modo* del calor metabólico a partir de la figura 4.21 es $W = (HR - 50) \times 6$. Los límites de temperatura son promedio de tiempo ponderado de 1 hora WGBT. RAL = límite recomendado de alerta para trabajadores no climatizados. REL = límite recomendado de exposición para trabajadores climatizados. (*De*: NIOSH, 1986, figuras 1 y 2.)

Cálculo del WBGT y del nivel de estrés por calor — EJEMPLO 6.4

Considere un trabajador no climatizado que estiba piezas en estantes a 400 kcal/h (1 600 BU/h) con una carga térmica de WBGT = 77 °F (25 °C). Dicho individuo podrá trabajar 45 minutos y después necesitará descansar. A estas alturas, el trabajador debe descansar al menos 15 minutos en el mismo ambiente, o un periodo más corto, en un ambiente más estresante.

pantallas con mallas de alambre o de vidrio templado, si es necesario tener visibilidad. Las prendas de vestir reflejantes, la ropa de protección o aun la ropa con manga larga ayudarán también a reducir la carga de radiación.

La pérdida de calor por convección por parte del operador puede incrementarse mediante el aumento del movimiento de aire a través de la ventilación, siempre y cuando la temperatura de bulbo seco sea menor a la temperatura de la piel, la cual es típicamente de alrededor de 95 °F (35 °C) en dichos ambientes. La convección es más eficiente sobre la piel desnuda; sin embargo, la piel desnuda también absorbe más radiación. Por lo tanto, existe una relación inversa entre la convección y la radiación. Las pérdidas de calor del operador por evaporación pueden disminuirse mediante el aumento del movimiento del aire y la reducción de la presión ambiente del vapor de agua, a través del uso de deshumidificadores o aire acondicionado. Desafortunadamente, este último método, a pesar de generar un ambiente muy placentero, es demasiado costoso y a menudo no es práctico en una planta de producción típica.

Las medidas administrativas, a pesar de ser menos eficientes, incluyen la modificación de los horarios de trabajo para reducir la carga metabólica mediante el uso de horarios de trabajo/descanso de acuerdo con la figura 6.13, la aclimatación de los trabajadores (esto puede tomar cerca de dos semanas y el efecto se pierde en un periodo similar), la rotación de los operarios para que entren y salgan de ese ambiente caluroso de trabajo y el empleo de chaquetas de enfriamiento. Las chaquetas de enfriamiento más baratas utilizan agua congelada dentro de pequeñas bolsas de plástico que se colocan en los diferentes bolsillos con los que cuenta dicha chaqueta (Kamon *et al*., 1986).

ESTRÉS POR FRÍO

El índice de estrés por frío que más se utiliza es el *índice del viento frío*, que describe la rapidez de pérdida de calor por radiación y convección en función de la temperatura ambiente y la velocidad del viento. Por lo general, el índice de estrés por frío no se utiliza directamente, sino que se convierte a una *temperatura equivalente de viento frío.* Ésta es la temperatura ambiente que, en condiciones de calma, produce el mismo índice de viento frío que la combinación real de la temperatura del aire y la velocidad del viento (tabla 6.8). Para que el operador conserve un equilibrio térmico bajo dichas con-

Tabla 6.8 Temperaturas equivalentes de enfriamiento del viento (°F) de ambientes fríos bajo condiciones de calma

Velocidad del viento (millas/hora)	Lectura real del termómetro (°F)							
	40	**30**	**20**	**10**	**0**	**–10**	**–20**	**–30**
5	36	25	13	1	–11	–22	–34	–46
10	34	21	9	–4	–16	–28	–41	–53
15	32	19	6	–7	–19	–32	–45	–58
20	30	17	4	–9	–22	–35	–48	–61
30	28	15	1	–12	–26	–39	–53	–67
40	27	13	–1	–15	–29	–43	–57	–71
	Poco peligro: Exposición, la carne seca no se congelará en 5 horas.			**Aumento de peligro:** Se presentará una helada en 30 minutos.		**Mucho peligro**: La helada se presentará en 5 minutos.		

Fuente: Servicio Nacional del Clima.

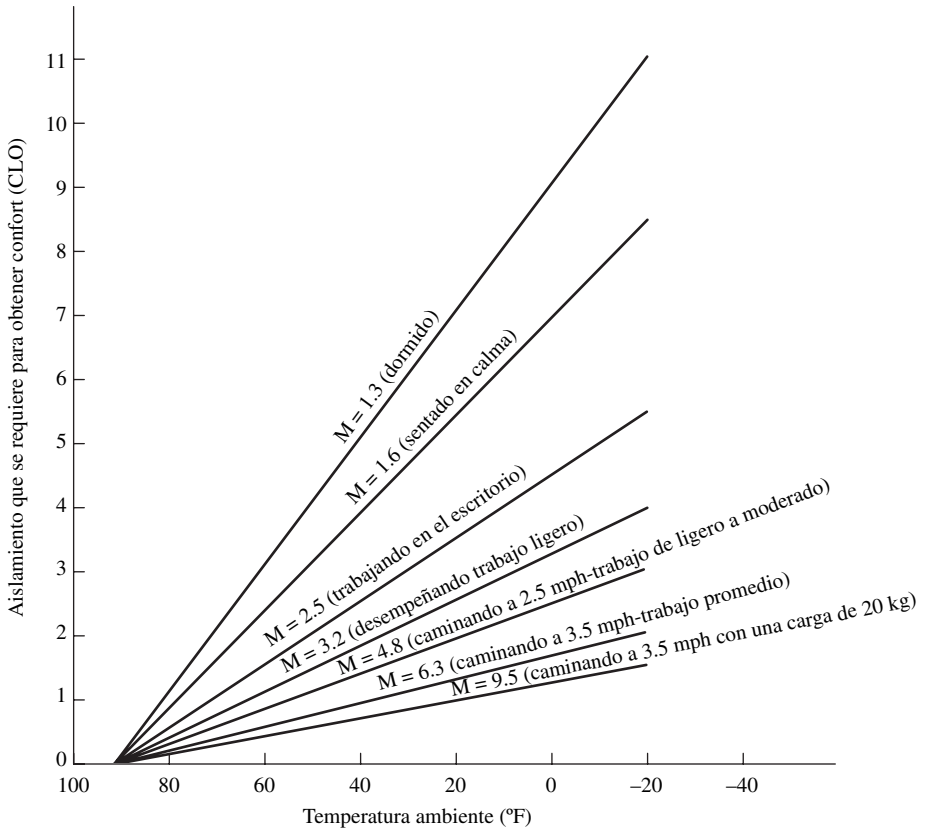


Figura 6.14 Gráfica de predicción del aislamiento total que se requiere en función de la temperatura del ambiente para el 50avo. percentil de hombres (*M* = producción de calor en kcal/min.). (*De*: Redibujado de Belding y Hatch, 1955.)

diciones de baja temperatura, debe existir una relación estrecha entre la actividad física que realiza (producción de calor) y el aislamiento proporcionado por la ropa de protección (vea la figura 6.14). Aquí, *clo* representa el aislamiento necesario para mantener el confort de una persona sentada donde la humedad relativa sea de 50%, el movimiento del aire sea de 20 pies/min. y la temperatura de bulbo seco sea de 70 °F (21.1 °C). Un traje de negocios ligero tiene un aislamiento térmico equivalente a alrededor de 1 clo.

Probablemente, los efectos más críticos sobre los trabajadores industriales expuestos a condiciones al aire libre sean la disminución de la sensibilidad táctil y de la destreza manual debida a la vasodilatación y a un decremento en el flujo de sangre hacia las manos. El desempeño manual puede reducirse hasta 50% debido a que la temperatura de la piel en las manos disminuye de 65 a 45 °F (18.3 a 7.2 °C) (Lockhart, Kiess y Clegg, 1975). Los quemadores auxiliares, los calentadores de manos y los guantes representan soluciones potenciales al problema. Desafortunadamente, como se indicó en el capítulo 5, los guantes pueden deteriorar el desempeño manual y reducir la fuerza de sujeción. Un arreglo que proteja las manos y que afecte en una proporción mínima el desempeño podría ser el uso de guantes sin dedos (Riley y Cochran, 1984).

6.4 VENTILACIÓN

Si el cuarto tiene personas, maquinaria o hay actividades llevándose a cabo dentro de él, el aire se viciará debido a la liberación de olores, el desprendimiento de calor, la formación de vapor de agua, la producción de dióxido de carbono y la generación de vapores tóxicos. Se debe proporcionar ventilación para disolver estos contaminantes, evacuar el aire viciado y suministrar aire fresco. Lo anterior se puede realizar en una o más de las tres formas siguientes: general, local o sólo en un área. La ventilación general o de desplazamiento se lleva a cabo a un nivel de 8 a 12 pies (2.4 a 3.6 metros) y desplaza el aire caliente que surge del equipo, la luces y los trabajadores. En la figura 6.15 (Yaglou, Riley y Coggins, 1936) se muestran los lineamientos recomendados de las necesidades de aire fresco

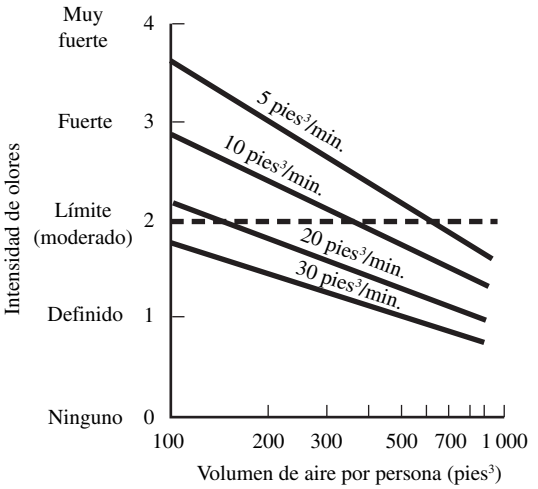


Figura 6.15 Lineamientos de las necesidades de ventilación para trabajadores sedentarios dado el volumen disponible de aire.
(Los valores del flujo están especificados por persona.)
(*Adaptado de*: Yaglou, Riley y Coggins, 1936.)

con base en el volumen del cuarto por persona. Una regla general indica 300 pies^3 (8.5 m^3) de aire fresco por persona por hora.

En un edificio que cuente sólo con algunas áreas de trabajo, sería impráctico ventilar todo el edificio. En este caso, se puede proporcionar ventilación local a un menor nivel, o quizás en un área encerrada tal como en una estación de control o una caseta de grúa. Observe que la velocidad del ventilador se reduce drásticamente cuando aumenta la distancia con respecto al ventilador (vea la figura 6.16). Además, la direccionalidad del flujo de aire es un aspecto sumamente crítico. En la tabla 6.9 (ASHRAE, 1991) se especifican las velocidades aceptables del aire para el trabajador. Una regla general es que a una distancia equivalente a 30 diámetros del ventilador, la velocidad del aire que éste genera se reduce a menos de 10% de su velocidad frontal (Konz, 1995). Por último, en áreas con fuentes de calor localizadas, como los hornos refractarios, el enfriamiento de una sola área con una corriente de aire directa de alta velocidad dirigida hacia el trabajador aumentará el enfriamiento por convección y evaporación.

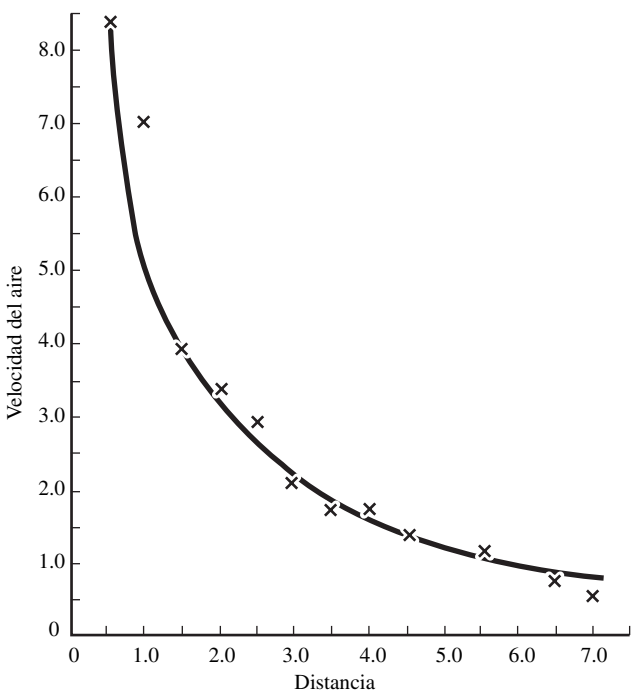


Figura 6.16 Gráfica de la velocidad del aire *versus* distancia para la colocación del ventilador.
(*De*: Konz y Johnson, 2000.)

Tabla 6.9 Movimiento aceptable del aire sobre el trabajador

Exposición	Velocidad del aire (pies/min.)
Continuo	
Espacio con aire acondicionado	50 a 75
Estación de trabajo fija, ventilación general o enfriamiento local	
Sentado	75 a 125
Parado	100 a 200
Enfriamiento local intermitente o estaciones liberadas	
Cargas de calor y actividad ligeras	1 000 a 2 000
Cargas de calor y actividad moderadas	2 000 a 3 000
Cargas de calor y actividad elevadas	3 000 a 4 000

Fuente: Reimpreso con el permiso del ASHRAE, 1991.

Tabla 6.10 Frecuencias de resonancia de diferentes partes del cuerpo

Frecuencia (Hz)	Parte del cuerpo afectada
3-4	Vértebras cervicales
4	Vértebra lumbar (clave para los operadores de carretilla elevadora y camiones)
5	Cinturón en los hombros
20-30	Entre la cabeza y los hombros
>30	Dedos, manos y brazos (clave para los operadores de máquinas-herramienta)
60-90	Globo ocular (clave para los pilotos y astronautas)

6.5 VIBRACIÓN

Las vibraciones pueden provocar efectos que deterioran el desempeño de los trabajadores. Las vibraciones de gran amplitud y baja frecuencia tienen efectos especialmente indeseables en los órganos y tejidos del cuerpo. Los parámetros de la vibración son la frecuencia, la amplitud, la velocidad, la aceleración y el tirón. En el caso de las vibraciones sinusoidales, la amplitud y sus derivadas con respecto al tiempo son

$$\text{Amplitud } s = \text{desplazamiento máximo con respecto a una posición estática (pulgadas)}$$

$$\text{Velocidad máxima } \frac{ds}{dt} = 2\pi(s)(f) \quad \text{pulgadas/seg}$$

$$\text{Aceleración máxima } \frac{d^2s}{dt^2} = 4\pi^2(s)(f^2) \quad \text{pulgadas/seg}^2$$

$$\text{Tirón máximo } \frac{d^3s}{dt^3} = 8\pi^3(s)(f^3) \quad \text{pulgadas/seg}^3$$

donde f = frecuencia

s = amplitud del desplazamiento

El desplazamiento y la aceleración máxima son los parámetros principales que se utilizan para caracterizar la intensidad de las vibraciones.

Existen tres clasificaciones de exposición a la vibración:

1. Las circunstancias en las que toda o una gran parte de la superficie corporal resulta afectada, por ejemplo, cuando el sonido de alta intensidad en el aire o en el agua excita la vibración.
2. Casos en los que las vibraciones se transmiten al cuerpo a través de un área de soporte como, por ejemplo, a través de las nalgas de una persona que maneja un camión o a través de los pies de una persona parada cerca de un equipo que vibra en una fundidora.
3. Situaciones en las que las vibraciones inciden sobre un área específica del cuerpo, por ejemplo, en la mano cuando se sostiene u opera una máquina herramienta.

Todo sistema mecánico puede representarse mediante el uso de una masa, un resorte y una base, elementos que, combinados, dan como resultado un sistema que tiene su propia *frecuencia natural.* A medida que más se acerca la vibración a esta frecuencia, mayor será el efecto en ese sistema. En realidad, si las vibraciones forzadas inducen vibraciones de gran amplitud en el sistema, éste entra en *resonancia*. Lo anterior puede tener efectos dramáticos, por ejemplo, que los fuertes vientos provoquen que el puente Tacoma Narrows, de Washington oscile y, eventualmente, se colapse, o que soldados pierdan la cadencia en cruces de puentes. En la tabla 6.10 se proporcionan las frecuencias de resonancia críticas en el caso de una persona sentada.

Por otro lado, las oscilaciones en el cuerpo o en cualquier otro sistema tienden a amortiguarse. Por lo tanto, en una postura parada, los músculos de las piernas amortiguan significativamente las vibraciones.

Las frecuencias superiores a 35 Hz son especialmente amortiguadas. Las amplitudes de las oscilaciones inducidas en los dedos se reducen 50% en las manos, 66% en los codos y 90% en los hombros.

La tolerancia humana a la vibración disminuye a medida que aumenta el tiempo de exposición. Por lo tanto, el nivel de aceleración tolerable aumenta cuando disminuye el tiempo de exposición. Los límites de la vibración en todo el cuerpo han sido desarrollados por la Organización Internacional de Estándares (ISO) y el Instituto de Estándares Nacional Americano (ANSI) (ASA,1980) para los casos de instalaciones de transporte e industriales. Dichos estándares especifican los límites en términos de aceleración, frecuencia y duración en tiempo (figura 6.17). Las líneas graficadas muestran los límites del parámetro fatiga/desempeño. Para obtener los límites de confort, los valores de la aceleración se dividen entre 3.15; para determinar los límites de seguridad, los valores se multiplican por 2. Desafortunadamente, no se han desarrollado límites para las manos y las extremidades superiores.

Las vibraciones de gran amplitud y baja frecuencia (0.2 a 0.7 Hz) representan la causa principal del mareo en los viajes por aire y mar. Los trabajadores experimentan fatiga mucho más rápido cuando están expuestos a vibraciones en el rango de 1 a 250 Hz. Los síntomas de la fatiga por vibración son el dolor de cabeza, problemas de visión, pérdida del apetito y pérdida de interés. Estos últimos problemas incluyen deterioro del control de movimientos, degeneración de los discos, atrofia de los huesos y artritis. Las vibraciones que se experimentan en este rango a menudo son características de la industria del transporte. Las vibraciones verticales de muchos camiones con llantas de caucho cuando viajan a velocidades elevadas sobre carreteras convencionales varían en el rango de 3 a 7 Hz,

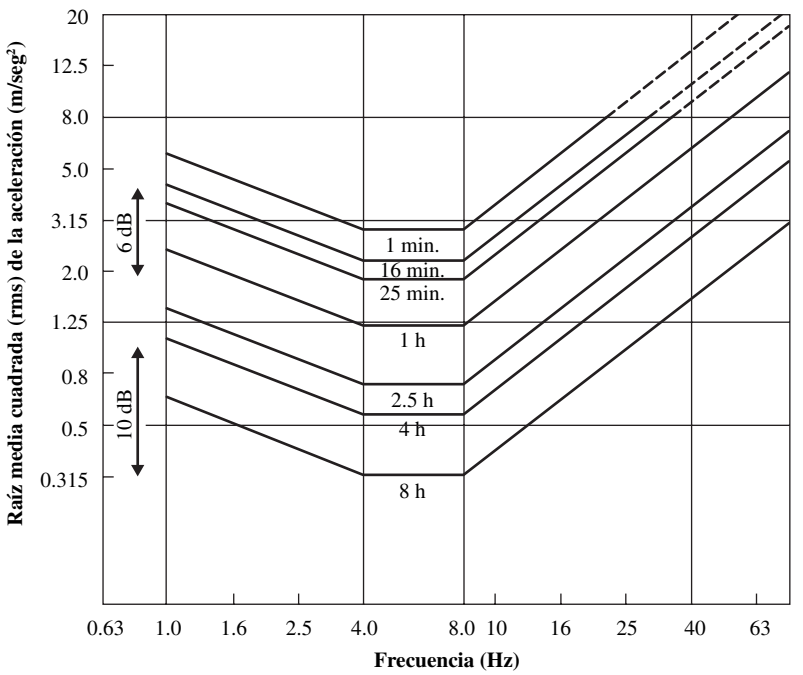


Figura 6.17 Frontera de desempeño reducida por la fatiga de la vibración vertical contenida en el ISO 2631 y el ANSI S3. 18-1979.
Para obtener la frontera del confort reducido, reste 10 dB (es decir, divida cada valor entre 3.15); para obtener la frontera de una exposición psicológica segura, sume 6 dB (es decir, multiplique cada valor por 20). (*Fuente*: Acoustical Society of America, 1980.)

aproximadamente, las cuales se encuentran justo dentro de rango crítico de resonancias del tronco del ser humano.

Las herramientas de poder trabajan en frecuencias del orden de 40 a 300 Hz y tienden a ocluir el flujo sanguíneo y a afectar los nervios, lo cual da como resultado el *síndrome de los dedos blancos.* Dicho problema es aún más crítico en climas fríos, debido al problema adicional que consiste en la oclusión del flujo sanguíneo, o *síndrome de Raynaud*, producido por las bajas temperaturas. Con el fin de reducir este problema se utilizan herramientas con mayor protección que incrementan el amortiguamiento, mangos que absorben las vibraciones en lugar de los convencionales y el uso de guantes, especialmente aquellos que cuentan con un gel absorbente de vibraciones.

La gerencia puede proteger a los empleados de las vibraciones de varias formas. Se pueden reducir las fuerzas aplicadas responsables de iniciar la vibración mediante la modificación de la velocidad, la alimentación y el movimiento y dándole al equipo el mantenimiento apropiado mediante el balanceo o reemplazo de las partes gastadas. Los analistas pueden colocar el equipo en soportes antivibración (resortes, elastómeros del tipo de corte, soportes de compresión) o cambiar las posiciones corporales del cuerpo para aminorar los efectos de las fuerzas vibratorias molestas. Los analistas también pueden reducir los tiempos durante los cuales los trabajadores están expuestos a la vibración alternando las tareas del trabajo dentro de un determinado grupo de empleados. Por último, pueden implantar soportes acolchonados que protejan el cuerpo y, por ende, amortigüen las vibraciones de gran amplitud. Pueden utilizarse sistemas de suspensión del asiento que contengan absorbedores hidráulicos de impactos, resortes de bobina o rectos, soportes de hule tipo corte o barras de torsión. En operaciones que tengan que efectuarse de pie, es de gran utilidad el uso de tapetes suaves fabricados con elastómeros.

6.6 RADIACIÓN

A pesar de que todos los tipos de radiación ionizante pueden dañar los tejidos, las radiaciones beta y alfa son tan fáciles de bloquear que, en la actualidad, se le presta más atención a los rayos gama, rayos X y a la radiación de neutrones. Los rayos electrónicos de alta energía que inciden sobre el metal de un equipo al vacío pueden generar rayos X muy penetrantes que podrían requerir mucho más protección que el rayo electrónico en sí mismo.

La dosis que se absorbe es la cantidad de energía que imparte una radiación ionizante a una determinada masa de material. La unidad con la que se mide la dosis absorbida se denomina *rad*, la cual es equivalente a la absorción de 0.01 joules por kilogramo (J/kg) [100 ergs por gramo (erg/g)]. La dosis equivalente es una forma de corregir las diferencias en el efecto biológico de los diferentes tipos de radiación ionizante en las personas. La unidad de dosis equivalente es el *rem*, el cual produce un efecto biológico esencialmente similar que 1 rad de dosis absorbida de radiación X o gama. El *roentgen* (R) es una unidad de exposición que mide la cantidad de ionización producida en el aire por la radiación X o gama. Los tejidos localizados en un punto donde la exposición es 1 R reciben una dosis absorbida de aproximadamente 1 rad.

Las dosis extremadamente grandes de radiación ionizante —100 rads o más— recibidas a lo largo de un periodo corto en todo el cuerpo pueden provocar enfermedades por radiación. Una dosis absorbida de alrededor de 400 rads en todo el cuerpo puede ser fatal para aproximadamente la mitad de los adultos. Pequeñas dosis recibidas en lapsos prolongados pueden elevar la probabilidad de contraer varios tipos de cáncer y otras enfermedades. El riesgo total de un cáncer fatal provocado por una dosis de radiación equivalente a 1 rem es de alrededor de 10^{-4}; esto es, una persona que reciba una dosis equivalente a 1 rem tiene una probabilidad de alrededor de 1 en 10 000 de morir por el cáncer producido por la radiación. El riesgo también puede expresarse como la esperanza de un cáncer fatal en un grupo de 10 000 personas, si cada una de éstas recibe una dosis equivalente a 1 rem.

Las personas que trabajan en áreas donde el acceso está controlado con el propósito de brindar protección contra la radiación se encuentran limitadas a una dosis equivalente a 5 rem/año. Por lo general, el límite en áreas sin control es el mismo. Trabajar dentro de dichos límites no debería tener ningún efecto significativo en la salud de los individuos involucrados. Todas las personas están expuestas a la radiación proveniente de los radioisótopos que ocurren de forma natural en el organismo, la radiación cósmica y la radiación emitida por la tierra y por los materiales de construcción. La dosis equivalente proveniente de fuentes naturales de fondo es de alrededor de 0.1 rem/año (100 mrem/año).

6.7 TRABAJO POR TURNOS Y HORAS LABORABLES

TRABAJO POR TURNOS

El trabajo por turnos, que se define como el trabajo diferente al que se desarrolla durante el día, se está convirtiendo en un problema cada vez mayor para la industria. Tradicionalmente, la necesidad de servicios policiacos, de bomberos y médicos de manera permanente o para la operación continua de las industrias químicas y farmacéuticas, ha requerido el uso de trabajo por turnos. Sin embargo, hasta fechas recientes, la economía de la manufactura, esto es, la capitalización o plazo de recuperación de la maquinaria automática cada vez más costosa también ha elevado la demanda del trabajo por turnos. De manera similar, la producción justo a tiempo y las demandas de productos por temporadas (es decir, un menor espacio para inventarios) también ha requerido de trabajo por turnos.

El problema con el trabajo por turnos es el estrés que se genera en los *ritmos circadianos*, los cuales son las variaciones que se producen cada 24 horas aproximadamente en las funciones corporales de los seres humanos (así como también en otros organismos). La longitud del ciclo varía de 22 a 25 horas, pero se mantiene sincronizado en un ciclo de 24 horas mediante varios cronómetros, como los cambios entre luz y oscuridad durante el día, los contactos sociales, el trabajo y el tiempo que marca el reloj. Los cambios cíclicos más marcados se presentan durante el sueño, la temperatura normal del cuerpo, el ritmo cardiaco, la presión sanguínea y el desempeño de tareas tales como la capacidad crítica de rastreo (vea la figura 6.18). Por lo general, las funciones y el desempeño corporales comienzan a aumentar al despertarnos, alcanzan un pico a media tarde y después disminuyen de manera permanente hasta que llegan a un punto inferior a medianoche. También puede presentarse una caída después del mediodía, conocido como el *sueño después de comer.* Por lo tanto, a las personas que se les pide trabajar en turnos nocturnos demuestran una marcada degradación en su desempeño, que se manifiesta en los choferes de camión que se duermen a media carretera o en los inspectores de gas que toman lecturas en medidores (Grandjean, 1988).

Se podría suponer que los trabajadores nocturnos se adaptarían al trabajo por la noche debido al cambio de los patrones de trabajo. Desafortunadamente, las demás interacciones sociales aún juegan un papel muy importante y el ritmo circadiano en realidad nunca se invierte (como sucede con las personas que viajan por periodos muy largos hasta el otro lado del globo) sino que se aplana, el cual algunos investigadores consideran el peor escenario. Por lo tanto, los trabajadores nocturnos también experimentan problemas de salud, tales como pérdida del apetito, problemas digestivos, úlceras y una mayor propensión a contraer enfermedades. Los problemas se hacen todavía más críticos a medida que el trabajador envejece.

Existen muchas formas de organizar el trabajo por turnos. Por lo general, el sistema de 3 turnos está conformado por un turno en la mañana (E) de 8 a.m. a 4 p.m., otro turno en la tarde (L) de 4 p.m. a 12 p.m. (medianoche) y otro en la noche (N) de 12 p.m. a 8 p.m. En el caso más simple, debido a las demandas de producción elevadas en el corto plazo, una compañía puede variar de tener un turno por la mañana a otro que consista en uno por la mañana y otro por la tarde. Generalmente, debido a la antigüedad, el turno por la mañana lo solicitan los trabajadores más grandes y establecidos, mientras que los recién contratados comienzan su trabajo en el turno de la tarde. La rotación de los dos turnos de forma semanal no provoca ningún problema psicológico significativo, puesto que el patrón de sueño no se ve afectado. Sin embargo, los patrones sociales sí pueden resultar afectados de manera considerable.

Implantar el tercer turno, el turno nocturno, hace que la situación se torne más problemática. Puesto que existen problemas para ajustar un nuevo ritmo circadiano, aun durante el transcurso de varias semanas, la mayoría de los investigadores apoya la *rotación rápida*, con cambios de turno cada dos o tres días. Este arreglo mantiene la calidad del sueño lo mejor posible y no afecta la vida familiar y el contacto social por periodos prolongados. La rotación semanal que se experimenta en Estados Unidos es quizás el peor escenario, debido a que los trabajadores nunca se adaptan a ninguno de los turnos.

En la tabla 6.11 se proporciona un sistema de trabajo por turnos de rotación rápida para un sistema de producción de 5 días (es decir, sin fines de semana). Sin embargo, en muchas compañías, el turno nocturno es, principalmente, un turno de mantenimiento con producción limitada. En este caso, no es necesario que trabaje todo el equipo, y sería más sencillo rotar sólo los turnos matutino

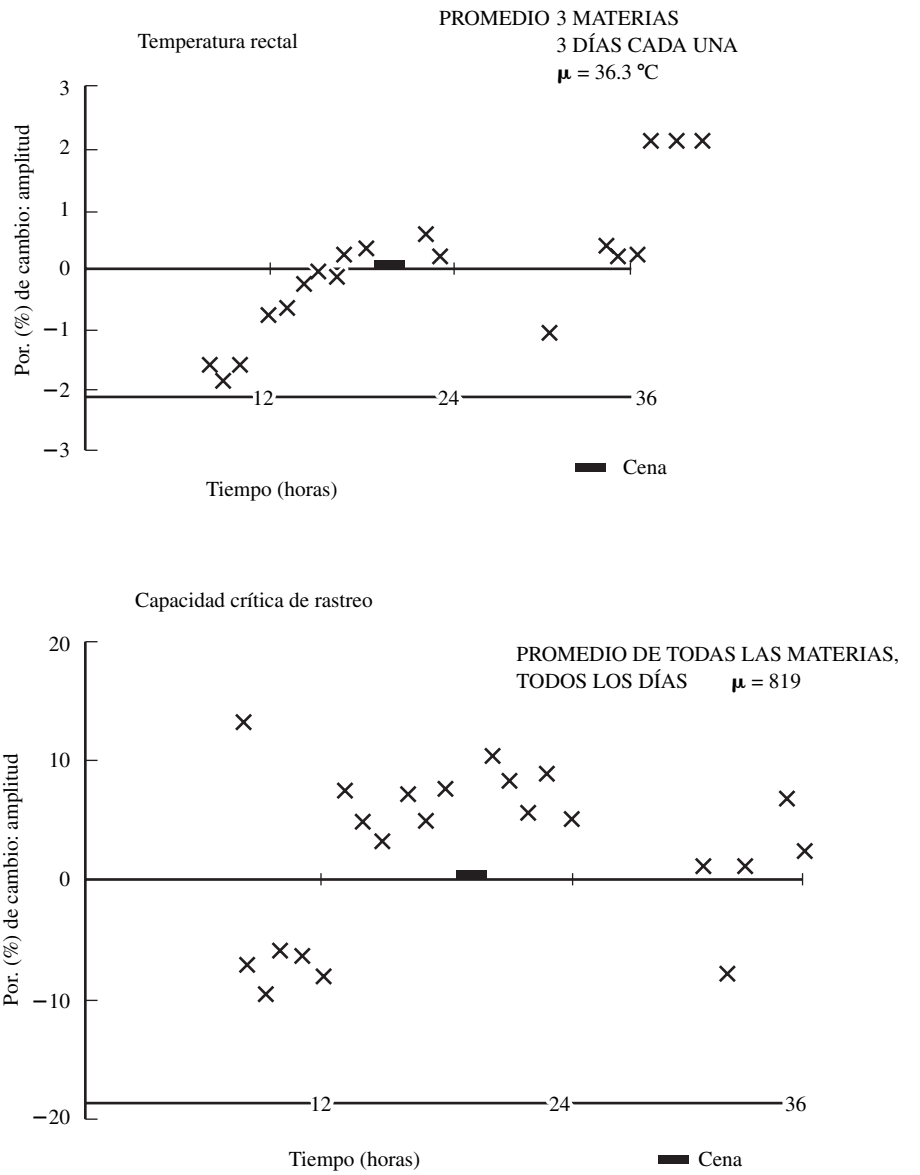


Figura 6.18 Ejemplos de ritmos circadianos. (*De*: Freivalds, Chaffin y Langolf, 1983.)

y vespertino y trabajar con un grupo reducido y fijo en el turno nocturno, el cual puede formarse primordialmente con voluntarios que puedan adaptarse mejor a él.

Para llevar a cabo operaciones continuas durante todo el día, es necesario adoptar un sistema de turnos de siete días de rotación rápida. Dos esquemas comúnmente utilizados en Europa son el sistema 2-2-2, que consiste en no más de dos días en cualquier turno (vea tabla 6.12) y el sistema 2-2-3, que consiste en no más de tres días en cualquiera de los turnos (vea la tabla 6.13). Se pueden realizar reacomodos entre cada uno de estos sistemas. El sistema 2-2-2 proporciona un fin de semana libre sólo una vez cada ocho semanas. El sistema 2-2-3 proporciona un fin de semana de tres días una vez cada cuatro semanas, pero requiere de que los trabajadores laboren siete días en forma continua, lo cual no lo hace muy atractivo. El problema fundamental de ambos sistemas es que con turnos de 8 horas se trabaja un total de 42 horas/semana. Se puede requerir de sistemas alternos con más grupos de trabajadores y menor número de horas (Eastman Kodak, 1986).

Otro posible método consiste en programar turnos de 12 horas. Bajo dicho sistema, los trabajadores laboran turnos de 12 horas en el día (D) o turnos de 12 horas en la noche (N), con una programación de tres días activos y tres días inactivos (vea la tabla 6.14) o una programación más compleja consistente en dos o tres días activos o inactivos, y un fin de semana activo y otro inactivo (vea la tabla

Tabla 6.11 Rotación de turnos de 8 horas (sin trabajar los fines de semana)

Semana	L	M	M	J	V	S	D
1	E	E	L	L	L	—	—
2	N	N	E	E	E	—	—
3	L	L	N	N	N	—	—

Nota: E = mañana, L = tarde, N = noche

Tabla 6.12 Rotación de turnos 2-2-2 (8 horas continuas)

Semana	L	M	M	J	V	S	D
1	E	E	L	L	N	N	—
2	—	E	E	L	L	N	N
3	—	—	E	E	L	L	N
4	N	—	—	E	E	L	L
5	N	N	—	—	E	E	L
6	L	N	N	—	—	E	E
7	L	L	N	N	—	—	E
8	E	L	L	N	N	—	—

Nota: E = mañana, L = tarde, N = noche

Tabla 6.13 Rotación de turnos 2-2-3 (8 horas continuas)

Semana	L	M	M	J	V	S	D
1	E	E	L	L	N	N	N
2	—	—	E	E	L	L	L
3	N	N	—	—	E	E	E
4	L	L	N	N	—	—	—

Nota: E = mañana, L = tarde, N = noche

Tabla 6.14 Rotación de turnos de 12 horas (3 días activo, 3 días inactivo)

Semana	L	M	M	J	V	S	D
1	D	D	D	—	—	—	N
2	N	N	—	—	—	D	D
3	D	—	—	—	N	N	N
4	—	—	—	D	D	D	—
5	—	—	N	N	N	—	—
6	—	D	D	D	—	—	—

Nota: D = día, N = noche

Tabla 6.15 Rotación de turnos de 12 horas (un fin de semana cada dos inactivo)

Semana	L	M	M	J	V	S	D
1	D	—	—	N	N	—	—
2	—	D	D	—	—	N	N
3	N	—	—	D	D	—	—
4	—	N	N	—	—	D	D

Nota: D = día, N = noche

6.15). Este método conlleva varias ventajas en el sentido de que existen periodos de descanso más largos entre días laborables, y al menos la mitad del resto de los días coinciden con un fin de semana. Desde luego, la desventaja evidente consiste en tener que trabajar por más días o, en esencia, trabajar tiempo extra de manera regular (vea la sección siguiente).

Existen sistemas más complicados con un menor número de horas a la semana (40 o menos), los que pueden estudiarse con más detalle en Eastman Kodak (1986) o Schwarzenau *et. al*. (1986).

En resumen, los riesgos por accidente y de la salud están asociados con el trabajo por turnos. Sin embargo, si el trabajo por turnos representa una cuestión inevitable debido a consideraciones relacionadas con los procesos de manufactura, se deben considerar las recomendaciones siguientes:

1. Evite el trabajo por turnos de personas mayores de 50 años.
2. Utilice rotaciones rápidas contrariamente a ciclos semanales o mensuales.
3. Programe el menor número de turnos sucesivos en la noche (tres o menos) cuando le sea posible.
4. Utilice la rotación de turnos hacia adelante si le es posible (por ejemplo, E-L-N o D-N).
5. Limite el número total de turnos de trabajo en forma consecutiva a siete o menos.
6. Incluya varios fines de semana libres con al menos dos días sucesivos completos libres.
7. Programe días de descanso después de que el personal haya trabajado en turnos nocturnos.
8. Mantenga la programación sencilla, predecible y equitativa para todos los trabajadores.

TIEMPO EXTRA

Muchos estudios han demostrado que los cambios en la longitud de los días o semanas laborables tienen un efecto directo en la producción. Desafortunadamente, por lo general, el resultado no se puede representar mediante la proporción directa esperada. Observe que en la figura 6.19, el desempeño diario teórico es lineal (línea 1), pero en la práctica, tiene una forma de S (curva 2). Por ejemplo, existe una configuración inicial o periodo preparatorio con muy poca productividad (área A), una etapa de calentamiento gradual, una sección más abrupta con una productividad mayor a la teórica (área B) y una nivelación gradual a medida que se acerca el final del turno. En un turno de 8 horas, las dos áreas, la de menor producción (área A) y la de producción en exceso (área B), son iguales mientras que en turnos mayores a 8 horas de trabajo manual pesado (curva 3), la productividad menor es mayor que la productividad excesiva, especialmente con un desempeño menos productivo adicional (área C) en las últimas horas (Lehmann, 1953).

Los resultados de un antiguo estudio británico (citado en Grandjean, 1988) demostró que al *acortar* el día laborable se genera una producción por hora más *elevada*, tomando un menor número de pausas para descanso. Este cambio en el desempeño del trabajo requirió de al menos varios días (a veces más) para que se llegara a un estado estable. De manera contraria, hacer el día laborable más prolongado, esto es, trabajar tiempo extra, provoca una reducción en la productividad, a veces hasta el punto en que la producción total en el curso del turno disminuye, a pesar de que el número de horas totales trabajadas es mayor (vea la curva 3 de la figura 6.19). Por lo tanto, cualquier beneficio que se espere a partir del aumento de horas de trabajo es típicamente contraproducente pues se obtiene una menor productividad. Este efecto depende del nivel de carga de trabajo física: a medida que el trabajo

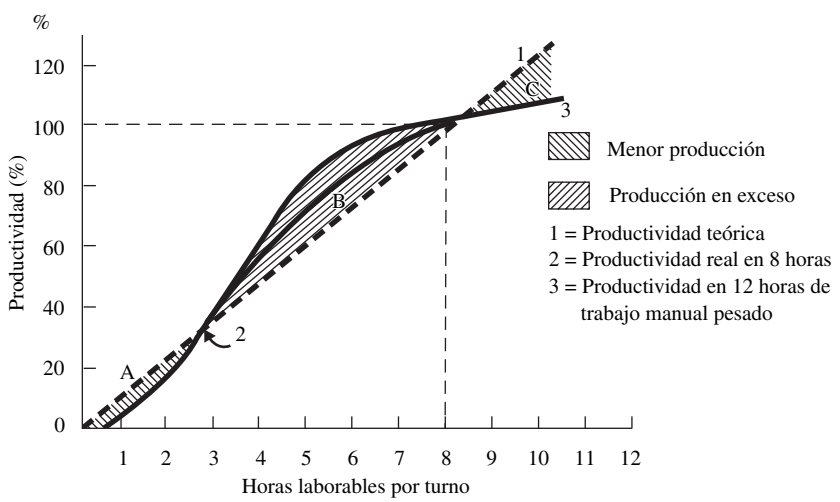


Figura 6.19 Productividad en función de las horas de trabajo. (*Adaptado de*: Lehmann, 1953.)

es más exigente, la reducción en la productividad será cada vez mayor y el trabajador empleará mayor tiempo para su descanso.

Datos obtenidos en fechas más recientes (citados en Eastman Kodak, 1986) indican que el aumento en la producción esperado es de aproximadamente 10% por cada incremento de 25% en las horas trabajadas. Definitivamente, este resultado no justifica el pago invertido de 50 adicional por tiempo extra. Este análisis presupone una escala de pagos por día de trabajo (vea el capítulo 17). Con un esquema de incentivos por horas extra, es probable que la reducción en la producción no sea tan abrupta. De manera similar, si el trabajo está sujeto al ritmo de la máquina, la productividad también está sujeta al ritmo de trabajo de esa máquina. Sin embargo, el operador puede alcanzar niveles inaceptables de fatiga y serán necesarios periodos de descanso adicionales (vea el capítulo 11). Un efecto secundario del tiempo extra es que cuando éste es excesivo o continuo está acompañado de un mayor número de accidentes y abandono del trabajo por enfermedad (Grandjean, 1988).

No se recomienda programar tiempo extra de manera regular. Sin embargo, puede ser necesario por periodos cortos transitorios con el fin de mantener la producción o reponer de manera temporal la falta de trabajadores. En dichos casos, se deben seguir los lineamientos siguientes:

1. Evite el tiempo extra en áreas donde se realice trabajo manual pesado.
2. Reevalúe el trabajo que está sujeto al ritmo de trabajo de la máquina con el fin de asignar periodos de descanso adecuados o reducir la producción.
3. Para tiempo extra continuo o por largos periodos, rote el trabajo entre los trabajadores o analice los sistemas alternos de turnos.
4. Cuando tenga que seleccionar entre extender varios días laborables en 1 o 2 horas y extender la semana laboral en 1 día, la mayoría de los trabajadores optarán por el primer caso, con el fin de evitar perderse un día del fin de semana con la familia (Eastman Kodak, 1986).

COMPRESIÓN DE LA SEMANA LABORAL

La compresión de la semana laboral implica que lo que se realiza en 40 horas tenga que hacerse en menos de 5 días, Por lo general, este arreglo se presenta en la forma de cuatro días de 10 horas, tres días de 12 horas o cuatro días de 9 horas y medio día los viernes. Desde la perspectiva de la gerencia, este concepto ofrece varias ventajas: reduce el ausentismo, menor tiempo invertido en descansos para tomar café y para la comida y menores costos de arranque y paro de la maquinaria (en relación al tiempo de operación). Por ejemplo, las instalaciones para el tratamiento térmico, el forjado y el fundido requieren de una gran cantidad de tiempo, de hasta 15% del día laboral de 8 horas o más, para que la máquina y el material estén a la temperatura que se requiere antes de iniciar la producción. Si se adopta un día de 10 horas, la operación puede ganar unas 2 horas adicionales de tiempo de producción sin ocupar tiempo para la puesta en marcha. En este caso, los ahorros económicos que se obtienen a partir de la adopción de un día laboral más largo pueden ser considerables. Los trabajadores también obtienen un beneficio a partir de un mayor tiempo libre, menos tiempo para ir y regresar a su trabajo (relativo al tiempo laboral) y menores costos relacionados con el punto anterior.

Por otro lado, con base en los análisis acerca del tiempo extra, una semana laboral comprimida opera como tiempo extra continuo. A pesar de que el número de horas trabajadas es menor, las horas trabajadas en un determinado día son proporcionalmente mayores. Por lo tanto, muchas de las desventajas del tiempo extra se aplican a la semana laboral comprimida (Eastman Kodak, 1986). Otras objeciones a la semana de 4 días y 10 horas al día surgen de los miembros de la gerencia quienes dicen que están obligados a estar en el trabajo no sólo 10 horas durante los 4 días, sino al menos 8 horas en el quinto día.

HORARIOS DE TRABAJO ALTERNOS

Debido a un mayor flujo de mujeres, especialmente madres con niños en edad escolar, madres solteras, trabajadores de edad avanzada y empleados con dos trabajos como parte de la fuerza laboral y con los elevados costos y tiempo invertido en desplazarse de ida y de regreso al trabajo y el valor de la calidad de vida, se hizo necesario implantar horarios de trabajo alternos. Uno de dichos horarios lo constituye el *tiempo flexible*, método según el cual los tiempos de inicio y fin del trabajo lo establecen los propios trabajadores, dentro de los límites que fija la gerencia. En la actualidad, existen planes de

esta naturaleza. Algunos requieren que los empleados trabajen al menos 8 horas al día, otros que se trabaje un número específico de horas a la semana o al mes, mientras que otros requieren que todos los operarios estén en las instalaciones cuatro o cinco horas intermedias dentro del turno.

Existen un gran número de ventajas cuando se adoptan estos planes, tanto para los empleados como para la gerencia. Los empleados pueden trabajar durante horas por la mañana o por las tardes de una manera más apropiada con sus ritmos circadianos, manejar de mejor manera sus necesidades familiares o emergencias y ocuparse de sus negocios personales durante horas laborables de oficina sin requerir pedir permiso para salir de sus trabajos. La gerencia obtiene ganancias debido a que el personal no llega tarde ni tiene que salir por enfermedad. Aun la comunidad en la que se encuentra la empresa obtiene ganancias debido a una menor congestión de tránsito de automóviles y un mejor uso de instalaciones recreativas y de servicios. Por otro lado, es probable que el tiempo flexible pueda tener un uso limitado en las operaciones de manufactura de procesos continuos que dependan del ritmo de la máquina debido a problemas en la programación y coordinación de la fuerza de trabajo. Sin embargo, en escenarios donde se hace uso de grupos de trabajo (vea el capítulo 8), la adopción de este método puede ser una opción (Eastman Kodak, 1986).

El trabajo en forma parcial y algunas formas de tareas compartidas puede ser especialmente útil para las madres solteras con niños o para los retirados que buscan un complemento a sus pensiones. Ambos grupos pueden ofrecer su talento y sus servicios a la compañía, pero pueden estar limitados por diversas circunstancias para trabajar turnos convencionales de 8 horas. A pesar de que pueden surgir problemas con respecto a los beneficios u otros costos fijos del empleado, éstos pueden administrarse con base en el prorrateo u otra forma creativa.

RESUMEN

Un ambiente de trabajo adecuado es importante no sólo desde el punto de vista del incremento de la productividad y mejoramiento de la salud física y seguridad de los trabajadores, sino también para promover la moral de los trabajadores y, como consecuencia, reducir el absentismo y la rotación laboral. A pesar de que gran cantidad de estos factores pueden parecer intangibles o de efecto marginal, estudios científicos controlados han demostrado los beneficios de una iluminación mejorada, una reducción del estrés provocado por el ruido y el calor y una mejor ventilación.

La visibilidad depende directamente de la iluminación que se proporcione pero también resulta afectada por el ángulo de visión del objetivo que se observa y el contraste del objetivo con el fondo. Como consecuencia, puede mejorarse la visibilidad de la tarea a través de varias formas y no siempre depende del incremento de la intensidad de la fuente luminosa.

Los largos periodos de exposición al ruido estruendoso, a pesar de que no afectan directamente la productividad, pueden provocar la pérdida de la capacidad auditiva y, en definitiva, son demasiado molestos. El control del ruido (y de la vibración) es más sencillo en la fuente y típicamente se encarece a medida que está más lejos de ella. Aunque la utilización de protección auditiva podría parecer la forma más sencilla, requiere de una motivación y obligación continuas.

De manera similar, el efecto del clima en la productividad es muy variable y está en función de la motivación personal. Un clima confortable depende de la cantidad y la velocidad de intercambio de aire, de la temperatura y de la humedad. En áreas muy cálidas, el clima se controla de una manera más fácil a través de una ventilación adecuada para remover los contaminantes y mejorar la evaporación del sudor. (El aire acondicionado es más eficiente, pero es más costoso). En climas fríos, el uso de ropa apropiada constituye el mecanismo de control más importante. El trabajo por turnos debe utilizar horarios cortos, rápidos y de rotación hacia adelante en los que se utilice el tiempo extra de manera limitada.

Con la finalidad de ayudar al analista de métodos a utilizar los diferentes factores que se analizaron en este capítulo, éstos se han resumido en la Lista de verificación del ambiente de trabajo que se muestra en la figura 6.20.

PREGUNTAS

1. ¿Qué factores afectan la cantidad de luz necesaria para llevar a cabo la tarea de manera satisfactoria?
2. Explique el efecto de interpretación del color de las lámparas de sodio a baja presión.
3. ¿Cuál es la relación entre el contraste y la visibilidad?

Iluminación	Sí	No
1. ¿Es la iluminación suficiente para el trabajo de acuerdo con las recomendaciones del IESNA?	❑	❑
a) Para aumentar la iluminación, ¿se deben suministrar más luminarias en lugar de aumentar el voltaje de las existentes?	❑	❑
2. ¿Existe iluminación general así como complementaria?	❑	❑
3. ¿Se debe diseñar el lugar de trabajo y la iluminación de tal forma que se evite el reflejo?	❑	❑
a) ¿Se deben colocar las luminarias directas lejos del campo de visión?	❑	❑
b) ¿Las luminarias cuentan con baffles y difusores?	❑	❑
c) ¿Las superficies de trabajo se colocan de manera perpendicular a las luminarias?	❑	❑
d) ¿Las superficies son de color mate u opacas?	❑	❑
4. Si fuere necesario, ¿se encuentran disponibles filtros de pantalla para los monitores de las computadoras?	❑	❑

Condiciones térmicas: Calor	Sí	No
1. ¿Se encuentra el trabajador dentro de su zona de confort térmico?	❑	❑
a) Si no es así, ¿se midió el WBGT del ambiente de trabajo?	❑	❑
2. ¿Las condiciones térmicas cumplen con los lineamientos del ASHRAE?	❑	❑
a) Si no los cumplen, ¿se proporciona suficiente tiempo de recuperación?	❑	❑
3. ¿Están en orden los procedimientos para controlar las condiciones potenciales de estrés por calor?	❑	❑
a) ¿Está controlada la fuga de calor en la fuente?	❑	❑
b) ¿Están colocados en su lugar los escudos para la protección contra la radiación?	❑	❑
c) ¿Se proporciona ventilación?	❑	❑
d) ¿Está deshumidificado el aire?	❑	❑
e) ¿Se proporciona aire acondicionado?	❑	❑

Condiciones térmicas: Frío	Sí	No
1. ¿Cuenta el trabajador con la ropa apropiada para soportar la temperatura equivalente de aire frío?	❑	❑
2. ¿Se proporcionan calentadores auxiliares?	❑	❑
3. ¿Se proporcionan guantes?	❑	❑

Ventilación	Sí	No
1. ¿Son aceptables los niveles de ventilación de acuerdo con los lineamientos?	❑	❑
a) ¿Se proporciona un mínimo de 300 pies^3/h/persona?	❑	❑
2. Si fuera necesario, ¿se proporcionan ventiladores cercanos a los trabajadores?	❑	❑
a) ¿Se encuentran estos ventiladores dentro de una distancia equivalente a 30 veces su diámetro?	❑	❑
3. En las fuentes locales de calor, ¿se proporciona enfriamiento dirigido?	❑	❑

Niveles de ruido	Sí	No
1. ¿Están los niveles de ruido por debajo de 90 dBA?		
a) Si los niveles de ruido exceden 90 dBA, ¿existen suficientes periodos de descanso de tal manera que la dosis de 8 horas sea menor a 10%?	❑	❑
2. ¿Están en su lugar las medidas para el control del ruido?	❑	❑
a) ¿Cuenta el ruido controlado en la fuente con un mejor mantenimiento, cubiertas y soporte de hule?	❑	❑
b) ¿Se encuentra aislada la fuente de ruido?	❑	❑
c) ¿Se utilizan tratamientos acústicos?	❑	❑
d) Como último recurso, ¿se utilizan adecuadamente los audífonos (u orejeras)?	❑	❑

Vibración	Sí	No
1. ¿Se encuentran los niveles de vibración dentro de los estándares aceptados por el ANSI?	❑	❑
2. Si existe una vibración, ¿se pueden eliminar las fuentes que la producen?	❑	❑
3. ¿Se han instalado asientos especialmente diseñados para amortiguar las vibraciones en los vehículos?	❑	❑
4. ¿Se pueden conectar mangos que absorban las vibraciones a las herramientas de poder?	❑	❑
5. ¿Se les ha proporcionado a los operadores que trabajan de pie alfombras elásticas resistentes a la fatiga?	❑	❑

Figura 6.20 Lista de verificación del ambiente de trabajo.

4. ¿Qué intensidad recomendaría usted que tuviera una lámpara de pie situada 30 pulgadas por arriba del nivel del piso en los baños de la compañía?
5. Explique cómo las ventas pueden ser afectadas por los colores.
6. ¿Qué color tiene la mayor visibilidad?

7. ¿Cómo se disipa la energía del sonido en los materiales viscoelásticos?
8. ¿Qué longitud de onda en metros aproximada tendrá una frecuencia de 2 000 Hz?
9. ¿Cuál será el valor aproximado en decibeles de una fresadora que se utiliza en acero al alto carbón?
10. Establezca la diferencia entre el ruido de banda ancha y el ruido significativo.
11. ¿Promovería usted la música de fondo en una estación de trabajo? ¿Qué resultados anticiparía?
12. De acuerdo con la ley de la OSHA actual, ¿cuántas horas continuas al día sería permisible un nivel de sonido de 100 dBA?
13. ¿Cuáles son las tres clasificaciones que se han identificado desde el punto de vista de la exposición a la vibración?
14. ¿De qué formas pueden protegerse los trabajadores contra las vibraciones?
15. ¿Qué quiere decir el término *temperatura ambiental*?
16. Explique lo que quiere decir *zona de confort térmico.*
17. ¿Cuál es el incremento máximo de la temperatura corporal que los analistas deben permitir?
18. ¿Cómo procedería usted para calcular el máximo periodo al que se puede exponer a un trabajador a un ambiente caluroso particular?
19. ¿Qué es el WBGT?
20. ¿Cuál es el WBGT con una temperatura de bulbo seco de 80 °F, una temperatura de bulbo húmedo de 70 °F y una temperatura de globo de 100 °F?
21. ¿A qué tipo de radiación se le presta mayor atención por parte del ingeniero de seguridad?
22. ¿Qué significa *dosis de radiación absorbida*? ¿Cuál es la unidad de la dosis absorbida?
23. ¿Qué significa *rem*?
24. ¿Qué pasos seguiría usted para incrementar 15% la luz en el departamento de ensamble siguiente? El departamento utiliza lámparas fluorescentes, mientras que las paredes así como el techo están pintados de color verde medio. Las mesas de ensamble están pintadas de color café oscuro.
25. ¿Qué combinación de colores utilizaría usted para llamar la atención sobre un nuevo producto?
26. ¿Cuándo promovería usted que la compañía comprara ropa de aluminio?
27. ¿Se encuentran asociadas posibles lesiones a la salud con el maquinado por rayo electrónico? ¿Con al maquinado por rayo láser? Explique su respuesta.
28. Explique el efecto que tienen los niveles de ruido que se encuentran por debajo de 85 dBA en un ambiente de oficina.
29. ¿Qué factores ambientales afectan la tensión por calor? ¿Cómo puede medirse cada uno de ellos?
30. ¿Cómo podría usted determinar si el desempeño de un determinado trabajo obliga al trabajador a estar sometido a una carga excesiva de calor?

PROBLEMAS

1. Un área de trabajo tiene una reflectividad de 60%, con base en la combinación de colores de las estaciones de trabajo y el medio ambiente. La tarea del trabajo de ensamblado podría clasificarse como difícil. ¿Cuál sería la iluminación que usted recomendaría?
2. ¿Cuál es el nivel de ruido combinado de dos sonidos de 86 y 96 dB?
3. Un ingeniero industrial de la Compañía Dorben diseñó una estación de trabajo donde la tarea era difícil debido al tamaño de los componentes que forman parte del ensamble. La brillantez deseada era de 100 fL y la estación de trabajo estaba pintada de verde medio con una reflectancia de 50%. ¿Qué iluminación en candelas pie se requerirá en esta estación de trabajo para proporcionar la brillantez deseada? Calcule la iluminación que se requiere si usted pinta la estación de trabajo de un color crema claro.
4. A un ingeniero industrial (IE) de la Compañía Dorben se le asignó la tarea de modificar los métodos de trabajo del departamento de prensado para cumplir con los estándares de la OSHA en relación con la exposición permitida a ruidos. El IE calculó un nivel sonoro promedio ponderado en el tiempo de 100 dBA. Los 20 operadores de este departamento portaban audífonos proporcionados por Dorben con un valor NRR de 20 dB. ¿Qué mejora se obtuvo? ¿Cree usted que este departamento ya está cumpliendo con la ley? Explique su respuesta.
5. En la Compañía Dorben, un estudio de todo un día de duración reveló las fuentes de ruido siguientes: 0.5 h, 100dBA; 1 h, menos de 80 dBA; 3.5 h, 90 dBA; 3 h, 92 dBA. ¿Cumple la compañía con la normativa vigente? ¿Cuál es la dosis de exposición? ¿Cuál es el nivel de ruido TWA?
6. En el problema 5, considere que la última exposición se llevó a cabo en el cuarto de prensado, el cual cuenta con cinco prensas en operación. Suponiendo que la Compañía Dorben puede eliminar algunas

prensas y transferir la producción a las prensas restantes, ¿cuántas prensas deberá eliminar de tal manera que no se exceda una dosis de exposición de 100% de los trabajadores?

7. ¿Cuál es la iluminación sobre una superficie ubicada a 6 pulgadas de una fuente de 2 cd?
8. ¿Cuál es la luminancia de una superficie que tiene 50% de reflectancia y 4 fc de iluminación?
9. ¿Cuál es el contraste creado por el texto oscuro (reflectancia = 10%) sobre papel blanco (reflectancia = 90%)?
10. ¿Qué tan fuerte es un ruido de 80 dB con respecto a uno de 60 dB?
11. ¿Cuál es el incremento en decibeles de un ruido que se duplica en intensidad?
12. Una supervisora está sentada en su escritorio, el cual está iluminado por una fuente de 180 cd 3 pies por encima de él. Ella escribe con tinta verde (reflectancia = 30%) sobre un tablero de notas amarillo (reflectancia = 60%). ¿Cuál es la iluminación sobre el tablero de notas? ¿Es suficiente? Si no es así, ¿qué cantidad de iluminación es necesaria? ¿Cuál es el contraste de la tarea de escritura? ¿Cuál es la luminancia del tablero de notas?
13. ¿Qué cantidad de ventilación recomendaría usted en un salón cuya área fuera de 1 000 pies^2 y techos de 12 pies de altura? Suponga que el tamaño de la clase pudiera ser de 40 estudiantes.

REFERENCIAS

ACGIH, *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Work Environment*, Cincinnati, OH: American Conference of Government Industrial Hygienists, 1985.

ASA, *American National Standard: Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration* (ANSI S3.18-1979), Nueva York: Acoustical Society of America, 1980.

ASHRAE, *Handbook, Fundamentals*, capítulo 8, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1993.

ASHRAE, *Handbook, Heating*, *Ventilation and Air Conditioning Applications*, capítulo 25. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1991.

Belding, H. S. y T. F. Hatch, "Index for Evaluating Heat Stress in Terms of Physiological Strains", en *Heating, Piping and Air Conditioning*, 27 (agosto de 1955), pp.129-136.

Blackwell, H. R., "Development and Use of a Quantitative Method for Specification of Interior Illumination Levels on the Basis of Performance Data", en *Illuminating Engineer*, 54 (junio de 1959), pp. 317-353.

Eastman Kodak Co., *Ergonomic Design for People at Work*, vol. 1, Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

Eastman Kodak Co., *Ergonomic Design for People at Work*, vol. 2, Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

Freivalds, A., D. B. Chaffin y G. D. Langolf, "Quantification of human Performance Circadian Rhytms", en *Journal of the American Industrial Higiene Association*, 44, núm. 9 (septiembre de 1983), pp. 643-648.

Freivalds, A., J. L. Harpster y L. S. Heckman, "Glare and Night Vision Impairment in Corrective Lens Waarers", en *Proceedings of the Human Factor Society*, (27 Reunión anual, 1983), pp. 324-328.

General Electric Company, *Light Measurement and Control* (TP-118), Nela Park, Cleveland, OH: Large Lamp Department, G. E., (marzo de 1965).

Grandjean, E., *Fitting the Task to Man*. 4a. ed., Londres: Taylor & Francis, 1988.

IESNA, *Lighting Hanbook*, 8a. ed., Ed. M. S. Rea, Nueva York: Illuminating Enginnering Society of North America, 1995, pp. 459-478.

Kamon, E., W. L. Kenney, N. S. Deno, K. J. Soto y A.J. Carpenter, "Readdressing Personal Cooling with Ice", en *Journal of the American Industrial Hygiene Association*, 47, núm. 5 (mayo de 1986), pp. 293-298.

Konz, S. y S. Johnson. *Work Design*, 5*a*. ed., Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.

Lehmann, G., *Praktische Arbeitsphysiologie*, Stuttgart: G.Thieme,1953.

Lockhart, J. M., H. O. Kiess y T.J. Clegg, "Effect of Rate and Level of Lowered Finger-Surface Temperature on Manual Performance", en *Journal of Applied Psychology*, 60, núm.1 (febrero de 1975), pp.106-113.

NIOSH, *Criteria for a Recommended Standard… Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria*, Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Health, Superintendent of Documents, 1986.

NIOSH, *Occupational Noise Exposure, Revised Criteria 1998*, DHHS Publication núm. 98-126. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Seafty and Health, 1998.

OSHA, *Code of Federal Regulations—Labor*, *(29 CFR 1910)*, Washington, DC: Office of the Federal Register, 1997.

OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, OSHA 3123, Washington, DC: The Bureau of National Affairs, Inc., 1990.

Peterson, A. y E. Gross, Jr., *Handboolk of Noise Measurement*, 8a. ed., New Concord, MA: General radio Co., 1978.

Riley, M.W. y D. J. Cochran, "Partial Gloves and Reduced Temperature", en *Proceedings of the Human Factors Society 28 Annual Meeting*, Santa Monica, CA: Human Factors and ergonomics Society, 1984, pp. 179-182.

Sanders, M.S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, 7a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1993.

Scwarzenau, P., P. Knauth, E. Kiessvetter, W. Brockmann y J. Rutefranz, "Algorithm for the Computerized Construction of Shift Systems Which Meet Ergonomic Criteria", en *Applied Ergonomics*, 17, no. 3 (septiembre de 1986), pp. 169-176.

Yaglou, C. P. y D. Minard, "Control of Heat Casualties at Military Training Centers", en *AMA Archives of Industrial Health*, 16 (1957), pp. 302-316.

Yaglou, C.P., E.C. Riley y D.I. Coggins, "Ventilation Requirements", en *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Transactions*, 42 (1936), pp. 133-158.

SOFTWARE RECOMENDADO

Design Tools(disponible en el sitio de Internet de este texto de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebel-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

SITIOS EN INTERNET

American Society for Seafty Engineers, http://www.ASSE.org/
CalOSHA Standard, http://www.ergoweb.com/Pub/Info/Std/calstd.html
National Safety Council, http://www.nsc.org/
NIOSH homepage, http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html
OSHA homepage, www.osha.gov/
OSHA Proponed Ergonomics Standard, http://www.osha-slc.gov/FedReg_osha_data/FED20001114.html

Diseño del trabajo cognitivo

CAPÍTULO 7

PUNTOS CLAVE

- Minimice la carga de trabajo relacionada con la información.
- Limite los juicios absolutos a 7 ± 2 artículos.
- Utilice pantallas visuales en el caso de mensajes largos y complejos en áreas ruidosas.
- Utilice pantallas auditivas para enviar advertencias y mensajes sencillos y breves.
- Haga uso del los colores, símbolos y caracteres alfanuméricos en las pantallas visuales.
- Use el color e iluminación intermitente con el fin de llamar la atención.

Tradicionalmente, el diseño del trabajo cognitivo no se ha incluido como parte de la ingeniería de métodos. Sin embargo, debido a los continuos cambios en las ocupaciones y en el ambiente de trabajo, el estudio no sólo de los componentes manuales del trabajo, sino que también de sus aspectos cognitivos se ha convertido en un tema muy importante. Tanto las máquinas como los equipos se están haciendo cada día más complejos y automatizados —si no es que totalmente automáticos—. El operador debe ser capaz de percibir e interpretar enormes cantidades de información, tomar decisiones críticas y controlar las máquinas de una manera rápida y precisa. Además, se observa una transferencia gradual de trabajos desde el sector manufacturero al de servicios. En cualquier caso, por lo general se dará menor énfasis a la actividad física bruta y uno mayor al procesamiento de información y la toma de decisiones, en especial a través de las computadoras y toda la tecnología moderna asociada con ellas. Por lo tanto, este capítulo proporciona una explicación de la tecnología de la información, presenta un modelo conceptual básico del ser humano como elemento procesador de información y explica con detalles de qué manera se puede codificar y presentar mejor la información con el fin de obtener una máxima eficiencia, especialmente con pantallas visuales y auditivas. Asimismo, en la sección final se presenta un bosquejo de las consideraciones de software y hardware respecto a la interacción del ser humano con las computadoras.

7.1 TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

La información, en el sentido cotidiano de la palabra, es el conocimiento que recibimos sobre un hecho en particular. Desde el punto de vista técnico, la información es la reducción de la incertidumbre acerca de ese hecho. Por ejemplo, el hecho de que se encienda un indicador luminoso del motor (aceite) cuando se enciende el automóvil proporciona muy poca información (además de que el foco funciona correctamente) debido a que se espera que este indicador se encienda. Por otro lado, cuando

el mismo indicador luminoso se enciende cuando usted circula por la carretera, éste representa una cantidad significativa de información acerca del estado del motor ya que es un evento inesperado y muy poco probable. Por lo tanto, existe una relación entre la probabilidad de que suceda un evento y la cantidad de información que contenga, la cual puede cuantificarse mediante la definición matemática de información. Observe que este concepto no tiene nada que ver con la importancia de la información; esto es, conocer el estado del motor es mucho más importante que saber si el depósito de líquido limpiaparabrisas está vacío.

La teoría de la información mide la información en bits, donde un *bit* es la cantidad de información que se requiere para decidir entre dos alternativas equiprobables. El término *bit* proviene de la primera y última parte de las palabras *b*inary dig*it* que se utilizan en la teoría de computadoras y comunicaciones para expresar el estado encendido/apagado de un circuito integrado o el estado de polarización directa o inversa de pequeños fragmentos de núcleo ferromagnético que se utilizaron en las memorias de las computadoras arcaicas. Matemáticamente, esto se puede expresar como

$$H = \log_2 n$$

donde H = cantidad de información

n = número de alternativas equiprobables

Si se consideran sólo dos alternativas, tales como el estado de encendido/apagado de un circuito integrado o el lanzamiento de una moneda balanceada, hay 1 bit de información presente. Si se consideran 10 alternativas equiprobables como, por ejemplo, los números del 0 al 9 pueden contener 3.322 bits de información ($\log_2 10 = 3.322$). Una forma sencilla de calcular $\log_2$ es utilizar la fórmula siguiente:

$$\log_2 n = 1.4427 \times \ln n$$

Cuando las alternativas no son equiprobables, la información contenida se determina mediante

$$H = \Sigma p_i \times \log_2(1/p_i)$$

donde p_i = probabilidad del i-ésimo evento

i = alternativas de 1 a n

Como ejemplo, considere una moneda balanceada de tal manera que 90% del tiempo salga águila y sólo 10% salga sello. La cantidad de información que contiene el lanzamiento de la moneda se convierte en

$$H = 0.9 \times \log_2(1/0.9) + 0.1 \times \log_2(1/0.1) = 0.9 \times 0.152 + 0.1 \times 3.32$$
$$= 0.469 \text{ bit}$$

Observe que la cantidad de información (0.469) que contiene una moneda balanceada es menor a la que contiene una moneda desbalanceada (1.0). La cantidad máxima de información se obtiene siempre y cuando las probabilidades sean equiprobables. Esto se debe a que, a medida que una alternativa se hace más probable, contiene menor cantidad de información (es decir, considere la luz indicadora del motor al arrancar el automóvil). Lo anterior nos lleva al concepto de *redundancia* y la reducción de información a partir de lo más posible debido a la desigualdad de las probabilidades de ocurrencia. La redundancia puede expresarse como

$$\text{Porcentaje de redundancia} = (1 - H/H_{\text{máx}}) \times 100$$

Para el caso de una moneda ponderada, la redundancia es

$$\text{Porcentaje de redundancia} = (1 - 0.469/1) \times 100 = 53.1\%$$

Un ejemplo interesante se relaciona con el uso del idioma inglés. Hay 26 letras en el alfabeto (de la A a la Z) con un contenido teórico de información de una letra seleccionada al azar de 4.7 bits ($\log_2 26 = 4.7$). Evidentemente, cuando se combinan las letras para formar palabras, puede estar presente una cantidad de información significativamente mayor. Sin embargo, existe una reducción sustancial de la cantidad de información que puede presentarse en realidad debido a que las probabilidades de ocurrencia son diferentes. Por ejemplo, las letras s, t y e son mucho más comunes de

encontrar que la q, x y z. Se ha estimado que la redundancia del idioma inglés es de 68% (Sanders y McCormick, 1993). Por otro lado, la redundancia tiene algunas ventajas importantes respecto al diseño de pantallas y a la presentación de la información a los usuarios, temas que se analizarán posteriormente.

Un concepto final relacionado es el *ancho de banda* o *capacidad de un canal*, esto es, la velocidad máxima de procesamiento de información de un determinado canal de comunicaciones. En términos de un operador humano, el ancho de banda de las tareas de procesamiento motoras podría ser tan bajo como de 6 a 7 bits/s o tan alto como de 50 bits/s en el caso de la comunicación de voz. Desde el punto de vista del almacenamiento sensorial sólo del oído (es decir, que la información no llegue a la etapa de la toma de decisiones), el ancho de banda se aproxima a 10 000 bits/s (Sanders y McCormick, 1993). Este último valor es mucho mayor que la cantidad real de información que es procesada por el cerebro en ese tiempo debido a que la mayor parte de la información que reciben nuestros sentidos es eliminada antes de llegar al cerebro.

7.2 MODELO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EN EL SER HUMANO

Se ha propuesto un gran número de modelos para explicar la forma en que las personas procesamos la información. La mayoría de estos modelos consisten en cajas negras (debido a que la información está relativamente incompleta) que representan las diferentes etapas del procesamiento. La figura 7.1 presenta uno de dichos modelos, el cual consta de cuatro etapas o componentes principales: percepción, selección de la decisión y la respuesta, ejecución de la respuesta, memoria y recursos de atención distribuidos en las diferentes etapas. El componente de la toma de decisiones, cuando se combina con la memoria de trabajo y la de largo plazo, puede considerarse como la unidad de procesamiento central mientras que el almacén sensorial es una memoria muy transitoria y se ubica en la etapa de entrada (Wickens, Gordon y Liu, 1997).

TEORÍA DE LA PERCEPCIÓN Y DE LA DETECCIÓN DE SEÑALES

La *percepción* es la comparación entre la información que ingresa mediante el estímulo y el conocimiento almacenado para categorizar la información. La forma más básica de percepción es la *detección* simple, esto es, determinar si el estímulo está en realidad presente. El punto en cuestión incrementa su nivel de complejidad si se le pide a la persona que indique el tipo de estímulo o clase de estímulo a la cual pertenece y que posteriormente llegue al punto de la identificación y el reconocimiento mediante el uso de experiencias previas y asociaciones aprendidas. La relación subsiguiente entre la memoria de largo plazo y la codificación sensorial se muestra en la figura 7.1. Esta última es más compleja y puede explicarse en términos del análisis de características, la descomposición de objetos en formas geométricas o texto en palabras y secuencias de caracteres y, simultáneamente, de procesamiento de arriba hacia abajo o viceversa para reducir la cantidad de información que ingresa a la unidad de procesamiento central. Conceptualmente, el procesamiento de arriba hacia abajo se maneja mediante el uso de conceptos de alto nivel para procesar características perceptuales de bajo nivel, mientras que el procesamiento de abajo hacia arriba es operado a través de datos y guiado por características sensoriales.

La parte de detección de la codificación sensorial puede modelarse o, en el caso de tareas muy sencillas, cuantificarse a través de la *teoría de la detección de señales* (SDT). El concepto fundamental del SDT es que, en cualquier situación, un observador necesita identificar una señal (es decir, saber si está presente o no lo está) del ruido confuso. Por ejemplo, un inspector de calidad de una operación electrónica debe identificar y eliminar los capacitores de circuitos defectuosos de los capacitores que están en buen estado que se utilizan en el ensamble de tarjetas de circuito impreso. Los capacitores defectuosos representan la señal, la cual podría identificarse por una cantidad excesiva de soldadura que genera un cortocircuito en el capacitor. En este caso, los capacitores en buen estado podrían considerarse ruido. Observe que se podría invertir el proceso de decisión fácilmente considerando que los buenos capacitores representaran la señal y los defectuosos el ruido. Lo anterior probablemente dependería de las proporciones relativas de cada uno.

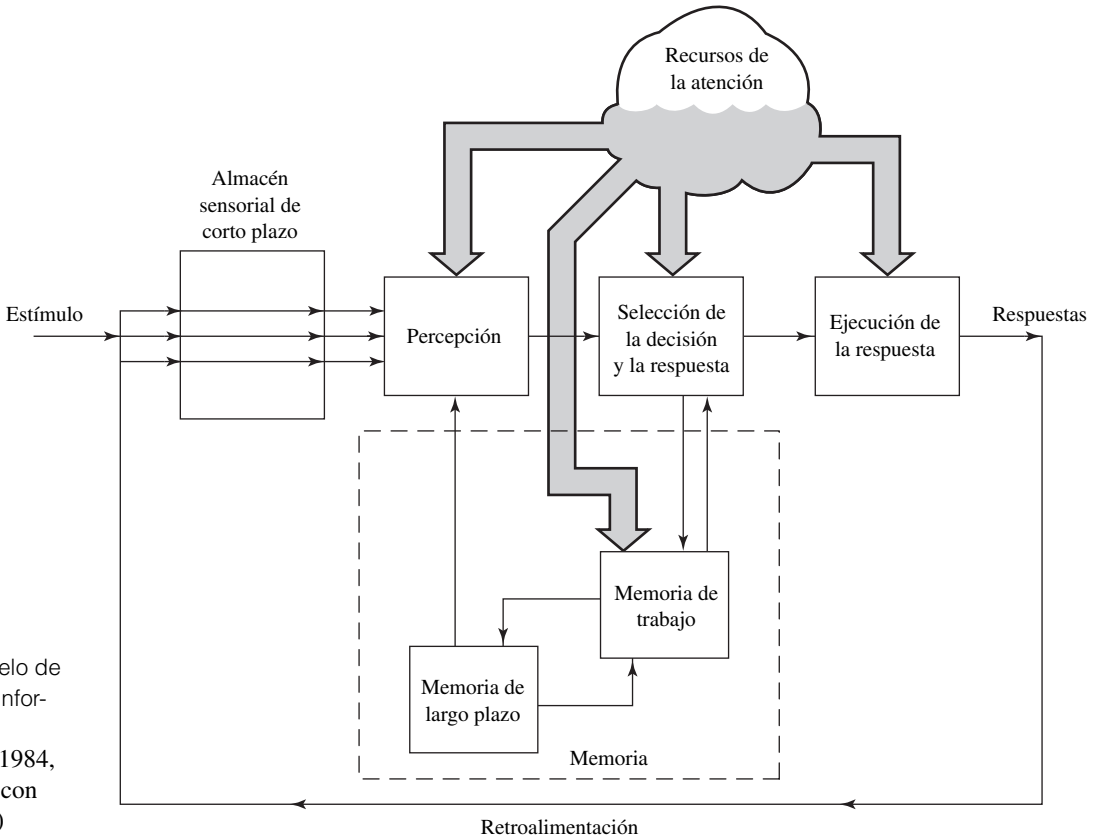


Figura 7.1 Modelo de procesamiento de información humano. (*Fuente*: Wickens, 1984, Fig 1.1 Reimpreso con permiso del editor.)

Puesto que el observador debe identificar si la señal está presente y que sólo existan dos estados posibles (es decir, que la señal esté o no esté), hay un total de cuatro resultados posibles:

1. *Éxito*: lo cual dice que hay una señal cuando la señal está presente
2. *Rechazo de la corrección*: lo cual dice que no hay señal cuando la señal no está presente
3. *Falsa alarma*: lo cual dice que hay una señal cuando la señal no está presente
4. *Fallo*: lo cual dice que no hay señal cuando la señal está presente

Tanto la señal como el ruido pueden variar a través del tiempo, como ocurre en el caso de la mayoría de los procesos industriales. Por ejemplo, una máquina soldadora puede calentarse e inicialmente emitir una gota de gran tamaño sobre los capacitores o simplemente puede presentarse una variación "aleatoria" en los capacitores sin que se haya determinado una causa todavía. Por ello, tanto la señal como el ruido forman distribuciones de variación de la cantidad de soldadura de baja a alta, lo cual típicamente se modela como distribuciones normales superpuestas (figura 7.2). Observe que las distribuciones se superponen debido a que la excesiva soldadura sobre el cuerpo del capacitor puede provocar que se ponga en corto, lo cual provocará que el producto sea defectuoso (en este caso la señal). Sin embargo, si existe una cantidad excesiva de soldadura, pero principalmente en las puntas, es probable que el capacitor no se ponga en cortocircuito y, por lo tanto, se encuentre en buen estado (en este caso ruido). Debido al tamaño cada vez más pequeño de los productos electrónicos, los capacitores son menores que la cabeza de un alfiler, por lo que la inspección visual de éstos no representa una tarea sencilla.

Cuando aparece un capacitor, el inspector necesita decidir si la cantidad de soldadura es demasiada o si debe rechazar el capacitor. Ya sea mediante instrucciones o suficiente práctica, el inspector realiza un juicio mental estándar, el cual se muestra en la figura 7.2 como una línea vertical y se llama *criterio de respuesta*. Si la cantidad de soldadura detectada, la cual ingresa al sistema visual como un alto nivel de estimulación sensorial, excede el criterio, el inspector debe anunciar que existe una

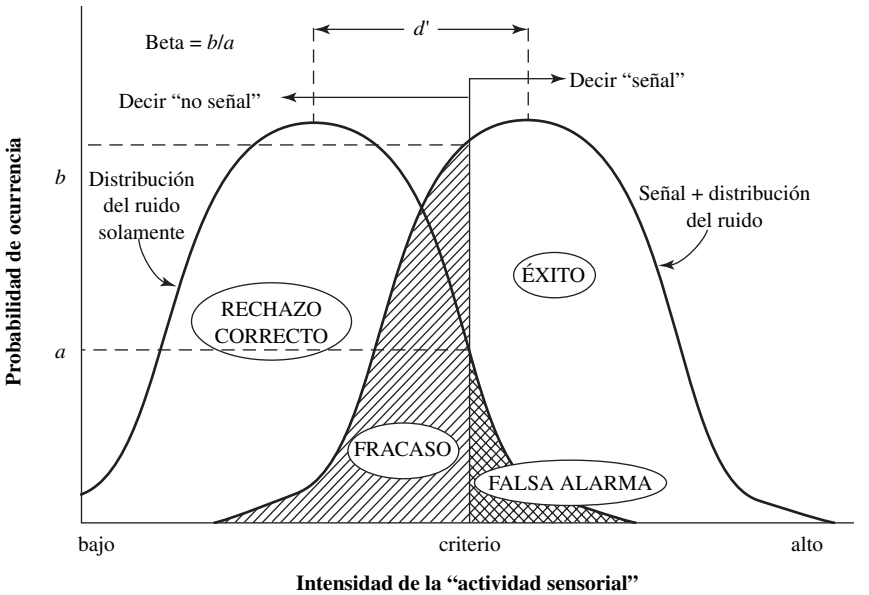


Figura 7.2 Ilustración conceptual de la teoría de detección de señales.

señal. Por otro lado, si la cantidad que se detectó es pequeña, se recibirá un nivel más pequeño de estimulación sensorial, por debajo del criterio, y el inspector deberá anunciar que no hay señal.

Relacionado con el criterio de respuesta se encuentra la cantidad *beta*. Numéricamente, beta es la relación entre la altura de las dos curvas (señal a ruido) de la figura 7.2 en el punto de criterio en cuestión. Si el criterio se desplaza hacia la izquierda, beta disminuye cuando aumentan los éxitos, pero a expensas de un correspondiente incremento de falsas alarmas. Este comportamiento por parte del observador se llama *arriesgado*. Si el criterio fuera en el punto donde se intersecan las dos curvas, beta sería igual a 1.0. Por otro lado, si el criterio se desplaza hacia la derecha, beta aumenta cuando disminuyen tanto los éxitos como las falsas alarmas. Este comportamiento de parte del observador se llama *conservador*.

El criterio de respuesta (y beta) pueden variar fácilmente en función del humor o fatiga del inspector visual. No sería extraño que el criterio se desplazara hacia la derecha y la tasa de fallas se incrementara en notablemente las tardes de los viernes poco antes de la salida. Observe que existirá una reducción correspondiente del número de éxitos debido a que las dos probabilidades suman 1. De manera similar, las probabilidades de un rechazo correcto y falsas alarmas también suman 1. La variación en el criterio de respuesta se llama *sesgo de la respuesta* y pudo también haber cambiado con un conocimiento anterior o con cambios en la expectativa. Si se hubiese sabido que la máquina de soldar no estaba funcionando, probablemente el inspector hubiese desplazado el criterio hacia la izquierda, lo que incrementaría el número de éxitos. El criterio pudo haber cambiado debido a los costos o beneficios asociados con los cuatro resultados. Si un lote de capacitores en particular hubiese sido enviado a la NASA para ser utilizados en el transbordador espacial, los costos de enviar componentes defectuosos hubiesen sido demasiado elevados y el inspector hubiese establecido un criterio muy bajo, lo que generaría muchos éxitos, pero también muchas falsas alarmas con los correspondientes elevados costos (por ejemplo, perder buenos productos). Por otro lado, si los capacitores estuvieran siendo utilizados en teléfonos celulares desechables de bajo costo, el inspector habría establecido un criterio muy elevado, lo que permitiría que muchos capacitores defectuosos pasaran a través del punto de verificación como fracasos.

Un segundo concepto de importancia en SDT es la *sensibilidad* o resolución del sistema sensorial. En SDT, la sensibilidad se mide como la separación entre las dos distribuciones que se muestran en la figura 7.2 y se identifican como d'. A medida que la separación sea mayor, mayor será la sensibilidad del observador y las respuestas correctas (más éxitos y más rechazos correctos) y se cometerá un menor número de errores (menos falsas alarmas y fracasos). En general, la sensibilidad mejorará a medida que haya más entrenamiento y vigilancia (por ejemplo, a través de descansos más frecuentes) por parte del inspector, una mejor iluminación en la estación de trabajo y la reducción de la velocidad

de la presentación de las señales (la cual conlleva reducir la productividad). Otros factores que pueden ayudar a aumentar la sensibilidad están relacionados con el suministro de patrones visuales de partes defectuosas y la posibilidad de ofrecer un conocimiento de los resultados. Observe que ofrecer incentivos ayudará a incrementar el número de éxitos. Sin embargo, esto es particularmente válido debido a un desplazamiento del sesgo de la respuesta (no de un incremento de la sensibilidad) con un correspondiente aumento del número de falsas alarmas. De manera similar, introducir "señales falsas" para incrementar la vigilancia dará como resultado una mayor tendencia a desplazar el sesgo de la respuesta. En Green y Swets (1988) se puede encontrar más información acerca de la teoría de detección de señales.

MEMORIA

Una vez que el estímulo ha sido codificado de forma sensorial, éste va a la *memoria de trabajo*, uno de los tres componentes del sistema humano de la memoria. Los otros dos son el almacén sensorial y la memoria de largo plazo. Cada canal sensorial cuenta con un mecanismo de almacenamiento

EJEMPLO 7.1 Teoría de la detección de señales aplicada a la inspección de vidrio

Una buena aplicación de la teoría de detección de señales fue detallada por Drury y Addison (1973) en la inspección visual del vidrio. La inspección se desarrolló en dos etapas: 1) la inspección general de 100% en la que cada artículo era aceptado o rechazado y 2) una inspección muestral con la ayuda de examinadores especiales quienes reexaminaban los resultados anteriores y suministraban retroalimentación a los inspectores generales. Con base en la calidad de los artículos que se inspeccionaban, una parte estaban bien y los demás estaban defectuosos. El inspector general sólo pudo tomar dos decisiones: aceptar o rechazar. Las respuestas apropiadas podrían ser aceptar un artículo bueno (éxito) y rechazar uno defectuoso (corregir el rechazo). Sin embargo, algunos artículos buenos podrían ser rechazados (fracasos) y algunos artículos defectuosos podrían ser aceptados (falsas alarmas). Considere cuatro casos diferentes con condiciones variables.

Caso I: Inspector conservador. Un inspector conservador establece el criterio alejado hacia la derecha (figura 7.3*a*). En dicha situación, la probabilidad de éxitos (diciendo sí a la señal del vidrio bueno) es baja (por ejemplo, de 0.30). La probabilidad de falsas alarmas (diciendo sí al ruido del vidrio defectuoso) es aún menor (por ejemplo, de 0.05). Beta se determina mediante la relación entre las ordenadas de la curva de la señal y la curva de ruido en el criterio. La ordenada de una curva normal estándar es

$$y = \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}}$$

En el caso de la curva de señal, una probabilidad de 0.30 arroja una z de 0.524 y una ordenada de 0.348. En el caso de la curva de ruido, la probabilidad de 0.05 da una z de 1.645 y una ordenada de 0.103. Beta, entonces, es igual a 3.38 (0.348/0.103). Observe que la probabilidad de éxitos y fracasos es igual a 1.0 (es decir, $0.30 + 0.70 = 1.0$). Lo mismo es válido en el caso de las falsas alarmas y los rechazos correctos.

Caso 2: Inspector promedio. Si el inspector es promedio —ni conservador ni arriesgado—, la probabilidad de éxitos es aproximadamente igual a la probabilidad de rechazos correctos (figura 7.3*b*). Las curvas se intersecan simétricamente, lo que da como resultado los mismos valores de ordenada y un valor de 1.0 para beta.

Caso 3: Inspector arriesgado. Un inspector arriesgado (figura 7.3*c*) establece el criterio alejado hacia la izquierda, lo cual incrementa la probabilidad de éxitos (por ejemplo, 0.95) a expensas de una elevada probabilidad de falsas alarmas (por ejemplo 0.70). En este caso, para la curva de la señal, una probabilidad de 0.95 da una z de 1 – 1.645 y una ordenada de 0.103. En el caso de esta curva de ruido, una probabilidad de 0.70 nos da una z de –0.524 y una ordenada de 0.348. Beta, entonces, se convierte en 0.296 (0.103/0.348).

Caso 4: Sensibilidad incrementada. La sensibilidad puede calcularse como la diferencia del valor de z de la misma abscisa de ambas curvas, de la señal y del ruido (figura 7.3):

$$d' = z \text{ (falsas alarmas)} - z \text{ (éxitos)}$$

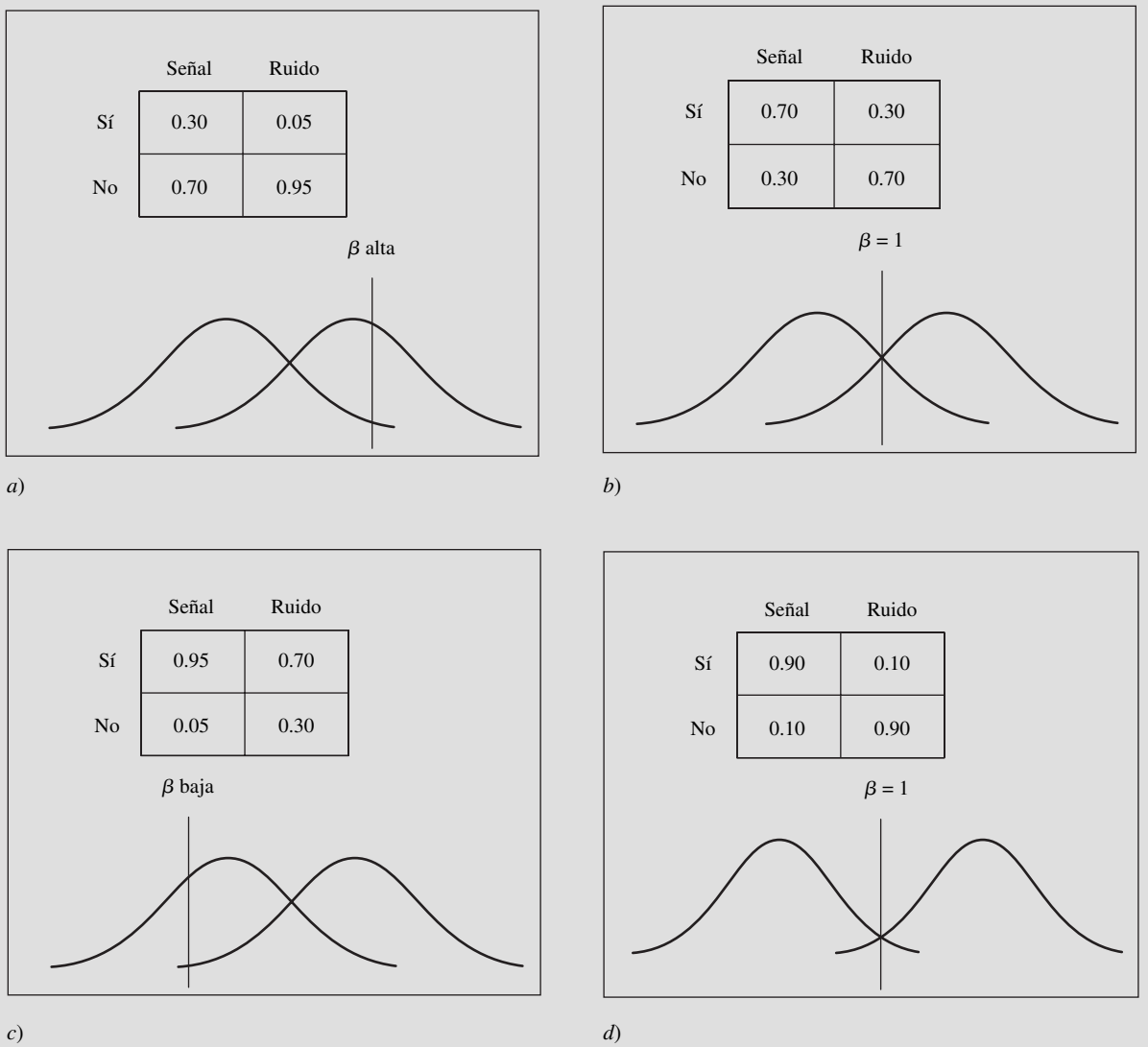


Figura 7.3 Teoría de la detección de señales aplicada a la inspección: *a*) inspector conservador, *b*) inspector promedio, *c*) inspector arriesgado, y *d*) incremento de la sensibilidad.

Mediante el uso del criterio 1,

$$d' = 1.645 - 0.524 = 1.121$$

Se llega al mismo resultado a partir del criterio del caso 3:

$$d' = -0.524 - (-1.645) = 1.121$$

Si la señal puede aislarse mejor de ruido, la probabilidad de éxitos aumentará (por ejemplo, hasta un valor de 0.90), mientras que la probabilidad de falsas alarmas permanecerá en un valor bajo (por ejemplo, 0.10). Mediante el uso del criterio como punto de comparación, la probabilidad de éxitos es de 0.90 con un valor correspondiente de z de –1.283 y una ordenada de 0.175. La probabilidad de falsas alarmas es de 0.10 con un valor correspondiente de z de 1.283 y una ordenada de 0.175. Por lo tanto, la sensibilidad se calcula como,

$$d' = 1.283 - (-1.283) = 2.566$$

Debido al incremento de la sensibilidad, hay un mejor desempeño para identificar partes defectuosas. A veces, la tasa de éxitos se grafica contra la tasa de falsas alarmas con el fin de obtener una curva característica del operador receptor en la cual la desviación de la curva respecto a la pendiente de 45 grados indica la sensibilidad.

En el estudio del caso de Drury y Addison (1973), se recolectaron datos semanales respecto a la inspección del vidrio a partir de los cuales se calculó el valor de d'. Un cambio en la política de inspección consistente en proporcionar retroalimentación al inspector general más rápidamente dio como resultado que se incrementara d' de un valor medio de 2.5 a uno de 3.16, lo cual representa un incremento de 26% en la sensibilidad a lo largo de 10 semanas (vea la figura 7.4). Esto representó un incremento de 60% de la relación señal a ruido (es decir, de beta) y una reducción de 50% de la probabilidad de no detectar un defecto.

temporal que prolonga el estímulo para que pueda codificarse correctamente. Este almacenamiento es muy breve, del orden de 1 o 2 segundos, lo cual depende del canal sensorial, antes de que la representación del estímulo desaparezca. También está muy automatizado, en el sentido de que su mantenimiento no requiere de mucha atención. Por otro lado, puede hacerse muy poco para conservar este almacenamiento o aumentar la longitud del lapso que se considere. Observe también en la figura 7.1 que, a pesar de que puede haber una gran cantidad de estímulos, lo cual podría representarse en el orden de millones de bits de información ingresando al almacén sensorial, en realidad sólo una porción muy pequeña de dicha información se codifica y envía a la memoria de trabajo.

Contrariamente a la memoria de largo plazo, la memoria de trabajo representa un medio de almacenamiento temporal de información o de conservarla activa mientras es procesada para obtener una respuesta. Por lo tanto, a veces se le conoce como *memoria de corto plazo*. Buscar un número telefónico en el directorio y retenerlo hasta que éste haya sido marcado y encontrar un código de procesamiento en una lista y teclearlo en el tablero de control de una máquina representan buenos ejemplos de la memoria de trabajo. La memoria de trabajo tiene límites en cuanto a la cantidad de información y la longitud del tiempo que pueden conservarse los datos.

El límite superior de la capacidad de la memoria de trabajo es de aproximadamente 7 ± 2 números, a lo cual se le conoce a menudo como la *regla de Miller* en honor al psicólogo que la definió (Miller, 1956). Por ejemplo, recordar los 11 dígitos 12125551212 sería muy difícil si no es que imposible. La capacidad de recordar puede mejorarse mediante la *fragmentación*, es decir, el agrupamiento de números similares. Cuando los números que se mencionaron con anterioridad se agrupan como 1-212-555-1212, se pueden recordar mucho más fácilmente como tres grupos (el 1 es el estándar

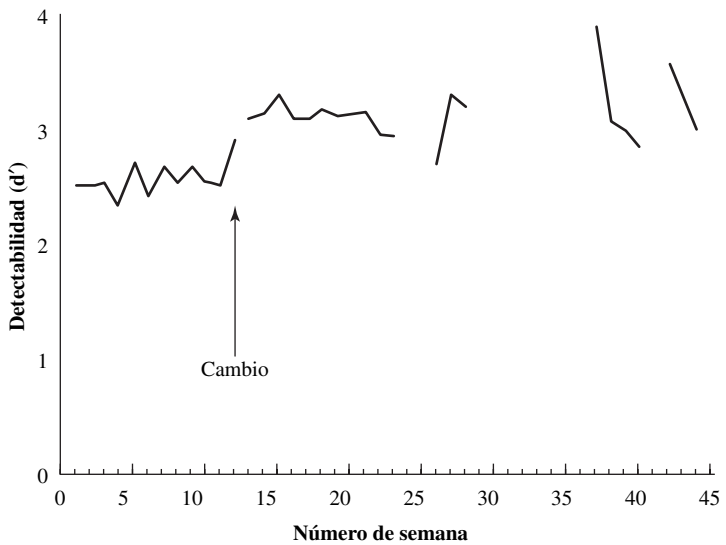


Figura 7.4 Cambio de sensibilidad respecto al tiempo de inspección de vidrio. (*De*: Drury y Addison, 1973; Taylor & Francis, Filadelfia, PA.)

para llamar de larga distancia). De manera similar, mediante el *ensayo* o la repetición mental de los números, lo cual consume más recursos adicionales de atención (vea la figura 7.1) de la memoria de trabajo, se puede mejorar la capacidad de recordar.

La memoria de trabajo se deteriora muy rápido, a pesar del ensayo o el reciclado en serie de los números que se quieren recordar. A medida que haya más números en la memoria de trabajo, tomará más tiempo reciclarlos y será mayor la probabilidad de que se pierdan uno o más de ellos. Se ha calculado que la vida media del almacenamiento en memoria de tres números es de 7 segundos. Lo anterior se puede demostrar fácilmente presentando a un sujeto tres números aleatorios (por ejemplo, 5 3 6). Después de contar hacia atrás 7 segundos con el fin de evitar el ensayo, la mayoría de las personas han olvidado al menos un número, si no es que dos.

Algunas recomendaciones para reducir errores en las tareas que requieren el uso de la memoria de trabajo (Wickens, Gordon y Liu, 1997) son:

- Minimizar la carga de memoria en términos de capacidad y del tiempo para conservar el recuerdo.
- Utilizar la fragmentación, especialmente en términos de las secuencias con significado y el uso de letras respecto a los números (por ejemplo, el uso de palabras o siglas en lugar de números en el caso de números telefónicos libres de pago como, por ejemplo, 1-800-CTD-HELP).
- Mantenga los fragmentos de tamaño reducido de no más de tres o cuatro caracteres de naturaleza arbitraria.
- Evite mezclar números con letras (es decir, los fragmentos deben contener caracteres similares).
- Minimice la confusión que surge de propiciar caracteres con sonidos similares (por ejemplo, las letras D, P y T se confunden fácilmente, contrariamente a lo que sucede con las letras J, F y R).

La información de la memoria de trabajo puede transferirse a una *memoria de largo plazo* en caso de que se necesitara para su uso posterior. Ésta podría ser información relacionada al conocimiento general en la memoria semántica o información acerca de eventos específicos en la vida de una persona en la forma de memoria de eventos. Dicha transferencia deberá llevarse a cabo de una manera ordenada de tal forma que se puedan recuperar fácilmente los datos en un momento posterior mediante un proceso que conocemos con el nombre de aprendizaje. El proceso de recuperación de información es el enlace débil y puede ser facilitado mediante la activación frecuente de esa ruta de la memoria (por ejemplo, un número del seguro social o telefónico que se utiliza todos los días) y mediante el uso de *asociaciones* con el conocimiento adquirido con anterioridad. Dichas asociaciones deben ser concretas en lugar de abstractas y llenas de significado para el usuario que utiliza sus expectativas y estereotipos. Por ejemplo, el nombre *John Brown* puede asociarse con la imagen de una casa café.

Si existe una falta de asociaciones claras y bien organizadas, el proceso puede realizarse de manera artificial en la forma de reglas mnemotécnicas —una sigla o una frase—, cuyas letras representan una serie de caracteres. Por ejemplo, el código de colores de las resistencias (negro, café, rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta, gris, blanco) puede recordarse a partir de las primeras letras de cada palabra en la expresión "big brown rabbits often yield great big vocal groans when gingerly slapped". La estandarización de procedimientos o el uso de las ayudas de la memoria (signos o notas) en procedimientos complejos también ayudan mediante la reducción de la carga en la memoria de largo plazo. Desafortunadamente, la memoria de largo plazo decae de manera exponencial, y su reducción es más significativa en los primeros días. Debido a esto, la eficacia de los programas de entrenamiento no debe evaluarse inmediatamente después de su impartición.

TOMA DE DECISIONES Y SELECCIÓN DE LA RESPUESTA

En realidad, la *toma de decisiones* es la parte medular del procesamiento de información, en la cual las personas evalúan las alternativas y seleccionan la respuesta apropiada. Relativamente, éste es un proceso a largo plazo y debe distinguirse del procesamiento a corto plazo como el tiempo de reacción a la elección. Desafortunadamente, las personas no toman decisiones de manera óptima y, a menudo, no toman decisiones racionales con base en números objetivos o en información general. El método racional de la teoría de decisiones clásica sería el cálculo de un valor esperado con base en la suma de productos de cada resultado multiplicado por su probabilidad esperada:

$$E = \Sigma p_i v_i$$

donde $E =$ valor esperado
$p_i =$ probabilidad del i-ésimo resultado
$v_i =$ valor del i-ésimo resultado

Desafortunadamente, por lo general las personas utilizan una gran variedad de guías heurísticas para tomar decisiones, en cuyo caso una gran cantidad de sesgos pueden influir sobre la manera en la que buscamos información, asignamos valores a las salidas y tomamos decisiones generales. Una breve lista de dichos sesgos se puede deducir a partir de Wickens, Gordon y Liu (1997):

- Se utiliza un número limitado de *claves* o fragmentos de información.
- Se le da un peso excesivo a las primeras claves.
- A las últimas claves no se les presta atención.
- A las claves prominentes se les asigna un mayor peso.
- Toda la información se pondera equitativamente sin que importe el peso verdadero.
- Se genera un limitado número de hipótesis.
- Una vez que se ha seleccionado una hipótesis, se suprimen las últimas claves.
- Sólo se vislumbra la información de confirmación para las hipótesis seleccionadas.
- Sólo se selecciona un número reducido de respuestas.
- Se le otorga más importancia a las pérdidas potenciales que a las probables ganancias correspondientes.

Mediante la comprensión de estos sesgos, el ingeniero industrial puede presentar información de una mejor manera y establecer el proceso general para mejorar la calidad de la toma de decisiones y minimizar errores.

Además, las teorías actuales acerca de la toma de decisiones se centran alrededor de la *conciencia situacional*, la cual es una evaluación de todas las claves que se reciben del ambiente reinante. Requiere de la integración de las claves o de la información en representaciones mentales que varían desde un esquema simple hasta modelos mentales complejos. Para mejorar la conciencia situacional, es necesario entrenar a los operadores para reconocer y considerar las claves apropiadas, encontrar inconsistencias dentro de las claves de la situación y analizar y resolver cualquier conflicto que afecte las claves o la situación. Las ayudas para la toma de decisiones, como las tablas simples de decisión (que se analizan en el capítulo 9) o sistemas expertos más complejos pueden ayudar en el proceso de la toma de decisiones. Asimismo, el despliegue de claves importantes, la eliminación de claves indeseables y el uso de técnicas espaciales y la integración de despliegues también pueden ser útiles en este proceso. Algunas de estas técnicas se analizarán en la sección titulada modalidades de despliegue.

La velocidad y dificultad de la toma de decisiones y la selección de respuestas, como se analizó anteriormente, están influenciadas por muchos factores. Por lo general, los intentos por cuantificar este proceso se realizan a través de un experimento *elección-tiempo de reacción*, en el cual el operador debe responder a varios estímulos con las respuestas apropiadas (vea la figura 7.5*a*). Esto puede considerarse como la toma de decisiones simple y, con base en el sistema de procesamiento de información del ser humano, el tiempo de respuesta debe aumentar a medida que el número de estímulos alternos se incremente. La respuesta es no lineal (vea la figura 7.5*b*), pero cuando la complejidad de la decisión se cuantifica en términos de la cantidad de información que contiene en bits, la respuesta se hace lineal y se conoce como *ley Hick-Hyman* (Hick, 1952; Hyman, 1953; vea la figura 7.5*c*)

$$\mathrm{RT} = a + bH$$

donde $\mathrm{RT} =$ tiempo de respuesta (s)
$H =$ cantidad de información (bits)
$a =$ intersección
$b =$ pendiente, que a veces se conoce como velocidad de procesamiento de la información

Observe que cuando sólo existe una opción (por ejemplo, cuando aparezca la luz, presione el botón), $H = 0$ y el tiempo de respuesta es igual a la intercepción. Esto se conoce como el *tiempo de reacción*

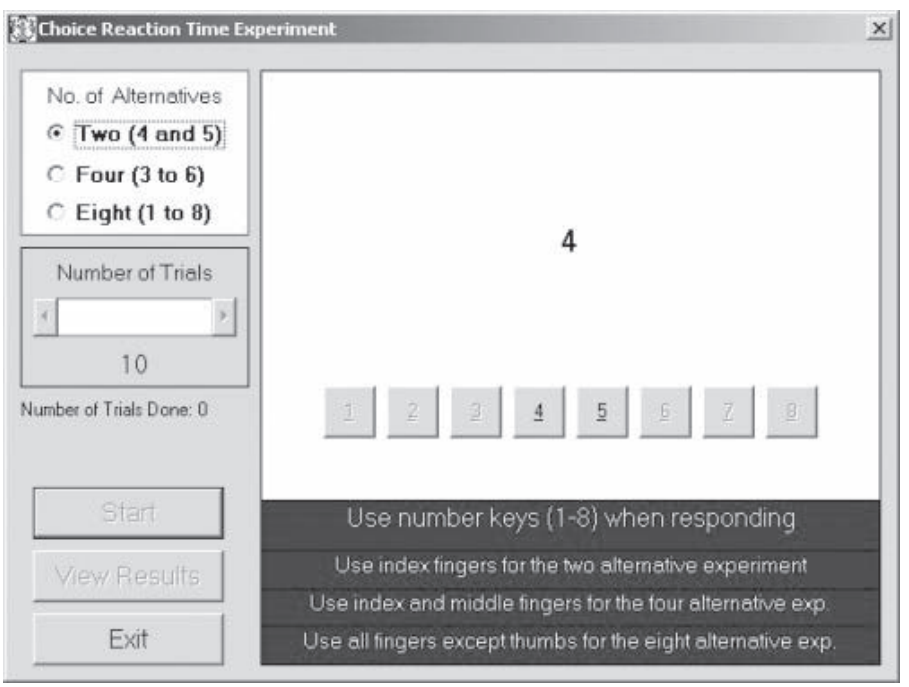
simple, el cual puede variar en función al tipo de estímulo (los tiempos de reacción de la audición son de alrededor de 40 ms más rápidos que los tiempos de reacción visual), la intensidad del estímulo y el estado de preparación de la señal.

Los tiempos de reacción a la elección general también varían de manera considerable debido a una gran cantidad de factores. A medida que crece la compatibilidad (vea también la sección 5.3) entre el estímulo y la respuesta, la respuesta será más rápida. A medida que hay más práctica, la respuesta será más rápida. Sin embargo, a medida que el operador trate de responder más rápido, será mayor el número de errores. De manera similar, si existe un requisito que establezca una presión muy elevada (por ejemplo, en el control del tráfico aéreo), el tiempo de respuesta se extenderá. A esta relación inversa se le conoce como *compromiso velocidad-precisión.*

El uso de dimensiones múltiples, otra forma de redundancia, puede también reducir el tiempo de respuesta en la toma de decisiones; o, de forma contraria, si hay información en conflicto, el tiempo de respuesta va a ser más extenso. Un ejemplo clásico es la *Tarea color-palabra de Stroop* (Stroop, 1935), en la cual se le pide al sujeto que lea una serie de palabras que expresan colores lo más rápido que pueda. En el caso de redundancia de controles, si se le muestra tinta roja y el operador emite la palabra *rojo*, el sujeto emitirá una respuesta rápida. En el caso conflictivo, si se le muestran las letras con tinta roja y el operador emite la palabra *azul*, el tiempo de respuesta se ampliará debido a conflictos semánticos y visuales.

EJECUCIÓN DE LA RESPUESTA

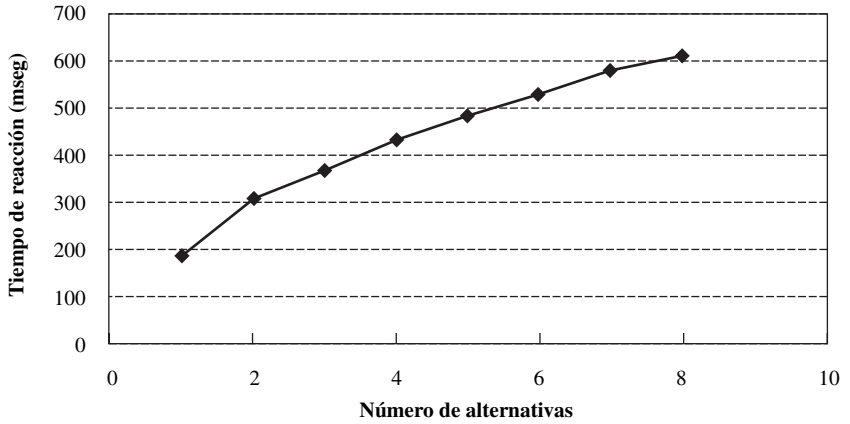
La ejecución de la respuesta depende fundamentalmente del movimiento humano. En el capítulo 4 se pueden encontrar más detalles acerca del sistema músculo-esquelético, el control motor y el trabajo manual. Observe que la *Tarea de golpes de Fitts* (vea la figura 7.7) es una simple extensión de la ley de Hick-Hyman respecto al movimiento y también un ejemplo de un compromiso velocidad-precisión con relación al tamaño del tiempo del objetivo y del movimiento. Las aplicaciones específicas de las respuestas respecto a los controles y a la operación de las máquinas y otros equipos se estudian en el capítulo 5.



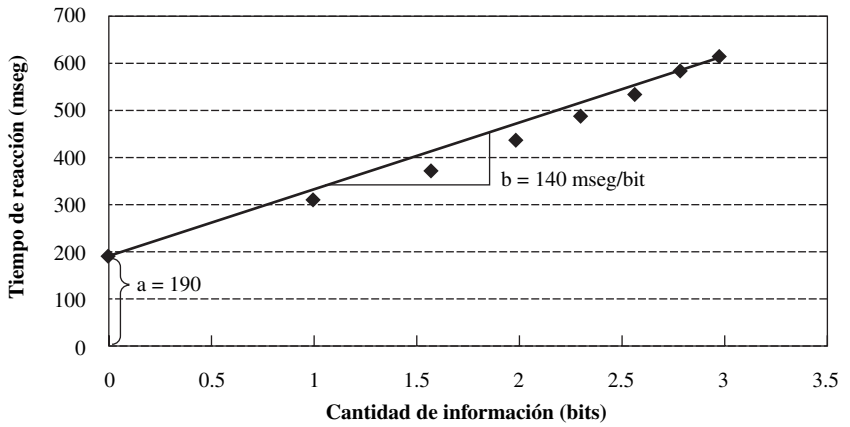
a)

Figura 7.5
Ley de Hick-Hyman aplicada en un experimento de tiempos de elección-reacción: *a*) experimento de tiempo de elección-reacción con el software Design Tools; *b*) datos iniciales; *c*) información expresada en bits.

(*continúa*)



b)



c)

Figura 7.5 (*continuación*)

EJEMPLO 7.2 Procesamiento de información del ser humano en una tarea de cableado

Un buen ejemplo de la cuantificación de la cantidad de información procesada en una tarea industrial fue presentado por Bishu y Drury (1988). En una tarea simulada de cableado, los operadores movían un punzón hacia la terminal o ubicación sobre un tablero de control, conformado por cuatro placas diferentes, cada una de las cuales tenía ocho posibles componentes. Cada área de componentes estaba dividida en 128 terminales con un arreglo de ocho columnas y 16 filas. La tarea más compleja involucraba las cuatro placas ($\log_2 4 = 2$ bits de información), los ocho componentes (3 bits), ocho columnas (3 bits) y 16 filas (4 bits) todo lo cual constituía una complejidad total de 12 bits (suma de 2, 3, 3 y 4). A partir de este panel de control, se pueden construir otros de menor complejidad mediante la reducción del número de placas, componentes, columnas y filas. Una tarea de baja complejidad sólo involucra dos placas (1 bit), cuatro componentes (2 bits), cuatro columnas (2 bits) y 8 filas (3 bits) para dar una complejidad total de 8 bits (la suma de 1, 2, 2 y 3). También se consideraron otras tareas de complejidad intermedia.

Los resultados finales mostraron una relación lineal entre el tiempo de procesamiento de la información (cableado simulado o colocación) y la complejidad de la información de la entrada (vea la figura 7.6). Mediante el uso de la ley Hick-Hyman, esta relación puede expresarse como

$$\text{IP} = -2.328 + 0.7325H$$

donde IP = tiempo de procesamiento de información (s)
H = cantidad de información (bits)

Por lo tanto, a medida que aumenta el número de alternativas para realizar la tarea, también reincrementa la carga informacional en la unidad central de proceso del operador humano así como el tiempo correspondiente del desempeño de la tarea. Observe que en este caso de la vida real de una tarea compleja, la intercepción no siempre es un valor positivo correspondiente al simple tiempo de reacción.

Ley de Fitts y procesamiento de información del movimiento **EJEMPLO 7.3**

Fitts (1954), que aplicó la teoría de la información al modelado del movimiento del ser humano, fue quien desarrolló el *índice de dificultad* para predecir el tiempo de los movimientos. Este índice se definió en función de la distancia del movimiento y el tamaño del objetivo en una serie de movimientos posicionales hacia y desde objetivos idénticos:

$$\text{ID} = \log_2(2D/W)$$

donde ID = índice de dificultad (bits)
D = distancia entre los centros del objetivo
W = ancho del objetivo

Se comprobó que el tiempo del movimiento cumplía con la ley de Hick-Hyman, ahora conocida como *ley de Fitts*:

$$\text{MT} = a + b(\text{ID})$$

donde MT = tiempo del movimiento (s)
a = intercepción
b = pendiente

En una aplicación particularmente exitosa de la ley de Fitts, Langolf, Chaffin y Foulke (1976) modelaron el movimiento humano realizado por diferentes extremidades a lo largo de un gran número de distancias, incluyendo objetivos muy pequeños, visibles sólo con la ayuda de un microscopio. Sus resultados (vea la figura 4.14) arrojaron pendientes de 105 ms/bit para el brazo, 45 ms/bit para la muñeca y 26 ms/bit para el dedo. El valor inverso de la pendiente se interpreta, de acuerdo con la teoría de la información, como el ancho de banda de sistema motor. En este caso, los anchos de banda fueron de 38 bits/s para el dedo, 23 bits/s para la muñeca y 10 bits/s para el brazo. Esta reducción de las velocidades de procesamiento de información se explicó como resultado del procesamiento adicional de las articulaciones, músculos y unidades motoras. Como un detalle interesante, estos resultados son idénticos a la clasificación de movimientos de Gilbreth (vea la sección 4.2).

RECURSOS DE ATENCIÓN

Los *recursos de atención* o, en términos más sencillos, la *atención*, se refiere a la cantidad de capacidad cognitiva que se dedica a una tarea en particular o etapa de procesamiento. Dicha cantidad puede variar de manera considerable desde tareas de ensamble rutinarias y bien practicadas con reducidas demandas de atención hasta tareas relacionadas con el control de tráfico aéreo que exigen un elevado nivel de atención. Además, esta capacidad cognitiva puede aplicarse de una forma muy directa, como en un punto específico de una parte en particular del sistema de procesamiento de información del ser humano llamada *atención enfocada*, o, de una manera mucho más difusa a varias o a todo el sistema de procesamiento de información del ser humano, lo cual se llama *atención dividida*. Un ejemplo de la atención enfocada en la memoria de trabajo se podría presentar mientras un operador trata de recordar un código de procesamiento de consulta mientras lo ingresa en una máquina herramienta controlada por computadora. El enfoque de la atención puede mejorarse si se reduce el número de fuentes de información en competencia o las demandas del sistema de procesamiento de información del ser humano o si se separan dichas fuentes de la manera más distinta posible.

Por otro lado, cuando un inspector clasifica manzanas en una banda transportadora, divide su atención entre la percepción visual de los defectos y tamaños de las manzanas, la toma de decisio-

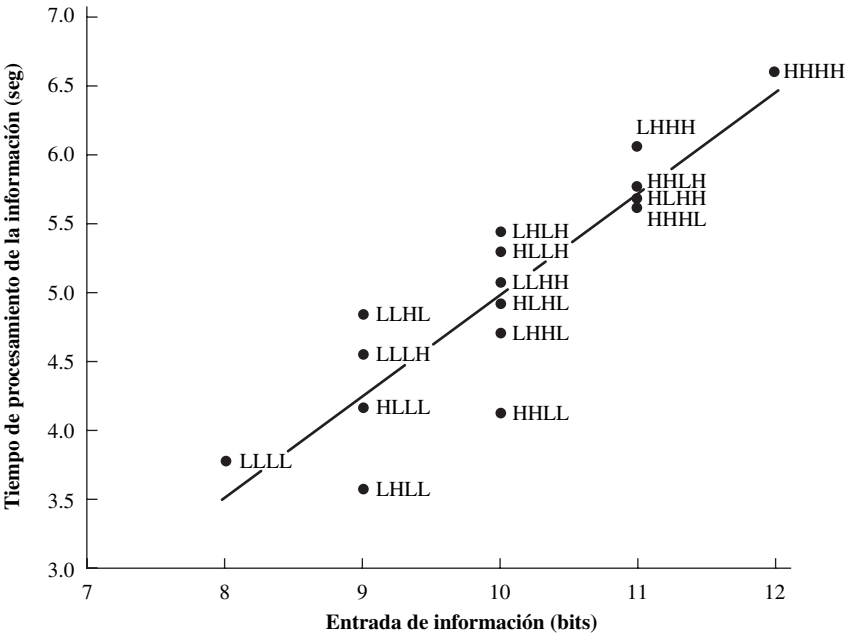


Figura 7.6 Ley de Hick-Hyman aplicada a una tarea de cableado. (Reimpreso de *Applied Ergonomics*, vol. 19, "Bishu y Drury, Information Processing in Assembly Task—A Case Study", pp. 90-98, 1988, con el permiso de Elsevier Science.)

nes acerca de la naturaleza del defecto y el tamaño de la manzana, con referencia a la memoria y a las imágenes almacenadas a partir del entrenamiento que recibió, y los movimientos de las manos para quitar las manzanas dañadas y clasificar por tamaño las que están en buen estado en los contenedores apropiados. A este último caso consistente en realizar varias tareas de manera simultánea también se le conoce como *multitarea* o *compartición del tiempo.* Debido a que los recursos cognitivos de la atención están relativamente limitados, la compartición de tiempo entre varias tareas probablemente dará como resultado un deterioro del desempeño de una o más tareas en comparación con una sola de ellas. De nuevo, puede resultar complejo mejorar el desempeño de la tarea en dichas situaciones, pero también se utilizan estrategias similares como las que se estudiaron en el caso de la atención enfocada. El número y grado de dificultad de las tareas debe minimizarse. Es

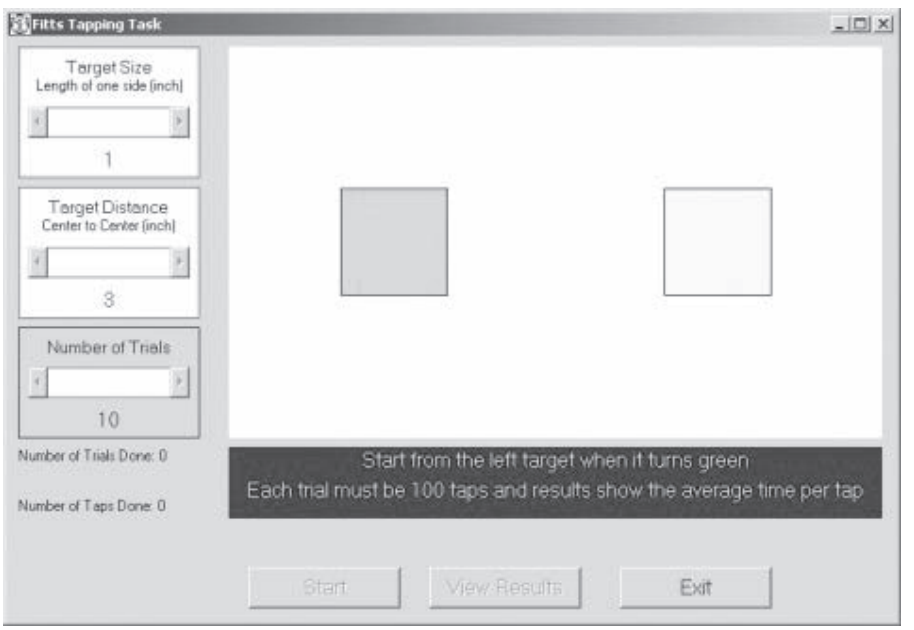


Figura 7.7 Tarea de golpes de Fitts con el paquete de software DesignTools.

necesario que las tareas se realicen de la manera más disímil posible en términos de las demandas exigidas a la etapa de procesamiento de la figura 7.1. Mientras que una tarea de ensamblado manual sólo con instrucciones auditivas puede llevarse a cabo sin problemas, un músico que esté afinando un instrumento tendrá problemas para escuchar comentarios verbales. Un método muy exitoso para explicar el desempeño del tiempo compartido con tareas múltiples es el modelo de recursos múltiples de Wickens (1984).

Una extensión de los modos de atención a múltiples recursos se relaciona con la medida de la *carga de trabajo mental* o las demandas que se le imponen al procesador de información del ser humano. Una definición utiliza la relación de los recursos que se requieren y los recursos disponibles, donde el tiempo es uno de los más importantes entre la gran cantidad de recursos que se necesitan. En los ejemplos que se mencionaron anteriormente, el ensamblado simple puede ser una tarea que consuma mucho tiempo, pero no demanda en particular recursos cognitivos. Por otro lado, el control del tráfico aéreo, en horas pico, puede ser una tarea muy demandante. En realidad, puede ser muy difícil cuantificar las demandas impuestas al operador. Algunos de los métodos que se utilizan para cuantificarlas son las siguientes:

- Las medidas de la *tarea principal* pueden ser el tiempo que se requiere para llevar a cabo la tarea dividido entre el tiempo total disponible, o el número de artículos terminados por unidad de tiempo. El problema de este método es que el tiempo compartido de algunas de estas tareas es mejor que el de otras.
- La medición de la *tarea secundaria* utiliza el concepto de capacidad de reserva que, si no está directamente relacionada con el desempeño de la tarea principal, será utilizada por la tarea secundaria (tiempo de reacción a la elección), la cual puede ser controlada y más fácilmente medida. El problema de este método es que, por lo general, la tarea secundaria parece artificial e intrusiva y que es difícil identificar la forma en que el operador asigna prioridades al desempeño de ambas tareas.
- Se piensa que las *medidas fisiológicas* (por ejemplo, la variabilidad del ritmo cardiaco, el movimiento de los ojos, el diámetro de las pupilas, los electroencefalogramas) responden al estrés impuesto por la carga de trabajo mental; a pesar de que por lo general no interfieren con el desempeño de la tarea principal, el equipo necesario para medirlas lo puede hacer.
- Se piensa que las *medidas subjetivas* agregan todos los aspectos de la carga de trabajo mental en un valor general simple (o en un promedio ponderado en varias escalas). Desafortunadamente, los reportes subjetivos no siempre reflejan con precisión el desempeño real; también la motivación puede afectar significativamente los valores.

Para realizar un análisis más detallado acerca de la carga de trabajo mental y las ventajas y desventajas de las diferentes formas para medirlo, consulte Wickens (1984), Eggemeier (1988) y Sanders y McCormick (1993).

Un ejemplo final de los recursos de la atención se relaciona con la habilidad que tiene un operador (por ejemplo, un inspector visual) de mantener la atención y permanecer alerta por periodos prolongados. Conocida con el nombre de *atención sostenida* o *vigilancia*, el problema radica en cómo minimizar la reducción de vigilancia que se presenta después de un periodo de 30 minutos y se incrementa hasta 50% cuando aumenta el tiempo (Giambra y Quilter, 1987; vea la figura 7.8). Desafortunadamente, existen muy pocas contramedidas documentadas que dan resultado en el caso de tareas industriales. El método básico consiste en tratar de mantener un alto nivel de alerta, el cual mantiene el desempeño de acuerdo a la *curva en U invertida de Yerkes-Dodson* (1908) (vea la figura 7.9). Este estado puede lograrse si se ofrecen periodos de descanso más frecuentes, se rediseñan las tareas, se da más retroalimentación a los trabajadores acerca del desempeño de la detección y se utilizan los niveles de estimulación apropiados, ya sea internos (por ejemplo, cafeína) o externos (por ejemplo, música o ruido blanco) o aun a través de la introducción de falsas señales. Sin embargo, este último cambio del criterio de detección también incrementará la aparición de falsas alarmas (vea el análisis acerca de la teoría de la detección de señales) con los costos asociados correspondientes. El incremento de la prominencia de la señal ayuda a detectar el desempeño (es decir, hace que la señal sea más brillante, grande o que tenga un mayor contraste mediante iluminación especial). Puede ser de gran utilidad el uso de cubiertas que actúan como patrones especiales que se utilizan para mejorar las diferencias entre la parte defectuosa y el resto del objeto. Por último, la selección de inspectores

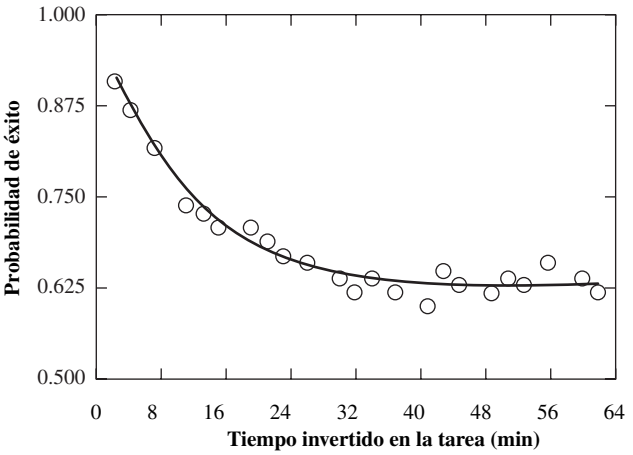


Figura 7.8 Disminución de la vigilancia a medida que transcurre el tiempo.
(*De*: Giambra y Quilter, 1987. Reimpreso con permiso de *Human Factors*, vol. 29, núm. 6, 1987. Copyright 1987 por la Sociedad de Factores Humanos y Ergonomía. Todos los derechos reservados.)

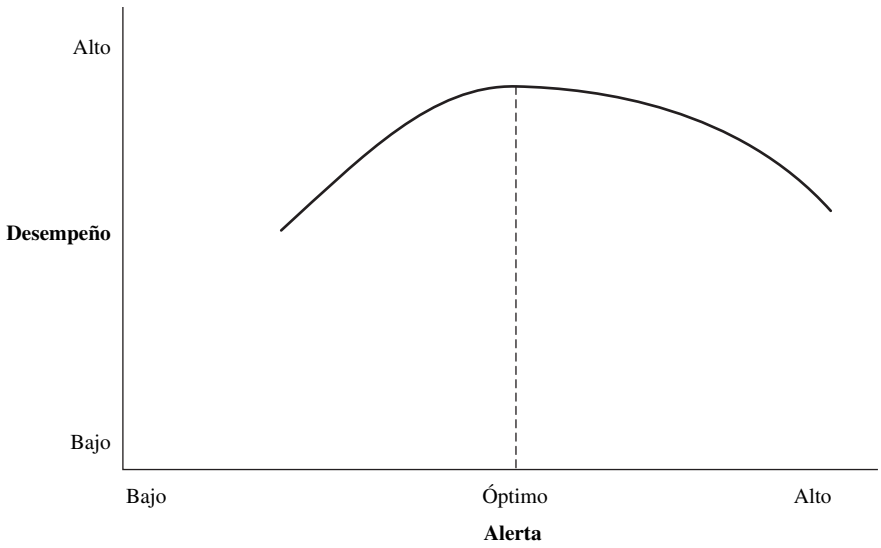


Figura 7.9 Ley de Yerkes-Dodson que muestra la relación en U invertida entre el desempeño y el nivel de alerta.

con un mayor tiempo de fijación de la vista y mejor visión periférica también ayuda a que la inspección sea mejor (Drury, 1982).

Para ayudar al ingeniero industrial a evaluar y rediseñar las tareas cognitivas, los detalles que se mencionaron acerca del sistema de procesamiento de información del ser humano se resumen en la Lista de verificación de la evaluación del trabajo cognitivo (vea la figura 7.10).

7.3 CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN: PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

Como se mencionó en la introducción al capítulo 4, una gran cantidad de funciones u operaciones, si no es que la mayoría, las llevan a cabo máquinas debido a consideraciones de mayor fuerza, precisión y repetitividad. Sin embargo, para garantizar que estas máquinas trabajen de manera satisfactoria, esto es, que cubran las especificaciones que se desean, siempre será necesaria la intervención del ser humano para que las supervise. El operador encargado de dicha función recibe una gran variedad de información (por ejemplo, la presión, la velocidad, la temperatura, etc.) la cual tiene que ser presentada de una manera o forma que pueda ser fácilmente interpretada y que tenga pocas probabilidades de ser errónea. Por lo tanto, existe una gran cantidad de principios de diseño que ayudan al ingeniero industrial a proporcionar al operador la información apropiada.

Consideraciones relacionadas con la percepción	**Sí**	**No**
1. ¿Se encuentran las señales en buenas condiciones?	❑	❑
2. ¿Se utilizan cubiertas, patrones especiales o luz rasante para mejorar los defectos?	❑	❑
3. ¿Se utiliza el procesamiento de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba de forma simultánea?	❑	❑
a) ¿Se utilizan los conceptos de alto nivel para procesar características de bajo nivel?	❑	❑
b) ¿Se utiliza información basada en datos para identificar características sensoriales?	❑	❑
4. ¿Se utiliza un mejor entrenamiento para incrementar la sensibilidad de la detección de señales?	❑	❑
5. ¿Se utilizan los incentivos para modificar el sesgo de la respuesta e incrementar los éxitos?	❑	❑

Consideraciones relacionadas con la memoria	**Sí**	**No**
1. ¿Está limitada la carga de la memoria de corto plazo a 7± 2 caracteres?	❑	❑
2. ¿Se utiliza la fragmentación para reducir la carga de la memoria?	❑	❑
3. ¿Se utiliza el ensayo para mejorar el recuerdo?	❑	❑
4. ¿Están separados los números de las letras en listas o fragmentos?	❑	❑
5. ¿Se separan los caracteres que suenan de forma similar?	❑	❑
6. ¿Se utilizan reglas nemotécnicas y asociaciones para mejorar la memoria de largo plazo?	❑	❑

Decisión y selección de la respuesta	**Sí**	**No**
1. ¿Se ha analizado un número suficiente de hipótesis?	❑	❑
2. ¿Se utiliza un número suficiente de claves?	❑	❑
3. ¿Se le da la misma ponderación a las claves precoces o tardías?	❑	❑
4. ¿Se eliminan las claves indeseables?	❑	❑
5. ¿Se utilizan ayudas para la toma de decisiones como soporte del proceso?	❑	❑
6. ¿Se evalúa un número suficiente de respuestas?	❑	❑
7. ¿Se ponderan apropiadamente las pérdidas y ganancias potenciales?	❑	❑
8. ¿Se toman en cuenta las concesiones velocidad-precisión?	❑	❑
9. ¿Son compatibles los estímulos y las respuestas?	❑	❑

Consideraciones relacionadas con los recursos de la atención	**Sí**	**No**
1. ¿Existe variedad en la tarea?	❑	❑
2. ¿Se le proporciona al operador retroalimentación acerca de su desempeño?	❑	❑
3. ¿Cuenta el operador con estimulación interna (por ejemplo, cafeína)?	❑	❑
4. ¿Cuenta el operador con estimulación externa (por ejemplo, música, incentivos)?	❑	❑
5. ¿Se proporcionan periodos de descanso?	❑	❑

Figura 7.10 Lista de verificación de la evaluación del trabajo cognitivo.

TIPO DE INFORMACIÓN A PRESENTAR

La información que a presentarse puede ser estática o dinámica, dependiendo de si cambia o no con el paso del tiempo. El primer caso incluye cualquier texto impreso (aun el que aparece en la pantalla de la computadora), gráficas, tablas, etiquetas o diagramas que no cambian. El segundo caso incluye cualquier información que tenga que ser actualizada de manera continua como la presión, la velocidad, la temperatura o las luces de estado. Cualquiera de estas dos categorías puede clasificarse también como

- Cuantitativa: presenta valores numéricos específicos (por ejemplo, 50 °F, 60 rpm).
- Cualitativa: indica valores o tendencias generales (por ejemplo, arriba, abajo, caliente, frío).
- Estado: refleja una condición de entre un número limitado de éstas (por ejemplo, encendido/apagado, alto/precaución/adelante).
- Advertencias: indican emergencias o condiciones inseguras (por ejemplo, una alarma contra fuego).
- Alfanuméricas: usan letras o números (por ejemplo, signos, letreros).
- Representativa: uso de dibujos, símbolos y colores para codificar la información (por ejemplo, "cesto de basura" en el caso de los archivos eliminados).
- En fase: uso de señales pulsadas, las cuales varían en duración e intervalos entre señales (por ejemplo, el código Morse o las luces intermitentes).

Observe que una pantalla de información puede incorporar varios tipos de información de manera simultánea. Por ejemplo, una señal de paro es una advertencia estática que utiliza letras alfanuméricas, una forma octagonal y el color rojo como una representación de la información.

MODALIDAD DE PANTALLA

Como el ser humano tiene cinco sentidos diferentes (vista, oído, tacto, gusto y olfato), puede haber cinco *modalidades diferentes de despliegue* de información que pueda reconocer el operador. Sin embargo, puesto que la vista y el oído son, en gran medida, los sentidos más desarrollados y los que más se utilizan para recibir información, por lo general la elección generalmente se limita a estos dos. La selección de cuál de los dos utilizar depende de una gran variedad de factores, cada uno de los cuales posee ciertas ventajas así como desventajas. En la tabla 7.1 se muestran las comparaciones correspondientes a detalle, las cuales pueden ser de ayuda cuando el ingeniero industrial debe seleccionar la modalidad apropiada para las circunstancias dadas.

La estimulación del tacto o táctil es de gran utilidad principalmente para diseñar controles, los cuales se analizan más a fondo en la sección 5.3. El gusto se utiliza en una variedad de circunstancias muy limitada, una de las cuales sirve para determinar cuándo una medicina está en "mal estado" y evitar que los niños la consuman accidentalmente. De forma similar, los olores son utilizados en el sistema de ventilación de las minas con el fin de avisar a los mineros acerca de emergencias o en los sistemas de gas natural con el fin de avisar al propietario de una casa sobre la existencia de fugas en su estufa.

SELECCIÓN DE LAS DIMENSIONES APROPIADAS

La información puede codificarse en una gran variedad de dimensiones. Es necesario seleccionar una dimensión apropiada para las condiciones dadas. Por ejemplo, si se van a utilizar lámparas, se puede seleccionar el brillo, color y frecuencia de pulsado como las dimensiones con las cuales codificar la información. De manera similar, si se va a utilizar sonido, se pueden seleccionar dimensiones como la intensidad sonora, el tono y la modulación.

LIMITACIONES DE LOS JUICIOS ABSOLUTOS

La tarea consistente en diferenciar entre dos estímulos a lo largo de una dimensión particular depende ya sea de un *juicio relativo*, si se puede hacer una comparación directa de los dos estímulos, o de un *juicio absoluto*, en caso de que ello no sea posible. En el último caso, el operador debe utilizar la memoria de trabajo para retener un estímulo y hacer la comparación. Como ya se analizó, de acuerdo con la regla de Miller, la capacidad de la memoria de trabajo está limitada a alrededor de 7 ± 2 caracteres. Por lo tanto, una persona puede identificar, en el mejor de los casos, de cinco a nueve caracteres con base en un juicio absoluto. La investigación ha demostrado que esto es válido para una gran cantidad de dimensiones: cinco niveles de tonos puros, cinco niveles de volumen, siete niveles de tamaño del objeto, cinco niveles de brillantez y hasta una docena de colores. Por otro lado, las personas pueden identificar hasta 300 000 colores diferentes con base en el uso de relaciones cuando los han comparado dos a la vez. Si se utilizan múltiples dimensiones (por ejemplo, la brillantez y el

Tabla 7.1 Cuándo utilizar las formas de presentación visuales y auditivas

Utilice formas visuales si:	Utilice formas auditivas si:
El mensaje es largo y complejo	El mensaje es breve y sencillo
El mensaje trata de referencias espaciales	El mensaje es acerca de eventos tem porales
Cuando sea necesario hacer referencia al mensaje un determinado tiempo después	El mensaje es transitorio
No es necesaria una acción inmediata	Es necesaria una acción de inmediato
La audición es difícil (ruido) o muy molesta	La visión es difícil o molesta
El operador está en una sola ubicación	El operador se mueve constantemente

Adaptada de Deatherage, 1972.

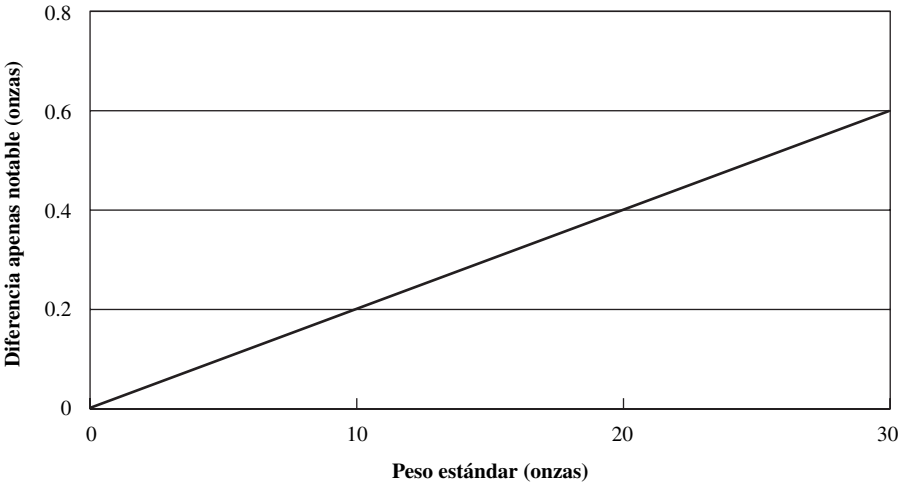


Figura 7.11 Ley de Weber que muestra la relación entre la diferencia apenas notable y el nivel del estímulo, el cual, en este ejemplo, es el peso estándar.

color), el rango puede incrementarse hasta cierto punto, pero menor al que se esperaría de la combinación (producto directo) de las dos dimensiones de código (Sanders y McCormick, 1993).

DISCERNIMIENTO INCREMENTAL DE LOS CÓDIGOS

Cuando se selecciona un esquema de codificación, se debe considerar que respecto al juicio relativo, es evidente que debe haber alguna diferencia mínima entre los dos códigos o estímulos antes de que se puedan identificar como diferentes. Se ha demostrado que dicha diferencia, a la que se le llama *diferencia apenas identificable* (JND), varía en función del nivel del estímulo. Por ejemplo (vea la figura 7.11), si a un individuo se le da un peso de 10 onzas (0.283 kg), el JND es de aproximadamente 0.2 onzas (0.056 kg). Si el peso se incrementa a 20 onzas (0.566 kg), el JND aumenta a 0.4 onzas (0.113 kg), y así sucesivamente. Esta relación, a la que se le conoce como *ley de Weber*, puede expresarse como

$$k = \text{JND}/S$$

donde: $k =$ fracción o pendiente de Weber
$S =$ estímulo estándar

La aplicación de esta ley es muy evidente en un ambiente industrial. Considere una fuente luminosa con un bulbo de tres vías (100-200-300 W). Un cambio de la brillantez de 100 a 200 W es muy notorio, mientras que el cambio de 200 a 300 W lo es mucho menos. Por lo tanto, para que un cambio en la señal de alta intensidad sea notorio, dicho cambio debe ser significativamente grande. A pesar de que la ley de Weber se formuló para umbrales relativos, Fechner (1860) la extendió con el fin de desarrollar escalas psicológicas para medir un amplio rango de experiencias sensoriales con el fin de establecer los fundamentos de la ciencia de la psicofísica.

COMPATIBILIDAD DE LOS ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN

La *compatibilidad* se refiere a la relación de los estímulos y las respuestas que son consistentes con las expectativas humanas y que resultan en una reducción de errores y un tiempo de respuesta más rápido. Lo anterior puede presentarse en varios niveles: conceptual, movimiento, especial y modalidad. La *compatibilidad conceptual* se refiere al grado de significado que tienen los códigos para los individuos que los usan. El rojo es un código casi universal para representar peligro o una señal de alto. De manera similar, el realismo pictórico es muy útil. Por ejemplo, un símbolo que contenga a una mujer y se encuentre colocado sobre una puerta indica el baño de las mujeres. La *compatibilidad de movimientos*, que alude a la relación entre el movimiento de controles y pantallas, se analiza en

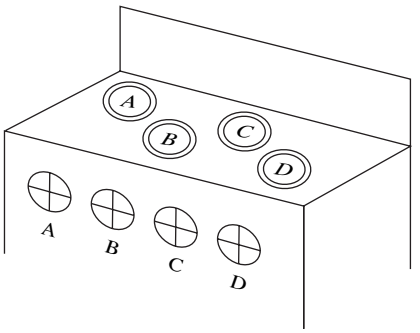


Figura 7.12 Compatibilidad espacial de los controles y los quemadores ubicados en la cubierta de una estufa.

la sección 5.3 más a fondo. La *compatibilidad espacial* se refiere al arreglo físico de los controles y pantallas. El ejemplo clásico (vea la figura 7.12) es el arreglo óptimo de los botones que controlan los quemadores de una estufa de Chapanis y Lindenbaum (1959). La *compatibilidad de modalidad* alude al uso de la misma modalidad del estímulo tanto para la señal como para la respuesta. Por ejemplo, las tareas verbales (respuestas a los comandos verbales) se llevan a cabo mejor con señales auditivas y respuestas verbales. Las tareas espaciales (el movimiento de un cursor al objetivo) se efectúan mejor con una pantalla visual y una respuesta manual.

REDUNDANCIA EN SITUACIONES CRÍTICAS

Cuando se combinan varias dimensiones de manera redundante, es más probable que el estímulo o código interprete correctamente y se cometa un menor número de errores. El signo de paro es un buen ejemplo de tres códigos redundantes: la palabra *alto*, el color rojo universal y la forma octagonal única (entre las luces del tránsito). Observe que todas estas dimensiones se encuentran en la modalidad visual. El uso de dos diferentes modalidades mejora la respuesta en comparación con dos dimensiones diferentes dentro de una modalidad. Por lo tanto, en la evacuación de emergencia de una planta en caso de incendio, será más eficaz el uso de señales auditivas (una sirena) y señales visuales (luces rojas intermitentes) de manera simultánea que cualquiera de las modalidades por separado. A cambio se pierde, como se comentó anteriormente en este capítulo, es una reducción del número de códigos potenciales disponibles y de la cantidad de información que debe presentarse.

MANTENER LA CONSISTENCIA

Cuando los sistemas de códigos han sido desarrollados por diferentes personas en situaciones disímiles, es importante conservar la consistencia. De otra forma, especialmente en condiciones de estrés, es probable que los operadores respondan de manera instintiva según los hábitos previos y ocurran errores. Por lo tanto, a medida que se adicionan nuevas advertencias a una fábrica que ya tenga implantado un sistema preventivo, es importante que el sistema de codificación duplique el sistema existente cuando se transmite la misma información, a pesar de que el viejo sistema no haya contado con el diseño óptimo en primer lugar. Por ejemplo, el color amarillo, el cual típicamente significa que una persona debe proceder con cautela, debe tener el mismo significado en todas las pantallas.

7.4 PANTALLAS CON INFORMACIÓN VISUAL: PRINCIPIOS ESPECÍFICOS DE DISEÑO

DISEÑO DEL PUNTERO EN MOVIMIENTO, DE ESCALA FIJA

Existen dos alternativas principales para diseñar pantallas analógicas: una escala fija como un puntero en movimiento y una escala móvil con puntero fijo (vea la figura 7.13). El primero representa el diseño preferido debido a que se conservan los principios de compatibilidad más importantes: los valores más grandes en la escala van de izquierda a derecha y un movimiento en el sentido de las ma-

necillas de reloj (de izquierda a derecha) del puntero indica valores mayores. En el caso de la escala móvil con puntero fijo, siempre será violado uno de estos dos principios de compatibilidad. Observe que la pantalla en sí misma puede ser circular, semicircular, una barra vertical, una barra horizontal o una ventana abierta. La única situación en la que el diseño de la escala móvil y de puntero fijo representan una ventaja es en el caso de escalas muy grandes, las cuales no se pueden mostrar en su totalidad en una pantalla de escala fija. En ese caso, una pantalla de ventana abierta puede dar lugar a una escala muy grande en la parte trasera de la pantalla que muestre sólo las partes importantes. Observe que el diseño de la escala fija y el puntero móvil puede desplegar de una manera muy adecuada la información cuantitativa así como las tendencias generales de las lecturas. Asimismo, las mismas pantallas pueden generarse mediante gráficas en computadoras o medios electrónicos sin que sea necesario utilizar escalas mecánicas convencionales.

PANTALLAS DIGITALES DE PRECISIÓN

Cuando se requiere de valores numéricos precisos y los valores permanecen relativamente estáticos (al menos el tiempo suficiente para que se puedan leer), deberá utilizarse una pantalla o contador digital (vea la figura 7.13). Sin embargo, una vez que la pantalla cambia rápidamente, se hace difícil emplear contadores. Asimismo, estos aparatos no son ideales para identificar tendencias. Por lo tanto, los contadores digitales nunca se usaron de manera exitosa como una característica de "alta tecnología" en los velocímetros de los automóviles. La comparación detallada de la tabla 7.2 muestra las ventajas y desventajas del uso del apuntador móvil, de las escalas móviles y de los contadores.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS PANTALLAS

La figura 7.14 muestra algunas de las características básicas que se deben observar para diseñar un marcador. El rango de la escala se muestra claramente en orden progresivo numérico con los marcadores principales numerados con 0, 10, 20, y así sucesivamente, mientras que los marcadores menores se encuentran en cada unidad. Un marcador intermedio con lo números 5, 15, 25 y así sucesivamente, permite identificar mejor las lecturas. Una progresión cada 5 unidades no es tan buena, pero todavía es satisfactoria. El apuntador cuenta con una punta que apenas llega, pero no se superpone con los valores de la escala más pequeña. Además, el apuntador debe estar en una posición muy cercana a la superficie de la escala con el fin de evitar el paralaje y la obtención de lecturas erróneas.

PATRONES DE UN TABLERO CON MARCADORES

Generalmente, los tableros con marcadores se utilizan para indicar el estado de una serie de líneas de presión o válvulas, como es el caso del cuarto de control de una planta de energía eléctrica. En estas situaciones, el operador es básicamente un supervisor que realiza lecturas de verificación para asegurarse de que las lecturas (y el estado del sistema) sean normales. Aunque los marcadores reales son cuantitativos, básicamente el operador debe determinar si alguno de los marcadores indica una condición fuera del rango normal. Por lo tanto, el aspecto clave del diseño es alinear todos los estados normales y todos los apuntadores del marcador en la misma dirección, de tal manera que cualquier cambio o desviación de la lectura sobresalga respecto a los demás. Este patrón es acentuado si existen líneas extendidas entre marcadores (vea la figura 7.15).

MINIMIZACIÓN DE LA CARGA DE INFORMACIÓN DEL OPERADOR

Los errores humanos que se cometen en la lectura de la información de una pantalla aumentan a medida que la cantidad de información por unidad de área aumenta. Siempre tome en cuenta la regla de Miller a la hora de limitar la cantidad de información que deba presentar. La codificación apropiada de la información mejora la facilidad de lectura de las pantallas y reduce el número de errores. En general, el color, los símbolos o figuras geométricas y los caracteres alfanuméricos representan los mejores métodos de codificación pues requieren de un espacio reducido y permiten identificar con facilidad la información.

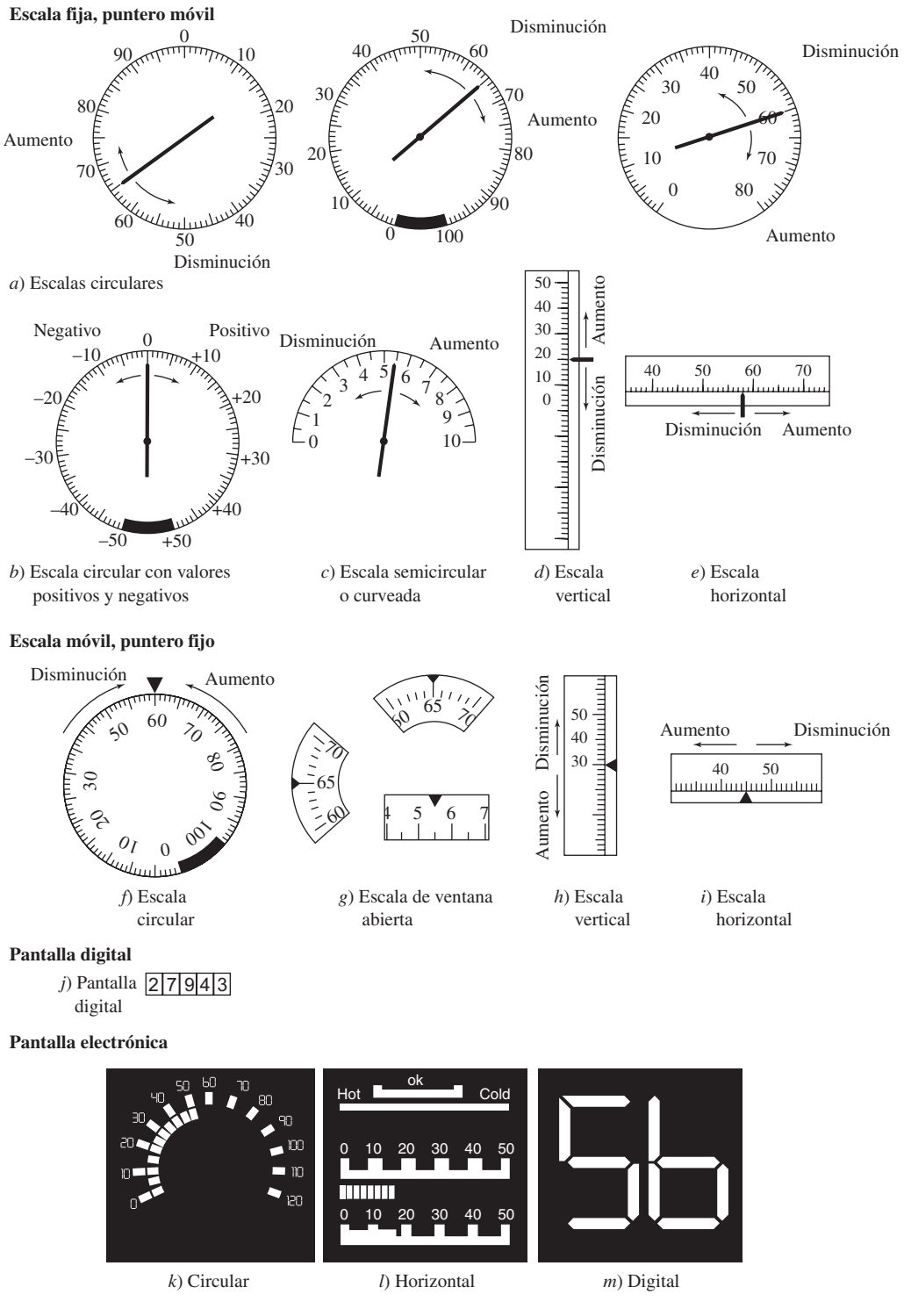


Figura 7.13 Tipos de pantallas que se utilizan para desplegar información cuantitativa.

Tabla 7.2 Comparación entre apuntadores, escalas y contadores

	Servicio prestado			
Indicador	**Lectura cuantitativa**	**Lectura cualitativa**	**Configuración**	**Rastreo**
Apuntador móvil	Suficiente	Buena (los cambios se detectan fácilmente)	Buena (relación muy discernible entre el control de configuración y el apuntador)	Buena (la posición del apuntador se controla y supervisa fácilmente)
Escala móvil	Suficiente	Deficiente (puede ser difícil identificar la dirección y la magnitud)	Suficiente (puede ser complicado identificar la relación entre la configuración y el movimiento)	Suficiente (puede tener una relación ambigua con el movimiento manual-control)
Contador	Buena (mínimo tiempo de lectura y resultados con un mínimo de error)	Deficiente (el cambio de posición puede no indicar un cambio cualitativo)	Buena (representa un buen método para supervisar la configuración numérica)	Deficiente (no se supervisa fácilmente)

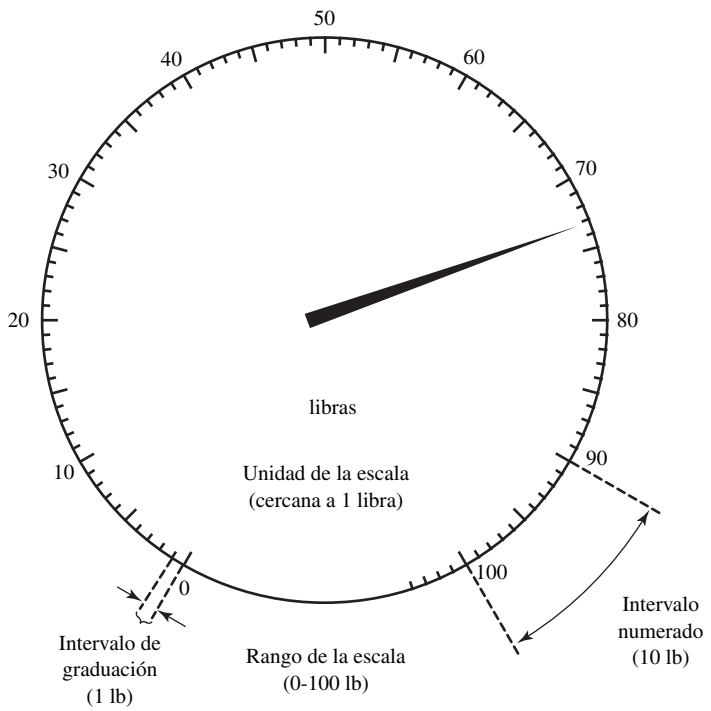


Figura 7.14 Características básicas del diseño de un marcador.

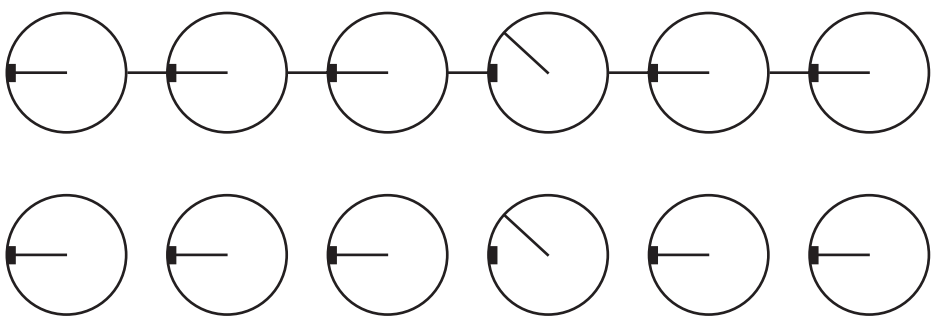


Figura 7.15 Tablero con marcadores diseñado para verificar lecturas.

Tabla 7.3 Codificación recomendada de las lámparas indicadoras

		Color			
Diámetro	**Estado**	**Rojo**	**Amarillo**	**Verde**	**Blanco**
12.5 mm	Estable	Falla; Parar la acción; Fallando	Retraso; Inspeccionar	Circuito energizado; Proceda: Listo; En producción	Funcional; En posición; Normal (encendido)
25 mm o más grande	Estable	Sistema o subsistema en una acción de paro	Precaución	Sistema o subsistema en el estado proceder	
25 mm o más grande	Intermitente	Condición de emergencia			

LÁMPARAS INDICADORAS PARA ATRAER LA ATENCIÓN DEL OPERADOR

Las lámparas indicadoras o de advertencia son especialmente idóneas para atraer la atención en situaciones de peligro potencial. En el momento de usarse se deben tener en cuenta varios requisitos básicos. Estas lámparas deben indicarle al operador qué está mal y qué acciones se deben tomar. En condiciones de un fondo inadecuado con pobres contrastes, una luz roja (típicamente una situación muy seria), una verde y una amarilla (la condición menos peligrosa) tienen ciertas ventajas respecto a la luz blanca. En términos de tamaño e intensidad, una buena regla consiste en diseñarlas con el doble de tamaño (al menos 1 grado de arco visual) y brillantez respecto a los demás indicadores del tablero y colocarlas no más de 30 grados alejadas de la línea de vista del operador. Una luz intermitente que se prenda y apague a una velocidad de 1 a 10 veces por segundo atraerá especialmente la atención. Inmediatamente después de que el operador atienda el problema, debe detenerse la intermitencia, pero la luz debe permanecer encendida hasta que se le haya dado remedio por completo a la condición que provocó la falla. En la tabla 7.3 se proporcionan más detalles acerca de la codificación de las lámparas indicadoras.

CARACTERES ALFANUMÉRICOS DEL TAMAÑO APROPIADO PARA LAS ETIQUETAS

Para usar la codificación alfanumérica más eficiente utilice los niveles de iluminación recomendados (vea la sección 6.1) y considere la siguiente información relacionada con la altura de la letra, el espacio entre ellas, la relación entre al ancho y la altura de las letras. Con base en una distancia de visión de 20 pulgadas (51 cm), la altura de la letra o número deberá ser de al menos 0.13 pulgadas (0.325 cm) y el ancho de al menos 0.02 pulgadas (0.055 cm), para obtener una relación ancho-altura de 1:6. Estas medidas generan un ángulo visual preferido de 22 minutos de arco, como lo recomienda el ANSI/HFS 100 (1988), o un tamaño de punto de 10, como el de los periódicos (un punto es igual a 1/72 de pulgada o 0.035 mm). En el caso de distancias diferentes a 20 pulgadas (51 cm), el valor puede escalarse de tal forma que obtengamos un ángulo visual comparable (por ejemplo, para una distancia de 40 pulgadas, los tamaños deben ser duplicados).

Las recomendaciones anteriores se refieren a letras oscuras sobre un fondo blanco, el cual es el formato preferido para leer en áreas bien iluminadas (por ejemplo, típicas áreas de trabajo con ventanas o bien iluminadas). Las letras blancas sobre un fondo oscuro son más convenientes para áreas oscuras (por ejemplo, en condiciones nocturnas) y son menos anchas (relación 1:8 a 1:10) debido al efecto de dispersión de las letras blancas. La fuente se refiere al estilo de la letra como, por ejemplo, Roman, con los patines especiales en los extremos de los espacios, o Gothic, sin estos patines. En general, una mezcla de letras mayúsculas y minúsculas es mejor en el caso de lectura extensa. Sin embargo, para destacar de manera especial y atraer la atención, como en el caso de las etiquetas, resulta de gran utilidad el uso de letras en negritas o en mayúsculas con una relación ancho-altura de aproximadamente 3:5 (Sanders y McCormick, 1993).

7.5 PANTALLA DE INFORMACIÓN AUDITIVA: PRINCIPIOS ESPECÍFICOS DE DISEÑO

SEÑALES AUDITIVAS COMO ADVERTENCIAS

Como ya se analizó, existen características especiales del sistema audible que garantizan el uso de una señal auditiva para denotar advertencias. El tiempo de reacción simple es considerablemente más rápido a las señales auditivas que a las visuales (por ejemplo, considere el disparo que indica el comienzo de las carreras). Una señal auditiva impone demandas mucho más estrictas respecto a la atención del trabajador que una señal visual. Puesto que el oído es omnidireccional y las ondas sonoras penetran barreras (hasta cierto punto, en función de su ancho y de las propiedades del material), las señales auditivas son particularmente útiles si los trabajadores se encuentran en un lugar desconocido y están en movimiento.

SEÑALES AUDITIVAS DE DOS ETAPAS

En razón de que el sistema auditivo está limitado a mensajes cortos y sencillos, se debe considerar la señal en dos etapas cuando se va a presentar información compleja. La primera etapa debe ser una señal de demanda de atención con el fin de alertar al trabajador, mientras que la segunda se utiliza para presentar información más precisa.

HABILIDADES Y LIMITACIONES DEL SER HUMANO

Puesto que la sensibilidad auditiva del ser humano es mejor alrededor de la frecuencia de 1 000 Hz, utilice señales auditivas con frecuencias en el rango de 500 a 3 000 Hz. Aumentar la intensidad de la señal es útil para dos propósitos. Primero, aumenta la calidad de la demanda de atención a la señal y reduce el tiempo de respuesta. Segundo, tenderá a diferenciar mejor la señal del ruido de fondo. Por otro lado, se debe evitar niveles excesivos (por ejemplo, por arriba de los 100 dB) ya que dichos niveles tenderán a causar una respuesta de sobresalto y quizás hasta la interrupción de la tarea. En la medida de lo posible, es necesario evitar el uso de señales en estado estable con la finalidad de evitar la adaptación a ellas. Por lo tanto, la *modulación* de la señal (es decir, el encendido y apagado de la misma a intervalos regulares) en el rango de frecuencia de 1 a 3 Hz tenderá a incrementar la calidad de atención-demanda de la señal.

FACTORES AMBIENTALES

Puesto que las ondas sonoras pueden ser dispersadas o atenuadas por el ambiente de trabajo, es importante tomar en cuenta los factores ambientales. Utilice frecuencias de señal que estén por debajo de los 1 000 Hz cuando sea necesario que las señales tengan que viajar largas distancias (es decir, más de 1 000 pies), debido a que las altas frecuencias tienden a ser absorbidas o dispersadas más fácilmente. Utilice frecuencias por debajo de los 500 Hz cuando las señales tengan que evitar obstáculos o pasar a través de tabiques. A medida que la frecuencia de la señal sea menor, las ondas sonoras se parecerán más a las vibraciones de los objetos sólidos, y por ende, la absorción será menor.

SEPARACIÓN DE LA SEÑAL DEL RUIDO

Las señales auditivas deben estar lo más separadas posible de otros sonidos, ya sean señales auditivas útiles o ruido innecesario. Esto significa que la señal deseada debe ser lo más diferente posible de las demás señales en términos de frecuencia, intensidad y modulación. De ser posible, las advertencias deben colocarse en un canal de comunicación independiente con el fin de incrementar el sentido de *disociabilidad* y aumentar las cualidades de la demanda de atención a la advertencia.

Los principios anteriores del diseño de pantallas tanto auditivas como visuales se resumen en la figura 7.16 como una lista de verificación de evaluación. Si el equipo cuenta con marcadores u otras pantallas que no estén de acuerdo con estos lineamientos de diseño, existe la posibilidad de que el operador cometa un error y se produzca una pérdida potencial. De ser posible, dichos problemas deben corregirse o se deben reemplazar las pantallas.

7.6 INTERACCIÓN HOMBRE-COMPUTADORA: CONSIDERACIONES DE HARDWARE

TECLADOS

El teclado estándar de las computadoras que se utilizan en la actualidad se basa en un arreglo de teclas patentado por C. L. Sholes en 1878. Se conoce con el nombre de *teclado QWERTY*, debido a la secuencia de las seis primeras teclas de la tercera fila, y se distingue por el hecho de asignar algunas de las letras más comunes del idioma inglés a los dedos más débiles. Una posible explicación es que las teclas que más comúnmente se utilizan estuvieran separadas entre sí de tal manera que no se obstaculizaran cuando se activaran secuencialmente a gran velocidad. También se han desarrollado otras disposiciones alternas con fundamento científico, las cuales asignan letras de manera más proporcionada. Una de las más notables es el *teclado Dvorak* 1936. Sin embargo, estudios científicos han demostrado que la disposición de Dvorak es sólo 5% más eficiente que la de Sholes, porcentaje que probablemente no representa una mejora suficiente como para que se justifique el cambio y entrenamiento de los operadores.

En circunstancias especiales, como la estenomecanografía y la clasificación de correos, sería más apropiado utilizar un *teclado de cuerdas*. Mientras que en un teclado estándar los caracteres individuales se teclean en secuencia, un teclado de cuerdas requiere de la activación simultánea de dos o más teclas. El compromiso básico es que con dicha activación se necesita un menor número de teclas y puede teclearse considerablemente más (de 50 a 100%) información. También cuenta con la ventaja de su pequeño tamaño y que se opera con una sola mano, lo que permite que la otra mano realice otras tareas. Sin embargo, para uso general, el teclado estándar es más que suficiente sin que sea necesario un entrenamiento especializado adicional.

Muchos teclados tienen un teclado numérico independiente. Estudios anteriores sobre teléfonos revelaron que los usuarios preferían que los caracteres numéricos aumentaran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, lo cual dio como resultado el diseño de la configuración estándar del teclado telefónico. Una configuración alterna fue desarrollada para las calculadoras, en la cual los números aumentan de abajo hacia arriba. Gran parte de la investigación que se ha realizado hasta el momento demuestra que la configuración del teclado del teléfono es similar pero significativamente más rápida y precisa que la que presentan las calculadoras. A pesar de ello, la diferencia no fue lo suficientemente grande para que el estándar ANSI/HFS 100 (Human Factors Society, 1988) favoreciera a uno sobre el otro, lo cual resultó quizás en la peor situación en cuanto a desempeño, debido a que, en la actualidad, el operador tiene que alternar ambas configuraciones en un ambiente de oficina (por ejemplo, un teléfono junto a un teclado de computadora).

En cualquier aparato, la teclas deben ser relativamente grandes, contar con una distancia de centro a centro de 0.71 o 0.75 pulgadas (18 a 19 mm) horizontalmente y 0.71 a 0.82 pulgadas (18 a 21 mm) verticalmente. Las teclas pequeñas, las cuales son cada vez más comunes a medida que las PC reducen su tamaño, representan una desventaja para los personas con dedos largos, pues cometen más errores y su velocidad se reduce. Las teclas tienen un desplazamiento ideal de entre 0.08 y 0.16 pulgadas (2.0 y 4.0 mm) y la fuerza que se le imprime sobre ellas no debe ser mayor a 0.33 libras (1.5 N). La activación de una tecla debe estar acompañada de una retroalimentación auditiva o táctil. Tradicionalmente, se ha apoyado la idea que tengan una ligera pendiente hacia arriba (de 0 a 15°). Sin embargo, investigaciones más recientes han demostrado que una ligera pendiente hacia abajo de –10° puede en realidad proporcionar una postura de las muñecas más neutral y favorable. Asimismo, los teclados independientes han demostrado tener capacidad para reducir la desviación del cúbito que normalmente se presenta con el uso de los teclados convencionales de una sola pieza. Como se mencionó en el capítulo 5, los descansa-brazos proporcionan un soporte para el hombro/brazo y reducen la actividad muscular de los hombros. Estos accesorios se recomiendan en lugar del uso de los descansa-muñecas, que son más comunes pero pueden incrementar la presión en el túnel carpiano y la incomodidad del operador.

DISPOSITIVOS APUNTADORES

El dispositivo principal para ingresar datos a la computadora es el teclado. Sin embargo, debido a la creciente omnipresencia de las interfaces gráficas para el usuario y en función de la tarea que se

Principios generales	**Sí**	**No**
1. ¿Está limitado el número de juicios absolutos a 7± 2 artículos?	❑	❑
2. ¿La diferencia entre los niveles de codificación está muy por arriba del JND?	❑	❑
3. ¿Es compatible el esquema de codificación con las expectativas humanas?	❑	❑
4. ¿Es el esquema de codificación consistente con los esquemas existentes?	❑	❑
5. ¿Se utiliza la redundancia en situaciones críticas?	❑	❑
Pantallas visuales		
1. ¿Es el mensaje complejo y extenso?	❑	❑
2. ¿El mensaje trata acerca de información espacial?	❑	❑
3. ¿Es necesario referirse al mensaje posteriormente?	❑	❑
4. ¿Existe ruido y es molesto?	❑	❑
5. ¿Se encuentra el operador en estado estacionario?	❑	❑
6. Para propósitos generales y de tendencias, ¿se utiliza la pantalla con puntero móvil y escala fija?	❑	❑
a) ¿Los valores de la escala aumentan de izquierda a derecha?	❑	❑
b) ¿El movimiento en el sentido de las manecillas del reloj indica valores mayores?	❑	❑
c) ¿Existe una progresión numérica ordenada con los marcadores principales en 0, 10, 20, etcétera?	❑	❑
d) ¿Hay marcadores intermedios en 5, 15, 25, etc., y marcadores menores en cada unidad?	❑	❑
e) ¿Cuenta el apuntador con una punta que apenas llegue a los marcadores más pequeños de la escala?	❑	❑
f) ¿Está el marcador cercano a la superficie de la escala con el fin de evitar el paralaje?	❑	❑
7. En la escala mayor, ¿se utiliza una pantalla de ventana abierta?	❑	❑
8. Para las lecturas de precisión, ¿se utiliza un contador digital?	❑	❑
9. Para la lectura de verificación de un tablero de marcadores, ¿están los punteros alineados y se utiliza un patrón?	❑	❑
10. Para efectos de atención, ¿se utilizan lámparas indicadoras?	❑	❑
a) ¿Las lámparas entran en estado intermitente (1 vez cada décimo de segundo) con el fin de atraer la atención?	❑	❑
b) ¿Son las lámparas grandes (1 grado de arco visual) y brillantes?	❑	❑
c) ¿La lámpara permanece encendida hasta que se ha resuelto el problema?	❑	❑
11. ¿Son del tamaño correcto los caracteres alfanuméricos?	❑	❑
a) ¿Tiene al menos un tamaño de 10 puntos a una distancia de 20 pulgadas (22 minutos de arco visual)?	❑	❑
b) En un área bien iluminada, ¿están las letras escritas en colores oscuros sobre un fondo claro? ¿Tienen una relación ancho-altura de aproximadamente 1:6?	❑	❑
c) En un área oscura, ¿están las letras escritas en blanco sobre un fondo oscuro? ¿Tienen una relación ancho-altura de aproximadamente 1:8 para su uso nocturno?	❑	❑
d) ¿Se utilizan letras en mayúsculas y minúsculas?	❑	❑
e) Para destacar de manera especial, ¿se utilizan mayúsculas o negritas?	❑	❑
Pantallas con mensajes auditivos		
1. ¿Es el mensaje breve y sencillo?	❑	❑
2. ¿El mensaje trata de eventos en el tiempo?	❑	❑
3. ¿Es el mensaje una advertencia o requiere de una acción inmediata?	❑	❑
4. ¿Es la visión difícil o molesta?	❑	❑
5. ¿El operador se mueve constantemente de lugar?	❑	❑
6. ¿Se utiliza una señal de dos etapas?	❑	❑
7. ¿Se encuentra la frecuencia de la señal en el rango de 500 a 3 000 Hz con el fin de obtener la mejor sensibilidad auditiva?	❑	❑
8. ¿Está el nivel sonoro de la señal muy por encima del ruido de fondo?	❑	❑
9. ¿La señal es modulada (1 a 3 Hz) con el fin de llamar la atención?	❑	❑
10. Si la señal viaja a lo largo de una distancia de 1 000 pies o esquiva obstáculos, ¿ la frecuencia está por debajo de los 500 Hz?	❑	❑
11. En el caso de una advertencia, ¿se utiliza un canal de comunicaciones independiente?	❑	❑

Figura 7.16 Lista de verificación del diseño de pantallas.

desempeña, en realidad el operador puede pasar menos de la mitad del tiempo utilizando el teclado. Especialmente en sistemas de ventanas basadas en menús, es necesario contar con algún tipo de posicionamiento del cursor o dispositivo apuntador que trabaje mejor que las teclas del cursor del teclado. Se ha desarrollado y probado una amplia variedad de dispositivos. La *pantalla sensible al tacto* utiliza ya sea una cubierta sensible al tacto sobre la pantalla o sensa la interrupción de un rayo infrarrojo que pasa sobre toda la pantalla a medida que el dedo se aproxima a ésta. Este método es muy natural y el usuario sólo tiene que tocar el objetivo directamente sobre la pantalla. Sin embargo, el dedo puede oscurecer el objetivo y, a pesar de que los objetivos que se requieren deben ser de gran tamaño, la precisión puede ser muy pobre. La *pluma luminosa* consiste en un aguja conectada a la computadora mediante un cable eléctrico que sensa el rayo electrónico explorador en una sección de la pantalla en particular. El usuario tiene una respuesta natural similar que en el caso de la pantalla táctil, pero goza de mayor precisión.

Una *tableta digitalizadora* consiste en una placa plana que se coloca sobre la cubierta del escritorio y que se conecta a la computadora. El movimiento de una aguja es sensado en la posición apropiada sobre la placa, el cual puede ser absoluto (es decir, la placa es una representación de la pantalla) o relativo (es decir, sólo se muestra el movimiento directo a través de la tableta). La tableta digitalizadota tiene complicaciones adicionales como son su tamaño contra las concesiones en cuanto a precisión y cocientes control-respuesta. Asimismo, el usuario necesita volver la vista hacia la pantalla con el fin de recibir retroalimentación. Tanto las palancas de deslazamiento como las de fuerza (actualmente llamadas *palancas de rastreo* o *puntos de rastreo*) pueden utilizarse para controlar el cursor y cuentan con un gran respaldo en investigación acerca de los tipos de sistemas de control, tipos de pantallas, cocientes control-respuesta y desempeño del rastreo. El *ratón* es un dispositivo portátil con una esfera rodante en su base que sirve para controlar la posición y uno o más botones para otras entradas. Es un dispositivo apuntador relativo y para su operación requiere de espacio cerca del teclado. La *esfera de rastreo*, un ratón volteado de cabeza sin la base de éste, representa una buena alternativa para utilizarlo en superficies de trabajo que cuenten con espacio limitado. En épocas recientes, se ha hecho muy popular, especialmente en las PC tipo notebook, el uso de las *bases táctiles*, una forma de tabletas digitalizadoras que están integradas al tablero.

Un gran número de estudios enfocados en comparar estos dispositivos apuntadores muestran compromisos evidentes en cuanto a velocidad-precisión, es decir, los dispositivos más rápidos (pantallas táctiles y las plumas luminosas) son los más imprecisos. Las teclas del cursor del teclado eran muy lentas y probablemente su desempeño no era aceptable. Las bases sensibles al tacto eran un poco más rápidas que las palancas, pero eran las menos preferidas por los usuarios. Por lo general, los ratones y las esferas de rastreo eran igual de buenas en cuanto a velocidad y precisión, razones por las cuales el uso de los ratones es tan común en nuestros días. Sin embargo, hay una tendencia de los usuarios a ejercer una mayor presión sobre el ratón de la necesaria en un factor de 2 a 3 (es decir, usar dos o más veces la fuerza mínima que se requiere), lo cual implica el riesgo potencial de sufrir lesiones graves. El uso de candados para el empuje similar al que se utiliza con las esferas de rastreo puede reducir este riesgo. Para obtener un resumen más detallado de los dispositivos de posicionamiento del cursor, por favor remítase a Greenstein y Arnaut (1988) o Sanders y McCormick (1993).

PANTALLAS DE LOS MONITORES

El centro de la pantalla del monitor debe colocarse a la misma altura de la línea de vista normal, la cual es aproximadamente de alrededor de 15 grados por debajo de la horizontal. Para una pantalla de 15 pulgadas, a una distancia típica de lectura de 16 pulgadas, las orillas están colocadas ligeramente más allá del cono de ±15 grados del campo visual principal. Ello implica que dentro de este cono óptimo no es necesario realizar movimientos de cabeza y la fatiga de los ojos es mínima. Por lo tanto, la parte superior de la pantalla no debe estar por encima del plano horizontal de los ojos.

Sin embargo, puede ser que una distancia de lectura de 16 pulgadas no sea la óptima. La distancia de lectura cómoda está en función no sólo del tamaño de los caracteres desplegados, sino también de la capacidad de la persona de mantener el enfoque y la alineación de los ojos. El foco promedio de descanso (medido en la oscuridad o en ausencia de un estímulo con un optómetro láser) es de alrededor de 24 pulgadas. Ello significa que el ojo puede estar bajo una gran cantidad de estrés cuando ve caracteres a distancias mayores o menores a 24 pulgadas, debido a que, en ese caso, surgirá una

concesión entre el "jale" del estímulo y la tendencia del ojo a regresar hacia la posición de descanso del individuo. Sin embargo, existe una gran variación entre las distancias focales de descanso del individuo. Por lo tanto, los empleados de oficina que trabajan frente a una pantalla de computadora por periodos muy prolongados deben ser examinados para determinar su distancia focal de descanso. Por lo tanto, si no pueden colocar la pantalla del monitor a una distancia adecuada (por ejemplo, distancias excesivamente cortas o largas), pueden acoplar sus ojos con la ayuda de lentes especiales para "ver la computadora" (Harpster *et al*., 1989).

El monitor, de preferencia reclinable, debe colocarse en posición relativamente vertical de tal manera que el ángulo que forme la línea de vista y la línea perpendicular a la superficie de la pantalla sea relativamente pequeño, pero definitivamente menor a 40 grados. No se debe reclinar la pantalla hacia adelante debido a la elevada probabilidad de desarrollar reflexiones de espejo provenientes de la iluminación sobre la cabeza, lo cual provoca la aparición de reflejos lo cual reduce la visibilidad. La pantalla debe tener un mínimo parpadeo, una luminancia uniforme y control del reflejo, si fuere necesario (filtros polarizantes o de micromalla). Más detalles acerca de los requerimientos de hardware y mobiliario para las estaciones de trabajo con computadora pueden encontrarse en el estándar ANSI/HFS 100 (Human Factors Society, 1988).

PC PORTÁTILES y PDA

Las PC portátiles, también llamadas laptops o notebooks, son cada vez más populares, constituyeron 34% del mercado de PC de Estados Unidos en 2000. Su principal ventaja respecto a la computadora de escritorio es su reducido tamaño (y peso) y su portabilidad. Sin embargo, aunado a su reducido tamaño, existen también algunas desventajas: algunas de ellas son las teclas y el teclado más pequeños, así como el teclado conectado a la pantalla y la falta de un dispositivo periférico para el posicionamiento del cursor. La falta de un mecanismo de ajuste de la pantalla genera una excesiva flexión del cuello (mucho mayor a los 15 grados recomendados), mayor flexión de los hombros y ángulos de los codos mayores a 90 grados, lo cual ha dado pie a sensación de incomodidad en comparación con el uso de las PC de escritorio. La conexión de un teclado externo y la elevación de la computadora notebook o la adición de un monitor externo ayuda a aliviar esta situación.

Se han desarrollado computadoras portátiles más pequeñas, llamadas *asistentes personales digitales* (PDA), pero son demasiado nuevas como para haber sido evaluadas científicamente a detalle. Debido a que son de tamaño "bolsillo", ofrecen una mayor portabilidad y flexibilidad, pero al elevado costo que representan se le suman más problemas para ingresar datos. Se ha detectado que cuando se ingresa texto a través de la pantalla táctil se reducen la precisión y la velocidad. Es probable que funcionen mejor los métodos alternos de entrada, como la escritura a mano y la voz.

7.7 INTERACCIÓN HOMBRE-COMPUTADORA: CONSIDERACIONES DE SOFTWARE

Es muy probable que el típico ingeniero industrial o de métodos no se dedique a desarrollar programas sino a utilizar la gran variedad de software existente en el mercado. Por ello, debe estar al tanto de las características del software actual y de los estándares que permiten la mejor interacción humana con la computadora y minimice el número de errores que se puedan presentar como consecuencia de un diseño inadecuado.

El software para el cómputo interactivo más actual utiliza una *interfase gráfica de usuario* (GUI), la cual está identificada por cuatro elementos principales: ventanas, íconos, menús y apuntadores (a veces a estos cuatro elementos se les llama WIMP). Las *ventanas* son las áreas de la pantalla que se comportan como si fueran pantallas independientes por sí mismas. Por lo general contienen texto o gráficas y pueden moverse por toda la pantalla y cambiar de tamaño. En una pantalla puede haber más de una ventana a la vez, lo que permite que los usuarios puedan ir y regresar de entre varias tareas o fuentes de información. Potencialmente, y como consecuencia de lo anterior, esta facilidad genera el problema de que las ventanas se superpongan entre sí y no permitan que se observe información vital. Por consiguiente, se debe contar con una política de configuración respecto a la posibilidad de que las ventanas puedan estar en mosaico, en cascada o desplegadas en toda la pantalla (Picture-in-a-Picture, PIP). Por lo general, las ventanas cuentan con facilidades que incrementan su utilidad —como son las

barras de desplazamiento—, las cuales permiten al usuario mover el contenido de una ventana hacia arriba, abajo, izquierda y derecha. Esta amplia movilidad hace que la ventana se comporte como si fuera una ventana real en un mundo mucho mayor, donde la información puede ponerse a la vista mediante el uso de barras de desplazamiento. Normalmente, en la parte superior de la ventana hay una barra de título, la cual sirve para que el usuario la identifique. Además, es probable que existan cajas especiales en las esquinas de ella, las cuales sirven para cambiar su tamaño o cerrarla.

Los *íconos* son representaciones pequeñas o de tamaño reducido de ventanas u otras entidades dentro de la interfaz. Mediante el uso de ellos, muchas ventanas pueden estar disponibles en la pantalla al mismo tiempo, listas para expandirse a un tamaño útil con sólo hacer clic sobre el ícono con el puntero (típicamente un ratón). El ícono ahorra espacio en la pantalla y sirve como un recordatorio que contiene el diálogo. Otras entidades de gran utilidad que se representan mediante íconos son el cesto de basura para eliminar archivos que ya no sirven, programas, aplicaciones o archivos accesibles al usuario. Los íconos pueden tener formas muy variadas: pueden ser representaciones realistas de los objetos que quieren significar o ser altamente estilizados, pero con la referencia apropiada a la entidad (conocida como compatibilidad), de tal manera que los usuarios puedan interpretarlos fácilmente.

El *apuntador* constituye un componente importante de la interfaz WIMP, como la selección de un ícono apropiado requiere de una forma rápida y eficiente para manipularlo directamente. En la actualidad, el ratón es el dispositivo apuntador que más se utiliza a pesar de que las palancas y las esferas de rastreo representan alternativas útiles. La pantalla táctil, en donde el dedo sirve como apuntador, puede representar una alternativa rápida y aun de respaldo/seguridad redundante en situaciones de emergencia. A menudo se utilizan diversas formas de cursor para distinguir los diferentes modos de apuntador, tales como una flecha para el apuntamiento normal, barras en forma de cruz para dibujar líneas y una brocha para pintar formas. Los cursores de apuntamiento son, en esencia, íconos o imágenes y, por lo tanto, deben tener una parte indicadora que represente el lugar activo de apuntamiento. En el caso de la flecha, obviamente la punta es la parte indicadora. Sin embargo, debe evitarse el uso de imágenes graciosas (como por ejemplo, perros y gatos) debido a que no cuentan con una parte indicadora obvia.

Los *menús* representan una lista ordenada de operaciones, servicios o información que se encuentra a disposición del usuario. Esto implica que los nombres que se utilizan para los comandos del menú deberán tener mucho significado y ser informativos. El dispositivo de apuntamiento se utiliza para indicar la opción que se desea seleccionar del menú, donde las opciones posibles o razonables están resaltadas, mientras que las opciones no válidas están expresadas de manera tenue. Con frecuencia, la selección requiere de una acción adicional por parte del usuario, generalmente presionar un botón sobre el ratón o tocar la pantalla con el dedo o un apuntador. Cuando el número de artículos posibles del menú aumenta más allá del límite razonable (típicamente de 7 a 10), es necesario que los artículos se agrupen en ventanas independientes en las cuales sólo el título o la etiqueta aparezca en la barra de menús. Cuando se hace clic sobre el título, los artículos aparecen en una ventana aparte conocida como submenú, el cual se despliega hacia abajo. Para facilitar la búsqueda del artículo que se desea, es importante agrupar los artículos de los menús de acuerdo con su funcionalidad o similitud. Dentro de un determinado menú o ventana, los artículos deben estar ordenados de acuerdo con su importancia y frecuencia de uso. Las funciones inversas como, por ejemplo, SAVE y DELETE, deben mantenerse por separado con el fin de evitar que se seleccionen de manera accidental.

Otras características parecidas a los menús son los botones, ventanas aisladas con pantallas que pueden ser seleccionadas por el usuario para invocar acciones específicas, barras de herramientas, una colección de botones e íconos y cajas de diálogo que sirven para mostrar información importante como, por ejemplo, posibles errores, problemas y emergencias.

Otros principios que se utilizan para diseñar pantallas incluyen simples asuntos de uso: orden, pulcritud, apariencia libre de amontonamientos, la información esperada ubicada de manera consistente donde deba estar de pantalla en pantalla para funciones o información similares. Estudios realizados acerca del rastreo del ojo humano indican que, por lo general, los ojos del usuario se mueven primero hacia el centro izquierdo superior de la pantalla y después, rápidamente, en una dirección correspondiente en el sentido de las manecillas del reloj. Por lo tanto, un punto de partida evidente debe ubicarse en la esquina superior izquierda de la pantalla, lo que hace posible que se siga el patrón de lectura de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo que caracteriza a las culturas occidentales.

La composición de la pantalla debe ser agradable a la vista en lo que respecta al equilibrio, simetría, regularidad, predecibilidad, proporción y secuencia. Tanto la densidad como el agrupamiento constituyen características importantes.

El uso adecuado de las mayúsculas y la mezcla de las fuentes minúsculas y mayúsculas también es importante. Los textos deben ser breves y concisos y contener palabras coloquiales sin muchos términos técnicos. Los términos que implican una acción expresados en un modo positivo son mucho más eficaces que las declaraciones negativas o en lenguaje militar estándar. Resulta apropiado que el color llame la atención, pero debe utilizarse con cautela y limitar su uso a un máximo de ocho colores. Observe que una proporción relativamente elevada de la población sufre de deficiencias en la visión del color.

El usuario siempre debe sentir que tiene el control y tener la facilidad para poder salir de pantallas o módulos y deshacer acciones anteriores. Es necesario que exista retroalimentación sobre todas las acciones que tome el usuario y se debe mostrar el avance en los procedimientos largos. Sobre todo, la característica primordial de cualquier pantalla debe ser la simplicidad. A medida que el diseño sea más simple, la respuesta será más expedita. Se puede encontrar más información acerca del diseño de interfaces de software en Mayhew (1992), Galitz (1993) y Dix *et al*. (1998). Como una ayuda para el comprador o el usuario de software, las facilidades deseadas que se mencionaron se resumen en la Lista de verificación de las características de las interfaces gráficas de usuario (vea la figura 7.17).

RESUMEN

En este capítulo se presentó un modelo conceptual del ser humano como un procesador de información junto con las capacidades y limitaciones de dicho sistema. Se proporcionaron detalles específicos para el diseño adecuado del trabajo cognitivo de tal manera que no se sobrecargue al ser humano respecto a la información que se presenta a través de las pantallas auditivas y visuales, a la información que se almacena en varias memorias y a la que se procesa como parte de la etapa final de la toma de decisiones y la selección de la respuesta. Asimismo, puesto que la computadora constituye la herramienta asociada con el procesamiento de información, se estudiaron los problemas y detalles de diseño respecto a la estación de trabajo con computadora. Junto con las actividades del trabajo manual, luego de haber estudiado en los capítulos 4, 5 y 6 los aspectos físicos del lugar de trabajo y las herramientas así como el ambiente de trabajo, el elemento cognitivo es el aspecto final del operador humano en el trabajo y el analista está ya en posición de implantar un nuevo método.

PREGUNTAS

1. ¿Cómo puede cuantificarse el contenido informacional de una tarea?
2. ¿Qué es la redundancia? Proporcione un buen ejemplo cotidiano de ella.
3. Explique las cinco etapas del modelo de procesamiento de información humano.
4. ¿Cómo actúan las etapas del procesamiento de información para evitar una sobrecarga de información en el operador?
5. ¿Cuáles son las cuatro salidas posibles que se explican mediante la teoría de detección de señales?
6. Proporcione un ejemplo de una tarea a la cual se le puede aplicar la teoría de detección de señales. ¿Qué efecto tendrá un corrimiento del criterio en el desempeño de la tarea?
7. ¿Cuál es el significado de la sensibilidad en la teoría de detección de señales? ¿Qué técnicas pueden utilizarse con el fin de incrementar la sensibilidad de una tarea de inspección?
8. ¿Qué técnicas pueden utilizarse para mejorar la memoria?
9. ¿Cuáles son algunos de los sesgos que pueden afectar adversamente la toma de decisiones de una persona?
10. ¿Qué es la compatibilidad? Proporcione dos ejemplos cotidianos de compatibilidad.
11. Compare y contraste los diferentes tipos de atención.
12. ¿Qué significa la curva en U invertida en el campo de la atención?
13. ¿En qué condiciones se pueden utilizar mejor las pantallas auditivas?
14. ¿Cuál es la diferencia entre los juicios absolutos y relativos? ¿Cuál es la limitación del juicio absoluto?

Características de las ventanas	**Sí**	**No**
1. ¿El software utiliza áreas móviles en la pantalla llamadas *ventanas*?	❑	❑
2. ¿Existe una política sobre la configuración de las ventanas (es decir, están en mosaicos, en cascada o una sobre otra)?	❑	❑
3. ¿Hay barras de desplazamiento para permitir que el contenido de las ventanas pueda moverse hacia arriba y hacia abajo?	❑	❑
4. ¿Están las ventanas identificadas con títulos llenos de significado?	❑	❑
5. ¿Hay cajas especiales en las esquinas de las ventanas con el fin de cambiar su tamaño o cerrarlas?	❑	❑
Características de los iconos	**Sí**	**No**
1. ¿Se utilizan versiones reducidas de las ventanas usadas con mayor frecuencia llamadas *íconos*?	❑	❑
2. ¿Son los iconos fácilmente interpretables o son representaciones realistas de una determinada característica?	❑	❑
Características de los apuntadores	**Sí**	**No**
1. ¿Se utiliza un dispositivo apuntador (ratón, palanca, pantalla táctil) para mover los iconos?	❑	❑
2. ¿Se puede identificar fácilmente en el apuntador o cursor un área activa que sea obvia?	❑	❑
Características de los menús	**Sí**	**No**
1. ¿Los menús están llenos de significado (lista de operaciones) y ofrecen títulos descriptivos?	❑	❑
2. ¿Están los artículos de los menús agrupados por función?	❑	❑
3. ¿El número de artículos en los menús está limitado a un número razonable (de 7 a 10)?	❑	❑
4. ¿Hay botones disponibles para llevar a cabo acciones específicas comunes?	❑	❑
5. ¿Se utilizan barras de herramientas con íconos o una serie de botones?	❑	❑
6. ¿Se utilizan cuadros de diálogo para notificar al usuario acerca de problemas potenciales?	❑	❑
Otras consideraciones respecto del uso	**Sí**	**No**
1. ¿El diseño de la pantalla es sencillo, ordenado y sin amontonamientos?	❑	❑
2. ¿Están ubicadas las funciones similares de manera consistente de una pantalla a otra?	❑	❑
3. ¿Está el punto de partida de cualquier acción de la pantalla en la esquina superior izquierda?	❑	❑
4. ¿Toda acción en la pantalla lleva la secuencia de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo?	❑	❑
5. ¿Son los textos breves, concisos y utilizan letras mayúsculas y minúsculas?	❑	❑
6. ¿Se utilizan los colores con moderación para llamar la atención (es decir, su uso se limita a ocho colores)?	❑	❑
7. ¿Tiene el usuario control sobre las pantallas de salida y la eliminación de acciones? ¿Se proporciona retroalimentación en todas las acciones que se tomen?	❑	❑

Figura 7.17 Lista de verificación de las características de una interfaz gráfica de usuario.

15. ¿Qué es la diferencia apenas notoria y cómo está relacionada con el nivel del estímulo?
16. ¿Por qué se utiliza la redundancia en los estímulos críticos?
17. ¿Por qué se prefiere una pantalla de apuntador móvil y escala fija?
18. ¿Cuál es el propósito de usar patrones en un conjunto de marcadores en una sala de control?
19. ¿Qué características clave se utilizan para incrementar la atención en una pantalla visual?
20. ¿Qué características clave se utilizan para incrementar la atención en una pantalla auditiva?
21. ¿Cuáles son las concesiones que existen entre los diferentes tipos de dispositivos apuntadores?
22. ¿Cuáles son los componentes principales de una buena interface gráfica de usuario?

PROBLEMAS

1. *a*) ¿Cuál es la cantidad de información de un grupo de ocho señales luminosas si cada una de ellas tiene una probabilidad de ocurrencia igual?

b) La probabilidad de las luces se modifican de acuerdo con la tabla siguiente. Calcule la cantidad de información y la redundancia de esta configuración.

Estímulo	1	2	3	4	5	6	7	8
Probabilidad	0.08	0.25	0.12	0.08	0.08	0.05	0.12	0.22

2. Una universidad estatal de gran tamaño utiliza registros de correo de tres dígitos para codificar la correspondencia dentro del campus. El paso inicial al clasificar este correo consiste en hacerlo de acuerdo con el primer dígito (existen 10 posibles dígitos), lo cual significa una zona general del campus. Este paso se lleva a cabo presionando una tecla con el número correspondiente, el cual deposita la carta en el contenedor apropiado. Un clasificador de correo típico clasifica 60 sobres por minuto y toma un mínimo de 0.3 segundos presionar la tecla con el procesamiento cognitivo involucrado.

a) Suponiendo que el correo se distribuye de manera uniforme en todas las zonas del campus, ¿cuál es el ancho de banda del clasificador de correo?

b) Después de un determinado lapso, el calificador se percata de que el correo del campus está distribuido de la siguiente manera. Si el clasificador de correo utiliza esta información, ¿cuántas cartas podría manejar el clasificador en 1 minuto?

Zona	Porcentaje de distribución
0	25
1	15
2	25
3-9	5

3. Roberto y Guillermo son dos pronosticadores del clima que trabajan en AccurateWeather. Roberto es un veterano pronosticador, mientras que Guillermo acaba de salir de la universidad. A continuación se muestran los registros (número de predicciones) acerca de la capacidad de ambos pronosticadores de predecir si va a llover en las próximas 24 horas.

a) ¿A cuál de los pronosticadores del clima contrataría usted? ¿Por qué razón?

b) ¿Quién es el pronosticador más conservador? ¿Por qué?

c) ¿En qué sentido un pronosticador conservador en comparación con uno más arriesgado sería beneficioso para las diferentes regiones geográficas?

	Resultado válido	
Roberto dijo:	**Lluvia**	**No lluvia**
Lluvia	268	56
No lluvia	320	5318

	Resultado válido	
Guillermo dijo:	**Lluvia**	**No lluvia**
Lluvia	100	138
No lluvia	21	349

4. El fabricante de resistencias Dorben Electronics Co., evalúa a los aspirantes a inspectores de control de calidad antes de contratarlos. Dorben desarrolló la siguiente prueba de precontratación. A cada empleado potencial se le presenta el mismo conjunto de 1 000 resistencias dentro de las cuales 500 son defectuosas. Los resultados de dos prospectos son los siguientes: 1) de las 500 resistencias en buen estado, el prospecto 1 marcó 100 como defectuosas, y de las 500 resistencias defectuosas, el prospecto 1 marcó 200 como defectuosas; 2) de las 500 resistencias en buen estado, el prospecto 1 marcó 50 como defectuosas y de las 500 resistencias defectuosas, el prospecto 2 marcó 300 como defectuosas.

a) Intentar escoger una resistencia defectuosa como defectuosa es un éxito. Llene la tabla siguiente.

	Prospecto 1	**Prospecto 2**
Cantidad de éxitos	_____	_____
Cantidad de falsas alarmas	_____	_____
Cantidad de fracasos	_____	_____
Cantidad de rechazos correctos	_____	_____
d'	_____	_____

b) Puesto que Dorben le otorga mucha importancia al control de calidad (es decir, de ninguna manera quieren vender productos defectuosos), ¿qué prospecto sería el más idóneo para cumplir con este objetivo? ¿Por qué?

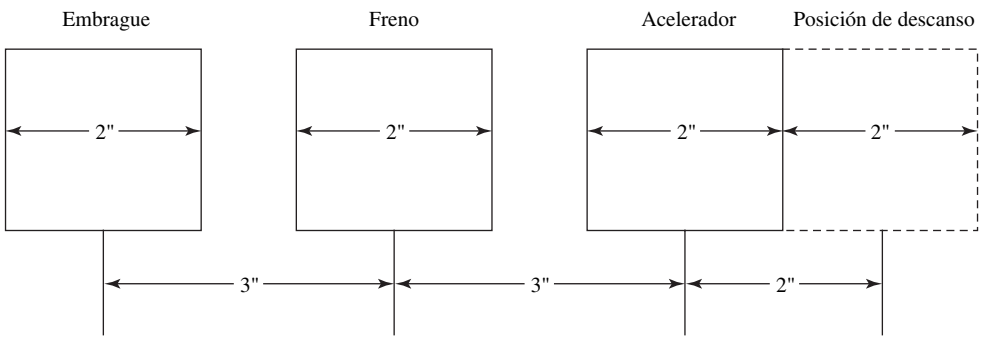
c) Puesto que Dorben desea contratar al inspector más eficiente (es decir, el más eficaz), ¿qué prospecto debe contratar la compañía?

5. Los siguientes datos acerca del desempeño se recabaron en condiciones similares por dos inspectores que removían productos defectuosos en una línea de ensamblado. Emita sus comentarios acerca del desempeño relativo de los dos inspectores: ¿Cuál es mejor para encontrar defectos? ¿A cuál contrataría usted si el costo asociado con la venta de un producto defectuoso fuera muy elevado? ¿Quién hace un mejor trabajo en términos generales? (Sugerencia, tome en cuenta d').

		Caso 1	Caso 2
JRS	Cantidad de éxitos	0.81	0.41
	Cantidad de falsas alarmas	0.21	0.15
ABD	Cantidad de éxitos	0.84	0.55
	Cantidad de falsas alarmas	0.44	0.31

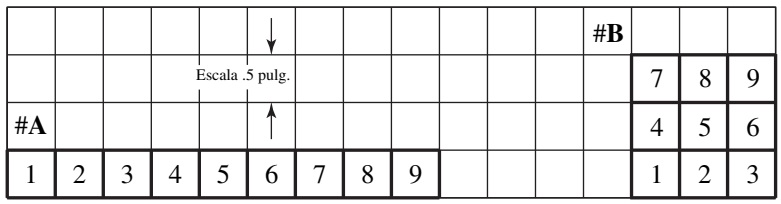
6. Los datos de respuesta-tiempo siguientes (en milisegundos) se obtuvieron en la granja Brown cuando el dueño y su hijo Juan operaban un tractor usando el pie derecho para controlar el embrague, el freno y el acelerador. El pie normalmente se mantenía en posición de descanso. La ubicación y tamaño de los pedales se muestran en la siguiente figura así como algunos tiempos de respuesta de muestra (en milisegundos) para activar un control determinado a partir de su posición de descanso.

a) ¿Cuál es el valor del grado de dificultad de cada pedal?
b) Grafique los tiempos de respuesta. ¿Qué ley puede utilizarse para explicar la relación entre los tiempos de respuesta y el grado de dificultad para activar un determinado control?
c) ¿Cuál es el tiempo simple de reacción del dueño de la granja?
d) ¿Cuál es el ancho de banda de su hijo Juan?
e) ¿Cuál de ellos opera mejor el tractor? Explique su respuesta.



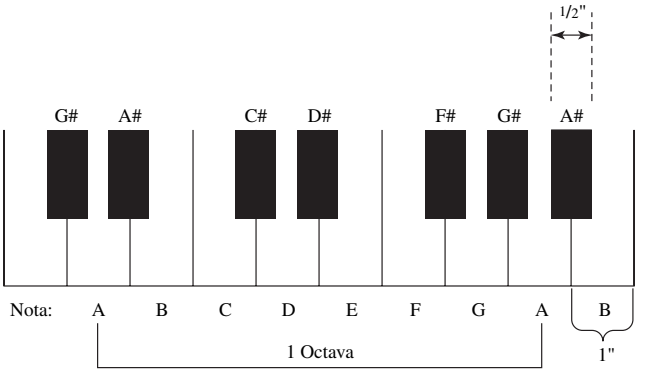
	Acelerador	Freno	Embrague
Granjero Brown	300	432	510
Su hijo Juan	270	428	480

7. Sin considerar el dígito 0, ¿qué teclado permite ingresar más rápido los dígitos mediante el empleo de un solo dedo? Suponga que la posición de origen es el dígito 5. (Sugerencia: Calcule el índice de dificultad).

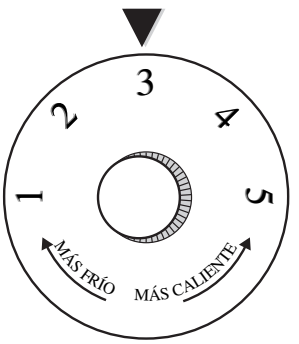


8. Con frecuencia, los pianistas tienen que presionar teclas en una determinada secuencia muy rápidamente. La figura siguiente muestra el teclado típico de un piano.

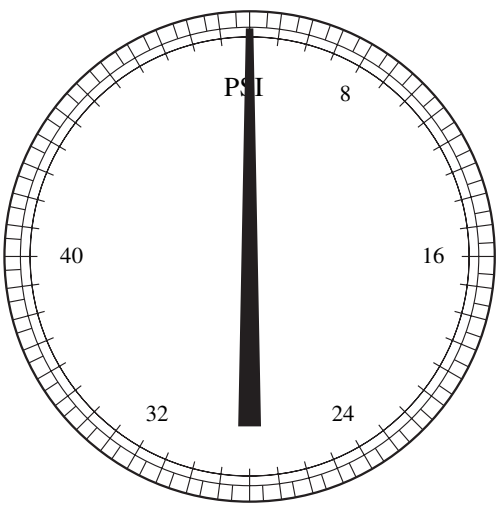
a) Compare el índice de dificultad que implica teclear C, C#, F y F#. Suponga que uno comienza en la tecla A y las distancias están medidas de centro a centro.
b) Si se comienza en la tecla A, toma 200 ms para teclear la tecla C y 500 ms para teclear la tecla F, ¿cuál es el ancho de banda de un pianista típico?



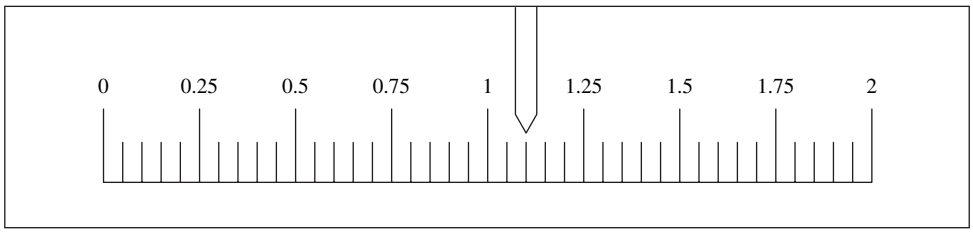
9. La perilla que se muestra a continuación tiene números y flechas que indican la dirección que se utiliza en refrigeradores para controlar la temperatura. ¿En qué dirección, en el de las manecillas del reloj o en el sentido contrario, haría girar usted el botón para hacer que el refrigerador estuviera más frío? ¿Por qué? ¿Cómo mejoraría el control con el fin de evitar confusiones?



10. El marcador que se muestra a continuación representa un medidor de presión. El rango de operación es de 50 psi. El operador debe obtener una lectura aproximada a 1 psi. Realice una evaluación crítica del marcador e indique las prácticas de diseño deficientes. Después, rediseñe el marcador de acuerdo con las prácticas de diseño recomendadas.



11. La escala que se muestra a continuación representa una que se utiliza para medir peso. El máximo peso posible es de 2 libras y la escala debe leerse haciendo una aproximación a 0.1 libras. Realice una evaluación crítica del marcador que indique las prácticas de diseño deficientes. Después rediseñe el marcador de acuerdo con las prácticas de diseño recomendadas.



12. Diseñe un letrero que diga SALIDA el cual se debe colocar en un auditorio público. Explique los principios ergonómicos que son necesarios considerar en el diseño de dicho letrero.

REFERENCIAS

ANSI (Instituto Nacional Americano de Estándares), *ANSI Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations*, ANSI/HFS 100-1988, Santa Mónica, CA: Human Factors Society, 1988.

Bishu, R. R. y C. G. Drury. "Information Processing in Assembly Tasks—A Case Study", en *Applied Ergonomics*, 19 (1988), pp. 90-98.

Chapanis, A. y L. Lindenbaum, "A Reaction Time Study of Four Control-Display Linkages", en *Human Factors*, 1 (1959), pp. 1-7.

Deatherage, B. H., "Auditory and other Sensory Forms of Information Presentation", en H. P. Van Cott y R. Kinkade (eds.), *Human Engineering Guide to Equipment Design.* Washington, DC: Government Printing Office, 1972.

Dix, A., J. Finlay, G. Abowd y R. Beale, *Human-Computer Interaction*, 2a. ed. Londres: Prentice-Hall, 1998.

Drury, C., "Improving inspection Performance", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. G. Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Drury, C. G. y J. L. Addison, "An Industrial Study on the Effects of Feedback and Fault Density on Inspection Performance", en *Ergonomics*, 16 (1973), pp. 159-169.

Eggemeier, F. T., "Properties of Workload Assessment Techniques", en *Human Mental Workload*, Eds. P. Hancock y N. Meshkati, Amsterdam: North-Holland, 1988.

Fechner, G., *Elements of Psychophysics.* Nueva York: Holt, Rinehart y Winston, 1860.

Fitts, P., "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement", en *Journal of Experimental Psychology*, 47 (1954), pp. 381-391.

Galitz, W.O., *User-Interface Screen Design*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1993.

Giambra, L. y R. Quilter, "A Two-Term Exponential Description of the Time Course of Sustained Attention", en *Human Factors*, 19 (1987), pp. 635-644.

Green, D. y J. Swets, *Signal Detection Theory and Psychophysics.* Los Altos, CA: Peninsula Publishing, 1988.

Greenstein, J. S. y L.Y. Arnaut, "Input Devices", en *Handbook of Human-Computer Interaction*, Ed. M. Helander, Amsterdam: Elsevier/North-Holland, 1988.

Harpster, J. L., A. Freivalds, G. Shulman y H. Leibowitz, "Visual Performance on CRT Screens and Hard-Copy Displays", en *Human Factors*, 31 (1989), pp. 247-257.

Helander, J. G., T. K. Landauer y P. V. Prabhu, (eds), *Handbook of Human-Computer Interaction*, 2a. ed. Amsterdam: Elsevier, 1997.

Hick, W. E., "On the Rate of Gain of Information", en *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4 (1952), pp. 11-26.

Human Factors Society, *American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations, ANSI/HFS 100-1988*. Santa Mónica, CA: Human Factors Society, 1988.

Hyman, R., "Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time", en *Journal of Experimental Psychology*, 45 (1953), pp. 423-432.

Langolf, G. D. Chaffin y J. Foulke, "An Investigation of Fitts' Law Using a Wide Range of Movement Amplitudes", en *Journal of Motor Behavior*, 8, núm. 2 (junio de 1976), pp. 113-128.
Mayhew, D. J., *Principles and Guidelines in Software User Interface Design*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992.
Miller, G., "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information", en *Psychological Review*, 63(1956), pp. 81-97.
Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, 7a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1993.
Stroop, J. R., "Studies of Interference in Serial Verbal Reactions", en *Journal of Experimental Psychology*, 18 (1935), pp. 643-662.
Wickens, C., *Engineering Psychology and Human Performance*, Columbus, OH: Merrill, 1984.
Wickens, C. D., "Processing Resources in Attention", en *Varieties of Attention*. Eds. R. Parasuraman y R. Davies, Nueva York: Academic Press, 1984.
Wickens, C. D., S. E. Gordon y Y. Liu, *An Introduction to Human Factors Engineering*, Nueva York: Longman, 1997.
Yerkes, R. M. y J. D. Dodson, "The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation", en *Journal of Comparative Neurological Psychology*, 18 (1908), pp. 459-482.

SOFTWARE RECOMENDADO

Design Tools (disponible en el sitio de Internet de este texto de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebels-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

SITIOS EN INTERNET

Examples of bad ergonomic Design (Ejemplos de diseños ergonómicos inadecuados): http://www.baddesigns.com/

Seguridad en el lugar de trabajo y de los sistemas

CAPÍTULO 8

PUNTOS CLAVE

- Los accidentes son el resultado de una secuencia de eventos causados por múltiples razones.
- Evalúe los accidentes mediante el uso del análisis de seguridad en el trabajo.
- Evalúe la secuencia de los accidentes o la falla de sistemas mediante el uso del análisis del árbol de fallas.
- Aumente la confiabilidad del sistema mediante la implantación de respaldos y el aumento de la confiabilidad de los componentes.
- Analice los compromisos que existen entre las diferentes acciones correctivas por medio del uso del análisis costo-beneficio.
- Familiarícese con los requisitos de seguridad de la OSHA.
- Controle los riesgos mediante:
  - Su eliminación total, si es posible
  - Limitación de los niveles de energía involucrados
  - Uso de aislantes, barreras y e interconexiones
  - Diseño de equipo y sistemas a prueba de fallas
  - Minimización de las fallas por medio de una mejor confiabilidad, factores de seguridad y la supervisión

La seguridad en el lugar de trabajo es una extensión del concepto de proporcionar un ambiente de trabajo agradable, seguro y cómodo al operador, como se analizó en el capítulo 7. El objetivo principal no es aumentar la producción a través de mejores condiciones de trabajo o del aumento de la moral del trabajador, sino específicamente reducir el número de accidentes, los cuales dan como resultado la aparición de lesiones y la pérdida de bienes. Tradicionalmente, la preocupación más importante de las empresas ha sido el cumplimiento de las regulaciones de seguridad existentes a nivel país y estado y evitar inspecciones de seguridad por parte de los funcionarios de entidades federales (como la OSHA) que traen como consecuencia citaciones, multas y penalizaciones. Sin embargo, hasta épocas más recientes, la razón primordial de la implantación de la seguridad ha sido el elevado costo de los servicios médicos. Por lo tanto, tiene sentido implantar un programa de seguridad minucioso con el fin de reducir los costos generales. Los aspectos clave de la legislación respecto a la seguridad de la OSHA así como la indemnización de los trabajadores se presenta en este capítulo junto con las teorías generales de la prevención de accidentes y el control de riesgos. Sin embargo, no se analizan los detalles sobre la corrección de riesgos específicos, como existe un

gran número de libros de texto convencionales acerca de seguridad que estudian estos detalles (Asfahl, 2004; Banerjee, 2003; Goetsch, 2005; Hammer y Price, 2001; Consejo de Seguridad Nacional, 2000). Estos libros también explican las formas de establecer y mantener organizaciones y programas dedicados a la administración de la seguridad.

8.1 FILOSOFÍAS BÁSICAS ACERCA DE LAS CAUSAS Y LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

La *prevención de accidentes* es el método táctico y a menudo de corto plazo para dirigir a los trabajadores, materiales, herramienta y equipo y el lugar de trabajo con el propósito de reducir o evitar la ocurrencia de accidentes. Esto contrasta con la *administración de la seguridad*, la cual es el método estratégico relativamente de largo plazo de la planeación, educación y entrenamiento generales de dichas actividades. Un buen proceso para prevenir accidentes (vea la figura 8.1) consiste en un método ordenado muy parecido al programa de ingeniería de métodos que se presentó en el capítulo 2.

La primera etapa del proceso para prevenir accidentes consiste en la identificación del problema de una manera lógica y clara. Una vez que el problema ha sido identificado, el ingeniero en seguridad necesita recabar información y analizarla con el fin de comprender la causa del accidente y detectar posibles remedios con el fin de evitarlo o, si no es posible prevenirlo por completo, al menos reducir sus efectos o severidad. En muchos casos, puede haber varias soluciones y el ingeniero en seguridad debe seleccionar una de ellas. Después, tendrá que implantarse y supervisarse el recurso reparador o correctivo para garantizar que es realmente eficiente. Si no es así, será necesario que el ingeniero repita este proceso y pruebe con otro enfoque quizá mejor. Dicha acción supervisora cierra el ciclo de retroalimentación y asegura un proceso de mejora continua para prevenir accidentes.

TEORÍA DEL DOMINÓ

Cuando se identifica el problema, es importante comprender algunas de las teorías sobre la causa de los accidentes, así como la secuencia de pasos de un accidente en sí mismo. Una de ellas es la *teoría del dominó*, desarrollada por Heinrich Petersen y Roos (1980), que se basa en una serie de teoremas desarrollados en los años 1920 que forman los dominós individuales (vea la figura 8.2):

1. Las lesiones industriales (o pérdida por daños) son el resultado de accidentes, los cuales involucran el contacto con una fuente de energía y su consecuente liberación.
2. Los accidentes son resultado de causas inmediatas tales como
   a) Acciones inseguras por parte del personal
   b) Condiciones inseguras en el lugar de trabajo
3. Las causas inmediatas son el resultado de causas básicas:
   a) Los actos inseguros que son resultado de factores personales tales como la falta de conocimiento, de habilidad o simplemente de motivación o de cuidado.
   b) Las condiciones inseguras debidas a factores de trabajo tales como estándares laborales inapropiados, úsese y tírese, deficientes condiciones de trabajo provocadas por el ambiente o la falta de mantenimiento.

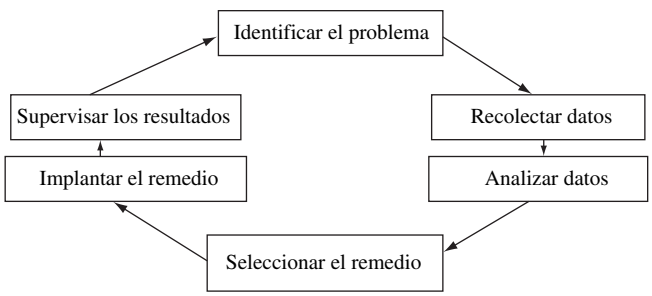


Figura 8.1 Proceso para prevenir accidentes. (*Adaptado de*: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.)

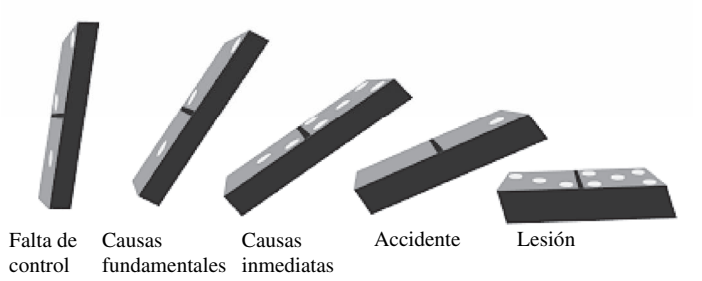


Figura 8.2 Teoría del dominó de la secuencia de un accidente.
(*Adaptado de*: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.)

4. Las causas básicas son el resultado de la falta general de control o de una administración adecuada.

Este dominó (el primero de la secuencia) implica esencialmente la falta de un programa de seguridad implantado o mantenido adecuadamente, el cual debe incluir elementos para identificar y medir de manera precisa las actividades laborales, establecer los estándares adecuados para dichos trabajos, medir el desempeño del operario en esos trabajos y corregirlo en la medida de lo necesario.

Además, Heinrich, Petersen y Roos (1980) postularon que una lesión es simplemente la consecuencia natural de eventos anteriores, algo similar a las fichas de dominó que caen secuencialmente, formando una reacción en cadena. Como una medida preventiva proactiva, se podría simplemente quitar una de las fichas anteriores para evitar que el resto se caiga y se detenga la secuencia antes de que se generen lesiones. Los autores también hicieron hincapié en que era importante tratar de quitar la ficha más cercana al inicio de la secuencia, esto es, implantar el procedimiento correctivo en la etapa más temprana posible, en las causas raíz. La implicación es que si se invierte esfuerzo en sólo prevenir lesiones, se presentarán accidentes similares en el futuro y los consecuentes daños potenciales a la propiedad y otro tipo de lesiones.

Como adaptación de la teoría del dominó, Heinrich y Roos (1980) también destacaron el concepto de *causas múltiples*; esto es, detrás de cada accidente o lesión existen numerosos factores, causas y condiciones contribuyentes, que se combinan de manera aleatoria de tal forma que es difícil identificar cuál fue la causa principal. Por lo tanto, más que tratar de encontrar sólo la causa principal, sería mejor tratar de identificar y controlar tantas causas como fuera posible, de tal forma que se obtenga el mayor efecto general en el control o prevención de la secuencia del accidente. Como ejemplo, entre los actos inseguros provocados por los seres humanos, los cuales de acuerdo con Heinrich, Petersen y Roos (1980) representaron 88% del total de accidentes, podría haber 1) jugueteo o riñas, 2) manejo inadecuado del equipo, 3) intoxicación o drogas, 4) renuencia a utilizar dispositivos de seguridad, o 5) no detener la máquina antes de limpiarla o de quitar una pieza atorada. Entre las condiciones de inseguridad, las cuales representan un total de 10% del total de accidentes (el resto son "actos de Dios" inevitables), se pueden mencionar 1) vigilancia inadecuada, 2) herramientas y equipo defectuosos, 3) diseño deficiente de máquinas y estaciones de trabajo, 4) iluminación inadecuada o 5) ventilación inapropiada.

La figura 8.3 muestra los efectos de las diferentes acciones correctivas que se toman a lo largo de la secuencia dominó así como las múltiples causas de un escenario en el que las chispas generadas por una rectificadora pueden incendiar los humos de solventes y provocar una explosión o incendio, lo cual provoca quemaduras al operador. Una lesión se define como quemaduras en el cuerpo del operador. El accidente que conduce a la lesión es la explosión y el fuego posterior. La secuencia pudo haber sido detenida si se hubiese obligado al operador a utilizar el traje a prueba de fuego. Aunque de cualquier forma el accidente hubiese sucedido, se hubiese evitado una severa lesión al operador. Evidentemente, éste no representa el mejor método de control, ya que de cualquier manera el fuego podía ocurrir con otras consecuencias a la propiedad. Si nos movemos una ficha hacia atrás, el incendio fue provocado por chispas provenientes de la ignición de la rectificadora que entraron en contacto con los humos volátiles que saturaban el área, prendiéndolos, de rectificado. La secuencia pudo haberse detenido en esta etapa si se hubiese utilizado un eliminador de chispas o mediante la reducción de la concentración de humos por medio de una mejor ventilación. Incluso ésta es una medida de control riesgosa ya que es probable que el eliminador de chispas no elimine todas las que vuelan y el ventilador puede fallar debido a la presencia de fuego en el sistema de alimentación. Si nos movemos una

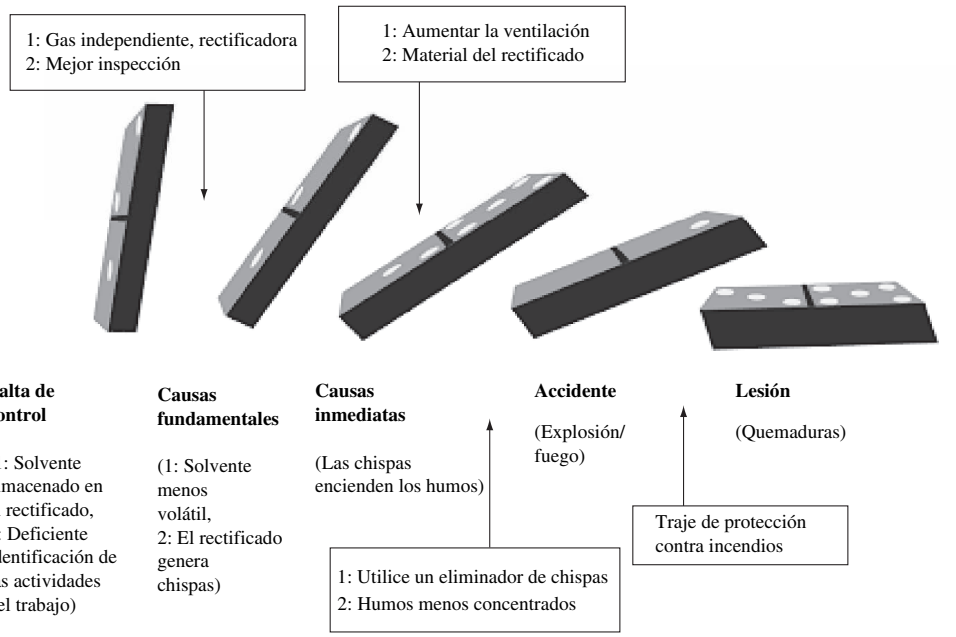


Figura 8.3 Secuencia dominó de la chispa de un rectificado que provoca un incendio.

ficha hacia atrás, entre las causas más básicas se pueden incluir un par de factores diferentes (observe que las causas pueden ser múltiples), tales como la presencia de un solvente volátil y el hecho de que la rueda de rectificado al actuar en el fundido genere chispas. La secuencia podría detenerse aquí mediante el empleo de un solvente menos volátil o la instalación de una rueda de rectificado más suave fabricada con un material diferente que no genere chispas. De nuevo, éstas no serían las medidas de control más eficientes en un clima extremadamente cálido que incrementara la vaporización de un solvente más estable y la rueda de molido provocara chispas con materiales más duros. Asimismo, podrían tener otras consecuencias menos positivas tales como que la rueda de molido suave fuera menos eficiente para emparejar las orillas rugosas de las piezas. La última ficha de falta de control contiene una gran cantidad de factores: una identificación deficiente de las actividades del trabajo que permita el uso de solvente en el área de rectificado, almacenamiento de solventes en el área de trabajo, inspecciones de seguridad inadecuadas, falta de atención por parte del operador de la moledora, etc. En esta etapa, la simple separación de los elementos peligrosos, esto es, la remoción de solventes en el área de rectificado, es la forma más sencilla, barata y eficiente de resolver el problema.

A pesar de que, estrictamente, el *triángulo de la tasa de accidentes* de Heinrich, Petersen y Roos (1980) que establece las bases de una lesión mayor (vea la figura 8.4*a*), no es un modelo de causas de accidentes, hace hincapié en la necesidad de retroceder en la secuencia del proceso de accidentes. Por cada lesión severa, es muy probable que haya habido al menos 29 lesiones menores y 300 accidentes sin lesiones, con cientos o miles de actos inseguros que se han pasado por alto pero que forman la base del triángulo. Por lo tanto, en lugar de enfocarse sólo de forma reactiva en la lesión más severa o aún en las lesiones menores, tiene sentido para el ingeniero en seguridad el observar proactivamente los accidentes ocurridos con anterioridad sin lesiones y actos inseguros que condujeron a esos accidentes, como un campo de oportunidades para reducir las lesiones potenciales y los costos asociados con el daño a la propiedad y tener un programa de control de pérdidas totales mucho más significativo y eficiente. Posteriormente, este triángulo de la tasa de accidentes fue modificado por Bird y Germain (1985), que incluyeron el daño a la propiedad así como la revisión de las cantidades (vea la figura 8.4*b*). Sin embargo, la filosofía básica es la misma.

MODELOS DE SEGURIDAD BASADOS EN EL COMPORTAMIENTO

Los modelos más recientes acerca de las causas que provocan los accidentes se enfocan en ciertos aspectos del comportamiento del operario. La base de este método estriba en investigaciones acerca

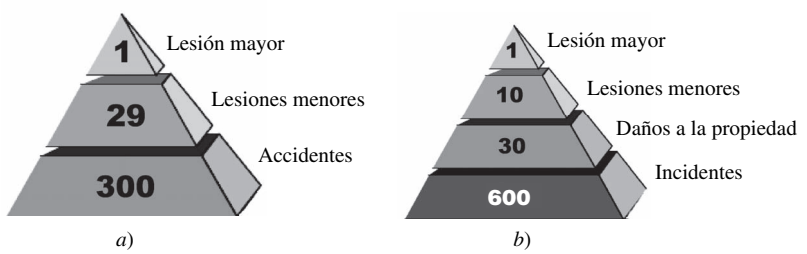


Figura 8.4 *a*) Triángulo de la tasa de accidentes de Heinrich; *b*) Triángulo de la tasa de accidentes de Bird y Germain (1985). (*Adaptado de*: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.)

de la crisis temprana realizadas por Hill (1949) seguidas de la cuantificación de dichas crisis o factores situacionales más modestos en *unidades de cambio de vida* (LCU) por parte de Holmes y Rahe (1967) (vea la tabla 8.1). La premisa fundamental de esta teoría es que los factores situacionales reducen la capacidad de las personas para lidiar con el estrés en el lugar de trabajo (o de la vida en general), lo cual las deja en una posición susceptible de sufrir accidentes a medida que aumenta la cantidad de estrés. En el estudio se comprobó que 37% de las personas que en 2 años acumularon entre 150 y 199 LCU padecían enfermedades. A medida que los LCU aumentaban de 200 a 299, 51% sufrían enfermedades, y de las que excedían 300 LCU, 79% padecía enfermedades. Esta teoría puede ayudar a explicar de manera obvia por qué hay personas muy susceptibles a los accidentes, así como la necesidad de evitar que los operarios que trabajan bajo mucho estrés lleven a cabo el trabajo difícil y peligroso.

Otro modelo de comportamiento causante de accidentes es el *modelo motivación-recompensa-satisfacción* que elaboraron Heinrich, Petersen y Roos (1980). Este enfoque amplía los conceptos skinnerianos (Skinner, 1947) de *reforzamiento positivo* para lograr ciertos objetivos. En términos de seguridad, el desempeño del trabajador depende de su motivación así como de su pericia para realizar su tarea. En el ciclo de retroalimentación positiva principal (vea la figura 8.5), a medida que el trabajador tiene un mejor desempeño, aumenta la recompensa, más satisfecho está y mayor es su motivación para mejorar su desempeño. Esta retroalimentación positiva podría aplicarse al desempeño del trabajador en relación con la seguridad y a la productividad (la cual es la base de los sistemas de incentivos basados en salarios que se estudian en el capítulo 17).

La variante más actual y popular del entrenamiento en seguridad basado en el comportamiento es el *modelo ABC*. En la parte central del modelo se encuentra el comportamiento (la parte B) del trabajador, o lo que éste hace como parte de la secuencia del accidente. La parte C es la consecuencia de ese comportamiento o los eventos que se llevan a cabo después del comportamiento, que conducen potencialmente a un accidente o lesión. Las primeras partes A son antecedentes (a menudo llamadas *activadores*) o eventos que se llevan a cabo antes de que ocurra el comportamiento. Por lo general, esta serie comenzará como un proceso negativo, en el cual el ingeniero en seguridad debe tratar de corregir las consecuencias desagradables y determinar qué comportamientos y antecedentes conducen a estas consecuencias. Por ejemplo, un operario toma un atajo al pasar por una banda transportadora: un comportamiento. El antecedente podría ser el ahorro en tiempo ya que trata de ganar la carrera a la hora del almuerzo con el fin de llegar en primer lugar a la fila de la cafetería. Las consecuencias son típicamente positivas pues el operador contará con más tiempo para comer, pero, en este caso en particular, las consecuencias son negativas ya que el operador se puede lesionar si se resbala sobre la banda. Una forma de cambiar el comportamiento sería colocar advertencias acerca del peligro que significa saltar sobre la banda transportadora y aplicar multas por violar dicha indicación.

Sin embargo, éste es un método negativo pues requiere de una acción significativa para obligar a todo el personal a obedecer la advertencia. Esto es, la modificación de los antecedentes puede ser el punto de partida de un comportamiento, pero, en muchos casos, no es suficiente conservar dicho comportamiento, especialmente si el método se enfoca en un aspecto negativo. Un mejor método sería utilizar el modelo motivación-recompensa-satisfacción y un enfoque en las consecuencias positivas. Lo anterior se puede lograr mediante el escalonamiento de los periodos que se asignan a los empleados para comer, de tal manera que todos puedan gozar de un tiempo para la comida sin preocupaciones y relajados. También es importante darse cuenta de que los activadores más eficientes se correlacionan con las consecuencias más eficaces, esto es, aquellas que son más positivas, inmediatas y menos inciertas.

Tabla 8.1 Tabla con las unidades de cambio de vida

Grado	Evento de la vida	Valor medio
1	Muerte del cónyuge	100
2	Divorcio	73
3	Separación conyugal	65
4	Cumplir una condena en la cárcel	63
5	Muerte de un familiar cercano	63
6	Lesión o enfermedad personal	53
7	Matrimonio	50
8	Despido del trabajo	47
9	Reconciliación conyugal	45
10	Retiro	45
11	Cambios en la salud de los miembros de la familia	44
12	Embarazo	30
13	Dificultades de tipo sexual	39
14	Nacimiento de un nuevo miembro de la familia	39
15	Realización de ajustes en el negocio	39
16	Cambio en el estado de las finanzas personales	38
17	Muerte de un amigo cercano	37
18	Cambio a una línea de trabajo diferente	36
19	Cambio en el número de discusiones con la pareja	35
20	Hipotecar en una cantidad demasiado elevada	31
21	Ejecución de una hipoteca o préstamo	30
22	Cambio de responsabilidades en el trabajo	29
23	Abandono de la casa de un hijo o hija	29
24	Problemas legales	29
25	Logro personal sobresaliente	28
26	Comienzo o término de trabajo por parte de la pareja	26
27	Empezar o terminar la escuela	26
28	Cambio en las condiciones de vida	25
29	Revisión de los hábitos personales	24
30	Problemas con el jefe	23
31	Cambio en el horario de trabajo y las condiciones	20
32	Cambio de residencia	20
33	Cambio de escuelas	20
34	Cambio en las formas de recreación	19
35	Cambio en las actividades eclesiásticas	19
36	Cambio en las actividades sociales	18
37	Hipoteca o préstamo por debajo de la cantidad crítica	17
38	Cambio en los hábitos de dormir	16
39	Cambio en la cantidad de reuniones familiares	15
40	Cambio en los hábitos de comer	15
41	Vacaciones	13
42	Navidad	12
43	Violaciones menores de la ley	11

Fuente: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

En general, los métodos que se basan en comportamientos son muy populares y eficientes como formas de prevenir accidentes, especialmente si se considera que la gran mayoría (hasta 88%) de ellos se deben a comportamientos y actos inseguros de parte de los trabajadores. Desafortunadamente, este método se enfoca sólo en las personas y no en los daños físicos, por lo que deben existir también mecanismos y procedimientos para garantizar condiciones seguras en el lugar de trabajo. Por último, se debe tener cuidado de que el objetivo de dichos programas no se desvíe del propósito original que es promover la seguridad. A partir de la experiencia personal, una compañía de manufactura había implantado un programa de fortalecimiento positivo para proporcionar incentivos de seguridad a los trabajadores de producción: a todos los que pertenecían a un determinado departamento que

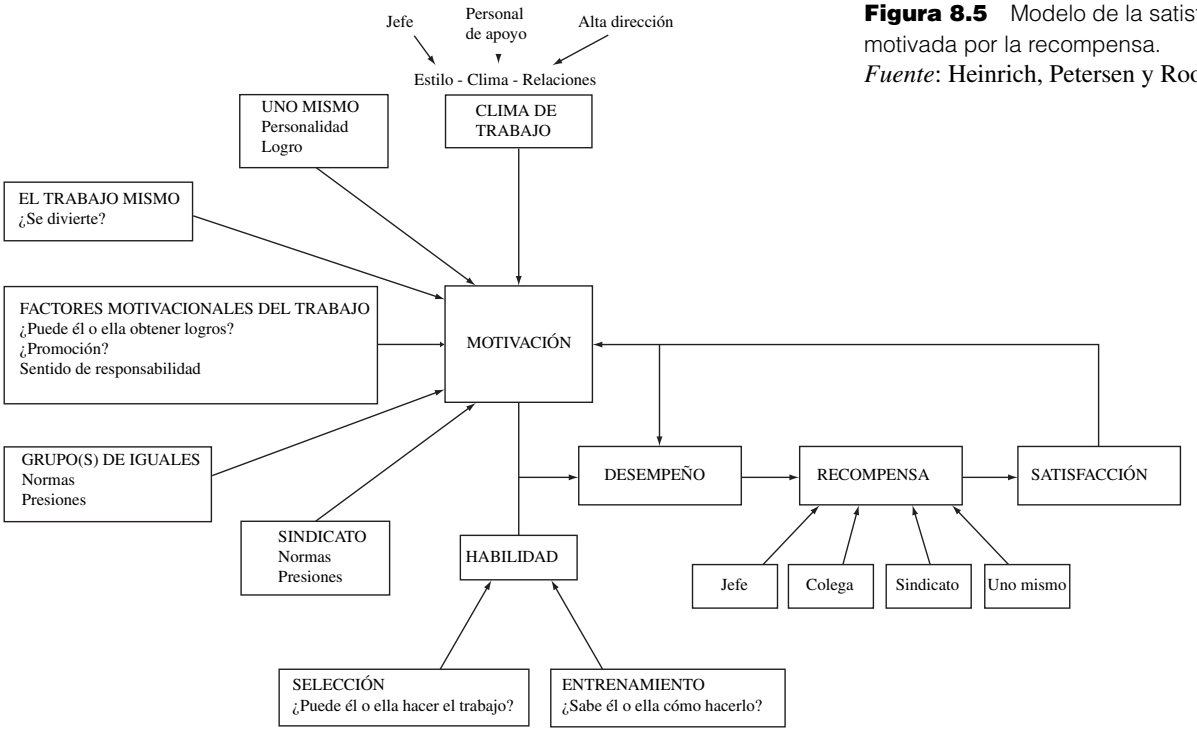


Figura 8.5 Modelo de la satisfacción motivada por la recompensa.
Fuente: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

lograran un objetivo de seguridad, por ejemplo, un mes sin registrar una lesión, se les proporcionaría una comida sin costo en la cafetería. Si este mismo comportamiento se conservaba a lo largo de seis meses, recibirían una cena con carne en un restaurante; y si lo conservaban por un año, recibirían un certificado de regalo por una cantidad de 200 dólares. Desde luego, si se llegara a registrar una lesión, se tendría que volver a empezar el conteo desde el principio. Como consecuencia, cuando la cuenta de días sin lesiones era elevada, los trabajadores estimulaban a sus compañeros lesionados a no reportar su lesión a la enfermera de la planta, lo cual distorsionaba el propósito para el cual dicha medida había sido diseñada.

8.2 PROCESO PARA PREVENIR ACCIDENTES

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Para identificar el problema, las mismas herramientas cuantitativas exploratorias que usan los ingenieros de métodos (tales como el análisis de Pareto, el diagrama de pescado, el diagrama de Gantt, la guía del análisis de la tarea-lugar de trabajo) que se analizaron en el capítulo 2, pueden también utilizarse como un primer paso en el proceso para prevenir accidentes. Otra herramienta eficiente para identificar si un departamento es significativamente más peligroso que otro es el *análisis chi-cuadrada*. Dicho análisis se basa en la bondad de la chi-cuadrada para acoplarse a una prueba entre una muestra y una distribución de población en la forma de datos categóricos en una tabla de contingencias. En la práctica, esto se expresa como la diferencia entre m conteos observados y los conteos esperados de lesiones (o accidentes o dólares):

$$\chi^2 = \sum_i^m (E_i - O_i)^2/E_i$$

donde $E_i =$ valor esperado $= H_i \times O_T/H_T$
$O_i =$ valor observado
$O_T =$ total de los valores observados
$H_i =$ horas trabajadas
$H_T =$ total de horas trabajadas
$m =$ número de áreas comparadas

Si la χ^2 resultante es mayor que $\chi^2_{\alpha,m-1}$, la χ^2 crítica en un nivel de error de α y con $m-1$ grados de libertad, entonces existe una diferencia significativa entre los valores esperado y observado en lesiones. El ejemplo 8.1 demuestra una aplicación de seguridad. Se pueden encontrar más detalles acerca de este procedimiento estadístico en Devore (2003).

EJEMPLO 8.1 Análisis chi-cuadrada de los datos acerca de lesiones

La compañía Dorben Co. tiene tres departamentos principales de producción: procesamiento, ensamble y empaquetado/embarque. La administración está preocupada debido al elevado número de lesiones en el área de procesamiento y desea saber si ellas representan una desviación significativa respecto al resto de la planta. La forma más apropiada para estudiar este problema es mediante el análisis chi-cuadrada, el cual compara el número de lesiones ocurridas en 2006 (que se muestran en la tabla 8.2) con un número esperado basado en el número de horas de exposición.

Se calcula el número esperado de lesiones en el departamento de procesamiento como,

$$E_i = H_i \times O_T/H_T = 900\,000 \times 36/2\,900\,000 = 11.2$$

Tabla 8.2 Lesiones observadas y esperadas

Departamento	Lesiones O_i de exposición (horas)	Tiempo	Lesiones esperadas
Procesamiento	22	900 000	11.2
Ensamblado	10	1 400 000	7.4
Empaque/embarque	4	600 000	17.4
Total	36	2 900 000	36

La cantidad de lesiones esperada de los demás departamentos se calcula de manera similar. Observe que el número total de lesiones esperadas debe sumarse al número total de lesiones observadas, 36.

$$\chi^2 = \sum_i^m (E_i - O_i)^2/E_i = (11.2 - 22)^2/11.2 + (7.4 - 4)^2/7.4 + (17.4 - 10)^2/17.4 = 15.1$$

El valor resultante de 15.1 es mayor a $\chi^2_{0.05,3-1} = 5.9$, la cual se puede encontrar en la tabla A3-4 (apéndice 3). Por lo tanto, el número de lesiones en al menos uno de los departamentos se desvía significativamente respecto al valor esperado con base puramente en las horas de exposición. Este departamento —de procesamiento—, con 22 lesiones en lugar de las 11.2 esperadas debe analizarse con más detalle con el fin de encontrar la causa de este incremento en el número de lesiones.

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS: ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD EN EL TRABAJO

El segundo y tercer pasos del proceso de prevención de accidentes consisten en la recolección y análisis de los datos. La herramienta más común y básica para realizar este trabajo es el *análisis de la seguridad en el trabajo* (*Job Safety Analysis*: JSA), con frecuencia llamado *análisis de riesgo en el trabajo* o *análisis de la seguridad de métodos*. En un JSA, el ingeniero de seguridad debe 1) fragmentar el trabajo en sus elementos componentes en orden secuencial, 2) analizar cada elemento críticamente con el fin de identificar riesgos potenciales o la posibilidad de la ocurrencia de un accidente y 3) encontrar formas de mejorar la seguridad de este elemento. Mientras el ingeniero de seguridad lleva a cabo un análisis JSA, debe enfocarse en cuatro factores principales:

1. Trabajador: el operador, supervisor o cualquier otra persona que pueda estar asociada con este elemento
2. Método: los procedimientos de trabajo que se utilizan en este proceso en particular
3. Máquina: el equipo y herramientas que se utilizan

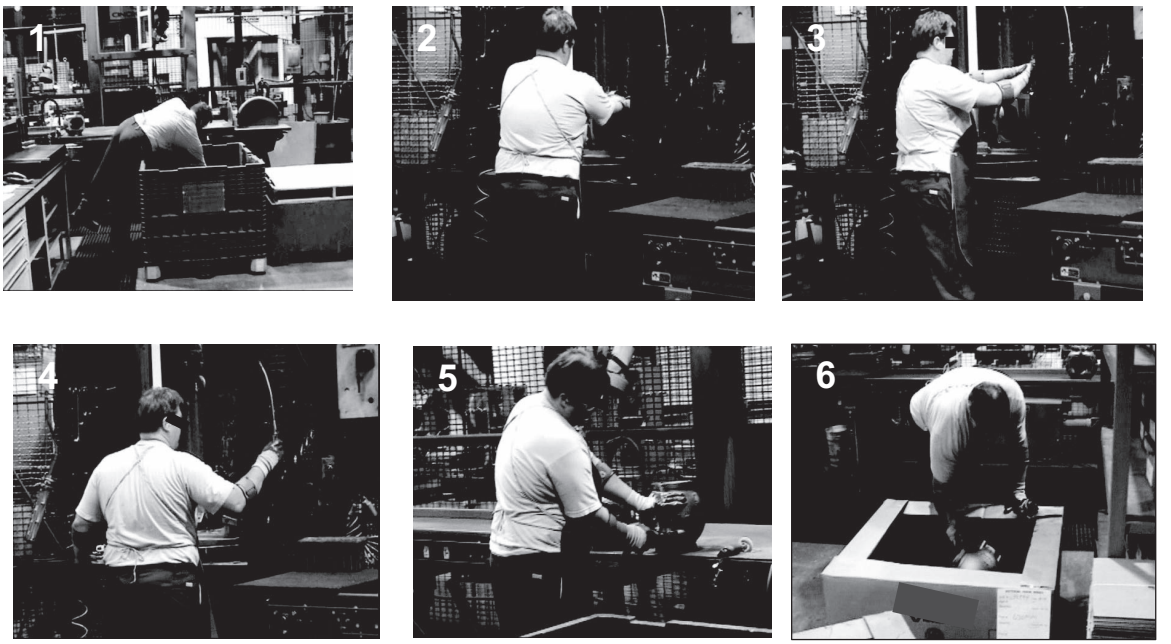


Figura 8.6 Etapas en el maquinado de un acoplamiento.
Cortesía de Andris Freivalds.

4. Material: la materia prima, partes, componentes, sujetadores, etc., que se utilizan o ensamblan en el proceso

Por lo tanto, cualquier mejora podría involucrar un mejor entrenamiento o mejor equipo de protección personal del operador, un nuevo método, equipo y herramientas más seguros y diferentes o mejores materiales y componentes.

Como ejemplo, considere el proceso de maquinado de un acoplamiento relativamente grande (40 libras) que se muestra en la figura 8.6 con su JSA asociado en la figura 8.7. El proceso involucra 1) recoger la parte sin terminar de un contenedor, 2) colocarla en el soporte de sujeción de la máquina, 3) apretar el soporte de sujeción con una llave, 4) remover con aire la viruta del maquinado (aflojar la base y quitar el acoplamiento; no se muestran, pero son equivalentes a los elementos 3 y 2, respectivamente), 5) emparejar cualquier filo rugoso con un cepillo de mano y 6) colocar la parte terminada en un contenedor de cartón. En la figura 8.7 se muestran los riesgos potenciales y los controles apropiados correspondientes a cada uno de los elementos. Dentro de los problemas que se encuentran comúnmente se pueden mencionar las elevadas fuerzas de compresión mientras se sacan y colocan los acoplamientos en los contenedores o depósitos de cartón. Dichas fuerzas pueden reducirse si las cajas se inclinan para que entren mejor. Otro problema consiste en la flexión del hombro con largas torsiones mientras se coloca o quita el acoplamiento en el elemento de sujeción de la máquina y se aprieta o afloja dicho elemento. Este paso se facilita si se baja el soporte de sujeción y se coloca la base más cerca del soporte de sujeción de tal manera que se doblen los codos y formen un ángulo cercano al óptimo de 90°. El equipo de protección personal —tal como la máscara contra el polvo—, ayuda a evitar la entrada de polvo mientras que los guantes con gel reducen las vibraciones en las manos.

Los análisis JSA proporcionan varias facilidades útiles relacionadas con la ingeniería de métodos. Representan una forma simple, rápida y objetiva de comparar todos los detalles relevantes. Pueden servir para comparar los métodos existentes y propuestos con efectos potenciales no sólo en la seguridad, sino también en la producción, lo cual representa una aplicación de gran utilidad en términos de vender una mayor seguridad a la alta dirección. A pesar de que es altamente cualitativo, el método JSA puede hacerse más cuantitativo mediante la suma de probabilidades, lo cual lleva al análisis cuantitativo del árbol de fallas que se analizará en la sección 8.5.

NÚMERO DE ANÁLISIS DE RIESGOS LABORALES _____

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO MACHINING OF COUPLING PREPARADO POR _____
DEPARTAMENTO
QUE LO EMITE MACHINING REVISADO POR —
LUGAR — FECHA 4-12-

ETAPAS CLAVES DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES DE LESIONES Y A LA SALUD	PRÁCTICAS SEGURAS, UNIFORMES Y EQUIPO
1) RECOGER EL ACLOPAMIENTO SIN TERMINAR	INCLINARSE HACIA ADELANTE CON MUCHA FUERZA	INCLINAR EL CARTÓN HACIA ADELANTE
2) COLOCAR AL ACOPLAMIENTO EN EL SOPORTE DE SUJECIÓN	FLEXIÓN DE LOS HOMBROS Y TORSIÓN DEBIDOS A UNA CARGA	REDUCIR LA DISTANCIA DE ALCANCE. REDUCIR LA ALTURA DEL SOPORTE DE SUJECIÓN
3) APRETAR EL SOPORTE DE SUJECIÓN CON UNA LLAVE	FLEXIÓN DE LOS HOMBROS CON ESFUERZO	REDUCIR LA ALTURA DEL SOPORTE DE SUJECIÓN
4) REMOVER LAS VIRUTAS CON AIRE COMPRIMIDO		USAR MÁSCARA CONTRA POLVO
AFLOJAR EL SOPORTE DE SUJECIÓN CON UNA LLAVE (3)	FLEXIÓN DE LOS HOMBROS	REDUCIR LA ALTURA DEL SOPORTE DE SUJECIÓN
QUITAR EL ACOPLAMIENTO DEL SOPORTE DE SUJECIÓN (2)	VIBRACIÓN	REDUCIR LA DISTANCIA DE ALCANCE. REDUCIR LA ALTURA DEL SOPORTE DE SUJECIÓN
5) PULIR LAS ORILLAS RUGOSAS CON UN ESMERIL	FLEXIÓN DE LOS HOMBROS/TORSIÓN DEBIDA A LA CARGA	USAR GUANTES CON GEL
6) COLOCAR EL ACOPLAMIENTO TERMINADO EN UNA CAJA	INCLINARSE HACIA ADELANTE CON MUCHA FUERZA	INCLINAR EL CARTÓN HACIA ADELANTE

Núm. de JHA _____
Página_____de_____

Figura 8.7 Análisis de la seguridad laboral.

SELECCIONE UN REMEDIO: ANÁLISIS DE RIESGOS Y TOMA DE DECISIONES

Una vez que se han realizado los análisis JSA y sugerido varias soluciones, el ingeniero en seguridad debe seleccionar una de ellas e implementarla. Esta etapa puede llevarse a cabo mediante el uso de una gran variedad de herramientas para la toma de decisiones en la cuarta etapa del proceso de prevención de accidentes, la selección de un remedio. La mayoría de estas herramientas son muy apropiadas para seleccionar un nuevo método para mejorar la productividad, las cuales se estudian en el capítulo 9. Sin embargo, una de estas herramientas, el *análisis de riesgos*, es más adecuado para la seguridad debido a que calcula el riesgo potencial de accidentes y lesiones y la reducción de riesgos debidos a modificaciones. De acuerdo con Heinrich, Petersen y Roos (1980), el análisis se basa en la premisa de que el riesgo de lesión o pérdida no puede eliminarse por completo; que sólo se puede lograr una reducción del riesgo o pérdida potencial. Además, cualquier modificación que se realice debe justificarse al máximo desde el punto de vista económico.

Según el método (Heinrich, Peteresen y Roos, 1980), la pérdida potencial aumenta debido 1) al incremento de la esperanza o probabilidad de que se presente un evento peligroso, 2) la prolongada exposición a condiciones peligrosas y 3) el aumento de las posibles consecuencias del evento peligroso. A cada uno de estos tres factores se le asignan valores numéricos (vea la tabla 8.2) y, después, se calcula el valor total de riesgo como el producto de dichos factores (vea la tabla 8.3). Observe que estos valores numéricos son arbitrarios y, como consecuencia, el valor final de riesgo es también muy arbitrario. Sin embargo, ello no invalida el método: sirve como medio para ofrecer una comparación relativa entre las diferentes características o controles de seguridad.

Como ejemplo del análisis de riesgos, considere un evento que sea concebible, pero muy poco probable con un valor de 0.5, con una exposición semanal y un valor de 3, y consecuencias muy serias con un valor de 15. El producto que resulta nos da un valor de riesgo de 22.5 ($= 0.5 \times 3 \times 15$) el cual corresponde a una riesgo demasiado bajo, quizá digno de prestarle atención, pero no una atención urgente. Consulte la tabla 8.4. Se puede lograr el mismo resultado mediante el empleo de la figura 8.8 y una línea de vínculo para conectar las dos mitades de la gráfica. La conveniencia desde el punto de vista económico de los dos diferentes remedios del evento de riesgo anterior puede compararse mediante el uso de la figura 8.9. El remedio A reduce el riesgo 75%, pero cuesta 50 000 dólares, mientras que el remedio B reduce el riesgo sólo 50% pero sólo cuesta 500 dólares. Desde el punto de vista costo-beneficio, la conveniencia del remedio A es dudosa y es probable que sea difícil que reciba apoyo financiero mientras que es muy probable que el remedio B se justifique debido a su menor costo.

Tabla 8.3 Valores de los factores del análisis de riesgos

Probabilidad	Valores
Esperada	10
Posible	6
Poco usual	3
Remota	1
~ Concebible	0.5
~ Imposible	0.1

Exposición	Valores
Continua	10
Diaria	6
Semanal	3
Mensual	2
Algunas/cada año	1
Anualmente	0.5

Posibles consecuencias	Valor
Catastróficas (muchas muertes, $\$10^8$ en daños)	100
Desastrosas (algunas muertes, $\$10^7$ en daños)	40
Muy serias (¿muertes?, $\$10^6$ en daños)	15
Serias (lesiones serias, $\$10^5$ en daños)	7
Importantes (lesiones, $\$10^4$ en daños)	3
Apenas notorias (primeros auxilios, $\$10^3$ en daños)	1

Adaptado de: Heinrich, Petersen y Roos (1980).

Tabla 8.4 Análisis de riesgos y conveniencia desde el punto de vista económico

Situación de riesgo	Valor
Riesgo muy alto; detener operaciones	400
Alto riesgo; corrección inmediata	200-400
Riesgo sustancial; se necesita una corrección	70-200
Posible riesgo; es necesario atenderlo	20-70
¿Riesgo?; quizás aceptable	< 20

Fuente: Heinrich, Petersen y Roos (1980).

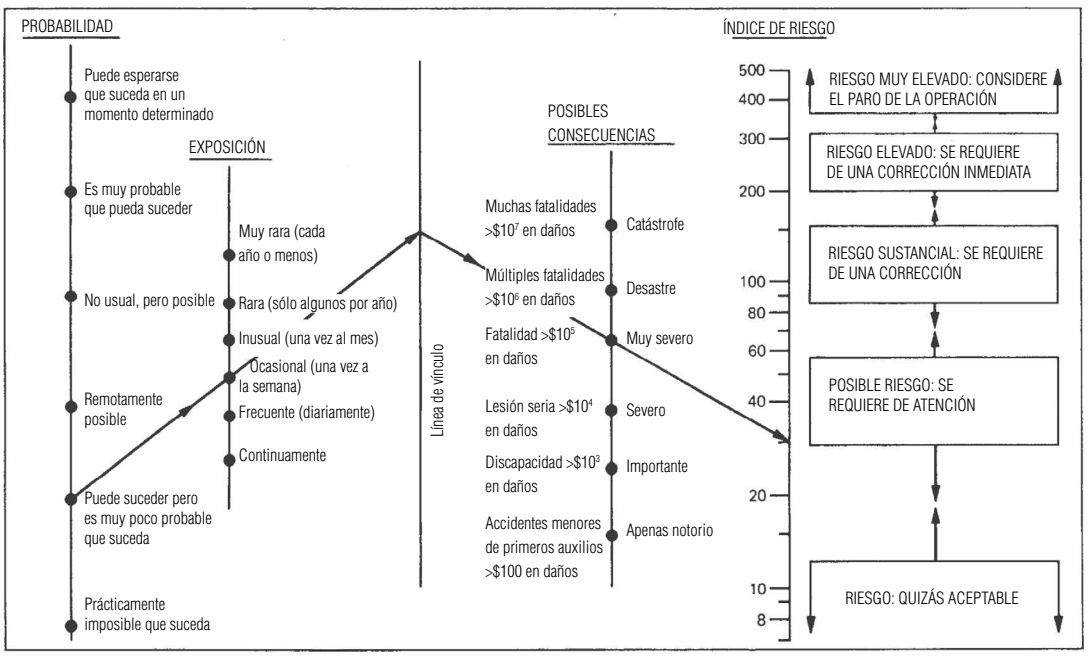


Figura 8.8 Cálculo del análisis de riesgos.
Fuente: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

Después de que se ha seleccionado un remedio adecuado desde el punto de vista económico, debe implementarse en la quinta etapa del método para prevenir accidentes. La implantación puede llevarse a cabo a diferentes niveles. El ingeniero en seguridad junto con los técnicos apropiados debe instalar los dispositivos y equipos de seguridad adecuados. Sin embargo, para lograr una implantación totalmente exitosa, los operadores y supervisores deben estar de acuerdo y participar en la implementación. Si no siguen los procedimientos correctos con el nuevo equipo, no se conseguirá ningún beneficio en cuanto a seguridad. Como algo extra, esta etapa también presenta una oportunidad para analizar el método *3E*: ingeniería, educación y obligación. El mejor remedio casi siempre consiste en un rediseño de ingeniería, pues ello garantiza una elevada seguridad y no depende estrictamente de la obediencia del operador. El siguiente mejor remedio es la educación; sin embargo, ésta no depende de la obediencia del operador y es probable que no siempre tenga éxito, especialmente si los trabajadores no siguen los procedimientos correctos. Por último, es obligatorio seguir estrictamente las reglas y usar el equipo de protección personal. Esto supone que el trabajador no cumplirá con las reglas, requiere una estricta vigilancia y provoca resentimientos con refuerzo negativo, por lo que debe utilizarse como último recurso.

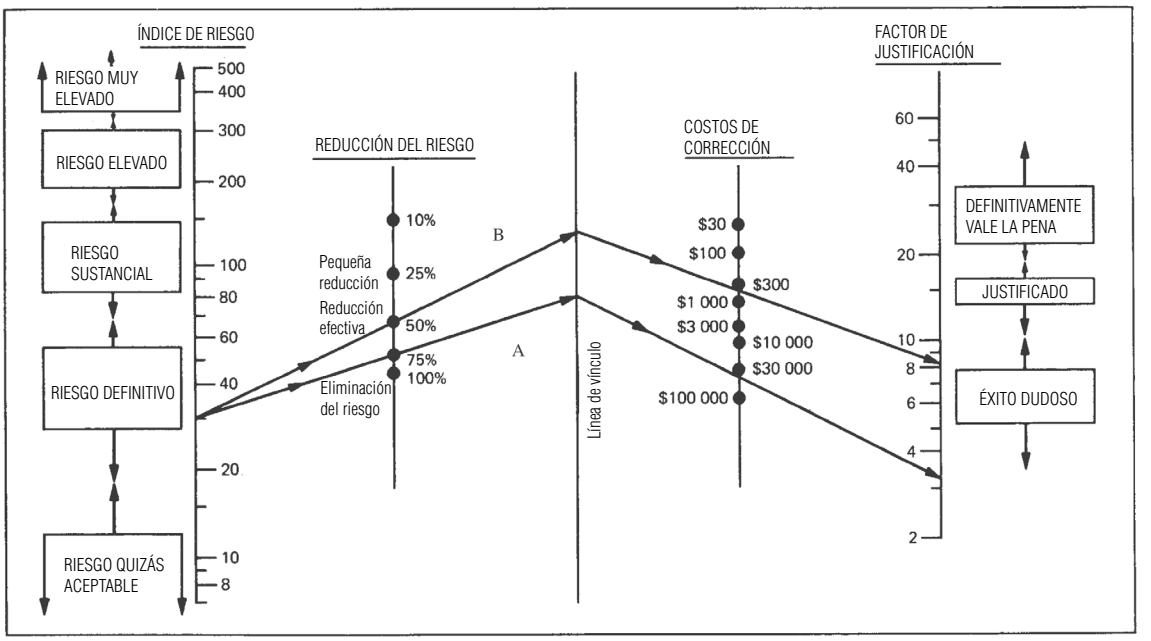


Figura 8.9 Análisis de riesgos y costo-beneficio.
Fuente: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

SUPERVISIÓN Y ESTADÍSTICAS SOBRE ACCIDENTES

La sexta y última etapa del proceso para prevenir accidentes consiste en la supervisión de la situación para evaluar la eficacia del nuevo método. Esta fase proporciona retroalimentación acerca del proceso y cierra el lazo comenzando el ciclo de nuevo en caso de que la situación no presente mejoría. Por lo general, los datos numéricos proporcionan un punto de referencia para supervisar cualquier cambio. Estos últimos podrían ser costos de aseguramiento, costos médicos o simplemente número de lesiones o accidentes. Sin embargo, cualquiera de estos números debe normalizarse durante las horas de exposición del trabajador, de tal manera que puedan compararse con las demás instalaciones de la empresa e industrias. Además, la OSHA recomienda que se expresen las estadísticas en cuanto a lesiones como un *índice de incidencia* (IR) por cada 100 empleados que trabajen tiempo completo y por año:

$$\text{IR} = 200\,000 \times I/H$$

donde $I =$ número de lesiones en un determinado periodo
$H =$ horas empleado trabajadas en el mismo periodo

Para efectos de los registro de la OSHA, las lesiones deben poder ser registrados por ella o ser más que simples lesiones de primeros auxilios. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que existe una gran similitud entre lesiones menores y mayores (Laughery y Vaubel, 1993). De manera similar, el *índice de severidad* (SR) supervisa el número de días con tiempo perdido (LT):

$$\text{SR} = 200\,000 \times \text{LT}/H$$

Además de simplemente llevar registros y supervisar la tasa de incidencia a medida que cambian mes a mes, el ingeniero en seguridad debe aplicar los principios de graficado para el control estadístico y calcular las tendencias a largo plazo. La gráfica de control (vea la figura 8.10) se basa en una distribución normal de los datos y establece un límite de control inferior (LCL) y uno superior (UCL), los cuales se definen como

$$\text{LCL} = \bar{\text{x}} - ns$$

$$\text{UCL} = \bar{\text{x}} + ns$$

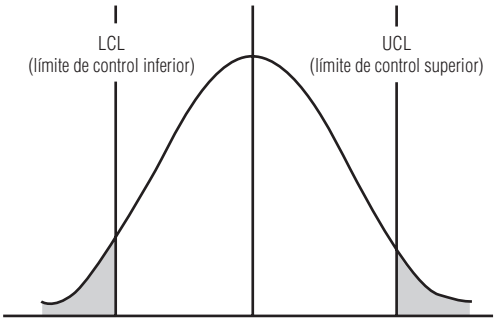


Figura 8.10 Límites del control estadístico. *Fuente*: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

donde $\bar{x}$ = media de la muestra
s = desviación estándar de la muestra
n = nivel de los límites de control

Por ejemplo, para el caso en el que esperaríamos un $100(1 - \alpha)$ de que los datos se encontraran entre los límites de control superior e inferior, n simplemente sería la variable normal estándar $z_{\alpha/2}$. Para $\alpha = 0.05$, el valor de n es de 1.96. Sin embargo, en muchas situaciones, es necesario un nivel más elevado de control en el que $n = 3$ o, inclusive, $n = 6$ (el nivel de control six-sigma de Motorola). Para registrar accidentes, el diagrama de control se hace girar hacia los lados y se grafican los datos mensuales en el diagrama (vea la figura 8.11). Evidentemente, el límite de control inferior no representa problema alguno (aparte de un ligero golpecito en el hombro) respecto al superior. Si en varios meses consecutivos está por arriba del límite de control superior, esta situación debe indicarse como peligrosa y el ingeniero en seguridad interpretarla como un problema y concentrar todos sus esfuerzos en encontrar la causa. Además de las *indicaciones de alerta roja*, un ingeniero en seguridad alerta debió haber notado la tendencia creciente varios meses antes y comenzado una acción de control con antelación. Este análisis de tendencias pudo haberse realizado fácilmente a través de una regresión lineal en movimiento a través de periodos variables de múltiples meses.

8.3 MÉTODOS PROBABILÍSTICOS

Los modelos que expresan las causas de los accidentes que se analizaron, en especial la teoría dominó, implican una respuesta muy determinística. Eso está muy lejos de ser el caso. Rectificar sin utilizar gafas de seguridad o caminar sobre un techo sin soportes en una mina de carbón en un momento dado no garantiza que vaya a suceder un accidente o una lesión. Sin embargo, existe una probabilidad de que ocurra un accidente, la que puede definirse mediante una probabilidad numérica.

La probabilidad se basa en la lógica booleana y en el álgebra. Cualquier evento se define mediante una forma binaria: esto es, en un momento dado, existen sólo dos estados: el evento existe y es verdadero (V), o no existe y es falso (F). Hay tres operadores que definen la interacción entre los eventos:

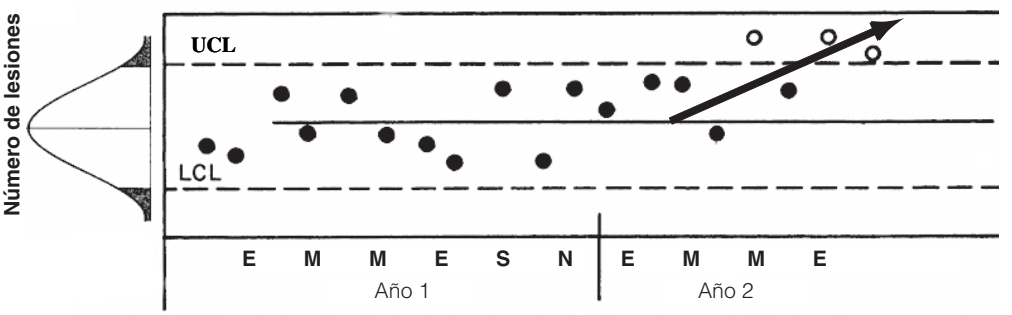


Figura 8.11 Indicación de peligro mediante un diagrama de control. *Adaptado por*: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

Tabla 8.5 Tablas de verdad booleanas

X	Y	$X \cdot Y$	$X+Y$
V	V	V	V
V	F	F	V
F	V	F	V
F	F	F	F

− (No)	
X	$\overline{X}$
V	F
F	V

Tabla 8.6 Simplificaciones del álgebra booleana

- Leyes básicas:

$X \cdot X = X$	$X\overline{X} = 0$
$X + X = X$	$X + \overline{X} = 0$
$X\mathrm{T} = X$	$X\mathrm{F} = 0$

- Leyes distributivas:

$XY + XZ = X(Y + Z)$	$(X+Y)(X+Z) = X + YZ$
$XY + X\overline{Y} = X$	$X + Y\overline{X} = X + Y$
$X + XY = X$	$X(X + Y) = X$
$X(\overline{X} + Y) = XY$	$(X+Y)\,(X+\overline{Y}) = X$

1. AND, la intersección entre dos eventos, que se expresa con el símbolo ∩ o • (el punto a veces se omite).
2. OR, la unión de eventos, que se expresa con el símbolo ∪ o +.
3. NOT, la negación de un evento, que se expresa con el símbolo –.

Cuando se recurre a estos operadores, la interacción de dos eventos, X y Y, está regida por un patrón específico llamado *tablas de verdad* (vea la tabla 8.5). Las interacciones entre más de dos eventos dan como resultado expresiones más complejas, las cuales necesitan de un procesamiento ordenado para evaluar la probabilidad total resultante del accidente o lesión final. El orden específico o precedencia que se debe seguir es como sigue: ( ), –, •, +. Asimismo, ciertos agrupamientos de eventos tienden a aparecer de manera repetida, de tal manera que si uno reconoce dichos patrones, se pueden aplicar las reglas de la simplificación con el fin de agilizar el proceso de evaluación. Las reglas más comunes se proporcionan en la tabla 8.6.

La *probabilidad de un evento* $P(X)$ se define como el número de veces que ocurre el evento X respecto al número total de ocurrencias:

$$P(X) = \#X/\#\mathrm{Total}$$

y $P(X)$ debe estar necesariamente entre 0 y 1. La probabilidad de unir los eventos X y Y mediante la operación OR, $X \cup Y$, se define como

$$P(X + Y) = P(X) + P(Y) - P(XY)$$

si los eventos no son mutuamente excluyentes, y como

$$P(X + Y) = P(X) + P(Y)$$

si los eventos son mutuamente excluyentes. Dos eventos se definen como *mutuamente excluyentes* si dichos eventos no se intersecan, esto es, $X \cap Y = 0$. Por lo tanto, necesariamente X y $\overline{X}$ son mutuamente excluyentes. Para la unión de más de dos eventos, por lo general se utiliza una expresión alterna basada en la lógica inversa, la cual es mucho más fácil de evaluar:

$$P(X + Y + Z) = 1 - [1 - P(X)][1 - P(Y)][1 - P(Z)]$$

La probabilidad de la interacción de dos eventos mediante la operación AND se define como

$$P(XY) = P(X)P(Y) \tag{2}$$

si los dos eventos son independientes, y como

$$P(XY) = P(X)P(Y/X) = P(Y)P(X/Y) \tag{3}$$

si los dos eventos no son independientes. Se definen dos eventos como *independientes* si la ocurrencia de uno no afecta la ocurrencia del otro. Matemáticamente, esto se determina igualando las ecuaciones (2) y (3) y eliminando *P(X)* de ambos miembros de la ecuación, lo cual nos da

$$P(Y) = P(Y/X) \tag{4}$$

si los dos eventos son independientes. Ordenando términos en la ecuación (3) obtenemos también una expresión comúnmente utilizada que se llama *regla de Bayes*:

$$P(Y/X) = P(Y)P(X/Y)/P(X) \tag{5}$$

Observe que dos eventos no pueden ser mutuamente excluyentes e independientes, debido a que ser mutuamente excluyentes necesariamente se define como un evento que define al otro, esto es, son dependientes. El ejemplo 8.2 demuestra varios de estos cálculos, así como los eventos independientes y no independientes. En Brown (1976) se pueden encontrar más detalles acerca de los fundamentos de la probabilidad.

EJEMPLO 8.2 Eventos independientes y no independientes

Considere el número de ocurrencias en las que A es verdadero (o 1) del número total de ocurrencias que se muestra en la tabla 8.7*a*. Esto determina la probabilidad de A:

$$P(X) = \#X/\#\text{Total} = 7/10 = 0.7$$

Observe que la probabilidad de $\bar{A}$ es el número de ocurrencias de que sea falso (o 0) del número total de ocurrencias:

$$P(\bar{X}) = \#\bar{X}/\#\text{Total} = 3/10 = 0.3$$

Asimismo, el valor de $P(\bar{X})$ se puede encontrar a partir de

$$P(\bar{X}) = 1 - P(X) = 1 - 0.7 = 0.3$$

De manera similar, la probabilidad de Y es

$$P(Y) = \#Y/\#\text{Total} = 4/10 = 0.4$$

La probabilidad de $A \cap B$ es el número de ocurrencias en las que A y B sean verdaderas del número total de ocurrencias:

$$P(XY) = \#XY/\#\text{Total} = 3/10 = 0.3$$

La probabilidad condicional de X dado que Y ha ocurrido (o es verdadero) se define como el número de ocurrencias de X del renglón $Y = 1$:

$$P(X/Y) = \#X/\#\text{Total } Y = 3/4 = 0.75$$

De manera similar,

$$P(Y/X) = \#Y/\#\text{Total } X = 3/7 = 0.43$$

Tabla 8.7 Eventos independientes o no independientes

***a*) *X* y *Y* no son independientes**

	X		
Y	**0**	**1**	**Total**
0	2	4	6
1	1	3	4
Total	3	7	10

***b*) *X* y *Y* son independientes**

	X		
Y	**0**	**1**	**Total**
0	2	3	5
1	4	6	10
Total	6	9	15

Observe también la regla de Bayes:

$$P(Y/X) = P(Y)P(X/Y)/P(X) = 0.4 \times 0.75/0.7 = 0.43 = P(Y/X)$$

Por último, para que dos eventos sean independientes, la ecuación (4) debe ser verdadera. Sin embargo, a partir de la tabla 8.7*a*, encontramos que $P(Y) = 0.4$ mientras que $P(Y/X) = 0.43$. Por lo tanto, los eventos X y Y no son independientes. Sin embargo, en la tabla 8.7*b* observamos que

$$P(X) = \#X/\#\text{Total} = 9/15 = 0.6$$
$$P(X/Y) = \#X/\#\text{Total } Y = 6/10 = 0.6$$

Puesto que ambas expresiones son iguales, los eventos X y Y son independientes. Se puede calcular la misma equivalencia para $P(Y)$ y $P(Y/X)$:

$$P(Y) = \#Y/\#\text{Total} = 10/15 = 0.67$$
$$P(Y/X) = \#Y/\#\text{Total } X = 6/9 = 0.67$$

8.4 CONFIABILIDAD

El término *confiabilidad* define la probabilidad de éxito de un sistema, el cual necesariamente debe depender de la confiabilidad o el éxito de sus componentes. Un sistema podría ser ya sea un producto físico con componentes físicos o un procedimiento operativo con una secuencia de pasos o suboperaciones que deben realizarse correctamente para que el procedimiento tenga éxito. Dichos componentes o etapas pueden agruparse en combinaciones mediante el uso de dos relaciones básicas diferentes: arreglos en serie y en paralelo. En un arreglo en *serie* (vea la figura 8.12*a*), cada componente debe tener éxito para que el sistema total T tenga éxito. Lo anterior puede expresarse como la intersección de todos los componentes

$$T = A \cap B \cap C = ABC$$

los cuales, si son independientes (lo cual es cierto en la mayoría de los casos), da una probabilidad de

$$P(T) = P(A)P(B)P(C)$$

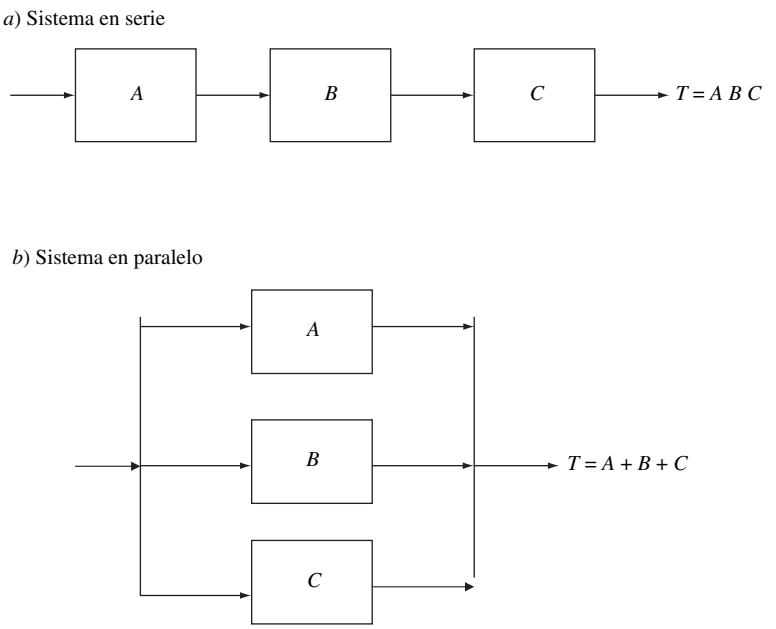


Figura 8.12 Componentes en serie y paralelo.

o, si no son independientes, se obtiene

$$P(T) = P(A)P(B/A)P(C/AB)$$

En un arreglo en *paralelo*, el sistema total tiene éxito si cualquiera de sus componentes tiene éxito. Lo anterior puede expresarse como la unión del componente

$$T = A \cup B \cup C = A + B + C$$

el cual, si es mutuamente excluyente (lo cual es típico), nos da una probabilidad de

$$P(T) = 1 - [1 - P(A)][1 - P(B)][1 - P(C)]$$

Mediante dos ejemplos (ejemplos 8.3 y 8.4) se demostrará el cálculo de las probabilidades de un sistema.

EJEMPLO 8.3 Confiabilidad de un amplificador de dos etapas

Considere dos prototipos de un amplificador de dos etapas con componentes de respaldo. El prototipo 1 (vea la figura 8.13) tiene un respaldo para el amplificador completo, mientras que el prototipo 2 cuenta con un respaldo en cada etapa. ¿Cuál de los dos prototipos tiene una mejor confiabilidad, ya que todos los componentes son independientes pero idénticos con la misma confiabilidad de 0.9?

El mejor método consiste en escribir todas las trayectorias posibles para el éxito del sistema. En el caso del prototipo 1, existen dos trayectorias posibles, ya sea *AB* o *CD*. Escrito como una expresión, el éxito del sistema es

$$T = AB + CD$$

Expresada como una probabilidad, esta expresión se puede escribir como

$$P(T) = P(AB) + P(CD) - P(AB)P(CD)$$

donde

$$P(AB) = P(A)P(B) = 0.9 \times 0.9 = 0.81 = P(CD)$$

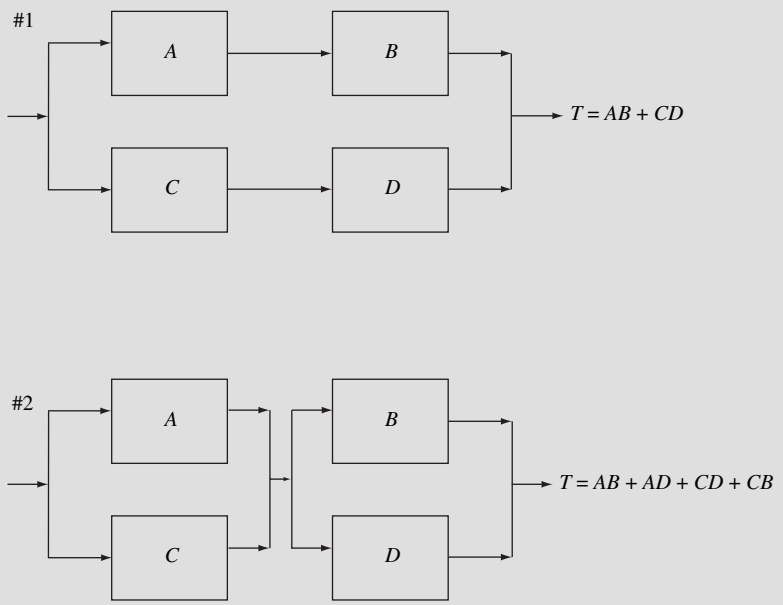


Figura 8.13 Dos prototipos de un amplificador de dos etapas.

La confiabilidad total del sistema es

$$P(T) = 0.81 + 0.81 - 0.81 \times 0.81 = 0.964$$

En el caso del prototipo 2, existen cuatros trayectorias posibles: *AB* o *AD* o *CB* o *CD*. Escritas como una expresión, el éxito del sistema es

$$T = AB + AD + CB + CD$$

la cual se puede simplificar como

$$T = (A + C)(B + D)$$

[Observe que es necesario simplificar las expresiones de probabilidad complicadas; de otra forma, es posible que se realice el cálculo de manera incorrecta. Existen dos *leyes distributivas* que constituyen la base de todas las reglas de simplificación, a saber:

$$(X + Y)(X + Z) = X + YZ$$
$$XY + XZ = X(Y + Z)$$

Las demás fórmulas de la tabla 8.6 pueden obtenerse a partir de la sustitución de $\bar{X}$ por *X*, *Y* o *Z* en las ecuaciones anteriores.] Sustituyendo los valores de las variables se obtiene

$$P(A + C) = P(A) + P(C) - P(A)P(C) = 0.9 + 0.9 - 0.9 \times 0.9 = 0.99$$

La confiabilidad total del sistema es

$$P(T) = 0.99 \times 0.99 = 0.9801$$

Por lo tanto, el prototipo 2 es el mejor amplificador con una mayor confiabilidad del sistema.

Confiabilidad de un aeroplano de cuatro motores

EJEMPLO 8.4

Considere un aeroplano con cuatro motores idénticos pero independientes (vea la figura 8.14). Evidentemente, el aeroplano puede volar con los cuatro motores en funcionamiento, con tres motores cualquiera que éstos sean y también con dos motores, siempre y cuando haya un motor que funcione de cada lado del aeroplano; esto es, dos motores que trabajen en un lado provocarían que el aeroplano sufriera un desequilibrio tal que causaría que éste se impactara. ¿Cuál es la confiabilidad total del aeroplano ya que la de cada motor es de 0.9?

Si se escriben todos los posibles escenarios se llega a las expresiones siguientes:

4 motores $\Rightarrow ABCD$

3 motores $\Rightarrow ABC + ABD + BCD + ACD$

2 motores $\Rightarrow AC + AD + BC + BD$

$$T = ABCD + ABC + ABD + BCD + ACD + AC + AD + BC + BD$$

Esta expresión puede simplificarse. Observe que las tres combinaciones de motores son a veces redundantes en comparación con las de dos motores:

$$AC + ABC = AC(1 + B) = AC$$

De manera similar, la combinación de cuatro motores es redundante con respecto a cualquiera de las combinaciones de dos motores, lo que da como resultado una expresión final de la confiabilidad del sistema de

$$T = AC + AD + BC + BD$$

Esta expresión puede a la vez simplificarse:

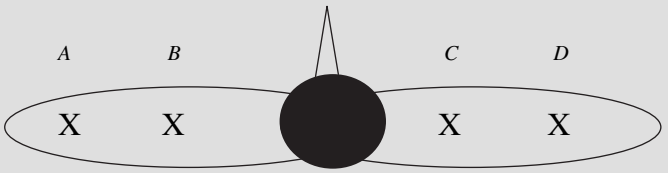
$$T = (A + B)(C + D)$$

La probabilidad de cada una de las expresiones entre paréntesis es

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B) = 0.9 + 0.9 - 0.9 \times 0.9 = 0.99$$

por lo cual la probabilidad total del sistema es

$$P(T) = 0.99 \times 0.99 = 0.9801$$



$$T = ABCD + ABC + ABD + BCD + ACD + AC + AD + BC + BD$$

Figura 8.14 Confiabilidad de un aeroplano de cuatro motores.

Los ejemplos 8.2 y 8.3 establecen uno de los principios básicos para incrementar la confiabilidad del sistema: aumentar la redundancia agregando componentes en paralelo al componente original. Ello significa que dos o más componentes u operaciones proporcionan la misma función. Observe que si se requieren dos o más operaciones o componentes con el fin de evitar un accidente, dichos elementos están en serie y no ofrecen redundancia. La confiabilidad del sistema puede aumentarse si se incrementa la confiabilidad de los componentes individuales. Si la confiabilidad de cada motor del ejemplo 8.3 se incrementara a 0.99, la confiabilidad total del sistema aumentaría a un valor de 0.9998 en lugar de 0.9801. Sin embargo, observe que existe un compromiso: aumentar la confiabilidad individual de los componentes o incrementar el número de componentes en paralelo necesariamente incrementará el costo del sistema. En un determinado momento, el incremento de los costos no justificará el aumento marginal de la confiabilidad total del sistema. Esta decisión puede variar considerablemente, pues depende de que el sistema de interés sea un simple producto de consumo en contraste con las líneas aéreas comerciales.

A medida que las expresiones booleanas que definen la confiabilidad del sistema incrementan su nivel de complejidad, el proceso de simplificación también se puede convertir en algo complejo y tedioso. En ese punto, el uso de los *mapas de Karnaugh* proporciona una solución definitiva al problema. El desarrollo de un mapa algebraico booleano es tal que muestra la representación espacial de todos los posibles eventos. Cada uno de éstos representa una fila o una columna en una matriz en forma de rejilla. En su forma más simple, con sólo dos eventos, la matriz es de 2×2, donde ambas condiciones (verdadero o falso) de un evento Y se representa a través de filas, mientras que ambas condiciones de otro evento X se representan a través de columnas (vea la figura 8.15*a*). Entonces, la expresión $X + Y$ se representa como tres celdas de la matriz (vea la figura 8.15*b*), la expresión XY como una celda en la matriz (vea la figura 8.15*c*) y X es una columna vertical debajo de 0 (vea la figura 8.15*d*). En el caso de existir más eventos, la matriz aumentará de tamaño; por ejemplo, con 4 variables, la matriz tendrá 16 celdas y, con 6 variables, 36 celdas. En el caso de tener más de 6 variables, se dificultará el manejo de la matriz y se tendrá que hacer uso de un método computacional. Asimismo, al tener más términos, la expresión puede escribirse en la forma de una simple suma de productos.

Cada término o producto está indicado de manera apropiada en la matriz. Sin lugar a dudas, se presentará una superposición de áreas o celdas que se marcarán varias veces. Una expresión simplificada se expresa con los grupos de celdas que no se superponen, cada una de las cuales tiene una caracterización única de dichas celdas. Si se lleva a cabo el proceso correctamente, cada grupo es mutuamente excluyente y la suma de las probabilidades de cada grupo es muy directa. Observe que es mejor identificar las áreas más grandes posibles de tal manera que sea necesario efectuar el menor número posible de operaciones. Dichas áreas consisten de un cierto número de celdas, las cuales están determinadas por las potencias de 2, es decir, 1, 2, 4, 8, etc. Esto se puede demostrar de una mejor manera mediante el ejemplo 8.4, el ejemplo anterior del aeroplano pero utilizando los mapas de Karnaugh. En Brown (1976) se pueden encontrar más detalles acerca de los mapas de Karnaugh.

a) Ubicación del evento básico

Y \ X	0 ($\overline{X}$)	1 (X)
0 ($\overline{Y}$)	Ni X ni Y ocurren	X ocurre pero Y no
1 (Y)	Y ocurre, pero X no	Tanto X como Y ocurren

b) $T = X + Y$

Y \ X	0	1
0		X
1	Y	XY

c) $T = XY$

Y \ X	0	1
0		
1		XY

d) $T = \overline{X}$

Y \ X	0	1
0		
1		

Figura 8.15 Fundamentos de los mapas de Karnaugh.

Cálculo de la confiabilidad de un aeroplano de cuatro motores mediante mapas de Karnaugh

EJEMPLO 8.5

Considere el mismo aeroplano del ejemplo 8.4 con cuatro motores idénticos pero independientes y la expresión del evento

$$T = ABCD_1 + ABC_2 + ABD_3 + CDB_4 + CDA_5 + AD_6 + BC_7 + AC_8 + BD_9$$

Cada combinación de eventos puede expresarse en una mapa de Karnaugh (vea la figura 8.16*a*) como lo indican los números. Muchos eventos o áreas se superponen y sólo se debe calcular la probabilidad de los que no lo hacen. En la figura 8.16*b* se muestran cuatro áreas que no se superponen, aunque podría haber muchas más combinaciones posibles de áreas que no se superponen. En este caso, se seleccionó la combinación más grande posible: una de cuatro celdas, dos de dos celdas y una celda independiente, cuya expresión resultante es

$$T = AD_1 + AC\overline{D}_2 + \overline{A}BC_3 + \overline{A}B\overline{C}D_4$$

con un valor de

$$P(T) = (0.9)(0.09) + (0.9)(0.9)(0.1) + (0.1)(0.9)(0.9) + (0.1)(0.9)(0.1)(0.9) = 0.9801$$

Obviamente, las nueve celdas podrían identificarse y calcularse de manera individual, pero esa tarea implicaría un esfuerzo mucho mayor. Como se señaló con anterioridad, las áreas mayores se caracterizarán mediante potencias de 2, esto es, 1, 2, 4, 8, etc. Con el fin de simplificar los cálculos aún más, se puede utilizar la lógica invertida para definir las áreas no marcadas. Después, este valor se le resta a 1 para obtener la probabilidad verdadera del evento de interés (vea la figura 8.16*c*).

$$\overline{T} = \overline{AB}_1 + B\overline{CD}_2 + A\overline{BCD}_3$$

Esto da como resultado una probabilidad de

$$P(T) = 1 - P(\overline{T}) = 1 - (0.1)(0.1) - (0.9)(0.1)(0.1) - (0.9)(0.1)(0.1)(0.9) = 0.9801$$

y se obtiene el mismo resultado con el uso del método directo.

a)

CD \ *AB*	00	01	11	10
00				
01		9	369	6
11		479	2 345 6 789	568
10		7	1 278	8

b)

CD \ *AB*	00	01	11	10
00				
01		4	1	
11		3		
10			2	

c)

CD \ *AB*	00	01	11	10
00	1	2		3
01				
11				
10				

Figura 8.16 Confiabilidad de un aeroplano de cuatro motores utilizando los mapas de Karnaugh.

8.5 ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS

Otro método para examinar las secuencias de accidentes o fallas del sistema se basa en el uso del *análisis del árbol de fallas.* Este enfoque consiste en un proceso deductivo probabilístico que utiliza un modelo gráfico de combinaciones de eventos en paralelo y secuenciales, o fallas, que llevan al evento no deseado general, por ejemplo, un accidente. Fue desarrollado por los Laboratorios Bell a principios de los años sesenta para ayudar a la Fuerza Aérea de Estados Unidos a analizar las fallas en los misiles y después lo utilizó la NASA para garantizar la seguridad total del sistema del programa espacial tripulado. Dichos eventos pueden ser de varios tipos e identificados mediante diferentes símbolos (vea la figura 8.17). En general, existen dos categorías principales: *eventos de fallas*, que se representan mediante rectángulos, que se pueden expandir más, comenzando por el evento que está

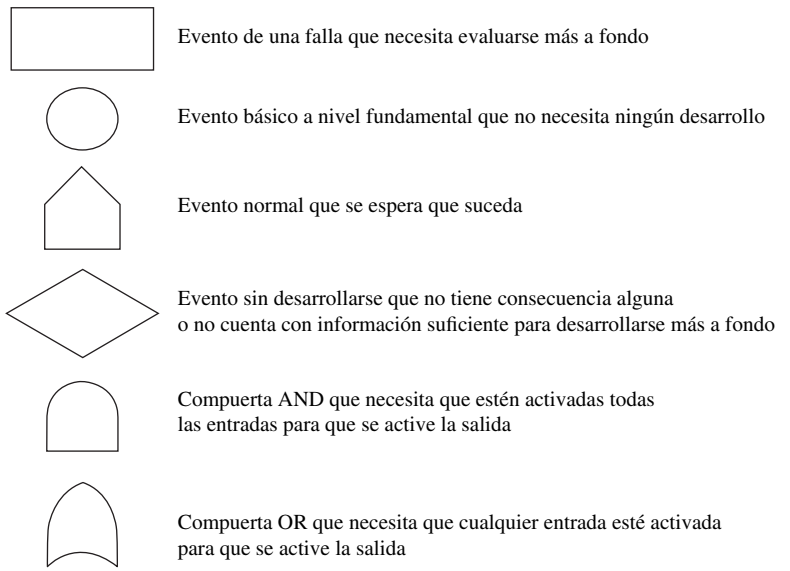


Figura 8.17 Símbolos utilizados en los árboles de fallas.

en la parte superior; y *eventos básicos*, que se identifican mediante círculos, en la parte inferior del árbol de fallas que no pueden desarrollarse más. De manera formal, también puede haber símbolos en forma de casa que indican que se puede esperar que ocurran eventos "normales" y otros con forma de diamante que indican eventos sin consecuencias u otros con datos insuficientes para analizarse más a detalle. Los eventos se enlazan mediante compuertas que contemplan la misma lógica booleana descrita anteriormente (vea los símbolos de la figura 8.17). Una *compuerta AND* requiere que todas las entradas estén habilitadas para que la salida lo esté. Una *compuerta OR* necesita que al menos una de las entradas esté habilitada para que la salida lo esté. Evidentemente, esto implica que varias o todas las entradas también pueden estar habilitadas, pero sólo es necesario que una de ellas lo esté. Asimismo, es útil definir los eventos de entrada a la compuerta OR para que se abarquen todas las formas posibles en las que el evento de salida pueda ocurrir. También podrían presentarse algunas situaciones en las que puede ser necesario modificar las compuertas mediante etiquetas que indiquen ciertas situaciones tales como un AND condicional: el evento *A* debe ocurrir antes de que ocurra el evento *B* o una OR exclusiva: cualquier evento, el *A* o el *B*, debe ocurrir para que se habilite la salida, pero no ambos al mismo tiempo. El primer caso puede resolverse definiendo la compuerta AND de tal manera que el segundo evento esté condicionado a que suceda el primero, y un tercer evento está condicionado a que los dos primeros sucedan. El segundo caso representa un caso especial de eventos mutuamente excluyentes y se deben manejar como tales.

El desarrollo de un árbol de fallas comienza con la identificación de todos los eventos que se consideren indeseables para la operación normal. Dichos eventos deben separarse en grupos mutuamente excluyentes de acuerdo a la similitud de las causas con un evento a la cabeza de cada grupo. Por ejemplo, en una operación de rectificado, pueden existir varios eventos de falla mutuamente excluyentes que conduzcan a diferentes eventos o accidentes principales: la caída de rebaba en un ojo, que una chispa proveniente de la máquina rectificadora provoque un incendio, que el operador pierda el control del fundido mientras lo empuja y que el rectificador dañe sus dedos, etc. Posteriormente, se establecen las relaciones entre los diferentes eventos causales y principales a través de la combinación de compuertas AND y OR. Este proceso continúa hasta que se llega a los eventos de fallas básicos, los cuales no se pueden desarrollar con más detalle. Después, se asignan probabilidades a cada uno de los eventos básicos y se calcula una probabilidad general del evento principal mediante el uso de expresiones AND y OR. En la etapa final, se prueban los controles apropiados junto con la

reducción calculada de las probabilidades, lo cual lleva a la reducción de la probabilidad del evento superior final. En la figura 8.6 se muestra un simple análisis de árbol de fallas. Evidentemente, tiene que tomarse en cuenta el costo de estos controles o modificaciones, punto que se analizará mediante el análisis costo-beneficio en la siguiente sección.

EJEMPLO 8.6 Análisis de árbol de fallas de un incendio

En el área de rectificación de Dorben Co. han sucedido incendios relativamente menores que se han controlado con rapidez. Sin embargo, la preocupación de la compañía es que un incendio pueda salirse de control e incendiar toda la planta. Una manera de analizar el problema es el empleo del método del árbol de fallas donde el incendio mayor represente el evento principal. Existen tres requisitos (bueno, en realidad, cuatro, pero no tome en cuenta el oxígeno pues está en todas partes): 1) material combustible con una probabilidad de 0.8, 2) una fuente de encendido y 3) la probabilidad de que un incendio pequeño salga de control con un valor de 0.1. Pueden haber varias fuentes de fuego: 1) un operador que fuma a pesar del aviso de "No fumar", 2) chispas provenientes de la rueda de rectificado y 3) un cortocircuito eléctrico en la rectificadora. La compañía calcula que estos eventos tienen probabilidades de ocurrencia con valores de 0.01, 0.05 y 0.02, respectivamente. Todos los eventos del primer conjunto son necesarios y, por lo tanto, están conectados mediante una compuerta AND. Observe que el segundo evento está condicionado al primero, y el tercero a los primeros dos eventos. Para el conjunto de eventos del encendido, cualquier entrada es suficiente para que éste ocurra y, por lo tanto, los eventos están conectados mediante una compuerta OR. En la figura 8.18*a* se muestra un árbol de fallas completo.

Un método alterno sería dibujar una secuencia de eventos, similar a los componentes de un producto o las operaciones de un sistema, como se muestra en la figura 8.18*b*. Los tres eventos principales —combustible, encendido y estar fuera de control—, se dibujan en serie, puesto que la trayectoria debe pasar a través de los tres para que se incendie la planta. Las fuentes de ignición se pueden considerar como si estuvieran conectadas en paralelo, puesto que la trayectoria sólo tiene que pasar a través de cualquiera de ellas para que se presente la ignición.

La expresión del evento superior final o éxito del sistema (en este caso, el incendio de la planta no debería considerarse un éxito, pero ése es el término general que se utiliza en un sistema) es

$$T = ABC$$

donde $B = B1 + B2 + B3$. Las probabilidades se calculan como

$$\begin{aligned} P(B) &= 1 - [1 - P(B1)][1 - P(B2)][1 - P(B3)] \\ &= 1 - (1 - 0.01)(1 - 0.05)(1 - 0.02) = 0.0783 \\ P(T) &= P(A)P(B)P(C) = (0.8)(0.0783)(0.1) = 0.0063 \end{aligned}$$

Por lo tanto, hay una probabilidad de alrededor de 0.6% de que se incendie la planta.

A pesar de la probabilidad relativamente baja, la compañía aún desea reducirla. Las chispas son una parte natural del rectificado y los cortocircuitos son imposibles de predecir. Así que ninguno de éstos representa una forma probable de medidas de control. Dos métodos más razonables serían obligar el cumplimiento de "No fumar" con el severo castigo de despido inmediato. Sin embargo, incluso si la probabilidad de fumar se redujera a cero, la probabilidad general resultante sería todavía de 0.0055 con una reducción de sólo 12%. Esto no justificaría la antipatía de los trabajadores por los severos castigos. Por otro lado, la remoción de combustibles innecesarios, quizá trapos grasosos, del área de rectificado reducirían la probabilidad de 0.8 a 0.1. No podría reducirse totalmente a cero debido a que aún puede haber trozos de madera de embarque para los fundidos. En este caso, la probabilidad general resultante sería de 0.00078, la cual es una reducción en un factor de 10 y probablemente sea más eficiente desde el punto de vista económico.

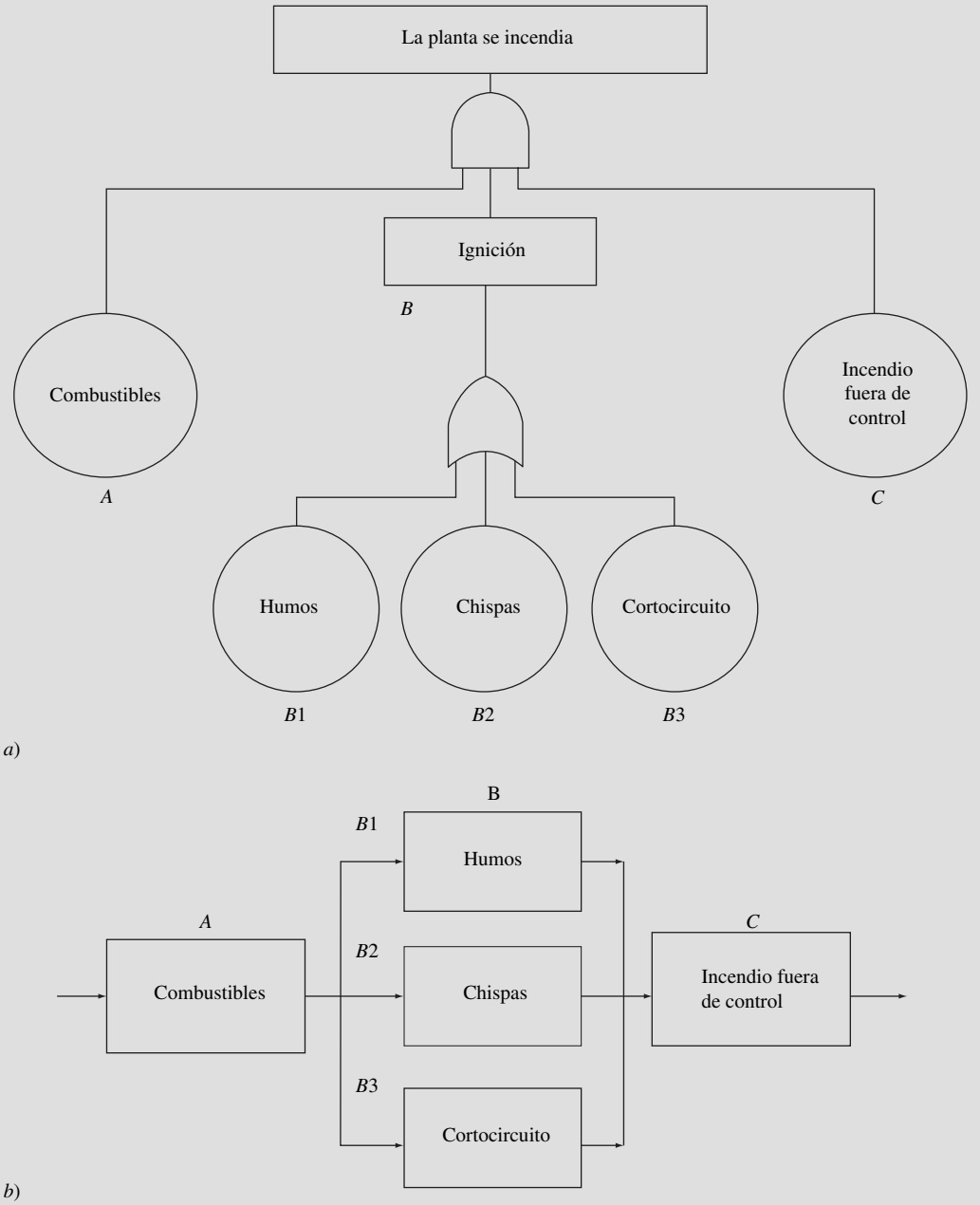


Figura 8.18 *a*) Árbol de falla de un incendio en la fábrica de molido. *b*) Método del componente aplicado a un incendio en la fábrica de molido.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Como se mencionó en la sección anterior, un árbol de fallas resulta de mucha utilidad para estudiar los problemas de seguridad y para comprender las contribuciones relativas de las diferentes causas del evento principal. Sin embargo, para que este método sea realmente eficaz, es necesario considerar los costos de cualquier control o modificación al sistema o al lugar de trabajo, lo que proporciona la base del *análisis costo-beneficio*. La parte relativa al costo es fácil de comprender; es simplemente el dinero que se debe invertir para remozar una vieja máquina, comprar una nueva máquina o un

Tabla 8.8 Ejemplo de costos esperados de una lesión en la prensa

Severidad	Costo	Probabilidad	Costo esperado
Primeros auxilios	100	0.515	51.50
Incapacidad total temporal	1 000	0.450	450.00
Incapacidad parcial permanente	50 000	0.040	2 000.00
Incapacidad total permanente	500 000	0.015	7 500.00
			10 001.50

dispositivo de seguridad o capacitar a los trabajadores acerca de un método más seguro, ya sea que se realice en un solo pago o se prorratee a lo largo de un determinado periodo. El beneficio que se obtiene es un poco más difícil de comprender debido a que típicamente representa una reducción de los costos de accidentes o en pérdida de producción o dinero ahorrado en lesiones menores y gastos médicos a lo largo de un cierto periodo. Por ejemplo, considere los costos médicos asociados con las lesiones de una prensa de 200 toneladas reunidas a los largo de un periodo de 5 años (vea la tabla 8.8). Los niveles de severidad están basados en las categorías de indemnización de los trabajadores (vea la sección 8.6) y los costos y probabilidades se obtienen a partir de los registros médicos de la compañía. Los grados de severidad fluctúan desde una laceración en la piel relativamente menor, la cual es tratable mediante la aplicación de los primeros auxilios, hasta lesiones parciales permanentes, tales como la amputación de una mano, la inhabilitación total permanente a partir de lesiones de golpes mayores o inclusive la muerte. Los costos totales esperados de una lesión cuando se utiliza la prensa se pueden calcular mediante la suma de los costos esperados de cada nivel de severidad de la lesión con base en el producto de los costos respectivos y la proporción de cada tipo de lesión. Este costo total esperado resultante, de aproximadamente 10 000 dólares, multiplicado por la probabilidad del evento principal da una medida de la *criticidad* asociada al uso de una prensa. Observe que este criticidad se expresa por lo general en relación con un determinado tiempo de exposición (por ejemplo, 20 000 horas/trabajador) o cierta cantidad de producción. La parte beneficiosa del análisis costo-beneficio es una reducción de esta criticidad, la cual se obtiene a partir de la reducción de la probabilidad del evento principal o de la severidad y los costos resultantes de cualquier lesión. El ejemplo 8.7 muestra el uso del análisis costo-beneficio para implantar el rediseño adecuado de un molino de café con el fin de evitar las lesiones en los dedos. En Bahr (1997), Brown (1976), Cox (1998) y Ericson (2005) se puede encontrar información más detallada acerca de los análisis de árbol de fallas y costo-beneficio.

EJEMPLO 8.7

Análisis de árbol de fallas y de costo-beneficio de las laceraciones en los dedos producidas por la molienda de café

Con el aumento de la popularidad de cafés especializados, un gran número de consumidores han comprado molinos de café con la finalidad de moler sus propios granos para obtener un producto más fresco. Como resultado, se ha presentado un aumento de laceraciones en los dedos producidas por la navaja del rotor debido a la activación descuidada del aparato mientras los dedos del usuario se encuentran dentro del molino. En el árbol de fallas de la figura 8.19 se muestran algunos factores que posiblemente contribuyan a la aparición de estos accidentes y lesiones. Lo anterior supone un simple molino de café con un interruptor en su parte lateral para activar el rotor. Yendo hacia abajo a partir del evento superior, el rotor debe estar en movimiento y el dedo en la trayectoria del rotor, formando una compuerta AND. Las razones por las que el dedo está en la trayectoria del rotor, ya sea para quitar los asientos de café o para limpiar el contenedor, podrían ser variadas y, en este ejemplo, no se desarrollarán más a detalle. Para que el rotor se ponga en movimiento, la alimentación eléctrica debe conectarse y cerrarse el circuito, lo cual representa una compuerta AND. El circuito podría cerrarse de manera normal o anormal, lo cual indica una compuerta OR. Observe que, en cualquiera de los escenarios, se presupone que el dedo se encuentra dentro del contenedor y sobre la trayectoria del rotor. El cierre normal podría también incluir la posibilidad de que el interruptor falle en la posición de cerrado o que se haya ensamblado en una posición cerrada, esto es, para formar, de nuevo, una compuerta OR. El cierre anormal podría deberse a una gran cantidad de condiciones: un cable roto,

un cableado incorrecto, desechos de cables o la presencia de agua en el contenedor, de las cuales sólo es necesario que se presente una para que el circuito se cierre o se ponga en corto, lo cual indica una compuerta OR. Las probabilidades calculadas son las siguientes:

$$
\begin{aligned}
P(C_1) &= 1 - (1 - 0.001)(1 - 0.01)(1 - 0.001)(1 - 0.01) = 0.0199 \\
P(C_2) &= 1 - (1 - 0.001)(1 - 0.01)(1 - 0.001) = 0.1 \\
B &= C_1 + C_2 \\
P(B) &= 1 - (1 - 0.0199)(1 - 0.1) = 0.12 \\
P(A) &= P(B)(1) = 0.12 \\
P(H) &= P(A)(0.2) = 0.12(0.2) = 0.024
\end{aligned}
$$

Suponiendo que el costo esperado de 200 dólares por concepto de las lesiones en un dedo que varíen desde una laceración simple hasta la amputación total (que se desarrolla de manera similar a como se muestra en la tabla 8.8), la criticidad resultante C de una lesión en el dedo en el molino de café es, por lo tanto,

$$C = P(H)(\$200) = (0.024)(200) = \$4.80$$

Ahora viene una parte interesante que consiste en el análisis de los diseños alternos y de las medidas de seguridad, con la finalidad de reducir la probabilidad de incurrir en una lesión en los dedos. Un rediseño obvio que se implanta en la mayoría de los molinos consiste en el uso de un interruptor de interconexión en la cubierta (los dispositivos de interconexión se analizan con mayor detalle en la sección 8.8). La premisa principal es que el dedo no puede estar dentro del tazón al mismo tiempo

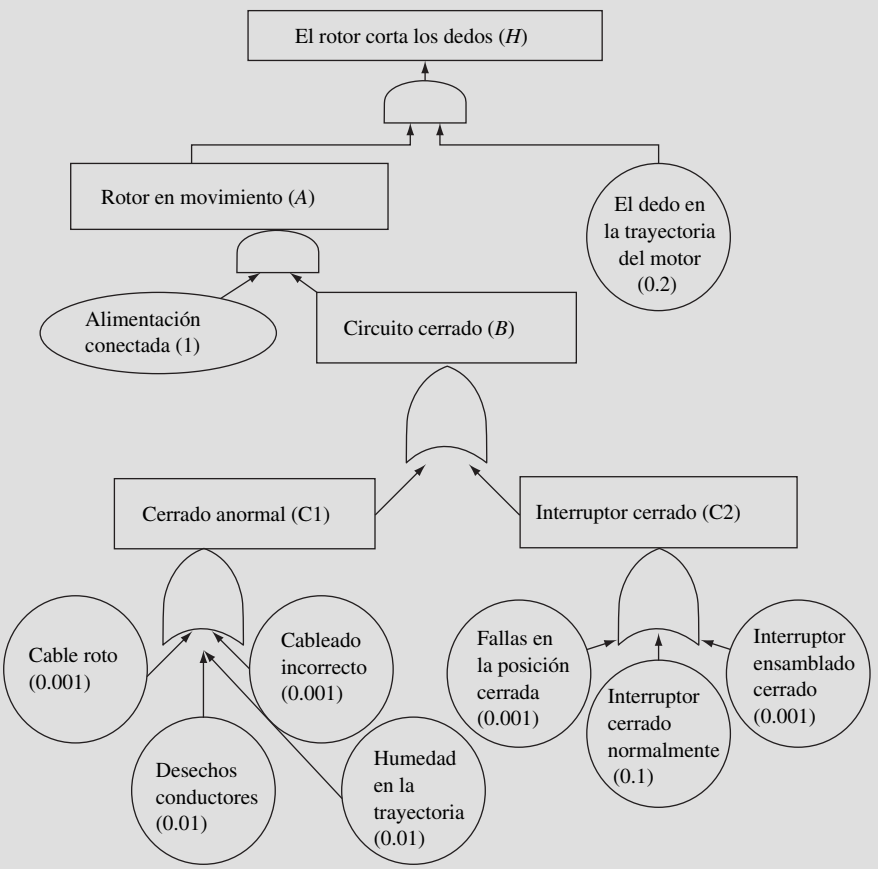


Figura 8.19 Árbol de fallas de una lesión en los dedos al usar un molino de café.

que se activa el interruptor. Esta precaución reduce la probabilidad "de que el interruptor esté normalmente cerrado" de 0.1 a 0.0. Sin embargo, los demás modos de falla aún pueden ocurrir y la probabilidad del evento principal no irá completamente a 0.0, sino que se reduce a 0.0048, con una nueva criticidad de 0.96 dólares.

La reducción resultante de las criticidades de 4.80 dólares a 0.96 representa un beneficio de 3.84 dólares. Sin embargo, existe un costo asociado incrementado de aproximadamente 1 dólar por molino para insertar un interruptor en la cubierta del aparato contra el interruptor más sencillo colocado en su parte lateral. Por lo tanto, la razón costo-beneficio (*C/B*) es

$$C/B = \$1.00/\$3.84 = 0.26$$

Un método alterno y más barato podría consistir en colocar una etiqueta con una advertencia en la parte lateral del molino de café que dijera: "Siempre desconecte la alimentación antes de quitar el café o limpiar el tazón" a un costo mínimo de 0.10 por aparato. La probabilidad de un evento "alimentación conectada" se reduciría quizás a 0.3, pero no hasta un valor de 0.0, debido a que es muy probable que los consumidores olviden o hagan caso omiso del aviso de advertencia. La probabilidad resultante del evento principal se reduce a 0.0072 y la criticidad a 1.44 dólares. El nuevo beneficio es de 3.36 dólares, lo cual nos da una razón costo-beneficio de

$$C/B = \$0.10/\$3.36 = 0.03$$

Este método, de manera superficial, parece ser mucho mejor desde el punto de vista costo-beneficio. Sin embargo, es posible que la probabilidad de que "la alimentación esté conectada" sea muy impredecible, ya que la mayoría de los consumidores podrían olvidar desconectarla antes de colocar el tazón. Por lo tanto, este enfoque no representa la solución más idónea. Observe que si se aplicara una cantidad de 1 dólar adicional a cada molino por concepto de control de calidad para arreglar todos los errores de cableado y del interruptor antes del embarque, y se redujese cada una de dichas probabilidades a 0.0, la relación costo-beneficio resultante de 1.25 es mucho mayor que la instalación del interruptor de interconexión sobre la cubierta.

8.6 LEGISLACIÓN SOBRE SEGURIDAD E INDEMNIZACIÓN DE LOS TRABAJADORES

FUNDAMENTOS Y TERMINOLOGÍA

En Estados Unidos, la legislación en cuanto a seguridad, así como el resto del sistema legal, se basa en una combinación de la *ley común*, la *ley escrita* y la *ley administrativa.* La ley común se deriva a partir de costumbres no escritas y de uso típico en Inglaterra, pero adecuada e interpretada por las cortes a través de las decisiones judiciales. La ley escrita es una ley promulgada por los legisladores y promovida por la rama ejecutiva. La ley administrativa la establece la rama ejecutiva o las dependencias de gobierno. Sin embargo, puesto que la ley común se aplicó en primera instancia, una gran cantidad de términos y principios legales usuales en Estados Unidos se derivan de ella. Por lo tanto, los antiguos términos *amo*, *esclavo* y *extraño* finalmente se convirtieron en *empleador*, *empleado* e *invitado* o *visitante*, respectivamente. La *responsabilidad* es la obligación de proporcionar una indemnización por los daños y las lesiones, mientras que la *responsabilidad estricta* es un nivel más elevado de responsabilidad, en el que el demandante necesita demostrar la negligencia o falta. El *demandante* es la persona, por lo general la afectada, que da origen a una demanda en un tribunal. El *acusado* es la entidad que defiende la demanda, típicamente una empresa o el fabricante de un producto. La *negligencia* es la falta de aplicación del suficiente cuidado con el fin de evitar una lesión. Dentro de las formas de mayor grado de negligencia se encuentran la *negligencia bruta*, en donde no se tuvo ni siquiera un mínimo cuidado para evitar la lesión y la *negligencia per se*, cuya demostración no requiere de ninguna prueba. Cualquier indemnización resultante hacia el demandante se ubica en dos categorías: *daños compensatorios* para sufragar costos médicos, pérdida de salario y otras pérdidas directas por parte del demandante, y *daños punitivos*, en forma de cantidades adicionales de dinero específicamente cuantificadas para castigar al acusado.

De acuerdo con el sistema legal inglés y, posteriormente, con la ley escrita, el empleador tenía la obligación legal de ofrecer un lugar de trabajo seguro, proteger a los empleados de lesiones y pagar por daños y lesiones que pudieran ocurrir si el empleador no cumplía con dichas obligaciones, las que eran extensibles a los clientes y al público en general, es decir, personas que visitaran el lugar de trabajo. Sin embargo, en la práctica, dichas obligaciones legales no tuvieron mucho peso como carga de la prueba que recaía en el trabajador para demostrar en el tribunal que la negligencia de su empleador había sido la única causa de su lesión. Varios factores hicieron especialmente difícil que el empleado demostrara su caso. En primer lugar, la doctrina de *privacidad* requería de una relación directa, en forma de un contrato, entre las dos partes contendientes. Por lo tanto, cualquier trabajador que no contara con un contrato directo con el empleador seguramente tendría muy poca probabilidad de tener éxito en su demanda. En segundo lugar, el concepto de *suposición de riesgo* implicaba que un trabajador que estuviera consciente de los riesgos laborales, pero que continuara trabajando, asumía los riesgos y no podía solicitar que le cubrieran los daños en caso de lesión a pesar de que no hubiese sido su culpa. En tercer lugar, la negligencia de un compañero o la imprudencia propia limitaba de una manera significativa el caso del trabajador. Por último, siempre existía miedo por parte del empleado y de sus compañeros de perder el trabajo, lo cual restringía las acciones legales en contra de los empleadores. Además, cualquier acción legal tomaba una gran cantidad de tiempo, que retrasaba la indemnización necesaria para gastos médicos y traía como consecuencia una indemnización relativamente insuficiente, pues una gran parte del dinero terminaba en manos de los abogados que llevaban el caso. Como consecuencia, surgieron demandas para legislar la indemnización de los trabajadores que corregirían dichas inequidades y obligarían a los empleadores a tomar medidas correctivas para salvaguardar a sus empleados.

INDEMNIZACIÓN DE LOS TRABAJADORES

En Estados Unidos, las leyes de indemnización de los trabajadores fueron promulgadas en 1908 para proteger a los empleados federales y, finalmente, fueron sancionadas en los 50 estados y territorios de la Unión Americana. Dichas leyes operaban bajo el principio general de recompensar a los trabajadores a través de proporcionarles gastos médicos y salarios caídos sin que esto estableciese la culpa. Típicamente, se fijaban cantidades de dinero que se debían pagar para determinadas condiciones y ocupaciones, las cuales podían variar de estado a estado. Aproximadamente estaba cubierto 80% de la fuerza de trabajo de Estados Unidos, con algunas excepciones: los trabajadores del campo independientes, empleados domésticos, algunas organizaciones altruistas, trabajadores ferrocarrileros y marítimos y pequeños contratistas independientes. Con el fin de garantizar que los beneficios de los trabajadores se diluyeran si el empleado caía en bancarrota, se requería que las compañías obtuvieran un seguro, lo cual podía llevarse a cabo de manera exclusiva a través de fondos estatales establecidos para este propósito o a través de la competencia entre compañías de seguros privadas. En algunos casos, las grandes compañías o entidades financieramente sólidas podían asegurarse a sí mismas.

Existen tres requisitos principales para que un trabajador reclame su indemnización:

1. Que la lesión sea el resultado de un accidente.
2. Que la lesión pueda haber ocurrido fuera del trabajo.
3. Que la lesión se haya presentado durante el curso del trabajo.

Dentro de las lesiones que no se consideran accidentes se encuentran aquellas provocadas por intoxicación, por el trabajador mismo o las que fueron generadas por una rencilla. Tampoco estaba cubierto cualquier problema de salud que se pudiera presentar de manera normal, como un ataque al corazón, a menos que el trabajo se considerara demasiado estresante como para pensar que hubiese contribuido a que se presentara el ataque. Las lesiones que se producen fuera del trabajo se aplican al trabajo asignado por parte del supervisor o a tareas que normalmente se esperan de dicho empleado. Una típica excepción que podía anular la indemnización es la realización de "trabajo para el gobierno" o el uso del equipo de la compañía con fines personales. Las lesiones que se sufren durante el desempeño del trabajo se aplican a horas de trabajo regulares y no al tiempo que le toma al trabajador en ir al trabajo y regresar a su casa, a menos que la compañía ofrezca el servicio de transporte a sus empleados.

Tabla 8.9 Calendario de la indemnización por pérdida de extremidades (en semanas) por incapacidad parcial permanente

Amputación o 100% de pérdida de uso	Federal	Pennsylvania
Brazo	312	410
Pierna	288	410
Mano	244	325
Pie	205	250
Ojo	160	275
Dedo pulgar	75	100
Primer dedo (meñique)	46 (15)	50 (28)
Dedo grande del pie (otro)	38 (16)	40 (16)
Oído: una oreja (ambas)	52 (200)	60 (260)

Por lo general, las indemnizaciones para los trabajadores se dividen en cuatro categorías de incapacidad: 1) parcialmente temporal, 2) total temporal, 3) parcial permanente y 4) permanente total. Las *incapacidades parciales temporales* se presentan cuando el trabajador se lesiona levemente y se espera que se recupere de manera total. El trabajador aún puede llevar a cabo la mayoría de sus deberes, pero se le puede descontar tiempo perdido o salario. Las *incapacidades totales temporales* son aquellas en las que el trabajador es incapaz de llevar a cabo su trabajo por un tiempo limitado, pero se espera que se pueda recuperar totalmente. En esta categoría se encasilla la mayoría de los casos de indemnización laboral. Las *incapacidades parciales permanentes* se otorgan cuando el trabajador no se recupera totalmente de las lesiones pero aún puede llevar a cabo su trabajo. Esta categoría, que representa la mayor parte de los costos de compensación laboral, se divide en lesiones programadas y no programadas. Una *lesión programada* recibe un pago específico por un tiempo determinado de acuerdo con un calendario, como se muestra en la figura 8.9. Observe que puede haber diferencias considerables de estado a estado con respecto a los pagos, como es el caso entre trabajadores federales y los del estado de Pennsylvania. Una *lesión no programada* es de naturaleza menos específica, como el deterioro de alguna parte del cuerpo, y los pagos se prorratean como una lesión programada. Las *incapacidades totales permanentes* son lo suficientemente serias para provocar que el empleado trabaje en un empleo regular. De nuevo, pueden existir diferencias considerables en cuanto a lo que constituye la incapacidad total, pero en muchos estados la gravedad se determina en función de si perdió la vista en ambos ojos o ambos brazos o piernas. Aproximadamente en la mitad de los estados, la indemnización abarca la duración de la incapacidad o es de por vida. En la otra mitad, la duración está limitada a 500 semanas. La indemnización representa un porcentaje de las percepciones, que en la mayoría de los casos es de alrededor de dos tercios de las mismas. En caso de muerte del trabajador, los beneficios se pagan a la viuda de por vida o hasta que se vuelva a casar y a los hijos hasta los 18 años o hasta que termine el máximo periodo de pagos (por ejemplo, 500 semanas).

Según los estados, también pueden existir otras condiciones importantes. En algunos casos, las compañías pueden solicitar al trabajador lesionado que consulte a un médico de la compañía y que realice un trabajo más ligero. Si el trabajador se opone, los beneficios de la indemnización terminan en ese momento. Sin embargo, en la mayoría de las instancias, los casos de indemnización de los trabajadores se establecen rápida y amigablemente y el trabajador llega a un acuerdo. En algunas situaciones, el caso puede ser resuelto directamente entre el empleado y la empresa o a través del sistema legal de indemnizaciones de los trabajadores. Desde el punto de vista del trabajador, es generalmente un compromiso conveniente: él o ella acepta una indemnización garantizada menor en lugar de la opción incierta de demandar al empleador por negligencia. Sin embargo, el trabajador no cede los derechos de demandar a una tercera instancia, tales como el fabricante de equipo con fallas o herramientas defectuosas, al arquitecto o contratista de una construcción mal hecha o aun una dependencia inspectora que haya certificado la seguridad de un edificio o maquinaria.

Desde la perspectiva de la compañía, es importante tratar de reducir los costos de indemnización de los trabajadores lo más posible. Este objetivo se puede lograr a través de una gran cantidad de formas. La primera, y la más importante, mediante la implantación de un programa de seguridad para reducir los riesgos en el lugar de trabajo y el entrenamiento de los operadores respecto de los procedimientos de seguridad apropiados. En segundo lugar, e igualmente importante, implantar un

programa de administración médica. Este recurso significa contratar a una buena enfermera ocupacional y seleccionar a un médico local reconocido para que visite la planta y tenga una idea de los diferentes trabajos que en ella se realizan. Estas visitas ayudan a emitir diagnósticos apropiados y a asignar trabajos ligeros a los empleados. También es muy importante que los empleados lesionados regresen a su trabajo lo más pronto posible, aun si sólo es para realizar un trabajo ligero. En tercer lugar, revisar la clasificación del empleo de cada operario con base en el trabajo que realiza. No tiene sentido hacer una mala clasificación que genere aumento de recompensas, por ejemplo, un empleado de oficina que no puede funcionar como operador de una rectificadora. En cuarto lugar, llevar a cabo una auditoría minuciosa de la nómina. El tiempo extra se toma como una indemnización de tiempo para los trabajadores. Por lo tanto, los salarios duplicados por tiempo extra de 20 dólares la hora inflarán de manera significativa los costos de la compañía en comparación con los costos normales de 10 dólares la hora. En quinto lugar, comparar el seguro individual y los diferentes programas de seguro en grupo para identificar cuál es el menos costoso y usar un deducible. En sexto lugar, verificar la *razón de comodidad* con frecuencia, es decir, la relación de las pérdidas reales y las esperadas de empleadores similares a los que se les asigna un promedio de 1.00. Mediante la implantación de un buen programa de seguridad y de reducción de accidentes, lesiones y, en consecuencia, las demandas de indemnización de los trabajadores, la relación de moda se reducirá de manera significativa. Una relación de comodidad de 0.85 significa 15% de ahorros en incentivos. A través de una administración apropiada, se pueden controlar los costos asociados con las indemnizaciones de los trabajadores.

8.7 SEGURIDAD OCUPACIONAL Y ADMINISTRACIÓN DE LA SALUD (OSHA)

LEY DE LA OSHA

La Ley de Seguridad y Salud Ocupacional de 1970 fue aprobada por el Congreso de Estados Unidos "para garantizar en la medida de lo posible a cada trabajador o trabajadora de la nación condiciones de trabajo seguras y saludables y para preservar los recursos humanos". En el marco de esta ley, la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional se creó para

1. Incentivar a los empleadores y empleados para que reduzcan los riesgos en el lugar de trabajo e implanten programas de salud y seguridad nuevos o mejorar los ya existentes.
2. Establecer "responsabilidades y derechos separados pero dependientes" para los empleadores y empleados por el logro de mejores condiciones de salud y seguridad.
3. Establecer y conservar un sistema de reporte y mantenimiento de registros con el fin de supervisar las lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo.
4. Desarrollar estándares obligatorios de salud y seguridad en el trabajo y hacer que efectivamente se cumplan.
5. Promover el desarrollo, análisis, evaluación y aprobación de programas estatales de salud y seguridad ocupacional.

Como la ley puede afectar en gran medida el diseño del lugar de trabajo, los analistas de métodos deben tener conocimiento respecto de los detalles de la misma. La *cláusula de deberes generales* de la ley establece que cada empleador "debe proveer de un lugar de trabajo que esté libre de riesgos reconocibles que causen o puedan causar la muerte o un daño físico serio a los trabajadores". Además, establece que es responsabilidad de las empresas familiarizarse con los estándares aplicables a sus establecimientos y asegurarse de que los empleados cuenten con y utilicen equipo de protección personal y accesorios de seguridad.

Los estándares de las OSHA están divididos en cuatro categorías: industria en general, marítima, construcción y agricultura. Todos ellos son publicados en el Registro Federal, el cual está disponible en la mayoría de las bibliotecas públicas, en un libro independiente acerca de regulaciones (OSHA, 1997), y en Internet (http://www.osha.gov/). La OSHA puede comenzar los procedimientos para establecer estándares bajo su propia iniciativa o con base en peticiones de la Secretaría de Salud

y Servicios Humanos (HHS), el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), los gobiernos estatales y locales, organizaciones reconocidas a nivel nacional que generan estándares, como por ejemplo la ASME, y representantes de empresas o trabajadores. De estos grupos, la NIOSH, una dependencia del HHS, trabaja muy activamente en la generación de recomendaciones para desarrollar estándares. Lleva a cabo investigaciones acerca de diferentes problemas de salud y seguridad y proporciona una gran ayuda técnica a la OSHA. De especial importancia son las investigaciones acerca de sustancias tóxicas realizadas por el NIOSH y el desarrollo de criterios para el uso de dichas sustancias en el lugar de trabajo.

La OSHA también proporciona servicios de consulta en el sitio sin ningún costo a los empleadores en los 50 estados. Este servicio se encuentra disponible por pedido y se le da prioridad a los pequeños negocios, los cuales son los que tienen la menor posibilidad de invertir en consultores del sector privado. Estos consultores les ayudan a identificar las condiciones de alto riesgo y a determinar las medidas correctivas a tomar. Un listado de dichos consultores puede encontrarse en la página de Internet de la OSHA (http://www.osha.gov/dcsp/smallbusiness/consult_directory.html).

El acta también dispone que los empleadores con 11 o más empleados mantengan registros de las lesiones y enfermedades ocupacionales en el *registro 300 de la OSHA*. Una *lesión ocupacional* se define como "cualquier lesión como una cortada, una fractura, una torcedura o una amputación que sea consecuencia de un accidente relacionado con el trabajo o de la exposición a un solo accidente en el ambiente de trabajo". Una *enfermedad ocupacional* es "cualquier condición anormal o desorden, que no sea resultado de una lesión ocupacional, provocada por la exposición a factores ambientales asociados con el empleo". Las enfermedades ocupacionales incluyen las enfermedades agudas y crónicas que puedan ser causadas por la inhalación, absorción, ingestión o contacto directo con sustancias tóxicas o agentes dañinos. Específicamente, éstas deben registrarse si traen como consecuencia la muerte, la pérdida de uno o más días de trabajo, la restricción del movimiento o incapacidad para realizar el trabajo que se ha realizado, la pérdida de conciencia, la transferencia a otro trabajo o el tratamiento médico a excepción de los primeros auxilios.

INSPECCIONES DEL LUGAR DE TRABAJO

Para hacer cumplir sus estándares, la OSHA está autorizada para llevar a cabo inspecciones en el lugar de trabajo. Como consecuencia, cada uno de los establecimientos incluidos en la ley está sujeto a inspecciones por parte de los funcionarios de salud y seguridad de la OSHA. La norma establece que "una vez que presente las credenciales apropiadas al propietario, operador o persona a cargo", el funcionario de la OSHA está autorizado a ingresar sin ningún retraso a cualquier fábrica o lugar de trabajo con el fin de inspeccionar las condiciones, equipo y materiales pertinentes en el sitio y solicitar información de parte del empleador, operador y empleados.

Las inspecciones, con algunas excepciones, se llevan a cabo sin previo aviso. De hecho, poner en alerta con anticipación a un empleador respecto a una inspección es motivo de una multa de hasta 1 000 dólares y/o 6 meses de cárcel. Dentro de las circunstancias especiales en las cuales la OSHA puede avisar que va a efectuar una inspección a un determinado empleador son aquellas en donde

1. Existe una situación de peligro inminente que requiere ser corregido a la brevedad posible.
2. Las inspecciones necesiten de una preparación especial o deban llevarse a cabo fuera de las horas regulares de trabajo.
3. El aviso con antelación garantice que los representantes del empleador y de los empleados u otro personal se encuentre presente.
4. El director de área de la OSHA determine que el hecho de avisar con antelación dé lugar a una inspección más minuciosa y eficaz.

Durante la inspección, si detecta una situación de peligro inminente, el funcionario le debe pedir al empleador que reduzca el riesgo de manera voluntaria y que se encargue de evitar que sus empleados se expongan a ella. Se debe anunciar la condición de peligro inminente a todos los empleados. Antes de que el inspector abandone las instalaciones, debe notificar el riesgo a todos los empleados afectados.

En el momento de la inspección, se le pide al empleador que seleccione un representante para que haga compañía al funcionario durante toda la inspección. También se le da la oportunidad a un

representante autorizado de los empleados de asistir a la conferencia de apertura y de acompañar al funcionario de la OSHA durante todo el recorrido de la inspección. En las fábricas donde hay sindicato, éste normalmente designa a un representante para que acompañe al funcionario de la OSHA. En ninguna circunstancia el empleador podrá seleccionar al representante de los empleados en una inspección. La ley no requiere la presencia de un representante de los empleados en cada inspección; sin embargo, donde éste no existe, el funcionario deberá consultar a un número razonable de miembros del personal sobre las cuestiones de salud y seguridad en el lugar de trabajo.

Una vez que se ha realizado el recorrido de la inspección, se lleva a cabo una conferencia de clausura entre el funcionario de la OSHA y el empleador o su representante. Posteriormente, dicho funcionario reporta lo que inspeccionó a la oficina de la OSHA y el director de área determina qué menciones, si es que las hay, se realizarán y qué penalizaciones, si las hubo, se propondrán.

MENCIONES

Mediante las menciones, se informa al empleador y a los empleados acerca de las regulaciones y estándares que se presume que se han violado y de los tiempos establecidos para su eliminación. El empleador recibirá menciones y notificaciones acerca de las sanciones propuestas a través de correo certificado. El empleador deberá colocar una copia de cada mención cerca o en el lugar donde ocurrió la violación por un lapso de tres días o hasta que ésta se elimine, lo que lleve más tiempo.

El funcionario de la OSHA tiene autoridad para emitir menciones en el lugar de trabajo, después de que se ha llevado a cabo la conferencia de cierre. Para este fin, primero debe comentar cada una de las presuntas violaciones con el director de área y recibir autorización para generar las menciones.

Los seis tipos de violaciones que pueden mencionarse así como las sanciones que pueden imponerse, son las siguientes:

1. *Mínima* (sin sanción). Este tipo de violación no tiene una relación directa con la seguridad o la salud, por ejemplo, el número de sanitarios.
2. *Violación no seria.* Este tipo de violación guarda una directa relación con la seguridad y la salud, pero, probablemente, no sea causa de muerte o un daño físico serio. Es válido proponer una sanción de hasta 7 000 dólares por cada violación. Una sanción por motivo de la comisión de una violación no seria puede reducirse considerablemente según la buena fe del empleador (hechos demostrables orientados a cumplir con el acta), su historial de violaciones anteriores y el tamaño del negocio.
3. *Violación seria.* Esta violación implica una probabilidad considerable de que se provoque una muerte o un daño serio, a partir de un peligro del cual el empleador tenía o debería tener conocimiento. La multa obligatoria asciende a una cantidad de hasta 7 000 dólares por cada violación.
4. *Violación deliberada.* Ésta es una violación que comete el empleador de manera intencional y a sabiendas, ya sea que sepa que sus acciones constituyen una violación o que esté consciente de que existe una condición de peligro y no ha realizado ningún esfuerzo tendiente a eliminarlo. Las sanciones pueden ascender hasta una cantidad de 70 000 dólares por cada violación deliberada. Si una empresa es declarada culpable de la comisión de una violación deliberada que ha dado como consecuencia la muerte de un empleado, el responsable puede ser encarcelado por un periodo de hasta 6 meses. Si se le declara culpable una segunda vez, las sanciones máximas se duplican.
5. *Violación repetida.* Una violación repetida ocurre cuando se detecta una violación a cualquier estándar, regulación, regla u orden cuando se vuelve a inspeccionar y se encuentra otra violación de la sección citada anteriormente. Si en la segunda inspección, se encuentra una violación del estándar, regulación, regla u orden mencionados anteriormente, pero involucra otro equipo o una ubicación diferente en el establecimiento o lugar de trabajo, se puede considerar como una violación repetida. Cada violación repetida puede hacerse acreedora a una multa de hasta 70 000 dólares. Si se encuentra que hay culpabilidad en un procedimiento penal, se puede imponer hasta un periodo de 6 meses de cárcel y una multa de hasta 250 000 dólares por una persona, mientras que en el caso de una corporación, la suma puede ascender a 500 000 dólares.
6. *Peligro inminente.* Ésta es una situación en la que se cuenta con una certidumbre razonable de que existe un peligro que se puede esperar que cause muertes o daños físicos serios ya sea

inmediatamente o antes de que el peligro pueda eliminarse a través de procedimientos normales de aplicación. Una violación que genere un peligro inminente puede provocar el cese de operaciones o, inclusive, el cierre total de la planta.

Otras violaciones que pueden dar pie a menciones y sanciones propuestas son las siguientes:

1. La falsificación de registros, reportes y aplicaciones acerca de condenas pueden generar una multa de hasta 10 000 dólares y 6 meses en la cárcel.
2. La violación de los requisitos enunciados pueden provocar la aplicación de una multa civil de hasta 7 000 dólares.
3. La renuencia a reducir o corregir una violación puede dar como resultado una sanción civil de hasta 7 000 dólares por cada día que pase y que no se corrija después de la fecha prescrita de eliminación de la violación.
4. Agredir, interferir con o evitar que un inspector realice sus funciones puede traer como consecuencia una multa de hasta 5 000 dólares y un periodo de encarcelamiento de hasta 3 años.

PROGRAMA ERGONÓMICO DE LA OSHA

En 1990, el alto índice de incidencias y la severidad de las lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo que se encontraron en la industria de las empacadoras de carne llevó a la OSHA a desarrollar lineamientos ergonómicos para proteger a los empleados del sector de dichos riesgos (OSHA, 1990). La publicación y diseminación de estos lineamientos fue un primer paso para ayudar a esta industria a implantar un programa intensivo de salud y seguridad que incluyera la ergonomía. A pesar de que, al principio, la idea de la promulgación de lineamientos tenía como objetivo que sirvieran como consejos, más adelante se convirtieron en novedosos estándares ergonómicos para todos los sectores productivos. La finalidad de dichos lineamientos era ofrecer información de tal manera que las empresas pudieran determinar si tenían problemas de tipo ergonómico, identificar la naturaleza y localización de dichos problemas e implantar medidas conducentes a reducirlos o eliminarlos.

El programa ergonómico de las plantas empacadoras de carne estaba dividido en cinco secciones: 1) Compromiso de la alta dirección e involucramiento de los empleados, 2) análisis del lugar de trabajo, 3) prevención de riesgos recomendada y controles, 4) administración de los servicios médicos, y 5) entrenamiento y educación. También proporcionaba ejemplos detallados especialmente diseñados para la industria de las empacadoras de carne.

El compromiso y la participación son elementos esenciales en cualquier programa bien elaborado de salud y seguridad. El compromiso por parte de la alta dirección es particularmente importante para proporcionar tanto la fuerza motivadora como los recursos necesarios para resolver los problemas. De manera similar, la participación de los empleados es necesaria para conservar y darle seguimiento al programa. Un programa eficiente debe implementarse en equipo, donde la alta dirección actúe como líder a través de la aplicación de los siguientes principios:

1. Un programa escrito de seguridad en el trabajo, la salud y la ergonomía, que cuente con metas y objetivos claros para satisfacer dichas metas, avalado y defendido por los altos niveles de la dirección.
2. Preocupación personal por la salud y seguridad del empleado, que haga hincapié en la eliminación de los riesgos ergonómicos.
3. Una política que asigne la misma importancia a la salud y la seguridad como a la producción.
4. La asignación y comunicación de la responsabilidad del programa de ergonomía a los gerentes, supervisores y empleados correspondientes.
5. Un programa que garantice la obligación de dichos gerentes, supervisores y empleados de llevar a cabo dichas responsabilidades.
6. La implantación de una revisión y evaluación regulares del programa de ergonomía, el cual debe incluir análisis de tendencias de los datos relativos a las lesiones, estudios acerca de los empleados, evaluaciones “antes y después” de los cambios en el lugar de trabajo, registros relacionados con las mejoras del trabajo, etcétera.

Los empleados pueden participar a través de lo siguiente:

1. Procedimientos de quejas o sugerencias para dar a conocer sus preocupaciones a la alta dirección sin miedo a represiones de ninguna índole.
2. Procedimiento para registrar de una manera rápida y precisa los primeros signos de la aparición de lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo, de tal manera que puedan implantarse con rapidez controles y tratamientos adecuados.
3. Comités ergonómicos que reciban reportes, analicen y corrijan problemas ergonómicos.
4. Equipos ergonómicos que cuenten con las habilidades necesarias para identificar y analizar tareas que generen estrés ergonómico.

Un programa ergonómico eficiente debe incluir cuatro elementos principales: el análisis del sitio de trabajo, el control de riesgos, la administración de los servicios médicos y el entrenamiento y la educación. El análisis del lugar de trabajo identifica las condiciones y los riesgos existentes, así como las operaciones y lugares de trabajo donde se puedan desarrollar dichos riesgos. Esta fase incluye un rastreo detallado y el análisis estadístico de los registros de lesiones y enfermedades para identificar los patrones relacionados con el desarrollo de desórdenes músculo-esqueléticos vinculados con el trabajo. La primera etapa de la implantación del programa de análisis debe ser la revisión y el análisis de los registros médicos, de los registros de aseguramiento y los registros de OSHA 300 mediante el uso del análisis chi-cuadrada y el rastreo de los índices de incidencia. A continuación se pueden llevar a cabo estudios proyectivos de comparación con el fin de identificar tareas que puedan producir en los empleados el desarrollo de enfermedades músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo. Por lo general, este estudio se lleva a cabo mediante un cuestionario cuyo fin consiste en identificar los factores potenciales de riesgo ergonómico en el desarrollo del trabajo, en el lugar de trabajo o en el método de trabajo, así como la ubicación y severidad de los problemas músculo-esqueléticos potenciales para el trabajador, mediante el uso de los diagramas de incomodidad del capítulo 5. Posteriormente, se debe realizar un análisis físico del lugar de trabajo haciendo un recorrido por toda la planta mientras se videograba y se analizan las tareas críticas mediante el empleo de las listas de verificación del diseño del trabajo y las herramientas de análisis que se presentaron en capítulos anteriores. Por último, como en cualquier otro programa acerca de métodos, se deben llevar a cabo revisiones periódicas. Se deben calcular y analizar a intervalos regulares las tendencias de las lesiones y enfermedades, como una verificación cuantitativa acerca de la eficacia del programa ergonómico.

El control de riesgos involucra los mismos controles de ingeniería, controles en la práctica del trabajo, equipo de protección personal y controles administrativos que se han estudiado a lo largo de este libro. Los controles de ingeniería, cuando sea factible utilizarlos, representan los métodos de control preferidos por la OSHA.

La adecuada administración de los servicios médicos, entre ellos la identificación temprana de los signos y el tratamiento eficiente de los síntomas, es necesaria para reducir el riesgo de desarrollar enfermedades músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo. Un médico o enfermera ocupacional con experiencia en lesiones músculo-esqueléticas debe supervisar el programa. Dicha persona debe planear recorridos periódicos y sistemáticos a los lugares de trabajo con el fin de percatarse acerca de las tareas que en él se desarrollan, identificar los trabajos potenciales ligeros y mantener un contacto cercano con los empleados. Esta información permite que el personal que proporciona los servicios de salud recomiende tareas ligeras que impliquen un mínimo esfuerzo ergonómico en el músculo o grupos de tendones lesionados de los trabajadores en recuperación.

El personal que proporcione servicios médicos debe participar en el entrenamiento y la educación de todos los empleados incluyendo los supervisores acerca de los diferentes tipos de desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo, las medidas para su prevención, sus causas, sus primeros síntomas y tratamientos. Esta práctica será de gran ayuda en la detección temprana de los desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo antes de que se desarrollen condiciones más severas. Se debe inducir a los empleados a reportar cualquier signo o síntoma temprano de lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo para su pronto tratamiento sin temor a que la gerencia tome represalias. Los protocolos escritos sobre la vigilancia, evaluación y tratamiento de la salud ayudan a establecer y mantener procedimientos controlados de manera apropiada.

Tanto el entrenamiento como la educación constituyen los componentes críticos de un programa ergonómico para los empleados expuestos a sufrir de riesgos ergonómicos. El entrenamiento permite que los gerentes, supervisores y empleados comprendan los problemas ergonómicos asociados con sus trabajos así como la prevención, control y consecuencias médicas de dichos problemas.

1. Anualmente debe impartirse entrenamiento general acerca de los factores de riesgo de las lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo, sus síntomas y las lesiones asociadas con el trabajo a los empleados que están potencialmente expuestos.
2. Se debe proporcionar entrenamiento específico en la tarea acerca de las herramientas, cuchillos, guardas, seguridad y las técnicas de levantamiento adecuadas a los nuevos empleados antes de que se les asignen trabajos de tiempo completo.
3. Los supervisores deben ser entrenados para reconocer los primeros síntomas de las lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo y de las prácticas de trabajo que implican riesgo.
4. Los gerentes deben recibir entrenamiento con el fin de crear conciencia acerca de sus responsabilidades acerca de la salud y la seguridad.
5. Los ingenieros deben recibir entrenamiento acerca de la prevención y corrección de riesgos ergonómicos a través del rediseño del lugar de trabajo.

En 1990 se elaboró una versión en borrador de los lineamientos para la industria en general, como precursor de los estándares ergonómicos, cuya versión final se aprobó a principios de 1992. Dicha versión contenía básicamente la misma información que los lineamientos para la industria del empacado de carne. Sin embargo, hubo una reacción muy negativa por parte de la industria y debido a que los republicanos obtuvieron el control del Congreso en 1992, el estándar ergonómico en cuestión no se ha liberado desde entonces.

8.8 CONTROL DE RIESGOS

Esta sección expone los principios básicos del control de riesgos. Un *riesgo* es una condición que tiene potencial para provocar una lesión o daño. Por su parte, *peligro* es la exposición relativa a la o las consecuencias potenciales de dicho riesgo. Por lo tanto, un trabajador sin protección que lleva a cabo tareas en un andamio está expuesto a un riesgo y corre peligro de sufrir de una seria lesión. Si el obrero tuviera puesto un arnés de seguridad, el riesgo todavía existiría, pero el peligro del riesgo se habría reducido considerablemente.

Los riesgos pueden agruparse en varias categorías generales: 1) debido a propiedades inherentes tales como el alto voltaje, la radiación o los químicos cáusticos; 2) debido a fallas potenciales, ya sea por parte del operador (o alguna otra persona) o una máquina (o cualquier otro equipo), o 3) debido a las fuerzas o tensiones provocadas por el ambiente, por ejemplo, el viento, la corrosión, etc. El método general de control de riesgos implica, en primera instancia, eliminar por completo el riesgo y prevenir el accidente y, después, si no tiene éxito, reducir el nivel de riesgo a un grado tal que, si aún sucede el accidente, se reduce la lesión o el daño potencial. La eliminación de un riesgo se puede lograr a través de un buen diseño y los procedimientos adecuados, por ejemplo, el uso de materiales no combustibles ni solventes, el redondeo de las orillas de los equipos, la automatización de la aplicación de corrosivos (esto es, removiendo al operador de los ambientes riesgosos, construcción de pasos a desnivel en intersecciones de ferrocarriles y supercarreteras, etcétera).

Si el riesgo no se puede eliminar completamente, una segunda opción es limitar su alcance. Por ejemplo, un taladro eléctrico en un ambiente húmedo puede producir electrocución. Mediante el uso de un taladro sin cable de alimentación se pueden reducir las lesiones serias, a pesar de que aún es posible que se produzca un choque eléctrico. Desde luego, a cambio de menores potencia y eficacia del perforado. El uso de un taladro neumático eliminaría por completo el riesgo de la electrocución, pero su uso estaría limitado, especialmente para los usuarios que no cuentan con aire comprimido en sus casas, lo que incrementaría el costo del taladro y generaría el nuevo riesgo que implica liberar aire a alta presión. La solución más segura sería utilizar un taladro mecánico manual, sin ningún riesgo relacionado con la energía. Sin embargo, la eficacia de la herramienta se reduciría considerablemente y podría provocar fatiga músculo-esquelética (un riesgo totalmente diferente). Otro ejemplo de cómo

limitar el nivel de riesgo es mediante el uso de sistemas de gobierno en los autobuses escolares con el fin de limitar la velocidad máxima de dichos vehículos.

Si el nivel del riesgo no puede limitarse debido a la naturaleza del equipo electromecánico y las herramientas eléctricas, se debe recurrir al uso de aisladores, barreras e interconectores para minimizar el contacto entre la fuente de alimentación y el operador humano. Los aisladores y las barreras imponen una distancia o un impedimento físico entre los dos. La instalación de un generador o un compresor fuera de la planta limita la interacción diaria entre los operadores y la fuente de energía. Sólo los trabajadores de mantenimiento tendrán algún grado de exposición a la fuente de energía a intervalos irregulares. Los guardallamas fijos en las máquinas y los contenedores de polea son buenos ejemplos de barreras. El tercer dispositivo, un *interconector*, representa una forma de método o dispositivo más complejo que evita que ocurran eventos incompatibles de manera simultánea. A un nivel más básico podría ser simplemente instalar un *cerrojo* (como en el OSHA 1910.147, Cerrojo y Etiquetado) en el área peligrosa con el fin de evitar el acceso no autorizado de personas a ella o la *protección* de un interruptor en un estado energizado de tal manera que no pueda ser encendido accidentalmente. La cerradura activa más común es un mecanismo que garantiza que un evento determinado no ocurrirá simultáneamente con otro. El interruptor que se mencionó anteriormente en la cubierta del molino de café (ejemplo 8.7) representa un buen ejemplo de una cerradura que evita que los dedos del usuario estén dentro del tazón cuando se activa el interruptor.

Otro método consiste en utilizar *diseños a prueba de falla.* Estos sistemas están diseñados de tal manera que, en caso de una falla, cambian al nivel de energía más bajo. Esto puede lograrse a través de dispositivos pasivos sencillos tales como fusibles e interruptores de circuitos, los cuales, cuando detectan elevados niveles de corriente, abren el circuito y reducen de inmediato a cero el nivel de corriente. Este resultado también puede lograrse operacionalmente a través del diseño de válvulas que se cierren en una posición abierta con el fin de conservar el flujo del fluido (esto es, el disco de la válvula es movido lejos de su asiento por el flujo) o se cierra en una posición cerrada para detener el flujo (esto es, el disco de la válvula es forzado por el flujo a colocarse sobre su asiento). Otro buen ejemplo de un diseño operacional es el *control automático* de una máquina para cortar el pasto o una moto acuática. En el primer caso, el operador baja una palanca para mantener a las aspas girando; si el operador se tropieza y pierde el control de la palanca, las aspas se detienen mediante la liberación del embrague o la detención del motor. En el segundo caso, la llave del motor está conectada a la muñeca del operador mediante una correa; si éste cae del vehículo, la llave se libera y el motor se detiene.

Otro método de control de riesgos consiste en la minimización de la falla. En lugar de permitir que el sistema falle completamente aun cuando esté en el modo a prueba de fallas, este método minimiza la probabilidad de falla de sistema. Este resultado se puede lograr mediante un incremento de los factores de seguridad, la supervisión más detallada de los parámetros del sistema y el reemplazo de los componentes claves de manera regular o proveyendo redundancia para dichos componentes. El *factor de seguridad* significa que la razón entre la resistencia y la tensión y dicho valor debe ser mucho mayor a 1. Dado que puede haber una variación considerable en la resistencia del material, por ejemplo, dos-por-cuatro utilizados en la construcción y también cierta varianza en las tensiones ambientales, por ejemplo, nieve en las regiones del norte, tendría sentido aumentar el factor de seguridad adecuadamente para considerar dichas variaciones y minimizar la probabilidad de que se colapse el edificio. La supervisión de las temperaturas y presiones claves con la ayuda de ajustes y compensaciones apropiadas puede ayudar a impedir que el sistema alcance valores críticos. Los marcadores del desgaste de las llantas de automóviles son un sistema de supervisión de parámetros muy utilizado. El requerimiento de la OSHA de un sistema gemelo para que trabaje en áreas de riesgo es otro ejemplo de ello. El reemplazo regular de las llantas antes de que los marcadores de desgaste sean expuestos constituye un ejemplo de un reemplazo regular de componentes o el uso de más de dos-por-cuatro (puestos a distancias de 12 pulgadas en lugar de 16) podría ser un ejemplo de redundancia en un sistema.

Por último, en caso de que el sistema finalmente falle, la organización debe proporcionar equipo de protección personal, equipo para evacuaciones y sobrevivencia y equipo de rescate con el fin de minimizar las lesiones y costos que resulten. La ropa a prueba de incendios, los cascos, los zapatos de protección, las orejeras, etc., son ejemplos muy comunes de equipo de protección personal para minimizar lesiones. El almacenamiento de autorrescatadores en ubicaciones estratégicas dentro de

las minas proporciona a quienes trabajan en ellas oxígeno extra en caso de la presencia de fugas de metano o incendios que consuman el oxígeno que hay en el ambiente y tiempo hasta que puedan ser rescatados por los cuerpos de ayuda. De manera similar, los grandes corporativos cuentan con su propio equipo contraincendio con la finalidad de ahorrar la mayor cantidad de tiempo en lugar de depender de los departamentos locales de bomberos.

8.9 TAREAS DOMÉSTICAS GENERALES

Las consideraciones generales de seguridad relacionadas con los edificios incluyen una capacidad apropiada en cuanto a espacio para carga. Este punto es especialmente importante en áreas de almacenamiento, pues si se sobrepasa dicha capacidad se pueden provocar accidentes muy serios. Los síntomas de peligro producto de la sobrecarga son cuarteaduras en paredes y techos, excesiva vibración y desplazamiento de los elementos estructurales.

Los pasillos, escaleras y otros lugares de paso se deben revisar periódicamente con el fin de garantizar que se encuentran libres de obstáculos, que estén parejos y que no tienen aceite u otro material que pudiera provocar resbalones y caídas. En los edificios antiguos se deben inspeccionar las escaleras, como éstas son las causas de un gran número de accidentes que provocan pérdida de tiempo. Las escaleras deben tener una pendiente de 28 a 35 grados con anchuras de huella de 11 a 12 pulgadas (28 a 30.5 cm) y peraltes de 6.5 a 7.5 pulgadas (16.5 a 19 cm). Todas las escaleras deben contar con pasamanos, tener una iluminación de al menos 10 fc (100 lx) y estar pintadas con colores claros.

Es muy importante que los pasillos estén marcados y derechos y que cuenten con esquinas redondeadas o diagonales. Si por ellos circularán vehículos, deben ser de al menos 3 pies más anchos que el doble del ancho del vehículo más amplio. Cuando el tránsito sea sólo en una dirección, el ancho debe ser de 2 pies más amplio que el vehículo más ancho. En general, es necesario que los pasillos tengan al menos 10 fc (100 lx) de iluminación. Se debe usar el color en todo el pasillo con el fin de identificar condiciones de alto riesgo (vea la tabla 8.10). En OSHA 1910.21-1910.24, *Walking and Working Surfaces*, se pueden consultar más detalles acerca de pasillos, escaleras y pasos.

Tabla 8.10 Recomendaciones en cuanto a color

Color	Utilizado para:	Ejemplos
Rojo	Equipo de protección contra incendio, peligro y como señal de detención	Alarmas contra fuego, ubicación de extintores contra fuego y mangueras, rociador, botes de seguridad para inflamables, señalamiento de peligro, botones de paro de emergencia
Naranja	Partes peligrosas de máquinas; otros riesgos	Dentro de los seguros móviles, botones de arranque seguros, orillas de las partes expuestas del equipo móvil
Amarillo	Indicar precaución; riesgos físicos	Equipo de construcción y de manejo de materiales, indicadores de esquinas, orillas de plataformas, descansos, vueltas de las escaleras, proyecciones. Se pueden utilizar franjas negras o verificadoras en conjunto con el amarillo
Verde	Seguridad	Localización del equipo de primeros auxilios, máscaras de gas, regaderas de seguridad a presión
Azul	Indicar precaución en cuanto al arranque o uso de equipo	Banderas de alerta en el punto de arranque de las máquinas, controles eléctricos, válvulas alrededor de los tanques y quemadores
Morado	Riesgos de radiación	Contenedor de materiales radiactivos y fuentes de radiación
Negro y blanco	Indicaciones de tránsito y tareas internas generales	Localización de pasillos, señalamientos de dirección, áreas libres en el suelo en las proximidades del equipo de emergencia

Gran parte de las máquinas herramientas cuentan con protecciones especiales con el fin de minimizar la probabilidad de que un trabajador resulte lesionado mientras trabaja en una de ellas. El problema es que muchas máquinas viejas no están protegidas adecuadamente. En estos casos, es imprescindible tomar acciones inmediatas para que se proporcione protección y que ésta trabaje bien y se utilice rutinariamente. Un método alterno consiste en proporcionar una máquina con dos botones como la que se muestra en la figura 8.20 para operaciones de prensado. Observe que los controles están separados una distancia considerable, de tal manera que las manos del operador se encuentran en una posición segura cuando la prensa se pone en funcionamiento. Dichos botones no deben requerir de elevados niveles de fuerza; de otra forma, es muy probable que se presenten lesiones como consecuencias de movimientos repetitivos. En realidad, los botones modernos pueden activarse a través de la "capacitancia de la piel" en lugar de depender de una presión mecánica. Una mejor alternativa podría consistir en automatizar el proceso, esto es, liberar completamente al operador de un punto de contacto o usar un manipulador robotizado en lugar del operador. En OSHA 1910.211-1901.222, *Machinery and Machina Guarding*, se pueden consultar detalles acerca de protecciones para máquinas.

Se debe incorporar un sistema de control de calidad y mantenimiento en el cuarto de herramientas y en los contenedores, de tal manera que sólo las herramientas que se encuentren en buen estado y sean confiables puedan ser utilizadas por los trabajadores. Algunos ejemplos de herramientas poco seguras que no deben estar en manos de los trabajadores son las máquinas herramienta con aislantes rotos, herramientas eléctricas que les falte conectores o alambres de tierra, herramientas sin filo, martillos con cabezas achatadas, discos molidote rectificado rotos y sin protección y herramientas con mangos separados o jaladoras rotas.

Existen también materiales potencialmente peligrosos y químicos riesgosos dignos de considerarse. Estos materiales pueden provocar una gran variedad de problemas de salud o seguridad y por lo general se dividen en tres categorías: corrosivos, tóxicos e inflamables. Entre los primeros se incluye una gran variedad de ácidos y cáusticos que pueden quemar y destruir el tejido humano al primer

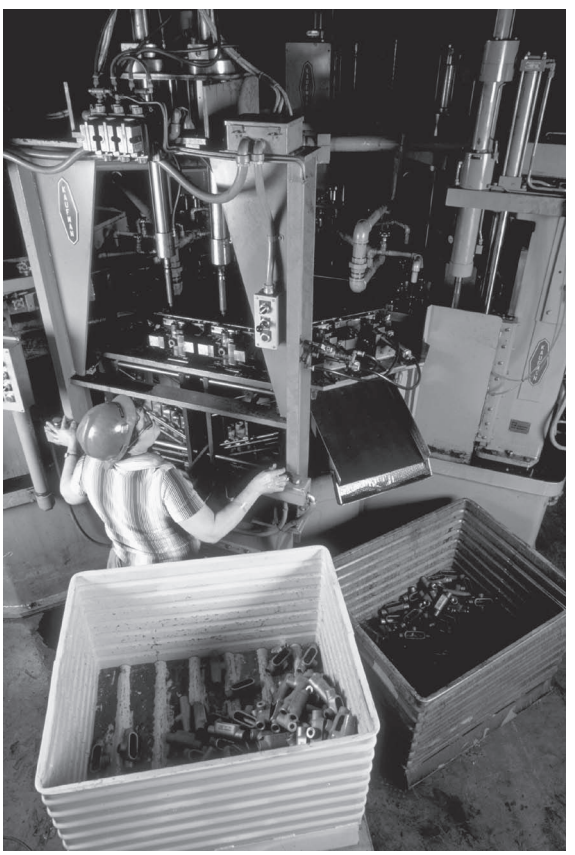


Figura 8.20 Operación de una prensa con dos botones. © Morton Beebe/CORBIS.

contacto. La acción química de los materiales corrosivos puede llevarse a cabo a través del contacto directo con la piel o por la inhalación de humos y vapores. Para evitar el daño potencial que trae como consecuencia el uso de materiales corrosivos, tome en cuenta las medidas siguientes:

1. Asegúrese de que los métodos para el manejo de materiales sean totalmente a prueba de error.
2. Evite cualquier derramamiento o salpicadura, especialmente durante los procesos iniciales de entrega.
3. Asegúrese de que los operadores expuestos a materiales corrosivos hayan usado y usen equipo de protección personal diseñado adecuadamente y los procedimientos de eliminación y disposición de desperdicios.
4. Asegúrese de que el dispensario y el área de primeros auxilios estén equipados con las provisiones necesarias para emergencias, como regaderas a presión y para lavados de ojos.

Entre los materiales tóxicos e irritantes se destacan los gases, líquidos o sólidos que envenenan el cuerpo o interrumpen los procesos normales mediante su ingestión, la absorción a través de la piel o la inhalación. Para controlar este tipo de materiales, utilice los siguientes métodos:

1. Aísle completamente el proceso de los trabajadores.
2. Proporcione una ventilación adecuada.
3. Suministre equipo de protección personal confiable a sus trabajadores.
4. Siempre que le sea posible, utilice materiales no tóxicos y no irritantes.

En OSHA 1910.1000-1910.1200, *Toxic and Hazardous Substances*, se pueden encontrar más detalles acerca de materiales tóxicos.

Además, de acuerdo con las regulaciones de la OSHA, la composición de cada uno de los compuestos químicos debe precisarse, se deben determinar sus riesgos y establecerse las medidas de control adecuadas para proteger a los empleados. Esta información debe ser presentada de manera clara a los trabajadores con etiquetas y hojas de datos respecto de la seguridad del material (MSDS). En OSHA 1910.1200, *Hazard Communications*, se puede consultar información adicional acerca de este proceso (llamado *HAZCOM*).

Los materiales inflamables y agentes oxidantes fuertes constituyen riesgos de explosión e incendio. Se puede presentar la ignición espontánea de materiales combustibles cuando no haya ventilación suficiente para remover el calor en un proceso de oxidación lenta. Para evitar dichos incendios, es necesario que los materiales combustibles se almacenen en áreas secas, frías y bien ventiladas. Cuando se trate de pequeñas cantidades, deben almacenarse en contenedores metálicos cerrados. Algunos polvos combustibles, como el aserrín, no son explosivos. Sin embargo, se pueden presentar explosiones cuando dichos polvos son tan finos que puedan encenderse. Con el fin de eliminar la posibilidad de explosiones, evite las igniciones mediante el uso de sistemas adecuados de ventilación y del control de los procesos de manufactura para minimizar la generación de polvo y la liberación de gases y vapores. Estos últimos pueden removerse de las corrientes de aire mediante la absorción de líquidos y sólidos, la absorción en sólidos, la condensación y la combustión catalítica e incineración. En el proceso de absorción, el gas o vapor se distribuye en el líquido colector que se encuentra en torres especialmente diseñadas para ello, como las columnas de placa con gorro de burbuja, torres empacadas, torres de rocío y limpiadores de celdas húmedas. La adsorción de los gases y vapores utilizan una gran variedad de adsorbentes sólidos como el carbón con gran afinidad por ciertas sustancias como el benceno, tetracloruro de carbono, cloroformo, óxido nitroso y acetaldehído. En OSHA 1910.106, *Flammable and Combustible Liquids*, se puede consultar más información acerca de materiales inflamables.

En caso de encendido de materiales inflamables, el sofocamiento del fuego resultante se basa en los principios relativamente simples del triángulo de incendios (aunque su implantación no siempre es tan sencilla). Existen tres componentes, llamados las piernas del triángulo, que deben coexistir para que se produzca un incendio: oxígeno (u oxidante en las reacciones químicas), combustible (o agente reductor en las reacciones químicas) y calor o ignición. La remoción de cualquiera de ellos sofoca el fuego (o hace caer el triángulo). Rociar agua para sofocar el incendio en una casa enfría el fuego (remueve el calor) y también diluye el oxígeno. Utilizar espuma (o cubrir el fuego con una sábana) remueve el oxígeno del incendio. Separar los troncos en un incendio en el campo remueve el combustible. Un ejemplo más práctico: por lo general, en las plantas hay sistemas extintores

fijos como rociadores de agua y extintores de fuego portátiles, que se categorizan por tamaños y medidas. Los cuatro tipos básicos son clase A para combustibles ordinarios, que pueden contener agua o espuma; clase B, para líquidos inflamables, que típicamente utilizan espuma; clase C, para equipo eléctrico que utiliza espumas no conductoras, y clase D para metales oxidantes. En OSHA 1910.155-1910-165, *Fire Protection*, se puede consultar más información acerca de la extinción de incendios.

RESUMEN

En este capítulo, en el que se estudiaron los fundamentos de la seguridad, se incluyó el proceso de prevención de accidentes, comenzando con las diferentes teorías acerca de sus causas; el uso de la probabilidad para la comprensión de la confiabilidad de sistemas, administración de riesgos y análisis de árbol de fallas; el uso del análisis costo-beneficio y otras herramientas para la toma de decisiones; diferentes herramientas estadísticas para la supervisión del éxito de los programas de seguridad; control básico de riesgos, y regulaciones federales de seguridad relacionadas con la industria. Aquí sólo se presentaron los fundamentos del control de riesgos. Los detalles específicos acerca de los riesgos específicos en el lugar de trabajo pueden consultarse en un gran número de textos convencionales acerca de seguridad, tales como Asfahl (2004), Banerjee (2003), Goetsch (2005), Hammer y Price (2001), National Seafty Council (2000) y Spellman (2005). Sin embargo, debe haber suficiente información para que el ingeniero industrial comience un programa de seguridad con el objetivo de proporcionar un ambiente de trabajo seguro para los empleados.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la diferencia entre la prevención de accidentes y la administración de la seguridad?
2. ¿Cuáles son los pasos del proceso de prevención de accidentes?
3. Describa las "fichas" de la teoría del dominó. ¿Cuál es el aspecto clave de este método?
4. ¿Cómo afecta la causa múltiple la prevención de accidentes?
5. Compare y contraste los modelos unidad de cambio de vida, motivación-recompensa-satisfacción y ABC.
6. Explique el significado del uso del análisis chi-cuadrada para prevenir accidentes.
7. ¿Cuál es el propósito del análisis de riesgos en la prevención de accidentes?
8. ¿Qué es la alerta roja?
9. Analice la diferencia entre eventos mutuamente excluyentes e independientes.
10. ¿De qué formas se puede mejorar la confiabilidad de un sistema?
11. Compare y contraste las compuertas AND y OR.
12. ¿Qué es la criticidad y qué papel juega en el análisis costo-beneficio?
13. Compare y contraste la ley común y la escrita.
14. ¿Cuál es la diferencia entre responsabilidad y responsabilidad estricta?
15. ¿Cuál es la diferencia entre negligencia, negligencia bruta y negligencia por sí misma?
16. ¿Cuál es la diferencia entre daños compensatorios y daños punitivos?
17. Antes de que existiera la indemnización para los trabajadores, ¿cuáles fueron las tres condiciones legales que utilizaban los empleadores para prohibir que un operario lesionado recibiera los beneficios que le correspondían?
18. ¿Cuáles son los tres requisitos principales para obtener la indemnización de los trabajadores?
19. Compare y contraste las cuatro categorías de discapacidades reconocidas en la indemnización de los trabajadores.
20. ¿Cuál es la diferencia entre lesiones programadas y no programadas?
21. ¿Qué es una ley de tercera instancia?
22. ¿Cuáles son algunas de las formas mediante las cuales una compañía podría reducir sus costos relacionados con las indemnizaciones a sus trabajadores?
23. ¿Por qué es tan importante la cláusula de deberes generales de la OSHA?
24. ¿Qué tipos de menciones puede emitir la OSHA?
25. ¿Cuáles son los elementos principales del programa ergonómico propuesto por la OSHA?
26. ¿Cuál es la diferencia entre un riesgo y un peligro?
27. ¿Cuál es el método general que se utiliza en el control de riesgos?
28. Explique por qué un interruptor de hombre muerto representa un buen ejemplo de un diseño a prueba de fallas. Proporcione un ejemplo de dónde puede utilizarse.

29. ¿Qué es el factor de seguridad?
30. ¿Qué es el triángulo de incendios? Explique cómo se utilizan sus principios para extinguirlos.

PROBLEMAS

1. En el caso de los datos acerca de lesiones que se proporcionan en la tabla siguiente:
a) ¿Cuáles son los índices de severidad e incidencia en cada departamento?
b) ¿Qué departamento tiene un número más significativo de lesiones respecto a los demás?
c) ¿Qué departamento tiene un índice de severidad significativamente más elevado que los demás?
d) Como especialista en seguridad, ¿qué departamento consideraría usted primero? Explique su respuesta.

Departamento	Lesiones	Días no trabajados	Horas trabajadas
Fundido	13	3	450 000
Muelleo	2	0	100 000
Corte	5	1	200 000
Rectificado	6	3	600 000
Empacado	1	3	500 000

2. Un ingeniero que ajustaba la caja de engranes de una turbina de gran tamaño mientras funcionaba dejó caer una llave sobre los engranes. Como consecuencia, la turbina se desalineó completamente y se dañó de manera considerable. Por fortuna, el ingeniero sólo sufrió pequeñas laceraciones producidas por las piezas de metal que salieron volando. El ingeniero supuso que la llave de mango de metal simplemente se resbaló de sus grasosas manos.
a) Use las teorías de dominó y de múltiples causas para hacer un análisis del escenario del accidente.
b) Utilice el análisis de seguridad en el trabajo para sugerir las medidas de control (e indicar la eficacia relativa de cada una) que pudieron haber evitado las lesiones y los daños. ¿Cuál es su recomendación?

3. Dados $P(A) = 0.6, P(B) = 0.7, P(C) = 0.8, P(D) = 0.9, P(E) = 0.1$ y los eventos independientes, determine $P(T)$ de
a) $T = AB + AC + DE$
b) $T = A + ABC + DE$
c) $T = ABD + BC + E$
d) $T = A + B + CDE$
e) $T = ABC + BCD + CDE$

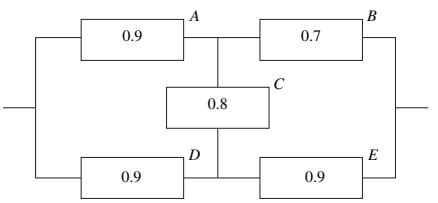
4. Realice un análisis costo-beneficio mediante el análisis del árbol de fallas en una escalera. Suponga que a lo largo del año anterior, superficies resbalosas provocaron tres accidentes, cinco fueron provocados por pasamanos inadecuados y tres por una persona que de manera negligente dejó herramientas y otros obstáculos sobre los escalones. El costo promedio de cada accidente fue de 200 dólares (el total por concepto de primeros auxilios, tiempo perdido, etc.). Suponga que se le han asignado 1 000 dólares para mejorar la seguridad de la escalera (a pesar de que no es necesario que gaste todos los recursos). Se pueden usar tres alternativas:
1. Nuevas superficies, las cuales reducirán 70% los accidentes causados por superficies resbalosas. Su costo es de 800 dólares.
2. Nuevos pasamanos, los cuales reducirán sólo 50% los accidentes provocados por pasamanos inapropiados (puesto que no todos los transeúntes utilizan pasamanos). Su costo es de 1 000 dólares.
3. Señalamientos y programas educativos. Se estima que cada uno de ellos reducirá 20% los accidentes con pasamanos y los relacionados con obstáculos (la gente lo olvida fácilmente). En este caso el costo es de sólo 100 dólares.

(Para calcular las probabilidades básicas de los eventos, suponga que la escalera se utiliza 5 veces por hora, 8 horas/día, 5 días/semana, 50 semanas/año.)
a) Dibuje un árbol de fallas que muestre la situación.
b) Evalúe todas las opciones (o combinaciones) con el fin de determinar la mejor asignación de los 1 000 dólares.

5. En un taller de pintura se pintan y tratan contenedores mediante el calor proveniente de un secador. Se requiere de tres componentes para comenzar un incendio en el taller de pintura y provocar un daño mayor: combustible, ignición y oxígeno. El oxígeno está siempre presente en la atmósfera y, por lo tanto, tiene una probabilidad de 1.0. La ignición puede provenir ya sea de una chispa debido a la electricidad estática (con una probabilidad de 0.01) o del sobrecalentamiento de un mecanismo de la secadora (0.05). El combustible es proporcionado por los vapores volátiles que pueden surgir de tres fuentes: vapores de la pintura durante el proceso de secado (0.9), el adelgazador de pintura que se utiliza para adelgazar la pintura (0.9) y el solvente que se emplea en la limpieza del equipo (0.3). Los daños materiales a consecuencia de un incendio pueden ascender a 100 000 dólares. Usted tiene tres opciones de solución para minimizar la probabilidad de un incendio mayor:
   1. Gastar 50 dólares para cambiar las operaciones de limpieza a otra sala, lo cual reduciría a 0.0 la probabilidad de tener vapores solventes en el área de pintura.
   2. Gastar 3 000 dólares en un sistema de ventilación nuevo lo cual reduciría a 0.2 la probabilidad de tener vapores de cada uno de los tres combustibles.
   3. Gastar 10 000 dólares en un nuevo tipo de pintura y un sistema de rociado que no libere vapores, lo cual reduciría la probabilidad de que aparezcan vapores de la pintura y del adelgazador de la pintura a 0.0.
      a) Dibuje un árbol de fallas y recomiende la solución más eficaz.
      b) Considere la teoría del dominó y aplíquela a este escenario. Asigne un nombre a cada una de las fichas en el orden apropiado y proporcione otras dos posibles soluciones que se puedan aplicar a este escenario.

6. *a*) Dibuje el árbol de fallas dado por la expresión booleana $T = AB + CDE + F$.
   b) La severidad de T es de 100 días perdidos por accidente. Las probabilidades de los eventos básicos son $A = 0.02$, $B = 0.03$, $C = 0.01$, $D = 0.05$, $E = 0.04$ y $F = 0.05$. ¿Cuál es la pérdida esperada asociada con el evento principal T como se da?
   c) Compare las dos alternativas desde el punto de vista costo-beneficio. ¿Cuál recomendaría usted?
      i) 100 dólares para reducir C y D a 0.005
      ii) 200 dólares para reducir F a 0.01

7. Calcule la confiabilidad del sistema. Suponga que los eventos son independientes.



8. Uno de los primeros aeroplanos de propulsión (el Tri-Motor de Ford) tenía tres motores, uno en el centro y los otros en cada una de las alas. Con esta configuración, el aeroplano podía volar con cualquiera de los dos motores o sólo con el del centro. Suponiendo que la confiabilidad de cada motor es de 0.9, ¿cuál es la confiabilidad total del aeroplano?

9. La NASA utiliza cuatro computadoras idénticas a bordo (esto es, tres son redundantes) para controlar al transbordador aeroespacial. Si la confiabilidad de cualquiera de estas computadoras es de 0.9, ¿cuál es la confiabilidad total del sistema?

10. Seleccione uno de los estándares OSHA 1910. Después analice las decisiones de la Comisión de Inspección de la OSHA respecto al estándar que escogió. ¿Existe alguna similitud entre los casos? ¿Quién ganó? ¿Fueron modificadas por los tribunales las menciones originales o multas aplicadas por la OSHA?

REFERENCIAS

Asfahl, C. R., *Industrial Safety and Health Management*, Nueva York: Prentice Hall, 2004.

Bahr, N. J., *System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach*, Londres: Taylor & Francis, 1997.

Banerjee, S., *Industrial Hazards and Plant Safety*, Londres: Taylor & Francis, 2003.

Bird, F. y G., Gemain. *Practical Loss Control Leadership*, Longanville, GA: International Loss Control Institute, 1985.

Brown, D. B., *Systems Analysis and Design for Safety*, Nueva York: Prentice-Hall, 1976.
Cox, S., *Safety, Reliability and Risk Management: An Integrated Approach*, Butterworth Heinemann, 1998.
Devore, J. L., *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, 6a. ed. Nueva York: Duxbury Press, 2003.
Ericson, C. A., *Hazard Analysis Techniques for System Safety*, Nueva York: Wiley-Interscience, 2005.
Goetsch, D. L., *Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers and Managers*, 5a. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2005.
Hammer, W. y D. Price, *Occupational Safety Management and Engineering*, 5a. ed. Nueva York: Prentice Hall, 2001.
Heinrich, H. W., D.Petersen y N. Roos, *Industrial Accident Prevention*, 5a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1980.
Holmes, T. H. y R. H. Rahe, "The Social Readjustment Rating Scale", en *Journal of Psychosomatic Research*, 11 (1967), pp. 213-218.
Laughery, K. y K. Vaubel, "Major and Minor Injuries at Work: Are the Circumstances Similar or Different?", en *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12 (1993), pp. 273-279.
National Safety Council, *Accident Prevention Manual for Industrial Operations*, 12a. ed. Chicago: National Safety Council, 2000.
OSHA, *Code of Federal Regulations—Labor*, 29 CFR 1910. Washington, DC: Office of the Federal Register, 1997.
OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, OSHA 3123. Washington, DC: The Bureau of National Affairs, Inc., 1990.
Skinner, B. F., "Superstition´ in the Pigeon", en *Journal of Experimental Psychology*, 38 (1947), pp. 168-172.
Spellman, F. R., *Safety Engineering: Principles and Practices.* Lanham, MD: Government Institutes, 2005.

SITIOS EN INTERNET

Página en internet de la NIOSH: http://www.cdc.gov/niosh/
Consultores de la OSHA: http://www.osha.gov/dcsp/smallbusiness/consult_directory.html
Página en internet de la OSHA: http://www.oshrc.gov
Página en internet de la Comisión Revisora de la OSH: http://www.oshrc.gov

Implantación del método propuesto

CAPÍTULO 9

PUNTOS CLAVE

- Decidir entre métodos alternativos usando ingeniería de valor, análisis costo-beneficio, gráficas de cruce y análisis económico.
- *Vender* el método nuevo; las personas son resistentes al cambio.
- Establecer las tasas básicas apropiadas usando evaluaciones de puesto confiables.
- Dotar a los trabajadores con todas las capacidades.

Presentar e instalar el método propuesto es el quinto paso del desarrollo sistemático de un centro de trabajo para fabricar un producto o realizar un servicio. Sin embargo, el analista primero debe elegir cuál de los métodos propuestos debe presentar. Varios métodos alternativos pueden ser factibles, algunos más eficaces que otros, algunos más costosos que otros. En este capítulo se presenta una variedad de herramientas para la toma de decisiones que ayudan al analista a seleccionar la mejor alternativa. Obviamente, en la definición de *mejor* pueden estar comprendidos muchos factores y estas herramientas ayudarán al analista a ponderar apropiadamente los factores.

Vender el método propuesto es el siguiente, y quizás el más importante, elemento del procedimiento de presentación. Este paso es tan importante como cualquiera de los anteriores, ya que un método que no se vende por lo general no se instala. No importa qué tan profundos sean la recopilación y el análisis de datos, ni qué tan ingenioso sea el método propuesto, el valor del proyecto es cero a menos que se instale.

Los seres humanos rechazan de manera natural los intentos de otros por influir en su pensamiento. Cuando alguien se acerca con una idea nueva, la reacción instintiva es defenderse de ella y oponerse a cualquier cambio. Las personas sentimos que debemos proteger nuestra individualidad, preservar la santidad de nuestros egos. Todos somos suficientemente egocéntricos como para convencernos de que nuestras ideas son mejores que las de cualquier otra persona. Para nosotros, es natural reaccionar de esta manera, aun cuando la nueva idea nos beneficie. Si la idea es meritoria, existe la tendencia a rechazarla porque no pensamos en ella primero.

La presentación del método propuesto debe incluir la toma de decisiones que llevó a la elección del diseño final y debe hacer hincapié en los ahorros en materiales y mano de obra que podrían lograrse con él. Enseguida, deben destacarse las mejoras en la calidad y confiabilidad que se obtendrán cuando el método mejorado haya sido instalado. Por último, debe abordarse el tiempo de recuperación de la inversión de capital. Sin una recuperación de costos razonable, el proyecto no tendrá viabilidad.

Una vez que el método propuesto ha sido presentado y vendido, se puede instalar. La instalación, al igual que la presentación, requiere habilidades de ventas. Durante la instalación, el analista debe

continuar vendiendo el método propuesto a los ingenieros y a los técnicos en su propio nivel, a los ejecutivos y supervisores, y a los trabajadores y representantes de la mano de obra organizada.

9.1 HERRAMIENTAS PARA LA TOMA DE DECISIONES

TABLAS DE DECISIÓN

Las *tablas de decisión* representan un enfoque estructurado para eliminar la subjetividad de la toma de decisiones, es decir, determinar cuál cambio de método debe implantarse mediante una elección entre varias alternativas. En esencia, las tablas consisten en enunciados de condición-acción, semejantes a los enunciados del tipo si-entonces de los programas de computadora. *Si* la condición o combinación de condiciones correcta existe, *entonces* se realizan acciones específicas. De esta forma, las tablas pueden describir de manera poco ambigua sistemas de decisión complejos con reglas y variables múltiples.

Tales tablas de decisión, también conocidas como *tablas de acción de riesgo*, se utilizan con frecuencia en programas de seguridad para especificar ciertas acciones que se deben realizar en condiciones riesgosas dadas (Gausch, 1972). El riesgo puede identificarse mediante dos variables diferentes: frecuencia, o con qué asiduidad es posible que ocurra el accidente; y la severidad, o qué serios serán los daños. La frecuencia puede clasificarse como extremadamente remota, remota, razonablemente probable y altamente probable, mientras que la severidad tiene niveles de despreciable, marginal, crítica y catastrófica. El resultado es una tabla de acciones ante riesgos con cinco planes, como se muestra en la tabla 9.1.

Considere la columna derecha marcada con un asterisco. El analista podría concluir que una condición que es altamente probable y que generaría una catástrofe, con muerte posible o lesiones severas del personal, debe eliminarse de inmediato cancelando por completo la operación. Obviamente, éste es un ejemplo simplificado que puede apreciarse mentalmente. Sin embargo, si existen 20 estados de cada una de las dos variables, entonces existen 400 categorías de condiciones, que no se pueden recordar con facilidad. En general, las tablas de decisión hacen hincapié en una toma de decisiones de mayor calidad a través de técnicas de análisis de decisión y de una menor presión temporal; es decir, los planes de acción pueden trabajarse con anticipación en vez de enfrentarse a presiones instantáneas, que posiblemente conducen a cometer errores.

Tabla 9.1 Tabla de acciones de riesgos

	Severidad															
Frecuencia	**Despreciable**				**Marginal**				**Crítica**				**Catastrófica**			
Extremadamente remota	■				■				■				■			
Remota		■				■				■				■		
Razonablemente probable			■				■				■				■	(*)
Probable				■				■				■				■
Acciones																
Olvidarlo	■															
Estudio amplio		■	■	■												
Corregir (1 año)					■	■	■	■								
Corregir (90 días)									■	■						
Corregir (30 días)											■	■	■			
Cerrar														■	■	■

Fuente: Heinrich, Petersen y Roos, 1980.

INGENIERÍA DE VALOR

Una forma sencilla de ampliar la evaluación de alternativas es aplicar números y formar una matriz de pagos. Con frecuencia, este proceso se denomina *ingeniería de valor* (Gausch, 1974). Cada solución puede tener diferentes valores respecto a los beneficios deseados. Se determina un peso para cada beneficio (un rango razonable es de 0 a 10) y después se asigna un valor (de 0 a 4, donde 4 es el mejor) para reflejar qué tan bien produce cada solución el resultado deseado. El valor asignado se multiplica por la ponderación adecuada y los productos se suman para obtener la calificación final. La suma más alta es la solución más apropiada.

Observe que los beneficios tendrán diferentes ponderaciones relativos en distintas compañías, en diferentes departamentos de una compañía o incluso en momentos distintos en el mismo departamento. También observe que el paso de evaluación de alternativas en la planeación sistemática de la distribución de Muther (vea la sección 3.8) es una forma de ingeniería de valor.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Un enfoque más cuantitativo para decidir entre diferentes alternativas es un *análisis costo-beneficio*. Este enfoque consta de cinco pasos:

1. Determinar qué cambia debido a un mejor diseño, es decir, incremento de la productividad, mejor calidad, menos lesiones, etcétera.
2. Cuantificar estos cambios (beneficios) en unidades monetarias.
3. Determinar el costo que se necesita para implantar los cambios.
4. Dividir el costo entre el beneficio de cada alternativa, con lo que se crea una razón.
5. La razón más pequeña determina la alternativa deseada.

El paso 2 es quizás el más difícil de evaluar y cuantificar. No siempre es posible asignar valores en dólares; algunas veces pueden ser cambios porcentuales, número de lesiones u otros valores. El ejemplo 9.1 puede ayudar a entender las tres herramientas para la toma de decisiones. En Brown (1976) se presentan otros ejemplos de análisis costo-beneficio relacionados con beneficios menos fáciles de definir, como aspectos de salud y seguridad.

Operación de corte — EJEMPLO 9.1

Dorben Co. fabrica hojas de cuchillo sencillas y pequeñas, insertadas en un mango de plástico. Una de las operaciones en el formado de la hoja es el corte de las piezas a partir de una tira delgada de acero inoxidable en una prensa operada mediante un pedal. Mediante pinzas, el trabajador toma una punta de hule del contenedor de partes y la inserta en la hoja para protegerla. Después de activar la prensa, coloca la hoja cortada en una placa de sujeción para después ensamblarla en el mango (¡un buen ejemplo del uso eficaz del therblig *preposicionamiento*!). Debido al pequeño tamaño de la hoja, se usa un estereoscopio para ayudar en la operación. Los operarios se quejan de dolor en muñecas, cuello, espalda y tobillos. Los cambios posibles que se pueden introducir al método incluyen 1) el reemplazo del pedal mecánico por un interruptor eléctrico operado con el pie, para reducir la fatiga del tobillo; 2) mejor ajuste de la posición del estereoscopio para reducir la fatiga del cuello; 3) implantación de un sistema de videoproyección para observar con la cabeza hacia arriba; 4) uso de un contenedor de alimentación por gravedad para las puntas, con el propósito de mejorar la productividad, y 5) sustituir las pinzas por una pluma operada al vacío, para mejorar la productividad y eliminar un potencial desorden por traumas acumulativos (CTD) que causa el agarre de contracción.

Suponga las mejoras a la productividad que se muestran en la tabla 9.2, con base en un análisis MTM-2 (vea la sección 13.1) y la reducción de lesiones basadas en el índice de riesgo CTD que se muestra en la figura 5.25.

La política de la compañía permite a los ingenieros a proceder, sin otra autorización, si las condiciones 1 y 2 o bien la 3 se cumplen: 1) los costos de implantación son menores a 200 dólares (es decir, poco costoso), 2) el aumento de la productividad es mayor a 5%, 3) los riesgos de lesiones disminuyen más de 33%. En términos de tablas de decisión, la situación se puede estructurar como se muestra en la tabla 9.3.

Tabla 9.2 Cambios esperados en la productividad, riesgo potencial de lesiones y costo de diferentes cambios de método en la operación de corte.

Diseño del trabajo y cambios en métodos	Δ Productividad (%)	Δ riesgo de CTD(%)	Costo ($)
1. Interruptor eléctrico operado con el pie	0	–1*	175
2. Ajuste de estereoscopio	0	–2	10
3. Sistema de videoproyección	+1**	–2	2 000
4. Alimentador por gravedad	+7	–10	40
5. Pluma de vacío	+1**	–40	200

*EI índice de riesgo de CTD actual no incluye extremidades inferiores. Sin embargo, hay razones para creer que al aplicar menos fuerza con el interruptor eléctrico se tendrá algún efecto benéfico.

**No se puede cuantificar con MTM-2, pero se espera algún beneficio.

Tabla 9.3 Tabla de decisión de la operación de corte.

	Condiciones				Acción
Cambios en métodos	**1**	**2**	**3**	**Política**	
1. Interruptor eléctrico	■				—
2. Ajuste de estereoscopio	■				—
3. Sistema de videoproyección					—
4. Alimentador por gravedad	■	■		■	Proceder
5. Pluma al vacío	■		■	■	Proceder

Tabla 9.4 Análisis de ingeniería de valor de la operación de corte

Evaluación de alternativas

Planta: Dorben Co.		**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	
Proyecto: Operación de corte	**Alternativas**	Interruptor eléctrico	Ajuste de estereoscopio	Videoproyección	Alimentador por gravedad	Pluma al vacío	
Fecha: 6-12-97							
Analista: AF							
		Calificaciones y calificaciones ponderadas					**Comentarios**
Factor/consideración	**Wt**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	
Aumento de productividad	6	0 0	0 0	1 6	3 18	1 6	
Disminución de lesiones	4	1 4	1 4	1 4	2 8	3 12	
Solución de bajo costo	8	3 24	4 32	1 8	4 32	3 24	
Totales		28	36	18	58	42	

Observaciones:
El alimentador por gravedad es el cambio de método más justificable.

En términos de ingeniería de valor, se pueden asignar ponderaciones de 6, 4 y 8 a los tres factores de interés: mayor productividad, disminución de las tasas de lesiones y soluciones de bajo costo (vea la tabla 9.4). Cada solución se califica de 0 a 4 para cada uno de los factores. Las sumas de productos resultantes son 28, 36, 18, 58 y 42, y resulta claro que el cambio al alimentador por gravedad es la mejor solución, pues presenta un valor de 58.

Para realizar un análisis costo-beneficio, pueden cuantificarse los beneficios anticipados tanto por el incremento de la productividad, como por la disminución de las tasas de lesiones. Suponga que la compañía gana $645 por cada 1% de aumento de la productividad en el curso de un año. De manera semejante, una disminución de las compensaciones y los costos médicos debida al decrecimiento en las lesiones por DTA puede considerarse un beneficio. La compañía ha promediado un caso de CTD con consecuencias quirúrgicas cada cinco años de operación. Si se supone que un caso de cirugía de CTD le cuesta a la compañía $30 000, la pérdida anual esperada es de $6 000. Por cada disminución de 1% del riesgo, la compañía se beneficia con $60 anuales. Los incrementos de productividad y las disminuciones de las tasas de lesiones se pueden cuantificar como se muestra en la tabla 9.5.

A partir de la tabla 9.5, es obvio que para cualquier razón menor que 1 (cambios en los métodos 2, 4, 5 y 6) no hay más beneficios que los costos necesarios para implantar los cambios de métodos. Por otro lado, el cambio de método 4 es mucho más eficaz en costo. Resulta interesante observar que una combinación de cambios de los métodos 2, 4 y 5 (alternativamente 6) puede ser valiosa si se consideran las cantidades gastadas de dinero que son comparativamente pequeñas.

Tabla 9.5 Análisis costo-beneficio de la operación de corte

	Beneficio ($)				
Cambios de método	**Productividad**	**Tasa de lesiones**	**Total**	**Costo ($)**	**Costo-beneficio**
1. Interruptor eléctrico	0	60	60	175	2.92
2. Ajuste de estereoscopio	0	120	120	10	0.08
3. Sistema de videoproyección	645	120	465	2 000	2.61
4. Alimentador por gravedad	4 515	600	5 115	40	0.01
5. Pluma al vacío	645	2 400	3 045	100	0.03
6. Cambios en los métodos 2, 4, 5	5 160	3 120	8 280	150	0.02

GRÁFICAS DE CRUCE

Las *gráficas de cruce* (o *de punto de equilibrio*) son muy útiles para comparar los tiempos de recuperación de cambios de método alternativos. Se puede usar equipo de propósito general con costos de capital bajo pero costos de preparación más altos, mientras que otros pueden utilizar equipo especial con un costo de capital más alto pero costos de preparación menores. A cierta cantidad de producción, los dos métodos son iguales y éste es el *punto de cruce*. Lo anterior se relaciona con el error más común que cometen los planeadores. Enormes cantidades de dinero se relacionan con dispositivos que muestran grandes ahorros mientras se usan, pero se emplean muy pocas veces. Por ejemplo, un ahorro de 10% en costos de mano de obra directa para un trabajo de uso constante probablemente justificaría un gasto mayor en herramientas que un ahorro de 80 o 90% en trabajos pequeños que aparecen en la programación de la producción sólo unas cuantas veces al año (un buen ejemplo del análisis de Pareto de la sección 2.1).

La ventaja económica que resulta de menores costos de mano de obra es el factor de control cuando se deben determinar las herramientas; en consecuencia, los dispositivos o mecanismos pueden ser deseables incluso cuando sólo se involucran pequeñas cantidades de ellos. Otras consideraciones, como mejora de la intercambiabilidad, aumento de la precisión o reducción de problemas con la mano de obra pueden proporcionar la razón dominante para herramientas elaboradas, aunque usualmente esto no sucede.

TOMA DE DECISIONES CON CRITERIOS MÚLTIPLES

La toma de decisiones en presencia de criterios múltiples, a menudo en conflicto, puede enfocarse mediante un proceso relativamente nuevo llamado *toma de decisiones con criterios múltiples*

(MCDM), desarrollado por Saaty (1980). Por ejemplo, suponga que un analista tiene que considerar cuatro alternativas: a_1, a_2, a_3, a_4, que se aplicarían a cuatro posibles estados del producto o mercado S_1, S_2, S_3, S_4. También suponga que este analista estima los siguientes resultados para las alternativas y estados del mercado:

	Estados del producto o mercado				
Alternativas	S_1	S_2	S_3	S_4	**Total**
a_1	0.30	0.15	0.10	0.06	0.61
a_2	0.10	0.14	0.18	0.20	0.62
a_3	0.05	0.12	0.20	0.25	0.62
a_4	0.01	0.12	0.35	0.25	0.23
Total	0.46	0.53	0.83	0.76	

Si los resultados representan ganancias o rendimientos y el estado del mercado será S_2, entonces él se debe decidir definitivamente por la alternativa a_1. Si los resultados representan desperdicio o algún otro factor que el analista quiera minimizar, entonces debe elegir la alternativa a_3. (Aunque a_4 también tiene un resultado de 0.12, el analista elige a_3, porque hay menos variabilidad en el resultado en esta alternativa que con a_4.) Pocas veces se pueden tomar decisiones con una certidumbre supuesta. Usualmente, cuando se predice el estado futuro del mercado, se involucra algún riesgo. Suponga que el analista es capaz de estimar los siguientes valores de probabilidad asociados con cada uno de los cuatro estados del mercado:

S_1	0.10
S_2	0.70
S_3	0.15
S_4	0.05
	1.00

EJEMPLO 9.2 Análisis de cruce de costos de soportes y herramental

El ingeniero de producción de un departamento de maquinado ha diseñado dos métodos alternativos que involucran herramientas diferentes para un trabajo de maquinado en el taller. Los datos de los métodos actual y propuesto se muestran en la tabla 9.6. ¿Qué método sería más económico en vista de la actividad? La tasa salarial base es $9.60 por hora. La actividad estimada es de 10 000 piezas por año. Los dispositivos se capitalizan y deprecian en 5 años. Un analista de costos revela que el costo unitario total de $0.077, representado por la alternativa 2, es el más económico en el largo plazo.

Una gráfica de cruce (vea la figura 9.1) permite al analista decidir qué método tiene que usar para cumplir los requerimientos de cantidad dados. El método actual es el mejor para cantidades hasta de aproximadamente 7 700 unidades por año:

$$(0.137 + 0.0006)x + 0 = (0.097 + 0.001\backslash x + 300$$
$$x = 300/(0.137 - 0.098) = 7\,692 \approx 7\,700$$

El método alternativo 1 es mejor para cantidades entre 7 700 y 9 100 unidades por año:

$$(0.097 + 0.001)x + 300 = (0.058 + 0.007\backslash x + 600$$
$$x = 300/(0.098 - 0.065) = 9\,090 \approx 9\,100$$

y el método 2 es el mejor para cantidades superiores a 9 100 al año. Observe que en este último enfoque, los costos de los soportes se absorbieron desde el principio, mientras que los costos de herramental se consideraron como gastos de suministros.

Tabla 9.6 Costos de soportes y herramental

Método	Tiempo estándar (min)	Costo de soporte	Costo de herramental	Vida promedio de herramienta	Costo unitario de mano de obra directa	Costo unitario de soporte	Costo unitario de herramental	Costo unitario total
Método actual	0.856 cada uno	Ninguno	$6	10 000 piezas	$0.137	Ninguno	$0.0006	$0.1376
Alternativa 1	0.606 cada uno	$300	20	20 000 piezas	0.097	$0.006	0.0010	0.104
Alternativa 2	0.363 cada uno	600	35	5 000 piezas	0.058	0.012	0.0070	0.077

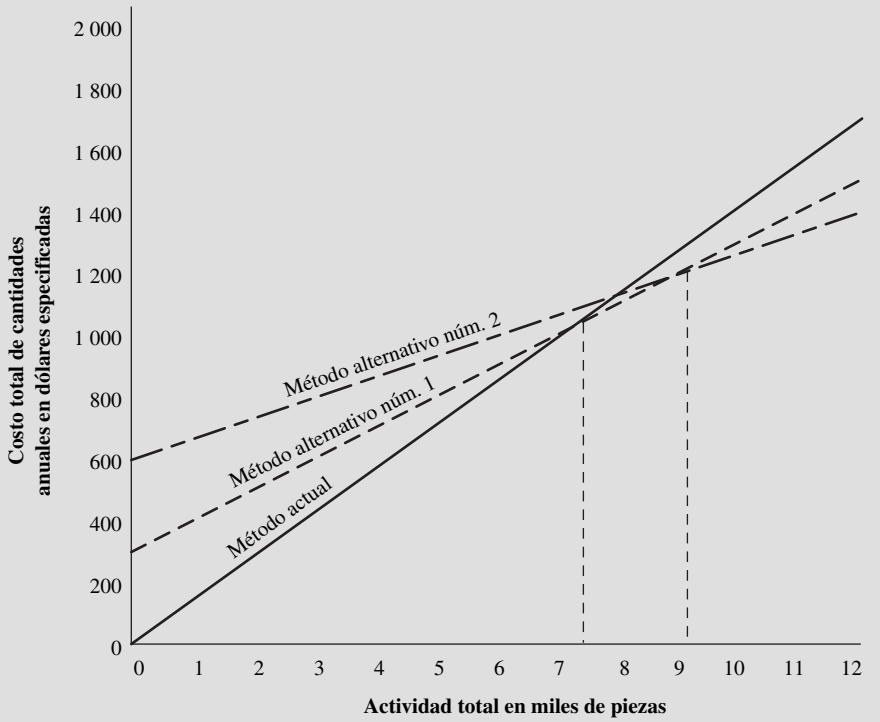


Figura 9.1 Gráfica de cruce (de punto de equilibrio) de costos de dispositivos y herramientas.

Análisis de cruce de métodos en competencia

EJEMPLO 9.3

El volumen insuficiente puede hacer impráctico considerar muchas propuestas alternativas que pueden ofrecer ahorros sustanciales sobre los métodos existentes. Por ejemplo, una operación hecha en una prensa de taladro implica una perforación de 5 pulgadas rebajada hasta la tolerancia de 0.500 a 0.502 pulgadas. La actividad del trabajo se estimó en 100 000 piezas. El departamento de estudio de tiempos estableció un estándar de 8.33 horas por millar para realizar la operación de rebajado y el dispositivo para hacerlo cuesta $2 000. Como la tasa básica era de $7.20 por hora, la tasa monetaria por cada mil piezas era de $60.

Ahora suponga que un analista de métodos sugiere escariar el diámetro interior debido a que la parte se puede escariar a una velocidad de 5 horas por millar. Esta modificación ahorraría 3.33 horas por cada mil piezas, esto es, un ahorro total de 333 horas. A la tasa básica de $7.20, esto significaría un ahorro en mano de obra directa de $2 397.60. Sin embargo, no sería práctico llevar a cabo esta idea porque el costo de la herramienta para escariar es de $2 800. Entonces, el cambio no sería razonable a menos que en mano de obra se pudieran ahorrar $2 800 para compensar el costo de las nuevas herramientas.

Como los ahorros en mano de obra con la nueva preparación para escariar serían de $3.33 \times \$7.20$ por millar, tendrían que ordenarse 116 800 piezas para justificar el cambio en las herramientas.

$$\frac{\$2\,800 \times 1\,000}{\$7.20 \times 3.33} = 116\,783 \text{ piezas}$$

Sin embargo, si el método de escariado se hubiese usado originalmente en lugar del procedimiento de rebaje, la herramienta se hubiese pagado sola en

$$\frac{\$2\,800 - \$2\,000}{\$7.20 \times 3.33/M} = 33\,367 \text{ piezas}$$

Con requerimientos de producción de 100 000 piezas, el ahorro en mano de obra sería de $3.33 \times \$7.20 \times 66.6$ miles (la diferencia entre 100 000 y 33 400) = \$1 596.80 sobre el método de rebaje actual. Si se hubiese hecho un análisis de movimientos en la etapa de planeación, este ahorro hubiese podido alcanzarse. En la figura 9.2 se ilustran estas relaciones con la gráfica de cruce ya conocida.

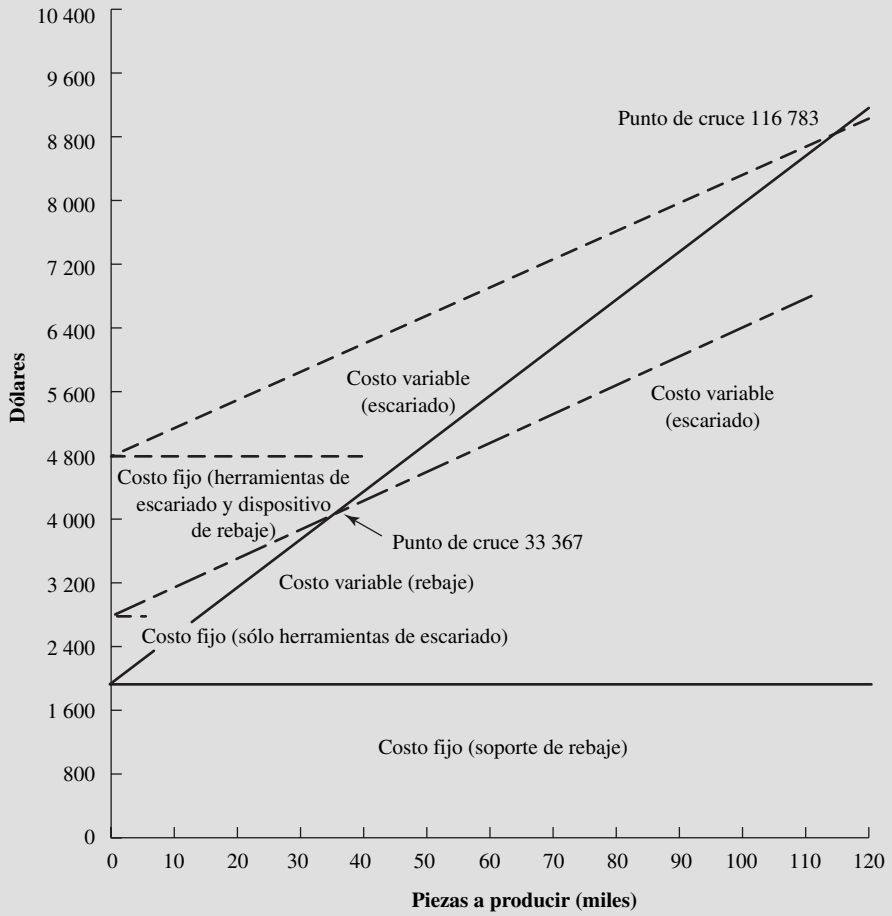


Figura 9.2 Gráfica de cruce que ilustra los costos fijos y variables de dos métodos en competencia.

Una estrategia de toma de decisiones lógica sería calcular el rendimiento esperado en cada alternativa de decisión y después seleccionar el valor más grande para maximizar o el valor más pequeño para minimizar. Aquí,

$$E(a) = \sum_{j=1}^{n} P_j C_{ij}$$
$$E(a_1) = 0.153$$
$$E(a_2) = 0.145$$
$$E(a_3) = 0.132$$
$$E(a_4) = 0.15$$

de esta forma, la alternativa a_1 se elegiría para maximizar el resultado deseado.

Una estrategia diferente de toma de decisiones sería considerar el estado del mercado que tiene la mayor oportunidad de ocurrir. A partir de los datos dados, este estado sería S_2 puesto que tiene una probabilidad de 0.70. La elección, basada de nuevo en el futuro más probable, sería la alternativa a_1, con un rendimiento de 0.15.

Una tercera estrategia para la toma de decisiones se basa en el *nivel de aspiración.* Aquí, se asigna un valor C_{ij} al resultado, que representa la consecuencia de lo que se está dispuesto a aceptar si se tiene una seguridad razonable de que se obtendrá, al menos la mayor parte del tiempo, esta consecuencia. Este valor asignado puede ser considerado para representar un nivel de aspiración, que se denotará como A. Entonces, para cada a_j, se determina la probabilidad de que la C_{ij} conectada con cada alternativa de decisión sea mayor o igual que A. Se selecciona la alternativa con la mayor $P(C_{ij} \geq A)$.

Por ejemplo, si se asigna a A el valor de consecuencia de 0.10, se tiene lo siguiente:

$$(C_{ij} \geq 0.10)$$
$$a_1 = 0.95$$
$$a_2 = 1.00$$
$$a_3 = 0.90$$
$$a_4 = 0.90$$

Como la decisión alternativa a_2 tiene la mayor $P(C_{ij} \geq A)$, dicha decisión es recomendable.

Es posible que los analistas no puedan asignar con confianza valores de probabilidad a los diferentes estados del mercado y por ende quieran considerar que algunos de ellos son igualmente probables. Una estrategia de toma de decisiones que puede usarse en estas condiciones se basa en el *principio de razón insuficiente*, ya que no hay razón para esperar que cualquier estado sea más probable que otro. En este caso, se calculan los diferentes valores esperados con base en

$$E(a) = \frac{\sum_{j=1}^{n} C_{ij}}{n}$$

En nuestro ejemplo, los resultados serían

$$E(a_1) = 0.153$$
$$E(a_2) = 0.155$$
$$E(a_3) = 0.155$$
$$E(a_4) = 0.183$$

Con base en estas elecciones, se propondría la alternativa cuatro.

Una segunda estrategia que pueden considerar los analistas cuando deben tomar decisiones bajo incertidumbre se basa en el *criterio de pesimismo*. Cuando alguien es pesimista espera lo peor. Por lo tanto, en un problema de maximización, se elegiría la consecuencia mínima de cada alternativa de decisión. El analista compara esos valores mínimos y selecciona la alternativa que tiene el máximo de los valores mínimos. En nuestro ejemplo:

Alternativa	C_{ij} mín
a_1	0.06
a_2	0.10
a_3	0.05
a_4	0.01

Aquí, se recomendaría la alternativa a_2 porque su valor mínimo de 0.10 es un máximo cuando se lo compara con los valores mínimos de las otras alternativas.

El *criterio de especulación* es la tercer estrategia que los analistas pueden considerar para la toma de decisiones. Este criterio se basa en un enfoque optimista. Si alguien es optimista, siempre espera lo mejor, sin que importe la alternativa elegida. Por lo tanto, en un problema de maximización, el analista seleccionaría el valor C_{ij} máximo de cada alternativa y después elegiría la alternativa con el mayor de estos valores máximos. Entonces

Alternativa	C_{ij} mín
a_1	0.30
a_2	0.20
a_3	0.25
a_4	0.35

Aquí se recomendaría la alternativa a_4 por su valor máximo de 0.35.

La mayoría de los tomadores de decisiones no son completamente optimistas o pesimistas. En vez de ello, se establece un coeficiente de optimismo, X, donde

$$0 \leq X \leq 1$$

Después se determina Q_i de cada alternativa, donde

$$Q_i = (X)(C_{ij}\ \text{máx}) + (1 - X)(C_{ij}\ \text{mín})$$

La alternativa recomendada es la asociada con la máxima Q_i para maximizar y la mínima Q_i para minimizar.

Un último enfoque para la toma de decisiones bajo incertidumbre es el *criterio de arrepentimiento minimax*. Este criterio implica el cálculo de una *matriz de arrepentimiento*. Con base en un estado del mercado, el analista calcula el valor de arrepentimiento de cada alternativa. Este valor es la diferencia entre el pago recibido en realidad y el pago que se hubiese recibido si el tomador de decisiones hubiese podido pronosticar el estado del mercado.

Para construir la matriz de arrepentimiento, el analista elige el máximo C_{ij} de cada estado S_j y después resta el valor C_{ij} de cada alternativa asociada con ese estado. En nuestro ejemplo, la matriz de arrepentimiento sería

	Estados			
Alternativa	S_1	S_2	S_3	S_4
a_1	0	0	0.25	0.19
a_2	0.20	0.01	0.17	0.05
a_3	0.25	0.03	0.15	0
a_4	0.29	0.03	0	0

Después el analista selecciona la alternativa asociada con el mínimo de los arrepentimientos máximos (minimax).

Alternativa	r_{ij} mín
a_1	0.25
a_2	0.20
a_3	0.25
a_4	0.29

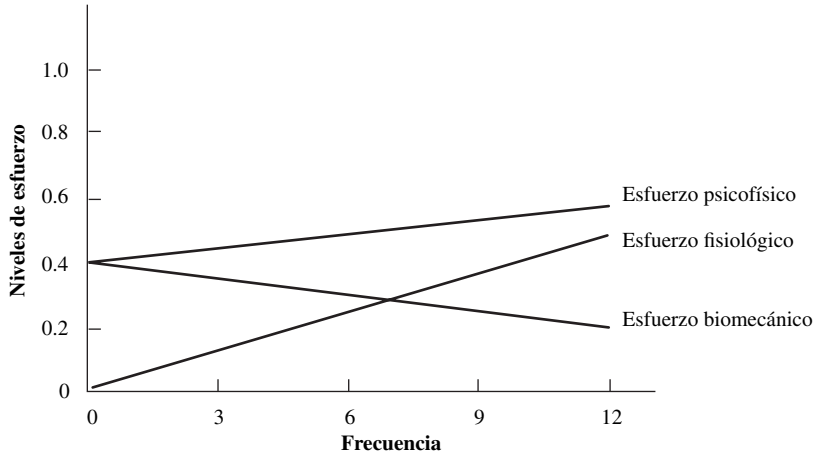


Figura 9.3 Niveles de esfuerzo no aceptables usados al reconciliar guías en conflicto.
(*De*: Jung y Frievalds, 1991.)

Con base en el criterio de arrepentimiento minimax, se selecciona a_2, en vista de que tiene el arrepentimiento mínimo de 0.20.

Esta toma de decisiones es muy común en el manejo manual de materiales (vea el capítulo 4), donde siempre existen concesiones entre la seguridad del trabajador y su productividad. Por ejemplo, un mayor enfoque en la seguridad del trabajador a través de la reducción de cargas y de la correspondiente tensión biomecánica en la espalda baja, resulta en menor productividad en el manejo de la carga. Para mantener la productividad del trabajo en el nivel deseado, la reducción de la carga requiere un incremento en la frecuencia de la tarea, con las correspondientes demandas fisiológicas mayores. Una evaluación metabólica conducirá a la conclusión de que el levantamiento poco frecuente de cargas pesadas es preferible al levantamiento frecuente de cargas ligeras. Sin embargo, desde un punto de vista biomecánico, el peso de la carga debe minimizarse, sin que importe la frecuencia, lo que da por resultado un conflicto. Este problema fue examinado por Jung y Frievalds (1991) mediante la MCDM para obtener un rango crítico de frecuencias de tarea de 1 a 12 levantamientos/min (figura 9.3). En el caso de las tareas poco frecuentes (< 7/min), predomina el esfuerzo biomecánico; en el de las tareas más frecuentes (> 7/min), predomina el esfuerzo fisiológico. Sin embargo, en alrededor de 7 levantamientos/min, ambos esfuerzos participan por igual en la determinación del nivel global del esfuerzo del trabajador. Así, dependiendo de las alternativas y del efecto de cada una respecto a los atributos específicos de interés, se pueden obtener soluciones diferentes. Los analistas deben familiarizarse con estas estrategias de toma de decisiones y deben usar las que sean más apropiadas para sus organizaciones.

HERRAMIENTAS DE DECISIÓN ECONÓMICA

Las tres técnicas de evaluación que se usan con mayor frecuencia para determinar la deseabilidad de invertir en un método propuesto son 1) el método de rendimiento sobre ventas, 2) el método de rendimiento sobre la inversión o de periodo de recuperación y 3) el método de flujo de efectivo descontado.

El método de *rendimiento sobre ventas* implica el cálculo de la razón de 1) la utilidad promedio anual que se obtiene a través del uso del método y 2) las ventas promedio anuales o el aumento del valor agregado del producto, con base en la estimación pesimista de la vida del mismo. Sin embargo, aunque esta razón proporciona información sobre la eficacia del método y el esfuerzo de ventas resultante, no considera la inversión original que se requiere para poner en marcha el método.

El método de *rendimiento sobre la inversión* proporciona la razón de 1) la utilidad promedio anual obtenida con el uso del método, con base en la estimación pesimista de la vida del producto, y 2) la inversión original. De dos métodos propuestos que generarían las mismas ventas y ganancias potenciales, la administración preferiría usar el que requiere menor inversión de capital. El recíproco del rendimiento sobre la inversión se conoce comúnmente como método de *recuperación*. Éste proporciona el tiempo que tomaría para obtener una recuperación completa de la inversión original.

El método de *flujo de efectivo descontado* calcula la razón de 1) el valor presente del flujo de efectivo, con base en un porcentaje de rendimiento deseado, y 2) la inversión original. Este método calcula la tasa de flujo de dinero entrante y saliente de la compañía y el *valor del dinero en el tiempo*. Este último es importante. Debido al interés ganado, un dólar hoy vale más que un dólar en cualquier fecha posterior. Por ejemplo, a un interés compuesto de 15%, $1 hoy vale $2.011 dentro de cinco años. Para expresarlo de otra manera, $1 recibido dentro de cinco años valdría alrededor de 50 centavos hoy. El interés puede entenderse como el rendimiento que se obtiene mediante la inversión productiva del capital.

Lo siguiente se aplica al concepto de valor presente:

Un solo pago		
– Factor de valor futuro	(dado P, encontrar F)	$F = P(1 + i)^n$
– Factor de valor presente	(dado F, encontrar P)	$P = F(1 + i)^{-n}$
Serie uniforme		
– Factor de fondo de amortización	(dado F, encontrar R)	$R = \dfrac{Fi}{(i + 1)^n - 1}$
– Recuperación de capital	(dado P, encontrar R)	$R = \dfrac{Pi(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$
– Factor de valor futuro	(dado R, encontrar F)	$F = R[(1 + i)^n - 1]/i$
– Factor de valor presente	(dado R, encontrar P)	$P = \dfrac{R[(1 + i)^n - 1]}{(i\ 1 + 1)^n}$

donde i = tasa de interés de un periodo dado
n = número de periodos de interés
P = suma presente de dinero (valor presente del principal)
F = suma futura de dinero al final del n periodos desde la fecha actual; equivalente a P con interés i
R = pago o recepción al final de cada periodo en una serie uniforme que continúa por los siguientes n periodos; la serie completa es equivalente a P con interés i.

Una tasa de rendimiento supuesta I es la base del cálculo del flujo de efectivo. Todos los flujos de efectivo que siguen a la inversión inicial del nuevo método se estiman y ajustan a su valor presente, con base en la tasa de rendimiento supuesta. Después, los flujos de efectivo totales estimados para la estimación pesimista de la vida del producto se suman como una ganancia (o pérdida) en términos del efectivo que se tiene a la mano hoy. Por último, este total se compara con la inversión inicial.

Las estimaciones de la demanda del producto a 10 años se pueden desviar considerablemente de la realidad. Por consiguiente, se introduce un elemento de oportunidad y las probabilidades de éxito tienden a disminuir con periodos de recuperación más largos. Los resultados de cualquier estudio son tan válidos como lo es la confiabilidad de los datos de entrada. El seguimiento constante puede determinar la validez de los supuestos. El analista no debe dudar en alterar las decisiones si encuentra que los datos originales no son válidos. Con un análisis financiero razonable se intenta facilitar el proceso de toma de decisiones y no reemplazar el buen juicio en los negocios.

EJEMPLO 9.4 Justificación económica de un método propuesto

Un ejemplo puede aclarar el uso de los tres métodos para evaluar el potencial de un método propuesto.

Inversión del método propuesto: $10 000
Rendimiento deseado sobre la inversión: 10%
Valor de salvamento de dispositivos y herramientas: $500
Vida estimada del producto para el que se usará el método propuesto: 10 años

Valor presente del flujo de efectivo:

(3 000)(0.9091) =	$2 730	(3 800)(0.5645) =	2 140
(3 800)(0.8264) =	3 140	(3 000)(0.5132) =	1 540
(4 600)(0.7513) =	3 460	(2 200)(0.4665) =	1 025
(5 400)(0.6830) =	3 690	(1 400)(0.4241) =	595
(4 600)(0.6209) =	2 860	(500)(0.3855) =	193
			$21 337

Valor de salvamento de herramientas:

$$(500)(0.3855) = \$193$$

Valor presente total de la ganancia bruta prevista y valor de salvamento de la herramienta: $21 566. La razón del valor presente sobre la inversión original es:

$$\frac{12\,566}{10\,000} = 2.16$$

El nuevo método pasa satisfactoriamente los tres métodos de evaluación (vea la tabla 9.7). El rendimiento sobre las ventas de 61% y el rendimiento sobre la inversión de capital de 32.3% representan tasas de rendimiento muy atractivas. La recuperación de la inversión de capital de $10 000 tendrá lugar en 3.09 años y el análisis de flujo de efectivo revela que la inversión original se recupera en 4 años mientras se gana 10%. Durante la vida esperada de 10 años del producto, se ganarán $11 566 adicionales a la inversión original.

Tabla 9.7 Comparación de la justificación económica de los métodos.

Final de año	Incremento del valor de las ventas debido al uso del método propuesto	Costo de producción con el método propuesto	Ganancia bruta debida al método propuesto
1	$5 000	$2 000	$3 000
2	6 000	2 200	3 800
3	7 000	2 400	4 600
4	8 000	2 600	5 400
5	7 000	2 400	4 600
6	6 000	2 200	3 800
7	5 000	2 000	3 000
8	4 000	1 800	2 200
9	3 000	1 600	1 400
10	2 000	1 500	500
Totales	$53 000	$20 700	$32 300
Promedio	$ 5 300	$ 2 070	$ 3 230

Rendimiento sobre ventas $= \frac{3\,230}{5\,300} = 61\%$

Rendimiento sobre la inversión $= \frac{3\,230}{10\,000} = 32.3\%$

Periodo de recuperación $= 1/0.323 = 3.09$ años

9.2 INSTALACIÓN

Después de haber aprobado uno de los métodos propuestos, el siguiente paso es instalarlo. El analista debe participar en estos trabajos para asegurar que todos los detalles se cumplan de acuerdo con el plan propuesto. El analista debe verificar que el centro de trabajo que se pretende establecer esté equipado con las instalaciones propuestas, que se proporcionen las condiciones de trabajo planeadas, que las herramientas cumplan con las recomendaciones y que el progreso del trabajo sea satisfactorio. El

analista debe "vender" el nuevo método al operario, al supervisor, al encargado de la preparación y a otras personas, de manera que todos ellos acepten de manera natural el método nuevo.

Una vez instalado el nuevo centro de trabajo, el analista debe verificar todos los aspectos para ver si cumplen con las especificaciones establecidas. En particular, el analista debe verificar que las distancias de *alcance* y *movimiento* tengan la longitud correcta, que las herramientas estén correctamente afiladas, que los mecanismos funcionen en forma apropiada, que se haya trabajado sobre los problemas de suciedad y desorden, que las características de seguridad sean operables, que el material esté disponible en las cantidades planeadas, que las condiciones de trabajo asociadas con el centro de trabajo sean las previstas y que todas las partes involucradas hayan sido informadas del nuevo método.

Después de que todos los aspectos del nuevo método están listos para operar, el supervisor designa al operario que lo aplicará. En consecuencia, el analista debe permanecer junto al operario todo el tiempo que sea necesario para asegurar que éste se familiarice con la nueva forma de hacer las cosas. Este periodo puede tomar unos cuantos minutos, varias horas o incluso varios días, dependiendo de la complejidad de la asignación y de la flexibilidad y adaptabilidad del trabajador.

Ya que el operario comienza a comprender el método y puede trabajar en forma sistemática, el analista puede proceder con otro trabajo. Sin embargo, la fase de instalación no debe considerarse terminada sin que el analista haya verificado el centro de trabajo varias veces los primeros días después de la instalación para asegurar que el método propuesto trabaja como se planeó. También debe vigilar a los supervisores de línea para asegurarse de que verifican y supervisan de manera puntual el nuevo método.

RESISTENCIA AL CAMBIO

Es común que los trabajadores se resistan a los cambios de método. Aunque muchas personas pueden considerarse de mente abierta, la mayor parte de ellas se siente bastante cómoda con su trabajo o sitio de trabajo actuales, aunque quizá no sean lo más conveniente o agradable. Su miedo al cambio y al efecto que puede tener en su trabajo, salario y seguridad superan a otras preocupaciones (vea la jerarquía de necesidades humanas de Maslow, sección 18.3). Las reacciones del trabajador ante el cambio pueden ser bastante obstinadas e inexplicables, como lo experimentó Gilbreth en el siguiente ejemplo clásico. Mientras realizaba un estudio de movimientos en una planta de manufactura de camas, se percató de que una mujer de edad mediana planchaba las sábanas de una manera que obviamente era muy ineficiente y fatigante. Para planchar cada sábana, tomaba una plancha grande y pesada, se sentaba y presionaba fuerte sobre la sábana, cerca de 100 veces cada vez. Estaba fatigada y con dolor en la espalda. Con unos cuantos cambios en el diseño del trabajo, entre ellos la aplicación de contrapesos para soportar la plancha (el equivalente moderno de un balanceador de herramienta), redujo considerablemente la carga física del trabajo. Sin embargo, la reacción de la mujer fue completamente opuesta a la esperada. En lugar de ser la única trabajadora físicamente capaz de realizar el trabajo (y recibir elogios de su supervisor), ahora era sólo una de muchas. Perdió su posición y se opuso con fuerza al cambio (DeReamer, 1980).

Por consiguiente, es importante "vender" el nuevo método a los operarios, supervisores, mecánicos y otros. Los empleados deben ser notificados con suficiente anticipación sobre cualquier cambio en el método que les afecte. La resistencia al cambio es directamente proporcional a la magnitud de éste y al tiempo disponible para implantarlo. Por lo tanto, los cambios grandes deben realizarse en pasos pequeños. No debe cambiarse toda la estación de trabajo, la silla o banco y las herramientas, todo a la vez. Inicie con la silla, tal vez después pueda cambiar las herramientas y por último cambie la estación de trabajo.

Explique las razones que sustentan el cambio. Las personas se resisten a lo que no entienden. En vez de sólo reemplazar la herramienta de agarre de pistola de una superficie de trabajo horizontal por una herramienta alineada, explique que esta herramienta pesa menos y requiere menos movimiento del brazo, es decir, será más cómoda de usar.

Como regla general para tratar con las emociones, es mejor hacer hincapié en los aspectos positivos, por ejemplo: "Esta nueva herramienta será mucho más fácil de usar", y desestimar lo negativo, con una frase tal como "esta herramienta es pesada e insegura". Haga que el trabajador participe directamente en el proceso de cambio de método o diseño del trabajo. Los trabajadores tienen un

buen historial de seguir sus propias recomendaciones, y donde se les ha involucrado en la toma de decisiones, en general, han mostrado menos resistencia a los cambios. Un enfoque exitoso es formar comités de trabajadores o de equipos de ergonomía (vea la sección 18.5).

Las amenazas, es decir, las represalias de la administración por resistirse al cambio, pueden ser contraproducentes y propiciar emociones contrarias que lo rechacen aún más. Además, las personas muchas veces se oponen a los aspectos sociales del cambio, no a los técnicos. Por lo tanto, si es posible mostrar que otros empleados usan el mismo dispositivo, es más probable que lo acepten.

El último paso en la ingeniería de métodos, después de establecer los estándares apropiados, es mantener el método, es decir, determinar si se logran las ganancias de productividad anticipadas. En este punto, los ingenieros industriales deben ser muy cuidadosos pues tienen que determinar si algún efecto se debe al nuevo método, o sólo al *efecto Hawthorne*.

EFECTO HAWTHORNE

Este clásico estudio, que se cita con frecuencia, destaca la necesidad de que el trabajador se involucre en los cambios de métodos o en la planeación de la producción para lograr un aumento de la motivación y la productividad. En realidad, fue una serie de estudios mal diseñados a partir de los cuales era difícil obtener alguna conclusión científica verdadera, más allá de tener cuidado al suponer que las mejoras de la productividad se deben sólo a los cambios de métodos. El estudio inicial, menos conocido, era un proyecto conjunto entre el National Research Council y la Western Electric Co. para examinar los efectos de la iluminación en la productividad. El estudio se realizó en una planta muy grande de Hawthorne (unos 40 000 trabajadores) cerca de Chicago, desde 1924 hasta 1927. En general, la administración comprobó que los empleados reaccionaban ante los cambios en la iluminación de la manera que esperaban que reaccionarían; es decir, se esperaba que al aumentar la iluminación produjeran más, y así fue. También se suponía que al disminuir la iluminación su producción sería menor, y así ocurrió. Un estudio de seguimiento probó este punto aún con mayor profundidad. Se cambiaron los focos y se dejó que los trabajadores supusieran que la luz había aumentado. En realidad, los focos se sustituyeron por otros con la misma cantidad de watts. Sin embargo, los comentarios de los trabajadores sobre el aumento de la iluminación fueron favorables y respondieron con un aumento de productividad. Ello indicaba que los efectos fisiológicos se habían confundido con los efectos psicológicos (Homans, 1972).

Con base en estos resultados, Western Electric decidió realizar una serie de estudios adicionales sobre actitudes mentales y eficacia de los trabajadores, que fueron los estudios Hawthorne más famosos, realizados en conjunto con la School of Business Administration entre 1927 y 1932 (Mayo, 1960). Se colocaron seis operarias en una sala aislada y se les sometió a distintas condiciones experimentales: 1) incentivo de grupo especial para las seis trabajadoras, en oposición a los más de 100 trabajadores que se apiñaban en otros departamentos; 2) inclusión de dos descansos de 5 a 10 minutos; 3) jornadas de trabajo más cortas; 4) semanas de trabajo más cortas, y 5) almuerzos o refrescos proporcionados por la compañía. Los cambios se discutieron por anticipado con el grupo de empleadas y se descartaron a todas las que tuvieron objeciones serias. Después, también se analizaron los efectos de los cambios sobre las trabajadoras en un proceso de entrevistas poco formales.

Como las trabajadoras recibían de buen agrado estas oportunidades para hablar de sus sentimientos, estas entrevistas estructuradas se convirtieron en interminables sesiones de quejas. Es interesante destacar que la producción aumentó en términos generales durante estos 5 años (excepto por cambios menores en los productos o inicio/paro por periodos vacacionales), sin que importasen las condiciones de las pruebas. Además, las ausencias y días de enfermedad de las operarias disminuyeron en forma considerable en comparación con sus otros compañeros de trabajo. Western Electric, ya conocida por su preocupación por el bienestar de sus empleados, atribuyó este resultado, algo sorprendente, a la mayor preocupación por los trabajadores, debido a lo cual éstos incrementaban su satisfacción social (Pennock, 1929-1930).

Desafortunadamente, estas conclusiones eran producto de una muy optimista simplificación, mientras que en el estudio otros efectos también se confundieron. Se produjeron grandes variaciones en las prácticas de supervisión, se usaron mediciones diferentes e incongruentes de la productividad durante los 5 años del estudio y se introdujeron cambios significativos en los métodos (Carey, 1972). Por ejemplo, se implantó un sistema de entrega por gravedad para el grupo experimental con el pro-

pósito de contar los relevadores producidos. Sin embargo, con base en los principios de economía del movimiento (de la sección 4.3), estas medidas también tienden a aumentar las tasas de producción.

Independientemente de la controversia, los estudios Hawthorne tienen tres implicaciones: 1) se confirmó la regla básica de experimentación: "el acto de medir algo a veces lo cambia"; 2) las relaciones humanas apropiadas actúan como un fuerte motivador (vea la sección 10.3), y 3) es muy difícil separar los factores confundidos en un estudio no controlado. Por lo tanto, el analista debe ser muy cuidadoso cuando saca conclusiones acerca de la eficacia de los cambios de método sobre la productividad. Parte de los cambios en la productividad podría deberse a las mejoras del método, mientras que otra parte se podrían atribuir a las mejoras en el ánimo o motivación del operario afectado. Además, cualquier medida de productividad, aunque aparente ser inocua, puede tener efectos no planeados si los trabajadores se dan cuenta de ella y se desempeñan de acuerdo a lo esperado.

9.3 EVALUACIÓN DE PUESTOS

Éste es el sexto paso del procedimiento sistemático de aplicación de la ingeniería de métodos. Cada vez que se cambia un método debe modificarse la descripción del puesto también debe cambiarse para reflejar las condiciones, deberes y responsabilidades del nuevo enfoque. Cuando se introduce un nuevo método, debe realizarse una evaluación del puesto, para poder asignar a un operario calificado al centro de trabajo y proporcionar un salario base apropiado.

Una evaluación del puesto debe comenzar con un título exacto, una descripción detallada que identifique los deberes y responsabilidades específicas del puesto y los requisitos mínimos del trabajador para realizar el trabajo. El operario debe participar en la definición exacta de las responsabilidades del puesto. Una combinación de entrevistas personales y cuestionarios, junto con la observación directa, da como resultado una definición concisa de cada puesto y los deberes que abarca. Se incluyen las funciones físicas y mentales que se requieren para realizar el trabajo y deben usarse palabras definitivas como *dirigir*, *examinar*, *planear*, *medir* y *operar*. Entre más precisa sea la descripción, mejor. En la figura 9.4 se ilustra un ejemplo detallado de un puesto de oficina. Estas descripciones de puesto son herramientas de supervisión útiles que pueden ayudar a seleccionar, capacitar y promover a los empleados y para evaluar la distribución del trabajo.

En esencia, la evaluación de puestos es un procedimiento mediante el cual una organización clasifica sus puestos en orden de valor o importancia. Este proceso debe proporcionar lo siguiente:

1. Una base para explicar a los empleados por qué un puesto vale más (o menos) que otro.
2. Una razón para los empleados cuyos salarios se ajustan debido a un cambio en o del método.
3. Una base para designar al personal con las habilidades específicas para ciertos trabajos.
4. Criterios para ocupar un puesto cuando se emplea personal nuevo o se realizan promociones.
5. Asistencia en la capacitación del personal de supervisión.
6. Una base para determinar dónde existen oportunidades para mejorar los métodos.

SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE PUESTOS

La mayor parte de los sistemas de evaluación de puestos que se usan en la actualidad son una variación o una combinación de cuatro sistemas principales: el método de clasificación, el sistema de puntos, el método de comparación de factores y el método de jerarquización. El *método de clasificación*, en ocasiones llamado *plan de descripción de grado*, consiste en una serie de definiciones diseñadas para dividir trabajos por grupos de salarios. Una vez definidos los niveles de grado, los analistas estudian cada puesto y lo asignan al nivel adecuado, con base en la complejidad de los deberes y responsabilidades que implica y en su relación con la descripción de otros niveles. La U.S. Civil Service Commission usa ampliamente este plan.

Para emplear este método de evaluación de puestos, el analista debe utilizar el siguiente procedimiento:

1. Preparar una escala para describir los grados de cada tipo de puesto, como operaciones de maquinaria, operaciones manuales, operaciones calificadas (destreza), o inspección.

PUESTO Empleado de recepción y embarque DEPTO. Embarques

HOMBRE _X_ MUJER ___ FECHA _____ PUNTOS TOTALES 280 CLASE 5

DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

Dirige y ayuda en la carga y descarga, conteo y recepción o rechazo de partes y suministros comprados, y después los distribuye entre los departamentos apropiados.

Examina las recepciones que no coinciden con las órdenes de compra. Mantiene un archivo de todas las órdenes de compra o embarque y conserva actualizadas las órdenes pendientes. Mantiene reportes diarios y semanales de envíos y reportes mensuales de inventario.

Ayuda a empacar todos los envíos nacionales y extranjeros. Hace las solicitudes de formatos de inspección para ciertos materiales recibidos y de formatos de rechazo para todos los artículos no aceptados.

El puesto requiere un conocimiento amplio de la rutina de empaque, envío y recepción, distribución de planta, suministros para el taller y partes terminadas. Necesita tener conocimientos sobre rutinas sencillas de oficina. Habilidades para trabajar con otros departamentos, como el departamento de servicio y para tratar eficazmente con proveedores. El puesto requiere precisión y responsabilidad considerables. Los efectos de decisiones deficientes incluyen recepciones y envíos dañados, inventarios incorrectos y manejo de materiales extra. El trabajo exige levantar cargas de hasta 100 libras. Trabaja en colaboración con dos empleados clase 4 de empaque y envío.

Evaluación del puesto	Grado	Puntos
Educación	1	15
Experiencia y capacitación	2	50
Iniciativa e ingenio	3	50
Habilidad analítica	3	50
Requisitos de personalidad	2	30
Responsabilidad de supervisión	1	25
Responsabilidad por pérdidas	1	10
Aplicación física	6	5
Aplicación visual o mental	1	20
Condiciones de trabajo	5	280

Figura 9.4 Análisis de puesto de un trabajo de encargado de recepción y embarque.

2. Escribir las descripciones de grados en cada escala, usando factores como
   a) Tipo de trabajo y complejidad de los deberes.
   b) Educación necesaria para desempeñar el trabajo.
   c) Experiencia necesaria para desempeñar el trabajo.
   d) Responsabilidades.
   e) Esfuerzo demandado.
3. Preparar las descripciones de cada puesto. Clasificar cada puesto *insertando* (colocar en una categoría específica) la descripción del trabajo en la descripción de grado apropiada.

En el *sistema de puntos*, los analistas deben comparar directamente todos los atributos de un puesto con los de otros, con base en el siguiente procedimiento:

1. Establecer y definir los factores básicos comunes a la mayoría de los puestos, indicando los elementos de valor de todos los puestos.
2. Definir específicamente los grados de cada factor.
3. Establecer los puntos que se acreditan a cada grado de cada factor.
4. Preparar una descripción de cada puesto.
5. Evaluar cada puesto determinando el grado en que contiene cada factor.
6. Sumar los puntos de cada factor para obtener los puntos totales del puesto.
7. Convertir los puntos del puesto en un índice salarial.

El método de *comparación de factores* para evaluar puestos suele implicar las siguientes tareas:

1. Determinar los factores estableciendo el valor relativo de todos los puestos.
2. Establecer una escala de evaluación semejante a la escala de puntos, pero con las unidades en términos de dinero. Por ejemplo, un puesto de $2 000 por mes quizá atribuya $800 al factor responsabilidad, $400 a educación, $600 a las habilidades y $200 a la experiencia.
3. Preparar descripciones de puestos.
4. Evaluar los puestos clave, factor por factor, y clasificarlos de menor a mayor.
5. Pagar salarios en cada puesto clave con base en sus diferentes factores. La asignación de dinero fija automáticamente las relaciones entre los trabajos de cada factor y, por lo tanto, establece la clasificación de puestos de acuerdo con cada factor.
6. Evaluar otros puestos, factor por factor, con base en los valores monetarios asignados a los distintos factores de los puestos clave.
7. Determinar el salario al sumar los valores monetarios de los diferentes factores.

Ambos métodos, el sistema de puntos y la comparación de factores, son más objetivos y completos para evaluar los diferentes puestos involucrados; ambos planes estudian los factores básicos comunes a la mayoría de los puestos que influyen en su valor relativo. De los dos planes, el sistema de puntos se aplica con mayor frecuencia y, por lo general, se considera el método más preciso para la clasificación ocupacional.

El *método de jerarquización* arregla los puestos en orden de importancia, o de acuerdo a su valor relativo. Cuando se aplica, se debe considerar todo el puesto e incluir la complejidad y el grado de dificultad de los deberes, los requisitos de áreas específicas de conocimiento, las habilidades necesarias, la cantidad de experiencia que se requiere, y el nivel de autoridad y responsabilidad asignado al puesto. Este método se popularizó en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial debido a su sencillez y facilidad de instalación. En general, el método de jerarquización es menos objetivo que las otras técnicas pues se requiere de un gran conocimiento de todos los puestos, razón por la cual no ha tenido un uso amplio en años recientes. El método de jerarquización se aplica mediante los siguientes pasos:

1. Preparación de las descripciones de puestos.
2. Jerarquización de los puestos (usualmente, primero por departamentos) en orden de acuerdo con su importancia relativa.
3. Determinación de la clase o grado de grupos de puestos, con base en un proceso de categorización.
4. Establecimiento del salario o el rango de salarios de cada clase o grado.

SELECCIÓN DE FACTOR

Bajo el método de comparación de factores, muchas compañías usan cinco factores. En algunos programas de puntos pueden usarse 10 factores o más. Sin embargo, es preferible emplear un número pequeño de ellos. El objetivo es usar sólo los factores necesarios para proporcionar una diferenciación clara entre los puestos. Los elementos de cualquier puesto pueden clasificarse de acuerdo con

1. Lo que el puesto demanda del empleado en forma de factores físicos y mentales.
2. Lo que el puesto exige del empleado en forma de fatiga física y mental.
3. Las responsabilidades que exige el puesto.
4. Las condiciones en las que se realiza el trabajo.

Otros factores pueden incluir la educación, la experiencia, la iniciativa, el ingenio, demandas físicas, demandas mentales visuales, condiciones de trabajo, riesgos, responsabilidades sobre el equipo, procesos, materiales, productos y el trabajo y la seguridad de otros.

Los factores están presentes en distintos grados en todos los puestos, y cualquiera que se considere cae en uno de los diferentes grados de cada factor. Los factores tienen la misma importancia. Para reconocer las diferencias en importancia, los analistas asignan pesos o puntos a cada grado de cada factor, como se muestra en la tabla 9.8. La figura 9.5 ilustra una jerarquización completa de un puesto con datos que le sirven de base.

Tabla 9.8 Puntos asignados a los factores y claves para los grados

Factores	1er. grado	2o. grado	3er. grado	4o. grado	5o. grado
Habilidad					
1. Educación	14	28	42	56	70
2. Experiencia	22	44	66	88	110
3. Iniciativa e ingenio	14	28	42	56	70
Esfuerzo					
4. Demanda física	10	20	30	40	50
5. Demanda mental o visual . . .	5	10	15	20	25
Responsabilidad					
6. Equipo o proceso	5	10	15	20	25
7. Material o producto	5	10	15	20	25
8. Seguridad de otros	5	10	15	20	25
9. Trabajo de otros	5	10	15	20	25
Condiciones laborales					
10. Condiciones de trabajo	10	20	30	40	50
11. Riesgos inevitables	5	10	15	20	25

Fuente: National Electrical Manufacturers Association.

Por ejemplo, la educación se puede definir como un requisito donde la instrucción de primer grado requeriría sólo poder leer y escribir, la educación de segundo grado el uso de aritmética simple, lo cual es característico de dos años de escuela media. El tercer grado de educación podría ser equivalente a cuatro años de educación media, mientras que el cuarto grado de educación puede ser equivalente a cuatro años de escuela media más cuatro años de capacitación formal. El quinto grado de educación podría ser equivalente a cuatro años de capacitación técnica universitaria.

La experiencia evalúa el tiempo que una persona con educación específica usualmente necesita para aprender a realizar el trabajo de manera satisfactoria desde el punto de vista de la calidad y la cantidad. En este caso, el primer grado puede incluir hasta 3 meses; el segundo grado, de 3 meses a 1 año; el tercer grado, de 1 a 3 años; el cuarto grado, de 3 a 5 años; el quinto grado, más de 5 años. De manera similar, se identifica cada grado de cada factor con una definición clara y con ejemplos específicos, cuando sea aplicable.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Es necesario un juicio considerable para evaluar cada puesto respecto al grado de cada factor que requiere el plan. En consecuencia, casi siempre es deseable establecer un comité conformado por un representante del sindicato, el supervisor del departamento, el encargado del departamento y un representante de la administración (por lo general de recursos humanos) para realizar la evaluación.

Cada miembro del comité debe realizar sus evaluaciones de grado en forma independiente de los otros miembros y evaluar el mismo factor de todos los puestos antes de seguir con el siguiente. La correlación entre los diferentes evaluadores debe ser razonable, de 0.85 o más alta. Después, los integrantes deben analizar las diferencias, hasta que lleguen a un acuerdo sobre el nivel del factor.

CLASIFICACIÓN DE PUESTOS

Después de evaluar todos los puestos, los puntos asignados a cada uno de ellos deben tabularse. Luego, se debe determinar el número de grados de mano de obra dentro de la planta. Por lo general, el número de grados va de 8 (en plantas pequeñas e industrias menos especializadas) a 15 (plantas grandes e industrias muy especializadas) (vea la figura 9.6). Por ejemplo, si el intervalo de puntos de todos los trabajos en una planta va de 110 a 365, se pueden establecer los grados que se muestran en la tabla 9.9. No son necesarios rangos semejantes para los distintos grados de mano de obra. Al aumentar los rangos de puntos podrían ser deseables puestos con remuneraciones más altas.

Después se revisan los puestos que quedan dentro de los diferentes grados de mano de obra para asegurar equidad y congruencia. Por ejemplo, no sería apropiado que un maquinista clase A quedara en el mismo nivel de grado que un maquinista clase B.

CALIFICACIÓN DE PUESTOS: INFORMACIÓN DE SUSTENTACIÓN
DORBEN MFG CO.
UNIVERSITY PARK, PA.

TÍTULO DEL PUESTO: Maquinista (general) CÓDIGO: 176 FECHA: 12 de noviembre

FACTORES	GRADO	PUNTOS	BASE DE CALIFICACIÓN
Educación	3	42	Debe manejar dibujos bastante complicados, matemáticas de taller avanzadas, variedad de instrumentos de precisión, conocimientos en el ramo. Equivalente a cuatro años de enseñanza media o dos años de enseñanza media más dos o tres años de capacitación en el ramo.
Experiencia	4	88	Tres a cinco años en instalación, reparación y mantenimiento de máquinas herramienta y otros equipos de producción.
Iniciativa e ingenio	3	42	Reconstruir, reparar y mantener una amplia variedad de máquinas herramienta de tamaño medio, estándar, automáticas y manuales. Diagnosticar problemas, desensamblar máquinas y ajustar partes nuevas como cojinetes antifricción y simples, ejes, engranes, levas etc. Fabricar partes de reemplazo cuando sea necesario. Implica maquinado hábil y preciso usando una variedad de máquinas herramienta. Se requiere juicio rápido para diagnosticar y solucionar problemas a fin de mantener la producción.
Demanda física	2	20	Esfuerzo físico intermitente que se requiere para desarmar, ensamblar, instalar y dar mantenimiento a las máquinas.
Demanda mental o visual	4	20	Se requiere concentración mental y atención visual. Distribuir, preparar, maquinar, verificar, inspeccionar, ajustar partes de máquinas.
Responsabilidad por equipo o proceso	3	15	El daño excede muy pocas veces los $900. Partes rotas de máquinas. El descuido en el manejo de engranes y piezas complicadas puede causar daños.
Responsabilidad por material o producto	2	10	Pérdidas probables debido a desperdicio de materiales o trabajo, pocas veces mayores a $300.
Responsabilidad por la seguridad de otros	3	15	Se deben tomar medidas de seguridad para prevenir lesiones de otros; ajuste correcto del trabajo a placas de fijación, dispositivos de manejo, etcétera.
Responsabilidad por el trabajo de otros	2	10	Responsable de dirigir a uno o más ayudantes gran parte del tiempo. Depende del tipo de trabajo.
Condiciones de trabajo	3	30	Condiciones algo desagradables debido a la exposición a aceite, grasa y polvo.
Riesgos inevitables	3	15	Exposición a accidentes, como manos o pies golpeados, pérdida de dedos, lesiones en los ojos por partículas proyectadas, posibles descargas eléctricas o quemaduras.
OBSERVACIONES: Total 307 puntos -- asignar a puesto clase 4.			

Figura 9.5 Formato para calificación y sustentación de puestos.

A continuación se asignan tasas horarias para cada grado de mano de obra. Estas tasas se basan en las tasas de la zona para trabajos similares, las políticas de la compañía y el índice del costo de vida. Con frecuencia los analistas establecen un rango de tasas para cada grado de mano de obra. El desempeño total de cada operario determina su tasa salarial dentro del rango establecido, y el *desempeño total* se refiere a calidad, cantidad, seguridad, asistencia, sugerencias, etcétera.

INSTALACIÓN DEL PROGRAMA DE EVALUACIÓN DE PUESTOS

Después de graficar las tasas del área contra los valores de los puntos de los diferentes puestos, el analista desarrolla una línea de tendencia, que puede o no ser una línea recta. Las técnicas de regresión

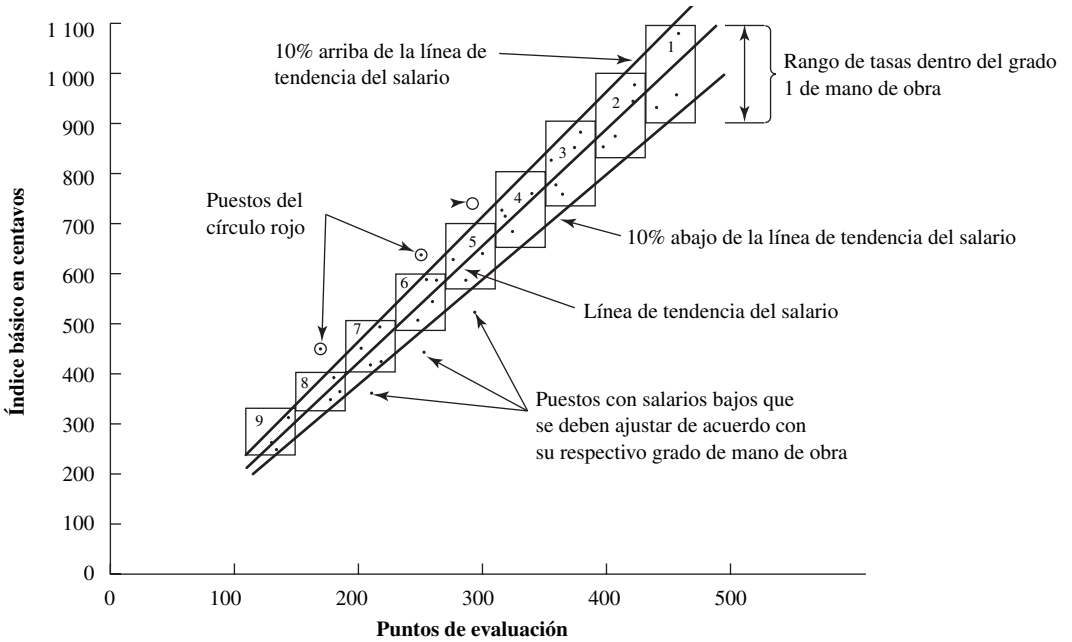


Figura 9.6 Puntos de evaluación y rangos de tasas base del salario de nueve grados de mano de obra.

Tabla 9.9 Grados de mano de obra

Grado	Intervalo de calificaciones (puntos)	Grado	Intervalo de calificaciones (puntos)
12	100-139	6	250-271
11	140-161	5	272-293
10	162-183	4	294-315
9	184-205	3	316-337
8	206-227	2	338-359
7	228-249	1	360 o más

son útiles para desarrollar esta línea de tendencia. Varios puntos estarán arriba o debajo de ésta. Los puntos muy por arriba de la línea de tendencia representan empleados cuyos salarios actuales son más altos que lo establecido en el plan de evaluación de puestos; los puntos muy por debajo de la línea de tendencia representan empleados cuyo salario actual es menor que el prescrito por el plan.

Los empleados cuyos salarios son menores que los que establece el plan deben recibir un aumento que alcance al nuevo salario. A los empleados cuyo salario es mayor que el establecido por el plan (tales tasas se conocen como *tasas de círculo rojo*) no se les hace una disminución. Sin embargo, tampoco se les da un aumento en su siguiente revisión, a menos que los ajustes del costo de vida resulten en un salario más alto que su pago actual. Por último, cualquier nuevo empleado debe recibir el nuevo pago establecido por el plan de evaluación de puestos.

PREOCUPACIONES POTENCIALES

Aunque un sistema de evaluación de puestos por puntos es quizás el enfoque más favorable para incorporar equidad y objetividad en el proceso para determinar la compensación individual, puede acarrear algunos problemas. Si la descripción de puestos no está elaborada de manera adecuada, algunos empleados pueden rehusarse a realizar ciertos trabajos, sólo porque esas tareas no se incluyen en la descripción de su trabajo. Un plan por puntos también puede crear relaciones de poder innecesarias e indeseables dentro de la compañía puesto que proporciona un orden obvio que puede interferir con la cooperación y la toma de decisiones en grupo.

Otro problema es que los individuos reconocerán que pueden aumentar los puntos de la evaluación de su puesto si aumentan sus responsabilidades mediante le realización de trabajo innecesario o la incorporación de otro empleado. Estas adiciones pueden ser innecesarias y quizá sólo agreguen costos directos, además de incrementar el costo debido a un salario más alto que resulta de añadir puntos.

Una de las preocupaciones primordiales que se escuchan en los tribunales y audiencias legislativas se refiere al conocido principio de "mismo pago por el mismo trabajo". Un sistema de evaluación de puestos por puntos se basa en este concepto. Sin embargo, se debe decidir cuánto peso darle a la iniciativa y a la experiencia, que se encuentran en muchos trabajos bien pagados (muchos de ellos realizados por mujeres) al contrario de las condiciones físicamente demandantes y peligrosas en que se realizan muchos trabajos de producción (en gran parte realizados por hombres). Asimismo, el analista debe darse cuenta de que no existe un valor inherente a ningún puesto; su valor está dado por el mercado. Si existe carencia de enfermeras, exacerbada por el envejecimiento de la población, los salarios se elevarán. De manera inversa, si hay una gran abundancia de programadores, los salarios disminuirán.

También es importante que se dé seguimiento regular al plan, a fin de que se mantenga adecuadamente. Los trabajos cambian, por lo que se requiere revisarlos periódicamente y realizar ajustes cuando sea necesario. Por último, los empleados deben entender la justicia esencial del plan de evaluación de puestos e intentar trabajar con el sistema.

9.4 LEY PARA DISCAPACITADOS EN ESTADOS UNIDOS

Cuando se implanta un nuevo método y se realizan las evaluaciones de puestos, el analista debe tomar en cuenta las implicaciones de la ley para discapacitados estadounidenses (ADA, Americans with Disabilities Act). La ADA se aprobó en 1990 para "prohibir la discriminación en la contratación de un individuo calificado con una discapacidad". Ésta es una consideración importante para todos los empleadores con 15 empleados o más, puesto que puede significar un rediseño considerable del sitio de trabajo y otras instalaciones. La ADA cubre prácticas de empleo como reclutamiento, contratación, promoción, capacitación, salarios, cierres, despidos, renuncias, prestaciones y asignaciones de trabajo, donde este último elemento concierne al analista de métodos. El ADA protege a cualquier individuo "con un impedimento físico o mental que lo limite de manera sustancial en las actividades principales de su vida". *Sustancial* implica algo más que menor, mientras que *actividades principales de la vida* incluyen oír, ver, hablar, respirar, caminar, sentir o manipular con las manos, aprender o trabajar. Las lesiones temporales o de duración limitada no están cubiertas.

El individuo con una discapacidad debe estar calificado para realizar las "funciones esenciales" del puesto con o sin "ajustes razonables". Las funciones esenciales son los deberes básicos del puesto que debe realizar un empleado. Se pueden determinar a partir de las técnicas de análisis de puestos que se presentan en este capítulo. Los *ajustes razonables* se refieren a cualquier cambio o adecuación al entorno de un puesto o trabajo que permita al individuo realizar las funciones esenciales de dichos puestos y disfrutar los beneficios y privilegios que disfrutan todos los empleados. Esos ajustes pueden incluir la modificación física de herramientas, equipo o estación de trabajo; reestructuración del puesto; modificación del horario de trabajo; modificación de materiales o políticas de capacitación, etc. El propósito de cualquier modificación debe ser la utilidad y la accesibilidad. Un aspecto que se debe considerar es que cualquier cambio de este tipo será ergonómicamente beneficioso para todos los trabajadores. Muchos principios de diseño del trabajo (capítulos 4 a 7) también pueden ser útiles en este punto.

Un ajuste razonable es el que no coloca tensión indebida sobre el empleado, es decir, no tiene un costo excesivo, no es extenso o sustancial, no causa desórdenes ni altera en forma fundamental la naturaleza o la operación del negocio. Las variables que afectan el costo son el tamaño de la compañía, sus recursos financieros y su naturaleza o estructura operativa. Desafortunadamente, no existe una definición específica o cuantitativa del factor de costo. Es más probable que evolucione a través del sistema legal a medida que se presenten en los tribunales los distintos casos de discriminación. Si se desea más información sobre las definiciones, los aspectos legales y las guías de modificaciones a la accesibilidad, el ingeniero de métodos debe consultar el ADA (1991).

9.5 SEGUIMIENTO

El octavo y último paso de un programa de ingeniería de métodos es el seguimiento (por favor, consulte la figura 2.1). El séptimo paso, establecer los estándares de tiempo, no es estrictamente parte de los cambios de métodos y no se estudiará en esta sección sobre métodos. Sin embargo, es una parte necesaria de cualquier centro de trabajo y se cubrirá con mucho detalle en los capítulos 10 a 16.

El seguimiento del método, en el corto plazo, incluye asegurar que la instalación sea la correcta para capacitar a los operarios en las prácticas de trabajo apropiadas y que puedan lograr los niveles de productividad deseados. También implica el análisis económico para verificar que, en realidad, se logren los ahorros proyectados. Si no se da seguimiento, la administración podría cuestionar la necesidad de dichos cambios y, en el futuro, podría estar menos dispuesta a apoyar otros similares. Por último, es importante mantener a todos convencidos del método, de manera que los operarios no regresen a los antiguos patrones de movimiento, los supervisores no se relajen en su tarea de reforzar los nuevos procedimientos y la administración no dude de su compromiso con el programa completo.

El seguimiento del nuevo método es un aspecto crítico para mantener un centro de trabajo operando en forma continua y eficiente. De otra manera, varios años después, otro ingeniero de métodos examinará el método actual y se hará las mismas preguntas —"¿por qué?" y "¿cuál es el propósito de esta operación?"— que se hicieron como parte de este análisis de la operación. Por lo tanto, es muy importante cerrar el ciclo de retroalimentación y mantener un ciclo de mejora continua, como se presenta en la figura 2.1.

9.6 IMPLANTACIONES EXITOSAS DE MÉTODOS

Como ejemplo de un programa de métodos eficaz en el sector manufacturero, una compañía de Ohio realizó ahorros de 17 496 toneladas anuales. Mediante una sección laminada en forma de anillo soldado, la compañía pudo reemplazar el anillo forjado original que pesaba 2 198 lb. La nueva sección pesaba sólo 740 libras. Los ahorros de 1 458 libras de acero de alto grado, que representa casi el doble del peso de la pieza terminada, se obtuvieron mediante el sencillo procedimiento de reducir el exceso de material que antes se tenía que desperdiciar. En el ejemplo 9.5 se muestra otro ejemplo más detallado.

Las mejoras a los métodos también se pueden implantar en operaciones menos tradicionales. Un laboratorio de análisis con una planta de Nueva Jersey aplicó los principios de análisis de operación a la distribución de bancos de trabajo nuevos en forma de cruz, para que cada químico tuviera una mesa de trabajo en forma de L. Este arreglo les permitió alcanzar cualquier pieza de la estación de trabajo con sólo un movimiento. El nuevo banco de trabajo consolidó el equipo, ahorró espacio y eliminó la duplicidad de instalaciones. Un gabinete con puertas de vidrio da servicio a dos químicos. Un ventilador grande de techo permite realizar actividades múltiples en un área que anteriormente era un cuello de botella. Todas las salidas también se reubicaron para obtener una máxima eficiencia.

Las mejoras de los métodos pueden usarse para incrementar la eficiencia de organizaciones de servicios. Una división de un gobierno estatal desarrolló un programa de análisis de las operaciones

Cambio de métodos en un arrancador automático — EJEMPLO 9.5

Un caso histórico representativo, producto del análisis de operaciones, es la producción de un arranque automático, un dispositivo para poner en marcha los motores de CA reduciendo el volumen a través de un transformador. La caja de arco es un subensamble del arranque. Esta parte se encuentra al fondo del arranque y actúa como barrera entre los contactos para que no haya cortocircuitos. El diseño actual consta de los componentes que se muestran en la tabla 9.10.

Al ensamblar estos componentes, el operario coloca una rondana, una arandela de presión y una tuerca en un extremo de cada varilla. Después, inserta las varillas en los tres agujeros de la primera barrera. Luego coloca un espaciador en cada varilla (tres en total) y agrega otra barrera. Los operarios repiten este proceso hasta colocar seis barreras, separadas por los tubos.

Tabla 9.10 Componentes de un arranque

Barreras de asbesto con tres orificios barrenados	6
Espaciadores de tubo aislante de 2 de largo	15
Varillas de acero roscadas en ambos extremos	3
Piezas metálicas	18
Piezas totales	42

Se sugirió que las seis barreras se hicieran con dos ranuras, una en cada extremo, y que se hicieran dos tiras de asbesto para soportarlas, con seis ranuras cada una. Las barreras se deslizarían y colocarían juntas en el fondo del arranque según se necesitara. La manera de ensamblar sería la misma que se utiliza para armar los separadores en una caja de huevos. Se presentó un total de 15 sugerencias de mejora después de terminar el análisis, con los resultados que se muestran en la tabla 9.11.

Tabla 9.11 Mejoras para el arranque automático

Método antiguo	**Método nuevo**	**Ahorro**
42 partes	8	34
10 estaciones de trabajo	1	9
18 transportes	7	11
7 900 pies de traslado	200	7 700
9 almacenamientos	4	5
tiempo de 0.45 horas	tiempo de 0.11 horas	0.34 horas
costos de $1.55	$0.60	$0.95

que generó ahorros anuales estimados de más de 50 000 horas de trabajo. Este logro se obtuvo mediante la combinación, eliminación y rediseño de las actividades de documentación; la mejora de la distribución de planta, y el desarrollo de líneas de autoridad.

La mejora de los métodos también es eficaz en un entorno de oficina. Un departamento de ingeniería industrial de una compañía de Pennsylvania deseaba simplificar la documentación necesaria para enviar las piezas moldeadas fabricadas en una de sus plantas a una empresa afiliada para su ensamblado. El departamento desarrolló un nuevo método que reducía el embarque promedio diario de 45 pedidos de 552 hojas de formas de papel a 50 hojas. Sólo en papel los ahorros anuales fueron significativos.

Más recientemente, la mejora de métodos se enlazó con mucho éxito a un programa de ergonomía. Un fabricante de tapetes para automóviles del centro de Pennsylvania fue citado por OSHA en relación con la cantidad excesiva de lesiones o músculo-esquelético relacionadas con el trabajo. En vista del estándar ergonómico en desarrollo, la compañía fue citada bajo la cláusula de deberes generales del OSHAct de 1970, por no proporcionar un entorno de trabajo seguro para sus empleados. Como parte del programa de reducción de 4 años, la compañía contrató a una enfermera ocupacional para que diese el manejo médico adecuado y un consultor de ergonomía externo para que ayudase a rediseñar el lugar de trabajo a fin de reducir las tasas de lesiones. Un análisis detallado del sitio de trabajo identificó o confirmó a partir de los registros médicos los puestos y las estaciones de trabajo críticos. Los cambios de método exitosos que se implantaron incluían cortadores de agua a presión en lugar del corte manual con cuchillo, una disminución del número de veces que los tapetes se manejaban manualmente y cambios en las operaciones de pegado y cosido. Además, se analizaron las condiciones de trabajo desde la perspectiva de los empleados investigando la salud y la seguridad y se proporcionó a los trabajadores distintos niveles de capacitación ergonómica. Como resultado, el número de lesiones músculo-esqueléticas registrado por OSHA bajó de 55 en el primer año, a 35 en el segundo, a 17 en el tercero, hasta finalmente llegar a 8 en el quinto año. Sin embargo, lo más importante fue que el programa de ergonomía se consideró tan exitoso que OSHA dio por terminado el programa de reducción ¡después del segundo año!

RESUMEN

El aumento de la producción y las mejoras de la calidad son los resultados principales de los cambios en o de los métodos y en el diseño del trabajo, pero los cambios de métodos también hacen partícipes de los beneficios de una producción mejorada a todos los trabajadores y ayudan a desarrollar mejores condiciones de trabajo y un entorno laboral más seguro, de forma que los empleados puedan realizar más trabajo en la planta, hacerlo bien y aún tener la energía suficiente para disfrutar de la vida. Los ejemplos de implantaciones eficaces de cambios de métodos demuestran con claridad la necesidad de aplicar un enfoque ordenado, como se presenta en la figura 2.1. El ingeniero de métodos debe observar que no es suficiente usar algoritmos matemáticos complejos o las últimas herramientas de software para desarrollar el método ideal. Es necesario vender el plan tanto a la administración como a los mismos trabajadores. Las técnicas interpersonales adicionales y las estrategias para tratar con las personas con el propósito de vender mejor el método, se presentan en el capítulo 18.

PREGUNTAS

1. Compare y contraste una tabla de decisiones con la ingeniería de valor.
2. ¿Cómo se definen los beneficios relacionados especialmente con la salud y la seguridad en el análisis costo-beneficio?
3. ¿Cuáles son las preocupaciones principales de la administración respecto a un nuevo método cuyo costo de instalación es relativamente alto?
4. ¿A qué se refiere el método de flujo de efectivo descontado?
5. ¿A qué se refiere el método de periodo de recuperación? ¿Cómo se relaciona con el método de rendimiento sobre la inversión?
6. ¿Cuál es la relación entre rendimiento sobre la inversión de capital y el riesgo asociado con las ventas pronosticadas del producto para el que se usará el nuevo método?
7. ¿Cuáles son los dos temas específicos que deben destacarse cuando se realiza una descripción de puestos?
8. ¿Es el tiempo un denominador común del costo de mano de obra? Explique su respuesta.
9. ¿Qué es un análisis de puestos?
10. ¿Cuáles son los cuatro métodos de evaluación de puestos que se practican en la actualidad?
11. Explique con detalle cómo funciona el plan de puntos.
12. ¿Qué factores influyen en el valor relativo de un puesto?
13. ¿Cuál es la debilidad del uso de los registros históricos como medio para establecer estándares de desempeño?
14. Explique por qué debe establecerse un rango de sueldos en vez de sólo un sueldo para cada grado de mano de obra.
15. ¿Cuáles son las principales consideraciones negativas que deben tomarse en cuenta antes de la instalación de un sistema de evaluación de puestos por puntos?
16. ¿Cuáles son los beneficios principales de una instalación apropiada de un plan de evaluación de puestos?
17. ¿Cuáles son los tres aspectos que constituyen un plan de evaluación de puestos exitoso?
18. ¿Cómo se incluye la ADA en un cambio de métodos?

PROBLEMAS

1. ¿Cuánto capital podría invertirse en un método nuevo si se estima que se ahorrarán $5 000 el primer año, $10 000 el segundo y $3 000 el tercero? La administración espera un rendimiento de 30% sobre el capital invertido.
2. Usted ha estimado que la vida de su diseño es de 3 años. Espera que se requiera una inversión de capital de $20 000 para poner en marcha la producción. También estima, con base en los pronósticos de ventas, que el resultado del diseño será una ganancia de $12 000 después de impuestos en el primer año y $16 000 en el segundo año, y que tendrá una pérdida de $5 000 en el tercer año. La administración ha pedido un rendimiento de 18% sobre la inversión de capital. ¿Debería la compañía aprobar esta inversión para producir el nuevo diseño? Explique su respuesta.
3. En la compañía Dorben, la operación de manejo de materiales en el almacén se realiza en forma manual. Los desembolsos anuales por la mano de obra y los gastos relacionados (seguro social, segu-

ro de accidentes y otros beneficios marginales) ascienden a $8 200. El analista de métodos evalúa una propuesta para construir cierto equipo a fin de reducir este costo de mano de obra. El primer costo de este equipo será de $15 000. Se estima que el equipo reducirá el desembolso anual en mano de obra y sus costos adicionales a $3 300. Los pagos anuales de energía, mantenimiento e impuestos sobre activos de capital más seguros se estiman en $400, $1 100 y $300, respectivamente. Se anticipa que la necesidad de esta operación específica continuará durante 10 años. Debido a que el equipo está especialmente diseñado para esta operación, no tendrá valor de recuperación. Se supone que los gastos anuales de mano de obra, energía y mantenimiento serán uniformes durante los 10 años. La tasa mínima de rendimiento antes de impuestos es de 10%. Con base en una comparación del costo anual, ¿debe la compañía proceder con el nuevo equipo de manejo de materiales?

4. Un plan de evaluación de puestos basado en el sistema de puntos se basa en los siguientes factores:
   a) Educación: ponderación máximo 100 puntos; cuatro grados.
   b) Esfuerzo: ponderación máximo 100 puntos; cuatro grados.
   c) Responsabilidad: ponderación máximo 100 puntos; cuatro grados.

   Un empleado que barre el piso está calificado con 150 puntos y esta posición tiene un salario por hora de $6.50. Un operario de máquina fresadora clase 3 está calificado con 320 puntos, con lo que obtiene un sueldo de $10.00 por hora. ¿Qué grado de experiencia se debe pedir a un operario de prensa de taladro con un sueldo de $8.50 por hora y calificaciones de puntos de grado 2 en educación, grado 1 en esfuerzo y grado 2 en responsabilidad?

5. Un plan de evaluación del trabajo en la Dorben Company tiene cinco grados de mano de obra, de los cuales el grado 5 tiene el sueldo base más alto y el grado 1 el más bajo. El plan lineal incluye un rango de 50 a 250 puntos para habilidades, 15 a 75 puntos para esfuerzo, 20 a 100 puntos para responsabilidad y 15 a 75 puntos para las condiciones de trabajo. Cada uno de ellos tiene cinco grados. Cada grado de mano de obra tiene tres tasas salariales: baja, media y alta.
   a) Si el sueldo más alto del grado 1 de mano de obra es de $8 por hora y el sueldo más alto para la mano de obra de grado 5 es de $20 por hora, ¿cuál sería el sueldo medio para la mano de obra de grado 3?
   b) ¿Qué grado de habilidad se requiere para una mano de obra de grado 4, si se aplica un esfuerzo de segundo grado, una responsabilidad de segundo grado y condiciones de trabajo de primer grado?

6. El analista de la compañía Dorben instaló un plan de evaluación de puestos por puntos que cubría todos los empleados indirectos de las divisiones operativas de la planta. El plan considera diez factores y cada factor se dividió en cinco grados. En el análisis de puestos, se mostró que el encargado de envío y recepción tenía iniciativa e ingenio de segundo grado, valuado en 30 puntos. El valor total de este puesto era de 250 puntos. El número mínimo de puntos que permite el logro de este plan es de 100 y el máximo de 500.
   a) Si prevalecieron 10 clases de puestos, ¿qué grado de iniciativa e ingenio se requeriría para elevar el puesto de encargado de envío y recepción de la clase 4 a la clase 5?
   b) Si un puesto de clase 1 tiene un sueldo de $8 por hora y un puesto de clase 10 un sueldo de $20 por hora, ¿qué sueldo tendrá un puesto de clase 7? (*Nota*: los sueldos se basan en el punto medio de los rangos de puntos de la clase del puesto.)

7. Un ergonomista sugiere reemplazar a dos encargados de correo, cada uno de los cuales clasifica 3 000 piezas/hora y obtiene un pago de $10 por hora, por una máquina con sistema de visión que puede clasificar 6 000 piezas/hora pero tiene un costo de mantenimiento de $1 por hora y un precio de compra de $50 000. ¿Cuántas horas tardaría en pagarse el sistema?

REFERENCIAS

ADA., *Americans with Disabilities Act Handbook*, EEOC-BK-19. Washington, DC: Equal Employment Opportunity Commission and U.S. Dept. of Justice, 1991.

Brown, D. B., *Systems Analysis & Design for Safety*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1976.

Carey, A., "The Hawthorne Studies: A Radical Criticism", en *Concepts and Controversy in Organizational Behavior*, Ed. W. R. Nord. Pacific Palisades, CA: Goodyear Publishing Co., 1972.

DeReamer, R., *Modern Safety and Health Technology*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Dunn, J. D. y F. M. Rachel, *Wage and Salary Administration*: *Total Compensation Systems*, Nueva York: McGraw-Hill, 1971.

Ellig, Bruce R., *Compensation Issues of the Eighties*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.
Fleischer, G. A., "Economic Risk Analysis", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Gausch, J. P., "Safety and Decision-Making Tables", en *ASSE Journal*, 17 (noviembre de 1972), pp. 33-37.
Gausch, J. P., "Value Engineering and Decision Making", En *ASSE Journal*, 19 (mayo de 1974), pp. 14-16.
Grant, E., W. Ireson y R. S. Leavenworth, *Principles of Engineering Economy*, 6a. ed. Nueva York: Ronald Press, 1976.
Heinrich, H. W., D. Petersen y N. Roos, *Industrial Accident Prevention*, 5a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1980.
Homans, G., "The Western Electric Researches", en *Concepts and Controversy in Organizational Behavior*, Ed. W. R. Nord. Pacific Palisades, CA: Goodyear Publishing Co., 1972.
Jung, E. S. y A. Freivalds, "Multiple Criteria Decision-Making for the Resolution of Conflicting Ergonomic Knowledge in Manual Materials Handling", en *Ergonomics*, 34, núm. 11 (noviembre de l991), pp. 1351-1356.
Lawler, Edward E., *What's Wrong with Point-Factor Job Evaluation?* Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.
Livy, B., *Job Evaluation: A Critical Review*. Nueva York: Halstead, 1973.
Lutz, Raymond P., "Discounted Cash Flow Techniques", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Mayo, E., *The Human Problems of an Industrial Civilization*, Nueva York: The Viking Press, 1960.
McCormick, Ernest J., "Job Evaluation", en *Handbook of Industrial Engineering*. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.
Milkovich, George T., Jerry M. Newman y James T. Brakefield, "Job Evaluation in Organizations", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, Washington, DC: Bureau of National Affairs, 1990.
Otis, Jay y Richard H. Leukart, *Job Evaluation: A Sound Basis for Wage Administration*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1954.
Pennock, G. A., "Industrial Research at Hawthorne", en *The Personnel Journal*, 8 (junio de 1929-abril de 1930), pp. 296-313.
Risner, Howard, *Job Evaluation: Problems and Prospects*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.
Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*, Nueva York: McGraw-Hill, Inc., 1980.
Salvendy, Gavriel y Douglas W. Seymour, *Prediction and Development of Industrial Work Performance*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1973.
Thuesen, H. G., W. J. Fabrycky y G. J. Thuesen, *Engineering Economy*, 5a. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1977.
Wegener, Elaine, *Current Developments in Job Classification and Salary Systems*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.

SOFTWARE SELECCIONADO

DesignTools (disponible desde el sitio de textos de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebel-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Estudio de tiempos

CAPÍTULO 10

PUNTOS CLAVE

- Usar el estudio de tiempos para establecer estándares de tiempo.
- Usar indicadores tanto auditivos como visuales para dividir las operaciones en elementos.
- Usar tiempos continuos para obtener un registro completo de tiempos.
- Usar tiempos con la técnica de regresos a cero para evitar errores de oficina.
- Realizar una verificación de tiempos para confirmar la validez del estudio de tiempos.

El séptimo paso en el proceso sistemático para desarrollar el centro de trabajo eficiente es el establecimiento de estándares de tiempo. Éstos pueden determinarse mediante el uso de estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo. En el pasado, los analistas confiaban más en las estimaciones como un medio de establecer estándares. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que ningún individuo puede establecer estándares consistentes y justos sólo con ver un trabajo y juzgar el tiempo requerido para terminarlo.

Con el método de registros históricos, los estándares de producción se basan en los registros de trabajos similares, realizados anteriormente. En la práctica diaria, el trabajador perfora una tarjeta en un reloj o dispositivo recolector de datos cada vez que inicia un nuevo trabajo y la perfora otra vez después de terminar el trabajo. Esta técnica indica cuánto tiempo tomó en realidad realizar un trabajo, pero no cuánto debió haber tardado. Algunos trabajos incluyen retrasos personales, inevitables y evitables en un grado mucho mayor que lo que deben, mientras que otros no incluyen proporciones adecuadas de tiempos de retraso. Los datos históricos contienen desviaciones consistentes hasta de 50% en la misma operación del mismo trabajo.

Cualquiera de las técnicas de medición del trabajo —estudio de tiempos con cronómetro (electrónico o mecánico), sistemas de tiempo predeterminado, datos estándar, fórmulas de tiempos o estudios de muestreo del trabajo— representa una mejor forma de establecer estándares de producción justos. Todas estas técnicas se basan en el establecimiento de estándares de tiempo permitido para realizar una tarea dada, con los suplementos u holguras por fatiga y por retrasos personales e inevitables.

Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo, mientras que los estándares mal establecidos, aunque es mejor tenerlos que no tener estándares, conducen a costos altos, inconformidades del personal y posiblemente fallas de toda la empresa. Esto puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio.

10.1 UN DÍA DE TRABAJO JUSTO

El principio fundamental en la industria es que el empleado merece un pago justo diario, por el que la compañía merece un día de trabajo justo. Un día de trabajo justo puede definirse como la cantidad de trabajo que puede producir un empleado calificado cuando trabaja a un paso estándar y usando de manera efectiva su tiempo, donde el trabajo no está restringido por limitaciones del proceso. Esta definición no aclara qué significa empleado calificado, paso estándar y utilización efectiva de la flexibilidad. Por ejemplo, el término *empleado calificado* puede definirse con más profundidad como un promedio representativo de aquellos empleados que están completamente capacitados y son capaces de realizar satisfactoriamente cualquiera de las etapas del trabajo involucradas, o todas ellas, de acuerdo con los requerimientos del trabajo en consideración.

El *paso estándar* puede definirse como la tasa efectiva de desempeño de un empleado calificado, consciente, a su propio paso, cuando no trabaja deprisa ni despacio y teniendo el cuidado debido con los requerimientos físicos, mentales o visuales del trabajo específico. Una interpretación especifica esto como un trabajador caminando sin carga, sobre piso parejo y nivelado a una velocidad de 3 mi/h.

También existe algo de incertidumbre sobre la definición de *utilización efectiva*. De manera típica ésta podría ser el mantenimiento de un paso normal al realizar elementos esenciales de la tarea durante todas las porciones del día excepto las que se requieren para descansos razonables y necesidades personales, en circunstancias en las que el trabajo no está sujeto a un proceso, equipo u otras limitaciones operativas.

En general, un día de trabajo justo es aquel que es equitativo tanto para la compañía como para el empleado. Esto significa que el empleado debe proporcionar un día de trabajo completo por el salario que recibe, con suplementos u holguras razonables por retrasos personales, inevitables y por fatiga. Se espera que el trabajador opere con el método prescrito a un paso que no es rápido ni lento, sino uno que pueda considerarse representativo del desempeño durante todo el día, por el empleado experimentado y cooperativo. El estudio de tiempos es un método que sirve para determinar un día de trabajo justo.

10.2 REQUERIMIENTOS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS

Antes de realizar un estudio de tiempos, deben cumplirse ciertos requerimientos fundamentales. Por ejemplo, si se requiere un estándar de un nuevo trabajo, o de un trabajo antiguo en el que el método o parte de él se ha alterado, el operario debe estar completamente familiarizado con la nueva técnica antes de estudiar la operación. Además, el método debe estandarizarse en todos los puntos en que se use antes de iniciar el estudio. A menos que todos los detalles del método y las condiciones de trabajo se hayan estandarizado, los estándares de tiempo tendrán poco valor y se convertirán en una fuente continua de desconfianza, resentimientos y fricciones internas.

Los analistas deben decirle al representante del sindicato, al supervisor del departamento y al operario que se estudiará el trabajo. Cada una de estas partes puede realizar los pasos necesarios para permitir un estudio sin contratiempos y coordinado. El operario debe verificar que está aplicando el método correcto y debe estar familiarizado con todos los detalles de esa operación. El supervisor debe verificar el método para asegurar que la alimentación, la velocidad, las herramientas de corte, los lubricantes, etc., cumplen con las prácticas estándar, como lo establece el departamento de métodos. También debe investigar la cantidad de material disponible para que no se presenten faltantes durante el estudio. Después, el representante del sindicato se asegura que sólo se elijan operarios capacitados y competentes, debe explicar por qué se realiza el estudio y responder a cualquier pregunta pertinente que surja por parte del operario.

RESPONSABILIDAD DEL ANALISTA

Todo trabajo involucra distintos grados de habilidad, así como de esfuerzo físico o mental. También existen diferencias en aptitudes, aplicación física y destreza de los trabajadores. Es sencillo para el analista observar a un empleado y medir el tiempo real que le toma realizar una tarea. Es mucho más difícil evaluar todas las variables y determinar el tiempo requerido para que un operario calificado realice la tarea.

El analista del estudio de tiempos debe estar seguro de que se usa el método correcto, registrar con precisión los tiempos tomados, evaluar con honestidad el desempeño del operario y abstenerse de hacer alguna crítica. El trabajo del analista debe ser completamente confiable y exacto. Las imprecisiones y malos juicios no sólo afectan al operario y a las finanzas de la compañía, sino que también pueden dar como resultado la pérdida de confianza del operario y el sindicato. El analista del estudio de tiempos siempre debe ser honesto, tener tacto y buenas intenciones, ser paciente y entusiasta, y siempre debe usar un buen juicio.

RESPONSABILIDAD DEL SUPERVISOR

El supervisor debe notificar por anticipado al operario que se estudiará su trabajo asignado. El supervisor debe verificar que se utilice el método adecuado establecido por el departamento de métodos, y que el operario seleccionado sea competente y tenga la experiencia adecuada en el trabajo. Aunque el analista de estudio de tiempos debe tener experiencia práctica en el área de trabajo donde realiza el estudio, no se puede esperar que conozca todas las especificaciones de todos los métodos y procesos. Por lo tanto, el supervisor debe verificar que las herramientas de corte tengan el filo adecuado, que se use el lubricante correcto y que se haga la selección adecuada de alimentadores, velocidades y profundidades de corte. El supervisor también debe estar seguro de que el operario sigue el método prescrito, ayudar y capacitar de manera consciente a todos los empleados para que perfeccionen este método. Una vez terminado el estudio de tiempos, el supervisor debe firmar el documento original indicando que está de acuerdo con el estudio.

RESPONSABILIDAD DEL SINDICATO

La mayoría de los sindicatos reconocen que los estándares son necesarios para la operación rentable de un negocio y que la administración continúa con el desarrollo de dichos estándares usando las técnicas aceptadas de medición del trabajo. Además, todo representante sindical sabe que los estándares de tiempo deficientes ocasionan problemas tanto a los empleados como a la administración.

A través de los programas de capacitación, el sindicato debe educar a todos sus miembros en los principios, teorías y necesidad económica de la práctica de un estudio de tiempos. No se puede esperar que los operarios sean entusiastas respecto al estudio de tiempos si no saben nada sobre éste. Lo anterior es especialmente cierto en vista de sus antecedentes (vea el capítulo 1).

El representante del sindicato debe asegurarse de que el estudio de tiempos incluya un registro completo de las condiciones de trabajo, es decir, del método de trabajo y de la distribución de la estación de trabajo. También debe asegurarse de que la descripción actual del trabajo esté completa y alentar al operario para que coopere con el analista del estudio de tiempos.

RESPONSABILIDAD DEL OPERARIO

Todo empleado debe estar suficientemente interesado en el bienestar de la compañía y apoyar las prácticas y procedimientos inaugurados por la administración. Los operarios deben dar una oportunidad justa a los nuevos métodos y cooperar para eliminar las fallas que pudieran tener. El operario está más cerca del trabajo que nadie y puede hacer contribuciones reales a la compañía al ayudar a establecer los métodos ideales.

El operario debe ayudar al analista del estudio de tiempos para dividir la tarea en sus elementos, lo que asegura que se cubran todos los detalles específicos. También debe trabajar a un paso normal, estable mientras se realiza el estudio, y debe introducir el menor número de elementos extraños o movimientos extra que sea posible. Debe usar el método prescrito exacto, ya que cualquier acción que prolongue el tiempo de ciclo de manera artificial puede resultar en un estándar demasiado holgado.

10.3 EQUIPO PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS

El equipo mínimo requerido para realizar un programa de estudio de tiempos incluye un cronómetro, un tablero de estudio de tiempos, las formas para el estudio y una calculadora de bolsillo. Un equipo de videograbación también puede ser muy útil.

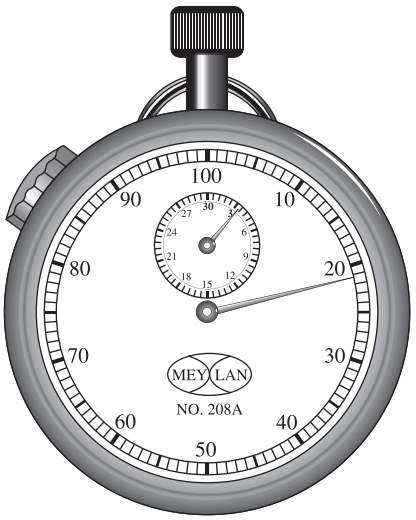


Figura 10.1 Cronómetro minutero decimal.

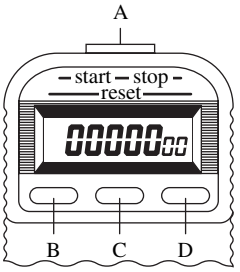


Figura 10.2 Cronómetro electrónico. A) Inicio/detención, B) recuperación de memoria, C) modo (continuo/regreso a cero) y D) otras funciones.

CRONÓMETRO

En la actualidad se usan dos tipos de cronómetros: el tradicional cronómetro minutero decimal (0.01 min) y el cronómetro electrónico que es mucho más práctico. El cronómetro decimal, que se muestra en la figura 10.1, tiene 100 divisiones en la carátula, y cada división es igual a 0.01 minutos; es decir, un recorrido completo de la manecilla larga requiere un minuto. El círculo pequeño de la carátula tiene 30 divisiones, cada una de las cuales es de 1 minuto. Por lo tanto, por cada revolución completa de la manecilla larga, la manecilla corta se mueve una división, o un minuto. Para iniciar este cronómetro, se desliza el botón lateral hacia la corona. Al oprimir la corona, ambas manecillas, la larga y la corta, regresan a cero. Al soltarla el cronómetro inicia de nuevo la operación, a menos que se deslice el botón lateral alejándolo de la corona. Al mover el botón lateral lejos de la corona el reloj se detiene.

Los cronómetros electrónicos cuestan aproximadamente 50 dólares. Estos cronómetros proporcionan una resolución de 0.001 segundos y una exactitud de ±0.002 por ciento. Pesan alrededor de 4 onzas y miden aproximadamente $4 \times 2 \times 1$ pulgadas (vea la figura 10.2). Permiten tomar el tiempo de cualquier número de elementos individuales, mientras sigue contando el tiempo total transcurrido. Así, proporcionan tanto *tiempos continuos* como *regresos a cero* (botón C), sin las desventajas de los cronómetros mecánicos. Para operar el cronómetro, se presiona el botón superior (botón A). Cada vez que se presiona este botón aparece una lectura numérica. Al presionar el botón de memoria (botón B) se recuperan las lecturas anteriores. Una versión un poco más compleja incorpora el cronómetro a un tablero de estudio de tiempos (vea la figura 10.3).

Con el costo de los cronómetros mecánicos de más de 150 dólares y la disminución en el precio de los electrónicos, el uso de cronómetros mecánicos desaparece con rapidez. Por otro lado, se están volviendo más populares los asistentes personales digitales de propósito general (PDA).

CÁMARAS DE VIDEOGRABACIÓN

Las cámaras de videograbación son ideales para grabar los métodos del operario y el tiempo transcurrido. Al tomar película de la operación y después estudiarla cuadro por cuadro, los analistas pueden registrar los detalles exactos del método usado y después asignar valores de tiempos normales. También pueden establecer estándares proyectando la película a la misma velocidad que la de grabación y luego calificar el desempeño del operario. Debido a que todos los hechos están ahí, observar el video es una manera justa y exacta de calificar el desempeño. Asimismo, a través del ojo de la cámara pueden surgir mejoras potenciales a los métodos que pocas veces se detectan con el procedimiento del cronómetro. Otra ventaja de las cintas de video es que con el software de MVTA (que se analiza después en la sección de software para estudio de tiempos), los estudios de tiempos pueden hacerse en forma casi automática. Más recientemente con la llegada de las cámaras de video digitales y el

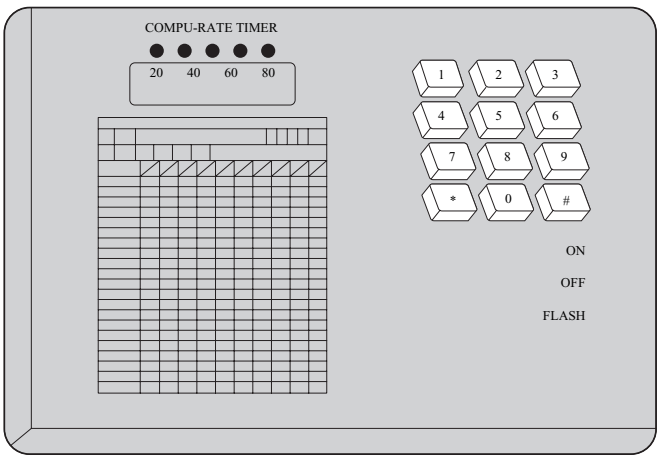


Figura 10.3 Cronómetro electrónico asistido por computadora.

software de edición en PC, los estudios de tiempo se pueden realizar prácticamente en línea. Las cintas de video también son excelentes para la capacitación de los nuevos analistas de tiempos, ya que las secciones se pueden rebobinar y repetir fácilmente hasta que se adquiera la habilidad suficiente.

TABLERO DE ESTUDIO DE TIEMPOS

Cuando se usa un cronómetro, los analistas encuentran conveniente tener un tablero adecuado para sostener el estudio de tiempos y el cronómetro. El tablero debe ser ligero, de manera que no se canse el brazo, ser fuerte y suficientemente duro para proporcionar el apoyo necesario para la forma de estudio de tiempos. Entre los materiales adecuados se incluyen el triplay y el plástico liso de ¼ de pulgada. El tablero debe tener contactos para el brazo y el cuerpo con el propósito de que el ajuste sea cómodo y resulte fácil escribir mientras se sostiene. Para un observador derecho, el reloj debe estar montado en la esquina superior derecha de la tabla. Un broche de resorte a la izquierda mantiene la forma para el estudio de tiempos en su lugar. De pie en la posición adecuada el analista de tiempos puede ver la estación de trabajo por encima de la tabla y seguir los movimientos del operario, al mismo tiempo que mantiene el reloj y la forma dentro de su campo visual inmediato.

FORMAS PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS

Todos los detalles del estudio se registran en una forma de estudio de tiempos. La forma proporciona espacio para registrar toda la información pertinente sobre el método que se estudia, las herramientas utilizadas, etc. La operación en estudio se identifica mediante información como nombre y número del operario, descripción y número de la operación, nombre y número de la máquina, herramientas especiales usadas y sus números respectivos, el departamento donde se realiza la operación y las condiciones de trabajo prevalecientes. Es mejor proporcionar demasiada información concerniente al trabajo estudiado que tener muy poca.

La figura 10.4 ilustra una forma para el estudio de tiempos desarrollada por los autores. Es suficientemente flexible para usarse prácticamente en cualquier tipo de operación. En esta forma, se registran los diferentes elementos de la operación en forma horizontal en la parte superior de la hoja, y los ciclos estudiados se introducen verticalmente, renglón por renglón. Las cuatro columnas abajo de cada elemento son: C para *calificaciones*; LC para el *tiempo del cronómetro* o las *lecturas del cronómetro*; TO para el *tiempo observado*, es decir, la diferencia de tiempo entre lecturas sucesivas del cronómetro, y TN para el *tiempo normal*.

SOFTWARE PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS

Existen varios paquetes de software disponibles para el analista de estudio de tiempos. TimStudy, de la Royal J. Dossett Corp., usa un registrador de datos personalizado para recolectar datos de manera electrónica y después cargarlos directamente a una PC de escritorio para el análisis. CITS/APR, de C-Four, usa computadoras portátiles más versátiles para recolectar datos, y permite

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: Z-ES | Fecha: 3-1 | Página 1 de 1

Operación: FUNDICIÓN POR PRESIÓN | Operador: B. JONES | Observador: A F

Núm. de elemento y descripción		1 REMOVER PARTE DEL TROQUEL, LUBRICAR TROQUEL, INSPECCIONAR				2 COLOCAR PARTE EN EL SOPORTE, CORTAR PARTE LATERAL																	
Nota	Ciclo	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN
	1	90		30	270	90		23	207																
	2	100		27	270	100		21	210																
	3	90		31	279	90		23	207																
	4	85		35	298	100		20	200																
	5	100		28	280	100		20	200																
	6	110		25	275	110		18	198																
	7	90		31	279	90		24	216																
	8	100		28	280	85		24	204																
	9	90		32	288	90		23	207																
	10	110		26	286	105		19	200																
	11																								
	12																								
	13																								
	14																								
	15																								
	16																								
	17																								
	18																								

Resumen

TO total	2.93	2.15			
Calificación	—	—			
NT total	2.805	2.049			
Núm. de observaciones	10	10			
TN promedio	.281	.205			
% de holgura	17	17			
Tiempo estándar elemental	.329	.240			
Núm. de ocurrencias	1	1			
Tiempo estándar	.329	.240			

Tiempo estándar total (suma del tiempo estándar para todos los elementos): .569

Elementos extraños

Sim	LC1	LC2	TO	Descripción
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de tiempos

Tiempo de terminación		3:48.00
Tiempo de inicio		3:42.00
Tiempo transcurrido		6.00
TTAE	.60	
TTDE	.32	
Tiempo verificado total		.92
Tiempo efectivo		5.08
Tiempo inefectivo		0
Tiempo registrado total		6.00
Tiempo no contabilizado		0
% de error de registro		0

Resumen de holguras

Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	8
Especial	—
% de holgura total	17

Observaciones:

Verificación de calificación

Tiempo sintético	%	
Tiempo observado		

Figura 10.4 Estudio con regresos a cero de una operación de fundición por presión (los elementos se califican cada ciclo).

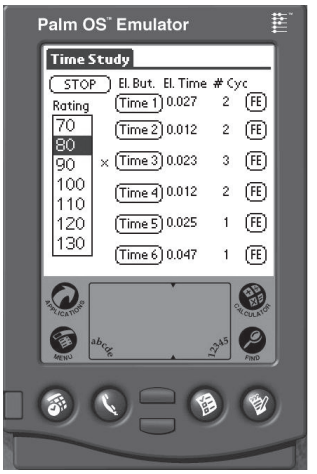


Figura 10.5 Programa QuickTS para el estudio de tiempos en una Palm PDA.

un análisis de datos más detallado porque una interfaz diseñada para hojas de cálculo se enlaza directamente con Excel. Desafortunadamente, ambas utilizan hardware especializado que no está disponible con facilidad. Más recientemente, los programas que usan asistentes digitales personales (PDA) de propósito general han ganado popularidad: Palm CITS de C-Four, QuickTimes™ de Applied Computer Services, Inc. y WorkStudy+™ 3.0 de Quetech, Ltd. En este libro también se proporciona el programa QuickTS, el cual es un programa sencillo y amigable para la Palm (vea la figura 10.5). Cualesquiera de estos productos de software permitirá al analista eliminar el trabajo pesado de escritorio para la trascripción y mejorar la exactitud de los cálculos.

Para aquellos analistas que realizan estudios de tiempos a partir de cintas de video, una opción interesante es Multimedia Video Task Analysis (MVTA, Nexgen Ergonomics). MVTA interactúa directamente con una VCR a través de una interfaz gráfica y permite a los usuarios identificar de manera interactiva los puntos de quiebre en la grabación de video mientras la analiza a cualquier velocidad (tiempo real, movimiento lento/rápido o cuadro por cuadro hacia adelante o hacia atrás). Después MVTA produce automáticamente reportes del estudio de tiempos y calcula la frecuencia de ocurrencia de cada evento así como el análisis de la postura para el diseño del trabajo.

EQUIPO DE CAPACITACIÓN

Una pieza sencilla de equipo de bajo costo que puede ayudar en la capacitación de los analistas de estudios de tiempo es el metrónomo usado por los estudiantes de música. Este dispositivo puede ajustarse para dar un número determinado de pulsos por minuto, por ejemplo 104 pulsos por minuto. Lo anterior resulta ser igual al número de cartas repartidas por minuto cuando se hace a un paso normal (vea el capítulo 11). Si se sincroniza el reparto de cartas en una mesa de bridge con cuatro manos de manera que se reparte una carta con cada golpe del metrónomo, se puede demostrar el paso normal. Muchos metrónomos, especialmente los electrónicos, pueden configurarse para dar un sonido de alerta (o una luz de advertencia) cada 3, 4 o 5 pulsos para crear un elemento más realista. Para ilustrar un desempeño del 80 por ciento, el instructor sólo tiene que establecer el metrónomo a 83 pulsos por minuto y después sincronizar el reparto de cartas de acuerdo con el sonido.

10.4 ELEMENTOS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS

La conducta real de un estudio de tiempos es tanto un arte como una ciencia. Para asegurar el éxito, los analistas deben ser capaces de inspirar confianza, ejercitar su juicio y desarrollar un acercamiento personal con todos aquellos con quienes tenga contacto. Deben entender a fondo y realizar las distintas funciones relacionadas con el estudio: seleccionar al operario, analizar el trabajo y desglosarlo en sus elementos, registrar los valores elementales de los tiempos transcurridos, calificar el desempeño del operario, asignar los suplementos u holguras adecuadas y llevar a cabo el estudio.

SELECCIÓN DEL OPERARIO

El primer paso para comenzar un estudio de tiempos consiste en seleccionar el operario con la ayuda del supervisor de línea o supervisor del departamento. En general, un operario que tiene un desempeño promedio o ligeramente por arriba del promedio proporcionará un estudio más satisfactorio que uno menos calificado o que uno con habilidades superiores. El trabajador promedio suele desempeñar su trabajo en forma consistente y sistemática. El paso de ese operario tenderá a estar aproximadamente en el rango normal (vea el capítulo 11), por consiguiente le facilitará al analista del estudio de tiempos la aplicación de un factor de desempeño correcto.

Por supuesto, el operario debe estar completamente capacitado en el método, le debe gustar el trabajo y debe demostrar interés en hacerlo bien. También debe estar familiarizado con los procedimientos y prácticas del estudio de tiempos y tener confianza tanto en los métodos del estudio de tiempos como en el analista. El operador también debe ser suficientemente cooperativo como para estar dispuesto a seguir las sugerencias hechas tanto por el supervisor como por el analista del estudio de tiempos.

El analista debe acercarse al operario de manera amigable y demostrar que entiende la operación que va a estudiar. El operario debe tener la oportunidad de hacer preguntas sobre las técnicas de medición del tiempo, el método de calificación y la aplicación de suplementos u holguras. En algunas situaciones, el operario nunca habrá sido estudiado con anterioridad. Todas las preguntas deben responderse con franqueza y paciencia. El operario debe ser incitado a ofrecer sugerencias y, cuando lo haga, el analista debe recibirlas con interés para demostrar respeto por las habilidades y conocimientos del operario.

REGISTRO DE INFORMACIÓN SIGNIFICATIVA

El analista debe registrar las máquinas, herramientas manuales, soportes, condiciones de trabajo, materiales, operaciones, nombre y número del operario, departamento, fecha del estudio y nombre del observador. El espacio para esos detalles se proporciona bajo el título de Observaciones en la forma del estudio de tiempos. También puede resultar útil un bosquejo de la distribución. Entre más información pertinente se registre, más útil será el estudio de tiempos a través de los años. Se convierte en un recurso para establecer datos estándar y desarrollar fórmulas (vea el capítulo 12). También será útil para la mejora de métodos y la evaluación de los operarios, las herramientas y el desempeño de las máquinas.

Cuando se usan máquinas herramienta, el analista debe especificar el nombre, el tamaño, el estilo, la capacidad y el número de serie o inventario, así como las condiciones de trabajo. Se deben identificar troqueles, sujetadores, calibradores, plantillas y dispositivos mediante sus números y descripciones cortas. Si las condiciones de trabajo durante el estudio son diferentes a las condiciones normales para esa tarea, afectarán el desempeño del operario. Por ejemplo, en un taller de forjado por martillado, si el estudio se llevara a cabo en un día muy caluroso, las condiciones de trabajo serían más malas que las usuales y el desempeño del operario reflejaría el efecto del intenso calor. En consecuencia, se agregaría una holgura (vea el capítulo 11) al tiempo normal del operario. Si las condiciones de trabajo mejoran, la holgura puede disminuirse. De manera inversa, si las condiciones de trabajo se vuelven peores, la holgura debe elevarse.

POSICIÓN DEL OBSERVADOR

El observador debe estar de pie, no sentado, unos cuantos pies atrás del operario, de manera que no lo distraiga o interfiera con su trabajo. Los observadores de pie se pueden mover con mayor comodidad y seguir los movimientos de las manos del operario mientras éste lleva a cabo el ciclo de trabajo. Durante el curso del estudio, el observador debe evitar cualquier conversación con el operario, ya que esto podría distraerlo o modificar las rutinas.

DIVISIÓN DE LA OPERACIÓN EN ELEMENTOS

Para facilitar su medición, la operación debe dividirse en grupos de movimientos conocidos como *elementos*. Con el fin de dividir la operación en sus elementos individuales, el analista debe obser-

var al operario durante varios ciclos. Sin embargo, si el tiempo del ciclo es mayor a 30 minutos, el analista puede escribir la descripción de los elementos mientras realiza el estudio. Si es posible, el analista debe determinar los elementos de la operación antes del inicio del estudio. Los elementos deben partirse en divisiones tan finas como sea posible, pero que no sean tan pequeñas como para sacrificar la exactitud de las lecturas. Las divisiones elementales de alrededor de 0.04 minutos son suficientemente finas para poder ser leídas en forma congruente por un analista del estudio de tiempos experimentado. Sin embargo, si los elementos anteriores y posteriores son relativamente largos, un elemento de hasta 0.02 minutos puede cronometrarse con facilidad.

A fin de identificar por completo los puntos de terminación y desarrollar congruencia en las lecturas del cronómetro de un ciclo al siguiente, se considera tanto el sonido y como las señales visuales al desglosar los elementos. Por ejemplo, los *puntos de quiebre* de los elementos pueden asociarse con sonidos como una pieza terminada que golpea el contenedor, una herramienta de fresado que muerde un molde, una broca que atraviesa la parte que se está perforando y un par de micrómetros que se dejan sobre una mesa.

Cada elemento debe registrarse en su secuencia apropiada, incluyendo una división básica de trabajo terminado mediante un sonido o movimiento distintivo. Por ejemplo, el elemento "subir la pieza al mandril manual y apretar" incluiría las siguientes divisiones básicas: alcanzar la pieza, tomar la pieza, mover la pieza, colocar la pieza, alcanzar la llave del mandril, tomar la llave, mover la llave, colocar la llave, girar la llave y soltar la llave. El punto de terminación de este elemento sería soltar la llave del mandril en la cabeza del torno, evidenciado con el sonido correspondiente. El elemento "iniciar la máquina" podría incluir alcanzar la palanca, tomar la palanca, mover la palanca y soltar la palanca. La rotación de la máquina, con el sonido que la acompaña identifica el punto de terminación de manera que las lecturas se pueden tomar exactamente en el mismo punto en cada ciclo.

Con frecuencia, los diferentes analistas del estudio de tiempos en una compañía adoptan una división de elementos estándar para las clases de instalaciones dadas, con el fin de asegurar la uniformidad en el establecimiento de los puntos de quiebre. Por ejemplo, todos los trabajos en taladros de mesa con un solo husillo se pueden dividir en elementos estándar y todos los trabajos en tornos están compuestos por una serie de elementos predeterminados. Tener elementos estándar como base para la división de la operación es especialmente importante en el establecimiento de los datos estándar (vea el capítulo 12).

Algunas sugerencias adicionales pueden ayudar a desglosar los elementos:

1. En general, mantener separados los elementos manuales y los de máquina, puesto que los tiempos de máquina se ven menos afectados por las calificaciones.
2. De la misma forma, separar los elementos constantes (aquellos elementos para los que el tiempo no se desvía dentro de un intervalo especificado de trabajo) de los elementos variables (los elementos para los que el tiempo varía dentro de un intervalo de trabajo especificado).
3. Cuando un elemento se repite, no se incluye una segunda descripción. En vez de esto, se da el número de identificación que se usó cuando el elemento ocurrió por primera vez, en el espacio proporcionado para la descripción del elemento.

10.5 INICIO DEL ESTUDIO

Al inicio del estudio se registra la hora del día (en minutos completos) de un reloj "maestro" al mismo tiempo que se inicia el cronómetro. (Se supone que todos los datos se registran en la forma de estudio de tiempos.) Éste es el *tiempo de inicio* como se muestra en la figura 10.6. Se puede usar una de dos técnicas para registrar los tiempos elementales durante el estudio. El método de *tiempos continuos*, como su nombre lo implica, permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio. En este método, el analista lee el reloj en el punto de quiebre de cada elemento y se deja que el tiempo siga corriendo. En la técnica con *regreso a cero*, después de leer el cronómetro en el punto de quiebre de cada elemento, el tiempo del reloj se regresa cero; cuando ocurre el siguiente elemento, el tiempo se incrementa a partir de cero.

Al registrar las lecturas del cronómetro, anote sólo los dígitos necesarios y omita el punto decimal, con lo que se tendrá el mayor tiempo posible para observar el desempeño del operario. Si se usa un cronómetro minutero decimal y el punto de quiebre del primer elemento ocurre a los 0.08 minutos,

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 1-3 | Fecha: 3-22- | Página 1 de 1
Operación: MAQUINADO | Operador: J. SMITH | Observador: A F

Núm. de elemento y descripción		1 ALIMENTAR LA BARRA HASTA EL TOPE				2 COLOCAR LA HERRAMIENTA DE CORTE EN LA BARRA				3 GIRAR ½" A 550 RPM				4 RETIRAR LA HERRAMIENTA Y DEJAR LA BARRA											
Nota	Ciclo	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN
	1	85		19	162	105		12	126	100		60	600	90		17	153								
	2	90		22	198	105		13	137	100		60	600	100		16	160								
	3	100		17	170	105		11	116	100		60	600	105		17	179								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
	9																								
	10																								
	11																								
	12																								
	13																								
	14																								
	15																								
	16																								
	17																								
	18																								

Resumen

TO total	.58	.36	1.80	.50		
Calificación (3) →	—	—	—	—		
TN total	.530	.379	1.800	.492		
Núm. de observaciones	3	3	3	3		
TN promedio (11)	.177	.126	.600	.164		
% de holgura	10	10	10	10		
Tiempo estándar elemental	.195	.139	.660	.180		
Núm. de ocurrencias	1	1	1	1		
Tiempo estándar	.195	.139	.660	.180		

Tiempo estándar total (suma del tiempo estándar para todos los elementos): 1.174

Elementos extraños

Sim	LC1	LC2	TO	Descripción
A	0	35	35	VERIFICAR DEFINICIONES
B	(5)			
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de calificación

Tiempo sintético	%
Tiempo observado	

Verificación de tiempos

Tiempo de terminación (6) →	9:22.00	
Tiempo de inicio (1) →	9:16.00	
Tiempo transcurrido (9) →	6,00	
TTAE (2) →	1.86	
TTDE (7) →	.60	
Tiempo verificado total	2.46 ← (8)	
Tiempo efectivo	3.24 ← (12)	
Tiempo inefectivo	.35 ← (13)	
Tiempo registrado total (14) →	6.05	
Tiempo no contabilizado (15) →	.05	
% de error de registro (16) →	.8 %	

Resumen de holguras

Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	1
Especial	—
% de holgura total	10

Observaciones: CICLO DE MÁQUINA (ELEMENTO # 3) TIEMPO = .60 MIN

Figura 10.6 Resumen de los pasos para realizar y calcular un estudio de tiempos.

Tabla 10.1 Registro de lecturas del cronómetro para tiempos continuos

Lecturas consecutivas de cronómetro en décimas de minuto	Lecturas registradas
0.08	8
0.25	25
1.32	132
1.35	35
1.41	41
2.01	201
2.10	10
2.15	15
2.71	71
3.05	305
3.17	17
3.25	25

se registra nada más el dígito 8 en la columna de LC (lectura del cronómetro). En la tabla 10.1, se muestran otros ejemplos de registros.

MÉTODO DE REGRESOS A CERO

El método de regresos a cero tiene tanto ventajas como desventajas en comparación con la técnica de tiempo continuo. Algunos analistas del estudio de tiempos usan ambos métodos, con la creencia de que los estudios en los que predominan los elementos largos se adaptan mejor a las lecturas con regresos a cero, mientras que los estudios de ciclo corto se ajustan mejor al método continuo.

Como los valores del elemento transcurrido se leen directamente con el método de regresos a cero, no se necesita tiempo para realizar las restas sucesivas, como en el método continuo. Así, la lectura se puede insertar directamente en la columna de TO (*tiempo observado*). También se pueden registrar de inmediato los elementos que el operario realiza en desorden sin una notación especial. Además, los proponentes del método de regresos a cero establecen que los retrasos no se registran. Asimismo, como los valores elementales se pueden comparar de un ciclo al siguiente, es posible tomar decisiones en cuanto al número de ciclos a estudiar. Sin embargo, en realidad es un error usar las observaciones de los ciclos inmediatos anteriores para determinar cuántos ciclos adicionales estudiar. Esta práctica puede conducir a estudiar una muestra demasiado pequeña.

Entre las desventajas del método de regresos a cero está que incita a la remoción de elementos individuales de la operación. Estos elementos no se pueden estudiar en forma independiente porque los tiempos elementales dependen de los elementos anteriores y posteriores. En consecuencia, al omitir factores como los retrasos, los elementos extraños y los elementos transpuestos, se podrían permitir valores erróneos en las lecturas aceptadas. Una de las objeciones tradicionales al método de regresos a cero era la cantidad de tiempo perdido mientras se regresaba el cronómetro a cero en forma manual. Sin embargo, este problema se ha eliminado con el uso de cronómetros electrónicos. También, es más difícil medir los elementos cortos (0.04 minutos o menos) con este método. Por último, el tiempo global se debe verificar al sumar las lecturas elementales del cronómetro, un proceso que es más propenso al error.

En la figura 10.4 se ilustra un estudio de tiempos para una operación de fundición por presión usando el método de regresos a cero.

MÉTODO CONTINUO

El método continuo para el registro de valores elementales es superior al de regresos a cero por varias razones. Lo más significativo es que el estudio resultante presenta un registro completo de todo el periodo de observación; como resultado, complace al operario y al sindicato. El operario puede ver que no se dejaron tiempos fuera del estudio, y que se registraron todos los retrasos y elementos extraños. Como todos los hechos se presentan con claridad, esta técnica para el registro de tiempos es más fácil de explicar y vender.

El método continuo también se adapta mejor a la medición y el registro de elementos muy cortos. Con la práctica, un buen analista de estudio de tiempos puede detectar con precisión tres elementos cortos (menos de 0.04 minutos) en forma sucesiva, si están seguidos de un elemento de alrededor de 0.15 minutos o más. Esto es posible si se recuerdan las lecturas del cronómetro en los puntos de quiebre de los tres elementos cortos y después se registran sus valores respectivos mientras se ejecuta el cuarto elemento más largo.

Por otro lado, si se usa el método continuo es necesario realizar más trabajo de escritorio para calcular el estudio. Como el cronómetro se lee en los puntos de quiebre de cada elemento mientras las manecillas del reloj continúan su movimiento, es necesario hacer restas sucesivas de las lecturas consecutivas para determinar los tiempos elementales transcurridos. Por ejemplo, las siguientes lecturas pueden representar los puntos de quiebre de un estudio de 10 elementos: 4, 14, 19, 121, 25, 52, 61, 76, 211 y 16. Los valores elementales de este ciclo serían 4, 10, 5, 102, 4, 27, 9, 15, 35 y 5. En la figura 10.7 se ilustra un estudio de tiempos completo de la misma operación de fundido por presión usando el método continuo.

MANEJO DE DIFICULTADES

Durante el estudio de tiempos, los analistas pueden observar variaciones en la secuencia de elementos establecida originalmente. En ocasiones, los analistas pueden omitir puntos de quiebre específicos. Estas dificultades complican el estudio; entre menos frecuentemente ocurran, más sencillo será calcular el estudio.

Cuando se pierde alguna lectura, el analista debe indicar de inmediato una "F" en la columna "LC". En ningún caso, el analista debe aproximar o tratar de registrar el valor faltante. Esta práctica puede destruir la validez del estándar establecido para el elemento específico. Si el elemento tuviera que usarse como una fuente de datos estándar, podrían resultar en discrepancias apreciables en los estándares futuros. Ocasionalmente, el operario omite un elemento; esto se maneja dibujando una raya horizontal en el espacio correspondiente de la columna LC. Esto debe ocurrir con muy poca frecuencia, puesto que casi siempre se debe a un operario poco experimentado o a la falta de estandarización en el método. Por supuesto, el operario puede omitir un elemento en forma inadvertida, como cuando olvida "destapar la ventila" al hacer un molde de banco. Si se omiten elementos en forma repetida, el analista debe detener el estudio e investigar la necesidad de realizar los elementos omitidos. Esto debe hacerse en cooperación con el supervisor y el operario, a fin de que pueda establecerse el mejor método. Se espera que el observador esté en constante alerta para descubrir las mejores formas de ejecutar los elementos; si llegan nuevas ideas a su mente, el observador las asentará en la sección de notas de la forma de estudio de tiempos, para su evaluación futura.

El observador también puede ver elementos realizados fuera de secuencia. Esto ocurre con bastante frecuencia cuando se estudia a un empleado nuevo o inexperto en un trabajo de ciclo largo compuesto por muchos elementos. Evitar perturbaciones de este tipo es una de las razones principales por las que se estudia a empleados competentes y completamente capacitados. Sin embargo, cuando se ejecutan elementos fuera de orden, el analista debe ir de inmediato a la casilla del elemento que se está realizando y trazar una línea horizontal que cruce el espacio de LC. Directamente debajo de esta línea, debe escribir el tiempo en que el operario inició el elemento, y arriba de ella, el tiempo en que terminó. Este procedimiento debe repetirse para cada elemento realizado fuera de orden, así como para el primer elemento que se realice al regresar a la secuencia normal.

Durante el estudio de tiempos, el operario puede encontrar retrasos inevitables, como una interrupción de otro empleado o el supervisor, o la descompostura de una herramienta. También es posible que intencionalmente cause un cambio en el orden de trabajo al ir a beber agua o al detenerse para descansar. Estas interrupciones se conocen como *elementos extraños*.

Los elementos extraños pueden ocurrir, ya sea en el punto de quiebre o durante el curso de un elemento. La mayoría de los elementos extraños, en particular los controlados por el operario, ocurren al terminar un elemento. Si un elemento extraño ocurre durante un elemento, se marca con letras (A, B, C, etc.) en la columna TN de este elemento. Si el elemento extraño ocurre en el punto de quiebre, se registra en la columna TN del elemento de trabajo que sigue a la interrupción (⑤ en la figura 10.6). La letra A se usa para denotar el primer elemento extraño, la letra B para el segundo y así sucesivamente.

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 8-85 | Fecha: 3-1- | Página 1 de 1

Operación: FUNDICIÓN POR PRESIÓN | Operador: B. JONES | Observador: A F

Núm. de elemento y descripción		1 REMOVER PARTE DE LA MATRIZ, LUBRICAR MATRIZ, INSPECCIONAR				2 COLOCAR PARTE EN EL SOPORTE, CORTAR PARTE LATERAL																	
Nota	Ciclo	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN
	1	90	90	30	270	90	113	23	207																
	2	100	40	27	270	100	61	21	210																
	3	90	92	31	279	90	25	23	207																
	4	85	50	35	298	100	70	20	200																
	5	100	98	28	280	100	318	20	200																
	6	110	43	25	275	110	61	18	198																
	7	90	92	31	279	90	416	24	216																
	8	100	44	28	280	85	68	24	204																
	9	90	500	32	288	90	23	23	207																
	10	110	49	26	286	105	68	19	200																
	11																								
	12																								
	13																								
	14																								
	15																								
	16																								
	17																								
	18																								

Resumen					
TO total	2.93	2.15			
Calificación	—	—			
TN total	2.805	2.049			
Núm. de observaciones	10	10			
TN promedio	.281	.205			
% de holgura	17	17			
Tiempo estándar elemental	.329	.205			
Núm. de ocurrencias	1	1			
Tiempo estándar	.329	.205			

Tiempo estándar total (suma del tiempo estándar para todos los elementos): .569

Elementos extraños

Sim	LC1	LC2	TO	Descripción
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de calificación

Tiempo sintético	%
Tiempo observado	

Verificación de tiempos

Tiempo de terminación		3:48,00	
Tiempo de inicio		3:42,00	
Tiempo transcurrido		6.00	
TTAE	,60		
TTDE	,32		
Tiempo verificado total		,92	
Tiempo efectivo		5,08	
Tiempo inefectivo		0	
Tiempo registrado total			6.00
Tiempo no contabilizado			0
% de error de registro			0

Resumen de holguras

Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	8
Especial	—
% de holgura total	17

Observaciones:

Figura 10.7 Estudio de tiempo continuo de una operación de fundición por presión (se califica cada ciclo).

Tan pronto se designa apropiadamente el elemento extraño, el analista debe escribir una breve descripción en la esquina inferior izquierda del espacio. El tiempo en el que inicia el elemento extraño se introduce en el bloque LC1 de la sección de elementos extraños, y el momento en que termina, en el bloque LC2. Después, estos valores se pueden restar al calcular el estudio de tiempos, para determinar la duración exacta del elemento extraño. Luego, este valor se introduce en la columna de TO de la sección de elementos extraños. En la figura 10.6 se ilustra el manejo correcto de un elemento extraño.

En ocasiones, un elemento extraño tiene una duración tan corta que es imposible registrarlo de la manera descrita. Los ejemplos típicos de esto serían dejar caer una llave sobre el piso y recogerla rápidamente, limpiarse la frente con un pañuelo o voltear para hablar brevemente con el supervisor. En esos casos, donde el elemento extraño puede ser de 0.06 minutos o menos, el método más satisfactorio para manejar la interrupción es permitir que se acumule en el elemento y de inmediato trazar un círculo alrededor la lectura, para indicar que se ha encontrado un valor "incontrolable". Debe introducirse un comentario corto en la sección de notas del elemento en el que ocurrió la interrupción para justificar el número circulado. El ciclo 7 de la figura 10.8 ilustra el manejo correcto de un valor incontrolable.

CICLOS EN EL ESTUDIO

La determinación de la cantidad de ciclos que se van a estudiar para llegar a un estándar equitativo es un asunto que ha causado una discusión considerable entre los analistas de estudio de tiempos, así como entre los representantes sindicales. Como la actividad de una tarea y su tiempo de ciclo influencian el número de ciclos que se pueden estudiar, desde el punto de vista económico, el analista no puede estar completamente gobernado por la práctica estadística común que demanda cierto tamaño de muestra basado en la dispersión de las lecturas individuales del elemento. General Electric Company estableció la tabla 10.2 como una guía aproximada para el número de ciclos que se deben observar.

Es posible establecer un número más exacto mediante el uso de métodos estadísticos. Como el estudio de tiempos es un procedimiento de muestreo, se puede suponer que las observaciones se distribuyen normalmente respecto a una media poblacional desconocida con una varianza desconocida. Si se usa la media muestral $\bar{x}$ y la desviación estándar muestral s, la distribución normal para una muestra grande lleva al siguiente intervalo de confianza

$$\bar{x} \pm \frac{zs}{\sqrt{n}}$$

Tabla 10.2 Número recomendado de ciclos de observación

Tiempo de ciclo (minutos)	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Fuente: Información tomada de *Time Study Manual* de los Erie Works de General Electric Company, desarrollados bajo la guía de Albert E. Shaw, gerente de administración del salario.

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 14 | Fecha: 3/15/ | Página 1 de 2
Operación: FUNDICIÓN POR PRESIÓN | Operador: RAIN BOW | Observador: D. ROCHE

Núm. de elemento y descripción		1 TOMAR Y COLOCAR FUNDICIÓN EN SOPORTE, PRENSAR 2 PARTES				2 ABRIR SOPORTE, GIRAR PARTE 90°, COLOCAR EN 2o. SOPORTE				3 ACOPLAR ALIMENTADOR, ABRIR SOPORTE, QUITAR PARTE				5-1 LIMPIAR ESTACIÓN DE TRABAJO				5-2 PERFORAR				5-3 PREPARAR TOPES EN SOPORTE				5-4 PERFORAR TARJETA DE PRODUCCIÓN			
Nota	Ciclo	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN	C	LC	TO	TN
	1														132	132			182	50			415	233			530	135	
	2		62	12			78	16			88	10																	
	3		604	16			21	17			30	9																	
	4		43	13			59	16			70	11																	
	5		828	15	Ⓐ		44	21			58	8																	
	6		71	13			91	20			805	14																	
SE CAYÓ LA FUNDICIÓN	7		30	(25)			46	16			57	11																	
	8		70	13			88	18			1002	14																	
	9		15	13			32	17			40	8																	
	10		52	12			68	16			78	10																	
	11		92	14			1112	20			24	12																	
	12		38	14			56	18			66	10																	
	13		81	15			1200	19			11	11																	
	14		25	14			41	16			50	9																	
	15		63	13			80	17			91	11																	
	16		1205	14			24	19			34	10																	
	17		50	16			69	19			83	14																	
	18																												

Resumen							
TO total	2.07	2.85	1.74	1.32	.50	2.33	1.35
Calificación	110	110	110	110	110	110	110
TN total	2.277	3.135	1.914	1.452	.550	2.563	1.485
Núm. de observaciones	15	16	16	1	1	1	1
TN promedio	.152	.196	.120	1.452	.550	2.563	1.485
% de holgura	12	12	12	12	12	12	12
Tiempo estándar elemental	.170	.219	.134	1.626	.616	2.867	1.663
Núm. de ocurrencias	1	1	1				
Tiempo estándar	.170	.219	.134				

Tiempo estándar total (suma del tiempo estándar para todos los elementos): .523

Elementos extraños

Sim	LC1	LC2	TO	Descripción
A	670	813	143	HABLÓ CON SUPERVISOR
B				
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de tiempos

Tiempo de terminación		2:39.00
Tiempo de inicio		2:25.00
Tiempo transcurrido		14.00
TTAE	0	
TTDE	.17	
Tiempo verificado total		.17
Tiempo efectivo		12.10
Tiempo inefectivo		1.43
Tiempo registrado total		14.00
Tiempo no contabilizado		0
% de error de registro		0

Resumen de holguras

Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	3
Especial	—
% de holgura total	12

Observaciones: TIEMPO ESTÁNDAR POR PIEZA SIN TIEMPO DE PREPARACIÓN

Verificación de calificación

Tiempo sintético		%
Tiempo observado		

Figura 10.8 Estudio de tiempos con calificación global.

donde

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Sin embargo, los estudios de tiempos suelen involucrar sólo muestras pequeñas ($n < 30$); por lo tanto, debe usarse una distribución t. Entonces la ecuación del intervalo de confianza es

$$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

El término ± puede considerarse un término de error expresado como una fracción de $\bar{x}$:

$$k\bar{x} = ts/\sqrt{n}$$

donde $k =$ una fracción aceptable de $\bar{x}$.

Despejando n se obtiene

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}}\right)^2$$

También es posible despejar n antes de hacer el estudio de tiempos al interpretar datos históricos de elementos similares, o mediante una estimación real de $\bar{x}$ y s a partir de varias lecturas con regresos a cero con la variación más alta.

EJEMPLO 10.1 Cálculo del número de observaciones requerido

Un estudio piloto de 25 lecturas para un elemento dado mostró que $\bar{x} = 0.30$ $s = 0.09$. Una fracción k aceptable deseada de 5% y un alfa = 0.05 para 24 grados de libertad (25 menos 1 grado de libertad por estimar uno de los parámetros) genera una $t = 2.064$. (Vea los valores de t en la tabla A3-3 del apéndice 3.) Al resolver la última ecuación se obtiene

$$n = \left(\frac{0.09 \times 2.064}{0.05 \times 0.30}\right)^2 = 153.3 \approx 154 \text{ observaciones}$$

Para asegurar la confianza requerida, siempre redondee hacia arriba.

10.6 EJECUCIÓN DEL ESTUDIO

En esta sección se proporciona un panorama general de los principales pasos necesarios para ejecutar el estudio de tiempos. En el capítulo 11 se presentan más detalles acerca de la calificación del desempeño del operario y de la adición de suplementos u holguras.

EJEMPLO 10.2 Cálculo estadístico de un dato errático

Considere el séptimo ciclo del elemento 1 (encerrado en un círculo) en la figura 10.8, cuando el operador deja caer la fundición y tiene un elemento excesivamente largo. El criterio 1.5IQR se basa en la estadística descriptiva usando una gráfica de caja, y considera que cualquier valor fuera de 1.5 rangos intercuartiles (rango entre el primero y tercer cuartil) es un dato errático (Montgomery y Runger, 1994). Para el elemento 1, el valor medio es 0.138, la desviación estándar es 0.01265, el primer cuartil es 0.13 y el tercer cuartil es 0.15. Por lo tanto, el valor de 1.51IQR

$$1.5\text{IQR} = 1.5 \times (0.15 - 0.13) = 0.3$$

Como el valor encerrado de 0.25 es mucho mayor que 0.168 (el valor de la media más el valor de 1.5IQR), éste puede considerarse un dato errático y eliminarse del cálculo del tiempo estándar.

Usando la regla de tres sigma (nuestro cuatro-sigma, Montgomery, 1991) para un intervalo de confianza de 95% con t en 14 grados de libertad de 2.145 se obtiene un valor de

$$ts/\sqrt{n} = 2.145 \times 0.01265/\sqrt{15} = 0.0701$$

La regla de tres sigma produce el valor crítico de 0.21 mientras que la regla de cuatro-sigma genera el valor crítico de 0.28. El segundo valor es muy cercano al criterio 1.5IQR y conduce a la misma conclusión, un dato errático.

CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL OPERARIO

Como el tiempo real requerido para ejecutar cada elemento del estudio depende en un alto grado de la habilidad y esfuerzo del operario, es necesario ajustar hacia arriba el tiempo normal del operario bueno y hacia abajo el del operario deficiente hasta un nivel estándar. Por lo tanto, antes de dejar la estación de trabajo, los analistas deben dar una calificación justa e imparcial al desempeño en el estudio. En un ciclo corto con trabajo repetitivo, es costumbre aplicar una calificación al estudio completo, o una calificación promedio para cada elemento (vea la figura 10.8). Sin embargo, cuando los elementos son largos e incluyen movimientos manuales diversificados, resulta más práctico evaluar el desempeño de cada elemento conforme ocurre. Esto se hizo en la operación de fundición por presión mostrada en las figuras 10.4 y 10.7, donde los elementos tenían una duración mayor a 0.20 min. La forma del estudio de tiempos incluye espacios tanto para la calificación global como para la del elemento individual.

En el sistema de calificación del desempeño, el observador evalúa la efectividad del operario en términos del desempeño de un *operario calificado* que realiza el mismo elemento. El valor de la calificación se expresa como un decimal o un porcentaje y se asigna al elemento observado, en la columna C (③ en la figura 10.6). Un operario calificado se define como un operario completamente experimentado que trabaje en las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso ni demasiado rápido ni demasiado lento, pero representativo de un paso que se puede mantener a lo largo del día.

El principio básico al calificar el desempeño es ajustar el tiempo medio observado (TO) para cada elemento ejecutado durante el estudio al *tiempo normal* (TN) que requeriría un operario calificado para realizar el mismo trabajo:

$$\text{TN} = \text{TO} \times C/100$$

donde C es la calificación del desempeño del operario expresada como porcentaje, donde el 100 % corresponde al desempeño estándar de un operario calificado. Para realizar trabajo justo al calificar, el analista del estudio de tiempos debe ser capaz de ignorar las personalidades y otros factores variables y considerar sólo la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, en comparación con la cantidad de trabajo que produciría el operario calificado. En el capítulo 11 se explican con más detalle las técnicas de uso común para calificar el desempeño.

ADICIÓN DE SUPLEMENTOS U HOLGURAS

Ningún operario puede mantener un paso estándar todos los minutos del día de trabajo. Pueden ocurrir tres clases de interrupciones para las que debe asignarse tiempo extra. La primera son las interrupciones personales, como viajes al baño y a tomar agua; la segunda es la fatiga que afecta incluso a los individuos más fuertes en los trabajos más ligeros. La tercera, son los retrasos inevitables, como herramientas que se rompen, interrupciones del supervisor, pequeños problemas con las herramientas y variaciones del material, todos ellos requieren la adición de una holgura. Como el estudio de tiempos se realiza durante un periodo relativamente corto y como los elementos extraños se deben retirar al determinar el tiempo normal, debe añadirse una holgura al tiempo normal a fin de llegar a un estándar justo que un trabajador pueda lograr de manera razonable. El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a un paso estándar y realizando un esfuerzo promedio para realizar la operación se llama *tiempo estándar* (TE) de esa operación. Por lo general, el suplemento u holgura se da como una fracción del tiempo normal y se usa como un multiplicador igual a 1 + holgura:

$$\text{TE} = \text{TN} + \text{TN} \times \text{holgura} = \text{TN} \times (1 + \text{holgura})$$

Un enfoque alternativo consiste en formular las holguras como una fracción del día de trabajo total, como el tiempo de producción real podría no conocerse. En ese caso, la expresión para el tiempo estándar es:

$$\text{TE} = \text{TN}/(1 - \text{holgura})$$

En el capítulo 11 se detallan los medios para llegar a valores realistas para las holguras.

10.7 CÁLCULOS DEL ESTUDIO

Después de registrar en forma apropiada toda la información necesaria en la forma del estudio de tiempos, observar el número de ciclos adecuado y calificar el desempeño del operario, el analista debe registrar el tiempo de terminación (⑥ en la figura 10.6) en el mismo reloj maestro usado para el inicio del estudio. Para tiempos continuos, es muy importante verificar la lectura final del cronómetro con la lectura global del tiempo transcurrido. Estos dos valores deben ser razonablemente cercanos (diferencia de ± 2%). (Una discrepancia grande puede significar que ocurrió un error, y que tal vez deba repetirse el estudio.) Por último, el analista debe agradecer al operario por su cooperación y proceder al siguiente paso, los cálculos del estudio.

Para el método continuo, cada lectura del cronómetro debe restarse de la lectura anterior para obtener el tiempo transcurrido: este valor se registra en la columna TO. Los analistas deben ser especialmente exactos en esta etapa, debido a que los descuidos en este punto pueden destruir por completo la validez del estudio. Si se usó la calificación del desempeño elemental, el analista debe multiplicar los tiempos elementales transcurridos por el factor de calificación y registrar el resultado en los espacios de la columna TN. Observe que como TN es un valor calculado, usualmente se registra con tres dígitos.

Los elementos omitidos por el observador se marcan con una F en la columna LC y se descartan. Así, si resulta que el operario no realizó el elemento 7 del ciclo 4 en un estudio de 30 ciclos, el analista tendría sólo 29 valores del elemento 7 con los cuales calcular el tiempo medio observado. El analista no sólo debe descartar este elemento omitido, sino también debe ignorar el siguiente, puesto que el valor restado en el estudio podría incluir el tiempo para realizar ambos elementos.

A fin de determinar el tiempo elemental transcurrido en elementos fuera de orden, sólo es necesario restar los valores adecuados de los tiempos cronometrados.

Para los elementos extraños, el analista deduce el tiempo requerido por el elemento extraño a partir del tiempo de ciclo del elemento aplicable. El analista puede obtener el tiempo promedio usado por el elemento extraño si resta la lectura LC1 en la sección de elementos extraños menos el valor de la lectura LC2 en la forma de estudio de tiempos.

Después de calcular y registrar todos los tiempos transcurridos, el analista debe estudiarlos con cuidado para encontrar cualquier anormalidad. Los valores que son extremos pueden considerarse como datos erráticos de la repetición cíclica de un elemento. Para determinar si un tiempo elemental es errático, puede usarse el criterio 1.5IQR (rango intercuartiles, Montgomery y Runger, 1994) o la regla de tres sigma (o cuatro sigma, Montgomery, 1991). Ambas reglas se mostraron en el ejemplo 10.2. Después estos valores se encierran en círculos y se excluyen de cualquier consideración posterior en el estudio. Por ejemplo, en el ciclo 7 del elemento 1 de la figura 10.8, el operario dejó caer la fundición. Aunque anteriormente esto era considerado un valor "fuera de control", podría simplemente excluirse con base en el criterio estadístico del dato errático.

Los elementos de las máquinas tienen poca variación de un ciclo a otro, mientras que en los elementos manuales se puede esperar una variación mucho mayor. Cuando ocurren variaciones de tiempo inexplicables, el analista debe tener mucho cuidado antes de encerrar en un círculo esos valores. Recuerde que éste no es un procedimiento de calificación de desempeño. Al descartar arbitrariamente los valores altos o bajos, el analista puede terminar con un estándar incorrecto.

Si se usa la calificación elemental, entonces después de calcular el tiempo transcurrido elemental, el analista debe determinar el tiempo elemental normal multiplicando cada valor elemental por el factor de desempeño respectivo. Luego, este tiempo normal se registra en las columnas TN para cada

elemento (⑩ en la figura 10.6). Enseguida, el analista determina el valor normal elemental promedio dividiendo el total de tiempos registrados en las columnas TN entre el número de observaciones.

Después de determinar todos los tiempos transcurridos elementales, el analista debe verificar para asegurarse que no se cometieron errores de aritmética o de registro. Un método para verificar dicha exactitud consiste en completar la forma de *verificación de tiempo* (figura 10.6). Para hacer esto, el analista debió haber sincronizado el inicio y terminación del cronómetro con un reloj maestro, registrando el *tiempo de inicio* ① y el *tiempo de terminación* ⑥ en la forma. Después el analista suma tres cantidades: 1) los tiempos observados totales, conocidos como *tiempo efectivo* (⑫ en la forma); 2) los tiempos de elementos extraños totales, conocidos como *tiempo inefectivo* (⑬ en la forma), y 3) total del *tiempo transcurrido antes del estudio* (TTAE ② en la forma) y el tiempo transcurrido después del estudio (TTDE ⑦ en la forma). El tiempo transcurrido antes del estudio es la lectura cuando el analista activa el cronómetro al inicio del estudio. El tiempo transcurrido después del estudio es la última lectura cuando el analista detiene el reloj al final del estudio. Algunas veces, estas dos últimas cantidades se suman para obtener el *tiempo de verificación* (⑧ en la forma). Las tres cantidades juntas son el tiempo total registrado (⑭ en la forma). La diferencia entre los tiempos de inicio y terminación en el reloj maestro es igual al *tiempo transcurrido real* (⑨ en la forma). Cualquier diferencia entre el tiempo total registrado y el tiempo transcurrido se llama *tiempo no contabilizado* (⑮ en la forma). Normalmente, en un buen estudio, este valor es cero. El tiempo no registrado dividido entre el tiempo transcurrido es un porcentaje llamado *error de registro*. Este error de registro debe ser menor a 2%. Si excede este 2%, el estudio de tiempos debe repetirse.

Después de calcular los tiempos normales de los elementos, el analista debe agregar el porcentaje de suplemento u holgura a cada elemento para determinar los tiempos estándar o permitidos. En el estudio de tiempos de la figura 10.8, el tiempo normal para el elemento 1 se multiplica por 1.12 para obtener el siguiente tiempo estándar elemental para el elemento 1:

$$\text{TE} = 0.152 \times (1 + 0.12) = 0.170$$

La naturaleza del trabajo determina la cantidad de holgura que se aplica, como se analiza en el capítulo 11. En este punto es suficiente decir que la holgura promedio usada para los elementos manuales es 15 por ciento y que, usualmente, se aplica un 10 por ciento a los elementos de máquina.

En la mayoría de los casos, cada elemento ocurre una vez dentro de cada ciclo y el número de ocurrencias es simplemente 1. En algunos casos, un elemento se puede repetir dentro de un ciclo (por ejemplo, tres pasadas de un torno dentro del mismo ciclo). En ese caso, el número de ocurrencias se convierte en 2 o 3 y el tiempo acumulado por ese elemento dentro del ciclo se duplica o triplica.

Después se suman los tiempos estándar para cada elemento a fin de obtener el tiempo estándar para el trabajo completo, que se registra en el espacio marcado como *Tiempo total estándar* en la forma de estudio de tiempos.

10.8 EL TIEMPO ESTÁNDAR

La suma de los tiempos elementales proporciona el estándar en minutos por pieza, usando un cronómetro minutero decimal, o en horas por pieza, si se usa un cronómetro con décimas de hora. La mayoría de las operaciones industriales tiene ciclos relativamente cortos (menos de 5 minutos); en consecuencia, algunas veces resulta más conveniente expresar los estándares en horas por cientos de piezas. Por ejemplo, el estándar en una operación de prensa podría ser 0.085 horas por cien piezas. Éste es un método más satisfactorio para expresar el estándar que 0.00085 horas por pieza o 0.051 minutos por pieza.

El porcentaje de eficiencia del operario se puede expresar como:

$$E = 100 \times H_e/H_c = 100 \times O_c/O_e$$

donde E = porcentaje de eficiencia,
H_e = horas estándar trabajadas
H_c = horas de reloj en el trabajo
O_e = producción esperada
O_c = producción actual

Así, un operador que produce 10 000 piezas durante la jornada de trabajo habrá trabajado durante 8.5 horas de producción y habrá logrado una eficiencia de 8.5/8 = 106 por ciento.

Una vez calculado el tiempo estándar, se le asigna al operario en la forma de una tarjeta de operación. La tarjeta puede ser generada por computadora o producida en una copiadora. La tarjeta de operación sirve como base para obtener rutas, programación, instrucción, nómina, desempeño del operario, costos, presupuestos y otros controles necesarios para la operación efectiva de un negocio. En la figura 10.9 se ilustra una tarjeta de operación de producción común.

ESTÁNDARES TEMPORALES

Los empleados requieren tiempo para lograr el dominio de cualquier operación nueva o diferente. Con frecuencia, los analistas del estudio de tiempos establecen un estándar en una operación más o menos nueva, para la que no existe un volumen suficiente para que el operario alcance la eficiencia más alta. Si el analista basa la calificación del operario en los conceptos usuales de producción (es decir, la calificación del operario por debajo de 100), el estándar que resulta puede parecer demasiado estricto y es probable que el operario no pueda obtener incentivos (vea el capítulo 17). Por otro lado, si el analista considera que la tarea es nueva y el volumen es bajo, y establece un estándar liberal, entonces si se aumenta el tamaño de la orden, o si se recibe una nueva orden para el mismo trabajo pueden ocurrir problemas.

Quizás el método más satisfactorio para manejar estas situaciones es la emisión de estándares temporales. El analista establece el estándar considerando la dificultad del trabajo asignado y el número de piezas que se van a producir. Después, mediante el uso de una curva de aprendizaje para el trabajo (vea el capítulo 18), así como los datos estándar existentes, el analista puede desarrollar un estándar temporal equitativo para la tarea. El estándar resultante será mucho más liberal que si la tarea involucrara un alto volumen. Cuando se libera para el piso de producción, el estándar se marca claramente como "temporal" e incluye la cantidad máxima para la cual se aplica. Cuando se liberan estándares temporales, deben tener efecto sólo por la duración del contrato, o durante 60 días, lo que ocurra primero. Al expirar, deben ser sustituidos por estándares permanentes.

EJEMPLO 10.3 Cálculo de las horas trabajadas y del porcentaje de eficiencia

El tiempo estándar para una operación es de 11.46 minutos por pieza. En un turno de 8 horas, se esperaría que el operario produjera

$$\frac{8\text{ h} \times 60\text{ min/h}}{11.46\text{ min/pieza}} = 41.88\text{ piezas}$$

Sin embargo, si el operario produjo 53 piezas en una jornada de trabajo dada, las horas estándar trabajadas (vea el capítulo 17) serían

$$H_e = \frac{53\text{ piezas} \times 11.46\text{ min/pieza}}{60\text{ min/h}} = 10.123\text{ h}$$

El estándar S_h expresado en horas por cada cien piezas C es

$$S_h = \frac{11.46\text{ min/pieza} \times 100\text{ piezas}/C}{60\text{ min/h}} = 19.1\text{ h}/C$$

Las horas estándar trabajadas serían:

$$H_e = \frac{19.1\text{ h}/C \times 53\text{ piezas}}{100\text{ piezas}/C} = 10.123\text{ h}$$

La eficiencia del operario sería

$$E = 100 \times 10.123/8 = 126.5\%$$

o de manera más simple

$$E = 100 \times 53/41.88 = 126.5\%$$

TARJETA DE OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN Tapa de cabeza de regadera DIBUJO NÚM. JB-1102 PARTE NÚM. J-1102-1

HECHO DE Varilla de latón extruida de 70 - 30, 2½″ de diámetro

Ruta 9-11-12--14-12-18 FECHA 9-15

NÚM. OP.	OPERACIÓN	DEPT.	MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS ESPECIALES	MINUTOS DE PREPARACIÓN		MINUTOS POR PIEZA	
1	Corte con sierra	9	Sierra neumática J & L	15 min			.077
2	Forjado	11	Maxi F-1102 de 150 toneladas	70 min			.234
3	Punzonado	12	Bliss 72 F-1103	30 min			.061
4	Baño en ácido	14	Tanque de HCL	5 min			.007
5	Barrenado de 6 orificios	12	Bliss 74 F-1104	30 min			.075
6	Escariado grueso y biselado	12	Taladro Delta de 17″ F-1105	15 min			.334
7	Taladrado de agujeros 13/64″	12	Taladro Avey F-1106	15 min			.152
8	Maquinado de vástago y cara	12	# 3 W & S	45 min			.648
9	Ensanchado de 6 orificios	12	Bliss de 74½	30 min			.167
10	Inspección	18	F-1109, F-1110, F1112		Jornada de trabajo		

Figura 10.9 Tarjeta de operación de producción común (los números "D" se refieren a los dispositivos usados con la operación involucrada).

ESTÁNDARES DE PREPARACIÓN (SETUP)

Los elementos del trabajo que comúnmente se incluyen en los estándares de preparación involucran a todos los eventos que ocurren entre la terminación de la tarea anterior y el inicio de la actual. El estándar de preparación también incluye elementos de "desarmado" y "guardado", como perforar la tarjeta del trabajo, tomar las herramientas de su depósito, tomar los dibujos del despachador, preparar la máquina, marcar la tarjeta de terminación del trabajo, retirar las herramientas de la máquina, regresar las herramientas a su depósito y contar la producción. Las figuras 10.8 y 10.10 ilustran un estudio que incluye cuatro elementos de preparación (S-1, S-2, S-3 y S-4).

Al establecer los tiempos de preparación, el analista debe usar los procedimientos idénticos seguidos para establecer los estándares de producción, excepto que no habrá oportunidad de obtener una serie de valores elementales para determinar los tiempos medios. Por otro lado, el analista no puede observar al operador al ejecutar los elementos de preparación con anterioridad; en consecuencia, está obligado a dividir la preparación en elementos mientras se realiza el estudio. Sin embargo, como los elementos de preparación son, en su mayoría, de larga duración, existe una cantidad razonable de tiempo para dividir el trabajo, registrar el tiempo y evaluar el desempeño mientras el operario va de un elemento del trabajo al siguiente.

Existen dos maneras de manejar los tiempos de preparación distribuidos por cantidad, o asignados por trabajo. En el primer método, se distribuyen sobre una cantidad específica de manufactura, como 1 000 o 10 000 piezas. Este método es satisfactorio sólo cuando la magnitud del pedido de producción es estándar. Por ejemplo, las industrias que surten a partir del inventario y reordenan con base en inventarios mínimos o máximos son capaces de controlar sus pedidos de producción de acuerdo con el modelo del lote económico. En tales casos, el tiempo de preparación se puede prorratear equitativamente en todo el tamaño del lote. Por ejemplo, suponga que el tamaño del lote de un artículo dado es 1 000 piezas y que siempre se reordenan con base en 1 000 unidades. Si el tiempo de preparación estándar en una operación dada es 1.50 horas, entonces el tiempo de operación permitido puede aumentar en 0.15 horas por 100 piezas para tener cuidado con los elementos del tipo "tener listo" y "guardar".

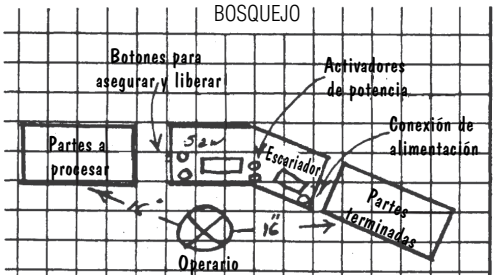
Este método no es del todo práctico si el tamaño de la orden no se controla, en una planta donde las requisiciones se hacen de acuerdo con los pedidos de trabajo, es decir, las órdenes de producción se liberan con la especificación de las cantidades que demandan los clientes, es imposible estandarizar el tamaño de los pedidos de trabajo. Por ejemplo, esta semana se puede enviar un pedido de 100 unidades y el mes siguiente se puede necesitar un pedido de 5 000 unidades de la misma parte. En el ejemplo, el operario sólo tendría 1.5 horas para preparar la máquina para las 100 unidades ordenadas, lo cual sería inadecuado. Sin embargo, en el pedido de 5 000 unidades, el operario tendría 7.50 horas, que se considerarían demasiado tiempo.

Es más práctico establecer estándares de preparación como tiempos estándares separados (vea las figuras 10.8 y 10.10). Entonces, sin importar qué cantidad de partes se produzcan, prevalecerá un estándar justo. En algunos casos, la preparación es realizada por una persona diferente al operario que realiza el trabajo. Las ventajas de tener personal de preparación por separado son bastante obvias. Los trabajadores menos calificados pueden utilizarse como operarios cuando no tienen que preparar su propia instalación. Es más fácil estandarizar las preparaciones e introducir cambios de métodos cuando la responsabilidad de preparar recae en un solo individuo. También, cuando se dispone de suficientes instalaciones, la producción puede ser continua si se prepara la siguiente asignación de trabajo mientras el operario trabaja en la tarea actual.

PREPARACIONES PARCIALES

Con frecuencia, no es necesario preparar completamente una instalación para realizar una operación dada, debido a que algunas de las herramientas de la operación anterior se requieren en el trabajo que se está preparando. Por ejemplo, en las preparaciones de tornillos manuales o tornos de torreta, una programación cuidadosa de trabajos similares para la misma máquina permite realizar preparaciones parciales para un trabajo que pueda usarse en el siguiente. En vez de tener que cambiar seis herramientas en la torreta hexagonal quizá sólo sea necesario cambiar dos o tres. Este ahorro en el tiempo de preparación es uno de los beneficios principales de un programa de tecnología de grupos bien formulado.

BOSQUEJO



ESTUDIO NÚM. 14 FECHA 3/15/

OPERACIÓN Corte con sierra y fundición por presión

DEPTO. F-114 OPERADOR Rainbow Núm. 127

EQUIPO Sierra eléctrica neumática y escariador de perforación

MAQ. NÚM. F 114-146

HERRAMIENTAS, PLANTILLAS, DISPOSITIVOS ESPECIALES J-1117-9 & J-1117-10

CONDICIONES Operario de pie, limpio, ruido promedio, luz adecuada

MATERIAL Aluminio 380

PARTE NÚM. A-1117 DIBUJO NÚM. C-1117

DESCRIPCIÓN DE PARTE Ménsula para montar ensamble

DIVISIÓN DE TAREAS		ELEM. NÚM.	NÚMEROS DE HERRAMIENTAS PEQUEÑAS, ALIMENTADORES, VELOCIDADES, VELOCIDAD DE CORTE, ETC.	TIEMPO ELEMENTAL	OCUR. POR CICLO	TIEMPO TOTAL PERMITIDO
MANO IZQUIERDA	MANO DERECHA					
	Tomar fundición (16")	1	J-1117-9, 3600 r.p.m	0.170	1	0.170
Inactiva	Mover a soporte,	2	J-1117-10, 30'/min	0.222	1	0.222
	colocar en soporte,	3		0.131	1	0.131
Presionar el activador de	inactiva					
cierre neumático			Total (cada pieza)			0.523
	Presionar botón activador					
Inactiva	para la sierra					
	eléctrica	5-1		1.626		1.626
Presionar el activador		5-2		0.616		0.616
de liberación	Inactiva	5-3		2.867		2.867
Inactiva	Tomar parte del dispositivo	5-4		1.663		1.663
Girar el cuerpo 60°	Girar cuerpo 60°		Total (preparación)			6.772
	Colocar parte en dispositivo					
	de perforación					
Asegurar el soporte						
	Alcanzar el control					
Inactiva	Conectar el alimentador					
Escariar 10						
	Escariar 10					
Mover el control para abrir						
el soporte	Inactiva					
Sujetar						
Inactiva	Tomar parte terminada,					
	mover 16" a la caja, colocar					
	en la caja					

CADA PIEZA 0.523 min. TOTAL

PREPARACIÓN 0.1129 hrs HORAS POR PIEZA c 0.8717

SUPERVISOR Eugene Reiter INSPECTOR Jerome Gates

OBSERVADOR Paul Roche APROBADO POR Dick Henshaw

Figura 10.10 Reverso de la forma para el estudio de tiempos mostrada en la figura 10.8. El estudio indica un tiempo por pieza de 0.523 min (0.8717 h/*C*) y un tiempo de preparación de 6.772 min (0.1129 h).

Como la secuencia de trabajo programada para una máquina dada rara vez permanece igual, es difícil establecer tiempos de preparación parciales que cubran todas las variaciones posibles. Por ejemplo, el estándar de una preparación completa para una torreta Warner & Swasey núm. 4 puede ser 0.80 horas. Sin embargo, si esta preparación se realiza después del trabajo X, tal vez tome sólo 0.45 horas; después del trabajo Y, puede requerir 0.57 horas; mientras que si se hace después del trabajo Z, quizá sean necesarias 0.70 horas. Las variaciones posibles en un tiempo de preparación parcial son tan amplias que la única forma práctica de establecer sus valores con exactitud es usar datos estándar (vea el capítulo 12) para cada trabajo.

En las plantas donde los tiempos de preparación son menores a una hora y las corridas de producción son razonablemente largas, es una práctica común permitir al operario el tiempo de preparación completo para cada trabajo realizado. Esto es ventajoso por varias razones: primero, si la planta incorpora incentivos salariales, los operarios están considerablemente más satisfechos debido a sus mayores ganancias, y planean su trabajo de forma que obtengan la mayor ventaja posible. Esto resulta en una mayor producción por unidad de tiempo y en menores costos totales. Además, se ahorra un tiempo considerable y mucho papeleo al evitar tener que determinar un estándar para la preparación parcial de una operación y su aplicación en todos los casos pertinentes. De hecho, estos ahorros tienden a acercarse a la cantidad adicional pagada a los operarios como resultado de la diferencia entre el tiempo requerido para una preparación completa y el requerido para realizar la preparación parcial.

RESUMEN

Para resumir, los pasos para realizar y calcular un estudio de tiempos típico son los siguientes (vea en la figura 10.6 los números correspondientes a estos pasos):

1. Sincronizar el cronómetro con el reloj maestro y registrar el tiempo de inicio.
2. Caminar a la operación e iniciar el estudio. La lectura al inicio es el tiempo transcurrido antes del estudio (TTAE).
3. Calificar el desempeño del operario mientras se lleva a cabo el elemento y registrar la calificación sencilla o la calificación promedio.
4. Activar el cronómetro al inicio del siguiente elemento. Para tiempo continuo, introducir la lectura en la columna LC; para tiempos con regresos a cero, introducir la lectura en la columna TO, como se muestra.
5. Para un elemento extraño, indicar en la columna TN apropiada y registrar los tiempos en la sección de *Elementos extraños*.
6. Una vez cronometrados todos los elementos, detener el cronómetro en el reloj maestro y registrar el tiempo de terminación.
7. Registrar la lectura como el tiempo transcurrido después del estudio (TTDE).
8. Sumar 2. y 7. para obtener el tiempo de verificación.
9. Restar 6. menos 1. para obtener el tiempo transcurrido.
10. Calcular el tiempo normal multiplicando el tiempo observado por la calificación.
11. Sumar todos los tiempos observados y los tiempos normales para cada elemento. Encontrar el tiempo normal promedio.
12. Sumar todos los TO totales para obtener el tiempo efectivo.
13. Sumar todos los elementos extraños para obtener el tiempo no efectivo.
14. Sumar 8., 12. y 13. para obtener el tiempo registrado total.
15. Restar 9. menos 14. para obtener el tiempo no contado. Usar el valor absoluto. (La diferencia puede ser negativa o positiva, y se desean números positivos.)
16. Dividir 15. entre 9. para obtener el error porcentual de registro. Se espera que este valor sea menor a 2%.

PREGUNTAS

1. ¿Cómo se determina el pago por un día de trabajo justo?
2. ¿Qué punto de comparación se usa para el paso estándar?

3. ¿Por qué debe el supervisor firmar el estudio de tiempos?
4. ¿Cuáles son los efectos de los estándares de tiempo deficientes?
5. ¿Qué equipo necesita el analista de estudio de tiempos?
6. ¿Qué características del PDA son atractivas para los analistas de estudio de tiempos?
7. ¿Cómo se puede usar el metrónomo como herramienta de capacitación para la calificación del desempeño?
8. ¿Qué aspectos deben considerarse para la elección del operario que se va a estudiar?
9. ¿Por qué es esencial registrar la información completa de las herramientas e instalaciones en la forma para el estudio de tiempos?
10. ¿Por qué son importantes las condiciones de trabajo para identificar el método que se está observando?
11. ¿Por qué un analista de estudio de tiempos que no oye bien tendrá dificultad para realizar un estudio de este tipo?
12. Establezca la diferencia entre elementos constantes y variables. ¿Por qué deben mantenerse separados al dividir el trabajo en elementos?
13. ¿Qué ventajas tiene el método continuo de registros con cronómetro sobre el método con regresos a cero?
14. Explique por qué los cronómetros electrónicos han aumentado el uso del procedimiento con regresos a cero.
15. ¿Por qué se registra la hora del día en la forma del estudio de tiempos?
16. ¿Cuál es una variación grande en la secuencia de registros de tiempo elemental?
17. Explique qué es un elemento extraño y cómo se maneja en el método continuo.
18. ¿Qué factores entran en la determinación del número de ciclos a observar?
19. ¿Por qué es necesario calificar al operador?
20. ¿Cuándo deben calificarse los elementos individuales de cada ciclo?
21. Defina operario calificado.
22. ¿Por qué se aplican suplementos u holguras al tiempo normal?
23. ¿Cuál es el significado de un tiempo transcurrido que se encierra en un círculo?
24. ¿Qué pasos se siguen en el cálculo de un estudio de tiempos realizado de acuerdo con el procedimiento de calificación del desempeño global continuo?
25. ¿Cómo es el paso de caminar a 3 mi/h en relación con su concepto de un desempeño estándar?
26. Defina el tiempo estándar.
27. ¿Por qué usualmente es más conveniente expresar los estándares como tiempo por cada cien piezas en lugar de tiempo por pieza?
28. ¿Por qué se establecen estándares temporales?
29. ¿Cuáles elementos del trabajo se incluyen en el estándar de preparación?

PROBLEMAS

1. Con base en la tabla 10.2, ¿cuántas observaciones deben realizarse en una operación para la cual la actividad anual es de 750 piezas y el tiempo de ciclo se estima en 15 minutos?
2. Tome una operación sencilla que realice con regularidad, como lavarse los dientes, rasurarse o peinarse el cabello, y estime el tiempo que le toma realizarla. Ahora mida el tiempo que le toma si trabaja a un paso normal. ¿Su estimación quedó dentro del tiempo estimado más o menos 20%?
3. Para demostrar los diferentes niveles de desempeño a un grupo de representantes sindicales, el supervisor del estudio de tiempos de la compañía XYZ está usando el metrónomo mientras reparte manos de bridge. ¿Cuántas veces por minuto debe golpear el metrónomo para demostrar los siguientes niveles de desempeño? 60, 75, 100 y 125%.
4. Usted usó la guía de General Electric para determinar el número de observaciones para un estudio. La hoja de guía indicaba que se requerían 10 ciclos. Después de realizar el estudio, se usa el error estándar de la media para estimar el número de observaciones necesario para un nivel de confianza dado. El cálculo resultante indica que se debieron estudiar 20 ciclos. ¿Cuál sería su procedimiento? ¿Por qué?
5. El analista del estudio de tiempos en la Dorben Company obtuvo las siguientes lecturas de cronómetro con regresos a cero donde se usó la calificación elemental del desempeño. Se asignó un valor de 16% para la holgura de este elemento. ¿Cuál sería el tiempo estándar para este elemento?

Lectura con regresos a cero	Factor de desempeño
28	100
24	115
29	100
32	90
30	95
27	100
38	80
28	100
27	100
26	105

6. ¿Cuál sería el número requerido de lecturas si el analista desea 87% de confianza de que el tiempo observado promedio esté dentro de ±5% o de la media verdadera y si se establecen los siguientes valores para un elemento después de 19 ciclos de observación?
0.09, 0.08, 0.10, 0.12, 0.09, 0.08, 0.09, 0.12, 0.11, 0.12, 0.09, 0.10, 0.12, 0.10, 0.08, 0.09, 0.10, 0.12, 0.09

7. Los siguientes datos se obtuvieron en un estudio de tiempos realizado en una máquina fresadora horizontal:
Tiempo de esfuerzo manual medio por ciclo: 4.62 minutos.
Tiempo de corte medio (alimentación eléctrica): 3.74 minutos.
Calificación de desempeño medio: 115%
Holgura por la máquina (alimentación eléctrica): 10%
Holgura por fatiga: 15 por ciento
¿Cuál es el tiempo estándar para la operación?

8. Un analista de medición del trabajo en la Dorben Company tomó 10 observaciones de un trabajo con alta producción. Calificó el desempeño de cada ciclo y después calculó el tiempo normal medio para cada elemento. El elemento con la mayor dispersión tenía una media de 0.30 minutos y una desviación estándar de 0.03 minutos. Si se desea tener datos muestrales dentro de ±5% de los datos reales, ¿cuántas observaciones debe tomar el analista del estudio de tiempos de esta operación?

9. En la Dorben Company, el analista de medición del trabajo realizó un estudio de tiempos detallado de la fabricación de moldes de carcasa. El tercer elemento de este estudio tenía la mayor variación en tiempo. Después de estudiar nueve ciclos, el analista calculó la media y la desviación estándar de ese elemento, con los siguientes resultados:

$$\bar{x} = 0.42 \quad s = 0.08$$

Si el analista quiere tener una confianza de 90% de que el tiempo medio de la muestra esté dentro del ±10% de la media de la población, ¿cuántas observaciones se deben tomar en total? ¿Dentro de qué porcentaje del promedio de la población total está $\bar{x}$ en el nivel de confianza de 95%, bajo las observaciones medidas?

10. Con base en los datos proporcionados en la figura 10.8, ¿cuál sería la eficiencia de un operario que prepara la máquina y produce una orden de 5 000 piezas en una semana de trabajo de 40 horas?

11. Establezca la tasa salarial por cada cien piezas a partir de los siguientes datos:
Tiempo de ciclo (tiempo medido promediado): 1.23 minutos.
Tasa base: $8.60 por hora.
Piezas por ciclo: 4.
Tiempo de máquina (alimentación eléctrica): 0.52 minutos por ciclo.
Holgura: 17% en tiempo de esfuerzo; 12% en tiempo de alimentación eléctrica.
Calificación de desempeño = 88%.

12. Los siguientes datos se obtuvieron en un estudio tomado en una máquina fresadora horizontal:
Piezas producidas por ciclo: 8.
Tiempo de ciclo medido promedio: 8.36 minutos.
Tiempo de esfuerzo medido promedio por ciclo: 4.62 minutos.
Tiempo transversal rápido promedio: 0.08 minutos.
Tiempo de corte promedio con alimentación eléctrica: 3.66 minutos.
Calificación de desempeño: 115%.
Holgura (tiempo de máquina): 10%.
Holgura (tiempo de esfuerzo): 15%.

El operario trabaja en la tarea 8 horas al día y produce 380 piezas. ¿Cuántas horas estándar trabaja el operario? ¿Cuál es la eficiencia del operario para el día de 8 horas?

13. Exprese el estándar de 5.761 minutos en horas por cien piezas. ¿Cuál sería la eficiencia del operario si terminara 92 piezas en un día de trabajo? ¿Cuál sería su eficiencia si preparara la máquina (estándar de preparación = 0.45 horas) y produce 80 piezas en una día de trabajo de 8 horas?

14. Encuentre los tiempos observado, normal y estándar para los siguientes trabajos mostrados en el CD. Suponga un desempeño estándar y una holgura de 10%.

a) Sellar extrusiones
b) Sellar acoplamientos terminales
c) Ensamble de lámpara
d) Ensamble de unión
e) Ensamble de riel de cama de hospital
f) Costura (prendas de vestir)
g) Etiquetado (prendas de vestir)
h) Corte e hilvanado (prendas de vestir)

REFERENCIAS

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Gomberg, William, *A Trade Union Analysis of Time Study*, 2a. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1955.

Griepentrog, Carl W. y Gilbert Jewell, *Work Measurement: A Guide for Local Union Bargaining Committees and Stewards*. Milwaukee, WI: International Union of Allied Industrial Workers of America, AFL-CIO, 1970.

Lowry, S. M., H. B. Maynard y G. J. Stegemerten, *Time and Motion Study and Formulas for Wage Incentive*, 3a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1940.

Montgomery, D. C., *Design and Analysis of Experiments*, 3ra. ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 1991.

Montgomery, D. C. y G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1994.

Mundel, M. E., *Motion and Time Study: Improving Productivity*, 5a. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1978.

Nadler, Gerald, *Work Design: A Systems Concept*. Ed. rev. Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1970.

Rotroff, Virgil H., *Work Measurement*. Nueva York: Reinhold Publishing. 1959.

Smith, George, L., *Work Measurement—A Systems Approach*, Columbus, OH: Grid, 1978.

United Auto Workers, *Time Study—Engineering and Education Departments. Is Time Study Scientific?* Publicación núm. 325. Detroit, MI: Solidarity House, 1972.

SOFTWARE SELECCIONADO

CITS/APR. C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670 (http://www.c-four.com/).

DesignTools (disponible en el sitio web de texto de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebel-freivalds). Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

MVTA. Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z 3B8 (http://www.nexgenergo.com/).

Palm CITS. C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670 (http://www.c-four.com/).

QuickTimes. Applied Computer Services, Inc., 7900 E. Union Ave., Suite 1100. Denver CO 80237 (http://www.acsco.com/).

QuickTS (incluido con el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

TimStudy. Royal J. Dosset Corp., 2795 Pheasant Rd., Excelsior, MN 55331.

Work study +3.0, Quetech Ltd., 1-866-222-1022 (http://www.quetech.com)

VIDEOS SELECCIONADOS

Time Study Fundamentals, ½-pulg. VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670.

Calificación del desempeño y holguras

CAPÍTULO 11

PUNTOS CLAVE

- Usar calificaciones para ajustar los tiempos observados a los esperados con un desempeño estándar.
- La calificación de la velocidad es el método más rápido y sencillo.
- Calificar al operario antes de registrar el tiempo.
- En los estudios con elementos largos, calificar cada uno por separado.
- Para aquellos estudios con elementos cortos, calificar el estudio completo.
- Usar suplementos u holguras para compensar la fatiga y las demoras en el trabajo.
- Proporcionar un mínimo de entre 9 y 10% de holgura constante para las necesidades personales y la fatiga básica.
- Agregar suplementos u holguras al tiempo normal como un porcentaje suyo para obtener el tiempo estándar.

Durante un estudio de tiempos, los analistas observan cuidadosamente el desempeño del operario. El desempeño que ejecuta pocas veces se ajusta a la definición exacta de *estándar*. Así, deben hacerse algunos ajustes al tiempo medio observado para obtener el tiempo que requiere un operario calificado para hacer la tarea cuando trabaja a un ritmo estándar. Para llegar al tiempo que requiere un trabajador calificado, los analistas del estudio de tiempos deben aumentar el tiempo si han seleccionado un operario que supera los estándares y disminuirlo en caso contrario. Sólo de esta manera pueden establecer un estándar real para los operarios calificados.

La calificación del desempeño es probablemente el paso más importante en todo el procedimiento de medición del trabajo. También es el paso más sujeto a críticas, ya que está basado por completo en la experiencia, capacitación y juicio del analista que lo realizará. Sin que importe que el factor de calificación se base en la velocidad o el ritmo de producción o en el desempeño del operario comparado con el de un trabajador calificado, la experiencia y el juicio siguen siendo los criterios para determinar el factor de calificación. Por esta razón, los analistas deben estar suficientemente capacitados y tener una alta integridad personal.

Después del cálculo del tiempo normal, debe darse un paso adicional para llegar a un estándar razonable. Este último paso es la adición de un suplemento u holgura para tomar en cuenta las múltiples interrupciones, demoras y retardos causados por la fatiga en todas las asignaciones de trabajo. Por ejemplo, cuando se planea un viaje en carretera de 1 300 millas, sabemos que el viaje no puede hacerse en 20 horas si se viaja a una velocidad de 65 mi/h. Debe agregarse una holgura para las paradas periódicas por necesidades personales, la fatiga que provoca manejar, las paradas inevitables

ocasionadas por las congestiones del tránsito y los semáforos, las posibles desviaciones y el camino en mal estado, los problemas con el automóvil, etc. Si consideramos todos estos factores podemos estimar que el viaje durará en realidad 25 horas, pues debemos agregar una holgura de 5 horas por todas las demoras. De manera similar, los analistas deben proporcionar una holgura para que el estándar resultante sea razonable y fácilmente sostenible por un operario promedio que trabaja a ritmo estable y normal.

11.1 DESEMPEÑO ESTÁNDAR

El *desempeño estándar* se define como el nivel de desempeño que logra un operario con mucha experiencia que trabaja en las condiciones acostumbradas a un ritmo ni muy rápido ni muy lento, pero representativo de uno que se puede mantener durante toda una jornada. Para definir mejor este desempeño, usamos ejemplos de punto de comparación que nos son familiares a todos. Los puntos de comparación típicos incluyen repartir 52 cartas en 0.50 minutos o caminar 100 pies (3 mi/h o 4.83 km/h) en 0.38 min. Sin embargo, debe proporcionarse una descripción específica de la distancia que hay entre las cuatro manos y el que corta las cartas, y de la técnica para tomar, mover y dejar las cartas; o bien si el suelo está nivelado, si se lleva alguna carga y qué tan pesada es. Entre más clara y específica sea la definición de las condiciones, mejores resultados se obtendrán.

Los ejemplos de puntos de comparación deben complementarse con una descripción clara de las características de un empleado que lleva a cabo un desempeño estándar. Una descripción representativa de este tipo de empleado puede ser como sigue: un operario que se adapta al trabajo y ha adquirido suficiente experiencia para realizarlo de manera eficiente con poca o nula supervisión. El trabajador posee cualidades de coordinación mental y física que le permiten pasar de un elemento a otro sin dudas o retrasos, de acuerdo con los principios de economía de movimientos. Además, mantiene un buen nivel de eficiencia a través del conocimiento y el uso apropiado de todas las herramientas y equipo relacionados con el trabajo. Por último, coopera y realiza el trabajo al paso más adecuado para lograr un desempeño continuo.

Entre los trabajadores pueden existir diferencias individuales considerables. Las diferencias inherentes al conocimiento, la capacidad física, la salud, el conocimiento del oficio, la destreza física y la capacitación pueden ser la(s) causa(s) de que un operario sea mucho mejor que otro en forma permanente. Por ejemplo, en la selección aleatoria de 1 000 empleados, la distribución de frecuencias de los resultados se aproximaría a una curva normal, con un promedio de 997 casos que quedan dentro de los límites de tres sigma. Gráficamente, la distribución de las 1 000 personas se vería como se muestra en la figura 11.1 (Presgrave, 1957). Con base en la razón entre los dos extremos (1.39/0.61) el mejor individuo tendría un ritmo mayor al doble que el del individuo más lento.

11.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIFICACIONES RAZONABLES

La primera y más importante característica de cualquier sistema de calificaciones es la exactitud. Puesto que la mayoría de los métodos para calificar se basan en el juicio del analista del estudio de

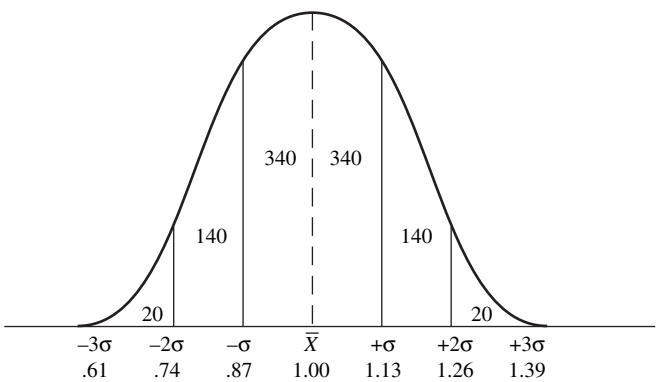


Figura 11.1 Distribución esperada del resultado de 1 000 personas seleccionadas al azar.

tiempos, es imposible obtener una congruencia perfecta entre las calificaciones. Sin embargo, se consideran apropiados los procedimientos de calificación que se aplican a diferentes operarios mediante el mismo método y que producen estándares que no se desvían más de 5% de la media.

Los analistas del estudio de tiempos deben ser igualmente exactos. No es difícil corregir los hábitos de calificación de un analista que califica siempre alto o siempre bajo. Sin embargo, es muy difícil corregir la capacidad de un analista incoherente, que califica demasiado alto un día y demasiado bajo al día siguiente, por lo que probablemente no debería seguir realizando estudios de tiempo. La incoherencia, más que cualquier otro aspecto, destruye la confianza del operario en el procedimiento de estudio de tiempos.

La calificación del desempeño debe hacerse sólo durante la observación de los tiempos elementales. A medida que el operario procede de un elemento al siguiente, usando el método prescrito, el analista debe evaluar con cuidado la velocidad, la destreza, los movimientos falsos, el ritmo, la coordinación, la eficacia y otros factores que influyen en la producción y juzgar el desempeño del operario respecto al desempeño estándar. Una vez registrado el desempeño, éste no debe cambiarse. Sin embargo, no implica esto que el observador elabore y emita siempre un juicio perfecto. Si la calificación es cuestionada, el trabajo o la operación debe volver a estudiarse para aprobar o desaprobar la evaluación que se registró.

La frecuencia de las calificaciones depende del tiempo del ciclo. En las operaciones repetitivas de ciclos cortos, se espera poca desviación del desempeño del operario durante el curso de un estudio de longitud promedio (15 a 30 minutos), y es perfectamente satisfactorio evaluar el desempeño de todo el estudio. Además, un observador que se esfuerza para calificar cada elemento en un estudio de este tipo estará tan ocupado en el registro de valores que no podrá observar, analizar y evaluar eficazmente el desempeño del operario.

Cuando el estudio es relativamente largo (más de 30 minutos), o está integrado por varios elementos largos, el desempeño del operario puede variar durante el curso del estudio. En tales estudios, los analistas deben calificar cada elemento, especialmente si su magnitud supera los 0.10 minutos. Sin embargo, en general, mientras más frecuentemente se califique un estudio, más exacta será la evaluación del desempeño del operario. Como ejemplos, en los estudios de tiempos que se muestran en las figuras 10.4, 10.6 y 10.7 se califica cada elemento, mientras que en el estudio de la figura 10.8 se califica todo el estudio.

11.3 MÉTODOS DE CALIFICACIÓN

CALIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD

La *calificación de la velocidad* es un método de evaluación del desempeño que considera sólo el ritmo de trabajo por unidad de tiempo. En este método, el observador compara la eficacia del operario con el concepto de un operario calificado que hace el mismo trabajo, y después asigna un porcentaje para indicar la razón del desempeño observado sobre el desempeño estándar.

Particularmente, este método hace hincapié en que el observador debe tener un conocimiento completo del trabajo antes de realizar el estudio. Para ilustrarlo, el ritmo de los operadores de máquinas en una planta que produce partes de motor para aviones parecería mucho más lento que el de las costureras en la industria del vestido. La mayor precisión del trabajo en aviones requiere tales cuidados que los movimientos de los operarios pueden parecer muy lentos a quien no esté familiarizado con el trabajo.

En la calificación de la velocidad, los analistas primero deben valorar el desempeño para determinar si está arriba o abajo de lo normal. Después tratan de colocar el desempeño en la posición precisa de la escala de calificaciones que evalúa correctamente la diferencia numérica entre el estándar y el desempeño demostrado. Así, usualmente 100% se considera normal. Una calificación de 110% indica que el operario tenía una velocidad 10% mayor que la normal y 90% significa que su velocidad era de 90% de la normal.

Todos los analistas, a través de años de experiencia, en algún momento desarrollarán un modelo mental del desempeño estándar. Sin embargo, puede ser útil que el analista novato considere el desempeño de varias tareas comunes a fin de desarrollar un modelo mental inicial. Presgrave (1957) sugirió dos tareas de este tipo: 1) caminar a 3 millas/hora (4.83 km/h), es decir 100 pies (30.5 m) en

Tabla 11.1 Guía para calificar la velocidad

Calificación	Puntos ancla verbales	Velocidad de caminata (mi/h)	Cartas repartidas cada 1/2 minuto
0	Sin actividad	0	0
67	Muy lento, torpe	2	35
100	Estable, deliberado	3	52
133	Activo, negociante	4	69
167	Muy rápido, alto grado de destreza	5	87
200	Límite superior por un periodo corto	6	104

0.38 minutos, y 2) repartir un juego de 52 cartas en cuatro montones iguales colocados cerca uno del otro en medio minuto (observe que el pulgar opuesto alimenta las cartas a la mano que reparte). En la tabla 11.1 se presenta una guía con puntos ancla específicos de diferentes niveles.

También puede ser útil que el analista novato comience por calificar con decenas, es decir, 80, 90, 100, etc. y con el tiempo hacerlo de 5 en 5, y así sucesivamente. También es muy importante que registre la calificación en la columna C de la forma de estudio de tiempos antes de iniciar las lecturas del cronómetro. De otra forma, puede ser acusado de *calificar mediante el reloj*.

Algunas compañías usan una técnica de calificación de la velocidad normalizada a un estándar de 60%, que se basa en el enfoque de la hora estándar, es decir, producir 60 minutos de trabajo cada hora. Con esta base, una calificación de 80 significaría que el operario trabajó a una velocidad de 80/60, o bien 133%, que es 33% arriba de lo normal. Una calificación de 50 indicaría una velocidad de 50/60, o bien 83.3% de lo normal.

Los analistas del estudio de tiempos usan la calificación de velocidad para obtener una calificación elemental, del ciclo o global. Por ejemplo, todos los estudios de tiempos que se muestran en el capítulo 10 usaron calificación de velocidad.

EL SISTEMA WESTINGHOUSE

Uno de los sistemas de calificación que se han usado por más tiempo, que en sus inicios fue llamado de *nivelación*, fue desarrollado por la Westinghouse Electric Corporation (Lowry, Maynard y Stegemerten, 1940). Este *sistema de calificación Westinghouse* considera cuatro factores para evaluar el desempeño del operario: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

El sistema define la *habilidad* como "la destreza para seguir un método dado" y después la relaciona con la experiencia que se demuestra mediante la coordinación adecuada entre la mente y las manos. La habilidad de un operario es el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación natural y ritmo. Este factor aumenta a medida que transcurre el tiempo, debido a que una mayor familiaridad con el trabajo proporciona velocidad y suavidad de movimientos, a la vez que desaparecen los titubeos y movimientos falsos. Una disminución de él suele ser causada por algún impedimento funcional debido a factores físicos o psicológicos, como fallas en la vista, en los reflejos y la pérdida de fuerza muscular o coordinación. Por lo tanto, la habilidad de una persona puede variar de un trabajo a otro e incluso de una operación a otra en un mismo trabajo.

Existen seis grados de habilidad: malo, aceptable, promedio, bueno, excelente y superior. En la tabla 11.2 se ilustran las características de los distintos grados, con sus valores porcentuales equivalentes. Después se traduce la calificación de la habilidad a su valor porcentual equivalente, que va desde +15% para la habilidad superior a –22% para la mala. Luego, este porcentaje se combina algebraicamente con las calificaciones de esfuerzo, condiciones y consistencia, para llegar a la calificación final, o factor de calificación del desempeño.

Este método para calificar define el *esfuerzo* como una "demostración de la voluntad para trabajar de manera eficaz". El esfuerzo es representativo de la velocidad con la que se aplica la habilidad que, en gran medida, puede ser controlada por el operario. Al evaluar el esfuerzo del operario, el observador debe calificar sólo el esfuerzo "eficaz", debido a que ocasionalmente el operario aplica un esfuerzo rápido mal dirigido para incrementar el tiempo de ciclo del estudio.

Para propósitos de calificación, las seis clases de esfuerzo son malo, aceptable, promedio, bueno, excelente y excesivo. El esfuerzo excesivo tiene un valor de +13% y el esfuerzo malo –17%. En la

Tabla 11.2 Sistema Westinghouse para calificar habilidades

+0.15	A1	Superior
+0.13	A2	Superior
+0.11	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena
+0.03	C2	Buena
0.00	D	Promedio
−0.05	E1	Aceptable
−0.10	E2	Aceptable
−0.16	F1	Mala
−0.22	F2	Mala

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

Tabla 11.3 Sistema Westinghouse para calificar el esfuerzo

+0.13	A1	Excesivo
+0.12	A2	Excesivo
+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.05	C1	Bueno
+0.02	C2	Bueno
0.00	D	Promedio
−0.04	E1	Aceptable
−0.08	E2	Aceptable
−0.12	F1	Malo
−0.17	F2	Malo

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

tabla 11.3 se proporcionan los valores numéricos de los diferentes grados de esfuerzo y se describen las características de las diversas categorías.

Las *condiciones* que se consideran en este procedimiento de calificación del desempeño, que afectan al operario y no a la operación, incluyen la temperatura, la ventilación, la luz y el ruido. De esta forma, si la temperatura en una determinada estación de trabajo es de 60°F, pero se acostumbra mantenerla entre 68 y 74°F, las condiciones se califican por debajo de lo normal. Los factores que afectan la operación, como herramientas o materiales deficientes, no se consideran al aplicar el factor de desempeño a las condiciones de trabajo.

Las seis clases generales de condiciones de trabajo con valores que van desde +6% hasta –7% son ideal, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo. En la tabla 11.4 se proporcionan los valores respectivos de estas condiciones.

Tabla 11.4 Sistema Westinghouse para calificar las condiciones

+0.06	A	Ideal
+0.04	B	Excelente
+0.02	C	Bueno
0.00	D	Promedio
−0.03	E	Aceptable
−0.07	F	Malo

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

Tabla 11.5 Sistema Westinghouse para calificar la consistencia

+0.04	A	Perfecta
+0.03	B	Excelente
+0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio
−0.02	E	Aceptable
−0.04	F	Mala

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

El último de los cuatro factores que influyen en la calificación del desempeño es la *consistencia* del operario. A menos que el analista use el método de regresos a cero, o que realice y registre las restas sucesivas durante el estudio, este factor debe evaluarse mientras está trabajando. Los valores de tiempos elementales que se repiten en forma constante tendrán una consistencia perfecta. Esta situación ocurre con muy poca frecuencia, puesto que siempre tiende a haber alguna variabilidad debida a la dureza del material, el filo de la herramienta de corte, los lubricantes, las lecturas de cronómetro erróneas y los elementos extraños. Los elementos que operan bajo un control mecánico también tendrán una consistencia casi perfecta y se califican con 100.

Las seis clases de consistencia son: perfecta, excelente, buena, promedio, aceptable y mala. La consistencia perfecta se califica con +4% y la mala con –4%, mientras que las otras clases oscilan entre estos dos valores. En la tabla 11.5 se resumen estos valores.

Una vez que se han asignado calificaciones a la habilidad, el esfuerzo, las condiciones y la consistencia de la operación y se han establecido sus valores numéricos equivalentes, los analistas pueden determinar el factor de desempeño global mediante la combinación algebraica de los cuatro valores y la adición de una unidad a esa suma. Por ejemplo, si un trabajo dado se califica como C2 en habilidad, C1 en esfuerzo, D en condiciones y E en consistencia, el factor de desempeño sería el siguiente:

Habilidad	C2	+0.03
Esfuerzo	C1	+0.05
Condiciones	D	+0.00
Consistencia	E	–0.02
Suma algebraica		+0.06
Factor de desempeño		1.06

Muchas compañías han modificado el sistema Westinghouse para incluir sólo los factores de habilidad y esfuerzo en la calificación global. Estas empresas afirman que la consistencia es un aliado muy cercano de la habilidad y que las condiciones se califican como promedio en la mayoría de los casos. Si las condiciones se desvían sustancialmente de lo normal, el estudio puede posponerse o debe tomarse en cuenta el efecto de las condiciones inusuales en la aplicación del suplemento u holgura (vea la sección 11.10).

El sistema de calificación Westinghouse requiere una capacitación considerable para diferenciar los niveles de cada atributo. Es adecuado tanto para calificar por ciclos como para evaluar un estudio completo. No resulta apropiado para la calificación elemental porque, a menos que se trate de elementos muy largos, los analistas no tendrán tiempo de evaluar la destreza, eficacia y aplicación física de cada elemento. Además, en opinión del autor, un sistema de calificación que sea simple, conciso, fácilmente explicable y dirigido a puntos de comparación bien establecidos es más exitoso que un sistema de calificación complejo, como el Westinghouse, que requiere factores de ajuste y técnicas computacionales que pueden resultar confusos para el empleado de planta promedio.

CALIFICACIÓN SINTÉTICA

En un esfuerzo por desarrollar un método de calificación que no se base en el juicio de un observador de estudio de tiempos, y que proporcione resultados consistentes, Morrow (1946) elaboró

un procedimiento conocido como *calificación sintética*. Este procedimiento determina un factor de desempeño para elementos de esfuerzo representativos del ciclo de trabajo, mediante la comparación de los tiempos observados elementales reales con los tiempos desarrollados a través de los datos de movimiento fundamental (vea el capítulo 13). Por ello, el factor de desempeño se puede expresar en forma algebraica como

$$P = \frac{F_t}{O}$$

donde P = factor de desempeño o de calificación
F_t = tiempo del movimiento fundamental
O = tiempo elemental medio observado para los elementos usados en F_t

Después, este factor se aplica al resto de los elementos con control manual que se incluyen en el estudio. De nueva cuenta, los elementos controlados por máquina no se califican. Una ilustración típica de la calificación sintética aparece en la tabla 11.6.

En el caso del elemento 1,

$$P = 0.096/0.08 = 120\%$$

y en el del elemento 4,

$$P = 0.278/0.22 = 126\%$$

La media de ellos es de 123%, que es el factor de calificación que se aplica a todos los elementos de esfuerzo.

Para establecer un factor de calificación sintética debe usarse más de un elemento. Ello se debe a que la investigación ha demostrado que el desempeño del operario varía de manera considerable de un elemento a otro, especialmente en trabajos complejos. Desafortunadamente, una objeción importante al procedimiento de calificación sintética es el tiempo que se necesita para desarrollar el análisis del sistema de tiempo predeterminado del trabajo dado.

CALIFICACIÓN OBJETIVA

El método de *calificación objetiva*, desarrollado por Mundel y Danner (1944), elimina la dificultad de establecer un ritmo normal para todo tipo de trabajo. Este procedimiento establece una sola asignación de trabajo con la que se compara el ritmo de todas las demás tareas. Después del juicio del ritmo se asigna un factor secundario al trabajo, el cual indica su dificultad relativa. Los factores que influyen en la dificultad de ajuste son: 1) parte del cuerpo que se usa, 2) pedales, 3) bimanualidad, 4) coordinación ojo-mano, 5) necesidades de manejo o sensoriales y 6) peso manejado o resistencia que se encontró.

Tabla 11.6 Ejemplos de calificaciones sintéticas

Elemento núm.	Tiempo promedio observado (min)	Tipo de elemento	Tiempo de movimiento fundamental (min)	Factor de desempeño
1	0.08	Manual	0.096	123
2	0.15	Manual	—	123
3	0.05	Manual	—	123
4	0.22	Manual	0.278	123
5	1.41	Eléctrico	—	100
6	0.07	Manual	—	123
7	0.11	Manual	—	123
8	0.38	Eléctrico	—	100
9	0.14	Manual	—	123
10	0.06	Manual	—	123
11	0.20	Manual	—	123
12	0.06	Manual	—	123

Como resultado de experimentos se han asignado valores numéricos a un rango de cada factor. La suma de los valores numéricos de cada uno de los seis factores forma el ajuste secundario. La calificación *C* se puede expresar como:

$$C = P \times D$$

donde P = factor de calificación del paso
D = factor de dificultad de ajuste del trabajo

Este procedimiento de calificación del desempeño proporciona resultados consistentes. La comparación del ritmo de la operación en estudio con el de una operación con la que el observador está familiarizado por completo, resulta mucho más sencilla que juzgar todos los atributos de una operación y compararlos con un parámetro normal para esa tarea específica. El factor secundario no afecta la inconsistencia, puesto que sólo ajusta el tiempo calificado con un porcentaje. Mundel y Danner (1994) desarrollaron tablas de porcentajes de los efectos de diferentes dificultades en la operación ejecutada.

11.4 APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CALIFICACIÓN

El valor de una calificación se escribe en la columna *C* del formulario de estudio de tiempos. Por lo general, se omite el punto decimal y se escribe un número entero (es decir, porcentaje) para ahorrar tiempo. Después de completar la etapa del cronómetro, el analista multiplica el tiempo observado (TO) por la calificación *C*, escalada a 100, para obtener el tiempo normal (TN):

$$\text{TN} = \text{TO} \times C/100$$

En efecto, esto califica el desempeño del operario en comparación con el de un operario calificado que trabaja a un ritmo estándar de desempeño, sin esfuerzo adicional, y adhiriéndose al método correcto (vea la figura 11.2).

El plan de calificación del desempeño que sea más fácil de aplicar, más sencillo de explicar y proporcione los resultados más válidos es la calificación de velocidad directa, aumentada con puntos de comparación sintéticos. Como ya se explicó, en este procedimiento 100 se considera normal, y un desempeño más alto se indica con valores directamente proporcionales a 100. Por lo general, la escala de calificación de velocidad cubre un intervalo de 50 a 150. Puede estudiarse a operarios cuyo desempeño esté fuera de este rango de productividad de 3 a 1, pero no es recomendable. Mientras más cercano esté el desempeño al estándar, mejor oportunidad se tendrá de lograr un tiempo normal razonable.

Cuatro criterios determinan si los analistas de estudio de tiempos que usan la calificación de velocidad pueden establecer valores en forma consistente dentro de 5% de la calificación promedio calculada por un grupo de analistas capacitados:

1. Experiencia en la clase de trabajo que se realiza.
2. Uso de puntos de comparación en al menos dos de los elementos que se llevaron a cabo.
3. Selección de un operario que tiene desempeños entre 85 y 115% del ritmo estándar.
4. Uso del valor medio de tres o más estudios independientes u operarios diferentes.

La experiencia en la clase de trabajo que se realiza resulta crítica. El analista debe estar lo suficientemente familiarizado con el trabajo para entender cada detalle del método que se utiliza.

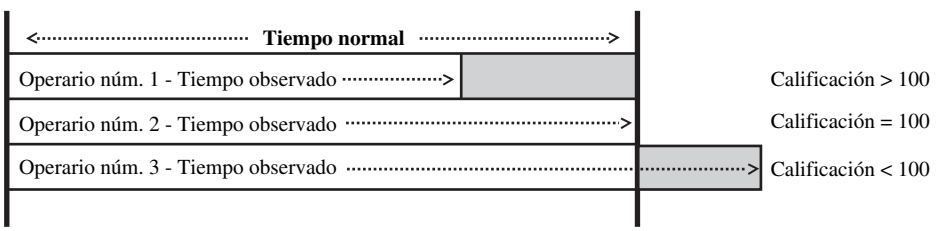


Figura 11.2 Relaciones de tiempo observado, calificación y tiempo normal.

Por ejemplo, en un trabajo de ensamblado para el cual se usa un agarre, el observador debe conocer la dificultad del posicionamiento de los componentes en esa sujeción, entender la clase de ajuste entre todas las partes ensamblables y comprender claramente la relación entre el tiempo y la clase de ajuste. El observador también debe conocer la secuencia apropiada de los eventos y los pesos de todas las partes que se manejan. Esto no necesariamente significa que el analista debe haber trabajado él mismo en el puesto que se estudia, aunque sería deseable. Por otro lado, un analista con 10 años de experiencia en el manejo de metales tendría muchos problemas para establecer estándares en una fábrica de zapatos para mujer.

Siempre que se disponga de más de un operario para el estudio, el analista debe seleccionar al que tenga más experiencia en el trabajo, con reputación de ser receptivo a la práctica del estudio de tiempos y desempeñarse consistentemente a un ritmo cercano o un poco mejor que el estándar. Mientras más se acerque el desempeño del operario al ritmo normal, más fácil será calificarlo. Por ejemplo, si el ritmo normal para repartir un mazo de cartas en cuatro manos de bridge es de 0.50 minutos, sería sencillo identificar un desempeño con ±15% de este estándar. Sin embargo, un desempeño 50% más rápido o más lento que el normal causaría dificultades considerables cuando se desea establecer un factor de calificación preciso para el desempeño demostrado.

La exactitud de la calificación del analista se puede verificar mediante estándares sintéticos. En el estudio de tiempos de la figura 10.8, el promedio del tiempo observado para llevar a cabo el elemento 1 es 2.07/15 = 0.138 minutos. Cuando se divide 0.138 minutos entre el factor de conversión MTM de 0.0006, se obtiene un tiempo observado de 230 TMU (vea el capítulo 13). El tiempo de movimiento fundamental para realizar el elemento 1 es 255 TMU, lo que produce a una calificación sintética de 255/230 = 111%. En este estudio particular, el analista tenía como resultado una calificación de velocidad de 110% y usó la calificación sintética para validar su juicio.

Para calificar el estudio global, el analista debe tomar tres o más muestras independientes antes de llegar al estándar. Éstas pueden tomarse del mismo operario a diferentes horas del día o de diferentes operarios. El punto es que cuando aumenta el número de muestras, los errores de compensación disminuyen el error global. Un ejemplo reciente aclara este punto. Uno de los autores, junto con otros dos ingenieros industriales capacitados, revisaron películas de capacitación para calificar el desempeño que incluía 15 operaciones diferentes. Los resultados se muestran en la tabla 11.7. Las

Tabla 11.7 Calificaciones de desempeño de tres ingenieros diferentes que observaron 15 operaciones distintas

		Ingeniero A		Ingeniero B		Ingeniero C		Promedio de los ingenieros A, B, C	
Operación	Calificación estándar	Calificación	Desviación	Calificación	Desviación	Calificación	Desviación	Calificación	Desviación
1	110	110	0	115	+5	100	−10	108	−2
2	150	140	−10	130	−20	125	−25	132	−18
3	90	110	+20	100	+10	105	+15	105	+15
4	100	100	0	100	0	100	0	100	0
5	130	120	−10	130	0	115	−15	122	−8
6	120	140	+20	120	0	105	−15	122	+2
7	65	70	+5	70	+5	95	+30	78	+13
8	105	100	−5	110	+5	100	−5	103	−2
9	140	160	+20	145	+5	145	+5	150	+10
10	115	125	+10	125	+10	110	−5	120	+5
11	115	110	−5	120	+10	115	0	115	0
12	125	125	0	125	0	115	−10	122	−3
13	100	100	0	85	−15	110	+10	98	−2
14	65	55	−10	70	+5	90	+25	72	+7
15	150	160	+10	140	−10	140	−10	147	−3
Promedio de las 15 operaciones	112	115.0		112.3		111.3		112.9	
Desviación promedio	0	+3.0		+0.7		−0.7		+0.9	

calificaciones estándar no se descubrieron hasta haber calificado las 15 operaciones. La desviación promedio de los tres ingenieros en las 15 diferentes operaciones fue de sólo 0.9 en una escala de calificación de velocidad de 50 a 150 puntos. Aun así, el ingeniero C estaba 30.0 arriba en la operación 7 y el ingeniero B, 20.0 abajo en la operación 2. Cuando las calificaciones conocidas estaban dentro del rango de 70 a 130, la calificación promedio de los tres analistas excedió ±5 puntos de la calificación conocida sólo en un caso (operación 3).

11.5 CAPACITACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN

Para ser exitosos, los analistas deben desarrollar registros de seguimiento para establecer estándares precisos que sean aceptados tanto por la fuerza de trabajo como por la administración. Para mantener el respeto de todas las partes, las calificaciones deben ser consistentes. Esto es especialmente cierto en el caso de las calificaciones de velocidad.

En general, cuando se estudian operarios con un desempeño en el rango de 0.70 a 1.30 del estándar, los buenos analistas deben establecer regularmente estándares dentro de ±5% de la tasa verdadera. Así, si varios operarios realizan el mismo trabajo, y varios analistas, que estudian cada uno a un operario diferente, establecen estándares de tiempo para el trabajo, entonces el estándar resultante de cada estudio debe estar dentro de ±5% de la media del grupo de estudio.

Para asegurar la consistencia de las calificaciones de velocidad, tanto entre las propias como con las establecidas por otros, los analistas deben participar en forma continua en los programas de capacitación. Tal capacitación debe ser más intensa para los analistas del estudio de tiempos principiantes. Uno de los métodos de capacitación que más se utiliza es la observación de cintas de video o películas que ilustran diversas operaciones realizadas a diferentes niveles de productividad. Cada película tiene un nivel de desempeño conocido. (Al final del capítulo se enlistan varios videos de capacitación seleccionados.) Después de mostrar la película, la calificación de velocidad correcta se compara con los valores establecidos independientemente por los capacitados. Si los valores de los analistas se desvían en forma sustancial del valor correcto, debe proporcionarse información específica para justificar la calificación. Por ejemplo, el analista puede haber calificado bajo al operario debido a una secuencia de movimientos que en apariencia no implicaron esfuerzo, mientras que la sucesión de movimientos rítmica y suave del operario en realidad son indicación de una alta destreza y capacidad de manipulación.

Cuando se revisan operaciones sucesivas, los analistas deben graficar sus calificaciones en función de los valores conocidos (vea la figura 11.3). Una línea recta indica perfección, mientras que las grandes irregularidades a ambos lados de la recta indican inconsistencia así como incapacidad para evaluar el desempeño. En la figura 11.3, el analista calificó la primera película con 75, pero la calificación correcta era 55. La segunda fue calificada con 80, mientras que la calificación adecuada era de 70. En todos los casos, excepto el primero, el analista estuvo dentro del área de calificaciones correctas establecida por la compañía. Observe que debido a la naturaleza de los intervalos de confianza, el criterio de ±5% de exactitud es válido sólo alrededor de 100%, esto es, el desempeño estándar. Cuando el desempeño está por debajo de 70% del estándar o arriba de 130% de él, un analista del estudio de tiempos experimentado esperaría un error mucho mayor a 5%.

También resulta útil graficar las calificaciones sucesivas en el eje x e indicar la magnitud positiva o negativa de la desviación del valor correcto en el eje y (vea la figura 11.4). Mientras más cerca del eje x estén las calificaciones del analista del estudio de tiempos, más cerca estará de los valores correctos.

Un estudio estadístico reciente que involucraba la calificación del desempeño de 6 720 operaciones individuales por un grupo de 19 analistas en un periodo de aproximadamente dos años produjo varias observaciones interesantes. Los analistas calificaron alto los niveles bajos de desempeño y calificaron bajo los niveles altos. Este error es típico de los analistas novatos que tienden a ser conservadores cuando califican y temen desviarse demasiado del desempeño estándar. En aplicaciones estadísticas, esta tendencia se denomina *regresión hacia la media* y resulta en una línea relativamente plana en comparación con la línea esperada que tiene una pendiente de 1 (figura 11.5). El analista novato que califica más alto que el valor real los desempeños más bajos que el estándar produce una *calificación holgada*. El resultado es un tiempo estándar que los operarios pueden lograr con demasiada facilidad, lo que significa que la compañía perderá dinero en esa operación. En el caso de los

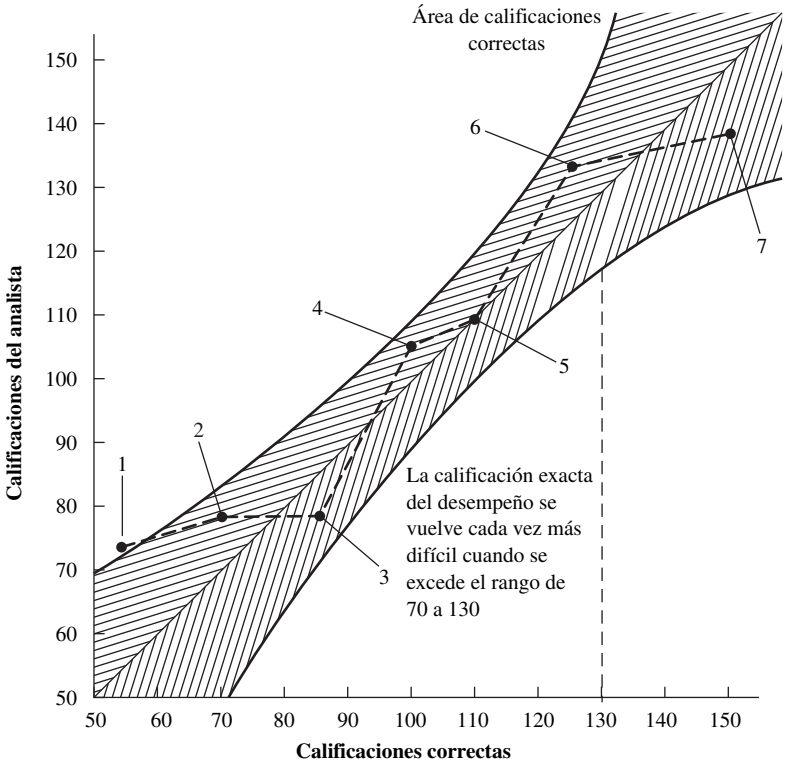


Figura 11.3 Gráfica que muestra un registro de siete estudios, en los cuales el analista tiende a calificar un poco alto en los estudios 1, 2, 4 y 6, y un poco bajo en los estudios 3 y 7.
Sólo el estudio 1 fue calificado fuera del rango de exactitud deseado.

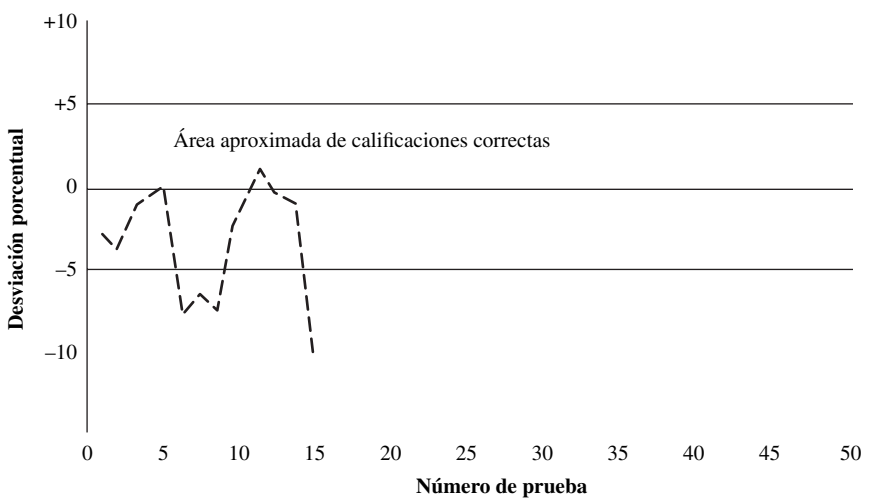


Figura 11.4 Registro de los factores de calificación de un analista en 15 estudios.

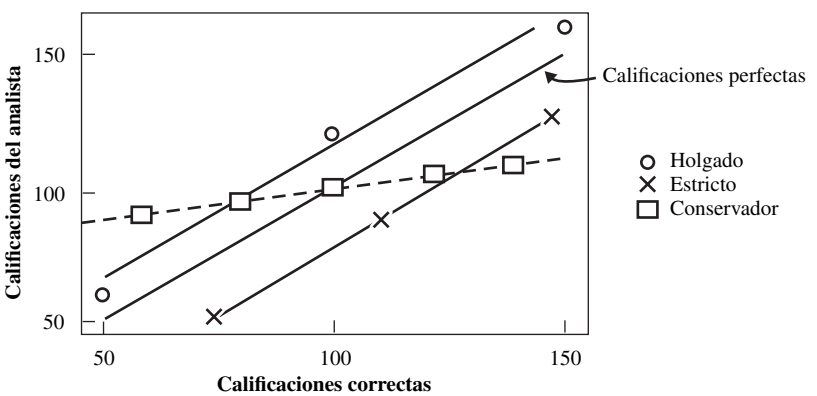


Figura 11.5 Ejemplos de un calificador holgado, estricto y conservador.

desempeños por arriba del estándar, un analista novato que los califica más bajo que el valor correcto produce una *calificación estricta*, lo cual resulta en un tiempo que los operarios pueden lograr con mucha dificultad. Algunos analistas, incluso después de años de experiencia, tienden de manera permanente a ser estrictos u holgados.

El estudio estadístico también concluyó que la operación que se examina tiene un efecto sobre los errores en la calificación del desempeño. Las operaciones complejas tienden a hacer más difíciles la calificación del desempeño que las operaciones más sencillas, aun en el caso de analistas experimentados. Con niveles de desempeño bajo es más común que se califique alto a las operaciones difíciles que a las sencillas, mientras que con niveles de desempeño alto se presenta más la calificación baja en las operaciones sencillas de realizar.

11.6 SUPLEMENTOS U HOLGURAS

Las lecturas con cronómetro de un estudio de tiempos se toman a lo largo de un periodo relativamente corto. Por lo tanto, el tiempo normal no incluye las demoras inevitables, que quizá ni siquiera fueron observadas, así como algunos otros tiempos perdidos legítimos. En consecuencia, los analistas deben hacer algunos ajustes para compensar dichas pérdidas. La aplicación de estos ajustes, u *holguras*, puede ser mucho más amplia en algunas compañías que en otras. Por ejemplo, la tabla 11.8 revela los elementos que incluyeron holguras de 42 compañías.

Los suplementos u holguras se aplican a tres partes del estudio: 1) al tiempo de ciclo total, 2) sólo al tiempo de máquina y 3) sólo al tiempo de esfuerzo manual. Las holguras aplicables al tiempo de ciclo total se expresan como porcentaje del tiempo de ciclo y compensan demoras como necesidades personales, limpieza de la estación de trabajo y lubricación de la máquina. Las holguras de tiempo de máquina incluyen el tiempo para mantenimiento de las herramientas y la varianza en la energía, mientras que las demoras representativas cubiertas por las holguras de esfuerzo son fatiga y ciertas demoras inevitables.

Con frecuencia, se usan dos métodos para desarrollar los datos de holgura estándar. Uno es la observación directa, que requiere que los observadores estudien dos, o quizá tres, operaciones durante un tiempo largo. Los observadores registran la duración y razón de cada intervalo ocioso. Después de establecer una muestra razonablemente representativa, los observadores resumen sus resultados para determinar el porcentaje de holgura de cada característica aplicable. Los datos que se obtienen de esta manera, igual que los de cualquier estudio de tiempos, deben ajustarse al desempeño estándar. Debido a que los observadores deben pasar un largo tiempo observando una o más operaciones, este método es excepcionalmente tedioso, no sólo para los analistas sino también para los operarios. Otra desventaja es la tendencia a tomar muestras demasiado pequeñas, lo que puede producir resultados sesgados.

Tabla 11.8 Holguras industriales típicas

Factor de holgura	Número de empresas	Porcentaje de empresas
1. Fatiga	39	93
A. General	19	45
B. Periodos de descanso	13	31
No especificó A o B	7	17
2. Tiempo que se requiere para aprender	3	7
3. Demora inevitable	35	83
A. Operario	1	2
B. Máquina	7	17
C. Tanto el operario como la máquina	21	50
No especificó A, B o C	6	14
4. Necesidades personales	32	76
5. Operaciones de configuración o preparación	24	57
6. Operaciones irregulares o inusuales	16	38

Fuente: Hummel (1935).

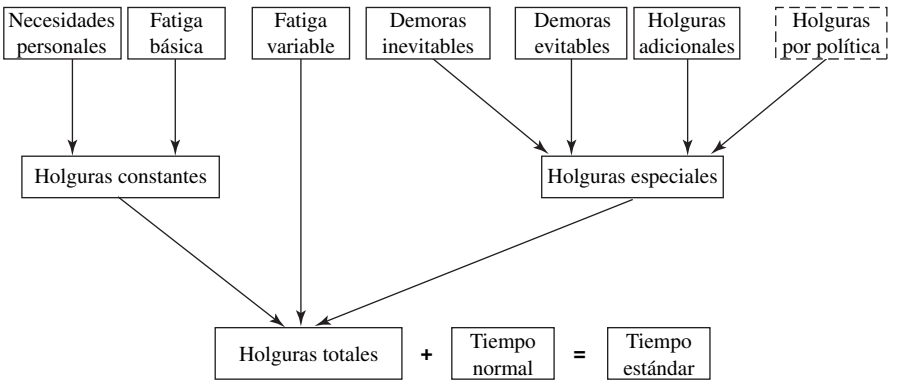


Figura 11.6 Tipos de holguras.

La segunda técnica implica estudios de muestreo del trabajo (vea el capítulo 14). Este método requiere tomar un número grande de observaciones aleatorias, por lo que se necesita sólo tiempo parcial o un servicio intermitente del observador. Cuando se aplica este método no se usa cronómetro, puesto que el observador sólo camina por el área en estudio en momentos aleatorios y anota brevemente lo que hace cada operario. El número de demoras que se registran, dividido entre el número total de observaciones durante las cuales el operario realiza trabajo productivo, se aproxima a la holgura que requiere el operario para satisfacer las demoras encontradas.

La figura 11.6 intenta proporcionar un esquema para ordenar los diferentes tipos de holguras de acuerdo con la función. La división principal son las holguras por fatiga contra las especiales. Las *holguras por fatiga*, como su nombre lo indica, proporcionan tiempo para que el trabajador se recupere de la fatiga causada por la tarea o por el entorno de trabajo. Estas holguras se dividen en *holguras por fatiga constante* y *variable*. Las *holguras especiales* incluyen muchos factores diferentes relacionados con el proceso, el equipo y los materiales, y se denominan *holguras por demoras inevitables*, *evitables*, *adicionales* y *por política*.

11.7 HOLGURAS CONSTANTES

NECESIDADES PERSONALES

Las *necesidades personales* incluyen las interrupciones del trabajo para mantener el bienestar general del empleado; entre los ejemplos están los viajes para beber agua e ir al sanitario. Las condiciones generales de trabajo y la clase de tarea afectan el tiempo necesario de las demoras personales. Por ejemplo, condiciones de trabajo que incluyen trabajo pesado que se realiza a altas temperaturas, como el que se lleva a cabo en el cuarto de prensas de un departamento de moldeado de hule o en un taller de forjado en caliente, donde se requerirán holguras mayores para necesidades personales que el trabajo ligero que se realiza en áreas con temperatura agradable.

No existe una base científica para asignar un porcentaje numérico; sin embargo, la verificación detallada de la producción ha demostrado que una holgura de 5% para tiempo personal, o cerca de 24 minutos en 8 horas, es adecuada para condiciones de trabajo de un taller típico. Lazarus (1968) reportó que en 235 plantas de 23 industrias la holgura personal oscila entre 4.6 y 6.5%. Por lo tanto, la cifra de 5% parece ser adecuada para la mayoría de los trabajadores.

FATIGA BÁSICA

La *holgura por fatiga básica* es una constante que toma en cuenta la energía que se consume para realizar el trabajo y aliviar la monotonía. Se considera adecuado 4% del tiempo normal para un operario que hace trabajo ligero, sentado, bajo buenas condiciones de trabajo, sin demandas especiales sobre sus sistemas motrices o sensoriales (ILO, 1957).

Entre 5% de holgura por necesidades personales y 4% de holgura por fatiga básica, la mayor parte de los operarios tienen 9% de holgura inicial constante, a la que se pueden agregar otras holguras, si es necesario.

11.8 HOLGURAS POR FATIGA VARIABLE

PRINCIPIOS BÁSICOS

La holgura por fatiga está estrechamente asociada con las necesidades personales, aunque suele aplicarse sólo a las partes de esfuerzo del estudio. La fatiga no es homogénea en ningún sentido. Puede ser desde estrictamente física hasta puramente psicológica o una combinación de ambas. El resultado es una disminución del deseo de trabajar. Los factores más importantes que afectan la fatiga incluyen las condiciones de trabajo, especialmente el ruido, el calor y la humedad; la naturaleza del trabajo, como la postura, el esfuerzo muscular y el tedio; y la salud general del trabajador. Aunque el trabajo manual pesado y, por lo tanto la fatiga muscular, ha disminuido en la industria debido a la automatización, otros componentes de la fatiga, como el estrés mental y el tedio, pueden ir en aumento. Como la fatiga no puede eliminarse deben asignarse las holguras adecuadas para las condiciones de trabajo y las tareas repetitivas.

Un método para determinar la holgura por fatiga es medir la declinación de la producción a lo largo del periodo de trabajo. Se puede medir la tasa de producción cada cuarto de hora durante el curso de la jornada laboral. Cualquier declinación de la producción que no pueda atribuirse a cambios en el método o a demoras personales o inevitables se puede atribuir a la fatiga y expresarse como un porcentaje. Brey (1928) expresó el coeficiente de fatiga como sigue:

$$F = (T - t) \times 100/T$$

donde F = coeficiente de fatiga
T = tiempo requerido para realizar la operación al término del trabajo continuo
t = tiempo que se requiere para realizar la operación al inicio del trabajo continuo

Se han hecho muchos intentos por medir esta fatiga a través de diferentes medios físicos, químicos y fisiológicos, pero hasta el momento ninguno ha tenido un éxito completo. La oficina internacional del trabajo de Estados Unidos (ILO, *Internacional Labour Office*, 1957) ha tabulado el efecto de diversas condiciones de trabajo para llegar a factores de suplemento u holgura adecuados (vea la tabla 11.9) con un sistema de puntos más detallado que el que se presentó en una edición anterior (ILO, 1979). Estos factores incluyen parado contra sentado, posiciones anormales, uso de fuerza, iluminación, condiciones atmosféricas, atención requerida en el trabajo, nivel de ruido, tensión mental, monotonía y tedio. Para usar esta tabla, el analista debe determinar los factores de holgura para cada elemento del estudio y después sumar los valores para obtener la holgura por fatiga global, que luego se suma a la holgura por fatiga constante.

Estas recomendaciones de ILO se desarrollaron a través de consenso entre administradores y trabajadores de muchas industrias y no están sustentadas en forma directa. Por otro lado, desde la década de 1960 se ha dedicado mucho trabajo al desarrollo de estándares específicos para la salud y seguridad del trabajador estadounidense. Aquí, examinamos estos estándares en comparación con las holguras por fatiga de ILO.

POSTURA ANORMAL

Los holguras por postura se basan en consideraciones metabólicas y suelen estar soportadas por modelos metabólicos que se han desarrollado para distintas actividades (Garg, Chaffin y Herrin, 1978). Se pueden usar tres ecuaciones básicas para trabajo sentado, parado y flexionado a fin de predecir y comparar la energía consumida en distintas posturas. Mediante un promedio del peso del cuerpo adulto (de mujer y de hombre) de 152 libras (69 kg), al cual se le agrega un consumo de energía adicional de 2.2 kcal/min para el trabajo manual (Garg, Chaffin y Herrin, 1978), se obtienen consumos de energía de 3.8, 3.86 y 4.16 kcal/min para las posiciones sentado, parado y flexionado, respectivamente. Como sentado es una postura básica cómoda que puede mantenerse durante periodos prolongados, las otras posturas se comparan con la de sentado. La razón de los consumos de energía parado entre los de sentado es 1.02, o bien una holgura de 2%, mientras que la razón de los consumos de energía flexionado en comparación con los de estar sentado es 1.10, es decir una holgura de 10%. El primer valor es idéntico al recomendado por ILO. El segundo es un poco mayor que el de ILO, que llega a 7%, pero puede representar un caso extremo de postura, la cual no se puede mantener por un periodo prolongado.

Tabla 11.9 Holguras recomendadas por ILO

A. Holguras constantes:	
1. Holgura personal	5
2. Holgura por fatiga básica	4
B. Holguras variables:	
1. Holgura por estar parado	2
2. Holgura por posición anormal:	
a) Un poco incómoda	0
b) Incómoda (flexionado)	2
c) Muy incómoda (acostado, estirado)	7
3. Uso de fuerza o energía muscular (levantar, arrastrar o empujar):	
Peso levantado, lb:	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
35	7
40	9
45	11
50	13
60	17
70	22
4. Mala iluminación:	
a) Un poco abajo de lo recomendado	0
b) Bastante abajo de lo recomendado	2
c) Muy inadecuada	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad): variable	0-100
6. Atención cercana:	
a) Trabajo bastante fino	0
b) Trabajo fino o exacto	2
c) Trabajo muy fino o muy exacto	5
7. Nivel de ruido:	
a) Continuo	0
b) Intermitente: fuerte	2
c) Intermitente: muy fuerte	5
d) De tono alto: fuerte	5
8. Esfuerzo mental:	
a) Proceso bastante complejo	1
b) Espacio de atención compleja o amplia	4
c) Muy complejo	8
9. Monotonía:	
a) Baja	0
b) Media	1
c) Alta	4
10. Tedio:	
a) Algo tedioso	0
b) Tedioso	2
c) Muy tedioso	5

FUERZA MUSCULAR

Los holguras por fatiga se pueden formular con base en dos principios fisiológicos importantes: la fatiga muscular y la recuperación del músculo después de la fatiga. El resultado inmediato de la fa-

tiga muscular es una reducción significativa de la fuerza muscular. Rohmert (1960) cuantificó estos principios de la siguiente manera:

1. La reducción de la fuerza máxima ocurre si la fuerza de sostenimiento estático es 15% superior a la fuerza máxima.
2. Mientras más larga sea la contracción muscular estática, mayor será la reducción de la fuerza muscular.
3. Las variaciones musculares individuales o específicas se minimizan si las fuerzas se normalizan según la fuerza máxima individual de ese músculo.
4. La recuperación es una función del grado de fatiga; es decir, un porcentaje dado de disminución de la fuerza máxima requerirá una cantidad dada de recuperación.

Rohmert (1973) cuantificó con mayor profundidad estos conceptos de fatiga y recuperación en una serie de curvas de las holguras de descanso HD como función de la fuerza y el tiempo de sostenimiento (vea la figura 11.7):

$$\text{HD} = 1\,800 \times (t/T)^{1.4} \times (f/F - 0.15)^{0.5}$$

donde HD = holgura de descanso [Porcentaje del tiempo t]
t = duración del sostenimiento (min)
f = fuerza de sostenimiento (lb)
F = fuerza máxima de sostenimiento (lb)
T = tiempo máximo de sostenimiento de la fuerza de sostenimiento f (min), definido como

$$T = 1.2/(f/F - 0.15)^{0.618} - 1.21$$

La fuerza máxima de sostenimiento F se puede aproximar con base en los datos recolectados entre 1 522 trabajadores industriales de ambos sexos (Chaffin, Freivalds y Evans, 1987). El promedio de las tres fuerzas de levantamiento estandarizadas (brazo, pierna y torso) es aproximadamente de 100 libras (45.5 kg). Con este valor de fuerza máxima de sostenimiento para levantamientos no frecuentes (menos de uno cada cinco minutos) de corta duración se obtienen las holguras que se presentan en la tabla 11.10. Para levantamientos más frecuentes (más de uno cada cinco minutos), predominan las consideraciones metabólicas, y deben utilizarse las guías de levantamiento de NIOSH (vea la sección

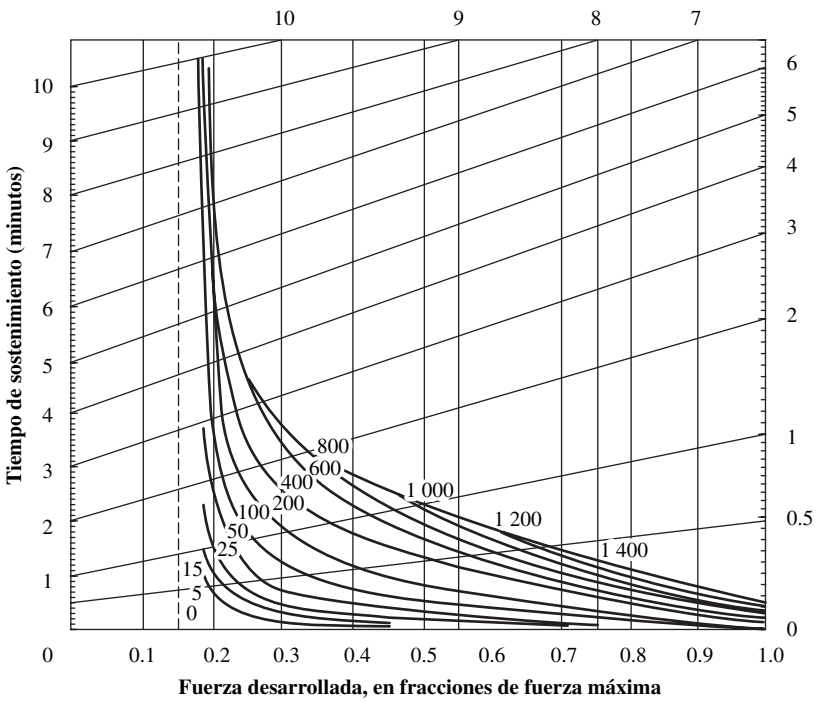


Figura 11.7 Porcentaje de holguras de descanso de distintas combinaciones de fuerza de sostenimiento y tiempo. (*De*: Rohmert, 1973).

Tabla 11.10 Comparación de holguras de ILO y holguras calculadas para el uso de la fuerza muscular

Carga (lb)	ILO	Calculada
5	0	0
10	1	0
15	2	0
20	3	0.5
25	4	1.3
30	5	2.7
35	7	4.5
40	9	7.0
45	11	10.2
50	13	14.4
60	17	NA
70	22	NA

4.4) para determinar las limitaciones. Además, las cargas mayores a 51 lb (23.2 kg) no están permitidas por las guías de levantamiento de NIOSH.

En el caso de la energía muscular se considera la fórmula para determinar la cantidad de descanso que se requiere para trabajo pesado que se presenta en la sección 4.4:

$$D = (W - 5.33)/(W - 1.33)$$

donde D = tiempo que se requiere de descanso, como porcentaje del tiempo total
W = consumo de energía promedio durante el trabajo (kcal/min)

Esta expresión se puede reformular como una holgura de descanso:

$$\text{HD} = (\Delta W/4 - 1) \times 100$$

donde HD = holgura de descanso como porcentaje agregado al tiempo normal
ΔW = incremento del consumo de energía por el trabajo = W – 1.33 kcal/min

Medir la frecuencia cardiaca es más sencillo que medir el consumo de energía. Entonces, la holgura de descanso se puede expresar en función de la frecuencia cardiaca de la manera siguiente:

$$\text{HD} = (\Delta\text{FC}/40 - 1) \times 100$$

donde HD = holgura de descanso como porcentaje agregado al tiempo de trabajo
ΔFC = diferencia entre la frecuencia cardiaca durante el trabajo y el descanso

Cálculo de holguras de descanso para uso no frecuente de la fuerza muscular

EJEMPLO 11.1

Considere a un trabajador que levanta una carga de 40 lb (18.2 kg) menos de una vez cada 5 minutos. Primero, calcule el tiempo máximo de sostenimiento de una carga que tiene 40/100 = 40% de la capacidad de fuerza máxima de una persona promedio:

$$T = 1.2/(0.4 - 0.15)^{0.618} - 1.21 = 1.62 \text{ min}$$

Después sustituya una fuerza de corta duración de 0.05 min y un tiempo máximo de sostenimiento de 1.62 min en la ecuación de holgura de descanso:

$$\text{HD} = 1\,800 \times (0.05/1.62)^{1.4} \times (0.4 - 0.15)^{0.5}$$
$$= 1\,800 \times (0.0768) \times (0.5) = 6.96 \approx 7\%$$

La holgura de descanso variable de 7% se agrega al típico 9% de holgura constante, con lo cual se obtiene un holgura total de 16%.

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Modelar el cuerpo humano y sus respuestas a las condiciones atmosféricas es una tarea muy difícil. Se han hecho muchos intentos para combinar las manifestaciones fisiológicas y los cambios de varias condiciones ambientales en un solo índice (Freivalds, 1987). Sin embargo, ningún índice de este tipo es suficiente y pueden observarse variabilidades considerables en las holguras. Las holguras del ILO se basan en un concepto obsoleto del poder de enfriamiento y están muy por debajo de las holguras de descanso que se requieren. Así, existe una desviación considerable en las holguras de ILO de los niveles reales de estrés. Esto se explica con detalle en Freivalds y Goldberg (1988).

Un mejor enfoque consiste en considerar la guía más reciente desarrollada por NIOSH (1986), que utiliza la temperatura global de bulbo húmedo (TGBH, descrita en el la sección 6.3) y los consumos de energía en el trabajo. Las holguras de descanso resultantes para trabajadores no climatizados (de la figura 6.13) se pueden cuantificar mediante una regresión de mínimos cuadrados, de donde se obtiene

$$\text{HD} = e^{(-41.5 + 0.0161W + 0.497\text{WBGT})}$$

donde W = consumo de energía durante el trabajo, (kcal/h).
TGBH = temperatura global de bulbo húmedo (°F).

EJEMPLO 11.2 Cálculo de holguras de descanso de la fatiga global

Considere la tarea extenuante que se presenta en la figura 4.20 de palear carbón a un horno, con un consumo de energía de 10.2 kcal/min. La holgura de descanso que requiere HD es:

$$\text{HD} = [\,(10.2 - 1.33)/4 - 1\,] \times 100 = 122\%$$

Por lo tanto, para proporcionar un tiempo adecuado de recuperación de la fatiga, el trabajador necesitaría pasar 4 horas de descanso en cada turno de 8 horas. Observe que el ΔW aceptable para hombres es de 5.33 – 1.33 = 4 kcal/min. (Para mujeres, se sustituye el valor de 4.0 por 5.33 y 1.0 por 1.33.)

NIVEL DE RUIDO

La administración de la salud y seguridad ocupacional (OSHA, *Occupational Safety and Health Administration*, 1983) estableció los niveles permisibles de exposición al ruido de los trabajadores de la industria. Los niveles que se permiten dependen de la duración de la exposición, como se muestra en la tabla 11.11.

Si la exposición diaria total consiste en exposiciones a varios niveles de ruido, la exposición combinada se calcula mediante la ecuación

$$D = C_1/T_1 + C_2/T_2 + \cdots \leq 1$$

Tabla 11.11 Niveles de ruido permisibles de OSHA

Nivel de ruido (dBA)	Tiempo permisible (horas)
80	32
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0.5
115	0.25
120	0.125
125	0.063
130	0.031

donde D = dosis de ruido (valor decimal)
C = tiempo que pasa a un nivel específico de ruido (h)
T = tiempo permitido (tabla 11.11) en el nivel específico de ruido (h)

y la holgura de descanso requerida (en porcentaje) es simplemente

$$\text{HD} = 100 \times (D - 1)$$

Cálculo de holguras de descanso por condiciones atmosféricas — EJEMPLO 11.3

Un trabajador realiza un ensamble manual, sentado, en una estación de trabajo y consume alrededor de 200 kcal/min. Si la TGBH_{IN} es de 88.5°F, entonces

$$\text{HD} = e^{[-41.5+0.0161(200)+0.497(88.5)]} + e^{5.7045} \approx 300\%$$

Con base en un suplemento u holgura de descanso de 300%, el trabajador necesitaría 45 minutos de descanso por cada 15 minutos de trabajo.

Así, la exposición total a distintos niveles de ruido no puede exceder una dosis de 100%. Por ejemplo, un trabajador puede estar expuesto a 95 dBA durante 3 horas y a 90 dBA durante 5 horas. Aunque es permisible cada exposición por separado, la dosis combinada no lo es:

$$D = 3/4 + 5/8 = 1.375 > 1$$

Por lo tanto, la holgura de descanso que se requiere para cumplir con OSHA es

$$\text{HD} = 100 \times (1.375 - 1) = 37.5\%$$

Por lo tanto, 90 dBA es el nivel máximo permisible para un día de 8 horas, y cualquier nivel arriba de 90 dBA requiere una holgura de descanso.

Para calcular la dosis de ruido, en los cálculos deben incluirse todos los sonidos entre 80 y 130 dBA (aunque los niveles continuos arriba de 115 dBA no se permiten del todo). Como en la tabla 11.11 se proporcionan sólo ciertos tiempos claves, es posible usar la siguiente fórmula para calcular niveles de ruido intermedio:

$$T = \frac{32}{2^{(L-80)/5}}$$

donde L = nivel de ruido (dBA).

NIVELES DE ILUMINACIÓN

La reconciliación de las holguras de ILO (1957) y de las recomendaciones de IESNA (1995) respecto a niveles de iluminación (vea la sección 6.1) se pueden aproximar de la siguiente manera. En el caso de holguras de descanso, una tarea que está por abajo de la que se recomienda puede considerarse dentro de la misma subcategoría de iluminación, quizá un poco abajo del estándar, en el límite inferior del intervalo y se le asigna una holgura de 0%. Una tarea que está muy por debajo de la iluminación adecuada puede incluirse en una subcategoría abajo de la recomendación y se le asigna una holgura de 2%. Una tarea con iluminación bastante inadecuada puede ubicarse en dos o más subcategorías abajo del nivel recomendado y recibe una holgura de 5%. Estas clasificaciones son bastante realistas, puesto que las percepciones humanas de la iluminación son logarítmicas; es decir, al aumentar la luminancia se requiere una mayor diferencia de intensidad antes de notar el cambio (IES, 1981).

Cálculo de una holgura de descanso para el ruido — EJEMPLO 11.4

Un trabajador está expuesto a los niveles de ruido que se muestran en la tabla 11.12 durante un día de trabajo de 8 horas.

La última anotación se obtiene como sigue:

$$T = \frac{32}{2^{(96-80)/5}} = 3.48$$

La dosis de ruido es

$$D = 1/32 + 4/8 + 3/3.48 = 1.393$$

y la holgura de descanso es

$$\text{HD} = 100 \times (1.393 - 1) = 39.3\%$$

Como la dosis de exposición al ruido en 8 horas excede los requerimientos de OSHA, el trabajador debe tener una holgura de descanso de 39.3%. Observe que, de nuevo, los valores recomendados por ILO subestiman en gran medida las holguras que se requieren.

Tabla 11.12 Niveles de ruido para un día de trabajo de 8 horas

Nivel de ruido *L* (dBA)	Tiempo transcurrido *C* (h)	Tiempo permitido *T* (h)
80	1	32
90	4	8
96	3	3.48

Los registros contienen ciertas evidencias de que cuando aumenta la iluminación de la tarea se obtiene un desempeño más hábil. La medida de desempeño más congruente es el tiempo de terminación de la tarea bajo diversas condiciones de iluminación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la precisión del desempeño también es importante. Por ejemplo, Bennett, Chitlangio y Pangrekar (1977) reportaron que el tiempo para leer un artículo escrito a mano con lápiz de 450 palabras es una función cúbica de la iluminación de la tarea:

$$\text{Tiempo} = 251.8 - 33.96 \log \text{FC} + 6.15(\log \text{FC})^2 - 0.37(\log \text{FC})^3$$

donde Tiempo = tiempo de lectura medio (s)
FC = iluminación de la tarea (fc)

La iluminación recomendada por IES (1981) para leer este material escrito con lápiz es la categoría E (de la tabla 6.2), de 50 a 100 fc (de 500 a 1 000 lx). Los factores de ponderación suman cero (de la tabla 6.3), de manera que la iluminación recomendada es 75 fc (750 lx), el valor medio de la categoría E. En la tabla 11.13 se comparan los tiempos de lectura modelados como función de la iluminación decreciente y las holguras. Cuando disminuye la iluminación a la siguiente subcategoría inferior, los tiempos de desempeño aumentan entre 3 y 5%, que no está lejos del 2% de holgura de ILO para niveles de iluminación muy por abajo. La siguiente subcategoría inferior de iluminación produjo tiempos 6 a 8% mayores que los de niveles recomendados, que es un poco mayor de 5% de holgura para iluminación inadecuada. De manera global, este estudio (Bennett, Chitlangio y Pangrekar, 1977) estuvo razonablemente cerca de coincidir con las holguras de ILO.

Tabla 11.13 Tiempos de lectura modelados como una función de la iluminación

Iluminación (fc)	Tiempo modelado (s)	Porc. (%) de cambio desde 75 fc	Categoría de ILO	Holgura (%)
75	207.3	—	(Recomendado)	0
50	210.0	1.3	Un poco abajo	0
30	213.9	3.2	Muy abajo	2
20	217.2	4.8	Muy abajo	2
15	219.8	6.0	Inadecuado	5
10	223.6	7.9	Inadecuado	5

Fuente: Bennett, Chitlangio y Pangrekar, 1977.

ESFUERZO VISUAL

La holgura de descanso para el esfuerzo visual de ILO no proporciona holguras para trabajo casi fino, una holgura de 2% para trabajo fino y 5% para trabajo muy fino. Estas holguras sólo se refieren a la precisión de los requerimientos visuales de la tarea, sin mencionar otras condiciones que tienen un gran efecto sobre los requerimientos visuales: iluminación (o luminancia), reflejos, parpadeo, color, tiempo de visión y contraste. Por lo tanto, las holguras de ILO son sólo aproximaciones burdas. Se pueden determinar valores más específicos de acuerdo con la detectabilidad del objetivo, como lo cuantificó en principio Blackwell (1959) mediante sus curvas de visibilidad (vea la figura 6.3). Cuatro factores tienen el mayor efecto para determinar qué tan visible será un objetivo durante la tarea:

1. *Luminancia del fondo de la tarea*. Es la magnitud de luz que se refleja desde el fondo del objetivo hasta los ojos de un observador, medida en pies-lamberts (fL).
2. *Contraste*. Es la diferencia entre los niveles de luminancia del objetivo y el fondo. El contraste también necesita ajustarse (dividirse) entre los siguientes factores: condiciones del mundo real (2.5), movimiento del objeto (2.78) e incertidumbre en la ubicación (1.5).
3. *Tiempo disponible para la observación*. Va de unos cuantos milisegundos a varios segundos y puede afectar la velocidad y exactitud del desempeño.
4. *Tamaño del objeto*, *medido como ángulo visual en arco-minutos*.

Las curvas de visibilidad de Blackwell se pueden modelar mediante la siguiente ecuación (con rangos permisibles):

$$\text{Porcentaje Det} = 81 \times C^{0.2} \times L^{0.045} \times T^{-0.003} \times A^{0.199}$$

donde Porccentaje det = Porcentaje de objetivos detectados (0-100%)
C = contraste (0.001-1.8)
L = luminancia del fondo (1-100 fL)
T = tiempo de visión (0.01-1 s)
A = ángulo visual (1-64 arco-minutos)

El porcentaje de objetivos detectados puede usarse para verificar las holguras por esfuerzo visual al especificar un rango de percentiles para la descripción de las habilidades de la población. Como los intervalos de percentiles que más se usan son los percentiles 50 y los 95, éstos también se pueden aplicar a la detección de objetivos, para definir las categorías de holguras de descanso. Una detección de al menos 95% define una tarea visual sin problemas significativos y puede definir la categoría de trabajo casi fino de ILO con la holgura asociada de 0%. Al menos 50% de detección de objetivos define la categoría de trabajo fino con el holgura de 2%. Por último, una detección de menos de la mitad de los objetivos puede definir el trabajo muy fino con su 5% de holgura asociado.

Debe destacarse que el modelo de Blackwell no define directamente la holgura de descanso. En su lugar, define la habilidad absoluta de detección de objetivos, que a su vez puede usarse para definir una holgura de descanso. Por ello, la holgura de descanso debe ser inversamente proporcional al porcentaje esperado de detección de objetivos.

En general, los ángulos de visión pequeños producen los niveles más bajos de desempeño, mientras que el tiempo de visión sólo afecta el desempeño de los niveles de contraste más altos.

ESFUERZO MENTAL

En el caso de muchos tipos de tareas, el esfuerzo mental es muy difícil de medir con claridad. Para la carga de trabajo mental no se han definido con exactitud medidas estandarizadas de desempeño, y la variabilidad entre individuos que realizan la misma tarea es alta. Además, dar una definición de esfuerzo mental significa entender los factores que hacen que una tarea sea compleja, lo cual no poseen los modelos. La investigación de las bases y la conveniencia de las holguras de descanso necesariamente requieren: 1) un indicador independiente de la complejidad de la tarea y 2) evidencia objetiva del cambio en la producción del trabajo con la fatiga o en el tiempo de la tarea. Aun con esta información, las diferencias experimentales en la motivación pueden afectar de manera notable los resultados observados y llevar a comparaciones inútiles entre estudios. La vaguedad de las holguras de descanso de ILO complica las cosas aún más: 1% para procesos bastante complejos; 4% para procesos que re-

quieren un lapso de atención amplio o complejo, y 8% en el caso de un proceso muy complejo. En el mejor de los casos, un estudio controlado con medidas de lecturas o tareas aritméticas mentales, como los realizados por Okogbaa y Shell (1986), pueden servir como una verificación cruda de estas holguras. Ambas tareas se pueden considerar complejas y requieren atención amplia por lo que ameritan 4% de holgura de descanso. Sin embargo, el desempeño en la lectura disminuye a una tasa de 3.5% cada hora, mientras que el desempeño aritmético disminuye a una tasa cercana a 2% cada hora. Entonces, las guías de ILO (1957) son la base para decrementos del desempeño por esfuerzo mental durante una hora, pero son inadecuados para periodos más largos y es posible que deban modificarse.

EJEMPLO 11.5 Cálculo de la holgura de descanso por esfuerzo visual

La inspección de resistores en tarjetas de circuitos electrónicos puede considerarse una tarea exacta que requiere una holgura de 2% se acuerdo con las guías de ILO. Para confirmar este parámetro, se usan los siguientes cálculos. La tarjeta se observa a una distancia de 12 pulgadas, sin magnificación, y las bandas de cada resistor tienen 0.02 pulgadas de ancho. El ángulo visual requerido es de 3 438 $\times$ 0.02/12 = 5.73 arco-minutos. El cuerpo del resistor (fondo de la tarea) tiene una luminancia de 10 fL y el contraste entre la banda y el fondo es de 0.5. El contraste se divide entre un factor de 1.5 $\times$ 2.5 = 3.75 para ajustar la detección real y la incertidumbre de la ubicación (Freivalds y Goldberg, 1988). El tiempo medio para fijar la vista es de 0.2 s. Al introducir estos valores en la ecuación de la detectabilidad se obtiene

$$\begin{aligned}\text{Porcentaje Det} &= 81 \times (0.5/3.75)^{0.2} \times 10^{0.045} \times 0.2^{-0.003} \times 5.73^{0.199} \\ &= 81 \times 0.668 \times 1.109 \times 1.005 \times 1.414 = 85.3\%\end{aligned}$$

Una detectabilidad de 85.3% está por debajo de 95% y requeriría una holgura de descanso de 2%.

MONOTONÍA

La asignación de holguras de descanso por monotonía, según lo define ILO (1957), es más apropiada como "el resultado del uso repetido de ciertas facultades mentales, como en la aritmética mental". Las tareas con baja monotonía no reciben holgura adicional; las tareas con monotonía mediana tienen 1% y las tareas altamente monótonas reciben 4% de holgura. Como las tareas cognoscitivas de Okogbaa y Shell (1986) se realizaron durante cuatro horas, quizá también deban recibir una holgura por monotonía. Sin embargo, la adición de la holgura máxima de 4% sólo se extendería al periodo adecuado de dos horas. Las tareas de vigilancia presentan otro ejemplo de trabajo monótono. Baker, Ware y Sipowicz (1962) observaron que los sujetos detectaron 90% de interrupciones cortas de luz en una lámpara después de una hora de pruebas continuas. Al final de las 10 horas, los sujetos sólo detectaban alrededor de 70% de las señales, o bien una disminución del desempeño de 2% cada hora. De nuevo, la holgura de ILO no es suficiente para compensar los decrementos del desempeño que ocurren a lo largo del turno completo y es necesario desarrollar mejores holguras.

TEDIO

Los suplementos u holguras para tareas tediosas (o tareas repetitivas) son 0% para una tarea algo tediosa, 2% para una tarea tediosa y 5% para una muy tediosa. Como está definido por ILO (1957), esta holgura se aplica a elementos en los que existe "uso repetido de ciertos miembros del cuerpo, como dedos, manos, brazos o piernas". En otras palabras, una tarea tediosa utiliza repetidas veces los mismos movimientos físicos, mientras que una tarea monótona usa repetidas veces las mismas facultades mentales. Un estudio de métodos usado para simplificar el trabajo y hacerlo más eficiente también tiende a hacerlo más tedioso o repetitivo para los trabajadores capacitados, y hace más probable que los operarios estén más propensos a desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo (capítulo 5).

Mediante trabajos de desarrollo sobre modelos para la evaluación del riesgo de CTD (ANSI, 1995; Seth, Weston y Freivalds, 1999) se encontró que la frecuencia de movimientos, posturas de la mano y muñeca, y las fuerzas ejercidas por la mano son los factores claves del riesgo creciente de CTD. Sin embargo, estos modelos relativamente burdos están lejos de ser confiables y no se validaron

para una amplia variedad de trabajos e industrias. Aun así, datos epidemiológicos de NIOSH (1989) han indicado que 10 000 movimientos de muñeca por turno es un punto límite en el que es notorio el aumento de casos de CTD, y que en 20 000 movimientos el número de casos aumenta de manera significativa. Esto parecería implicar que 10 000 movimientos es un límite para que empeore el desempeño y para asignar holguras de descanso hasta de 100%, que es mucho mayor que lo recomendado por ILO (1957). Obviamente, la mayoría de estos modelos se encuentran en etapas de desarrollo y debe realizarse una validación considerable antes de poder establecer valores específicos para las holguras.

11.9 HOLGURAS ESPECIALES

DEMORAS INEVITABLES

Esta clase de demoras se aplica a los elementos de esfuerzo e incluye interrupciones del supervisor, despachador, analista del estudio de tiempos y otros; irregularidades en los materiales; dificultad para cumplir con las tolerancias y especificaciones; y demoras por interferencia cuando se hacen asignaciones de máquinas múltiples.

Como es de esperarse, todo operario experimenta numerosas interrupciones en el curso del día de trabajo. El supervisor o líder del grupo puede interrumpir para dar instrucciones o aclarar cierta información escrita. El inspector puede interrumpir para puntualizar las razones del trabajo defectuoso que pasó a través de su estación de trabajo. Las interrupciones también se deben a planeadores, despachadores, compañeros de trabajo, personal de producción y otros.

Las demoras inevitables suelen ser resultado de irregularidades en el material. Por ejemplo, el material puede estar en el lugar equivocado; o bien ser demasiado suave o demasiado duro, o muy largo o muy corto; puede contener un exceso de desechos, como en el forjado cuando el troquel empieza a desgastarse o en el moldeado cuando no se retiran por completo los bordes. Cuando el material se desvía sustancialmente de las especificaciones estándar, la holgura normal por demora inevitable puede resultar inadecuada. En consecuencia, el analista debe estudiar de nuevo el trabajo y dar tiempo para los elementos adicionales introducidos por el material irregular.

Como se analizó en la sección 2.3 si se asigna más de una máquina a un operario durante la jornada laboral, una o más máquinas deben esperar hasta que el operario termine su trabajo con otra máquina. Mientras más máquinas se asignen al operario, más aumentará el tiempo de interferencia de máquinas. En el ejemplo 11.6 se muestra la aplicación de la fórmula de Wright (de la sección 2.3) para calcular las holguras para esas interferencias de máquinas.

EJEMPLO 11.6 Holgura para interferencia de máquinas

En la producción de edredones se le asignan 60 husillos a un operario. El tiempo medio de producción por paquete, determinado en un estudio con cronómetro, es de 150 minutos. El tiempo medio de servicio estándar por paquete, que también se desarrolló en el estudio de tiempos, es de 3 minutos. El tiempo de la interferencia de máquinas, calculado con la fórmula de Wright (vea la sección 2.3) dio como resultado 1 160% del tiempo medio de servicio.

Entonces se tiene

Tiempo de funcionamiento de la máquina	150.00 min
Tiempo de servicio	3.00 min
Tiempo de interferencia de la máquina	$11.6 \times 3.0 = 34.80$ min
Tiempo estándar para 60 paquetes	187.80 min
Tiempo estándar por paquete	$\frac{187.80}{60} = 3.13$ min

De manera alternativa, el tiempo de interferencia de la máquina se puede calcular como porcentaje de holgura, al cual se pueden agregar otras holguras:

$$\text{Porcentaje de holgura} = \frac{34.8}{153} \times 100 = 22.75\%$$

La cantidad de interferencia también está relacionada con el desempeño del operario. Por lo tanto, el que demuestra un nivel de esfuerzo bajo experimenta más interferencia de máquina que aquel que, con un esfuerzo alto, reduce el tiempo dedicado a atender las máquinas detenidas. El analista determina el tiempo de interferencia normal calculado con los métodos que se presentaron en el capítulo 2. Si el tiempo de interferencia normal es menor que el tiempo de interferencia de máquina observado, entonces la razón de los dos tiempos producirá una medida del desempeño del operario.

DEMORAS EVITABLES

No se acostumbra proporcionar holguras por retrasos evitables, como las visitas a otros operarios por motivos sociales, detenciones sin razón y ociosidad distinta al descanso para recuperarse de la fatiga. Aunque los operarios pueden tomar estas demoras a costa de la producción, no se asignan holguras por estas detenciones de trabajo en el desarrollo del estándar.

HOLGURAS ADICIONALES

Por lo general, en la fabricación de metales y operaciones relacionadas, la holgura por demoras personales inevitables y fatiga se acerca a 15%. Sin embargo, en ciertos casos puede ser necesaria una holgura adicional para obtener un estándar justo. Por ejemplo, para un lote de materia prima abajo del estándar, puede ser necesario que el analista agregue una holgura adicional para tomar en cuenta el alto número de rechazos no contemplados. O bien, puede surgir una situación en la que debido a la descompostura de una grúa de brazo, el operario tenga que colocar un molde de 50 libras en el sujetador de la máquina. Será necesaria una holgura extra para la fatiga adicional por el manejo manual del trabajo.

Una holgura adicional que se usa con frecuencia, especialmente en la industria del acero, es un porcentaje agregado a una parte o a todo el tiempo del ciclo para tomar en cuenta la observación del proceso que realiza el operario para mantener una operación eficiente. Esta holgura se conoce frecuentemente como holgura de *tiempo de atención* y puede cubrir situaciones como un inspector que observa una placa de estaño que sale de la línea, un primer ayudante que observa las condiciones de un recubrimiento fundido o que recibe instrucciones del fundidor, o el operador de una grúa que recibe instrucciones del colocador de la carga. Sin esta holgura adicional, sería imposible que tales operarios ganaran lo mismo que sus compañeros trabajadores.

El tiempo que se requiere para limpiar la estación de trabajo y lubricar la máquina del operario se puede clasificar como demora inevitable. Cuando estos elementos son responsabilidad del operario, la administración debe proporcionar una holgura aplicable. A menudo, los analistas incluyen este tiempo como holgura del tiempo de ciclo total cuando el operario realiza estas funciones. El tipo y tamaño de equipo y el material que se fabrica tienen un efecto considerable en el tiempo que se requiere para realizar estas tareas. Una compañía estableció una tabla de holguras que cubren estos elementos (vea la tabla 11.14). Algunas veces, los supervisores dan al operario 10 o 15 minutos al

Tabla 11.14 Gráfica de holguras para limpieza de máquinas

	Porcentaje por máquina		
Elemento	**Grande**	**Mediana**	**Pequeña**
1. Limpiar máquina cuando se usa lubricante	1	3/4	1/2
2. Limpiar máquina cuando no se usa lubricante	3/4	1/2	1/4
3. Limpiar y guardar grandes cantidades de herramienta y equipo	1/2	1/2	1/2
4. Limpiar y guardar pequeñas cantidades de herramienta y equipo	1/4	1/4	1/4
5. Apagar máquina para limpieza (este porcentaje es para máquinas equipadas con recogedores de rebaba, que se detienen a intervalos para permitir que la barredora limpie las rebabas grandes)	1	3/4	1/2

final del día para ejecutar dichos elementos. Cuando es así, los estándares establecidos no incluyen holguras por limpieza y lubricación de la máquina.

Una holgura para mantener las herramientas proporciona tiempo para que el operario les dé mantenimiento después de la preparación original. Sin embargo, en corridas de producción largas, las herramientas pueden necesitar ser afiladas periódicamente y el operador debe recibir una holgura apropiada.

HOLGURAS POR POLÍTICA

Una holgura por política se usa para proporcionar un nivel satisfactorio de ganancias por un nivel especificado de desempeño en circunstancias excepcionales. Tales holguras pueden incluir empleados nuevos, discapacidades, empleados para trabajo ligero y otros. Por lo general estas holguras las establece la administración, quizá mediante negociaciones con el sindicato.

11.10 APLICACIONES DE LOS SUPLEMENTOS U HOLGURAS

El propósito fundamental de todas las holguras es agregar tiempo suficiente al tiempo normal de producción para que el trabajador promedio cumpla con el estándar cuando tiene un desempeño estándar. Existen dos maneras de aplicar las holguras. La más común es agregar un porcentaje al tiempo normal, de modo que la holgura se base sólo en un porcentaje del tiempo productivo. También es costumbre expresar la holgura como un multiplicador, para que el tiempo normal (TN) se pueda ajustar fácilmente al tiempo estándar (TE):

$$TE = TN + TN \times \text{holgura} = TN \times (1 + \text{holgura})$$

donde TE = tiempo estándar
TN = tiempo normal

Entonces, si se proporcionara una holgura de 10% en una operación dada, el multiplicador sería 1 + 0.1 = 1.1.

Por ejemplo, el cálculo de una holgura total podría ser:

Necesidades personales	5.0%
Fatiga básica	4.0
Demora inevitable	1.0
Total	10.0 por ciento

Después, el tiempo normal se multiplicaría por 1.1 para determinar el tiempo estándar. Usando el ejemplo del estudio de tiempos de la figura 10.6, el tiempo normal promedio de 0.177 minutos para el elemento 1 se multiplica por 1.1, que corresponde a la holgura de 10% para llegar a un tiempo estándar de 0.195 minutos. De un día de trabajo de 480 minutos, el operario trabajaría 480/1.1 = 436 minutos y tendría 44 minutos de descanso. Este descanso se asignaría para comidas u otros recesos. Observe que con base en los principios cubiertos en el capítulo 4 se prefieren los recesos cortos y frecuentes sobre los descansos largos e infrecuentes.

Algunas compañías aplican el porcentaje de holgura al día completo de trabajo, puesto que tal vez no se conozca el tiempo de producción real. En el caso del ejemplo anterior, el multiplicador de los tiempos normales se convierte en 100/(100 – 10) = 1.11 (en vez de 1.1), y el tiempo estándar del elemento 1 se convierte en 0.196. Del día de trabajo de 480 minutos, 480 × 0.1 = 48 minutos (en vez de 44 minutos) se asignarían al descanso. Aunque la diferencia entre los dos enfoques no es grande, puede sumar más de un año para varios cientos de trabajadores. Ésta se convertiría, entonces, en una decisión de política de la compañía.

RESUMEN

La calificación del desempeño es un instrumento para ajustar el tiempo promedio en que se lleva a cabo una tarea, con el fin de obtener el tiempo que se requiere para que un operario calificado realice la tarea si tra-

baja a un ritmo estándar. Como la calificación se basa por completo en la experiencia, capacitación y juicio subjetivo del analista del estudio de tiempos, el método puede estar sujeto a crítica. En consecuencia, se han desarrollado muchos sistemas de calificación diferentes en un intento de obtener un sistema "objetivo". Sin embargo, finalmente, cada sistema de calificaciones depende de la subjetividad y honestidad del calificador. Por consiguiente, es importante capacitar ampliamente al analista del estudio de tiempos para que califique en forma adecuada y consistente. Lo anterior se puede lograr, y para demostrarlo existen muchos estudios que han resultado exitosos.

Después de haber usado las calificaciones para ajustar los tiempos observados, es necesario agregar holguras para tomar en cuenta las demoras e interrupciones. Las holguras típicas usadas en la industria son 5% para necesidades personales, 4% para fatiga básica y cantidades adicionales para la fatiga variable. En la tabla 11.15 se proporcionan algunas guías para asignar holguras por fatiga variable de una manera más cuantitativa de la forma en que se ha hecho hasta ahora. Estas guías son especialmente adecuadas para posiciones anormales, uso de fuerza, condiciones atmosféricas y otras circunstancias del entorno de trabajo. Las holguras de esfuerzo visual, esfuerzo mental, monotonía y tedio son menos confiables en la actualidad y deben desarrollarse con mayor detalle. Por último, es necesario agregar holguras adicionales por demoras inevitables y holguras extra (por ejemplo, limpieza de máquina). Observe que el analista debe ser exacto y consistente cuando aplica estas holguras. De otra forma, si las holguras son demasiado grandes, los costos de manufactura se inflan indebidamente. Si las holguras son demasiado pequeñas se obtienen estándares estrictos, que ocasionan malas relaciones con la mano de obra y la posible falla del sistema.

PREGUNTAS

1. ¿Por qué la industria no ha podido desarrollar una concepción universal de desempeño estándar?
2. ¿Qué factores introducen grandes varianzas en el desempeño del operario?
3. ¿Cuáles son las características de un sistema de calificaciones razonable?
4. Durante un estudio de tiempos, ¿en qué momento se debe calificar? ¿Por qué es importante esto?
5. ¿Qué gobierna la frecuencia de calificaciones de desempeño durante un estudio?
6. Explique el sistema Westinghouse de calificaciones.
7. En el sistema de calificaciones Westinghouse, ¿por qué se evalúan las "condiciones"?
8. ¿Qué es la calificación sintética? ¿Cuál es su principal debilidad?
9. ¿Cuál es la base de la calificación de velocidad y en qué difiere este método del sistema Westinghouse?
10. ¿Cuáles son los cuatro criterios fundamentales para realizar un buen trabajo de calificación de velocidad?
11. ¿Por qué la capacitación en calificación del desempeño es un proceso continuo?
12. ¿Por qué debe usarse más de un elemento cuando se desea establecer un factor de calificación sintético?
13. ¿Habrá alguna objeción al estudio de un operario cuyo ritmo de desempeño es excesivo? Explique su respuesta.
14. ¿De qué maneras puede un operario dar la impresión de realizar un gran esfuerzo y producir a un nivel de desempeño mediocre o malo?
15. ¿Qué áreas principales intentan cubrir las holguras?
16. ¿Cuáles son los dos métodos que se utilizan para desarrollar los datos de holguras estándar? Explique brevemente la aplicación de cada técnica.
17. Proporcione varios ejemplos de demoras personales. ¿Qué porcentaje de holgura parece adecuado para las demoras personales en las condiciones típicas de planta?
18. ¿Cuáles son algunos de los factores más importantes que afectan la fatiga?
19. ¿Qué interrupciones del operario estarían cubiertas bajo las holguras por demoras inevitables?
20. ¿Qué porcentaje de holgura se asigna usualmente para demoras evitables?
21. ¿Cuándo se proporcionan holguras adicionales?
22. ¿Por qué la holgura por fatiga se aplica con frecuencia sólo a las áreas de esfuerzo del ciclo de trabajo?
23. ¿Por qué las holguras se basan en un porcentaje del tiempo productivo?
24. ¿Cuáles son las ventajas de que los operarios limpien y lubriquen sus propias maquinas?
25. Dé varias razones para no aplicar una holgura adicional a las operaciones, si la mayor parte del ciclo es un proceso controlado por máquina y el tiempo interno es pequeño comparado con el tiempo del ciclo.

Tabla 11.15 Tabla de holguras revisadas

Holguras constantes	
Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Holguras de descanso variables	
Holguras por postura	
Parado	2
Incómodo (fexionado, acostado, en cuclillas)	10
Niveles de iluminación	
Un nivel (una subcategoría de IES) abajo de lo recomendado	1
Dos niveles abajo de lo recomendado	3
Tres niveles (categoría IES completa) abajo de lo recomendado	5
Esfuerzo visual (atención estrecha)	
Trabajo fino	2
Trabajo muy fino	5
Esfuerzo mental	
Primera hora	2
Segunda hora	4
Cada hora sucesiva	+2
Monotonía	
Primera hora	2
Segunda hora	4
Cada hora sucesiva	+2
Uso de fuerza o energía muscular	
Levantamiento poco frecuente, sostenimiento estático extendido (<1 levantamiento cada 5 min)	$HD = 1\,800 \times (t/T)^{1.4} \times (f/F - 0.15)^{0.5}$, donde $T = 1.2/(f/F - 0.15)^{0.618} - 1.21$
Levantamientos frecuentes (>1 levantamiento cada 5 minutos)	Levantamientos frecuentes (>1 levantamiento cada 5 minutos)
Actividades de todo el cuerpo	$HD = (\Delta FC/40 - 1) \times 100$ o $HD = (\Delta W/4 - 1) \times 100$
Condiciones atmosféricas	$HD = \exp(-41.5 + 0.0161W + 0.497\,TGBH)$
Nivel de ruido	$A = 100 \times (D - 1)$, donde $D = C_1/T_1 + C_2/T_2 + \cdots$
Repetitividad (tedio) Estándar no establecido aún	Usar análisis de riesgo de CTD y mantener índice de riesgo < 1.0

PROBLEMAS

1. Califique el estudio global para cada una de las siguientes tareas que se muestran en el sitio web.
- *a*) Sellar extrusiones terminales
- *b*) Sellar acoplamientos terminales
- *c*) Ensamble de lámpara de mano
- *d*) Ensamble de unión
- *e*) Ensamble de riel de cama de hospital
- *f*) Costura (prendas de vestir)
- *g*) Etiquetado (prendas de vestir)
- *h*) Corte e hilvanado (prendas de vestir)

2. Desarrolle un factor de holgura para un elemento de ensamble donde el operario esté parado en una posición un poco incómoda, levanta regularmente un peso de 15 libras y tiene buena luz y buenas condiciones atmosféricas. La atención que se requiere es fina, el nivel de ruido es continuo a 70 dBA y el esfuerzo mental es bajo, igual que la monotonía y el tedio de la tarea.
3. Calcule la holgura por fatiga para una operación en la que el operario carga y descarga un molde de hierro gris de 25 libras una vez cada cinco minutos, a una altura de 30 pulgadas.
4. ¿Cuál sería la holgura para el problema 3 si la frecuencia aumentara a 5 por minuto?
5. En la compañía XYZ, un estudio de todo un día reveló las siguientes fuentes de ruido: 0.5 h, 100 dBA; 1 h, menos de 80 dBA; 3.5 h, 90 dBA; 3 h, 92 dBA. Calcule la holgura de descanso.
6. ¿Qué holgura por fatiga debe proporcionarse a una tarea que toma 1.542 minutos realizarla al final de un periodo de trabajo continuo, pero sólo toma 1.480 minutos al principio del trabajo continuo?
7. Con base en la tabla de ILO, ¿cuál sería el factor de holgura para un elemento de trabajo que implica una fuerza para arrastrar 42 libras, con luz inadecuada, donde se requiere un trabajo exacto?
8. Calcule la holgura por fatiga para un trabajador que palea material de desperdicio metálico en un contenedor. Cuando trabaja, la frecuencia cardiaca del operario es aproximadamente de 130 pulsaciones/min y la frecuencia cardiaca cuando descansa es de 70 pulsaciones/min.
9. Calcule la holgura por fatiga para un operario que pesa 200 libras que supervisa un horno de acero estando de pie junto al horno. El índice de TGBH indica 92°F.

REFERENCIAS

Aberg, V., K. Elgstrand, P. Magnus y A. Lindholm, "Analysis of Components and Prediction of Energy Expenditure in Manual Tasks", en *The International Journal of Production Research*, 6, núm. 3 (1968), pp. 189-196.

ANSI, *Control of Work-Related Cumulative Trauma Disorders—Part I: Upper Extremities*, ANSI Z-365 Working Draft. Itasca, NY: American National Standards Institute, 1995.

Baker, R. A., J. R. Ware y R. R. Sipowicz, "Signal Detection by Multiple Monitors", en *Psychological Record*, 12, núm. 2 (abril de 1962), pp. 133-137.

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Bennett, C. A., A. Chitlangia y A. Pangrekar. "Illumination Levels and Performance of Practical Visual Tasks", en *Proceedings of the 21st Annual Meeting of the Human Factors Society* (1977), pp. 322-325.

Blackwell, H. R., "Development and Use of a Quantitative Method for Specification of Interior Illumination Levels on the Basis of Performance Data", en *Illuminating Engineer*, 54 (junio de 1959), pp. 317-353.

Brey, E. E., "Fatigue Research in Its Relation to Time Study Practice", en *Proceedings, Time Study Conference*. Chicago, IL: Society of Industrial Engineers, 14 de febrero de 1928.

Chaffin, D. B., A. Freivalds y S. R. Evans, "On the Validity of an Isometric Biomechanical Model of Worker Strengths", en *IIE Transactions*, 19, núm. 3 (septiembre de 1987), pp. 280-288.

Davis, H. E., T. W. Faulkner y C. L. Miller, "Work Physiology", en *Human Factors*, 11, núm. 2 (abril de 1969), pp. 157-165.

Freivalds, A., "Development of an Intelligent Knowledge Base for Heat Stress Evaluation", en *International Journal of Industrial Engineering*, 2, núm. 1 (noviembre de 1987), pp. 27-35.

Freivalds, A. y J., Goldberg. "Specification of Bases for Variable Relaxation Allowances", en *The Journal of Methods-Time Measurement*, 14 (1988), pp. 2-29.

Garg, A., D. B. Chaffin y G. D. Herrin, "Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs", en *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39, núm. 12 (diciembre de 1978), pp. 661-674.

Hancock, Walton M., "The Learning Curve", en *Handbook of Industrial Engineering*. 2da. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Hummel, J. O. P., *Motion and Time Study in Leading American Industrial Establishments* (Tesis de maestría). University Park, PA: Pennsylvania State University, 1935.

IESNA, *Lighting Handbook*, 8a. ed. Ed. M. S. Rea. Nueva York: Illuminating Engineering Society of North America, 1995, pp. 459-478.

ILO, *Introducción to Work Study*, Ginebra, Suiza: International Labour Office, 1957.

ILO, *Introduction to Work Study*, 3a. ed. Ginebra, Suiza: International Labour Office, 1979.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed. Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.
Lazarus, I., "Inaccurate Allowances Are Crippling Work Measurements", en *Factory* (abril de 1968), pp. 77-79.
Lowry, S. M., H. B. Maynard y G. J. Stegemerten, *Time and Motion Study and Formulas for Wage Incentives*. 3a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1940.
Moodie, Colin L., "Assembly Line Balancing", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.
Morrow, R. L., *Time Study and Motion Economy*, Nueva York: Ronald Press, 1946.
MTM Association, *Work Measurement Allowance and Survey*. Fair Lawn, NJ: MTM Association, 1976.
Mundel, Marvin E. y David L. Danner, *Motion and Time Study: Improving Productivity*. 7ma. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
Murrell, K. F. H., *Human Performance in Industry*, Nueva York: Reinhold Publishing, 1965.
Nadler, Gerald, *Work Design: A Systems Concept*, Ed rev. Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1970.
NIOSH, *Criteria for a Recommended Standard for Occupational Exposure to Hot Environments*, Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Health, Superintendent of Documents, 1986.
NIOSH, *Health Hazard Evaluation—Eagle Convex Glass Co*., HETA 89-137-2005, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1989.
Okogbaa, O. G. y R. L. Shell, "The Measurement of Knowledge Worker Fatigue", en *IIE Transactions*, 12, núm. 4 (diciembre de 1986), pp. 335-342.
OSHA, "Occupational Noise Exposure: Hearing Conservation Amendment". *Federal Register*, 48 (1983), Washington, DC: Occupational Safety and Health Administration, pp. 9738-9783.
Presgrave, R. W., *The Dynamics of Time Study*, 4a. ed. Toronto, Canadá: The Ryerson Press, 1957.
Rohmert, W., "Problems in Determining Rest Allowances, Part I: Use of Modern Methods to Evaluate Stress and Strain in Static Muscular Work", en *Applied Ergonomics*, 4, núm. 2 (junio de 1973), pp. 91-95.
Rohmert, W., "Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Mensche", en *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 18 (1960), pp. 123-140.
Seth, V., R. Weston y A. Freivalds, "Development of a Cumulative Trauma Disorder Risk Assessment Model", en *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, núm. 4 (marzo de 1999), pp. 281-291.
Silverstein, B. A., L. J. Fine y T. J. Armstrong, "Occupational Factors and Carpal Tunnel Syndrome", en *American Journal of Industrial Medicine*, 11, núm. 3 (1987), pp. 343-358.
Stecke, Kathryn E., "Machine Interference: Assignment of Machines to Operators", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (disponible en el sitio web del libro de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebel-freivalds). Nueva York: McGraw-Hill, 2002.
QuickTS (disponible en el sitio web del libro de McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebel-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

VIDEOS SELECCIONADOS

Fair Day's Work Concepts. 1/2" VHS, C-Four, 102 E. Main St., P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670-0808 (www.c-four.com)
Workplace Fundamentals. 1/2" VHS, C-Four, 102 E. Main St., P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670-0808 (www.c-four.com)
Workplace Rating Exercises. 1/2" VHS, C-Four, 102 E. Main St., P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670-0808 (www.c-four.com)

Datos y fórmulas estándar

CAPÍTULO 12

PUNTOS CLAVE

- Usar datos estándar, colecciones tabulares o gráficas de tiempos normales para elementos de trabajo comunes.
- Mantener separados los elementos de preparación y cíclicos.
- Mantener separados los elementos constantes y variables.
- Usar fórmulas con el fin de proporcionar tiempos normales rápidos y consistentes para los elementos variables.
- Mantener las fórmulas tan claras, concisas y sencillas como sea posible.
- Después de sumar los tiempos normales, agregar las holguras para obtener los nuevos tiempos estándar.

Los datos de tiempos estándar son los tiempos elementales que se obtienen mediante estudios y que se almacenan para usarlos posteriormente. Por ejemplo, un tiempo elemental de una preparación que se repite regularmente no debe volverse a medir para cada operación. El principio de la aplicación de los datos estándar fue establecido hace muchos años por Frederick W. Taylor, quien propuso que cada tiempo elemental que se establecía debía indexarse de manera que pudiera usarse con el fin de establecer tiempos estándar para trabajos futuros. En la actualidad, cuando hablamos de datos estándar nos referimos a todos los estándares de elementos tabulados, gráficas, nomogramas y tablas que permiten medir una tarea específica sin el empleo de un dispositivo medidor del tiempo, como un cronómetro.

Los datos estándar pueden tener varios niveles de refinamiento: movimiento, elemento y tarea. Mientras más refinado sea el elemento del dato estándar, más amplio será su rango de uso. Por lo tanto, los datos estándar de movimiento tienen la mayor aplicación, pero toma más tiempo desarrollarlos que cualquier dato estándar de una tarea o un elemento. El dato estándar de un elemento tiene una aplicación amplia y permite un desarrollo más rápido del estándar que los datos de movimiento. Este capítulo está dedicado a los datos estándar de los elementos, mientras que en el capítulo 13 se estudian los datos estándar de movimientos y su uso para predeterminar sistemas de tiempo estándar.

Una fórmula del estudio de tiempos es una presentación alternativa y, típicamente, más sencilla del dato estándar, en especial en el caso de los elementos variables. Las fórmulas tienen aplicaciones específicas en el trabajo no repetitivo para el cual no es práctico establecer estándares para cada tarea con un estudio de tiempos individual. La construcción de una fórmula implica el diseño de una expresión algebraica que establece un tiempo estándar antes de la producción, sustituyendo valores conocidos propios de la tarea para los elementos variables.

Los estándares de trabajo que se calculan a partir de los datos y fórmulas estándar son relativamente consistentes ya que los elementos calculados son el resultado de muchos estudios de tiempos probados con cronómetro. Como los valores están tabulados, sólo es necesario sumar los elementos que se requieren para establecer un estándar, y todos los analistas deben llegar a estándares de desempeño idénticos para un método dado. Por lo tanto, se asegura la consistencia de los estándares establecidos por diferentes analistas en una planta, al igual que de los distintos estándares calculados por un determinado observador de estudio de tiempos.

Por lo general, los estándares de un trabajo nuevo pueden calcularse con mayor rapidez mediante los datos o fórmulas estándar que a través de un estudio de tiempos con cronómetro. Esto permite establecer estándares de operaciones de mano de obra indirecta, los cuales suelen ser imprácticos si requieren de estudios con cronómetro. Por lo general, un analista de medición del trabajo puede establecer 25 calificaciones por día usando datos o fórmulas estándar y sólo cinco calificaciones diarias con los métodos de cronómetro.

12.1 DESARROLLO DE DATOS DE TIEMPO ESTÁNDAR

ENFOQUE GENERAL

Para desarrollar datos de tiempo estándar, los analistas deben distinguir los elementos constantes de los variables. Un elemento constante es aquel cuyo tiempo permanece casi igual, ciclo tras ciclo. Por su parte, el tiempo de un elemento variable varía dentro de un intervalo específico de trabajo. Desde ese punto de vista, el elemento "iniciar la máquina" sería constante, mientras que el elemento "taladrar un orificio de 3/8 de pulgada" variaría de acuerdo con la profundidad del orificio, la alimentación y la velocidad del taladro.

Los datos estándar se indexan y archivan a medida que se desarrollan. Además, los elementos de preparación se separan de los elementos incorporados a cada tiempo de pieza y los elementos constantes se separan de los variables. Los datos estándar comunes de la operación de máquinas se tabulan de la siguiente manera: 1) preparación, *a*) constantes y *b*) variables; 2) cada pieza, *a*) constantes y *b*) variables.

Los datos estándar se compilan a partir de los distintos elementos en los estudios de tiempos de un proceso dado durante un cierto periodo. Sólo los estudios válidos que han sido probados por medio del uso se incluyen en los datos. Cuando se tabulan los datos estándar deben definirse con cuidado y claridad los puntos terminales. De otra manera, puede haber una superposición de tiempo en los datos registrados. Por ejemplo, en el elemento "detener por falta de material" de un torno de torreta Warner & Swasey núm. 3 con avance en barras, el elemento puede incluir alcanzar la palanca de alimentación, agarrar la palanca, deslizar la barra por la boquilla hasta el tope de la torre hexagonal, cerrar la boquilla y alcanzar la manija de la torreta. Por otra parte, este elemento puede incluir sólo pasar la barra por la boquilla hasta el tope. Como los elementos de los datos estándar se compilan a partir de un gran número de estudios realizado por diferentes observadores de estudios de tiempo, los límites o puntos terminales de cada elemento deben definirse con cuidado.

Por lo general, los valores faltantes en una tabulación de datos estándar deben medirse mediante un estudio de tiempos con cronómetro (vea el capítulo 10). En ocasiones, la brevedad de los elementos individuales dificulta e incluso imposibilita la medición de cada elemento por separado. Sin embargo, el analista puede determinar sus valores individuales tomando tiempos de grupos de elementos y usando ecuaciones simultáneas para obtenerlos de manera individual, como se muestra en el ejemplo 12.1.

EJEMPLO 12.1 Cálculo de tiempos de elementos breves

El elemento *a* es "tomar una pequeña pieza fundida", el elemento *b* es "colocarla en la plantilla de hoja", *c* es "cerrar la cubierta de la plantilla", *d* es "posicionar la plantilla", *e* es "avanzar el perno", etc. Estos elementos se pueden cronometrar en grupo de la manera siguiente:

$$a + b + c = \text{elemento 1} = 0.070 \text{ min} = A \quad (1)$$
$$b + c + d = \text{elemento 3} = 0.067 \text{ min} = B \quad (2)$$
$$c + d + e = \text{elemento 5} = 0.073 \text{ min} = C \quad (3)$$
$$d + e + a = \text{elemento 2} = 0.061 \text{ min} = D \quad (4)$$
$$e + a + b = \text{elemento 4} = 0.068 \text{ min} = E \quad (5)$$

Primero, sumamos estas cinco ecuaciones:

$$3a + 3b + 3c + 3d + 3e = A + B + C + D + E$$

Después, sea

$$A + B + C + D + E = T$$
$$3a + 3b + 3c + 3d + 3e = T = 0.339 \text{ min}$$

y

$$a + b + c + d + e = \frac{0.339}{3} = 0.113 \text{ min}$$

Por lo tanto,

$$A + d + e = 0.113 \text{ min}$$

Entonces,

$$d + e = 0.113 \text{ min} - 0.07 \text{ min} = 0.043 \text{ min}$$

como

$$c + d + e = 0.073 \text{ min}$$
$$c = 0.073 \text{ min} - 0.043 \text{ min} = 0.030 \text{ min}$$

De la misma manera,

$$d + e + a = 0.061$$

y

$$a = 0.061 - 0.043 = 0.018 \text{ min}$$

Sustituyendo en la ecuación (1) se obtiene:

$$b = 0.070 - (0.03 + 0.018) = 0.022$$

Sustituyendo en la ecuación (2) vemos que

$$d = 0.067 - (0.022 + 0.03) = 0.015 \text{ min}$$

Sustituyendo en la ecuación (3) llegamos a

$$e = 0.073 - (0.015 + 0.03) = 0.028 \text{ min}$$

DATOS TABULARES

Por ejemplo, cuando se desarrollan los tiempos de datos estándar para realizar los elementos de una máquina, el analista puede necesitar tabular los caballos de fuerza que se requieren para los distintos materiales en relación con la profundidad de corte, las velocidades de corte y el avance. Para no sobrecargar el equipo existente, el analista debe tener información de la carga de trabajo asignada a cada máquina según las condiciones en las que se elimina el material. Por ejemplo, en el maquinado de forjas de acero de alta aleación en un torno capaz de desarrollar 10 caballos de fuerza, no sería factible hacer un corte de 3/8 de pulgada de profundidad si se alimentan 0.011 pulgadas por revolución y la velocidad es de 200 pies de superficie por minuto. Los datos tabulares, ya sea del fabricante de la máquina herramienta o de los estudios empíricos (vea la tabla 12.1) indican que se necesitan 10.6 caballos de fuerza para estas condiciones. En consecuencia, sería necesario planear

el trabajo para una alimentación de 0.009 pulgadas a una velocidad de 200 pies de superficie, lo que sólo requerirá una calificación de potencia de 8.7. Estos datos tabulares se almacenan, recuperan y acumulan en un tiempo estándar final mediante los programas de hoja de cálculo disponibles comercialmente (por ejemplo, Microsoft Excel).

USO DE NOMOGRAMAS Y GRÁFICAS

Debido a limitaciones de espacio, no siempre es conveniente tabular valores para los elementos variables. Cuando se grafica una curva o un sistema de curvas con forma de una gráfica de alineación, el analista puede expresar en forma gráfica una cantidad considerable de datos estándar en una sola página.

En la figura 12.1 se ilustra un nomograma para determinar el tiempo de torneado y revestimiento. Por ejemplo, si el problema es determinar la producción en piezas por hora para tornear 5 pulgadas lineales de una barra de 4 pulgadas de diámetro de acero al carbono medio en una máquina con un avance de 0.015 pulgadas por revolución y que tiene un tiempo de corte de 55% del tiempo de ciclo, la respuesta se podría determinar fácilmente en forma gráfica. Conectando una velocidad de corte recomendada de 150 pies/min para acero al carbono medio, que se muestra en la escala 1, con el punto de 4 pulgadas de diámetro del trabajo, que se muestra en la escala 2, se obtiene una velocidad de 143 rpm, que aparece en la escala 3. Este punto de 143 rpm se conecta con el punto de 0.015 pulgadas de avance por revolución, que se exhibe en la escala 4. Esta línea, prolongada hasta la escala 5, muestra un avance de 2.15 pulgadas/min. Este punto de alimentación conectado con la longitud de corte, que se muestra en la escala 6 (5 pulgadas), proporciona el tiempo de corte requerido, en la escala 7. Por último, este tiempo de corte de 2.35 minutos, conectado con el porcentaje de tiempo de corte de la escala 8 (en este caso 55%), proporciona la producción en piezas por hora, en la escala 9 (en este caso 16).

En la figura 12.2 se presenta una gráfica que expresa el tiempo de formado en horas de cientos de piezas de cierto material en un conjunto de tamaños expresados en pulgadas cuadradas. Cada uno de los 12 puntos representa un estudio de tiempos diferente. Los puntos graficados indican una relación lineal que se puede expresar con la fórmula:

$$\text{Tiempo estándar} = 50.088 + 0.00038\ (\text{tamaño})$$

Los detalles para obtener este tipo de fórmulas se encuentran posteriormente en la sección 12.2.

El uso de nomogramas o gráficas tiene algunas desventajas. Primero, es fácil que se "cuele" un error cuando se lee la gráfica debido a la cantidad de interpolación que suele requerirse. Segundo, existe la posibilidad de errores absolutos por la lectura incorrecta o la mala alineación de las intersecciones en las diferentes escalas.

Tabla 12.1 Cantidad de caballos de fuerza que se necesitan para tornear acero forjado de alta aleación con cortes de 3/8 y de 1/2 pulgadas de profundidad, a diversas velocidades y avances

Pies de superficie	Corte con 3/8 pulgada de profundidad (avances, pulgadas/rev)						Corte con 1/2 pulgada de profundidad (avances, pulgadas/rev)					
	0.009	0.011	0.015	0.018	0.020	0.022	0.009	0.011	0.015	0.018	0.020	0.022
150	6.5	8.0	10.9	13.0	14.5	16.0	8.7	10.6	14.5	17.3	19.3	21.3
175	8.0	9.3	12.7	15.2	16.9	18.6	10.1	12.4	16.9	20.2	22.5	24.8
200	8.7	10.6	14.5	17.4	19.3	21.3	11.6	14.1	19.3	23.1	25.7	28.4
225	9.8	11.9	16.3	19.6	21.7	23.9	13.0	15.9	21.7	26.1	28.9	31.8
250	10.9	13.2	18.1	21.8	24.1	26.6	14.5	17.7	24.1	29.0	32.1	35.4
275	12.0	14.6	19.9	23.9	26.5	29.3	15.9	19.4	26.5	31.8	35.3	39.0
300	13.0	16.0	21.8	26.1	29.0	31.9	17.4	21.2	29.0	34.7	38.6	42.5
400	17.4	21.4	29.1	34.8	38.7	42.5	23.2	28.2	38.7	46.3	51.5	56.7

12.2 CONSTRUCCIÓN DE FÓRMULAS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

El primer paso para construir una fórmula es identificar las variables dependientes e independientes involucradas. En razón de que el analista está preocupado por establecer tiempos estándar, con frecuencia la variable dependiente será el tiempo. Por ejemplo, quizá se desarrolló una fórmula para partes de hule vulcanizado con un peso de entre 2 y 8 onzas. La variable independiente es el peso del hule, mientras que la variable dependiente es el tiempo de vulcanizado. El rango de la variable dependiente sería entre 2 y 8 onzas, mientras que la variable dependiente del tiempo tendría que cuantificarse a partir de los estudios.

ANÁLISIS DE ELEMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Después de terminar la identificación inicial, el siguiente paso es recolectar los datos para la fórmula, incorporados a estudios existentes o recabados mediante la realización de nuevos estudios para ob-

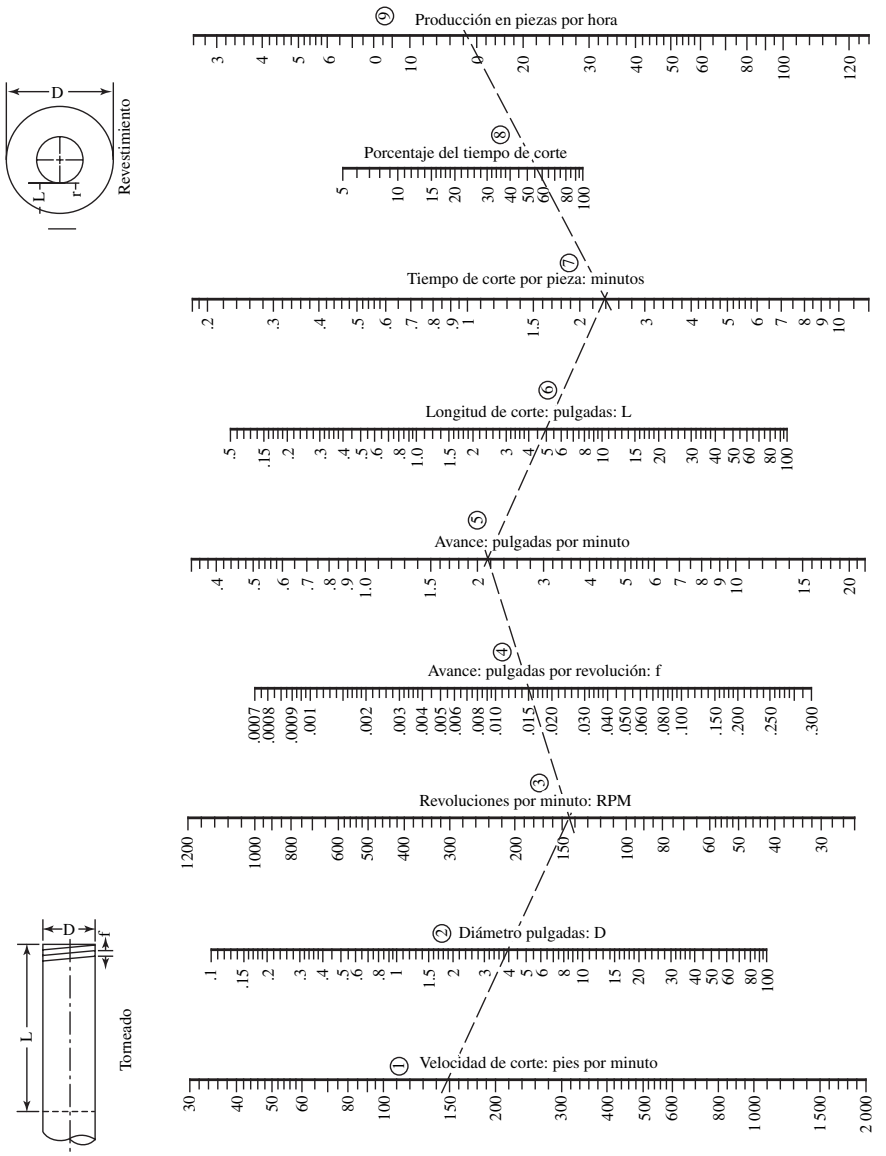


Figura 12.1 Nomograma para determinar el tiempo de revestimiento y torneado. (Crobalt, Inc.)

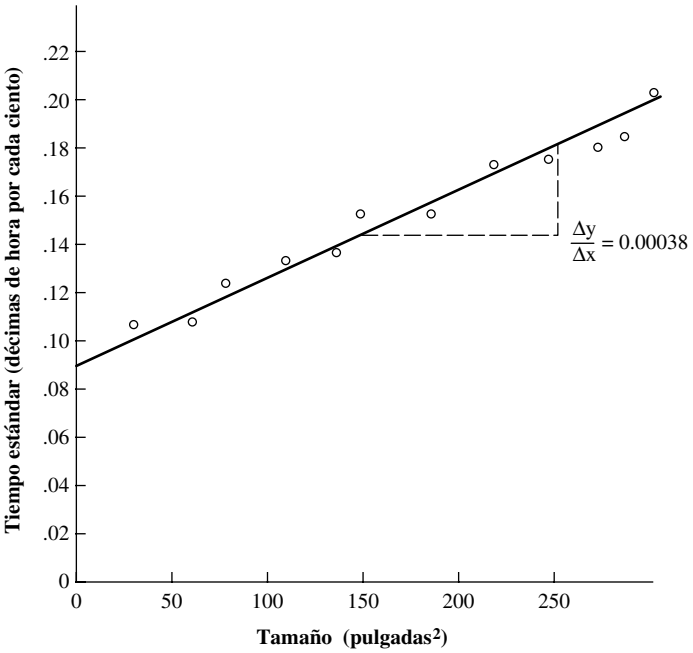


Figura 12.2 Tiempo de formado para distintos tamaños de material.

tener una muestra suficientemente grande para cubrir el rango de trabajo de la fórmula. Obviamente, los elementos variables tienden a variar en proporción a algunas características del trabajo, como el tamaño, la forma o la dureza. Estos elementos deben estudiarse con cuidado para determinar qué factores influyen sobre el tiempo y en qué grado. En general, los elementos constantes no se deben desviar sustancialmente.

En general, entre más estudios se usen, más datos habrá disponibles y más normales serán las condiciones reflejadas. Si así se desea, pueden usarse procedimientos estadísticos como la prueba de potencia (Neter et al., 1996) para determinar el número exacto de estudios que deben recopilarse.

GRÁFICA DE DATOS Y CÁLCULO DE EXPRESIONES VARIABLES

En seguida, los datos se colocan en una hoja de cálculo (por ejemplo, Microsoft Excel) para analizar las constantes y variables. Las constantes se identifican y se combinan, mientras que las variables se analizan para extraer los factores que influyen en el tiempo expresados en forma algebraica. Cuando se grafica la curva del tiempo contra la variable independiente, el analista puede deducir las relaciones algebraicas potenciales. Por ejemplo, los datos graficados pueden tomar cierto número de formas: una línea recta, una tendencia no lineal creciente o decreciente; una forma geométrica que no resulta obvia. Si se trata de una línea recta, la relación es bastante directa:

$$y = a + bx$$

donde las constantes a y b se determinaron a partir del análisis de regresión por mínimos cuadrados. Si la gráfica muestra una tendencia creciente no lineal, entonces deben probarse las relaciones de potencias de la forma x^2, x^3, x^n o e^x. En el caso de las tendencias decrecientes no lineales, deben intentarse potencias negativas o exponenciales negativos. Para las tendencias asintóticas deben considerarse relaciones logarítmicas o exponenciales negativos de la forma

$$y = 1 - e^{-x}$$

Observe que cuando se agregan términos adicionales al modelo siempre se producirá un mejor modelo con un porcentaje más alto de variancia (expresada como r^2) en los datos explicados. Sin embargo, tal vez el modelo no sea significativamente mejor en el sentido estadístico; es decir, estadísticamente no hay diferencia en la calidad del valor predicho entre los dos modelos. Aún más, mien-

tras más sencilla sea la fórmula, mejor se podrá entender y aplicar. Deben evitarse las expresiones rebuscadas con muchos términos de potencias. También es necesario identificar de manera específica el rango de cada variable. Deben explicarse con detalle las limitaciones de la fórmula describiendo detalladamente su rango de aplicación.

Existe un procedimiento formalizado para calcular el mejor modelo, llamado *prueba lineal general*. Calcula el decremento de la variancia no explicada entre el modelo más sencillo, llamado *modelo reducido*, y el modelo más complejo, denominado *modelo completo*. La disminución de la variancia se prueba estadísticamente y sólo se debe usar el modelo más complejo si la disminución es significativa (vea el ejemplo 12.2). Se pueden encontrar más detalles acerca del ajuste de curvas y el desarrollo de modelos en varios libros de estadística, como en Neter et al. (1996) o en Rawling (1988).

EJEMPLO 12.2

Con base en 10 estudios detallados del elemento "formar arco y soldar", el analista obtuvo los siguientes datos:

Estudio número	Tamaño de soldadura	Minutos por pulgada de soldadura
1	1/8	0.12
2	3/16	0.13
3	1/4	0.15
4	3/8	0.24
5	1/2	0.37
6	5/8	0.59
7	11/16	0.80
8	3/4	0.93
9	7/8	1.14
10	1	1.52

Al graficar los datos obtuvo la curva suave que se muestra en la figura 12.3. Una regresión lineal simple de la variable dependiente "minutos" contra la variable independiente "soldadura" conduce a:

$$y = -0.245 + 1.57x \tag{1}$$

con $r^2 = 0.928$ y la suma de cuadrados (SCE) = 0.1354.

Como la figura 12.3 indica una tendencia no lineal definitiva de los datos, parece razonable agregar una componente cuadrática al modelo. Ahora la regresión resulta en

$$y = 0.1 - 0.178x + 1.61x^2 \tag{2}$$

con $r^2 = 0.993$ y SCE = 0.012. El incremento de r^2 parecería indicar una mejora definitiva del ajuste del modelo. Esta mejora se puede probar estadísticamente mediante la prueba lineal general:

$$F = \frac{[\text{SCE(R)} - \text{SCE(C)}]/(\text{gl}_\text{R} - \text{gl}_\text{F})}{\text{SCE(C)}/\text{gl}_\text{F}}$$

donde: SCE(R) = suma de cuadrados del error del modelo reducido (es decir, sencillo)
SCE(C) = suma de cuadrados del error del modelo completo (es decir, más complejo)
gl_R = grados de libertad del modelo reducido
gl_F = grados de libertad del modelo completo

Al comparar los dos modelos se obtiene

$$F = \frac{(0.1354 - 0.012)/(8 - 7)}{0.012/7} = 71.98$$

Como 71.98 es considerablemente más grande que $F_{(1.7)} = 5.59$, el modelo completo es significativamente mejor.

El proceso se puede repetir agregando otro término con una potencia más alta (por ejemplo, x^3), que conduce al siguiente modelo:

$$y = 0.218 - 1.14x + 3.59x^2 - 1.16x^3 \quad (3)$$

con $r^2 = 0.994$ y SCE = 0.00873. Sin embargo, en este caso, la prueba lineal general no produce una mejora estadísticamente significativa:

$$F = \frac{(0.12 - 0.00873)/(7 - 6)}{0.00873/6} = 2.25$$

El valor F de 2.25 es menor que el valor crítico $F_{(1.6)} = 5.99$.

Resulta interesante que cuando se utiliza un modelo cuadrático sencillo de la forma

$$y = 0.0624 + 1.45x^2 \quad (4)$$

con $r^2 = 0.993$ y la suma de cuadrados SCE = 0.0133 se obtiene el mejor modelo y el más sencillo. Si se compara este modelo [ecuación (4)] con el segundo modelo [(ecuación (2)], se obtiene

$$F = \frac{(0.133 - 0.012)/(8 - 7)}{0.012/7} = 0.758$$

El valor C no es significativo y el término lineal extra en x no proporciona un mejor modelo.

Este modelo cuadrático de mejor ajuste se puede verificar al sustituir una soldadura de una pulgada para obtener

$$y = 0.0624 + 1.45(1)^2 = 1.51$$

Esto concuerda de manera muy cercana con el valor del estudio de tiempos de 1.52 min.

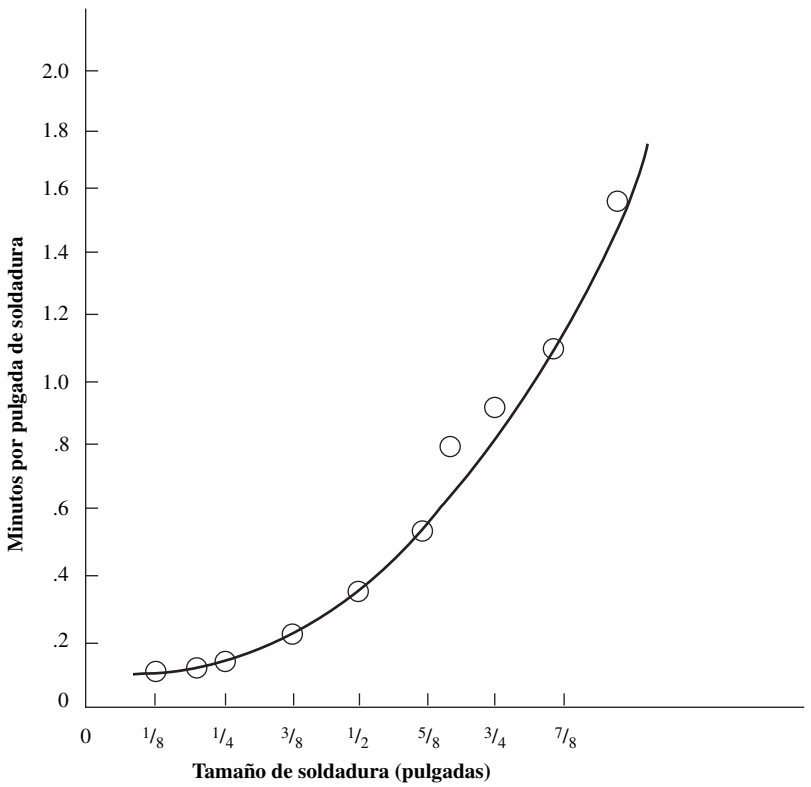


Figura 12.3 La curva graficada en papel coordenado regular tiene forma cuadrática.

En ocasiones, el analista puede reconocer que más de una variable independiente influye en el tiempo y que la expresión final puede consistir en una combinación múltiple de diferentes potencias de las variables independientes. Si es así, deben aplicarse técnicas de regresión múltiple. Estos cálculos son bastante tediosos, por lo que es necesario utilizar paquetes de software especializados en estadística, como MINITAB o SAS.

VERIFICACIÓN DE LA EXACTITUD Y FINALIZACIÓN

Después de completar la fórmula, los analistas deben verificarla antes de liberarla para su uso. La manera más fácil y rápida de probar una fórmula es usarla para examinar los estudios de tiempo existentes. Cualesquiera de las diferencias marcadas (aproximadamente 5%) entre el valor de la fórmula y el del estudio de tiempos deben investigarse. Si la fórmula no tiene la validez esperada, el analista debe acumular datos adicionales realizando más estudios con cronómetro o estudios de datos estándar.

El último paso del proceso de desarrollo de la fórmula es escribir su informe. El analista debe consolidar todos los datos, cálculos, derivaciones y aplicaciones de la fórmula y presentar esta información en un informe completo antes de ponerla en uso. La presentación permite que estén disponibles todos los hechos del proceso empleado, las condiciones de operación y el alcance de la fórmula.

12.3 FÓRMULAS ANALÍTICAS

Los tiempos estándar se pueden calcular mediante las fórmulas analíticas que se encuentran en los manuales técnicos o a partir de la información que proporcionan los fabricantes de máquinas-herramienta. Al encontrar las alimentaciones y velocidades apropiadas para los distintos tipos y grosores de materiales, los analistas pueden calcular los tiempos de corte de las diferentes operaciones de maquinado.

TRABAJO CON TALADRO DE PRENSA

Un taladro es una herramienta en forma de espiga con punta cortante que se emplea para crear o agrandar un orificio en un material sólido. En las operaciones de perforación sobre una superficie plana, el eje del taladro está a 90 grados de la superficie que se va a taladrar. Cuando se perfora completamente un orificio a través de una parte, el analista debe sumar la saliente del taladro a la longitud del agujero para determinar la distancia total que debe recorrer la broca para hacer el orificio. Cuando se perfora un orificio ciego, la distancia desde la superficie hasta la mayor penetración del taladro es la distancia que debe recorrer la broca (vea la figura 12.4).

Como el estándar comercial del ángulo incluido de las puntas de taladro es de 118 grados, la saliente del taladro se puede calcular fácilmente mediante la expresión

$$l = \frac{r}{\tan A}$$

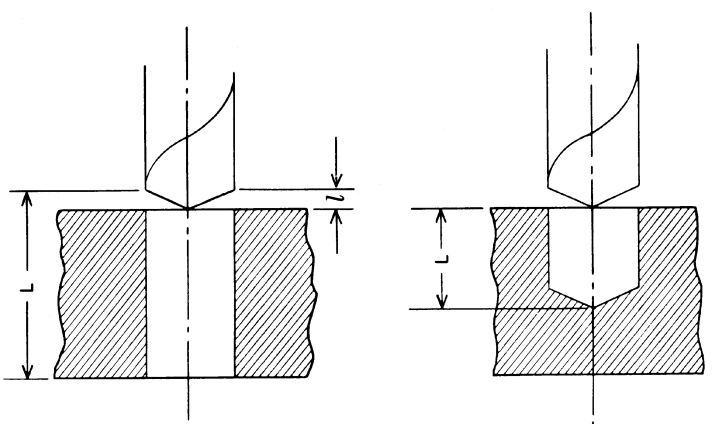


Figura 12.4 Distancia de recorrido del taladro. La distancia L indica la distancia que recorre el taladro cuando la perforación atraviesa (ilustración de la izquierda) y cuando se perforan orificios ciegos (ilustración de la derecha) (la saliente del taladro se muestra mediante la distancia l).

donde: l = saliente del taladro,
r = radio del taladro,
$\tan A$ = tangente de la mitad del ángulo incluido el taladro.

A manera de ilustración, calcule la saliente de un taladro de propósito general con un diámetro de una pulgada:

$$l = \frac{0.5}{\tan 59^\circ}$$
$$l = \frac{0.5}{1.6643}$$
$$l = 0.3 \text{ de saliente}$$

Después de determinar la longitud total que debe moverse un taladro, se divide esta distancia entre el avance de la broca en pulgadas por minuto para encontrar el tiempo de corte del taladro en minutos.

La velocidad del taladro se expresa en pies por minuto (pies/min) y el avance en milésimas de pulgada por revolución (r). Para cambiar el avance a pulgadas por minuto cuando se conocen el avance por revolución y la velocidad en pies por minuto, se puede usar la siguiente ecuación:

$$F_m = \frac{3.82 f S_f}{d}$$

donde F_m = avance (pulgadas/min),
f = avance (pulgadas/r)
S_f = pies de superficie por minuto
d = diámetro del taladro (pulgadas)

Por ejemplo, para determinar el avance en pulgadas por minuto de un taladro de una pulgada al perforar a una velocidad de superficie de 100 pies/min y un avance de 0.013 pulgadas/r, tenemos

$$F_m = \frac{(3.82)(0.013)(100)}{1} = 4.97 \text{ pulgadas/min}$$

Para determinar el tiempo que tarda este taladro de una pulgada funcionando a esa velocidad y ese avance para perforar 2 pulgadas de hierro fundido maleable se usa la ecuación

$$T = \frac{L}{F_m}$$

donde T = tiempo de corte (min)
L = longitud total que debe recorrer el taladro
F_m = avance (pulgadas/min)

de la cual resultaría

$$T = \frac{2 \text{ (grosor de la fundición)} + 0.3 \text{ (saliente del taladro)}}{4.97}$$
$$= 0.464 \text{ tiempo de corte}$$

El tiempo de corte que se calcula de esta forma no incluye una holgura, la cual podría agregarse para determinar el tiempo estándar. La holgura debe incluir tiempo para variaciones en el grosor del material y tolerancias para preparar los topes, ya que ambos afectan el tiempo de ciclo del corte. Las holguras por demoras personales e inevitables también deben agregarse para llegar a un tiempo estándar equitativo.

TRABAJO EN TORNO

Muchas variaciones de máquinas herramienta se clasifican como tornos. Entre ellas se incluyen el torno de motor, el torno de torreta y el torno automático (máquina de desarmador automático). To-

dos estos tornos se usan primordialmente con herramientas estacionarias o con herramientas que se trasladan sobre la superficie para remover el material de trabajo que gira, la cual puede ser forjada, fundida o tipo barra. En algunos casos, la herramienta gira mientras el trabajo se mantiene inmóvil, como en ciertas estaciones de maquinado en torno automático. Por ejemplo, la ranura de la cabeza de un tornillo se puede maquinar en el aditamento ranurado del torno automático.

Muchos factores alteran la velocidad y el avance, como las condiciones y diseño de la máquina herramienta, el material que se corta, la condición y diseño de la herramienta de corte, el refrigerante que se usa en el corte, el método de sujeción del material y el método de montaje de la herramienta de corte.

Al igual que en el trabajo del taladro de prensa, el avance se expresa en milésimas de pulgada por revolución y las velocidades en pies de superficie por minuto. Para determinar el tiempo de corte de L pulgadas, la longitud de corte en pulgadas se divide entre el avance en pulgadas por minuto, o bien

$$T = \frac{L}{F_m}$$

donde T = tiempo de corte (min)
L = longitud total de corte
F_m = avance (pulgadas/min)

y

$$F_m = \frac{3.82 f S_f}{d}$$

donde f = avance (pulgadas/r)
S_f = avance (pies superficie/min)
d = diámetro de trabajo (pulgadas)

TRABAJO EN FRESADORA

El *fresado* se refiere a la remoción de material con una cortadora giratoria, o sierra, de dientes múltiples. Mientras la cortadora gira, el trabajo es pasado por dicha herramienta. Este método es diferente al del taladro de prensa, para el cual la pieza de trabajo está normalmente estacionaria. Además de maquinar superficies planas e irregulares, los operarios usan fresadoras para cortar roscas, hacer ranuras y cortar engranes.

En los trabajos de fresado, como en los de taladrado y torneado, la velocidad de la cortadora se expresa en pies de superficie por minuto. Por lo general, el avance o recorrido de la mesa se expresa en milésimas de pulgada por diente. Para determinar la velocidad de la sierra en revoluciones por minuto, a partir de los pies de superficie por minuto y el diámetro de la cortadora, se usa la siguiente expresión:

$$N_r = \frac{3.82 S_f}{d}$$

donde N_r = velocidad de la sierra (rpm)
S_f = velocidad de la sierra (pie/min)
d = diámetro exterior de la sierra (pulgadas)

Para determinar el avance del trabajo a través de la cortadora en pulgadas por minuto, se utiliza la expresión

$$F_m = f n_t N_r$$

donde F_m = avance del trabajo a través de la sierra (pulgadas/min)
f = avance de la sierra (pulgadas por diente)
n_t = número de dientes de la sierra
N_r = velocidad de la sierra (rpm)

El número de dientes de la sierra adecuados para una aplicación particular se puede expresar como

$$n_t = \frac{F_m}{F_t N_\rho}$$

donde F_t = grosor de la viruta.

Para calcular el tiempo de corte en operaciones de fresado, el analista debe tomar en cuenta la punta de los dientes de la sierra al calcular la longitud total de corte con avance de potencia. Este resultado se puede determinar por triangulación, como se ilustra en la figura 12.5, que muestra el fresado de una superficie plana.

En este caso, para llegar a la longitud total que debe hacerse pasar por la sierra, se suma la medida *BC* de la punta a la longitud del trabajo (8 pulgadas). El espacio libre para la remoción del trabajo después del corte de maquinado se considera como un elemento separado, puesto que se usa un mayor avance con el movimiento rápido de la mesa. Si se conoce el diámetro de la sierra, es posible determinar *AC* como el radio de la sierra y después se puede calcular la altura del triángulo rectángulo *ABC* restándole el radio *AE* menos la profundidad de corte *BE* como sigue:

$$BC = \sqrt{AC^2 - AB^2}$$

En el ejemplo anterior, suponga que el diámetro de la sierra es de 4 pulgadas y que tiene 22 dientes. El avance por diente es de 0.008 pulgadas y la velocidad de corte es de 60 pies/ min. El tiempo de corte se puede calcular mediante la ecuación

$$T = \frac{L}{F_m}$$

donde T = tiempo de corte (min)
L = longitud total de corte con avance de potencia
F_m = avance (pulgadas/min)

Entonces, *L* sería igual a (8 pulgadas 1 *BC*) y

$$BC = \sqrt{4 - 3.06} = 0.975$$

Por lo tanto,

$$L = 8.975$$
$$F_m = f n_t N_r$$
$$F_m = (0.008)(22)N_r$$

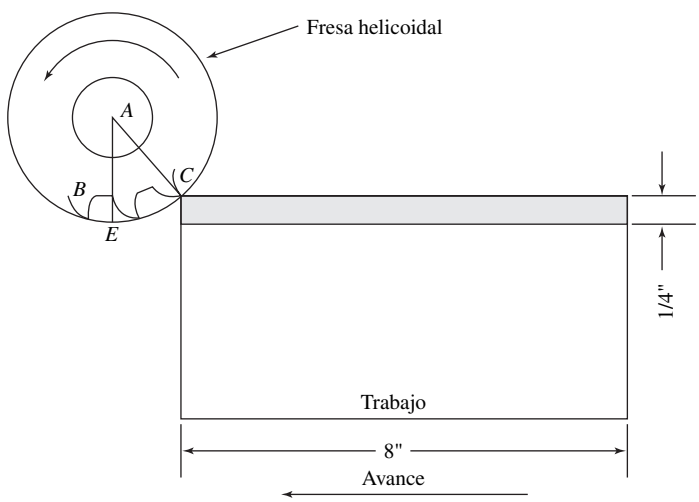


Figura 12.5 Fresado plano en una fundición de 8 pulgadas de longitud.

o bien

$$N_r = \frac{3.82Sf}{d} = \frac{3.82(60)}{4} = 57.3 \text{ rpm}$$

Entonces,

$$F_m = (0.008)(22)(57.3) = 10.1 \text{ pulgadas/min}$$

y

$$T = \frac{8.975}{10.1} = 0.888 \text{ min tiempo de corte}$$

Si se conocen a detalle los avances y las velocidades, los analistas pueden determinar el tiempo de corte o procesamiento que requieren las tareas que se realizan en sus plantas. Las ilustraciones citadas para trabajos en taladro, torno y fresadora son representativas de las técnicas que se emplean para establecer los tiempos de corte brutos. Las holguras aplicables necesarias se deben agregar a estos valores para crear valores totales justos para el elemento.

12.4 USO DE DATOS ESTÁNDAR

Para tener una referencia sencilla, los elementos de los datos estándar constantes se deben tabular y archivar según la máquina o el proceso. Los datos variables se pueden tabular o expresar como una curva o una ecuación, y se archivan según el tipo de instalación u operación.

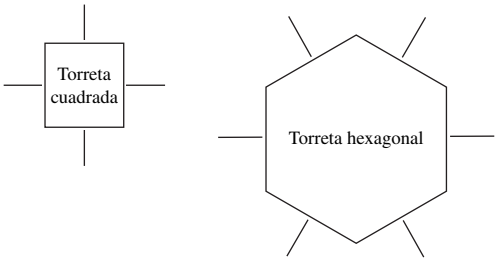
En la tabla 12.2 se ilustran datos estándar del material de punzonado y perforación en una prensa punzonadora. Si identifica el trabajo de acuerdo con la distancia que se mueve la tira de lámina por pieza, el analista puede encontrar el tiempo asignado a toda la operación.

En la tabla 12.3 se presentan datos de preparaciones estándar para tornos de torreta Warner & Swasey núm. 5 en una planta específica. Para determinar el tiempo de preparación con estos datos, el analista debe observar el herramental de la torreta cuadrada y hexagonal y consultar la tabla. Por ejemplo, si cierto trabajo requiere una herramienta para biselar, una para tornear y otra para revestir en la torreta cuadrada y dos herramientas para barrenar, un escariador y un escariador retráctil en la torreta hexagonal, el tiempo estándar de preparación sería de 69.70 minutos más 25.89 minutos, o bien 95.59 minutos. Para llegar a esta solución, el analista debe buscar el valor de las herramientas que le interesen en la columna de la torreta cuadrada (renglón 8) y las herramientas aplicables que consumen el mayor tiempo en la sección de torreta hexagonal que, en este caso, es de enroscado. Así obtendría 69.7 minutos. Como las tres herramientas adicionales están en la torreta hexagonal (primera barrena, segunda barrena y escariador), el analista multiplica 8.63 por 3 y obtiene 25.89 minutos. Por último, al sumar 25.89 y 69.70 minutos se obtiene el tiempo de preparación total que se requiere.

Tabla 12.2 Datos estándar para punzonar y perforar tiras metálicas con alimentación manual y retiro de piezas automático en prensa punzonadora Toledo 76

L (distancia en pulgadas)	*T* (tiempo en horas por cientos de golpes)
1	0.075
2	0.082
3	0.088
4	0.095
5	0.103
6	0.110
7	0.117
8	0.123
9	0.130
10	0.137

Tabla 12.3 Datos de preparaciones estándar para tornos de torreta núm. 5



Herramientas básicas

		Torreta hexagonal						
Núm	**Torreta cuadrada**	**Parcial**	**Biselado**	**Barrenado o torneado**	**Perforado**	**Roscado o escariado**	**Tarraja**	**Matriz**
1.	Parcial	31.5	39.6	44.5	48.0	47.6	50.5	58.5
2.	Biselado	38.2	39.6	46.8	49.5	50.5	53.0	61.2
3.	Revestido o corte	36.0	44.2	48.6	51.3	52.2	55.0	63.0
4.	Torneado, barrenado, ranurado, radio	40.5	49.5	50.5	53.0	54.0	55.8	63.9
5.	Revestido y biselado	37.8	45.9	51.3	54.0	54.5	56.6	64.8
6.	Revestido y corte	39.6	48.6	53.0	55.0	56.0	58.5	66.6
7.	Revestido y torneado o torneado y corte	45.0	53.1	55.0	56.7	57.6	60.5	68.4
8.	Revestido, torneado y biselado	47.7	55.7	57.6	59.5	60.5	69.7	78.4
9.	Revestido, torneado y corte	48.6	57.6	57.5	60.0	62.2	71.5	80.1
10.	Revestido, torneado y ranurado	49.5	58.0	59.5	61.5	64.0	73.5	81.6
11.	Herramientas básicas marcadas con círculo					_____		
12.	Herramientas adicionales marcadas con cuadro	4.20 ×	_____			= _____		
13.	Herramientas adicionales marcadas con hexágono	8.63 ×	_____			= _____		
14.	Retiro y preparación de tres mordazas	5.9				_____		
15.	Preparación de subensamble o soporte	18.7				_____		
16.	Preparación entre centros	11.0				_____		
17.	Cambio de tornillo de avance	6.6				_____		
					Preparación total	_____ min		

RESUMEN

Si su aplicación es correcta, los datos estándar permiten el rápido establecimiento de tiempos estándar precisos antes de que se realice el trabajo. Esta característica hace que su uso sea especialmente atractivo para estimar el costo de un nuevo trabajo, con propósitos de presupuesto y subcontratación. La utilización de datos estándar también simplifica muchos problemas administrativos en las plantas donde puede haber restricciones concernientes a aspectos como el tipo de estudio que se llevará a cabo (continuo o con regresos a cero), el número de ciclos que se deben estudiar, los operarios que serán estudiados y el observador que realizará el estudio. Mediante el empleo de la técnica de datos estándar, los analistas no sólo pueden evitar tales detalles sino que también pueden disminuir algunas fuentes de tensión entre el personal y la administración.

En general, entre más refinados sean los tiempos de los elementos, mayor será la cobertura de los datos. En consecuencia, resulta práctico tener en los talleres valores de los elementos individuales, así como valores agrupados y combinados de manera que los datos para una instalación dada tengan suficiente flexibilidad con el fin de permitir que se califique todo tipo de trabajo programado para una máquina. En tareas de ciclo corto, los datos de movimiento fundamental son especialmente útiles para establecer estándares.

De manera similar, una fórmula de estudio de tiempos puede establecer los estándares en una fracción del tiempo que requieren los estudios individuales. Una ventaja de las fórmulas sobre los datos estándar es que una persona menos capacitada (y menos costosa) puede introducir los datos en las fórmulas más rápidamente que sumando los datos estándar de los elementos. Además, como las columnas de cifras deben sumarse en el método de datos estándar, existe una mayor posibilidad de omisiones o errores aritméticos cuando se establece un estándar que cuando se aplica una fórmula.

PREGUNTAS

1. ¿Qué significa *datos estándar*?
2. ¿Cuál es la razón aproximada del tiempo que se requiere para establecer estándares con los métodos de cronómetro sobre el tiempo necesario si se usan los métodos de datos estándar?
3. ¿Cuáles son las ventajas de establecer estándares de tiempo mediante el empleo de datos estándar en lugar de realizar estudios individuales?
4. ¿Cuáles son algunas de las desventajas de usar curvas para tabular datos estándar?
5. ¿Qué ventajas tienen las fórmulas sobre los datos estándar para establecer estándares de tiempo?
6. ¿Está el uso de fórmulas de estudio de tiempos restringido a plantas con máquinas donde se ha demostrado analíticamente que los avances y las velocidades influyen en los tiempos? Explique su respuesta.
7. ¿Cuáles son las características de una fórmula de estudio de tiempos razonable?
8. ¿Cuál es el peligro de usar muy pocos estudios en la derivación de una fórmula?
9. Explique con detalle cómo se puede desarrollar una fórmula con el mejor ajuste.

PROBLEMAS

1. ¿Cuántos caballos de fuerza se necesitan para tornear un eje de acero suave de 3 pulgadas de diámetro si se estableció un corte de 1/4 de pulgada con un avance de 0.022 pulgada/r, a una velocidad de huso de 250 rpm?
2. ¿Cuánto tiempo tomaría tornear 6 pulgadas de una barra de 1 pulgada en un torno de torreta Warner & Swasey núm. 3 que funciona a 300 pies/min y avanza a una tasa de 0.005 pulgada/r?
3. Una sierra circular sencilla con 3 pulgadas de diámetro y un ancho de revestido de 2 pulgadas se usa para fresar una pieza de acero laminado en frío de 1.5 pulgadas de ancho y 4 pulgadas de largo. La profundidad de corte es de 3/16 pulgada. ¿Cuánto tiempo tomaría hacer el corte si el avance por diente es de 0.010 pulgadas y se usa una sierra de 16 dientes que funciona a una velocidad de superficie de 120 pies/min?
4. Calcule los tiempos para los elementos a, b, c, d y e cuando se observa un tiempo de 0.057 minutos para $a + b + c$; el tiempo de $b + c + d$ es 0.078 minutos; el de $c + d + e$ es igual a 0.097 minutos; $d + e + a$ es igual a 0.095 minutos, y $e + a + b$ es igual a 0.069 minutos.
5. ¿Cuál sería la saliente de una broca de 3/4 de pulgada con un ángulo incluido de 118 grados?
6. ¿Cuál sería el avance en pulgadas por minuto de un taladro de 3/4 de pulgada que funciona a una velocidad de superficie de 80 pies/min y un avance de 0.008 pulgada/r?
7. ¿Cuánto tiempo tardaría el taladro del problema anterior para perforar una fundición de 2.25 pulgadas de grueso?
8. El analista de la Dorben Company realizó 10 estudios de tiempos independientes en la sección de pintura por aspersión manual del departamento de acabado. La línea de producto bajo estudio reveló una relación directa entre el tiempo de pintura por aspersión y el área de la superficie del producto. Se recolectaron los siguientes datos:

Estudio núm.	Factor de calificación	Área de la superficie	Tiempo estándar
1	0.95	170	0.32
2	1.00	12	0.11
3	1.05	150	0.31
4	0.80	41	0.14
5	1.20	130	0.27
6	1.00	50	0.18
7	0.85	120	0.24
8	0.90	70	0.23
9	1.00	105	0.25
10	1.10	95	0.22

Calcule la pendiente y la intersección constante, usando ecuaciones de regresión lineal. ¿Cuánto tiempo asignaría a la pintura por aspersión de una parte nueva con un área de superficie de 250 pulgadas^2?

9. El analista de medición del trabajo de la Dorben Company desea desarrollar una ecuación precisa para estimar el corte de distintas configuraciones en una hoja de metal con una sierra de cinta. Los datos de los ocho estudios de tiempo para el elemento de corte real proporcionaron la siguiente información:

Núm.	Pulgadas lineales	Tiempo estándar
1	10	0.40
2	42	0.80
3	13	0.54
4	35	0.71
5	20	0.55
6	32	0.66
7	22	0.60
8	27	0.61

¿Cuál sería la relación entre la longitud de corte y el tiempo estándar si utiliza la técnica de mínimos cuadrados?

10. El analista de medición del trabajo de la compañía XYZ desea desarrollar datos estándar que incluyan movimientos manuales rápidos y repetitivos para usarlos en un departamento de ensamblado de luces. Debido a la brevedad de los elementos de los datos estándar, el analista se ve obligado a medirlos en grupos, mientras se realizan en la planta. Durante cierto estudio, este analista intenta desarrollar los datos estándar para realizar cinco elementos nombrados *A*, *B*, *C*, *D* y *E*. Usando un cronómetro decimal rápido (0.001), el analista estudió una variedad de operaciones de ensamble y obtuvo los siguientes datos:

$$A + B + C = 0.131 \text{ min}$$
$$B + C + D = 0.114 \text{ min}$$
$$C + D + E = 0.074 \text{ min}$$
$$D + E + A = 0.085 \text{ min}$$
$$E + A + B = 0.118 \text{ min}$$

Calcule los valores de los datos estándar para realizar cada uno de los elementos *A*, *B*, *C*, *D* y *E*.

11. El analista de medición del trabajo de la Dorben Company está desarrollando los datos estándar para presupuestar un trabajo en el departamento de taladros de prensa. Con base en las siguientes velocidades y avances recomendados, calcule el tiempo de corte con alimentación automática de taladros de alta velocidad de 1/2 pulgada con un ángulo incluido de 118 grados para perforar por completo un material de 1 pulgada de grosor. Incluya una holgura de 10% para necesidades personales y fatiga.

Material	Velocidad recomendada (pie/min)	Avance (pulgadas/r)
Al (aleación de cobre)	300	0.006
Hierro fundido	125	0.005
Monel (R)	50	0.004
Acero (1112)	150	0.005

12. Se obtuvieron los siguientes datos de los tiempos estándar y el área de punzonado de diferentes piezas de cuero de vaca. Obtenga una fórmula para esta relación.

Estudio núm.	Área de cuero (pulgadas^2)	Tiempo estándar (min)
1	5.0	0.07
2	7.5	0.10
3	15.5	0.13
4	25.0	0.20
5	34.0	0.24

13. Desarrolle una fórmula para relacionar el tiempo y el área a partir de los siguientes datos:

Estudio núm.	Tiempo	Área
1	4	28.6
2	7	79.4
3	11	182.0
4	15	318.0
5	21	589.0

REFERENCIAS

Brisley, C. L. y R. J. Dossett, "Computer Use and Non-Direct Labor Measurement Will Transform Profession in the Next Decade", en *Industrial Engineering*, 12, núm. 8 (agosto de 1980), pp. 34-43.

Cywar, Adam W., "Development and Use of Standard Data", en *Handbook of Industrial Engineering*. Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Fein, Mitchell, "Establishing Time Standards by Parameters", en *Proceedings of the Spring Conference of the American Institute of Industrial Engineers*. Norcross, GA: American Institute of Industrial Engineers, 1978.

Lowry, S. M., H. B. Maynard y B. J. Stegemerten, *Motion and Time Study*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1940.

Metcut Research Associates, *Machining Data Handbook*, Cincinnati, OH: Metcut Research Associates, 1966.

Neter, J., M. Wasserman, M. H. Kutner y C. J. Nachstheim, *Applied Linear Statistical Models*, 4a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

Pappas, Frank G. y Robert A. Dimberg, *Practical Work Standards*, Nueva York: McGraw-Hill, 1962.

Rawling, J. O., *Applied Regression Analysis*. Pacific Grove, CA: Wadsworth & Brooks, 1988.

Rotroff, Virgil H., *Work Measurement*, Nueva York: Reinhold Publishing, 1959.

SOFTWARE SELECCIONADO

MINITAB, 3081 Enterprise Dr., State College, PA 16801.

SAS, SAS Institute, Cary, NC 27513.

Sistemas de tiempos predeterminados

CAPÍTULO 13

PUNTOS CLAVE

- Usar sistemas de tiempos predeterminados para predecir los tiempos estándar de trabajos nuevos o existentes.
- Los sistemas de tiempos predeterminados consisten en una base de datos de tiempos de movimientos básicos.
- Los sistemas precisos requieren más tiempo para completarse.
- Los sistemas sencillos y rápidos suelen ser menos exactos.
- Se debe considerar no sólo el movimiento principal, sino también las complejidades o interacciones con otros movimientos.
- Usar sistemas de tiempos predeterminados para mejorar los métodos de análisis.

Desde los tiempos de Frederick W. Taylor, la administración se ha dado cuenta de lo deseable que resulta asignar tiempos estándar a los elementos básicos del trabajo. Estos tiempos se conocen como *tiempos de movimientos básicos*, *tiempos sintéticos* o *tiempos predeterminados*. Se asignan a los movimientos fundamentales y a grupos de movimientos que no se pueden evaluar con precisión mediante los procedimientos ordinarios de estudio de tiempos con cronómetro. También son el resultado de estudiar una muestra grande de operaciones diversificadas con un dispositivo de ritmo como una cámara de filmación o videograbación, capaz de medir elementos muy cortos. Los valores de tiempo son sintéticos puesto que con frecuencia son el resultado de las combinaciones lógicas de therbligs; son básicos porque un mayor refinamiento es difícil e impráctico; son predeterminados porque se usan para predecir los tiempos estándar de nuevos trabajos que resultan del cambio de métodos.

A partir de 1945 ha habido un creciente interés por el empleo de tiempos de movimientos básicos como método para establecer tasas con rapidez y exactitud sin usar el cronómetro u otros dispositivos para registrar tiempos. En la actualidad, los analistas de métodos pueden obtener información de alrededor de 50 sistemas diferentes de valores sintéticos. En esencia, estos sistemas de tiempos predeterminados son conjuntos de tablas de movimiento-tiempo con reglas explicativas e instrucciones sobre el uso de los valores contenidos en ellas. Es esencial una capacitación considerablemente especializada para aplicar en la práctica estas técnicas. En realidad, la mayoría de las compañías deben contar con algún tipo de certificación antes de que se permita a los analistas establecer estándares mediante los sistemas Work-Factor, Métodos de medición de tiempos (MTM) o MOST.

Para proporcionar al lector una visión amplia del campo de los sistemas de tiempos predeterminados, se expondrá el MTM con cierto detalle, ya que es el pionero, y el subsistema más rápido

de MTM, llamado MTM-2. Además, se analizará un derivado del MTM, la técnica secuencial de operación Maynard (MOST, *Maynard Operation Sequence Technique*). Los derivados de los sistemas de tiempos predeterminados se ilustran en la figura 13.1. MTM-2 y MOST son los sistemas de tiempos predeterminados más usados, de acuerdo con una encuesta aplicada a 141 ingenieros industriales.

13.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE TIEMPO (MTM)

MTM-1

El método de medición de tiempo MTM (Maynard, Stegemerten y Schwab, 1948) proporciona valores de tiempo de los movimientos fundamentales de alcanzar, mover, girar, agarrar, posicionar, desenganchar y soltar. Los autores definen MTM como "un procedimiento que analiza cualquier

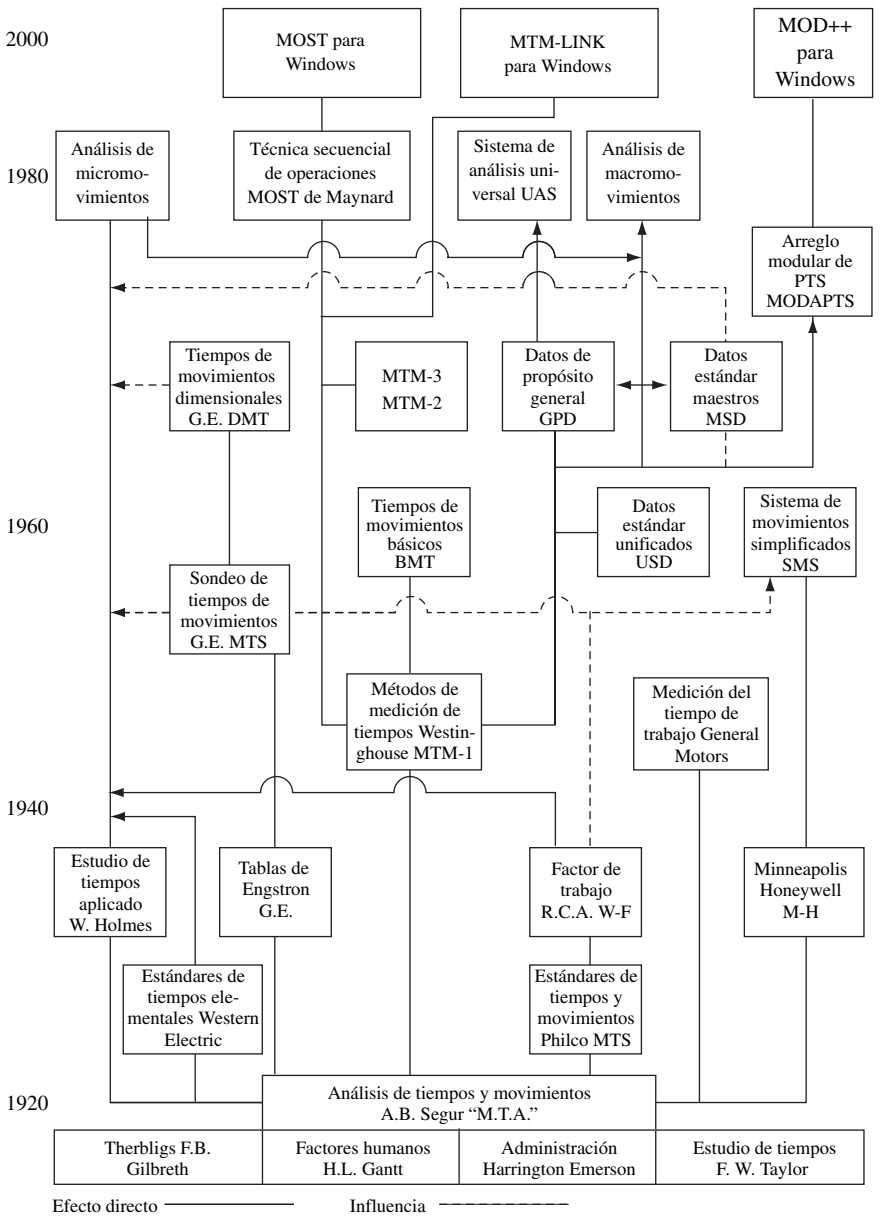


Figura 13.1 Árbol genealógico de los sistemas de tiempos predeterminados.
Cortesía: Standards International, Chicago, Illinois.

operación manual o método basado en los movimientos básicos que se requieren para realizarlo y asigna a cada movimiento un tiempo estándar predeterminado que está establecido por la naturaleza del movimiento y las condiciones en las que se realiza".

Los datos de MTM-1 son el resultado del análisis realizado cuadro por cuadro de películas que se tomaron en diversas áreas de trabajo. Los datos que se tomaron de varias filmaciones se calificaron mediante la técnica de Westinghouse, se tabularon y analizaron para determinar el grado de dificultad causado por las características variables. Por ejemplo, tanto la distancia como el tipo de alcance afectan al tiempo de alcanzar. Un análisis más detallado clasificó cinco casos distintos de alcanzar, cada uno de los cuales requería una asignación de tiempo diferente para una distancia dada:

1. Alcanzar el objeto en una posición fija, o el objeto en la otra mano, o el objeto en el que descansa la otra mano.
2. Alcanzar un solo objeto en una ubicación que puede variar ligeramente de un ciclo a otro.
3. Alcanzar un objeto mezclado con otros requiere buscar así como seleccionar.
4. Alcanzar un objeto muy pequeño o uno que requiere agarre de precisión.
5. Alcanzar un objeto en una posición indefinida según la posición de la mano o el balance del cuerpo, para el siguiente movimiento o fuera de la trayectoria.

Además, encontraron que el tiempo de movimiento dependía tanto de la distancia como del peso del objeto que se movía, así como del tipo específico de movimiento. Los tres casos de movimiento son

1. Mover un objeto a la otra mano o contra un tope.
2. Mover un objeto para aproximarlo o a un lugar indefinido.
3. Mover un objeto a una localización exacta.

Por último, 2 casos de soltar y 18 casos de posicionar también afectan el tiempo.

En la tabla 13.1 se resumen los valores de MTM-1. Los valores del tiempo del therblig agarrar varía de 2.0 a 12.9 TMU [1 TMU (unidad de medición de tiempo, *Time Measurement Unit*) = 0.00001 hora], dependiendo de la clasificación del agarre.

Primero, el analista resume todos los movimientos de la mano derecha y la mano izquierda que se requieren para realizar el trabajo adecuadamente. Después, se determinan los tiempos calificados en TMU para cada movimiento a partir de las tablas de datos de tiempos-métodos. Para determinar el tiempo que se requiere para un desempeño normal de la tarea, los valores no limitantes del movimiento se marcan con un círculo o se borran, debido a que sólo se resumirán los movimientos limitantes, siempre que sea "fácil" realizar los dos movimientos en forma simultánea (vea la tabla X de la tabla 13.1). Por ejemplo, si la mano derecha debe alcanzar 20 pulgadas (50 cm) para tomar una tuerca, la clasificación sería R20C y el valor del tiempo sería 19.8 TMU. Si, al mismo tiempo, la mano izquierda debe alcanzar 10 pulg (25 cm) para tomar un tornillo plano, la designación sería de R10C con un valor TMU de 12.9. El valor de la mano derecha sería el valor limitante, y el valor de 12.9 de la mano izquierda no se usaría en el cálculo del tiempo normal.

Los valores tabulados no incluyen ninguna holgura por demoras personales, fatiga o demoras inevitables. Cuando los analistas usan estos valores para establecer tiempos estándar, deben agregar las holguras apropiadas al resumen de tiempos de movimientos básicos sintéticos. Los defensores del MTM-1 sostienen que, en la mayoría de los casos, las holguras por fatiga no son necesarias porque los valores de MTM-1 se basan en una tasa de trabajo que es posible mantener en el estado estable de la vida productiva de un empleado sano.

En la tabla 13.2 se muestra un ejemplo de un análisis MTM-1 de una operación de oficina (reemplazar una página de una carpeta de tres argollas).

En la actualidad, el MTM ha recibido reconocimiento a nivel mundial. En Estados Unidos es administrado, desarrollado y controlado por la MTM Association for Standards and Research. Esta entidad no lucrativa es una de las 12 asociaciones agrupadas por el International MTM Directorate. Mucho del éxito del sistema MTM es el resultado de una estructura de comités activos formados por miembros de la asociación.

La familia de sistemas MTM continúa en crecimiento. Además de MTM-1, la asociación ha introducido MTM-2, MTM-3, MTM-V, MTM-C, MTM-M, MTM-MEK, MTM-UAS y la herramienta de software basada en Windows MTM-Link.

Tabla 13.1 Resumen de los datos de MTM-1

Tabla I: Alcanzar: R

Distancia recorrida (pulgada)	Tiempo (TMU)				Mano en movimiento		Caso y descripción
	A	B	C o D	E	A	B	
1/2 o menos	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6	A Alcanzar un objeto en posición fija, o un objeto en la otra mano o sobre el cual descansa la otra mano.
1	2.5	2.5	3.6	2.4	2.3	2.3	
2	4.0	4.0	5.9	3.8	3.5	2.7	
3	5.3	5.3	7.3	5.3	4.5	3.6	
4	6.1	6.4	8.4	6.8	4.9	4.3	B Alcanzar un solo objeto en una posición que puede variar ligeramente de un ciclo a otro.
5	6.5	7.8	9.4	7.4	5.3	5.0	
6	7.0	8.6	10.1	8.0	5.7	5.7	
7	7.4	9.3	10.8	8.7	6.1	6.5	C Alcanzar un objeto mezclado con otros en un grupo, de manera que es necesario buscar y seleccionar.
8	7.9	10.1	11.5	9.3	6.5	7.2	
9	8.3	10.8	12.2	9.9	6.9	7.9	
10	8.7	11.5	12.9	10.5	7.3	8.6	D Alcanzar un objeto muy pequeño o donde se requiere un agarre preciso.
12	9.6	12.9	14.2	11.8	8.1	10.1	
14	10.5	14.4	15.6	13.0	8.9	11.5	
16	11.4	15.8	17.0	14.2	9.7	12.9	E Alcanzar una posición indefinida para poner la mano en posición con el fin de equilibrar el cuerpo o para el movimiento siguiente o fuera de la trayectoria.
18	12.3	17.2	18.4	15.5	10.5	14.4	
20	13.1	18.6	19.8	16.7	11.3	15.8	
22	14.0	20.1	21.2	18.0	12.1	17.3	
24	14.9	21.5	22.5	19.2	12.9	18.8	
26	15.8	22.9	23.9	20.4	13.7	20.2	
28	16.7	24.4	25.3	21.7	14.5	21.7	
30	17.5	25.8	26.7	22.9	15.3	23.2	

Tabla II: Mover: M

Distancia recorrida (pulgada)	Tiempo (TMU)				Holgura por peso			Caso y descripción
	A	B	C	Mano en movimiento B	Peso (lb) hasta	Factor	Constante (TMU)	
1/2 o menos	2.0	2.0	2.0	1.7	2.5	0	0	A Mover el objeto a la otra mano o contra un tope.
1	2.5	2.9	3.4	2.3				
2	3.6	4.6	5.2	2.9	7.5	1.06	2.2	
3	4.9	5.7	6.7	3.6				
4	6.1	6.9	8.0	4.3	12.5	1.11	3.9	
5	7.3	8.0	9.2	5.0				
6	8.1	8.9	10.3	5.7	17.5	1.17	5.6	
7	8.9	9.7	11.1	6.5				
8	9.7	10.6	11.8	7.2				B Mover el objeto a una localización aproximada o indefinida.
9	10.5	11.5	12.7	7.9	22.5	1.22	7.4	
10	11.3	12.2	13.5	8.6				
12	12.9	13.4	15.2	10.0	27.5	1.28	9.1	
14	14.4	14.6	16.9	11.4				
16	16.0	15.8	18.7	12.8	32.5	1.33	10.8	
18	17.6	17.0	20.4	14.2				
20	19.2	18.2	22.1	15.6	37.5	1.39	12.5	
22	20.8	19.4	23.8	17.0				
24	22.4	20.6	25.5	18.4	42.5	1.44	14.3	C Mover el objeto a una localización exacta.
26	24.0	21.8	27.3	19.8				
28	25.5	23.1	29.0	21.2	47.5	1.50	16.0	
30	27.1	24.3	30.7	22.7				

Tabla III: Girar y aplicar presión: T y AP

	Tiempo en TMU para grados de giro										
Peso	**30°**	**45°**	**60°**	**75°**	**90°**	**105°**	**120°**	**135°**	**150°**	**165°**	**180°**
Pequeño: 0 a 2 lb	2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4
Mediano: 2.1 a 10 lb	4.4	5.5	6.5	7.5	8.5	9.6	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8
Grande: 10.1 a 35 lb	8.4	10.5	12.3	14.4	16.2	18.3	20.4	22.2	24.3	26.1	28.2

Aplicar presión Caso A: 10.6 TMU. Aplicar presión Caso B: 16.2 TMU

Tabla IV: Agarrar: G

Caso	Tiempo (TMU)	Descripción
1A	2.0	**Agarrar, para recoger:** Objeto pequeño, mediano o grande en sí mismo, fácil de agarrar.
1B	3.5	Objeto muy pequeño o que se encuentra sobre una superficie plana.
1C1	7.3	Interferencia con el agarre en la base y un lado de un objeto casi cilíndrico. Diámetro mayor a $^1/_2$″.
1C2	8.7	Interferencia con el agarre en la base y un lado de un objeto casi cilíndrico. Diámetro de $^1/_4$″ a $^1/_2$″.
1C3	10.8	Interferencia con el agarre en la base y un lado de un objeto casi cilíndrico. Diámetro menor a $^1/_4$″.
2	5.6	**Agarrar de nuevo.**
3	5.6	**Agarrar para trasladar.**
4A	7.3	Objeto mezclado con otros por lo que ocurren alcanzar y seleccionar. Mayor que 1″ × 1″ × 1″.
4B	9.1	Objeto mezclado con otros por lo que ocurren alcanzar y seleccionar. De $^1/_4$″ × $^1/_4$″ × $^1/_8$″ a 1″ × 1″ × 1″.
4C	12.9	Objeto mezclado con otros por lo que ocurren alcanzar y seleccionar. Menor de $^1/_4$″ × $^1/_4$″ × $^1/_8$″.
5	0	Agarre de contacto, deslizamiento o agarre de gancho.

Tabla V: Posicionar*: P

Clase de ajuste		Simetría	De fácil manejo	De difícil manejo
1: Holgado	No requiere presión.	S	5.6	11.2
		SS	9.1	14.7
		NS	10.4	16.0
2: Estrecho	Requiere presión ligera.	S	16.2	21.8
		SS	19.7	25.3
		NS	21.0	26.6
3: Exacto	Requiere presión fuerte.	S	43.0	48.6
		SS	46.5	52.1
		NS	47.8	53.4

*Distancia recorrida hasta enganche: 1" o menos.

Tabla VI: Soltar: RL

Caso	Tiempo (TMU)	Descripción
1	2.0	Soltado normal abriendo los dedos como movimiento independiente.
2	0	Soltado de contacto.

Tabla 13.1 (*continuación*)

Tabla VII: Desenganchar: D		
Clase de ajuste	**Fácil de manejar**	**Difícil de manejar**
1: Holgado: Esfuerzo muy ligero, se mezcla con el movimiento subsecuente.	4.0	5.7
2: Estrecho: Esfuerzo normal, retroceso ligero.	7.5	11.8
3: Estricto: Esfuerzo considerable, retroceso manual muy marcado.	22.9	34.7

Tabla VIII: Tiempo de recorrido del ojo y enfoque del ojo: ET y EF

Tiempo de recorrido del ojo = $15.2 \times \frac{T}{D}$ TMU, con un valor máximo de 20 TMU.

donde T = distancia entre los puntos desde donde empieza y hasta donde termina el recorrido del ojo.
D = distancia perpendicular desde el ojo hasta la línea de recorrido T.

Tiempo de enfoque del ojo = 7.3 TMU.

Tabla IX: Movimientos de cuerpo, pierna y pie			
Descripción	**Símbolo**	**Distancia**	**Tiempo, TMU**
Movimiento de pie: con apoyo en el tobillo.	FM	Hasta 4″	8.5
con presión intensa.	FMP		19.1
Movimiento de pierna o muslo.	LM—	Hasta 6″	7.1
		Agrega 1 pulgada	1.2
Paso lateral: Caso 1: Termina cuando la pierna delantera hace contacto con el piso.	SS-C1	Menos de 12″	Usar tiempo de ALCANZAR o MOVER
		12″	17.0
Caso 2: La pierna de atrás debe hacer contacto con el piso antes del siguiente movimiento.	SS-C2	Agrega 1 pulgada	0.6
		12″	34.1
		Agrega 1 pulgada	1.1
Doblarse, ponerse de pie o apoyarse en una rodilla.	B, S. KOK		29.0
Levantarse.	AB, AS, AKOK		31.9
Apoyarse en el piso: ambas rodillas.	KBK		69.4
Levantarse.	AKBK		76.7
Sentarse.	SIT		34.7
Ponerse de pie desde la posición de sentado.	STD		43.3
Girar el cuerpo de 45 a 90 grados:			
Caso 1: Termina cuando la pierna delantera hace contacto con el piso.	TBC1		18.6
Caso 2: La pierna de atrás debe hacer contacto con el piso antes del siguiente movimiento.	TBC2		37.2
Caminar.	W-FT	Por pie	5.3
Caminar.	W-P	Por paso	15.0

Tabla X: Movimientos simultáneos

Alcanzar			Mover			Agarrar			Posicionar			Desenganchar			
A, E	B	C, D	A, Bm	B	C	G1A G2 G5	G1B G1C	G4	P1S	P1SS P2S	P1NS P2SS P2NS	D1E D1D	D2	Caso	Movimiento
		*W|O	*W|O	*W|O	*W|O		*W|O	*W|O	**E|D	**E|D	**E|D		**E|D		
□	□	□□	□□	□□	××	□	□□	□□	□□	□×	××	□	□□	A, E	Alcanzar
□	□	□×	□□	□×	×■	□	□×	×■	××	×■	■■	□	□×	B	
		□×	×■	×■	■■	□	×■	■■	■■	■■	■■	×	■■	C, D	
			□□	□□	□□	□	□□	□□	□□	□×	××	□	□□	A, Bm	Mover
				□□	□□	□	□×	×■	××	×■	■■	□	□×	B	
					×■	□	×■	■■	■■	■■	■■	×	■■	C	
						□	□□	□□	□□	□■	■■	□	■■	G1A, G2, G5	Agarrar
							■■	×■	■■	■■	■■	■	■■	G1B, G1C	
								■■	■■	■■	■■	■	■■	G4	
									×■	■■	■■	■	■■	P1S	Posicionar
										■■	■■	■	■■	P1SS, P2S	
											■■	■	■■	P1NS, P2SS, P2NS	
												□	□□	D1E, D1D	Desenganchar
													□□	D2	

□ = FÁCIL de realizar simultáneamente.
× = Se puede realizar simultáneamente con PRÁCTICA.
■ = DIFÍCIL de realizar simultáneamente, aun después de mucha práctica. Asignar ambos tiempos.

MOVIMIENTOS NO INCLUIDOS EN LA TABLA ANTERIOR
GIRAR: Normalmente es FÁCIL con todos los movimientos, excepto cuando GIRAR está controlado, o con DESENGANCHAR.
APLICAR PRESIÓN: Puede ser FÁCIL, PRÁCTICO O DIFÍCIL. Se debe analizar cada caso.
POSICIONAR: Clase 3: Siempre DIFÍCIL.
DESENGANCHAR: Clase 3: Normalmente DIFÍCIL.
SOLTAR: Siempre FÁCIL.
DESENGANCHAR: Cualquier clase puede ser DIFÍCIL si debe tenerse cuidado para evitar lesiones o daños al objeto.
*W = Dentro del área de visión normal.
O = Fuera del área de visión normal.
**E = FÁCIL de manejar.
D = DIFÍCIL de manejar.

Fuente: MTM Association for Standards and Research, Fair Lawn, Nueva Jersey.

MTM-2

En un esfuerzo por extender la aplicación de MTM a las áreas de trabajo en las que el detalle de MTM-1 podría obstaculizar económicamente su uso, el International MTM Directorate inició un proyecto de investigación para desarrollar datos menos elaborados que fueran adecuados para la mayoría de las secuencias de movimientos. El resultado de este esfuerzo fue MTM-2. Es definido por la Asociación de MTM del Reino Unido, como un sistema de datos MTM sintetizados, y es el segundo nivel general de datos MTM. Se basa exclusivamente en MTM y consiste en

1. Movimientos MTM básicos simples.
2. Combinaciones de movimientos MTM básicos.

Los datos se adaptan al operario y son independientes del lugar de trabajo o del equipo que se utiliza. En general, MTM-2 debe encontrar una aplicación en las asignaciones de trabajo donde

1. La porción de esfuerzo del ciclo de trabajo es de más de un minuto.
2. El ciclo no es altamente repetitivo.
3. La porción manual del ciclo de trabajo no involucra un gran número de movimientos complejos o simultáneos de las manos.

Tabla 13.2 MTM-1 A1

Análisis MTM-1 de MTM-C			Validación
MTM Association for Standards and Research	TÍTULO DEL ELEMENTO: Reemplazar página en carpeta de 3 argollas INICIA: Obtener carpeta de repisa a la izquierda INCLUYE: Obtener carpeta, abrir cubierta, localizar página correcta, abrir argollas, reemplazar hoja antigua, cerrar argollas, dejar carpeta en repisa. TERMINA:		ANALISTA: FECHA:

Descripción mano izquierda	F	Movimiento MI	TMU	Movimiento MD	F	Descripción mano derecha
1. OBTENER CARPETA: ABRIR CUBIERTA						
Alcanzar la carpeta		R30B	25.8			
Agarrar la carpeta		G1A	2.0			
Mover al escritorio		M30B	24.3			
Soltar		RL1	2.0			
Alcanzar cubierta		R7B	9.3			
Agarrar borde		G1A	2.0			
Abrir cubierta		M16B	15.8			
Soltar		RL1	2.0			
			83.2			
2. LOCALIZAR LA PÁGINA CORRECTA						
			14.6	EF	2	Leer datos de la primera página
Alcanzar orilla	3	R3D	21.9			
Agarrar	3	G1B	10.5			
Mover hacia arriba	3	M4B	20.7			
Agarrar de nuevo		G2	—			
			43.8	EF	2 × 3	Identificar páginas
Mover páginas hacia atrás		M8B	10.6			
Soltar		RL1	2.0			
Alcanzar para agarrar		R8B	10.1	(R4B)		A la orilla de la página
Agarrar		G5	0.0	G5		Contacto
			8.0	M½B	4	Deslizar hacia atrás
Contacto	3	G5	0.0	RL2	4	Soltar
Mover	3	(M½B)	7.5	R1B	3	A la esquina
			0.0	G5	3	Contacto
Volver a agarrar páginas		G2	5.6			
			87.6	EF	4 × 3	Identificar páginas
Mover páginas hacia atrás		M8B	10.6			
Soltar		RL1	2.0			
			255.5			
3. REEMPLAZAR PÁGINA						
A argolla		R7A	7.4	R7A		A argolla
Agarrar		G1A	2.0	G1A		Agarrar
Jalar para abrir		APB	16.2	APB		Jalar para abrir
Abrir		M½A	2.0	M½A		Abrir
Soltar		RL1	2.0	RL1		Soltar
Al borde de la página		R6D	10.1			
Agarrar		G1B	3.5			

Tabla 13.2 (*continuación*)

Descripción mano izquierda	F	Movimiento MI	TMU	Movimiento MD	F	Descripción mano derecha
Al bote de basura		M30B	24.3	(R-E)		
Soltar		RL1	2.0			
			10.1	R6D		A hoja nueva
			3.5	G1B		Agarrar
			15.2	M12C		A argollas
			16.2	P2SE		Alinear con argollas
			2.0	M½C		A argollas
			16.2	P2SE		Alinear
			2.0	M½A		Bajar sobre argollas
			2.0	RL1		Soltar
A argolla central		(R4B)	8.6	R6B		A argolla central
Agarrar		G1A	2.0	G1A		Agarrar
Presionar para cerrar		APB	16.2	APB		Presionar para cerrar
Cerrar		M½A	2.0	M½A		Cerrar
Soltar		RL1	2.0	RL1		Soltar
			167.5			
4. CERRAR CUBIERTA Y DEJAR CARPETA A UN LADO						
Alcanzar cubierta		R7B	9.3			
Agarrar borde		G1A	2.0			
Cerrar cubierta		M16B	15.8			
Soltar		RL1	2.0			
Alcanzar carpeta		R6B	8.6			
Agarrar		G1A	2.0			
Agarrar de nuevo		G2	5.6			
Mover a repisa		M30B	24.3			
Soltar		RL1	2.0			
			71.6			
RESUMEN DE ELEMENTOS						
1. Tomar carpeta: abrir cubierta			83.2			
2. Localizar página correcta			255.5			
3. Reemplazar página			167.5			
4. Cerrar cubierta y dejar carpeta			71.6			
		TOTAL	577.8			

En gran medida, la variabilidad entre MTM-1 y MTM-2 depende de la longitud del ciclo. Esto se refleja en la figura 13.2, la cual muestra el intervalo de desviación porcentual entre MTM-2 y MTM-1. Este rango de error se considera el rango esperado 95% del tiempo.

MTM-2 reconoce 11 clases de acciones, que se llaman categorías. Estas 11 categorías y sus símbolos son:

TOMAR	G
PONER	P
TOMAR CON PESO	GW
PONER CON PESO	PW
AGARRAR DE NUEVO	R
APLICAR PRESIÓN	A
ACCIÓN DEL OJO	E
ACCIÓN DEL PIE	F
PASO	S
DOBLARSE Y LEVANTARSE	B
GIRAR MANIVELA	C

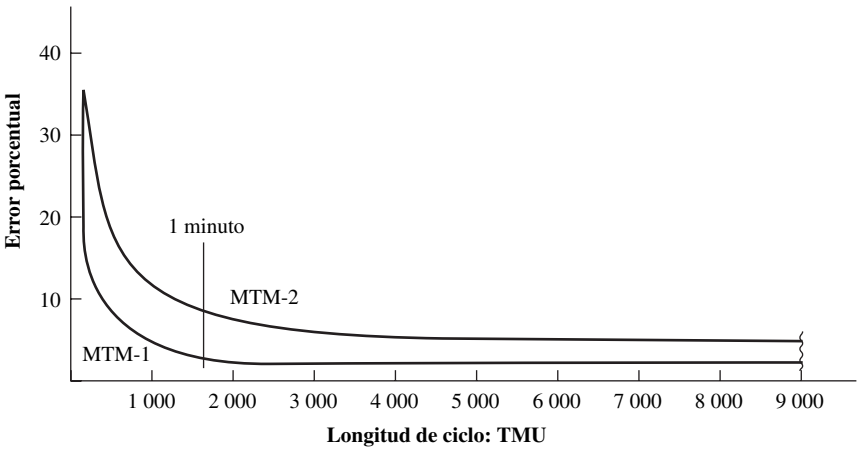


Figura 13.2 Porcentaje de variación de MTM-1 en comparación con MTM-2 con longitudes de ciclo crecientes.
Cortesía: MTM Association.

Tabla 13.3 Resumen de datos MTM-2

MTM-2							
Rango	**Código**	**GA**	**GB**	**GC**	**PA**	**PB**	**PC**
Hasta 2″	−2	3	7	14	3	10	21
De 2″ a 6″	−6	6	10	19	6	15	26
De 6″ a 12″	−12	9	14	23	11	19	30
De 12″ y 18″	−18	13	18	27	15	24	36
Más de 18″	−32	17	23	32	20	30	41
MTM ASSOCIATION ®	GW 1 - por 2 lb				PW 1 - por 10 lb		
	A	R	E	C	S	F	B
	14	6	7	15	18	9	61

Fuente: MTM Association.

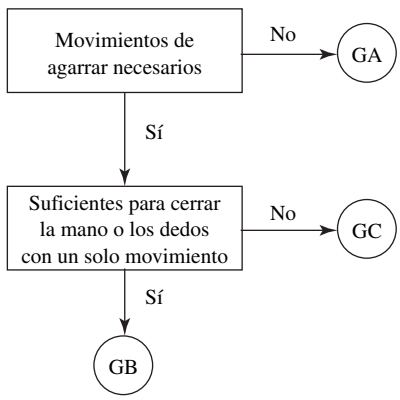


Figura 13.3 Algoritmo para determinar el caso de TOMAR.
Cortesía: MTM Association.

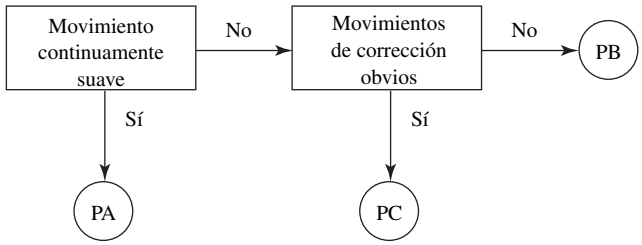


Figura 13.4 Algoritmo para determinar casos de PONER.
Cortesía: MTM Association.

Cuando se emplea MTM-2, los analistas estiman las distancias por clases, distancias que afectan los tiempos de las categorías TOMAR y PONER. Igual que en MTM-1, el analista basa la distancia de movimiento en la trayectoria que recorre el nudillo de la base del dedo índice para movimientos de manos, y en la trayectoria que recorren las puntas de los dedos, si sólo los dedos se mueven. Los códigos de las cinco clases de distancias tabuladas corresponden a los cinco niveles de clasificación de movimientos que se presentaron en la sección 4.2 (vea la tabla 13.3).

Tres variables afectan el tiempo que se requiere para realizar un TOMAR: el caso involucrado, la distancia que se recorre y el peso que se maneja. TOMAR se puede considerar un compuesto de los therbligs *alcanzar*, *agarrar* y *soltar*, mientras que PONER es una combinación de los therbligs *mover* y *posicionar*.

Los tres casos de tomar son A, B y C. El caso A implica un agarrar de contacto simple, como cuando los dedos empujan un objeto encima de un escritorio. Si un objeto, como un lápiz, se toma simplemente cerrando los dedos alrededor de él en un solo movimiento, éste es un caso B de agarrar. Si el tipo de agarrar no es A o B, entonces se trata del caso C de TOMAR. Los analistas pueden referirse al diagrama de decisiones (figura 13.3) como ayuda para determinar el caso correcto de TOMAR. Los valores tabulados en TMU de los tres casos, según se aplican a cada una de las cinco distancias codificadas, aparecen en la tabla 13.3.

PONER implica mover un objeto a un destino con la mano o los dedos. Comienza con un objeto agarrado y bajo control en el lugar inicial e incluye todos los movimientos de transporte y corrección para colocarlo en su destino. PONER termina cuando el objeto está quieto y bajo control en el nuevo lugar. Las variables de distancia y peso afectan tanto a PONER como a TOMAR.

Al igual que en el caso de TOMAR, también PONER consta de tres casos. El caso de PONER depende del número de correcciones de movimiento que se requieren. Una corrección es una detención, duda o cambio de dirección no intencional en el punto terminal.

1. *PA: Sin corrección*. Este movimiento, suave de principio a fin, es la acción que se emplea para dejar un objeto a un lado, colocarlo contra un tope o en un lugar aproximado. Éste es el PONER más común.
2. *PB: Una corrección*. Este PONER ocurre con mayor frecuencia al posicionar objetos de manejo fácil cuando se tiene un ajuste holgado. Es difícil de reconocer. El diagrama de decisión que se muestra en la figura 13.4 está diseñado para identificar este PONER por excepción.
3. *PC: Más de una corrección*. A menudo, las correcciones múltiples o varios movimientos no intencionales pero muy cortos resultan obvios. Estos movimientos no intencionales suelen ser causados por dificultad de manejo, ajustes estrechos, falta de simetría al acoplar partes o posiciones de trabajo incómodas.

Los analistas identifican los casos de PONER mediante el modelo de decisión que se muestra en la figura 13.4. Cuando hay duda, asignan la clase más alta. Si el acoplado de partes es seguido por una corrección y si la distancia de acoplado excede 1 pulgada (2.5 cm), se usa un PONER adicional. En la tabla 13.3 se proporcionan los valores tabulares de estos tres casos de PONER que se aplican a las cinco distancias codificadas (las mismas que para TOMAR).

Un aspecto técnico final que involucra PONER es que éste se puede ejecutar en una de dos maneras: inserción o alineación. Una inserción implica colocar un objeto dentro de otro, como un eje en una manga. Con una inserción, el punto terminal de una corrección es el punto de inserción. Una alineación implica orientar una parte sobre una superficie, como colocar una regla sobre una línea. La tabla 13.4 puede ser útil como ayuda para que el analista identifique el caso apropiado.

El peso en MTM-2 se determina de manera similar que en MTM-1. La adición del valor del tiempo para TOMAR CON PESO (GW) es 1 TMU por cada dos libras (1 kg). Así, si se maneja una

Tabla 13.4 Comparación de los PONER de inserción y alineación [pulg (mm)]

	PA	**PB**	**PC**
Inserción	Separación > 0.4 pulg (10.2 mm)	Separación < 0.4 pulg (10.2 mm)	Ajuste estrecho
Alineación	Tolerancia > 0.25 pulg (6.3 mm)	0.0625 pulg (1.6 mm) < Tolerancia < 0.25 pulg (6.3 mm)	Tolerancia < 0.0625 pulg (1.6 mm)

carga de 12 libras (6 kg) con ambas manos, el tiempo adicional debido al peso sería 3 TMU, puesto que el peso efectivo por mano sería de 6 libras (3 kg). Para PONER CON PESO (PW), las adiciones son 1 TMU por cada 10 lb (5 kg) de peso efectivo, hasta un máximo de 40 lb (20 kg). Los pesos menores a 4 lb (2 kg) no se consideran.

La categoría de AGARRAR DE NUEVO (R) también es semejante a MTM-1. Sin embargo, aquí se asigna un tiempo de 6 TMU. Los autores de MTM-2 puntualizan que para que tenga efecto un AGARRAR DE NUEVO, la mano debe retener el control.

APLICAR PRESIÓN (A) tiene un tiempo de 14 TMU. Los autores señalan que esta categoría se puede aplicar a cualquier miembro del cuerpo y que el movimiento máximo permisible para aplicar presión es de ¼ pulg (6.4 mm).

ACCIÓN DEL OJO (E) se toma en cuenta en cualquiera de los siguientes casos:

1. Los ojos deben moverse para observar diferentes aspectos de la operación que involucra a más de una sección específica del área de trabajo. Este movimiento se define como moverse más allá de un círculo de 4 pulg (10 cm) de diámetro a una distancia de visión típica de 16 pulg (40 cm). Observe que estas medidas equivalen al campo visual primario definido en el capítulo 4.
2. Los ojos deben concentrarse en un objeto para reconocer una característica distinguible.

El valor estimado de ACCIÓN DEL OJO es de 7 TMU. Este valor sólo se asigna cuando la ACCIÓN DEL OJO es independiente de los movimientos de manos o cuerpo.

GIRAR MANIVELA (C) ocurre cuando las manos o dedos mueven un objeto en una trayectoria circular de más de media evolución. Para menos de media revolución, se usa PONER. En MTM-2, la categoría de GIRAR MANIVELA tiene sólo dos variables: el número de revoluciones y el peso o resistencia. Se asigna un tiempo de 15 TMU a cada revolución completa. Cuando el peso o resistencia es significativo, se aplica un PONER CON PESO a cada revolución.

Los movimientos de PIE (F) son de 9 TMU y los de PASO son de 18 TMU. El tiempo de un movimiento de PASO se basa en un ritmo de 34 pulg (85 cm). El diagrama de decisión (vea la figura 13.5) puede ser útil para determinar si un movimiento dado es un PASO o un movimiento del PIE.

La categoría DOBLARSE Y LEVANTARSE ocurre cuando el cuerpo cambia su posición vertical. Los movimientos típicos de DOBLARSE Y LEVANTARSE incluyen: sentarse, ponerse de pie y arrodillarse. A esta categoría se le asigna un valor de 61 TMU. Sin embargo, cuando un operario se

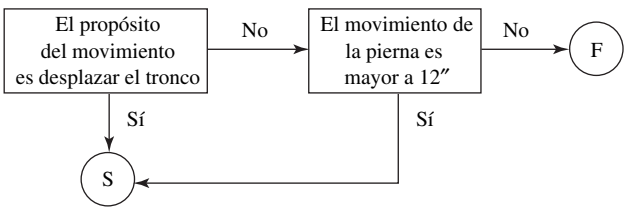


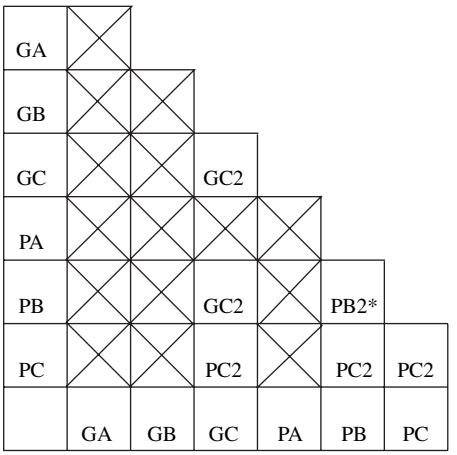
Figura 13.5 Algoritmo para diferenciar entre los movimientos de PASO (S) y PIE (F).
Cortesía: MTM Association.

Movimiento		TOMAR			PONER		
	Caso	GA	GB	GC	PA	PB O*W	PC
Tomar	GA					⊠	⊠
	GB					⊠	■
	GC			■	⊠	■	■
Poner	PA					⊠	⊠
	PB	⊠	⊠	■	⊠	■	■
	PC	⊠	■	■	⊠	■	■

Fácil □ Con práctica ⊠ Difícil ■

*O = Fuera; W = Dentro de la visión normal

Figura 13.6 Dificultad de movimientos simultáneos.
Cortesía: MTM Association.



*Si PB _____ se realiza simultáneamente con PB _____ , se hace una adición de PB2 sólo si las acciones quedan fuera del área de visión normal.

Figura 13.7 Holguras o suplementos para movimientos simultáneos de las manos en MTM-2.

arrodilla sobre ambas rodillas, el movimiento debe clasificarse como 2 B. La tabla 13.3 resume los valores aplicables de MTM-2.

Existen varias situaciones especiales que debe cuidar el analista para realizar un análisis MTM-2 correcto. Los movimientos que se realizan con las dos manos al mismo tiempo no siempre se pueden realizar en el mismo momento como si los llevara a cabo sólo una mano. La figura 13.6 refleja patrones de movimiento en los que el tiempo que se requiere para movimientos simultáneos es el mismo que el que se requiere para el movimiento de una mano. En estos casos, aparece un rectángulo abierto. Una X en el rectángulo indica que los movimientos simultáneos se efectuarán con la práctica. Un rectángulo sombreado indica que realizar los movimientos simultáneos es difícil, aun con práctica. En la figura 13.7 se muestra cuánto tiempo adicional requieren estos movimientos simultáneos difíciles. Un ejemplo de la aplicación de este *principio de movimientos simultáneos* se marca con ① en la figura 13.8. Se agrega un PC2 al tiempo total debido a dos movimientos simultáneos PC en las manos derecha e izquierda.

Una segunda situación involucra el *principio de movimientos limitantes*: en el caso de dos movimientos simultáneos con la mano izquierda y derecha, predomina el tiempo más largo. Este caso se muestra como un ② en la figura 13.8, con un círculo en el elemento más corto (GB18). Un GC12 tiene 23 TMU, comparado con 18 TMU de un GB18.

Si una mano realiza dos movimientos simultáneos, predomina el tiempo mayor debido al *principio de movimientos combinados*. Esto se aplicaría al caso ③; un GB18 es más largo que un F. (Para indicar un movimiento combinado, una curva conecta los dos renglones.)

Una situación similar se presenta en el caso ④, pero más complicada debido a la combinación de movimientos de la mano izquierda. En este caso, ya se supuso que R es parte de cualquier movimiento tipo C y se elimina. Por lo tanto, el tiempo global de los dos primeros renglones es 24 TMU, por el GB18 (18 TMU) de la mano derecha y R (6 TMU) en lugar de GC12 (23 TMU). Sin embargo, si R fuera un movimiento completamente separado, se debería contar. Como un ejemplo, en la figura 13.9 se muestra un análisis completo de MTM-2 para el ensamblado de una lámpara de mano.

MTM-3

El tercer nivel de medición de tiempos y movimientos es MTM-3. Este nivel se desarrolló para complementar MTM-1 y MTM-2. El MTM-3 es útil en situaciones de trabajo donde el interés de ahorrar tiempo a costa de cierta precisión lo convierte en la mejor alternativa. La exactitud de MTM-3 está dentro de ±5%, con un nivel de confianza de 95%, comparado con el análisis MTM-1 para ciclos de aproximadamente 4 minutos. Se ha estimado que MTM-3 se puede aplicar en cerca de un séptimo del tiempo requerido con MTM-1. Sin embargo, MTM-3 no se puede aplicar para operaciones que

Análisis de métodos MTM Página de

Operación:	Comentarios:
Estudio núm.:	
Fecha:	
Analista:	

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
(1)		PC6	26	PC6		
		PC2	21	PC2		
(2)		GC12	23	GB18		
(3)		GA2	18	GB18		
				F		
(4)		GC12	18	GB18		
		R	6	R		

Resumen	TMU totales	Conversión:	Porcentaje. (%) de holgura	Tiempo estándar:

Figura 13.8 Ejemplos de convenciones en MTM-2.

requieren tiempo para enfoque o recorrido de los ojos, puesto que los datos no consideran estos movimientos.

El sistema MTM-3 consiste en sólo cuatro categorías de movimientos manuales:

1. *Manejo* (H). Secuencia de movimientos con el propósito de controlar un objeto con la mano o los dedos y colocarlo en una nueva ubicación.
2. *Transporte* (T). Movimiento cuyo propósito es mover un objeto a una nueva ubicación con la mano o los dedos.
3. *Movimientos de paso y pie* (SF). Se definen igual que en MTM-2.
4. *Doblarse y levantarse* (B). También se definen igual que en MTM-2.
5. Los casos A o B están determinados por si existe un movimiento de corrección o no.

Análisis de métodos MTM Página de

Operación: ENSAMBLE DE LÁMPARA DE MANO			Comentarios:			
Estudio núm.: 1-2						
Fecha: 8-22						
Analista: AF						
Descripción	*Núm.*	*MI*	*TMU*	*MD*	*Núm.*	*Descripción*
LLEVAR CUERPO AL ÁREA		GB12	14	GB12		TOMAR BATERÍA # 1
DE TRABAJO		(PA12)	19	PB12		MOVER AL CUERPO
			6	R		AGARRAR DE NUEVO PARA ORIENTAR
			14	GB12		TOMAR BATERÍA # 2
			19	PB12		MOVER AL CUERPO
			6	R		AGARRAR DE NUEVO PARA ORIENTAR
			14	GB12		TOMAR TAPA
			19	PB12		MOVER TAPA
			6	R		AGARRAR DE NUEVO
			3	PA2		PRESIONAR RESORTE
			1	PW10		PRESIONAR CON FUERZA
			21	PC2		GIRAR HACIA ATRÁS - ALINEAR
			15	C		GIRAR POR COMPLETO
			14	A		APRETAR
BAJAR		PA12	11			
Resumen		**TMU totales** 182		**Conversión:** 0.0006	**(%) de holgura** 10	**Tiempo estándar:** 0.120

Figura 13.9 Análisis MTM-2 del ensamble de una lámpara de mano.

La tabla 13.5 presenta los datos MTM-3. Diez tiempos estándar que van de 7 a 61 TMU forman la base para el desarrollo de cualquier estándar sujeto a las limitaciones señaladas.

Tabla 13.5 Resumen de datos MTM-3

		Manejo		Transporte	
Pulgadas	**Código**	**HA**	**HB**	**TA**	**TB**
6	6	18	34	7	21
6	32	34	48	16	29
		SF 18		B 61	

MTM-V

MTM-V fue desarrollado por Svenska MTM Gruppen, la Asociación Sueca de MTM, para aplicarlo en las operaciones de corte de metales. Tiene un uso particular en corridas cortas de talleres de maquinado. Este método proporciona elementos de trabajo incluidos en 1) traer el trabajo al soporte, plantilla o sujeción, remover el trabajo de la máquina y dejarlo a un lado; 2) operar la máquina; 3) verificar el trabajo para asegurar la calidad del producto, y 4) limpiar el área importante de la máquina para mantener la producción de la instalación y la calidad del producto. MTM-V no cubre el tiempo del proceso que involucra las alimentaciones y velocidades.

Los analistas usan este sistema para establecer los tiempos de preparación de todas las máquinas herramienta comunes. Por lo tanto, se pueden calcular tiempos estándar de elementos como preparar y desmontar soportes, plantillas, topes, herramientas de corte e indicadores. Todos los ciclos manuales de 24 minutos (40 000 TMU) o más establecidos por MTM-V están dentro de ±5% de los que se obtienen con MTM-1 a un nivel de confianza de 95%. MTM-V es alrededor de 23 veces más rápido que MTM-1.

MTM-C

MTM-C, que se usa ampliamente en el sector de la banca y seguros, es un sistema de datos estándar de dos niveles que se utiliza para establecer tiempos estándar de tareas relacionadas con trabajo de oficina, como archivar, introducir datos y mecanografiar. Ambos niveles de MTM-C se pueden relacionar con datos de MTM-1.

El sistema proporciona tres rangos diferentes para alcanzar y mover (Tomar colocar). Un sistema de codificación numérica de seis sitios (similar al de MTM-V) proporciona una descripción detallada de la operación que se estudia.

MTM-C desarrolla estándares de la misma manera que los otros sistemas MTM. Los analistas los pueden combinar con datos de estándares probados existentes o con datos de estándares desarrollados mediante otras fuentes o técnicas. MTM-C está disponible en forma manual o automatizada. Para la última, se puede incorporar un conjunto de datos MTM-C en MTM-Link.

Las nueve categorías de nivel 1 que se emplean en MTM-C, y que se muestran en la tabla 13.6, son las siguientes:

1. *Tomar colocar*. Esta categoría incluye las divisiones de trabajo básicas que se requieren para tomar un objeto, moverlo al lado sin ceder el control y soltarlo. Por ejemplo, la codificación y descripción de un elemento en esta categoría puede ser 112210: Tomar una pequeña cantidad de material con un movimiento medio.
2. *Abrir/cerrar*. Las operaciones características de esta categoría corresponden a tareas como abrir o cerrar libros, puertas, cajones, carpetas, objetos con cierre, sobres y archivos. Un ejemplo de código de una operación representativa sería: 212100: Abrir tapa con bisagra, medio.
3. *Unir/desunir*. Esta categoría incluye poner y quitar clips de papel, sujetadores, ligas y grapas, todos elementos usados para unir materiales. Un código representativo de este elemento de trabajo sería 312130: Unir con clip grande para papel.

Tabla 13.6 Elementos de nivel 1 de MTM-C

Elementos de nivel 1	Símbolo
Tomar Colocar	11 X X X X
Abrir Cerrar	21 X X X X
Unir Desunir	31 X X X X
Organizar Archivos	4 X X X X X
Leer Escribir	5 X X X X X
Mecanografiar	6 X X X X X
Manipular	7 X X X X X
Caminar Movimientos del cuerpo	8 X X X X X
Máquinas	9 X X X X X

4. *Organizar archivos*. Esta categoría incluye los elementos básicos involucrados en las actividades de archivar y algo del manejo organizacional del trabajo relacionado directa o indirectamente con el archivo. Un ejemplo de codificación y descripción de esta categoría es 410400: Acomodar una pila de elementos en orden.
5. *Leer/escribir*. Esta categoría incluye la velocidad de lectura en prosa de 330 palabras por minuto. Los valores de tiempo para escribir se han desarrollado para letras, números y símbolos. Los valores son promedios ponderados basados en la frecuencia de ocurrencia de cada tipo de carácter en la prosa normal. Un ejemplo de codificación y una descripción representativas serían 510600: Leer prosa promedio, por palabra.
6. *Mecanografiar*. Esa categoría incluye todas las acciones relacionadas con la introducción de datos y las funciones manuales de mecanografía. Un ejemplo de codificación y descripción en esta categoría es 613530: Insertar un solo objeto en la máquina de escribir, larga distancia.
7. *Manejar*. Esta categoría abarca todas las actividades de oficina no incluidas en otras categorías. Un ejemplo de codificación y descripción de un elemento en esta categoría podría ser 760600: Adherir la ceja del sobre.
8. *Caminar Movimientos del cuerpo*. Esta categoría incluye los valores de caminar, basados en el paso. Los movimientos del cuerpo incluyen sentarse, ponerse de pie y los movimientos horizontal y vertical del cuerpo cuando está en una silla. Un ejemplo de codificación y descripción de un elemento en esta categoría es 860002: Moverse sentado en una silla giratoria.
9. *Máquinas*. Los datos de máquina son representativos de un grupo de equipos de tipo similar. Los datos de los teclados son ejemplos típicos de esta categoría.

Los datos del nivel 2 se relacionan directamente con el nivel 1 de MTM-1. Los elementos del nivel 2 y sus símbolos se muestran en la tabla 13.7. Los elementos del nivel 2 son los siguientes:

1. *Tomar/colocar/a un lado*. Estos elementos se aplican colectiva o separadamente. El ejemplo de codificación y elemento de esta categoría con divisiones colectivas básicas sería G5PA2: Tomar un lápiz para usarlo y dejarlo a un lado para su uso posterior.
2. *Abrir/cerrar*. Estos datos incluyen tomar un objeto que se abre o cierra. Los datos se aplican de manera individual o combinada, como sigue: C65: Cerrar cordón, amarrar sobre; o bien, OC4: Abrir y cerrar argollas de carpeta.
3. *Unir/desunir*. En el caso de unir (F), el elemento está formado por tomar los objetos para asegurarlos. En el de desunir (U), el elemento incluye tomar los objetos y separarlos.
4. *Identificar*. Los datos de este elemento incluyen los valores del recorrido del ojo, junto con el enfoque del ojo para identificar (I) palabras solas o en conjunto, así como series de números.
5. *Localizar archivar*. Los datos de este elemento cubren las actividades típicas cuando se archiva algún documento. La primera posición del código es L, de localizar. La segunda es una letra que corresponde también a la actividad de archivar, como LI (insertar), LR (remover), LT (inclinar y reemplazar).

Tabla 13.7 Elementos del nivel 2 de MTM-C

Elementos de nivel 2	Símbolo
A un lado	A
Movimientos del cuerpo	B
Cerrar	C
Unir	F
Tomar	G
Manejar	H
Identificar	I
Localizar archivar	L
Abrir	O
Colocar	P
Leer	R
Mecanografiar	T
Desunir	U
Escribir	W

6. *Leer/escribir*. Los datos de lectura incluyen leer palabras y números o caracteres solos. Leer, también contiene datos de leer y comparar detallados y de leer y transcribir. Los datos de escribir incluyen elementos de oficina comunes, como dirección, fecha, iniciales y nombres. El código y descripción del elemento de dos elementos representativos serían RW20: Leer 20 palabras y RCN25: Leer y comparar 25 números.
7. *Manipular*. Este elemento incluye las actividades reales de manejo de papeles del nivel 1: organizar y manejar datos. En la mayoría de los elementos, los objetos se obtienen con Tomar y con los elementos de acción de manejar o manipular. En el código de los elementos de manejo, H ocupa la primera posición. La segunda es la letra inicial de la actividad. Un ejemplo de codificación de doblar una hoja con dos dobleces sería HF12.
8. *Movimientos del cuerpo*. Estos elementos incluyen caminar, sentarse y ponerse de pie, doblarse y levantarse y movimientos horizontales del cuerpo sólo o en una silla.
9. *Mecanografiar.* Estos elementos incluyen tres secciones de datos: Manejar, teclear y corregir. Un ejemplo de códigos y descripción es TKE17E: teclear un renglón de 7 pulg (17.5 cm).

El MTM-C nivel 1 se puede calcular más rápido que MTM-2. Asimismo, la velocidad del nivel 2 de MTM-C es mayor que la de MTM-3. Compare los estándares para reemplazar una página en una carpeta de tres argollas, desarrollados primero con MTM-1 (vea la tabla 13.2), después con MTM-C nivel 1 (vea la tabla 13.8), y por último con MTM-C nivel 2 (vea la tabla 13.9). Observe qué tan cercanos son los tres estándares (vea la tabla 13.10).

MTM-M

MTM-M es un sistema de tiempos predeterminados para evaluar el trabajo del operario mediante un microscopio. Para desarrollar el MTM-M no se usaron los tiempos básicos de MTM-1, aunque las definiciones de los puntos inicial y terminal de los elementos de movimientos son compatibles con MTM-1. Los datos que se emplearon fueron los datos originales y se desarrollaron mediante el esfuerzo conjunto de las asociaciones MTM de Estados Unidos y Canadá. En general, MTM-M es un sistema de nivel más alto similar a MTM-2.

Este sistema tiene cuatro tablas principales y una subtabla. Los analistas deben considerar cuatro variables para seleccionar los datos adecuados: 1) tipo de herramienta, 2) condición de la herramienta, 3) características de terminación del movimiento y 4) razón de distancia/tolerancia. Los factores adicionales, distintos de la dirección del movimiento y estas cuatro variables, que tienen efecto en el tiempo de desempeño del movimiento, incluyen

1. Estado de carga de la herramienta, vacía o cargada.
2. Potencia del microscopio.
3. Distancia recorrida.
4. Tolerancia del posicionamiento.
5. Propósito del movimiento, según lo determinan las manipulaciones involucradas en la terminación del movimiento (por ejemplo, los trabajadores pueden usar pinzas para el agarre de contacto de un objeto, o para recoger un objeto).
6. Movimientos simultáneos.

Debido a la creciente cantidad de manufactura en microminiatura, se extenderá la aplicación de datos fundamentales similares a MTM-M. Tales datos permiten al analista establecer estándares justos, difíciles de determinar mediante los procedimientos por cronómetro. Es imposible establecer estándares elementales confiables por medio de la observación directa. Para el trabajo microscópico, sólo se pueden establecer estándares de operaciones elementales razonables mediante datos estándar similares a MTM-M o procedimientos de micromovimientos.

OTROS SISTEMAS MTM ESPECIALIZADOS

Otros tres sistemas MTM especializados son: MTM-TE, MTM-MEK y MTM-UAS. El primero de ellos, MTM-TE, se desarrolló para pruebas electrónicas. Este sistema consta de dos niveles de datos que se obtienen a partir de MTM-1 para la aplicación de pruebas básicas. El nivel 1 incluye los elementos *tomar*, *mover*, *movimientos del cuerpo*, *identificar*, *ajustar* y datos variados. El nivel 2

Tabla 13.8 Análisis de operación MTM-C (nivel 1)

Análisis de operación MTM-C				Validación
MTM Association for Standards and Research	MTM-C Nivel 1 Reemplazar página en carpeta de tres argollas			Página de
DEPARTAMENTO: Oficina	ANALISTA: CNR		FECHA: 11/77	

Núm.	Descripción	Referencia	Elemento (TMU)	Ocurrencia por ciclo	TMU por ciclo
1.	ABRIR CARPETA				
	Tomar carpeta de la repisa	113 520	21	1	21
	Dejar a un lado en el escritorio	123 002	22	1	22
	Tomar la cubierta	112 520	14	1	14
	Abrir la cubierta	212 100	15	1	15
2.	LOCALIZAR PÁGINA CORRECTA				
	Leer la primera página	510 000	7	2	14
	Localizar aproximadamente	451 120	16	3	48
	Identificar número de página	440 630	22	3	66
	Localizar página correcta	450 130	18	4	72
	Identificar páginas	440 630	22	3	66
3.	REEMPLAZAR PÁGINAS				
	Tomar las argollas de la carpeta	112 520	14	1	14
	Abrir las argollas	210 400	21	1	21
	Tomar hoja vieja	111 100	10	1	10
	Dejar hoja en bote de basura	123 002	22	1	22
	Tomar hoja nueva	111 100	10	1	10
	Insertar hoja en la carpeta	462 104	64	1	64
	Tomar argollas	112 520	14	1	14
	Cerrar argollas	222 400	21	1	21
4.	CERRAR CUBIERTA Y DEJAR CARPETA A UN LADO				
	Tomar cubierta	111 520	8	1	8
	Cerrar cubierta	222 100	13	1	13
	Tomar carpeta	112 520	14	1	14
	Dejar a un lado en la repisa	123 002	22	1	22
			TMU TOTALES POR CICLO		571
			HOLGURAS _____ %		
		HORAS ESTÁNDAR POR _____ UNIDAD			
			UNIDADES POR HORA		

incluye *tomar* y *colocar*, *leer* e *identificar*, *ajustar*, *movimientos del cuerpo* y *escribir*. También está disponible un tercer nivel de datos en la forma de datos sintetizados de nivel 1. Los datos de MTM-TE no cubren "solución de problemas" relativos a operaciones de pruebas electrónicas. Sin embargo, proporcionan guías para la investigación y recomendaciones para medir el trabajo de esta actividad.

El segundo sistema especializado, MTM-MEK, se diseñó para medir la producción de un solo artículo y lotes pequeños. Este sistema de dos niveles, que se desarrolló a partir de MTM-1, puede analizar todas las actividades manuales, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

1. La operación no es altamente repetitiva u organizada, aunque puede contener elementos similares a los que requieren métodos diferentes. El método que se emplea para realizar una operación dada varía de un ciclo a otro.
2. El sitio de trabajo, las herramientas y el equipo que se utilizan tienen carácter universal.
3. La tarea es compleja y necesita capacitación de los empleados; aun así, la falta de un método específico requiere un alto grado de versatilidad por parte del operario.

Tabla 13.9 Análisis de operación MTM-C (nivel 2)

	Análisis de operación MTM-C			Validación
	MTM-C nivel 2			Hoja de
MTM Association for Standards and Research	Reemplazar página en carpeta de 3 argollas			
DEPARTAMENTO: Oficina	ANALISTA: CNR			FECHA: 2/77
Núm. **Descripción**	**Referencia**	**Elemento (TMU)**	**Ocurrencia por ciclo**	**TMU por ciclo**
Tomar y dejar carpeta a un lado	G5A2	29	1	29
Abrir cubierta	O1	29	1	29
Leer primera página	RN2	14	1	14
Localizar páginas	LC12	129	1	129
Identificar páginas	130	22	6	132
Abrir argollas	O4	35	1	35
Quitar hoja	G1A2	32	1	32
Nueva página en argollas	HI14	84	1	84
Cerrar argollas	C4	35	1	35
Cerrar cubierta	C1	27	1	27
Dejar carpeta a un lado	G5A2	29	1	29
			TMU TOTALES POR CICLO	575

Tabla 13.10 Comparación de MTM-1, MTM-C (1) y MTM-C (2)

Técnicas	Número de elementos	Estándar
MTM-1	57	577.8
MTMT-C nivel 1	21	577
MTM-C nivel 2	11	575

Los objetivos de MTM-MEK son

1. Proporcionar una medición exacta de una actividad conectada con la producción de un solo artículo o lotes pequeños.
2. Proporcionar una descripción fácilmente definible del trabajo no organizado, que generalmente identifica un procedimiento.
3. Proporcionar una aplicación rápida.
4. Proporcionar precisión relativa a MTM-1.
5. Requerir capacitación y práctica en la aplicación mínimas.

Los datos de MTM-MEK consisten en 51 valores de tiempo divididos en las siguientes ocho categorías: tomar y colocar, manejar herramienta, colocar, operar, ciclos de movimiento, apretar o aflojar, movimientos del cuerpo y control visual. Además, existen datos estándar de una amplia variedad de tareas de ensamble en producción de un solo artículo y lotes pequeños. Estos datos consisten en 290 valores de tiempo ordenados en las siguientes categorías: apretar, sujetar y soltar, limpiar o aplicar lubricante/adhesivo, ensamblar partes estándar, inspeccionar y medir, marcar y transportar.

El tercer sistema especializado, MTM-UAS, es un sistema de tercer nivel que se desarrolló para proporcionar una descripción de proceso, así como para determinar los tiempos asignados a cualquier actividad relacionada con la producción por lotes. MTM-UAS se aplica a varias actividades si se encuentran presentes las siguientes características de producción por lotes:

1. Tareas similares.
2. Sitio de trabajo específicamente diseñado para la tarea.

3. Buenos niveles de organización de trabajo.
4. Instrucciones detalladas.
5. Operarios bien entrenados.

El sistema de análisis MTM-UAS consiste en 77 valores de tiempo en siete de las ocho categorías usadas en MTM-MEK: tomar y colocar, colocar, manejar herramienta, operar, ciclos de movimiento, movimientos del cuerpo y control visual. MTM-UAS es cerca de ocho veces más rápido que MTM-1. En tiempos de ciclo de 4.6 minutos o más, el estándar producido por el MTM-UAS está dentro de ±5% del producido por MTM-1, con un nivel de confianza de 95%.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS MTM

En la figura 13.10 se ilustra la exactitud absoluta total, a 90% de nivel de confianza de todos los sistemas MTM. En la tabla 13.11 se compara el nivel de detalle, como el número de therbligs que se utiliza, el tiempo para analizar un trabajo (expresado como un múltiplo del tiempo de ciclo de la tarea), y la exactitud de los tres sistemas MTM básicos. En forma global, MTM-2 puede ser una buena opción entre el tiempo excesivo que requiere MTM-1 y la poca precisión de MTM-3. Una tarea de 6 minutos requerirá aproximadamente de 600 minutos para ser analizada con MTM-2 y tendrá una desviación no mayor a 0.24 minutos.

13.2 TÉCNICA SECUENCIAL DE OPERACIÓN MAYNARD (MOST)

Una prolongación de MTM, llamada Técnica Secuencial de Operación Maynard (MOST, *Maynard Operation Sequence Technique*), es un sistema simplificado que desarrolló Zandin (1980), que se aplicó por primera vez en Saab-Scania en Suecia en 1967. Con MOST los analistas pueden establecer estándares al menos cinco veces más rápido que con MTM-1, con poco o ningún sacrificio de exactitud.

Al igual que en MTM, el sistema MOST tiene tres niveles. Al nivel más alto, MaxiMOST se utiliza para analizar operaciones largas e infrecuentes. Tales operaciones pueden tener una longitud de 2 minutos a varias horas, ocurren menos de 150 veces por semana y tienden a padecer una gran variabilidad. Por lo tanto, es muy rápido pero menos exacto. Al nivel más bajo, MiniMOST se usa para operaciones muy cortas y muy frecuentes. Tales operaciones tienen menos de 1.6 minutos de longitud, se repiten más de 1 500 veces por semana, y tienen poca variabilidad. En consecuencia, el análisis es muy detallado y preciso pero consume bastante tiempo. El nivel intermedio de exactitud está cubierto por BasicMOST, que cubre operaciones entre los dos rangos descritos anteriormente. La operación típica más apropiada de BasicMOST tendría entre 0.5 y 3 minutos de longitud.

MOST identifica tres modelos básicos de secuencias: movimiento general, movimiento controlado y uso de herramienta y equipo. La secuencia de movimiento general identifica el movimiento libre de un objeto en el espacio, por el aire, mientras que la secuencia controlada describe el movimiento de un objeto que permanece en contacto con una superficie o sujeto a otro durante

Tabla 13.11 Comparación de MTM-1, MTM-2 y MTM-3

Therbligs utilizados	MTM-1	MTM-2	MTM-3
	Soltar, Alcanzar, Agarrar → Tomar; Mover, Posicionar → Poner	Tomar, Poner	Manejar
Tiempo para analizar la tarea	250 × tiempo de ciclo	100 × tiempo de ciclo	35 × tiempo de ciclo
Velocidad relativa	1	2.5	7
Tiempo/exactitud - 100 TMU	15 min/± 21%	6 min/± 40%	2 min/± 70%
Tiempo/exactitud – 10 000 TMU	1 500 min/± 2.1%	600 min/± 4%	200 min/± 7%

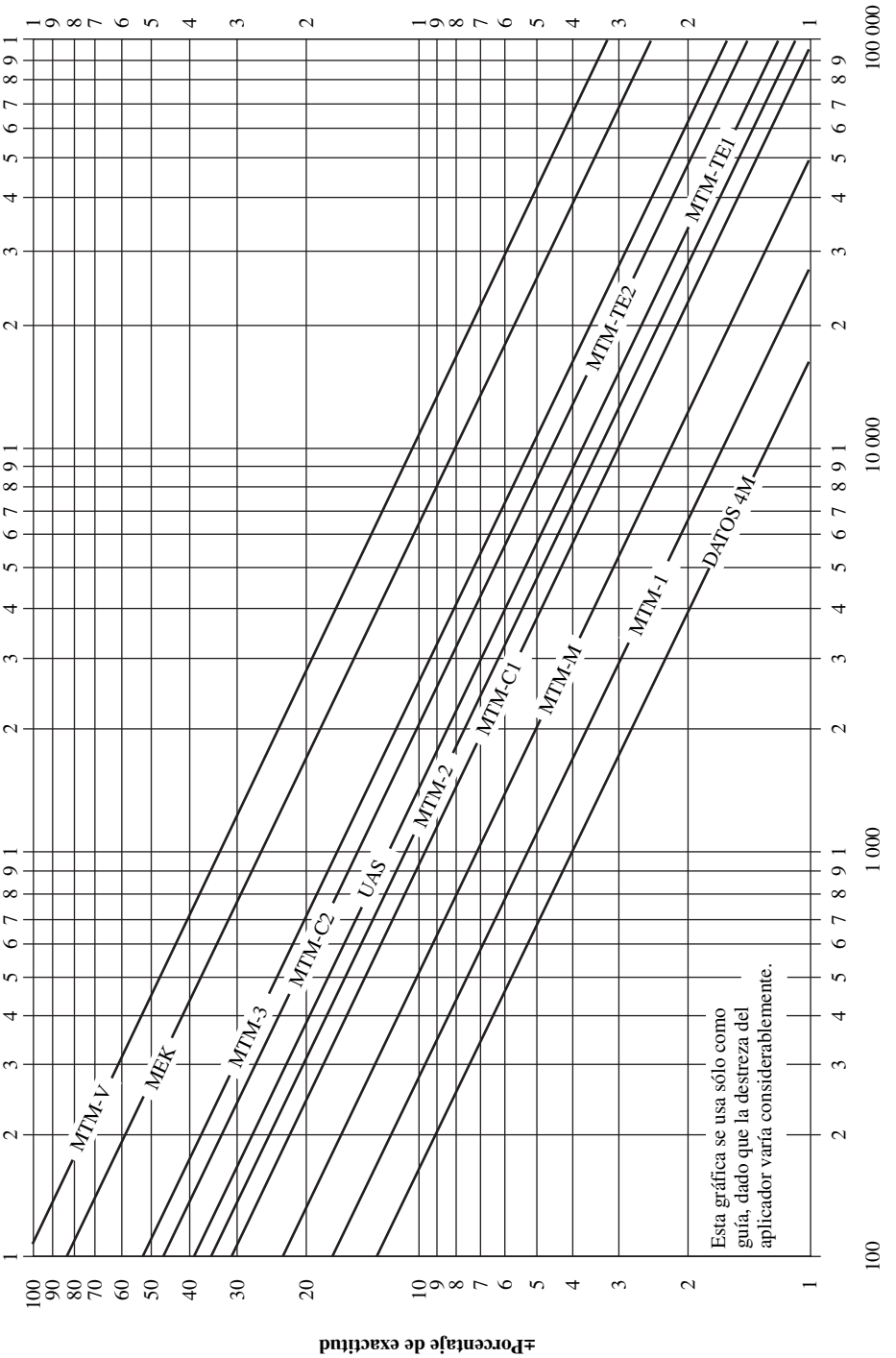


Figura 13.10 Exactitud absoluta total a un nivel de confianza de 90% de los diferentes sistemas MTM.

Movimiento general

Tomar	Poner	Regresar
A B G	A B P	A

Movimiento controlado

Tomar	Mover/Actuar	Regresar
A B G	M X I	A

Uso de herramienta/equipo

Tomar	Poner en lugar	Usar	Poner a un lado	Regresar
A B G	A B P	*	A B P	A

Figura 13.11 Actividades y subactividades de BasicMOST.

el movimiento. La secuencia de uso de herramienta y equipo está dirigida al uso de herramientas manuales comunes y otras piezas de equipo.

Para identificar la manera exacta en que se realiza un movimiento, el analista debe considerar cuatro subactividades: distancia de acción (A), que tiene una distancia de movimiento primordialmente horizontal; movimiento del cuerpo (B), que es un movimiento principalmente vertical; logro de control (G), y colocación (P). Estas subactividades se agrupan en tres fases: tomar, poner y regresar (vea la figura 13.11). Tomar significa alcanzar cierta distancia con las manos, quizá con movimiento corporal o con pasos, alcanzar un objeto y obtener control manual de éste. Se usan tres de las subactividades A, B y G para definir esta fase del movimiento general. Poner es mover el objeto cierta distancia hasta una nueva ubicación (A), quizá con movimiento del cuerpo (B), y colocar el objeto en una ubicación específica (P). Regresar significa caminar de vuelta cierta distancia hasta la estación de trabajo (A). Esto no se aplica para las manos y comúnmente si el operario permanece en la estación de trabajo no hay regreso.

Cada subactividad se define con mayor detalle mediante valores indexados relacionados con el tiempo correspondiente a la dificultad relativa de la subactividad. MOST comienza con los valores 0, 1, 3, 6, 10 y 16, pero pueden seguir hasta valores más altos para subactividades muy específicas, como caminar largas distancias o movimientos controlados largos o complicados. En las figuras

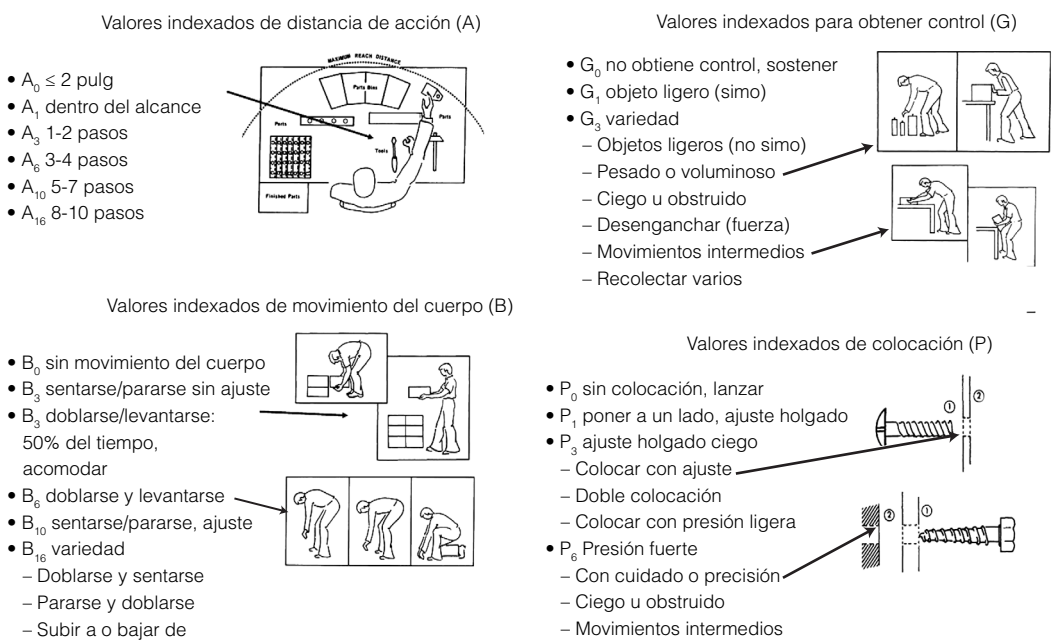
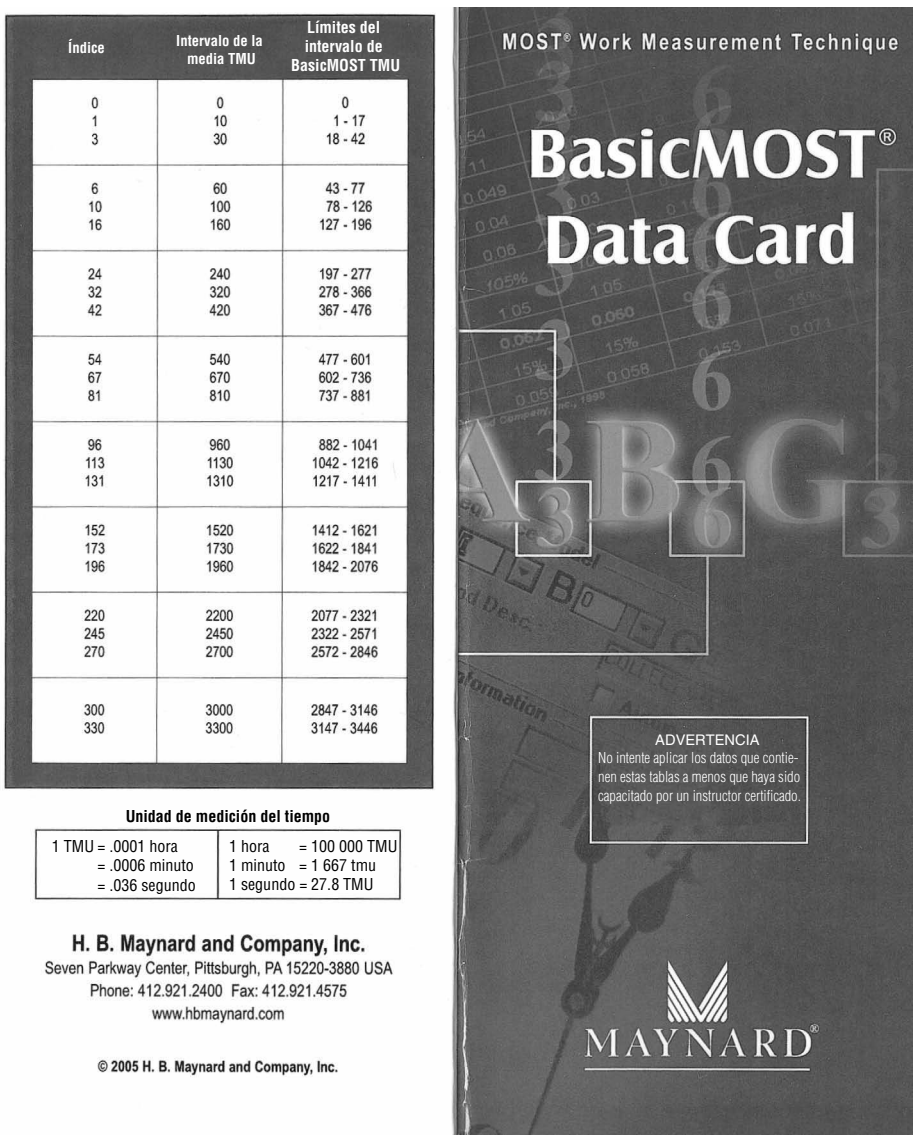


Figura 13.12 Subactividades del movimiento general.

13.12 y 13.13 se muestran los valores indexados específicos del movimiento general. Estos valores indexados, cuando se escalan por un factor de 10, dan los valores de tiempo adecuados de las subactividades en TMU.

Por ejemplo, tomar una arandela a 5 pulgadas (12.5 cm) de distancia, colocar un perno localizado a 5 pulgadas y regresar a la posición original daría como resultado: $A_1B_0G_1A_1B_0P_1A_1$ con un tiempo total de $(1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1) \times 10 = 50$ TMU. Tomar se define por A_1 = alcanzar la arandela con un recorrido de 5 pulgadas, B_0 = ningún movimiento del cuerpo, G_1 = agarrar la arandela; poner está definido por A_1 = colocar arandela con recorrido de 5 pulgadas. B_0 = ningún movimiento del cuerpo, P_1 = colocar arandela con ajuste holgado. El final, A_1 = regresar a la posición original con recorrido de 5 pulgadas.

Alrededor de 50% del trabajo manual ocurre como un movimiento general. Un movimiento general típico puede incluir los parámetros de caminar a un sitio, doblarse para recoger un objeto, alcanzar y controlar el objeto, levantarse después de doblarse y colocar el objeto. Como otro ejemplo, considere caminar tres pasos, doblarse para recoger un perno del piso, levantarse, caminar los tres pasos de regreso y colocar el perno en un orificio. El análisis da como resultado $A_6B_6G_1A_1B_0P_3A_0$ con un tiempo total de $(6 + 6 + 1 + 1 + 3 + 0) \times 10 = 170$ TMU. Tomar está definido por A_6 = caminar tres



Índice	Intervalo de la media TMU	Límites del intervalo de BasicMOST TMU
0	0	0
1	10	1 - 17
3	30	18 - 42
6	60	43 - 77
10	100	78 - 126
16	160	127 - 196
24	240	197 - 277
32	320	278 - 366
42	420	367 - 476
54	540	477 - 601
67	670	602 - 736
81	810	737 - 881
96	960	882 - 1041
113	1130	1042 - 1216
131	1310	1217 - 1411
152	1520	1412 - 1621
173	1730	1622 - 1841
196	1960	1842 - 2076
220	2200	2077 - 2321
245	2450	2322 - 2571
270	2700	2572 - 2846
300	3000	2847 - 3146
330	3300	3147 - 3446

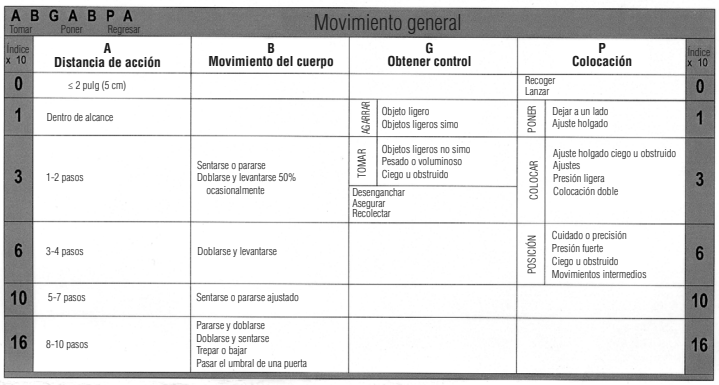
Unidad de medición del tiempo

1 TMU = .0001 hora	1 hora = 100 000 TMU
= .0006 minuto	1 minuto = 1 667 tmu
= .036 segundo	1 segundo = 27.8 TMU

H. B. Maynard and Company, Inc.
Seven Parkway Center, Pittsburgh, PA 15220-3880 USA
Phone: 412.921.2400 Fax: 412.921.4575
www.hbmaynard.com

© 2005 H. B. Maynard and Company, Inc.

Figura 13.13 Tarjeta de datos de BasicMOST®.



A B G A B P A — Tomar, Poner, Regresar

Movimiento general

Índice x 10	A Distancia de acción	B Movimiento del cuerpo	G Obtener control		P Colocación		Índice x 10
0	≤ 2 pulg (5 cm)				Recoger Lanzar		0
1	Dentro de alcance		AGARRAR	Objeto ligero Objetos ligeros simo	PONER	Dejar a un lado Ajuste holgado	1
3	1-2 pasos	Sentarse o pararse Doblarse y levantarse 50% ocasionalmente	TOMAR	Objetos ligeros no simo Pesado o voluminoso Ciego u obstruido	COLOCAR	Ajuste holgado ciego u obstruido Ajustes Presión ligera Colocación doble	3
			Desenganchar Asegurar Recolectar				
6	3-4 pasos	Doblarse y levantarse			POSICIÓN	Cuidado o precisión Presión fuerte Ciego u obstruido Movimientos intermedios	6
10	5-7 pasos	Sentarse o pararse ajustado					10
16	8-10 pasos	Pararse y doblarse Doblarse y sentarse Trepar o bajar Pasar el umbral de una puerta					16

A Distancia de acción — Valores extendidos

Índice	Pasos	Pies	Metros
24	11 - 15	38	12
32	16 - 20	50	15
42	21 - 26	65	20
54	27 - 33	83	25
67	34 - 40	100	30
81	41 - 49	123	38
96	50 - 57	143	44
113	58 - 67	168	51
131	68 - 78	195	59
152	79 - 90	225	69
173	91 - 102	255	78
196	103 - 115	288	88
220	116 - 128	320	98
245	129 - 142	355	108
270	143 - 158	395	120
300	159 - 174	435	133
330	175 - 191	478	146



A B G M X I A — Tomar, Mover/actuar, Regresar

Movimiento controlado

Índice x 10	M Movimiento controlado		X Tiempo de proceso			I Alineación	Índice x 10
	Empujar/jalar/girar	Manivela	Segundos	Minutos	Horas		
1	≤ 12 pulg, (30 cm) Botón Interruptor Perilla		.5 seg.	.01 Min.	.0001 Hr.	1 punto	1
3	> 12 pulg, (30 cm) Resistencia Sentar o desmontar Alto control 2 etapas ≤ 24 pulg (60 cm) Total	1 Rev.	1.5 seg.	.02 Min.	.0004 Hr.	2 puntos ≤ 4 pulg (10 cm)	3
6	2 etapas > 24 pulg (60 cm) Total 1–2 pasos	2 - 3 Rev.	2.5 seg.	.04 Min.	.0007 Hr.	2 puntos > 4 pulg (10 cm)	6
10	3-4 etapas 3-5 pasos	4 - 6 Rev.	4.5 seg.	.07 Min.	.0012 Hr.		10
16	6-9 pasos	7 - 11 Rev.	7.0 seg.	.11 Min.	.0019 Hr.	Precisión	16

M Jalar o empujar — Valores extendidos

Índice	Pasos
24	10 - 13
32	14 - 17
42	18 - 22
54	23 - 28
67	29 - 34

Manivela — Valores extendidos

Índice	Revoluciones.
24	12 - 16
32	17 - 21
42	22 - 28
54	29 - 36

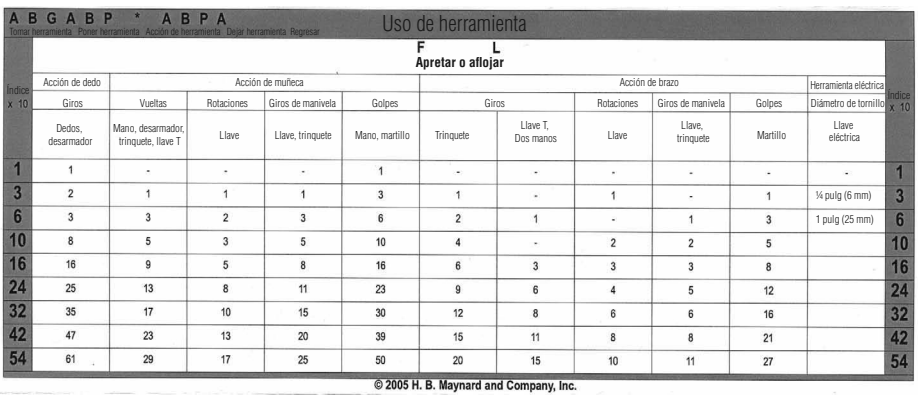
I Alineamiento de herramientas de maquinado

Índice	Alinear con
3	Pieza de trabajo
6	Marca de escala
10	Carátula indicadora

Alineación de objetos no típicos

Índice	Método de posicionamiento
0	Contratope(s)
3	1 ajuste al tope
6	2 ajustes al tope(s) 1 ajuste a 2 topes
10	3 ajustes a tope(s) 2-3 ajustes a línea de marca

Características de objeto no típico
Plana, larga, débil, aguda Difícil de manejar



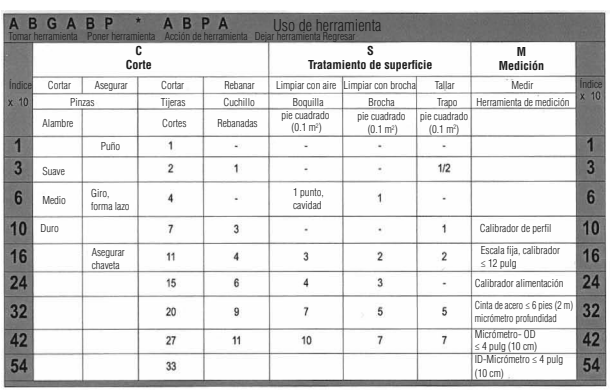
A B G A B P * A B P A — Tomar herramienta, Poner herramienta, Acción de herramienta, Dejar herramienta, Regresar

Uso de herramienta

F L Apretar o aflojar

Índice x 10	Acción de dedo	Acción de muñeca				Acción de brazo					Herramienta eléctrica	Índice x 10
	Giros	Vueltas	Rotaciones	Giros de manivela	Golpes	Giros		Rotaciones	Giros de manivela	Golpes	Diámetro de tornillo	
	Dedos, desarmador	Mano, desarmador, trinquete, llave T	Llave	Llave, trinquete	Mano, martillo	Trinquete	Llave T, Dos manos	Llave	Llave, trinquete	Martillo	Llave eléctrica	
1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
3	2	1	1	1	3	1	-	1	-	1	¼ pulg (6 mm)	3
6	3	3	2	3	6	2	1	-	1	3	1 pulg (25 mm)	6
10	8	5	3	5	10	4	-	2	2	5		10
16	16	9	5	8	16	6	3	3	3	8		16
24	25	13	8	11	23	9	6	4	5	12		24
32	35	17	10	15	30	12	8	6	6	16		32
42	47	23	13	20	39	15	11	8	8	21		42
54	61	29	17	25	50	20	15	10	11	27		54

© 2005 H. B. Maynard and Company, Inc.



A B G A B P * A B P A — Tomar herramienta, Poner herramienta, Acción de herramienta, Dejar herramienta, Regresar

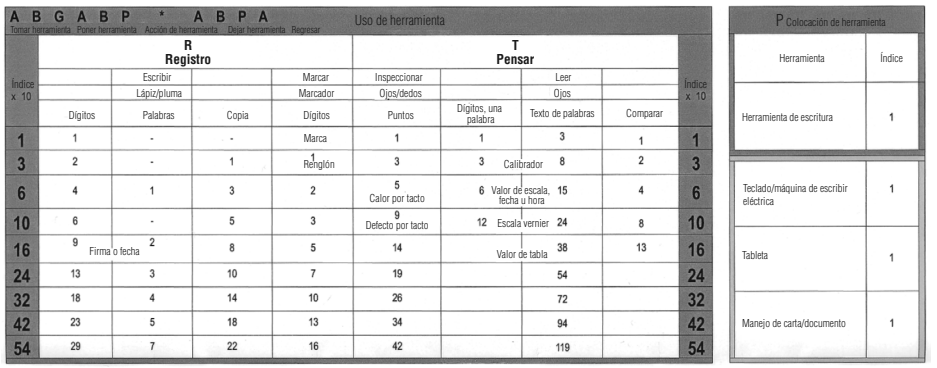
Uso de herramienta

Índice x 10	C Corte				S Tratamiento de superficie			M Medición	Índice x 10
	Cortar	Asegurar	Cortar	Rebanar	Limpiar con aire	Limpiar con brocha	Tallar	Medir	
	Pinzas		Tijeras	Cuchillo	Boquilla	Brocha	Trapo	Herramienta de medición	
	Alambre		Cortes	Rebanadas	pie cuadrado (0.1 m²)	pie cuadrado (0.1 m²)	pie cuadrado (0.1 m²)		
1		Puño	1	-	-	-	-		1
3	Suave		2	1	-	-	1/2		3
6	Medio	Giro, forma lazo	4	-	1 punto, cavidad	1	-		6
10	Duro		7	3	-	-	1	Calibrador de perfil	10
16		Asegurar chaveta	11	4	3	2	2	Escala fija, calibrador ≤ 12 pulg	16
24			15	6	4	3	-	Calibrador alimentación	24
32			20	9	7	5	5	Cinta de acero ≤ 6 pies (2 m) micrómetro profundidad	32
42			27	11	10	7	7	Micrómetro- OD ≤ 4 pulg (10 cm)	42
54			33					ID-Micrómetro ≤ 4 pulg (10 cm)	54

P Colocación de herramienta

Herramienta	Índice	Herramienta	Índice
Martillo	0 (1)	Herramienta de medición	1
Dedos o mano	1 (3) (6)	Desarmador	3
Pinzas	1 (3)	Trinquete	3
Pinzas	1 (3)	Llave T	3
Cuchillo	1 (3)	Llave T	3
Herramienta para tratamiento de superficie	1	Herramienta eléctrica	3
		Llave ajustable	6 (3)

Figura 13.13
(*continuación*)

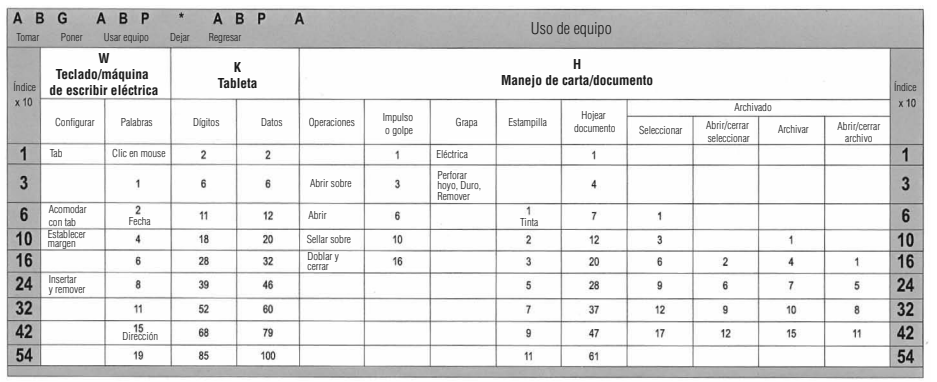


A B G A B P * A B P A — Uso de herramienta
Tomar herramienta · Poner herramienta · Acción de herramienta · Dejar herramienta · Regresar

Índice x 10	R Registro: Escribir Lápiz/pluma — Dígitos	Palabras	Copia	Marcar Marcador — Dígitos	T Pensar: Inspeccionar Ojos/dedos — Puntos	Dígitos, una palabra	Leer Ojos — Texto de palabras	Comparar	Índice x 10
1	1	-	-	Marca	1	1	3	1	1
3	2	-	1	1 Renglón	3	3 Calibrador	8	2	3
6	4	1	3	2	5 Calor por tacto	6 Valor de escala, fecha u hora	15	4	6
10	6	-	5	3	9 Defecto por tacto	12 Escala vernier	24	8	10
16	9 Firma o fecha	2	8	5	14	Valor de tabla	38	13	16
24	13	3	10	7	19		54		24
32	18	4	14	10	26		72		32
42	23	5	18	13	34		94		42
54	29	7	22	16	42		119		54

P Colocación de herramienta

Herramienta	Índice
Herramienta de escritura	1
Teclado/máquina de escribir eléctrica	1
Tableta	1
Manejo de carta/documento	1



A B G A B P * A B P A — Uso de equipo
Tomar · Poner · Usar equipo · Dejar · Regresar

Índice x 10	W Teclado/máquina de escribir eléctrica: Configurar	Palabras	K Tableta: Dígitos	Datos	H Manejo de carta/documento: Operaciones	Impulso o golpe	Grapa	Estampilla	Hojear documento	Archivado: Seleccionar	Abrir/cerrar seleccionar	Archivar	Abrir/cerrar archivo	Índice x 10
1	Tab	Clic en mouse	2	2		1	Eléctrica		1					1
3		1	6	6	Abrir sobre	3	Perforar hoyo, Duro, Remover		4					3
6	Acomodar con tab	2 Fecha	11	12	Abrir	6		1 Tinta	7	1				6
10	Establecer margen	4	18	20	Sellar sobre	10		2	12	3		1		10
16		6	28	32	Doblar y cerrar	16		3	20	6	2	4	1	16
24	Insertar y remover	8	39	46				5	28	9	6	7	5	24
32		11	52	60				7	37	12	9	10	8	32
42		15 Dirección	68	79				9	47	17	12	15	11	42
54		19	85	100				11	61					54

Figura 13.13
(*continuación*)

pasos hasta el objeto, B_6 = doblarse y levantarse, G_1 = obtener control del objeto ligero; poner está definido por A_6 = caminar tres pasos para colocar el objeto, B_0 = ningún movimiento del cuerpo, P_3 = colocar y ajustar el objeto y A_0 = sin regreso.

La secuencia de movimiento controlado cubre operaciones manuales como girar una manivela, jalar una palanca de arranque, girar un volante o conectar un interruptor de inicio e incluye aproximadamente un tercio de todas las secuencias de trabajo. En las secuencias de movimiento controlado, se usan las siguientes subactividades: distancia de acción (A), movimiento del cuerpo (B), obtener control (G) ya definidas y las nuevas subactividades, movimiento controlado (M), en el cual se controla el objeto; tiempo de proceso (X), controlado no mediante acciones manuales sino por dispositivos mecánicos; alineación (I), la conclusión final del proceso de movimiento controlado para lograr la alineación de dos objetos. Estas subactividades también se agrupan en tres fases: tomar, mover/actuar y regresar. Al igual que para el movimiento general, tomar implica alcanzar cierta distancia con las manos por un objeto (A), quizá con movimiento del cuerpo o pasos (B), y después obtener control manual del objeto (G). El movimiento es sobre una trayectoria controlada y quizá con movimiento del cuerpo o pasos (M), con una asignación de tiempo para que ocurra el proceso de control o para que actúe un dispositivo (X), y la alineación final del objeto al final del tiempo del proceso (I). Por último, de manera semejante al movimiento general, existe un regreso al sitio de trabajo (A), si es necesario. De nuevo existen valores indexados básicos 0, 1, 3, 6, 10 y 16 con valores más grandes para tiempos de proceso más largos. Las subactividades se muestran en la figura 13.14 y con la tabulación completa que se presenta en la figura 13.13.

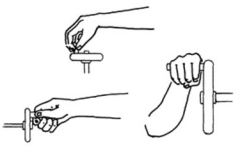
Como ejemplo de un movimiento controlado, el enganche de una palanca de alimentación en una fresadora da como resultado $A_1B_0G_1M_1X_{10}I_0A_0$ con un tiempo total de $(1 + 0 + 1 + 1 + 10 + 0 + 0) \times 10 = 130$ TMU. La subactividad de tomar está definida por A_1 = alcanzar la palanca (al alcance), B_0 = sin movimiento del cuerpo y G_1 = obtener control de la palanca ligera. La subactividad mover/actuar está definida por M_1 = mover palanca (< 12 pulg) para activar la máquina, con un X_{10} = tiempo de proceso de ~3.5 segundos, e I_0 = no requiere alineación. El final A_0 = sin regreso al sitio de trabajo; es decir, todas las actividades ocurridas en la misma estación de trabajo. En un segundo ejemplo,

Mover (M): Valores indexados de Empujar/Jalar/Pivotear

- M_1 una etapa ≤ 12 pulg
  - o presionar botón/interruptor
- M_3 una etapa > 12 pulg
  - o empujar con fuerza
  - o sentar/desmontar
  - o alto control
  - o dos etapas ≤ 24 pulg
- M_6 dos etapas > 24 pulg
  - o con 1-2 pasos
- M_{10} 3-4 etapas
  - o 3-4 pasos
- M_{16} 6-9 pasos
- Valores extendidos

Mover (M): Valores indexados de manivela

- Girar manivela
  - mover dedos, muñeca, antebrazo, en trayectoria circular > ½ rev
  - si < ½ rev entonces es un empujar/jalar/pivotear
- M_3 = 1 rev
- M_6 = 2-3 rev
- M_{10} = 4-6 rev
- M_{16} = 7-11 rev



Valores indexados de tiempo de proceso (X)

Valor índice	Segundos	Minutos
0	Sin tiempo de proceso	
1	0.5	0.01
3	1.5	0.02
6	2.5	0.04
10	4.5	0.07
16	7.0	0.11
330	124	2.06

Valores indexados de alineación (I)

- Suponer dentro del área de visión normal
- I_1 a un punto en una sola acción correctiva
- I_3 a dos ≤ 4 pulg de distancia
- I_6 a dos > 4 pulg de distancia
- I_{16} con precisión

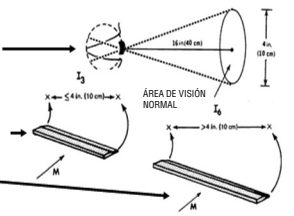


Figura 13.14 Subactividades de movimiento controlado.

más complicado, un operario de prensa mueve una lámina delgada de 4 × 8 pies de acero, una distancia de 14 pulgadas. La lámina se alinea con dos topes sobre extremos opuestos de la lámina (no es necesario reposicionar las manos durante la alineación). El operador da un paso atrás para obtener control de la lámina. El análisis da como resultado $A_3B_0G_3M_3X_0I_6A_0$ con un tiempo de (3 + 0 + 3 + 3 + 0 + 6 + 0) × 10 = 150 TMU. La subactividad tomar se define con A_3 = un paso atrás para manejar el tamaño extra de la lámina, B_0 = sin movimiento vertical del cuerpo, y G_3 = tomar control de objeto voluminoso. La subactividad mover/actuar se define con M_3 = mover hoja más de 12 pulgadas, con X_0 = cero tiempo de proceso e I_6 = una alineación con dos puntos, los puntos separados por más de 4 pulgadas. El final A_0 = sin regreso al sitio de trabajo; es decir, todas las actividades ocurren en la misma estación de trabajo.

La tercera y última actividad de secuencia en BasicMOST es el uso de herramienta y equipo. Cortar, tratar superficie, calibrar, apretar, registrar con herramientas, mecanografiar, manejo de papel, y aunque pueda pensar que quedan cubiertas en esta secuencia todas las actividades, esto es sólo un sexto de todas las secuencias de trabajo. La secuencia de actividad de uso de herramienta/equipo abarca una combinación de las actividades de movimiento general y movimiento controlado con cinco fases de subactividades: 1) tomar herramienta, 2) poner la herramienta en su sitio para su uso, 3) usar la herramienta, 4) poner la herramienta a un lado y 5) regresar al sitio de trabajo (si es necesario). Tomar herramienta significa alcanzar cierta distancia con las manos por la herramienta, quizá con movimiento del cuerpo o pasos y obtención de control de la herramienta, con las mismas subactividades A, B y G que en el caso del movimiento general o controlado. Colocar la herramienta en el lugar para su uso incluye mover la herramienta a donde será usada (A), quizá con movimiento del cuerpo o pasos (B) y un posicionamiento final para el uso (P). El uso de la herramienta o la pieza de equipo específica tiene una variedad de acciones comunes: F = apretar, es decir, ensamblar con los dedos o una herramienta; L = aflojar, esto es, desensamblar con dedos o herramientas, opuesto a F; C = cortar, separar o dividir con una herramienta afilada; S = tratar superficie, es decir, aplicar o retirar material de la superficie de un objeto; M = medir, esto es, comparar las características físicas del objeto con un estándar; R = registrar información con pluma o lápiz; T = pensar, es decir acciones del ojo o actividad mental para obtener información o para inspeccionar un objeto; W = teclado o máquina de escribir, es decir, usar un dispositivo mecánico o electrónico para introducir datos; K = tableta, esto es, usar una tableta alfanumérica como en un PDA o teléfono, y H = manejo de carta o papel, es decir, el desempeño de diferentes actividades con el papel y operaciones de búsqueda. Poner la herramienta a un lado (quizá para un reúso posterior) es similar a poner para el movimiento general con subactividades A, B y P. Finalmente, como en los casos de los movimientos general y controlado, existe un regreso al sitio de trabajo si es necesario (A). De nuevo hay valores indexados básicos 0, 1, 3, 6, 10 y 16 donde los más grandes son para las acciones más complicadas. La tabulación completa se muestra en la tabla 13.12.

Como ejemplo de herramienta de uso, un operador recoge un cuchillo de una mesa a dos pasos de distancia, hace un corte a través de la parte superior de una caja de cartón, y pone el cuchillo de nuevo en la mesa. El análisis da como resultado $A_3B_0G_1A_3B_0P_1C_3A_3B_0P_1A_0$, con un tiempo total de (3 + 0 + 1 + 3 + 0 + 1 + 3 + 3 + 0 + 1) × 10 = 150 TMU. La fase tomar se define con A_3 = caminar dos pasos, B_0 = sin movimiento vertical del cuerpo, y G_1 = obtener control de un cuchillo ligero. La fase poner consiste en A_3 = caminar dos pasos atrás, B_0 = sin movimiento vertical del cuerpo y P_1 = ajuste holgado del cuchillo en la caja. La fase uso de la herramienta es C_3 = rebanar una vez con el cuchillo. La fase poner herramienta a un lado está definido por A_3 = caminar dos pasos atrás hasta la mesa, B_0 = sin movimiento vertical del cuerpo y P_1 = dejar cuchillo sobre la mesa. El final A_0 = sin regreso; es decir, el operario permanece en la mesa.

Otro ejemplo involucra una operación de prueba, en la cual un técnico recoge un medidor, lo coloca en una terminal y lee un voltaje en la escala métrica. Después el medidor se coloca a un lado. El análisis da como resultado $A_1B_0G_1A_1B_0P_3T_6A_1B_0P_1A_0$, con un tiempo total de (1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 3 + 6 + 1 + 0 + 1 + 0) × 10 = 140 TMU. La fase tomar se define por A_1 = alcanzar el medidor (dentro del alcance), B_0 = sin movimiento vertical del cuerpo, y G_1 = obtener control del medidor ligero. La fase poner consiste en A_1 = mover la mano con el medidor dentro del alcance, B_0 = sin movimiento vertical del cuerpo y P_3 = colocar el medidor con ajuste en la terminal. La fase uso de herramienta es T_6 = leer valor de voltaje en la escala. La fase poner herramienta a un lado se define con A_1 = mover medidor atrás dentro de alcance, B_0 = sin movimiento vertical de cuerpo y P_1 = poner medidor de nuevo en la mesa. El final A_0 = sin regreso; es decir, el operario permanece en la mesa.

El análisis se realiza en el formato de BasicMOST (vea la figura 13.15). La información básica como código de tarea y fecha ① se introduce en la esquina superior derecha. El área de trabajo ② se introduce debajo con información sobre la actividad o tarea y las condiciones encontradas ③. La tarea se desglosa en actividades adecuadas, las cuales se numeran de manera secuencial y se introducen en orden al lado izquierdo del formato ④. Las secuencias de actividad apropiadas —movimiento general, movimiento controlado o uso de herramienta y equipo— se seleccionan en el lado derecho del formato ⑤, identificadas con las etiquetas numéricas correspondientes. A continuación, los valores indexados se introducen a continuación de las letras de subactividad. Por último, los valores

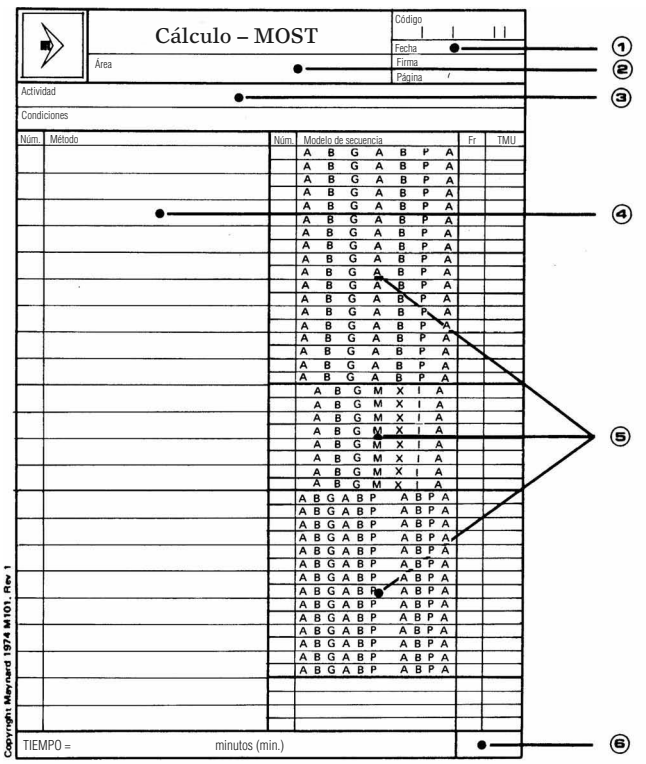


Figura 13.15
Formato de cálculo BasicMOST.

indexados se multiplican por 10 (para obtener TMU), y se introducen en la columna más a la derecha y se suman en la esquina inferior derecha ⑥.

Existen algunas reglas generales que deben seguirse. Toda secuencia de actividad es fija, es decir, no se debe agregar u omitir ninguna letra. Los valores indexados se fijan tal como son, esto es, no hay interpolación; es necesario redondear. Finalmente, puede ser necesario introducir algunos ajustes a esa cantidad de actividad simultánea (semejante a MTM). En una interacción de alto nivel con ambas manos que trabajan simultáneamente, sólo se usa el valor más alto de las dos manos (60 TMU), y la otra mano y el valor en TMU se encierran en un círculo:

MD	$A_1\ B_0\ G_1$	$A_1\ B_0\ P_3$	A_0	60
MI	$A_1\ B_0\ G_1$	$A_1\ B_0\ P_3$	A_0	60

En una interacción de bajo nivel con ambas manos que trabajan por separado, los valores de las dos manos se suman para obtener 120 TMU:

MD	$A_1\ B_0\ G_1$	$A_1\ B_0\ P_3$	A_0	60
MI	$A_1\ B_0\ G_1$	$A_1\ B_0\ P_3$	A_0	60

También puede haber un nivel intermedio de interacción con sólo ciertas fases que ocurren simultáneamente, por ejemplo, la siguiente fase TOMAR, que se encuentra dentro de un círculo y da como resultado un total de 100 TMU.

MD	$A_1\ B_0\ G_1$	$A_1\ B_0\ P_3$	A_0	60
MI	$A_1\ B_0\ G_1$	$A_1\ B_0\ P_3$	A_0	40

Como ejemplo final completo, el mismo ensamblado de una lámpara de mano que se muestra en la figura 13.9, usando MTM-2, se analiza usando MOST en la figura 13.16.

MOST también está disponible en una versión computarizada que permite la recuperación de secuencias de actividades, subactividades y los parámetros indexados implicados en el desarrollo de un estándar de desempeño del método en estudio. Se estima que el uso de un sistema computarizado debe dar como resultado una aplicación entre cinco y diez veces más rápida que la aplicación manual. Los estándares desarrollados por computadora también están más libres de errores, puesto que el sistema no acepta una entrada que no sea lógica. En la figura 13.17 se muestra un ejemplo de una secuencia de movimiento general en BasicMOST®.

13.3 APLICACIÓN DE TIEMPO PREDETERMINADO

DESARROLLO DE DATOS ESTÁNDAR

Uno de los usos más importantes de los sistemas de tiempo predeterminado es el desarrollo de elementos de datos estándares. Con los datos estándar es más rápido establecer los tiempos estándar de las operaciones, que mediante el laborioso procedimiento de sumar largas columnas de tiempos de movimientos fundamentales. Además, los datos estándar reducen errores de cálculo, pues requieren menos cálculos aritméticos.

Con datos estándar razonables, es económicamente factible establecer estándares sobre el trabajo indirecto, como mantenimiento, manejo de materiales, documentación y oficina, inspección y operaciones similares. Asimismo, con estos datos, los analistas pueden calcular, de manera económica, los tiempos de operaciones con ciclos largos y muchos elementos de corta duración. Por ejemplo, una compañía desarrolló datos estándar de operaciones de perforación radial en su cuarto de herramientas. Los analistas de estudio de tiempos desarrollaron datos estándar de los elementos que se requieren para mover la herramienta de un orificio al siguiente y presentar y retirar la broca. Después combinaron estos datos estándar elementales en una gráfica de múltiples variables para que los datos pudieran sumarse con rapidez.

Un ejemplo que ilustra la flexibilidad de los sistemas de tiempo predeterminado es el desarrollo de un tiempo estándar de una operación de oficina. Esta fórmula para ordenar las tarjetas de tiempo trabajado incluye los siguientes elementos:

Cálculo – MOST

Código
Fecha 8-22-
Firma AF
Página 1 /

Actividad ENSAMBLADO DE LÁMPARA

Condiciones CON 10% DE HOLGURA

Núm.	Método	Núm.	Modelo de secuencia	Fr.	TMU
1	TOMAR CUERPO AL ÁREA DE TRABAJO	1	A1 B0 G1 A1 B0 P0 A0		30
			A B G A B P A		
2	TOMAR BATERÍAS AL CUERPO	2	A1 B0 G1 A1 B0 P1 A0	2	80
			A B G A B P A		
3	TOMAR TAPA, ATORNILLAR AJUSTADO	4	A0 B0 G0 A1 B0 P0 A0		10
			A B G A B P A		
4	PONER LÁMPARA ABAJO		A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G A B P A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
			A B G M X I A		
		3	A1 B0 G1 A1 B0 P3 F3 A0 B0 P0 A0		90
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		
			A B G A B P A B P A		

(CON 10% DE HOLGURA)

TIEMPO = milihoras (mh) minutos (min.) 0.119 | 180

Copyright Maynard 1974 M 101 -REV - 1

Figura 13.16 Análisis MOST del ensamblado de una lámpara.

1. Recoger el paquete de tarjetas del departamento y quitar la banda elástica.
2. Ordenar las tarjetas de tiempo en mano de obra directa (incentivos), indirecta y por día de trabajo.
3. Registrar el número total de tarjetas de tiempo.
4. Tomar una pila de tarjetas, poner banda elástica alrededor y dejar a un lado.
5. Tomar una pila de tarjetas y juntarlas.
6. Ordenar tarjetas de incentivos en tarjetas de “partes”.

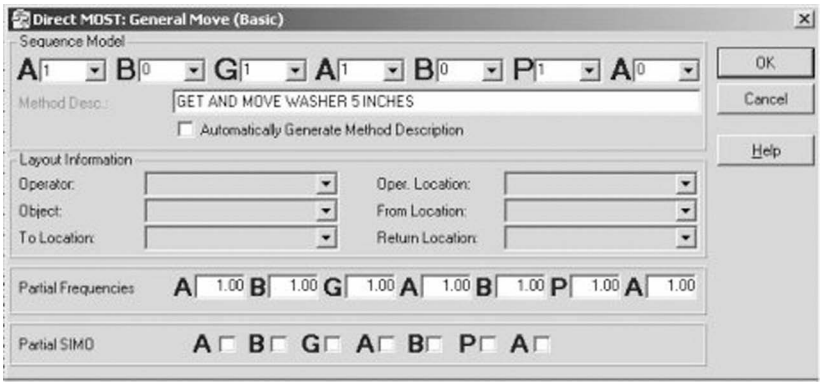


Figura 13.17 Ejemplo de una secuencia de movimiento general, tomar y mover una arandela a 5 pulgadas, en Basic-MOST.
(Figura de *BasicMOST*®. Usada con permiso de H. B. Maynard and Co., Inc., Pittsburgh, PA.)

7. Contar las pilas de tarjetas de incentivos de "partes".
8. Registrar el número de tarjetas de "partes" y el número de tarjetas de incentivos.
9. Ordenar las tarjetas de "partes" en secuencia numérica.
10. Juntar las pilas de tarjetas numéricas y juntarlas en una sola pila sobre el escritorio.

Los analistas de métodos desglosan cada elemento en los movimientos fundamentales. Una vez asignados los valores básicos y determinadas las variables, la ecuación algebraica resultante permite el cálculo rápido del tiempo de la operación de oficina. Con frecuencia, un cronómetro puede resultar útil para desarrollar los datos estándar de los elementos. Algunas partes de un elemento pueden determinarse con más facilidad mediante los tiempos predeterminados, aunque otras tal vez se adapten mejor a la medición del cronómetro. Finalmente, los tiempos de movimiento predeterminados se han desarrollado necesariamente para el desempeño estándar. Por lo tanto, no se necesitan calificaciones, con lo que se elimina un paso más abierto a la controversia y la incertidumbre.

ANÁLISIS DE MÉTODOS

Un uso igualmente importante de cualquier sistema de tiempos predeterminados es el análisis de métodos. Los analistas que aprecian estos sistemas pueden ser más críticos en cada estación de trabajo, pues deben considerar cómo se pueden hacer mejoras. Usar un sistema de tiempos predeterminados es simplemente desarrollar un análisis de movimientos o métodos con mayor detalle numérico, a través de la identificación de las mejores formas de eliminar los therbligs ineficaces y la reducción de los tiempos de los eficaces. Por esta razón se ha desarrollado otra lista de verificación (vea la figura 13.18) que ayuda al analista a mejorar el análisis de métodos. Las oportunidades clave para simplificar el método (usando el sistema MTM-2 como ejemplo) incluyen:

1. Eliminar movimientos del cuerpo, como Doblarse y Levantarse, con un gran valor de tiempo de 61 TMU.
2. Reducir los niveles de casos, en especial movimientos del caso C, que generan 39% de disminución de los tiempos de movimientos básicos.
3. Minimizar las distancias de alcance, con una disminución de 5 TMU para cada código de distancia más corta.
4. Evitar el levantamiento de partes pesadas, donde cada 2 libras (1 kg) baja 1 TMU.
5. Eliminar operaciones que requieren recorrido y enfoque de los ojos, lo cual elimina 7 TMU cada una.
6. Preposicionar herramientas, partes y materiales.

En una compañía se asignaron $40 000 para comprar herramientas avanzadas que aumentarán la tasa de producción de una operación de soldadura con latón. Antes de adquirir las herramientas, los analistas realizaron un estudio de medición del trabajo del método existente. Mediante sistemas de tiempos predeterminados, descubrieron que si proporcionaban un soporte sencillo y reordenaban el área de carga y descarga, la producción de la compañía podía aumentar de 750 a 1 000 piezas por

TOMAR (G)	**Sí**	**No**
1. ¿Se puede realizar TOMAR simultáneamente con otro TOMAR o PONER sin ninguna penalización?	❑	❑
2. ¿Se puede realizar TOMAR durante un ciclo de máquina?	❑	❑
3. ¿Se pueden usar soportes/sujetadores, alimentadores por gravedad o contenedores para simplificar TOMAR (es decir, de GC a GB o GA)?	❑	❑
4. ¿Se puede usar GA y deslizamiento de objetos hasta la posición?	❑	❑
5. ¿Se puede evitar la transferencia de objetos de una mano a otra?	❑	❑
6. ¿Se pueden preposicionar las herramientas para simplificar el TOMAR?	❑	❑
7. ¿Se pueden empalmar las herramientas mientras se realiza otra tarea (en lugar de guardarlas y después sacarlas de nuevo)?	❑	❑
8. ¿Se puede agarrar más de un objeto al mismo tiempo?	❑	❑
9. ¿Se pueden reducir las distancias recorridas (es decir, se puede bajar el nivel de clasificación del movimiento)?	❑	❑
10. ¿Los movimientos de las manos están balanceados en términos de caso y distancia?	❑	❑
PONER (P)	**Sí**	**No**
1. ¿Se puede realizar PONER simultáneamente con otros TOMAR o PONER, sin ninguna penalización?	❑	❑
2. ¿Se pueden evitar las tolerancias estrechas o la localización exacta de un objeto?	❑	❑
3. ¿Es posible que el punto de entrega de un objeto tenga bisel o embudo?	❑	❑
4. ¿Se pueden usar guías fijas o topes?	❑	❑
5. ¿Los objetos se pueden hacer simétricos?	❑	❑
6. ¿Se puede reducir la profundidad de inserción?	❑	❑
7. ¿La otra mano puede ayudar en PONER complejos?	❑	❑
8. ¿Los objetos se pueden PONER juntos de manera mecánica?	❑	❑
9. ¿Se pueden usar entregas por gravedad para simplificar PONER (es decir, de PC a PB o PA)?	❑	❑
10. ¿Los objetos se pueden deslizar hasta una localización (es decir (puede usarse un PA)?	❑	❑
11. ¿Los puntos de destino están dentro del área normal de visión?	❑	❑
Aplicar presión (A)	**Sí**	**No**
1. ¿Se puede evitar A con un diseño mejorado o mejor procesamiento (por ejemplo, eliminar rebabas o puntos estrechos)?	❑	❑
2. ¿Se puede evitar apretar de forma innecesaria en las operaciones?	❑	❑
3. ¿Se pueden evitar las tolerancias estrictas?	❑	❑
4. ¿Se puede evitar la contaminación de partes por lijaduras, polvo, tierra, etc., con lo que se evita A?	❑	❑
5. ¿Se puede aprovechar el impulso para eliminar A?	❑	❑
6. ¿Se usan los grupos de músculos más grandes para obtener una mejora al aplicar presión?	❑	❑
7. ¿Se pueden usar dispositivos de sujeción o acciones mecánicas para eliminar A?	❑	❑
Agarrar de nuevo (R)		
1. ¿Se puede evitar R durante PONER?	❑	❑
2. ¿Las herramientas se pueden preposicionar en la orientación deseada?	❑	❑
3. ¿Se puede usar alimentación semiautomática, dispositivos de apilamiento, alimentadores vibratorios, etcétera, para presentar la parte en forma adecuada?	❑	❑
4. ¿Las partes se pueden hacer simétricas para evitar la necesidad de R?	❑	❑
5. ¿Las partes se pueden preposicionar durante un ciclo de máquina?	❑	❑
Acción del ojo (E)	**Sí**	**No**
1. ¿Los objetos y pantallas se pueden colocar en el área normal de visión para evitar E?	❑	❑
2. ¿Existe suficiente iluminación para evitar E?	❑	❑
3. ¿Los contenedores y partes están correctamente identificados, quizá mediante el uso de colores?	❑	❑
4. ¿Las partes se pueden hacer simétricas y posicionarse adecuadamente para evitar E?	❑	❑
5. ¿Se puede evitar la verificación visual de las partes del ensamble (es decir, con retenes y sensación táctil)?	❑	❑
6. ¿Se puede evitar la interpretación visual de posiciones de la carátula (es decir, se usan indicadores de estado o de encendido/apagado)?	❑	❑
7. ¿Se pueden realizar las E durante los movimientos manuales anteriores sin penalización?	❑	❑
Girar manivela (C)	**Sí**	**No**
1. ¿El volante o la manivela se pueden girar?	❑	❑
2. ¿Se puede reducir el número de revoluciones (es decir, se usa paso de rosca más grande)?	❑	❑
3. ¿Se puede eliminar la resistencia durante el giro?	❑	❑
4. ¿La manivela puede funcionar con suministro de energía?	❑	❑

Figura 13.18 Lista de verificación para el análisis de métodos con MTM-2.
Adaptado de: Brown, 1976.

Paso (S)	**Sí**	**No**
1. ¿Se usa la ruta más corta o la mejor distribución de planta?	❑	❑
2. ¿La superficie del suelo está pareja y libre de obstrucciones?	❑	❑
3. ¿Las partes con mayor uso se localizan cerca?	❑	❑
4. ¿La información y herramientas necesarias se localizan en la estación de trabajo (es decir, se evitan S innecesarios)?	❑	❑
5. ¿Los materiales y partes se pueden traer mecánicamente (mediante transportadores) hacia y desde la estación de trabajo?	❑	❑
6. ¿Se puede usar transporte vehicular (carritos)?	❑	❑

Movimiento de pie (F)	**Sí**	**No**
1. ¿Se puede realizar F simultáneamente con otros movimientos?	❑	❑
2. ¿El pie puede descansar cómodamente en el interruptor o pedal durante la operación?	❑	❑
3. ¿El peso del cuerpo está soportado por un banco (la pierna que opera está libre de peso)?	❑	❑
4. ¿Los dos pies pueden operar el pedal alternadamente?	❑	❑

Doblarse y levantarse (B)	**Sí**	**No**
1. ¿Se pueden usar entregas por gravedad para evitar B?	❑	❑
2. ¿Los materiales y productos se localizan a una altura entre el codo y los nudillos para minimizar B?	❑	❑
3. ¿Se utilizan los procedimientos adecuados para levantar (levantamiento en cuclillas, etcétera)?	❑	❑
4. ¿Se puede evitar la entrada y salida demasiado frecuentes de una estación de trabajo donde se permanece sentado?	❑	❑

Figura 13.18 (*continuación*)

Mejoramiento de métodos en el volteado de camisetas — EJEMPLO 13.1

Este ejemplo considera tanto aspectos de productividad como de salud y seguridad que se obtuvieron a través del análisis MTM-2 del volteado de camisetas (Frievalds y Yun, 1994). Las prendas de vestir se cosen por el "lado interior" para poder asegurar las bastillas. Una vez terminadas, las prendas deben "voltearse" o invertirse.

Los trabajadores que realizaban esta tarea eran muy susceptibles a distintos desórdenes por trauma acumulativo. Un análisis MTM-2 del método actual, que se muestra en la figura 13.19*a*, indicó que el resultado fue un total de 141 TMU. Una característica obvia de esta tarea era el uso excesivo de movimientos del caso C. ¿Era posible reducir los TOMAR y PONER (preguntas 3 y 4 bajo TOMAR en la figura 13.18)?

Análisis de métodos MTM — Página de

Operación: VOLTEADO DE CAMISETA
Estudio Núm.: (MANUAL)
Fecha: 2-12-93
Analista: A F

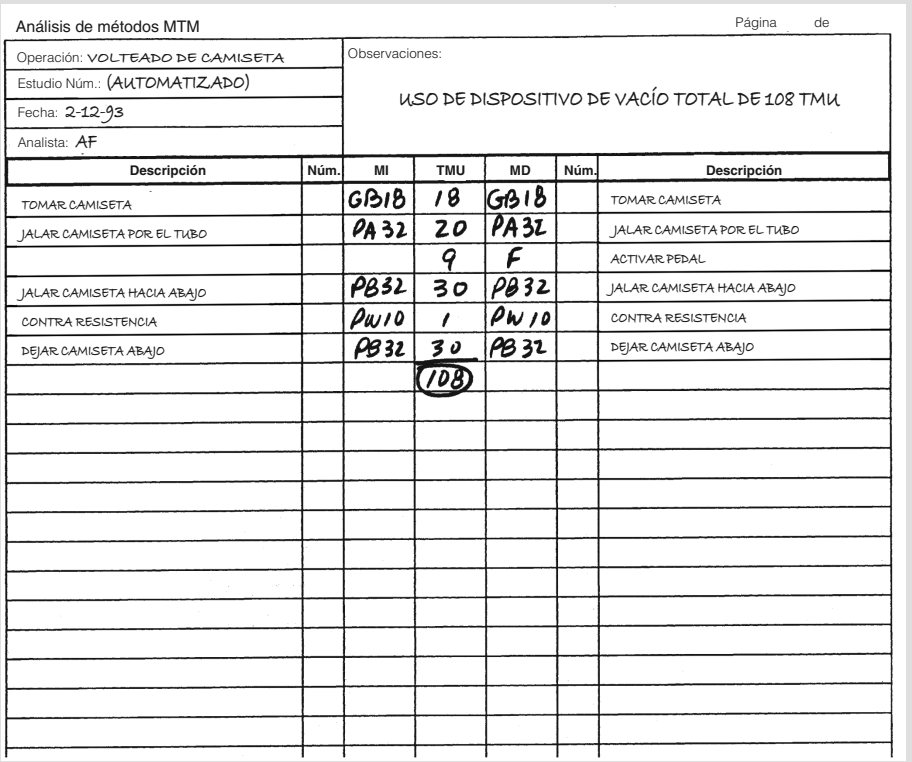
Observaciones: MANEJO MANUAL TOTAL DE 141 TMU

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
TOMAR CAMISETA		GB18	18	GB18		TOMAR CAMISETA
ALCANZAR DENTRO, PELLIZCAR CAMISETA		GC12	23	GC12		ALCANZAR DENTRO, PELLIZCAR CAMISETA
MOVIMIENTO SIMULTÁNEO		GC2	14	GC2		PERMITIR MOVIMIENTO SIMULTÁNEO
JALAR CAMISETA ARRIBA Y AFUERA		PC32	41	PC32		JALAR MANGAS ARRIBA Y AFUERA
PERMITIR MOVIMIENTO SIMULTÁNEO		PC2	21	PC2		PERMITIR MOVIMIENTO SIMULTÁNEO
DEJAR CAMISETA ABAJO		PB18	24	PB18		DEJAR CAMISETA ABAJO
			(141)			

a) Método actual

Figura 13.19 Análisis MTM-2 del volteado de camisetas.

La solución propuesta fue construir un dispositivo eléctrico de vacío para jalar la camiseta dentro de un tubo. Al apagarse el aparato de vacío la camiseta se sacaba en estado invertido. El análisis MTM-2 del método mejorado (figura 13.19*b*) dio un total de sólo 108 TMU. En el caso de la operación completa de voltear, inspeccionar y doblar (un total de 360 TMU), significó una disminución de (141 – 108)/360 = 9.2% del tiempo. En forma global, se eliminaron los movimientos difíciles y con riesgo de lesiones del caso C, y se obtuvo una mejora simultánea de la productividad.



Análisis de métodos MTM — Página de

Operación: VOLTEADO DE CAMISETA
Estudio Núm.: (AUTOMATIZADO)
Fecha: 2-12-93
Analista: AF

Observaciones: USO DE DISPOSITIVO DE VACÍO TOTAL DE 108 TMU

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
TOMAR CAMISETA		GB1B	18	GB1B		TOMAR CAMISETA
JALAR CAMISETA POR EL TUBO		PA32	20	PA32		JALAR CAMISETA POR EL TUBO
			9	F		ACTIVAR PEDAL
JALAR CAMISETA HACIA ABAJO		PB32	30	PB32		JALAR CAMISETA HACIA ABAJO
CONTRA RESISTENCIA		PW10	1	PW10		CONTRA RESISTENCIA
DEJAR CAMISETA ABAJO		PB32	30	PB32		DEJAR CAMISETA ABAJO
			(108)			

b) Método propuesto

Figura 13.19 (*continuación*)

hora. El costo total del estudio de tiempos y movimientos básicos sintéticos fue de $40. Como resultado del estudio, la compañía evitó el costoso programa de adquisición de herramientas de $40 000.

RESUMEN

En este capítulo se analizaron varios de los sistemas de tiempos predeterminados más populares. Existen muchos otros, entre ellos varios sistemas privados desarrollados por la industria. Hace muchos años, Frederick W. Taylor visualizó el desarrollo de estándares para las divisiones básicas del trabajo similares a los que todavía están en uso. En su artículo "Administración científica" predijo que llegaría el tiempo en que se desarrollaría un volumen suficiente de estándares básicos que haría que los estudios de tiempos no fueran necesarios. En la actualidad, casi se ha llegado a ese estado gracias al desarrollo de la amplia mayoría de los estándares basados en datos de estándares o tiempos predeterminados.

Sin embargo, todavía existe duda sobre la validez de agregar tiempos predeterminados para establecer los tiempos elementales, puesto que los tiempos de los therbligs pueden variar si la secuencia cambia. Así, el tiempo del elemento básico "alcanzar 20 pulgadas" puede ser afectado por los elementos anteriores y posteriores y quizá no dependan por completo de la clase de alcance y distancia.

Por lo tanto, el analista debe considerar el propósito principal del patrón de movimiento, así como su complejidad, características y distancia. Por ejemplo, cuando la mano sujeta un objeto al mismo tiempo que ésta se mueve, se lleva a cabo una operación simultánea además del movimiento. El resultado puede ser

una reducción de la rapidez promedio. Esto permitiría a la mano establecer control del objeto a lo largo de la distancia recorrida. Entre más larga sea la distancia, más tiempo tiene la mano para empalmar el objeto. Así, si el movimiento combinado es más largo, el movimiento se acerca más al tiempo requerido para un alcance sencillo de la misma distancia.

Existen varias razones convincentes para usar los sistemas de tiempo predeterminados. Se pueden utilizar para definir un tiempo estándar antes de iniciar la producción y para estimar los costos de producción con antelación, cuando no existe un trabajo para estudiar los tiempos. Sin embargo, estos sistemas sólo son tan buenos como las personas que los usan. El analista debe tener mucho cuidado de entender los supuestos que están detrás de los sistemas y usarlos de la manera apropiada. No deben implantarlos sin ayuda profesional o sin una comprensión completa de su aplicación. Para ayudar y quizás incluso simplificar este proceso, algunos sistemas de tiempos predeterminados ofrecen paquetes de software asociados, los cuales se enlistan al final del capítulo.

PREGUNTAS

1. ¿Quién fue el responsable original de pensar en términos del desarrollo de estándares para las divisiones básicas del trabajo? ¿Cuál fue su contribución?
2. ¿Cuáles son las ventajas de usar tiempos predeterminados?
3. ¿Qué otros dos términos se usan con frecuencia para identificar los tiempos predeterminados?
4. ¿Quién fue el pionero de los sistemas MTM?
5. ¿Cuál es el valor en tiempo de una TMU?
6. ¿Sería más fácil o más difícil realizar un tomar GB con la mano izquierda al mismo tiempo que se realiza un colocar PC con la mano derecha? Explique su respuesta.
7. ¿Por qué se desarrolló MTM-2? ¿Dónde tiene MTM-2 una aplicación especial?
8. ¿Son MTM-1 y MTM-2 consistentes en su manejo de movimientos simultáneos?
9. Si se usara MTM-3 para estudiar una operación con duración aproximada de 3 minutos, ¿qué se podría decir sobre la exactitud del estándar?
10. ¿Cuál es la relación entre MTM y el análisis de métodos?
11. Explique la relación de los tiempos predeterminados con los datos estándar.
12. ¿Cuál es la relación entre MOST y MTM?
13. Compare y contraste los tres sistemas MOST.
14. ¿Cuáles son las tres secuencias de movimientos básicos que se emplean en BasicMOST?
15. ¿Cómo se manejan las actividades simultáneas en BasicMOST?
16. ¿Cuáles son algunas de las ventajas de usar un sistema de tiempos predeterminados en comparación con un estudio de tiempos con cronómetro?

PROBLEMAS

1. Determine el tiempo de la componente dinámica de M20 B20.
2. Una cubeta de arena, de 30 lb, con un coeficiente de fricción de 0.40 se empuja 15 pulg alejándola del operario, con ambas manos. ¿Cuál sería el tiempo normal del movimiento?
3. Una moneda de ¾ pulg de diámetro se coloca dentro de un círculo de 1 pulg. ¿Cuál sería el tiempo normal para posicionar el elemento?
4. Calcule el equivalente en TMU de 0.0075 h por pieza, 0.248 min por pieza, 0.0622 h por cada cien piezas, 0.421 s por pieza y 10 piezas por minuto.
5. El análisis MTM-2 (vea la figura 13.20) describe una operación sencilla en la que cada mano toma una parte, vuelve a agarrarla y después la mano derecha la pone en un soporte. Se aplica presión para sellarla. Luego, se agarra un pasador, se vuelve a agarrar y se inserta en el ensamble. Se gira seis revoluciones un volante con resistencia hasta que una aguja se alinea exactamente. Identifique los errores con un círculo. Rescriba el análisis correctamente y explique cada corrección.
6. Desarrolle un análisis en BasicMOST de la secuencia de actividades de la figura 13.20.

Análisis de métodos MTM Página de

Operación: ENSAMBLE	Observaciones:
Estudio núm.: PROBLEMA # 5	
Fecha: 1-27-98	
Analista: AF	

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
		GC12	18	GB18		
PARTE A SOPORTE		R	6	R		PARTE A SOPORTE
		PC12	30	PC6		
SENTAR PARTE		A	14	A		SENTAR PARTE
		GC12	23	GC12		
TOMAR, ENSAMBLAR CHAVETA		PC12	30	PC12		TOMAR, ENSAMBLAR CHAVETA
		R	6	R		
			10	GB6		GIRAR MANIVELA
			5	GW10		CONTRA RESISTENCIA
			90	C	6	
			5	PW5		
			21	PC2		ALINEAR AGUJA

Resumen	TMU Totales:	Conversión:	(%) de holgura:	Tiempo estándar:
	259	.0006	10	.171

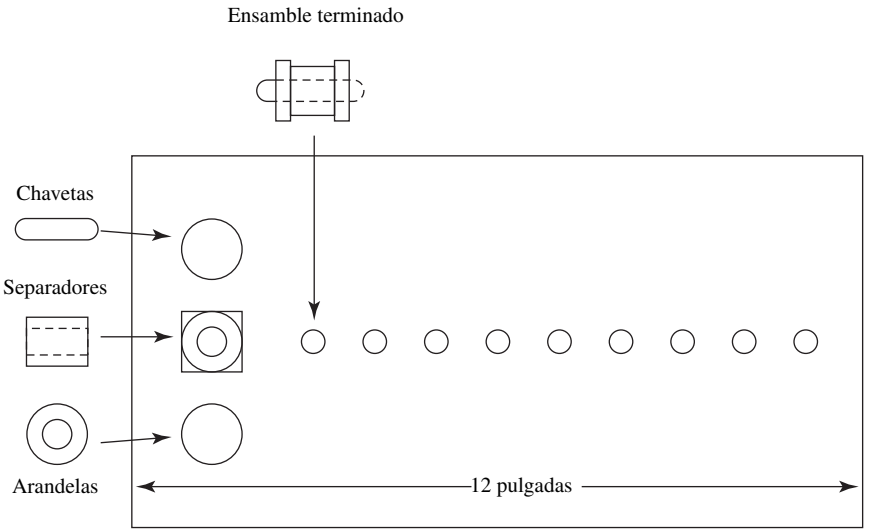
Figura 13.20 Análisis MTM-de un ensamblado sencillo del problema 5.

7. La Purdue Pegboard Task es una prueba estándar para habilidades motrices. Consiste en un tablero con una serie de agujeros y tres tipos de piezas: chavetas, arandelas y separadores almacenados en una depresión sobre el tablero. El ensamble, con el tablero rotado, perpendicular al torso del operario, es el siguiente:

a) La mano derecha recoge una chaveta y la inserta en un orificio con un margen ajustado.

b) Al insertar la chaveta, la mano izquierda obtiene una arandela y la monta sobre la chaveta (0.01 pulg de claro).

c) Al montar la arandela, la mano derecha recoge un separador y lo monta en la chaveta encima de la arandela (0.01 pulg de claro).



d) Al montar el separador, la mano izquierda recoge otra arandela y la monta en la chaveta encima del separador (0.01 pulg de margen).

e) Al montar la arandela, la mano derecha recoge otra chaveta e inicia un nuevo ensamblado en el siguiente orificio. Las manos se alternan para recoger las piezas y completar los ensamblados.

Desarrolle un análisis MTM-2 del primer ensamble terminado. ¿Qué sucede cuando el operario sigue trabajando en el tablero? ¿Por qué? ¿Por qué MTM-2 podría no ser adecuado para esta tarea?

8. Desarrolle un análisis en BasicMOST para el primer ensamblado completo del problema 7.

9. Desarrolle un análisis en MTM-2 del ensamblado de cable y mordaza que se muestra en la figura 4.17.

10. Desarrolle un análisis en BasicMOST del ensamblado de cable y mordaza que se muestra en la figura 4.17.

REFERENCIAS

Antis, William, John M. Honeycutt, Jr. y Edward N. Koch, *The Basic Motions of MTM*, 3a. ed., Pittsburgh, PA: The Maynard Foundation, 1971.

Baily, Gerald B. y Ralph Presgrave, *Basic Motion Time-Study*, Nueva York: McGraw-Hill, 1958.

Birn, Serge A., Richard M. Crossan y Ralph W. Eastwood, *Measurement and Control of Office Costs*, Nueva York: McGraw-Hill, 1961.

Brown, A. D., "Apply Pressure", *Journal of the Methods-Time Measurement Association*, 14 (1976).

Freivalds, A. y M. H. Yun, "Productivity and Health Issues in the Automation of T-Shirt Turning", en *International Journal of Industrial Engineering*, 1, núm. 2 (junio de 1994), pp. 103-108.

Geppinger, H. C., *Dimensional Motion Times*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1955.

Karger, Delmar W. y Franklin H. Bayha, *Engineered Work Measurement*, Nueva York: Industrial Press, 1957.

Karger, Delmar W. y Walton M. Hancock, *Advanced Work Measurement*, Nueva York: Industrial Press, 1982.

Maynard, Harold B., G. J. Stegemerten y John L. Schwab, *Methods Time Measurement*, Nueva York: McGraw-Hill, 1948.

Quick, J. H., J. H. Duncan y J. A. Malcolm, *Work-Factor Time Standards*, Nueva York: McGraw-Hill, 1962.

Sellie, Clifford N., "Predetermined Motion-Time Systems and the Development and Use of Standard Data", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Zandin, Kjell B., *MOST Work Measurement Systems*, Nueva York: Marcel Dekker, 1980.

SOFTWARE SELECCIONADO

MOD++, International MODAPTS Association, 3302 Shearwater Court, Woodbridge, VA 22192 (http: www.modapts.org/)

MOST, H. B. Maynard and Co., Eight Parkway Center, Pittsburgh, PA 15220, 2001 (http://www. hbmaynard.com/)

MTM Link, The MTM Association, 1111 East Touhy Ave., Des Plaines, IL 60018 (http://www.mtm.org/)

TimeData, Royal J. Dosset Corp., 2795 Pheasant Rd., Excelsior, MN 55331.

Muestreo del trabajo

CAPÍTULO
14

PUNTOS CLAVE

- El muestreo del trabajo es un método para analizar el trabajo mediante un gran número de observaciones en tiempos aleatorios.
- Usar el muestreo del trabajo para
  - Determinar la utilización de la máquina y el operario.
  - Determinar las holguras o suplementos.
  - Establecer los estándares de tiempo.
- Utilizar las observaciones que resulten prácticas pero que permitan conservar la exactitud.
- Tomar observaciones en un periodo tan largo como sea posible, de preferencia varios días o semanas.

El *muestreo del trabajo* es una técnica que se utiliza para investigar las proporciones del tiempo total que se dedican a las diferentes actividades que constituyen una tarea o una situación de trabajo. Los resultados del muestreo del trabajo son eficaces para determinar la utilización de máquinas y personal, las holguras aplicables al trabajo y los estándares de producción. Aunque se puede obtener la misma información con procedimientos de estudio de tiempos, el muestreo del trabajo con frecuencia proporciona estos datos más rápido y a un costo considerablemente menor.

Cuando realizan estudios de muestreo del trabajo, los analistas toman un número comparativamente grande de observaciones en intervalos aleatorios. La razón de las observaciones de una actividad dada entre el total de observaciones se aproxima al porcentaje de tiempo que el proceso está en ese estado de actividad. Por ejemplo, si 1 000 observaciones tomadas en intervalos al azar durante varias semanas muestran que una máquina automática de atornillado operaba en 700 de ellas, y permanecía inactiva por diferentes razones en 300 casos, el tiempo ocioso de la máquina sería de 30% de la jornada de trabajo.

El muestreo del trabajo se aplicó por primera vez en la industria textil británica. Más tarde, con el nombre de estudio de la razón de demora, la técnica se llevó a Estados Unidos (Morrow, 1946). La exactitud de los datos que se determinan mediante muestreo del trabajo depende del número de observaciones y el periodo sobre el cual se realizan las observaciones aleatorias. A menos que el tamaño de muestra sea suficientemente grande, y el periodo de muestreo represente condiciones típicas, se pueden obtener resultados inexactos.

El método de muestreo del trabajo presenta varias ventajas sobre el procedimiento convencional de estudio de tiempos:

1. No requiere la observación continua del analista durante largos periodos.
2. Se reduce el tiempo de trabajo de oficina.
3. Por lo general, el analista utiliza menos horas de trabajo totales.
4. El operario no está sujeto a largos periodos de observaciones cronometradas.
5. Un solo analista puede estudiar con facilidad las operaciones de una brigada.

14.1 TEORÍA DEL MUESTREO DEL TRABAJO

La teoría del muestreo del trabajo se basa en la ley fundamental de probabilidad: en un instante dado, un evento puede estar presente o ausente. Los estadísticos han obtenido la siguiente expresión para mostrar la probabilidad de x ocurrencias de tal evento en n observaciones:

$$P(x) = \frac{n!}{x!\,(n-x)!} P^x q^{n-x}$$

donde p = probabilidad de una sola ocurrencia
$q = 1 - p$ = probabilidad de una ausencia de ocurrencia
n = número de observaciones

La distribución de estas probabilidades se conoce como *distribución binomial* con media igual a np y varianza igual a npq. Cuando n se hace más grande, la distribución binomial se aproxima a la distribución normal. Como los muestreos del trabajo involucran tamaños de muestras grandes, la distribución normal es una aproximación satisfactoria a la binomial. Esta distribución normal de una proporción tiene una media igual a p y una desviación estándar igual a

$$\sqrt{\frac{pq}{n}}$$

En los estudios de muestreo del trabajo, se toma una muestra de tamaño n en un intento de estimar p. A partir de la teoría elemental de muestreo se sabe que no es posible esperar que el valor de $\hat{p}$ ($\hat{p}$ = la proporción basada en la muestra) de cada muestra sea el valor verdadero de p. Sin embargo, se espera que la $\hat{p}$ de cualquier muestra esté dentro del intervalo $p \pm 1.96$ desviaciones estándar aproximadamente 95% de las veces. En otras palabras, si p es el porcentaje verdadero de una condición dada, se puede esperar que la $\hat{p}$ de cualquier muestra quede fuera del intervalo $p \pm 1.96$ desviaciones estándar sólo alrededor de 5 veces de cada 100 debido a las probabilidades.

Esta teoría puede usarse para estimar el tamaño de la muestra total necesario para lograr cierto grado de precisión. La expresión de la desviación estándar σ_p de una proporción muestral es

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \tag{1}$$

donde σ_p = desviación estándar de un porcentaje
p = porcentaje verdadero de ocurrencia del elemento que se observa, expresado como decimal
n = número total de observaciones aleatorias en las que se basa p

Con base en el concepto de intervalo de confianza, considere el término $z_{\alpha/2}\sigma_p$ como el límite aceptable de error ℓ con un error de confianza de $(1 - \alpha)100\%$, donde

$$\ell = z_{\alpha/2}\sigma_p = z_{\alpha/2}\sqrt{pq/n} \tag{2}$$

Elevando al cuadrado ambos lados y despejando n se obtiene

$$n = z^2_{\alpha/2}\, pq/\ell^2 = z^2_{\alpha/2}\, p\,(1-p)/\ell^2 \tag{3}$$

En el caso de una aplicación típica, usando un intervalo de confianza de 95%, $z_{\alpha/2}$ es 1.96 y n se convierte en

$$n = 3.84\, pq/\ell^2$$

Aproximación normal a la distribución binomial

EJEMPLO 14.1

Para aclarar la teoría fundamental del muestreo del trabajo, sería útil interpretar los resultados de un experimento. Suponga las siguientes circunstancias: una máquina con descomposturas aleatorias se observó durante un periodo de 100 días. En este periodo, se tomaron ocho observaciones aleatorias por día.

Sea n = número de observaciones por día
k = número total de días que se tomaron observaciones
x_i = número de descomposturas observadas en n observaciones aleatorias en el día i(i = 1, 2, …, k)
N = número total de observaciones aleatorias
N_x = número de días que el experimento mostró un número de descomposturas igual a x (x = 0, 1, 2, …, n)

La probabilidad, $P(x)$, de que la máquina esté descompuesta x veces en n observaciones está dada por la distribución binomial

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!}p^x q^{n-x}$$

donde p = probabilidad de que la máquina esté descompuesta
q = probabilidad de que la máquina esté en funcionamiento

y

$$p + q = 1$$

En este ejemplo, n = 8 observaciones por día, k = 100 días de observación y N = 800 observaciones totales. Un estudio de tiempos de todo el día, durante varios días, reveló que p = 0.5. La siguiente tabla muestra el número de días en que se observaron x descomposturas en un estudio de muestreo del trabajo (x = 0, 1, 2, 3, …, n), y el número esperado de descomposturas dado por el modelo binomial, usando p = 0.5 a partir del estudio de tiempos de todo el día.

X	N_x	$P(x)$	$100P(x)$
0	0	0.0039	0.39
1	4	0.0312	3.12
2	11	0.1050	10.5
3	23	0.2190	21.9
4	27	0.2730	27.3
5	22	0.2190	21.9
6	10	0.1050	10.5
7	3	0.0312	3.12
8	0	0.0039	0.39
	100	1.00*	100*

*Aproximadamente.

Existe una coincidencia cercana entre los días observados en que ocurrió un número específico de descomposturas N_x y el número esperado calculado teóricamente como $kP(x)$.

$$\overline{P}_i = \frac{x_i}{n} = \text{ proporción observada de descomposturas en el día } i$$

donde $i = 1,2,3, \ldots, k$

$$\hat{P} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \overline{P}_i}{k} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i}{n \cdot k}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i}{N} = \text{ proporción estimada de descomposturas de la máquina, con base en un experimento de muestreo del trabajo}$$

La hipótesis es que la información teórica muestra una concordancia suficientemente cercana con la información observada para aceptar el binomio teórico, lo cual se puede probar usando la distribución chi-cuadrada (χ^2). La distribución χ^2 prueba si las frecuencias de la distribución observada difieren en forma significativa de las frecuencias esperadas.

En el ejemplo, la frecuencia observada es N_x y la frecuencia esperada es $kP(x)$, y se tiene

$$x^2 = \sum_{k=0}^{k} \frac{[N_x - 100P(x)]^2}{100P(x)}$$

La cantidad dentro de la sumatoria se distribuye aproximadamente como χ^2 para k grados de libertad. En este ejemplo, $\chi^2 = 0.206$.

Los analistas deben determinar si el valor calculado de χ^2 es suficientemente grande para negar la hipótesis nula, es decir, si la diferencia entre las frecuencias observadas y las frecuencias calculadas se debe sólo a las probabilidades. Este valor experimental de χ^2 es tan pequeño que con facilidad pudo haber ocurrido por azar. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que los datos experimentales se "ajustan" a la distribución binomial teórica.

En situaciones industriales típicas, el analista desconoce p (que aquí se sabía que tenía un valor de 0.5). La mejor estimación de p es $\hat{p}$, que se puede calcular como $\sum_{i=1}^{k} x_i \Big/ N$. A medida que aumenta el número n de observaciones aleatorias por día o el número de días, $\hat{p}$ se aproxima a p. Sin embargo, con un número limitado de observaciones, el analista se preocupa por la exactitud de $\hat{p}$.

Si se traza una gráfica de $P(x)$ contra x a partir de los datos del ejemplo, ésta se vería como en la figura 14.1.

Cuando n es suficientemente grande, sin que importe el valor real de p, la distribución binomial se aproxima mucho a la distribución normal. Esta tendencia se puede ver en el ejemplo cuando p es aproximadamente 0.5. Si p está cerca de 0.5, n puede ser pequeña y la normal puede ser una buena aproximación a la binomial.

Cuando se usa la aproximación normal, se establece

$$\mu = p$$

y

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

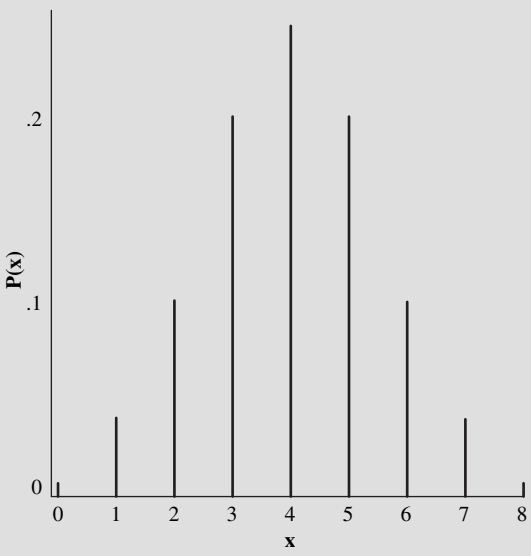


Figura 14.1 Distribución de probabilidad de las observaciones de descomposturas.

Para aproximar la distribución binomial, se usa la variable z como entrada para la distribución normal (vea la tabla A3-2, apéndice 3) y toma la siguiente forma:

$$z = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{pq/n}}$$

Aunque en el caso práctico p no se conoce, se puede estimar a partir de $\hat{p}$ y determinar el intervalo dentro del que se encuentra p, usando los límites de confianza. Por ejemplo, imagine que el intervalo definido por

$$\hat{p} - 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

y

$$\hat{p} + 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

contiene a p 95% del tiempo.

En forma gráfica, esto se puede representar como

$$\underbrace{\hat{p} - 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}} \qquad \hat{p} \qquad \hat{p} + 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}}$$

Se deriva la expresión para encontrar un intervalo de confianza para p como se explica a continuación: suponga que se quiere un intervalo que 95% del tiempo contenga a p; es decir, un intervalo de confianza de 95%. Para n suficientemente grande, la expresión

$$z = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}/n}}$$

se aproxima a una variable normal estándar. Por lo tanto, se establece la probabilidad

$$P\left[z_{0.025} < \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}/n}} < z_{0.975} \right] = 0.95$$

Al reordenar las desigualdades y recordar que $-z_{0.025} = z_{0.975} = 1.96$, el intervalo con aproximadamente 95% de probabilidad de contener a p es

$$\hat{p} - 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}} < p < \hat{p} + 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

Estos límites implican que el intervalo definido contiene a p con 95% de confianza, puesto que z se ha seleccionado con un valor de 1.96.

Los supuestos subyacentes de la binomial son que p, la probabilidad de un éxito (la ocurrencia de una descompostura) es constante en cada instante aleatorio que se observa en el proceso. Por lo tanto, siempre es necesario tomar observaciones aleatorias cuando se realiza un estudio de muestreo del trabajo. Esta precaución reduce cualquier sesgo introducido por el trabajador en anticipación de los tiempos de observación.

14.2 PRESENTACIÓN DEL MUESTREO DEL TRABAJO

Antes de iniciar un programa de muestreo del trabajo, el analista debe "presentar" su uso y confiabilidad a todos los miembros de la organización a quienes puedan afectar los resultados, entre los que se destacan el sindicato, el supervisor de línea y la administración de la compañía. Esta tarea se puede cubrir mediante varias sesiones cortas con los representantes de las distintas partes interesadas y una explicación con ejemplos de la ley de probabilidades, que expliquen por qué funcionan los procedimientos de muestreo. Aunque el estudio de tiempos con cronómetro sea bien entendido y fácilmente aceptado, tanto los sindicatos como los trabajadores aceptarán técnicas de muestreo del trabajo una

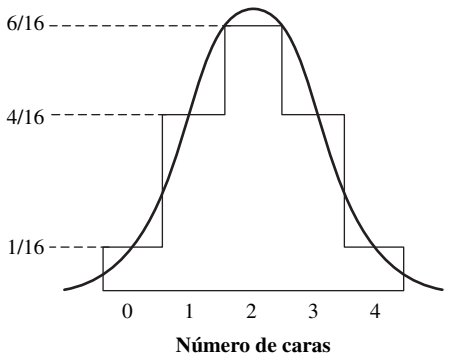


Figura 14.2 Distribución del número de caras con un número infinito de lanzamientos, usando cuatro monedas no sesgadas.

vez que el procedimiento haya sido explicado por completo. Los factores a favor del muestreo del trabajo son que el procedimiento es completamente impersonal y carece de la presión que implica un estudio de tiempos con cronómetro.

En la sesión inicial, el analista debe crear un estudio sencillo lanzando monedas no sesgadas. Todos los participantes reconocerán con facilidad que al lanzar una sola moneda se tiene una posibilidad 50-50 de obtener cara. Si se les pregunta cómo determinaría la probabilidad de cara contra cruz, sin duda propondrán lanzar una moneda unas cuantas veces para ver qué ocurre. Si pregunta si dos veces es suficiente, seguro dirán que no. Pueden sugerir diez veces, pero podrían pensar que todavía no es suficiente. Si se sugieren números más grandes, quizás estén de acuerdo en que 100 veces o más es suficiente para lograr el resultado deseado con cierto grado de seguridad. Este ejemplo establece con firmeza el principio del muestreo del trabajo: un tamaño de muestra adecuado asegura la significancia estadística.

Posteriormente, el analista debe analizar los resultados probables de lanzar cuatro monedas no sesgadas. En este caso sólo existe un arreglo de resultados de las monedas lanzadas en el que no se obtienen caras y sólo uno en el que todas son caras. Sin embargo, tres caras o una cara pueden resultar de cuatro arreglos posibles. Seis arreglos pueden dar dos caras. Con las 16 posibilidades descritas, cuatro monedas no sesgadas que se lanzan en forma continua se distribuyen como lo muestra la figura 14.2.

Después de esta explicación y una demostración de la distribución, es decir, al hacer varios lanzamientos y registrar los resultados, la audiencia deberá estar de acuerdo en que 100 lanzamientos pueden mostrar una distribución normal. Mil lanzamientos tal vez se acerquen más a esa distribución y 100 000 darán una distribución casi perfecta. Sin embargo, tal distribución no es suficientemente más exacta que la distribución de 1 000 lanzamientos, y económicamente no vale la pena el esfuerzo adicional. Ello establece la idea de que el acercamiento a una precisión significativa primero es rápido y después la velocidad de acercamiento disminuye.

En seguida, el analista debe señalar que una máquina u operario podrían estar de manera figurada en estado de cara o cruz. Por ejemplo, una máquina puede estar en funcionamiento (cara) o inactiva (cruz). En algún momento, una gráfica acumulada de "en funcionamiento" se equilibraría y daría una indicación de cuándo estaría bien detener las lecturas (vea la figura 14.3). Asimismo, el estado de máquina "inactiva" podría desglosarse en los diferentes tipos de interrupciones y demoras, para entender con más detalle ese tiempo.

14.3 PLANEACIÓN DE ESTUDIOS DE MUESTREO DEL TRABAJO

Antes de hacer las observaciones reales del estudio de muestreo del trabajo es necesario realizar una planeación detallada. Los planes se inician con una estimación preliminar de las actividades para las que se busca información. Esta estimación puede incluir una o más actividades, y a menudo se hace a partir de datos históricos. Si el analista no puede hacer una estimación razonable, deberá muestrear el área durante dos o tres días y usar esa información como la base de estas estimaciones.

Una vez hechas las estimaciones preliminares, el analista puede determinar la exactitud deseada de los resultados. Ésta se puede expresar como una tolerancia o un límite de error dentro del nivel de

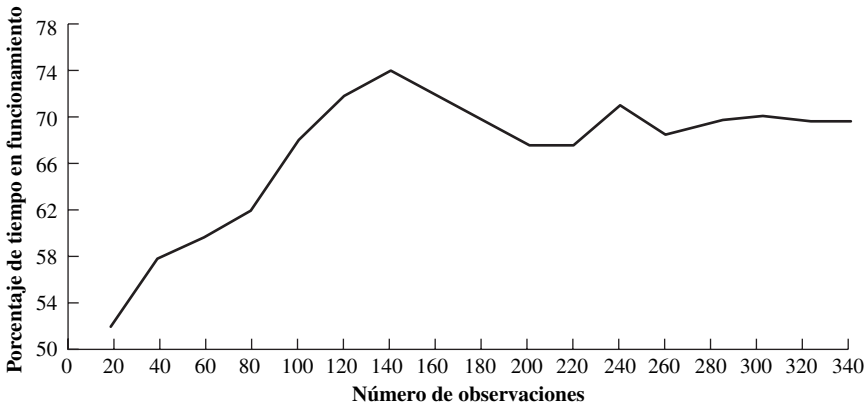


Figura 14.3 Porcentaje acumulado del tiempo de funcionamiento.

confianza establecido. Después, debe estimar el número de observaciones que tomará y determinar la frecuencia de esas observaciones. Por último, el analista diseña la forma de muestreo del trabajo en la cual se tabulan los datos, así como las gráficas de control que se usarán durante el estudio.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO NECESARIO DE OBSERVACIONES

Para determinar el número necesario de observaciones, el analista debe conocer la exactitud con que se desean los resultados. Entre más observaciones, mayor validez tendrá la respuesta final. Tres mil observaciones dan un resultado considerablemente más confiable que 300. Sin embargo, debido al costo de obtener tantas observaciones y la mejora marginal de la exactitud, 300 observaciones pueden considerarse amplias.

Por ejemplo, suponga que se desea determinar el número de observaciones que se requieren, con 95% de confianza, tal que la proporción verdadera del tiempo de demoras personales e inevitables se encuentre dentro del intervalo de 6 a 10%. Se espera que el tiempo de las demoras inevitables y personales sea de 8%. Estos supuestos se expresan gráficamente en la figura 14.4.

En este caso, $\hat{p}$ sería igual a 0.08 y se supone una ℓ de 2%, o 0.02. Con base en estos valores, es posible despejar n como viene a continuación:

$$n = \frac{3.84 \times 0.08 \times (1 - 0.08)}{0.02^2} = 707 \text{ observaciones}$$

Si el analista no tiene el tiempo o la capacidad para recolectar 707 observaciones y sólo puede recolectar 500 puntos de datos, la ecuación anterior se puede invertir para despejar el límite de error resultante:

$$\ell = \sqrt{\frac{3.84p(1 - p)}{n}} = \sqrt{\frac{3.84(0.92)(0.08)}{500}} = 0.024$$

En consecuencia, con 500 observaciones la exactitud del estudio sería de ±2.4%. Así, existe una concesión directa entre el error o exactitud del estudio y el número de observaciones recolectadas. Observe que este 2.4% es una exactitud absoluta. Algunos analistas pueden desear expresar esto como una exactitud relativa de 30% respecto a la proporción base (0.024/0.08).

En la actualidad es posible disponer fácilmente de paquetes de software para determinar el número de observaciones que se requieren en un estudio de muestreo del trabajo. Estos programas realizan todos los cálculos estadísticos que se necesitan para determinar tamaños de muestras e in-

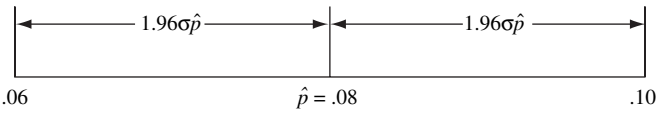


Figura 14.4 Rango de tolerancia del porcentaje de holgura por demoras inevitables que se requieren dentro de una sección específica de una planta.

tervalos de confianza. Por ejemplo, pueden calcular intervalos de confianza de 90, 95 y 99% de una muestra. También pueden proporcionar el número de muestras necesario con el fin de lograr una confianza de 90, 95 y 99% con un grado de exactitud específico.

Note que si se estudian varios trabajadores de manera simultánea, las observaciones no pueden considerarse independientes. Richardson y Pape (1992) estudiaron este problema de las observaciones correlacionadas y el resultado fue un intervalo de confianza corregido que se calcula después de la recolección de datos. En vez de la ecuación (1), la desviación estándar del intervalo de confianza se calcula a partir de

$$\sigma = \left[\frac{\Sigma y(j)^2/n(j) - np^2}{n(m-1)}\right]^{1/2}$$

donde m = número de observaciones agrupadas
$n(j)$ = número de trabajadores en la j-ésima observación
n = número total de observaciones
$y(j)$ = número de trabajadores "inactivos" (u otra categoría de interés) en la j-ésima observación

En el ejemplo 14.2 se demuestra el efecto de las observaciones correlacionadas sobre el error en un estudio de muestreo del trabajo.

EJEMPLO 14.2 Observaciones correlacionadas

La propietaria de un centro comercial desea determinar si hay suficientes lugares de estacionamiento (actualmente 250) para sus clientes. Las observaciones superficiales indican que aproximadamente 80% del estacionamiento está lleno durante las horas de oficina. La propietaria contrata un analista de ingeniería industrial para realizar un estudio de muestreo del trabajo más completo. El analista recopila 10 muestras aleatorias un miércoles de 9 a.m. a 6 p.m. con los siguientes resultados.

Muestra j	Lugares vacíos $y(j)$	$y(j)^2$
1	36	1 296
2	24	576
3	11	121
4	10	100
5	9	81
6	20	400
7	19	361
8	28	784
9	35	1 225
10	57	3 249
Total	**249**	**8 193**

La proporción de lugares vacíos es

$$p = 249/10/250 = 0.0996$$

Puesto que a cualquier hora seleccionada para el muestreo las 250 observaciones de los lugares de estacionamiento estarán correlacionadas, el límite de error debe calcularse a partir de

$$\ell = 1.96s = 1.96\left[\frac{\Sigma y(j)^2/n(j) - np^2}{n(-1)}\right]^{1/2}$$

$$= 1.96\left[\frac{8\,193/250 - 2\,500(0.0996)^2}{2\,500(10-1)}\right] = 0.0368$$

En consecuencia, la propietaria puede concluir con 95% de confianza que $9.96 \pm 3.68\%$ de los lugares de estacionamiento estarán abiertos en un momento dado. Esto se traduce en un rango aproximado de entre 16 y 34 lugares abiertos, y la propietaria puede concluir que en la actualidad hay suficientes

estacionamientos para sus clientes (aunque en ciertos momentos no sea así). Observe que el cálculo directo del límite del error

$$\ell = (3.8pq/n)^{1/2} = [3.84(0.0996)(0.9004)/2\,500]^{1/2} = 0.0117$$

es incorrecto y subestima el error verdadero. También sería prudente para el analista recopilar muestras a lo largo de varios días para evitar errores de representatividad.

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OBSERVACIÓN

La frecuencia de las observaciones depende, en su mayor parte, del número de observaciones que se requiere y del tiempo disponible para desarrollar los datos. Por ejemplo, para completar 3 600 observaciones en 20 días calendario, el analista debería obtener aproximadamente 3 600/20 = 180 observaciones por día.

Determinación del número de observaciones que se requiere — EJEMPLO 14.3

Un analista desea determinar el tiempo de descomposturas debido a problemas con herramientas en un área que incluye 10 centros de maquinado CNC, donde se realizan perforaciones muy finas. Un estudio piloto inicial indicó que de 25 observaciones, sólo una máquina de CNC se descompuso, para una $\hat{p}$ de 0.04. El analista desea una exactitud mayor en el estudio con una estimación dentro de ±1% del valor real, con 99% de confianza. Como $Z_{0.005}$ es 2.58, el número de observaciones necesario es

$$n = \frac{2.58^2 \times 0.04 \times (1 - 0.04)}{0.01^2} = 2\,557$$

Aun si el analista hiciera 256 viajes a la planta y tomara 10 observaciones en cada viaje, éste es un número grande y el analista tal vez reconsidere un nivel de confianza más bajo. Aún más, también está el problema de las observaciones correlacionadas (vea el ejemplo 14.2).

Por supuesto, el número de analistas disponible y la naturaleza del trabajo que se estudia también influyen en la frecuencia de las observaciones. Por ejemplo, si sólo se cuenta con un analista para acumular los datos del ejemplo 14.3, no sería práctico que esa persona tomara 180 observaciones durante un día.

Después de haber determinado el número de observaciones por día, debe seleccionarse el tiempo real necesario para registrar las observaciones. Para obtener una muestra representativa, las observaciones se toman a todas horas del día. Existen muchas formas para encontrar una ocurrencia aleatoria de las observaciones. Con un enfoque manual, el analista puede seleccionar nueve números cada día de una tabla estadística de números aleatorios, que estén entre 1 y 48 (vea el apéndice 3, tabla A3-5). Si cada número corresponde a un valor en minutos, equivalente a 10 veces su tamaño, los números seleccionados pueden establecer la hora para tomar la observación, en minutos, a partir del inicio del día. Por ejemplo, el número aleatorio 20 significaría que el analista debe hacer una serie de observaciones 200 minutos después de iniciado el turno.

Otro enfoque considera los cuatro dígitos adyacentes en la tabla de números aleatorios. El dígito 1 es el identificador del día, con los números 1 a 5 correspondientes a los días de lunes a viernes. El dígito 2 es el identificador de las horas, con números de 0 a 8 sumados a la hora de inicio (por ejemplo, las 7:00 a.m.). Los dígitos 3 y 4 identifican los minutos, con números entre 0 y 60 como aceptables. Obviamente, el enfoque más sencillo es escribir un pequeño programa que use un generador de números aleatorios o cualquiera de las hojas de cálculo comerciales, o usar la característica incluida en DesignTools o QuikSamp.

El estudio debe ser suficientemente largo para incluir las fluctuaciones normales de la producción. Mientras mayor sea la duración del estudio global, más posibilidades habrán de observar las condiciones promedio. Por lo general, los estudios de muestreo del trabajo se realizan durante un bloque de tiempo que va de dos a cuatro semanas.

Otra alternativa para ayudar al analista a decidir cuándo tomar las observaciones diarias es un recordatorio aleatorio. Este instrumento de bolsillo hace sonar una alarma en tiempos aleatorios, para indicar al analista cuándo tomar la siguiente observación. El usuario preselecciona una tasa promedio de muestreo (observaciones por hora, por día) y responde con un viaje al área de recolección de datos cuando escucha la alarma. Típicamente, el instrumento puede preestablecerse para cualquiera de las siguientes alarmas promedio por hora: 0.64, 0.80, 1.0, 1.3, 1.6, 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0, 6.4 y 8.0. Este instrumento es especialmente útil para la autoobservación, que se analiza más adelante en este capítulo. Una tabla con tiempos preparada de antemano puede requerir tiempo del analista cuando intenta registrar los datos a conciencia en los tiempos enlistados.

DISEÑO DE UN FORMULARIO DE MUESTREO DEL TRABAJO

El analista debe diseñar un formulario de observación para registrar los datos recolectados durante el estudio de muestreo del trabajo. A menudo, un formulario estándar no es aceptable, puesto que cada estudio de muestreo del trabajo es único desde el punto de vista de las observaciones totales necesarias, los tiempos aleatorios en que se realizan y la información que se pretende obtener. La mejor forma está vinculada con los objetivos del estudio.

La figura 14.5 es un ejemplo de un formulario de un estudio de muestreo del trabajo. Un analista diseñó este formulario a fin de determinar el tiempo de utilización de varios estados productivos y no productivos en un taller de reparación y mantenimiento. El formulario acepta 20 observaciones aleatorias durante el día de trabajo. Algunos analistas prefieren usar tarjetas especialmente diseñadas que permiten hacer las observaciones sin la atención que requiere una tableta. La tarjeta puede tener un tamaño tal que se pueda llevar convenientemente en el bolsillo de la camisa o del saco. Por ejemplo, el formulario que se muestra en la figura 14.5 se puede dividir fácilmente en dos secciones e imprimir por ambos lados una tarjeta de 3 por 5 pulgadas que se puede llevar en el bolsillo de la camisa.

USO DE GRÁFICAS DE CONTROL

Las técnicas con gráficas de control que se utilizan en actividades de control estadístico de la calidad se pueden aplicar fácilmente en estudios de muestreo del trabajo. Como estos estudios tratan sólo con porcentajes o proporciones, los analistas usan con más frecuencia la gráfica p.

El primer problema cuando se desea establecer una gráfica de control es la elección de los límites. En general, debe encontrarse un balance entre el costo de buscar causas atribuibles cuando no existen y el costo de no buscarlas cuando sí existen. Como elección arbitraria, el analista debe usar $\pm 3\sigma$ como límites de control en la gráfica p. (También se pueden utilizar límites más extremos como el proceso seis sigma desarrollado por Motorola.) Al sustituir 3σ por 1.96σ en la ecuación (1) se obtiene

$$\ell = 3\sigma = 3\sqrt{p(1-p)/n}$$

Suponga que p para una condición dada es 0.10 y que cada día se toman 180 observaciones. Despejando ℓ se tiene

$$\ell = 3 \times [0.1 \times 0.9/180]^{1/2} = 0.067 \approx 0.07$$

Entonces se puede construir una gráfica de control similar a la figura 14.6, y los valores p' de cada día se incluirían en esa gráfica.

En el trabajo de control de calidad, la gráfica de control indica si el proceso está bajo control. De manera similar, en el muestreo del trabajo, el analista considera los puntos fuera de los límites de $\pm 3\sigma$ de p como fuera de control. En consecuencia, se supone que una muestra que da un valor p' se obtuvo de una población con un valor esperado de p si p' se encuentra dentro de los límites $\pm 3\sigma$ de p. Para expresarlo de otra manera, si una muestra tiene un valor p' fuera de estos límites, se supone que proviene de alguna población diferente, o que la población original ha cambiado.

Como en el trabajo de control de calidad, los puntos distintos a los que están fuera de control pueden tener alguna significancia estadística. Por ejemplo, es más probable que un punto esté fuera de los límites $\pm 3\sigma$ que el hecho de que dos puntos sucesivos estén entre los límites $\pm 2\sigma$ y $\pm 3\sigma$. Por

Estudio de muestreo del trabajo

Taller principal de reparaciones Número de personas que trabajan en el estudio _____ Fecha _____ Por _____

Comentarios _____

_____

Núm. de obs.	Tiempo aleatorio	Ocurrencias productivas							Ocurrencias no productivas							Observaciones totales	Porcentaje productivo	Porcentaje no productivo
		Maquinado	Soldadura	Ajuste de tubos	Mano de obra general	Elect.	Carpin.	Limpieza	Tomar herramientas	Afilar herramientas	Espera de trabajo	Espera de grúa	Conferencia de supervisor	Personal	Inactividad			
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
	Total																	

Figura 14.5 Formulario para estudio de muestreo del trabajo.

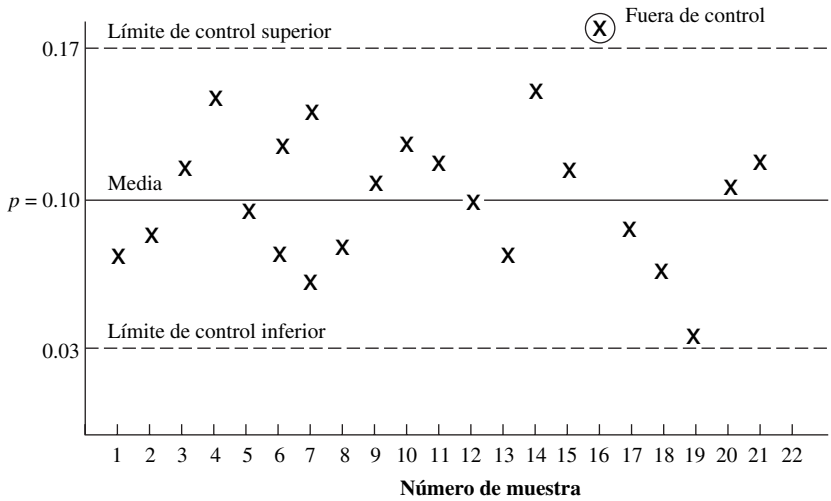


Figura 14.6 Gráfica de control de la muestra.

lo tanto, dos puntos sucesivos entre estos límites indicarían que la población cambió. Se ha obtenido una serie de conjuntos de puntos significativos. Esta idea se estudia en la mayoría de los libros de control estadístico de la calidad bajo el encabezado de "corridas".

EJEMPLO 14.4 Uso de gráficas de control en el muestreo del trabajo

La compañía Dorben desea medir el porcentaje de descomposturas de máquinas en el departamento de tornos. Una estimación original mostró que las descomposturas aproximadas ascienden a 0.20. Los resultados deseados deben estar dentro de ± 5% de p, con un nivel de confianza de 0.95. Los analistas tomaron 6 400 lecturas durante 16 días a una tasa de 400 lecturas diarias. Calcularon un valor p' de cada muestra diaria de 400 y elaboraron una gráfica p para $p = 0.20$ y tamaños de submuestras de $N = 400$ (vea la figura 14.7).

Cada día tomaron lecturas y graficaron p'. En el tercer día, el punto de p' quedó por arriba del límite de control superior. Una investigación reveló que después de un accidente en la planta, varios trabajadores dejaron sus máquinas para ayudar al compañero lesionado. Como se descubrió una causa asignable de error, descartaron el punto del estudio. Si no hubieran usado una gráfica de control, estas observaciones se hubieran incluido en la estimación final de p.

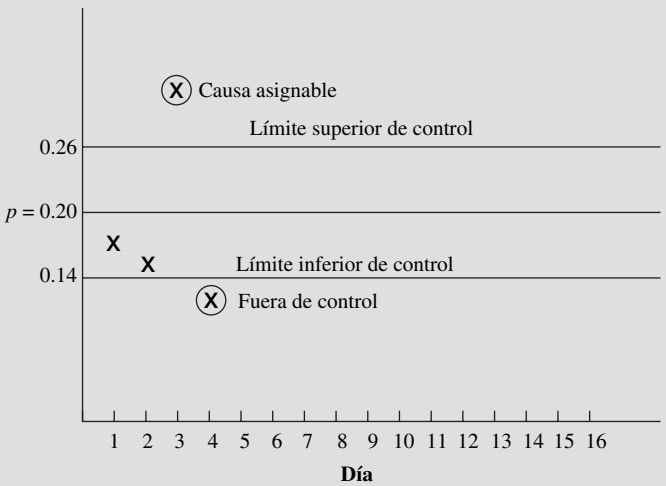


Figura 14.7 Gráfica de control del ejemplo 14.4.

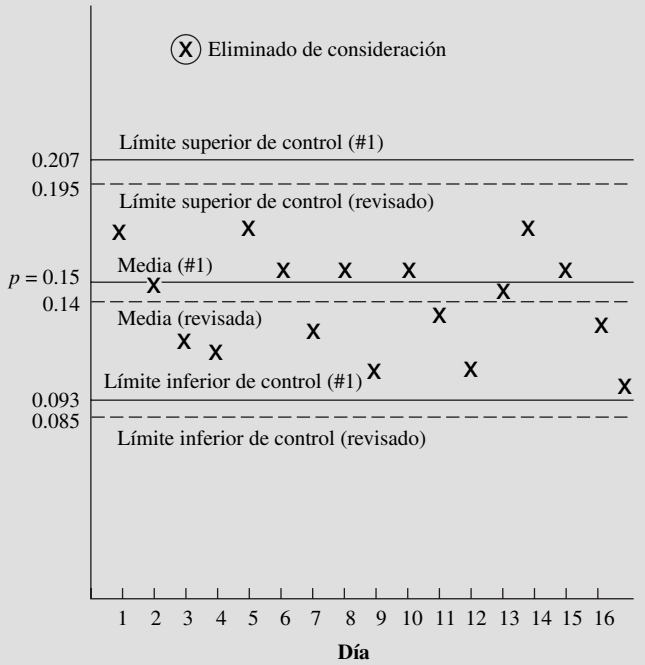


Figura 14.8 Gráfica de control revisada del ejemplo 14.4.

En el cuatro día, el punto de p' cayó debajo del límite inferior de control. No se encontró causa asignable para esta ocurrencia. El ingeniero industrial a cargo del proyecto también notó que los valores de p' de los dos primeros días estaban abajo de la media p y decidió calcular un nuevo valor de p usando los valores de los días 1, 2 y 4. La nueva estimación de p fue 0.15. Entonces, para obtener la exactitud deseada, n fue de 8 830 observaciones. Los límites de control también cambiaron (vea la figura 14.8).

Los analistas tomaron observaciones 12 días más y graficaron los valores individuales de p' en la nueva gráfica. Como puede verse, todos los puntos están dentro de los límites de control. Después calcularon un valor más exacto de p, usando las 6 000 observaciones, y determinaron que la nueva estimación de p era 0.14. Un cálculo más de la exactitud lograda mostró que era un poco mejor que la deseada. Como verificación final, los analistas calcularon nuevos límites de control, con p igual a 0.14. Las líneas punteadas superpuestas en la figura 14.8 muestran que todos los puntos aún se encuentran bajo control al usar los nuevos límites. Si un punto hubiera caído fuera de control, lo habrían eliminado y habrían calculado un nuevo valor de p. Este proceso hubiera tenido que repetirse hasta lograr la exactitud deseada y que todos los valores de p' estuvieran bajo control.

El porcentaje de descomposturas del ejemplo 14.4 no permanecerá igual por siempre. La mejora de métodos debe ser un proceso continuo y el porcentaje de descomposturas debe disminuir. Las gráficas de control también pueden usarse para mostrar la mejora progresiva en las áreas de trabajo. Esta idea es especialmente importante si los estudios de muestreo del trabajo se usan para establecer tiempos estándar, debido a que si se quiere que los estándares sean realistas, éstos deben cambiar siempre que cambien las condiciones.

14.4 REGISTRO DE OBSERVACIONES

Al acercarse al área de trabajo, el analista no debe anticipar los registros esperados. Debe caminar hasta un punto fijo, hacer la observación y registrar los hechos. Podría ser útil poner una marca en el

piso para mostrar el lugar donde debe pararse a fin de realizar las observaciones. Si la persona o la máquina en estudio está inactiva, el analista también debe determinar la razón de ello y anotarla en el formulario. La causa de que un operario esté desocupado, ya sea la descompostura de una máquina, la falta de materia prima, etc., es muy importante para rediseñar el trabajo a efectos de mejorar la productividad. El analista debe aprender a tomar las observaciones visuales y realizar las entradas escritas después de salir del área de trabajo. Este arreglo minimiza el sentimiento del trabajador de que lo están observando y le permite alcanzar el desempeño acostumbrado.

Aun si el analista observa el protocolo adecuado del muestreo del trabajo, los datos tienden a padecer sesgos cuando la técnica se usa sólo para estudiar a las personas. La llegada de un analista al centro de trabajo influye de inmediato en la actividad del operario. Éste se concentra en la productividad en cuanto ve que el analista se acerca al centro de trabajo. Por otro lado, también existe una tendencia natural en el observador a registrar lo que acaba de ocurrir o lo que va a ocurrir, en lugar de lo que sucede en el momento exacto de la observación.

Una cámara de video puede ser útil para realizar estudios de muestreo del trabajo no sesgados que incluyen sólo a personas. Los autores realizaron un muestreo del trabajo durante 10 días con trabajadores de procesamiento de datos donde se incluían sólo los elementos "activo" o "inactivo". Las 2 520 observaciones que se recolectaron utilizando una cámara, indicaron una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$), 12.3% mayor al promedio que se obtuvo mediante el método de observación personal. Cuando hubo duda en los trabajadores respecto a indicar si estaban inactivos, la cámara de video registró con exactitud la actividad en progreso.

De manera semejante, algunos de los paquetes de software para medición del trabajo que se describen más adelante incluyen agendas digitales personales (PDA) para facilitar el registro de datos y su descarga en la PC de escritorio para su análisis posterior. Estos dispositivos también se pueden configurar para que envíen una señal auditiva en los momentos aleatorios adecuados para recolectar los datos. Asimismo, se pueden utilizar dispositivos independientes con recordatorios aleatorios.

14.5 UTILIZACIÓN DE MÁQUINAS Y OPERARIOS

Los analistas pueden usar el muestreo del trabajo para determinar la utilización de máquinas y operarios. Como ejemplo, considere la utilización de máquinas en un taller de maquinaria pesada. La administración estimaba que el tiempo real de corte en esta sección debía ser alrededor de 60% de la jornada de trabajo, para cumplir con los presupuestos que se someterían a aprobación. Se incluían 14 máquinas y los analistas debieron tomar aproximadamente 3 000 observaciones para obtener la exactitud deseada.

Los analistas diseñaron un formulario de muestreo del trabajo (vea la figura 14.9, pero con las celdas en blanco) para registrar los 16 estados posibles en los que podían encontrarse las 14 máquinas en el momento de una observación. Después establecieron un patrón aleatorio de 6 observaciones de las 14 operaciones para cada uno de los 36 distintos turnos.

Como el propósito principal del estudio era conocer el estado del tiempo de corte real en esta sección, un analista mantuvo actualizada una gráfica del porcentaje acumulado del tiempo de corte (vea la figura 14.10). Al inicio de cada día de estudio, los analistas calcularon la razón de todas las observaciones anteriores de corte sobre el total de observaciones hasta esa fecha. Al final del décimo día de estudio, el porcentaje de tiempo de corte comenzó a estabilizarse en 50.5%.

Después de recopilar las 3 024 observaciones, los analistas dividieron la suma de todas las observaciones de cada categoría entre el número total de observaciones, lo que dio como resultado el porcentaje que representa la distribución del tiempo de corte, el tiempo de preparación y las diferentes operaciones enlistadas. La figura 14.9 ilustra la hoja de resumen de este estudio con un tiempo de corte de 50.7%. El porcentaje de tiempo requerido por las diferentes demoras fue de alrededor de 9.6% para preparación y 10.8% para el manejo de herramientas, pueden indicar las áreas para la mejora de métodos que ayudaría a incrementar el tiempo de corte. En el ejemplo 14.5 se muestra un enfoque similar para determinar la utilización del operario.

FECHA 7-15

OBSERVADOR R Guild

MÁQUINA	DIBUJO	CORTE	PREPARACIÓN	MÁQUINA INACTIVA	ESPERA GRÚA	ESPERA INSPECCIÓN	AYUDA A INSPECCIÓN	ESPERA HERRAMIENTA NO DISPONIBLE	ESPERA PROBLEMAS CON HERRAMIENTA	CONFERENCIA CON OTRO TURNO	MANIPULACIÓN DE HERRAMIENTA	TOMAR O AFILAR HERRAMIENTA	CONFERENCIA CON SUPERVISIÓN O INSPECCIÓN	ESPERA TRABAJO	QUITAR VIRUTAS LIMPIAR MESA	VARIOS	SIN OPERARIO	
20' VBM		101	7	14	2	3		1		2	37	5	3			6	35	216
16' VBM		102	34	14	15	3	1	1		1	28	5	1	7	4			216
28' VBM		119	34	10	5	5	2				18	2	1	2			18	216
12' VBM		109	24	12	13	6	1			3	26	6	2	3	3	2	6	216
16' CEPILLADORA		127	17	6	9	2					22		2	15		4	12	216
8' VBM		64	18	17	16	3				2	30	7	3			28	28	216
16' VBM		147	19	10	14	3	1				15	2			1	1	3	216
14' CEPILLADORA		140	8	5	7	2				2	17	3		3		11	18	216
72" TORNO		99	13	12	7	3				1	32	8	2			3	36	216
96" TORNO		89	9	29	18	11	1			2	29	8	3	4		3	10	216
96" TORNO		109	14	12	8	10		3	3		32	9	8	2		1	5	216
160" TORNO		72	34	13	14	6	2	1		4	21	3	3	1	1	4	37	216
11-1/2' CEPILLADORA		106	35	11	10	4				1	11	4	5	3	2	8	16	216
32' VBM		151	23	8	7	1				1	10	2	1	5	2	5		216
		1535	289	173	145	62	8	6	3	19	328	64	34	45	13	76	224	= 3024
	%	50.7	9.6	5.9	4.8	2.1	.3	.2	.1	.6	10.8	2.1	1.1	1.5	.4	2.5	7.4	= 100%

Figura 14.9 Hoja de resumen de muestreo del trabajo.

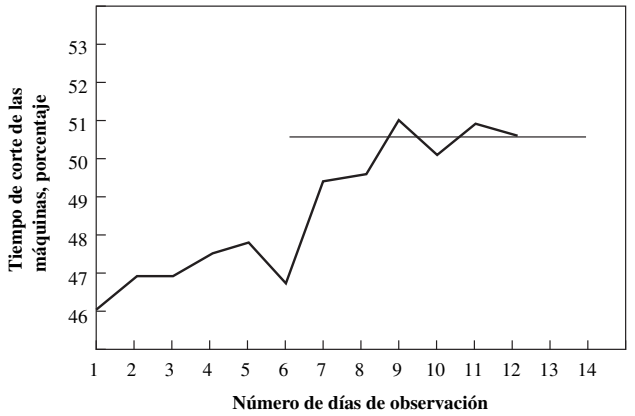


Figura 14.10 Porcentaje acumulado del tiempo de corte de las máquinas.

EJEMPLO 14.5 Muestreo del trabajo para determinar la utilización del operario

La administración de una planta de semiconductores consideraba incrementar el número de máquinas perforadoras monitoreadas por un operario de entre 10 y 12 máquinas. Por lo general, las máquinas funcionan de manera automática y sólo requieren un suministro regular de componentes básicos, tienen detenciones irregulares debidas a los cambios de lote, errores en la carga y problemas con el arco eléctrico que deben ser atendidos por el operario. Como los ciclos de máquina son largos con descomposturas irregulares, el muestreo del trabajo es el mejor enfoque para determinar la utilización del operario.

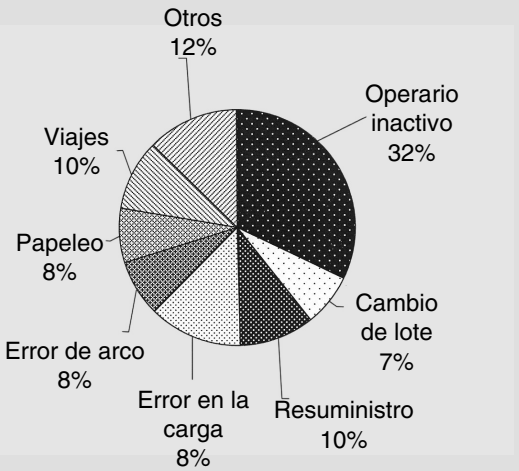


Figura 14.11 Utilización del operario en máquinas de perforado.

Se tomaron un total de 185 observaciones durante un periodo de una semana, como resultado de lo cual se obtuvieron 125 observaciones en las que el operario estaba ocupado en una variedad de actividades, como se muestra en la figura 14.11. En correspondencia, 60 (o 32.4%) de las observaciones indicaron que el operario estaba inactivo. El límite de error resultante es

$$\ell^2 = 3.84pq/n = 3.84(0.324)(0.676)/185 = 0.00455 \qquad \text{o bien} \qquad \ell = 0.067$$

En consecuencia, la Administración concluyó con 95% de confianza que el operario estaría desocupado $32.4 \pm 6.7\%$ del tiempo, por lo que podría monitorear fácilmente otras 2 máquinas.

Depto._____ ACME Electric Products, Inc. Fecha _____

Operación	Personal	Otro inactivo	Interferencia	Trabajando	Observaciones totales	Holgura porcentual
Mesa	80	39	26	2 750	2 895	0.95
Máquina	20	9	27	1 172	1 228	2.30
Inspección	61	8	7	984	1 060	0.71
Aspersor	63	199	43	1 407	1 712	3.06

Figura 14.12 Resumen de muestreo del trabajo de inactividades, interferencias y actividades de trabajo para determinar la holgura por demoras inevitables.

14.6 DETERMINACIÓN DE HOLGURAS

Si se desea desarrollar estándares justos, la determinación de holguras o suplementos debe ser correcta. Antes de introducir el muestreo del trabajo, con frecuencia los analistas determinaban las holguras por razones personales y demoras inevitables, tomaban una serie de estudios durante todo el día de varias operaciones y después promediaban los resultados. De esta manera, registraban, tomaban tiempo y analizaban los viajes al baño, a la fuente de agua, las interrupciones, etc. Aunque este método proporcionaba una respuesta, era costoso y consumía mucho tiempo, y resultaba fatigoso tanto para el analista como para el operario.

A través del estudio de muestreo del trabajo, los analistas toman un gran número de observaciones (usualmente más de 2 000) en distintos momentos del día y de diferentes operarios. Pueden dividir el número total de ocurrencias de inactividad legítimas que involucran a operarios normales entre el número total de observaciones del trabajo. El resultado es igual al porcentaje de holgura que debe asignarse al operario de la clase de trabajo que se estudia. Los diferentes elementos que entran en las demoras personales e inevitables pueden mantenerse separados y se puede determinar una holgura equitativa para cada clase o categoría.

En la figura 14.12 se ilustra un resumen de un estudio de muestreo del trabajo para determinar holguras por demoras inevitables para operaciones de mesa, máquina, inspección y aspersor. Hubo interferencias en 26 casos de 2 895 observaciones que se realizaron en operaciones de mesa. Esto indicó una holgura por demoras inevitables de 0.95% (26/2 750) para esta clase de trabajo.

14.7 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ESTÁNDAR

El muestreo del trabajo puede ser muy útil para establecer los estándares de tiempo para las operaciones de mano de obra directa e indirecta. La técnica es la misma que la que se utiliza para determinar holguras. El analista debe tomar un gran número de observaciones aleatorias. El porcentaje del total de observaciones en las que el operario está trabajando se aproxima al porcentaje del tiempo total de ese estado.

Cálculo del tiempo estándar de una sola operación — EJEMPLO 14.6

En la tabla 14.1 se enlista la información necesaria para los cálculos, las fuentes de información y los datos específicos que se consideran en este ejemplo del operario de un taladro de prensa.

$$\text{TO} = \frac{T}{P} \times \frac{n_i}{n} = \frac{480}{420} \times 0.85 = 0.971 \text{ min}$$

El tiempo normal (TN) se encuentra escalando el tiempo observado de acuerdo con la tasa promedio $\overline{R}$:

$$\text{TN} = \text{TO} \times \overline{R}/100 = 0.971 \times 110/100 = 1.069 \text{ min}$$

Tabla 14.1 Información sobre el operario de un taladro de prensa

Información	Fuente	Datos
Día total de trabajo (activo + inactivo)	Tarjeta de tiempo	480 minutos
Número de unidades taladradas	Departamento de inspección	420 unidades
Fracción trabajada	Muestreo del trabajo	85%
Tasa promedio	Muestreo del trabajo	110%
Holguras	Muestreo del trabajo	15%

Por último, el tiempo estándar se encuentra sumando las holguras (mediante el enfoque del multiplicador) al tiempo normal:

$$\text{TS} = \text{TN} \times (1 + \text{holgura}) = 1.069 \times (1.15) = 1.229 \text{ min}$$

De manera más específica, el tiempo observado TO (vea el capítulo 10) para un elemento dado se calcula a partir del tiempo de trabajo dividido entre el número de unidades producidas durante ese tiempo:

$$\text{TO} = \frac{T}{P} \times \frac{n_i}{n}$$

donde T = tiempo total
n_i = número de ocurrencias para el elemento i
n = número total de observaciones
P = producción total por periodo estudiado

El tiempo normal TN se encuentra multiplicando el tiempo observado por la tasa promedio:

$$\text{TN} = \text{TO} \times \bar{R}/100$$

donde $\bar{R}$ = tasa promedio de desempeño = $\Sigma R/n$. Por último, el tiempo estándar se encuentra sumando las holguras al tiempo normal.

En el ejemplo l4.6 se muestra este procedimiento para una sola operación, mientras que en el ejemplo 14.7 se hace en el caso de elementos múltiples.

EJEMPLO 14.7 Cálculo de tiempos estándar en el caso de elementos múltiples

Un analista hizo 30 observaciones en un lapso de 15 minutos sobre una asignación de trabajo que incluye tres elementos, tiempo durante el cual se produjeron 12 unidades. Los datos resultantes aparecen en la tabla 14.2. Los tiempos observados fueron, respectivamente,

$$\text{TO}_1 = \frac{15}{12} \times \frac{9}{30} = 0.375 \text{ min}$$
$$\text{TO}_2 = \frac{15}{12} \times \frac{7}{30} = 0.292 \text{ min}$$
$$\text{TO}_3 = \frac{15}{12} \times \frac{12}{30} = 0.500 \text{ min}$$

y los tiempos normales respectivos fueron

$$\text{TN}_1 = 0.375 \times \frac{860}{9 \times 100} = 0.358 \text{ min}$$

$$\text{TN}_2 = 0.292 \times \frac{705}{7 \times 100} = 0.294 \text{ min}$$
$$\text{TN}_3 = 0.500 \times \frac{1\,180}{11 \times 100} = 0.492 \text{ min}$$

Tabla 14.2 Datos tabulares de un estudio de muestreo del trabajo con tres elementos

Número de observación	Evaluación del desempeño observado			
	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Inactivo
1	90			
2				100
3		110		
4	95			
5	100			
6		100		
7			105	
8	90			
9			110	
10	85			
11			95	
12		90		
13			100	
14			95	
15	80			
16			110	
17		105		
18			90	
19	100			
20			85	
21			90	
22			90	
23	110			
24			100	
25		95		
26				100
27		105		
28		100		
29			110	
30	110			
$\sum$ evaluaciones	860	705	1 180	100

Suponiendo una holgura constante de 10% para todos los elementos, el tiempo estándar final fue

$$\text{TE} = (0.358 + 0.294 + 0.492)(1 + 0.10) = 1.258 \text{ min}$$

14.8 AUTOOBSERVACIÓN

Los administradores y los trabajadores asalariados deben tomar varias muestras periódicas de su propio trabajo para evaluar la eficiencia del uso de su tiempo. En muchos casos, los administradores dedican menos tiempo de lo que creen a los aspectos importantes. También dedican más tiempo a aspectos sin importancia, como demoras personales e inevitables, de lo que ellos creen. Una vez que saben cuánto tiempo les consumen las funciones que pueden delegar en sus subordinados y en el personal de apoyo en la oficina, pueden tomar una acción positiva.

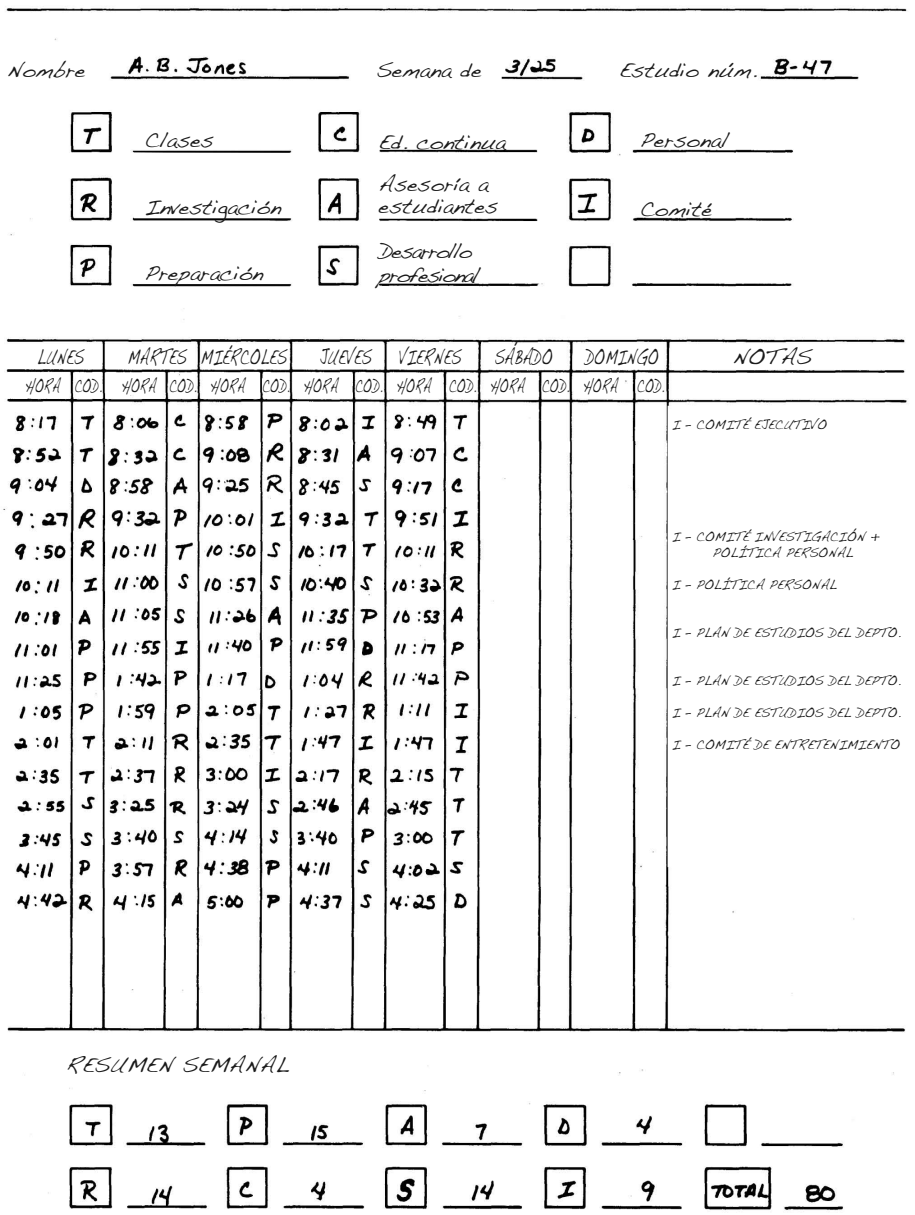
Por ejemplo, un profesor universitario puede decidir llevar a cabo un muestreo de su trabajo personal para determinar cómo utiliza su tiempo durante un periodo de 8 semanas del año académico. Este periodo debe ser representativo y no estar sujeto a variaciones estacionales. El profesor establece un recordatorio aleatorio para proporcionar un promedio de 2 muestras por hora. Así, en el periodo de estudio de 8 semanas, el profesor tendrá 640 observaciones (8 semanas × 40 h/semana × 2 obser-

vaciones/h). Para elaborar un estudio más exacto, el profesor podría haber elegido tomar muestras a una tasa más alta dentro del intervalo de estudio.

Para registrar los datos, se usó un formulario similar al que se muestra en la figura 14.13 para registrar una semana de observaciones aleatorias diarias. Cada vez que el recordatorio aleatorio (por ejemplo Divilbiss Electronics) hacía sonar la alarma, el profesor registraba la letra del código de la categoría y el tiempo aplicables.

Al final del estudio de 8 semanas, 80 del total de 640 observaciones tenían código I (participación en comités), lo que significaba que alrededor de 12.5% del tiempo de trabajo estaba dedicado a esta actividad. El intervalo con 95% de confianza sería:

$$\pm 1.96\sqrt{\frac{0.125(1-0.125)}{640}} = \pm 0.026$$



Nombre A. B. Jones Semana de 3/25 Estudio núm. B-47

T	Clases	C	Ed. continua	D	Personal			
R	Investigación	A	Asesoría a estudiantes	I	Comité			
P	Preparación	S	Desarrollo profesional					

LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO		NOTAS
HORA	COD.	HORA	COD.	HORA	COD.	HORA	COD.	HORA	COD.	HORA	COD.	HORA	COD.	
8:17	T	8:06	C	8:58	P	8:02	I	8:49	T					I - COMITÉ EJECUTIVO
8:52	T	8:32	C	9:08	R	8:31	A	9:07	C					
9:04	D	8:58	A	9:25	R	8:45	S	9:17	C					
9:27	R	9:32	P	10:01	I	9:32	T	9:51	I					
9:50	R	10:11	T	10:50	S	10:17	T	10:11	R					I - COMITÉ INVESTIGACIÓN + POLÍTICA PERSONAL
10:11	I	11:00	S	10:57	S	10:40	S	10:32	R					I - POLÍTICA PERSONAL
10:18	A	11:05	S	11:26	A	11:35	P	10:53	A					
11:01	P	11:55	I	11:40	P	11:59	D	11:17	P					I - PLAN DE ESTUDIOS DEL DEPTO.
11:25	P	1:42	P	1:17	D	1:04	R	11:42	P					I - PLAN DE ESTUDIOS DEL DEPTO.
1:05	P	1:59	P	2:05	T	1:27	R	1:11	I					I - PLAN DE ESTUDIOS DEL DEPTO.
2:01	T	2:11	R	2:35	T	1:47	I	1:47	I					I - COMITÉ DE ENTRETENIMIENTO
2:35	T	2:37	R	3:00	I	2:17	R	2:15	T					
2:55	S	3:25	R	3:24	S	2:46	A	2:45	T					
3:45	S	3:40	S	4:14	S	3:40	P	3:00	T					
4:11	P	3:57	R	4:38	P	4:11	S	4:02	S					
4:42	R	4:15	A	5:00	P	4:37	S	4:25	D					

RESUMEN SEMANAL

T	13	P	15	A	7	D	4		
R	14	C	4	S	14	I	9	TOTAL	80

Figura 14.13 Formulario para muestreo del trabajo especialmente diseñado para la autoobservación.

Por lo tanto, el profesor tiene 95% de confianza de que el trabajo de comités ocupa 12.5 ± 2.6% del tiempo. Con base en este porcentaje y en los de las otras actividades, el profesor modificó su calendario para utilizar el tiempo y la energía en una forma más positiva.

14.9 SOFTWARE PARA MUESTREO DEL TRABAJO

Se estima que el uso de una computadora puede ahorrar 35% del costo total de un estudio de muestreo del trabajo, debido al alto porcentaje de trabajo de oficina relacionado con el tiempo de observación real. La mayor parte del esfuerzo involucrado en resumir los datos del muestreo del trabajo lo realiza el personal de apoyo: calcular porcentajes y exactitudes, graficar datos en los diagramas de control, determinar el número de observaciones que se requieren, determinar las observaciones diarias que se necesitan, determinar el número de viajes diarios al área de estudio, fijar la hora del día de cada visita, etcétera.

Existen varios paquetes de software para muestreo del trabajo disponibles para el analista, los cuales tienen una variedad de características. WorkSamp, de Royal J. Dossett Corp., proporciona una alarma integrada para señalar la entrada de datos en intervalos aleatorios, varios informes resumidos diferentes y una conexión RS233C para subir los datos a una PC. Una pequeña desventaja es que usa un manejador de datos personalizado para recolectarlos de manera electrónica. Otros paquetes usan las PC portátiles o los PDA Palm más versátiles para recolectar datos, lo que permite que el analista los use para otras tareas. Por ejemplo, CAWS/E, de C-Four Consulting, utiliza la PC portátil, mientras que SamplePro, de Applied Computer Services, WorkStudy+™3.0, de Quetech, Ltd., UmtPlus, de Laubrass, Inc., o QuikSamp (disponible con este libro, vea la figura 14.14) utilizan el PDA PALM. Una ventaja de los programas para PC portátiles es que permiten realizar un análisis de datos mucho más detallado, pues se ligan directamente con Excel. Además, cualquiera de estos productos de software proporciona los siguientes beneficios al analista:

1. La cantidad de tiempo disponible del ingeniero industrial se incrementa cuando se reduce el trabajo rutinario de oficina.
2. Los resultados del estudio se logran con mayor rapidez y los datos se presentan de una manera más profesional.

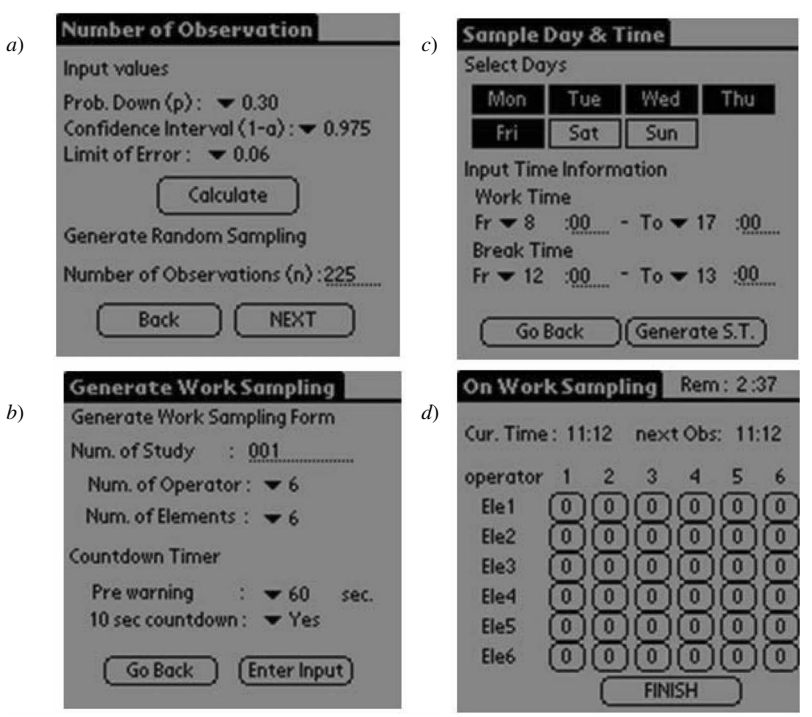


Figura 14.14 Programa QuikSamp para muestreo del trabajo en PDA Palm. *a*) Generación del número de observaciones requeridas; *b*) selección del tiempo y los días del muestreo; *c*) selección de los operarios y elementos del trabajo que serán muestreados; *d*) tamaño máximo de la pantalla para la entrada de datos.

EJEMPLO 14.8 Análisis de la carga de trabajo en la industria del servicio

Un gran caso de estudio de las operaciones de servicio a la comunidad fue realizado por Sterling Associates (1999) para el Departamento de Salud y Servicios Sociales (DSHS) del estado de Washington. Como la carga de casos de servicios a la comunidad había disminuido en los últimos años, el DHSS estaba interesado en saber si la carga de trabajo de los trabajadores sociales, los especialistas financieros y los asistentes de oficina también había disminuido. Se proporcionaron a 304 miembros del personal alarmas electrónicas que sonaban a intervalos aleatorios, en esos momentos debían registrar la tarea específica que realizaban, en una forma electrónica en red. Este formato permitía un acceso rápido, la actualización constante y un análisis sencillo de los datos.

El estudio comprendió un periodo de dos meses (específicamente, 90 385 horas-trabajador), se recolectaron 91 371 observaciones de 17 tareas diferentes en 15 programas distintos en seis oficinas del distrito. Suponiendo un intervalo de confianza de 99%, el escenario del peor de los casos, con $p = 0.5$ para la tarea de interés y usando la ecuación (3) invertida, se obtuvo:

$$\ell = \sqrt{\frac{(2.58^2)(0.5)(0.5)}{91\,371}} = 0.0042$$

En consecuencia, para una tarea que ocurre aproximadamente un 50% del tiempo, la exactitud que se obtuvo es de ±0.41%. Para cualquier tarea que ocurra en un porcentaje de tiempo menor, la exactitud sería mucho mejor.

El tiempo dedicado a una tarea dada (por ejemplo, auditorías de caso) se calculó de la siguiente manera. De 91 371 observaciones, 2 224 fueron auditorías de caso, y durante este tiempo se completaron 2 217 auditorías de caso. Entonces, el tiempo por auditoría fue

$$\text{Tiempo/auditoría} = \frac{90\,385}{2\,217} \times \frac{2\,224}{91\,371} = 0.99 \text{ h/auditoría}$$

Los resultados principales incluyeron lo siguiente. Existía una gran disparidad (vea la figura 14.15) entre la cantidad de tiempo dedicado a dar servicio a los diferentes programas y el número real de casos que manejaba cada programa (medido en unidades de asistencia, UA). Esto puede significar que tal vez sea necesaria una redistribución del esfuerzo o de la fuerza de trabajo para manejar de mejor manera los diferentes programas. Para ayudar en esta tarea, se desarrolló un modelo de asignación de personal. Aunque hubo algunas diferencias, los resultados globales fueron similares en las distintas oficinas de distrito. Por último, aunque no se resaltó la importancia de establecer estándares en este estudio, el tiempo ocioso total (aproximadamente 4%) era bastante bajo. Sin embargo, este resultado debe moderarse por el hecho de que, igual que en los estudios de autoobservación, los trabajadores pueden dudar en indicar con exactitud que no estaban trabajando.

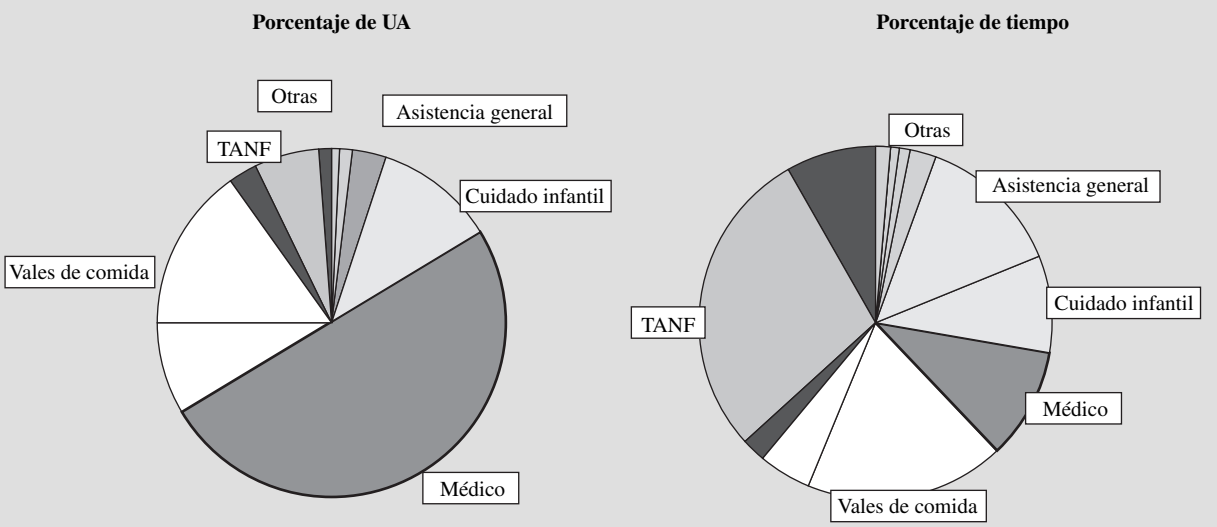


Figura 14.15 Unidades de asistencia (UA) comparadas con el tiempo.

3. El costo de realizar estudios de muestreo del trabajo se reduce significativamente.
4. La exactitud de los cálculos mejora.
5. Los analistas cometen menos errores.
6. El sistema automatizado proporciona un incentivo para hacer un mayor uso de la técnica de muestreo del trabajo.

RESUMEN

El muestreo del trabajo es otra herramienta que permite al analista de tiempos y métodos obtener información sobre la utilización de las máquinas y los operarios así como establecer estándares de tiempo. El muestreo del trabajo con tasas de desempeño es especialmente útil para determinar la cantidad de tiempo que debe asignarse por demoras inevitables, detenciones y situaciones parecidas. La extensión de estas interrupciones es un área adecuada para mejorar la productividad. El muestro del trabajo también se está usando con mayor decisión para establecer estándares en la mano de obra de apoyo a la producción, mantenimiento y servicios.

Todos los involucrados en el campo de los estudios de métodos y tiempos y del pago de salarios deberían familiarizarse con las ventajas, limitaciones, usos y aplicaciones de esta técnica. En resumen, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Explicar y "presentar" el método de muestreo del trabajo antes de usarlo.
2. Confinar los estudios individuales a grupos similares de máquinas u operaciones.
3. Usar un tamaño de muestra tan grande como sea práctico.
4. Tomar observaciones individuales en tiempos aleatorios, de manera que las observaciones se registren durante todas las horas del día.
5. Tomar observaciones durante un periodo extenso de manera que sean representativas de las condiciones reales.

PREGUNTAS

1. ¿Dónde se usó el muestreo del trabajo por primera vez?
2. ¿Cuáles son las ventajas del muestreo del trabajo sobre el estudio de tiempos con cronómetro?
3. ¿En qué áreas es aplicable el muestreo del trabajo?
4. ¿Cómo se puede determinar el momento del día en que deben tomarse las distintas observaciones de manera que no se presenten resultados sesgados?
5. ¿Qué consideraciones deben tenerse en cuenta cuando se realizan estudios de muestreo del trabajo?
6. Analice las bases estadísticas de las concesiones entre el número de observaciones recopiladas y la exactitud del muestreo del trabajo.
7. ¿Cuáles son las principales ventajas de usar un recordatorio aleatorio en relación con un estudio de autoobservación?
8. ¿Durante qué periodo es deseable recolectar observaciones?
9. Analice las concesiones involucradas cuando se observan simultáneamente 10 cajeros en un gran banco.
10. ¿Cómo puede "presentarse" la validez del muestreo del trabajo a los empleados que no están familiarizados con los procedimientos de probabilidad y estadística?
11. ¿Cuáles son los pros y contras de usar el muestreo del trabajo para establecer estándares de desempeño?

PROBLEMAS

1. El analista de la biblioteca de referencias de la compañía Dorben decide usar la técnica de muestreo del trabajo para establecer estándares. Hay 20 empleados involucrados. Las operaciones incluyen: catalogar, dar salida a los libros, regresarlos a su ubicación adecuada, limpiarlos, mantener registros, empacar libros para envíos y manejar la correspondencia. Una investigación preliminar estimó que 30% del tiempo del grupo estaba dedicado a catalogar. ¿Cuántas observaciones de muestreo del trabajo deben tomarse si se desea una confianza de 95% de que los datos observados están dentro de una

tolerancia de ±10% respecto a los datos de la población? Describa cómo deben realizarse las observaciones aleatorias.

La siguiente tabla ilustra algunos de los datos que se recopilaron acerca de 6 de los 20 empleados. El número de volúmenes catalogados es igual a 14 612. A partir de estos datos determine un estándar, en horas por cada ciento, para catalogar. Después diseñe una gráfica de control basada en límites de $\pm 3\sigma$ para las observaciones diarias.

	Operarios					
Elemento	**Smith**	**Apple**	**Brown**	**Green**	**Baird**	**Thomas**
Horas trabajadas totales	78	80	80	65	72	75
Observaciones totales (todos los elementos)	152	170	181	114	143	158
Observaciones que incluyen catalogar	50	55	48	29	40	45
Tasa media	90	95	105	85	90	100

2. El analista de medición del trabajo en la Dorben Company planea establecer estándares para la mano de obra indirecta mediante la técnica de muestreo del trabajo. Este estudio proporcionará la siguiente información:

T = tiempo total del operario representado en el estudio
N = número total de observaciones incluidas en el estudio
n = observaciones totales del elemento en estudio
P = producción del periodo en estudio
R = factor de tasa de desempeño promedio durante el estudio

Obtenga la ecuación para estimar el tiempo elemental normal de una operación.

3. El analista de la Dorben Company desea medir el porcentaje de tiempo de descompostura en la sección de martinetes del taller de forjado. El superintendente estima un tiempo de descompostura cercano a 30%. Los resultados deseados, usando un estudio de muestreo del trabajo deben estar dentro de ±5% de p con un nivel de confianza de 0.95. El analista decide tomar 300 lecturas aleatorias al día durante tres semanas. Desarrolle una gráfica p para $p = 0.30$ y tamaño de submuestras de $N = 300$. Explique el uso de esta gráfica p.

4. La Dorben Company utiliza la técnica de muestreo del trabajo para establecer estándares en su equipo de mecanografía. Este equipo tiene responsabilidades variadas que incluyen transcribir cintas de sonido grabadas, archivar, actualizar el kardex y sacar copias. El equipo tiene seis mecanógrafas que trabajan 40 horas a la semana. Durante 4 semanas, se realizaron 1 700 observaciones aleatorias simultáneas de las seis mecanógrafas. Durante el periodo, las mecanógrafas produjeron 9 001 páginas de mecanografía rutinaria. De las observaciones aleatorias, 1 225 mostraron que se llevaba a cabo la mecanografía. Suponiendo una holgura de 20% y un factor de tasa de desempeño ajustada de 0.85, calcule el estándar horario por página mecanografiada.

5. ¿Cuántas observaciones deben registrarse para determinar la holgura por demoras personales en un taller de forjado, si se espera que sea suficiente una holgura de 5% y si este valor debe encontrarse entre 4 y 6% el 95% del tiempo?

6. Para obtener una precisión de ±5% en un trabajo que se estima toma 80% del tiempo de los trabajadores, ¿cuántas observaciones aleatorias se requieren para un nivel de confianza de 95%?

7. Si la actividad promedio de manejo de materiales durante un estudio con duración de 10 días es de 82% y el número de observaciones diarias es de 48, ¿cuál es el intervalo de confianza para el porcentaje de actividad de cada día?

8. Los siguientes datos fueron recolectados por un empleado que trabaja en el Mole Hill Ski Resort respecto a la eficiencia del motor Ford V-8 que se usa para mover la cuerda del transportador de la pendiente ligera. La administración desea conocer cuántas horas de servicio, de las 16 horas típicas que se esquían en un día, puede esperar de ese motor que obviamente falla. Después de estudiar los datos, se puede establecer con 95% de confianza que el motor podrá operar durante _____ horas ± _____ horas de un día de 16 horas.

Funcionando con 8 cilindros	𝍸
Funcionando con 7 cilindros	𝍸 𝍸 ||
Funcionando con 6 cilindros	𝍸 𝍸 𝍸 ||
Sin funcionamiento, motor atascado	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 ||

9. En la tabla se muestran los datos de un muestreo del trabajo tomado durante 8 horas.
a) ¿Qué porcentaje del tiempo funciona la máquina?
b) ¿Qué porcentaje del tiempo está descompuesta la máquina?
c) ¿Cuál es el límite de exactitud de este estudio con $\alpha = 0.05$?
d) ¿Cuál es el intervalo de confianza de 95% de que la máquina esté en funcionamiento?
e) Su gerente dice que el intervalo del inciso *d* es inaceptablemente grande. A ella le gustaría reducirlo a ±1 minuto de tiempo de funcionamiento. ¿Cuántas observaciones debe recolectar para lograr esto?

En funcionamiento	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 ||	
Inactiva	Descompuesta	𝍸
	Sin material	𝍸 𝍸 |
	Otros	𝍸 ||

10. Dorben Co. proporciona una holgura de 10% a sus operarios. Un estudio de muestreo del trabajo de un operario durante un turno de 8 horas genera los siguientes datos. La tasa promedio de desempeño es de 110%.
a) ¿Cuál es el tiempo observado (en minutos) de la carga?
b) ¿Cuál es el tiempo normal de la descarga?
c) ¿Cuál es el tiempo estándar global?
d) ¿Cuál es la exactitud del estudio?

Carga	𝍸 𝍸 𝍸 |
Descarga	𝍸 𝍸 𝍸
Proceso	𝍸 ||
Inactivo	𝍸 𝍸 |||

REFERENCIAS

Barnes, R. M., *Work Sampling*, 2a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1957.

Morrow, R. L., *Time Study and Motion Economy*, Nueva York: Ronald Press, 1946.

Richardson, W. J., *Cost Improvement*, *Work Sampling and Short Interval Scheduling*, Reston, VA: Reston Publishing, 1976.

Richardson, W. J. y E. S. Pape, "Work Sampling", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Sterling Associates Ltd., *Community Service Office Workload Study*, 711 Capitol Way South, Suite 610, Olympia, WA 98501, 1999.

SOFTWARE SELECCIONADO

CAWS/E, C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670 (http://www.c-four.com/)
JD-7/JD-8 Random Reminder, Divilbiss Electronics, RR #2, Box 243, Chanute, KS 66720 (http://www.divilbiss.com)
DesignTools y QuikSamp (disponible en el sitio web del texto McGraw-Hill en www.mhhe.com/niebel-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.
WorkStudy+™ 3.0, Quetech, Ltd., 866 222-1022 (www.quetech.com)
TimerPalm, Applied Computer Services, Inc., 7900 E. Union Ave., Suite 1100, Denver CO 80237.
UMT Plus, Laubrass Inc., 3685 44e Ave, Montreal, QC H1A 5B9, Canada (www.laubrass.com)
WorkSamp, Royal J. Dosset Corp., 2795 Pheasant Rd., Excelsior, MN 55331.

VIDEOCINTAS SELECCIONADAS

Work Sampling Fundamentals. ½″ VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670.

Estándares de mano de obra general e indirecta

CAPÍTULO 15

PUNTOS CLAVE

- Usar estudios de tiempos y sistemas de tiempos predeterminados con el fin de desarrollar estándares para la mano de obra indirecta relativamente predecible.
- Usar clases o categorías de trabajos similares con el fin de establecer estándares para la mano de obra indirecta y general relativamente impredecibles.
- Utilizar muestreo del trabajo y registros históricos a fin de establecer estándares para la mano de obra general profesional.
- Usar la teoría de colas a fin de calcular tiempos de espera para los trabajos.
- Usar la simulación Monte Carlo para predecir demoras o tiempos de descompostura en los trabajos.

Desde 1900, el incremento porcentual de trabajadores indirectos y generales es más del doble que el de los trabajadores de mano de obra directa. Este aumento es especialmente notable debido al reciente crecimiento de las industrias de servicios como el cuidado de la salud, los seguros y la recreación. Los grupos que tradicionalmente se clasifican como *mano de obra indirecta* incluyen envío y recepción, flete, almacenaje, inspección, manejo de materiales, depósitos de herramientas, limpieza y mantenimiento. La *mano de obra general* incluye todos los puestos que no son directos o indirectos: trabajo de oficina, contabilidad, ventas, administración, ingeniería, etcétera.

El rápido crecimiento del porcentaje de empleados de oficina, mantenimiento y otras actividades indirectas y generales se debe a varios factores. Primero, la creciente mecanización de la industria y la automatización total de muchos procesos, incluyendo el uso de robots, ha disminuido la necesidad de trabajadores manuales y operarios. Esta tendencia hacia el aumento de la mecanización ha dado como resultado una gran demanda de especialistas en electrónica, expertos en instrumentos, técnicos en hardware y software y demás personal de servicios.

Segundo, en gran medida, el gran incremento del papeleo ocasionado por la legislación federal, estatal y local es responsable del aumento del número de empleados para trabajos de oficina. Tercero, el trabajo de oficina y mantenimiento no ha estado sometido a los estudios de métodos y los avances técnicos que se han aplicado de manera tan eficaz a la mano de obra directa en los procesos industriales. Con una gran parte de la mayoría de las nóminas utilizadas en la mano de obra indirecta y general, la Administración ha comenzado a darse cuenta de las oportunidades para la aplicación de métodos y estándares en esta área.

15.1 ESTÁNDARES DE LA MANO DE OBRA INDIRECTA Y GENERAL

El enfoque sistemático de métodos, estándares y pago de salarios es aplicable en las áreas de trabajo indirecto y general de la misma manera en que lo es en el trabajo directo. La determinación cuidadosa de los hechos, el análisis, el desarrollo del método propuesto, la presentación, la instalación y el desarrollo del análisis del trabajo deben preceder a un programa para establecer estándares de mano de obra indirecta y general. En sí mismo, el procedimiento de análisis de métodos puede generar ahorros.

El muestreo del trabajo es una buena técnica para determinar la severidad de un problema y el potencial de ahorro en las áreas de gasto indirecto y general. Resulta común encontrar que la fuerza de trabajo dedica sólo entre 40 y 50% de su tiempo, o incluso menos, a actividades productivas. Por ejemplo, en el trabajo de mantenimiento, que representa una gran proporción de los costos indirectos totales, los analistas pueden encontrar que las siguientes circunstancias implican una gran parte del tiempo perdido durante la jornada de trabajo:

1. *Comunicación inadecuada*. Es bastante común encontrar instrucciones de trabajo incompletas e incluso incorrectas en las órdenes de trabajo. Esta falta de información origina viajes adicionales al almacén de herramientas y suministros para obtener partes y herramientas que deben estar disponibles al iniciar el trabajo. Por ejemplo, una orden de trabajo que sólo establece "reparar fuga en el sistema de aceite" no proporciona detalles suficientes, es decir, si se necesita una nueva válvula, tubería o junta, o si la válvula necesita reempacarse.
2. *Poca disponibilidad de partes, herramientas o equipo*. Si los trabajadores de mantenimiento no cuentan con las instalaciones o partes para realizar la tarea, están obligados a improvisar, lo cual generalmente ocasiona pérdida de tiempo y resulta en un trabajo inferior.
3. *Interferencia de empleados de producción*. Si se ven obligados a lidiar con una programación inadecuada, los empleados de mantenimiento pueden encontrar que no tienen la posibilidad de comenzar una reparación, un servicio o una operación de revisión general debido a que los empleados de producción todavía se encuentran en la instalación. El resultado puede ser que los técnicos estén inactivos en espera de que el departamento de producción desocupe el equipo.
4. *Personal excesivo para el trabajo de mantenimiento*. Con demasiada frecuencia, se asigna una brigada de tres o cuatro personas cuando sólo se necesitan dos, lo que resulta en tiempo perdido.
5. *Trabajo insatisfactorio que debe realizarse de nuevo*. Con frecuencia, la mala planeación ocasiona que el mecánico asuma una actitud del tipo "con esto es suficiente". Esto da como resultado que el trabajo de reparación deba realizarse nuevamente.
6. *Planeación inadecuada*. La buena planeación asegura que haya suficiente trabajo programado para mantenimiento y minimiza el tiempo de espera.

ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA INDIRECTA

Los estándares que se aplicarán a los departamentos de mano de obra indirecta, como trabajo de oficina, mantenimiento y fabricación de herramientas, deben desarrollarse sobre cualquier operación o grupo de operaciones que se pueda cuantificar y medir. Primero, estas operaciones deben descomponerse en elementos directos, de transporte e indirectos. Las herramientas que se utilizan para establecer los estándares del trabajo directo son las mismas que se analizaron anteriormente: estudio de tiempos, sistemas de tiempos predeterminados, datos de estándares, fórmulas y muestreo del trabajo.

Por lo tanto, los analistas pueden establecer estándares para tareas como colocar una puerta, rebobinar un motor de 1 hp, pintar un afilador sin centro, barrer las virutas en un departamento o entregar 200 trabajos de forjado. Los analistas establecen tiempos estándar para cada una de estas operaciones con base en la medición del tiempo que se requiere para que el operario realice la tarea. Después califican el desempeño del estudio y aplican una holgura adecuada.

Con frecuencia, el estudio y análisis cuidadosos revelan que el balance de las brigadas y la interferencia causan más demoras inevitables en el trabajo indirecto que en el trabajo directo. El balance

de la brigada es el tiempo perdido por un miembro de la brigada que nada más observa a los otros integrantes mientras concluyen algún elemento del trabajo. El tiempo de interferencia es el lapso que espera un trabajador para que otros terminen sus tareas y él pueda comenzar. Tanto las demoras por balance de brigada como por interferencia son inevitables; sin embargo, son características sólo de operaciones de mano de obra indirecta, como las que realizan los trabajadores de mantenimiento. La teoría de colas, que se explica más adelante en este capítulo, es una técnica útil para estimar la magnitud del tiempo de espera.

Debido al alto grado de variabilidad que caracteriza a la mayor parte de las operaciones de mantenimiento y manejo de materiales, es necesario realizar suficientes estudios de tiempos independientes de cada operación para asegurar que el estándar que se obtuvo sea representativo del tiempo que requiere un operario normal para realizar el trabajo en condiciones promedio. Por ejemplo, si un estudio indica que toma 47 minutos barrer el piso de máquinas de 60 por 80 pies, el analista debe estar seguro de que durante el estudio prevalezcan las condiciones promedio. El trabajo de un barrendero será mucho más lento si en el taller se maquina hierro fundido en vez de una aleación de acero, porque el acero es mucho más limpio y las virutas son más fáciles de manipular. Además, el uso de velocidades y alimentaciones más lentas da como resultado menos virutas. Por lo tanto, un estándar de 47 minutos establecido cuando el taller trabaja con aleaciones de acero será inadecuado para la producción de partes de hierro fundido. Mediante estudios de tiempos adicionales se debe asegurar que prevalezcan las condiciones promedio y que los estándares que se obtengan representen esas condiciones. De manera similar, los analistas pueden establecer estándares para pintura con base en los pies cuadrados.

Las tareas en el almacén de herramientas son similares a las que se llevan a cabo en los talleres de trabajo. Por lo tanto, los analistas pueden determinar el método para producir un sujetador para taladro, un soporte para una fresadora, una herramienta de formado o una matriz. Los analistas se basan en estudios de tiempos o tiempos elementales predeterminados para establecer una secuencia de elementos y medir el tiempo normal que se requiere para realizar cada uno de ellos. El muestreo del trabajo proporciona una herramienta adecuada para determinar las holguras que deben agregarse debido a demoras por fatiga, personales, inevitables y especiales. Los tiempos elementales estándar que se desarrollan de este modo se pueden tabular en la forma de datos estándar y después usarse para diseñar fórmulas con el fin de evaluar el costo de trabajos futuros.

FACTORES QUE AFECTAN LOS ESTÁNDARES INDIRECTOS Y GENERALES

Todo trabajo indirecto y general es una combinación de cuatro divisiones: 1) trabajo directo, 2) transporte, 3) trabajo indirecto y 4) trabajo innecesario y demoras.

El trabajo directo es aquel segmento de la operación que avanza de manera perceptible junto con el progreso del trabajo. Por ejemplo, en la instalación de una puerta, los elementos de trabajo directo incluyen las siguientes acciones: cortar la puerta del tamaño aproximado, rebajar al tamaño especificado, localizar y marcar las áreas de las bisagras, cincelar el área donde se van a colocar, marcar el lugar de los tornillos, instalarlos, marcar el lugar de la cerradura, barrenar para insertar el cerrojo e instalar la cerradura de manera definitiva. Este trabajo directo puede medirse fácilmente con las técnicas convencionales como el estudio de tiempos con cronómetro, los datos estándar o los datos de movimientos fundamentales.

El transporte es el trabajo que se realiza al hacer movimientos durante el curso de la tarea o de una tarea a otra, los cuales pueden ser horizontales, verticales o ambos. Los elementos de transporte típicos son: subir o bajar escaleras, subirse a un elevador, caminar, llevar una carga, empujar un carro y manejar un vehículo de motor. Los elementos de transporte también son fáciles de medir y establecer como datos estándar. Por ejemplo, una compañía usa 0.50 minutos por zona de 100 pies como estándar para tiempo de viaje horizontal y 0.30 minutos como tiempo estándar por cada 10 pies para tiempo de viaje vertical.

Como regla general, los analistas no pueden evaluar la porción de mano de obra indirecta o general con evidencia física que incluye el trabajo terminado, o en cualquier etapa durante el trabajo, excepto por inferencia deductiva de ciertas características de la tarea. Los elementos del trabajo indirecto pueden dividirse en tres categorías: 1) herramental, 2) materiales y 3) planeación.

Los elementos del trabajo con herramientas incluyen la adquisición, la disposición y el mantenimiento de todas las herramientas necesarias para realizar una operación. Los elementos típicos en esta categoría podrían incluir obtener y verificar herramientas y equipo; regresar herramientas y equipo al terminar el trabajo; limpiar, reparar, ajustar o afilar las herramientas. Los elementos del trabajo con herramientas son fáciles de medir por los medios convencionales; los registros estadísticos proporcionan datos de la frecuencia de ocurrencia. La teoría de líneas de espera o colas proporciona información sobre el tiempo de espera estimado en los centros de suministro.

Los elementos de trabajo con materiales implican la adquisición y verificación del material que se utilizará en una operación y la disposición del desperdicio. Algunas actividades características de estos elementos son hacer reparaciones menores a los materiales, recoger y disponer el desperdicio así como obtener y verificar los materiales. Al igual que en el caso del herramental, los elementos de materiales se miden con facilidad y su frecuencia se puede determinar con exactitud mediante registros históricos. La teoría de colas proporciona la mejor estimación del tiempo de espera para adquirir los materiales en los almacenes.

Los elementos de planeación representan el área más difícil para establecer estándares. Estos elementos incluyen consultas con el supervisor, planeación de los procedimientos de trabajo, inspección, verificación y pruebas. Las técnicas de muestreo del trabajo, especialmente la autoobservación, proporcionan una base para determinar el tiempo que se requiere para realizar los elementos de planeación.

La planeación y la mejora de métodos pueden eliminar trabajo innecesario y demoras, que en ocasiones representan hasta 40% de la nómina indirecta y general. Mucho del tiempo perdido tiene una orientación administrativa; por esta razón, los analistas deben hacer un seguimiento del procedimiento sistemático recomendado en el capítulo 1 antes de establecer los estándares. En este trabajo, los analistas deben obtener y analizar los hechos y desarrollar e instalar el método, antes de establecer el estándar.

Gran parte de las demoras que se encuentran en el trabajo indirecto y general se deben a las colas. Los trabajadores deben esperar su turno en el depósito de herramientas o el almacén, esperar el montacargas, aguardar a que una calculadora de escritorio u otro equipo se desocupe, etc. A través de la aplicación de la teoría de colas, con frecuencia los analistas pueden determinar el número óptimo de unidades de servicio que se requieren para afrontar las circunstancias dadas.

TEORÍA DE COLAS BÁSICA

Los problemas que dieron origen a los sistemas de colas pueden ocurrir cuando el flujo de llegadas (personas, equipos, etc.) significa una demanda aleatoria de servicio en instalaciones que tienen una capacidad de servicio limitada. El intervalo entre una llegada y un servicio varía inversamente con el nivel de la capacidad de servicio. Entre mayor sea el numero de estaciones de servicio y más rápida la tasa de servicio, menor será el tiempo que transcurre entre la llegada y el servicio.

Los analistas de métodos y medición del trabajo deben elegir un procedimiento operativo que minimice el costo total de la operación. Debe existir un balance económico entre los tiempos de espera y la capacidad de servicio. Las siguientes cuatro características definen los problemas de colas:

1. *El patrón de las tasas de llegada*. La tasa de llegadas (por ejemplo, una máquina que se descompone y espera reparación) puede ser constante o aleatoria. Si es aleatoria, el patrón implica una distribución de probabilidad de los valores de los intervalos entre llegadas sucesivas. Asimismo, la distribución de probabilidad del patrón aleatorio puede ser definida o indefinida.
2. *El patrón de la tasa de servicio*. El tiempo de servicio también puede ser constante o aleatorio. Si es aleatorio, el analista debe definir la distribución de probabilidad que se ajuste al patrón aleatorio.
3. *El número de unidades de servicio*. En general, los problemas de colas con servicio múltiple son más complejos que los sistemas con un solo servicio. Sin embargo, la mayoría de los problemas son del tipo de servicios múltiples, como el número de mecánicos que se requieren para el mantenimiento de una batería de máquinas en operación.
4. *El patrón de la selección del servicio*. Por lo general, el servicio se proporciona con base en el método de primero en entrar, primero en servir; sin embargo, en ocasiones, la selección puede ser completamente aleatoria o seguir algún conjunto de prioridades.

Las soluciones a los problemas de colas se encuentran en dos grandes categorías: analíticos y de simulación. La categoría de los analíticos cubre un amplio rango de casos para los que la teoría de probabilidad y las técnicas analíticas han proporcionado ecuaciones que representan los sistemas con varios supuestos sobre las características de las colas. Uno de los supuestos más comunes del patrón de llegadas o el número de llegadas por unidad de tiempo es que siguen una distribución de probabilidad Poisson:

$$p(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}$$

donde a = tasa media de llegadas
k = número de llegadas por intervalo

En la figura 15.1 se muestra una representación gráfica de las probabilidades Poisson acumuladas.

$$P(c, a) = \sum_{x=c}^{\infty} \frac{e^{-a}a^x}{x!}$$

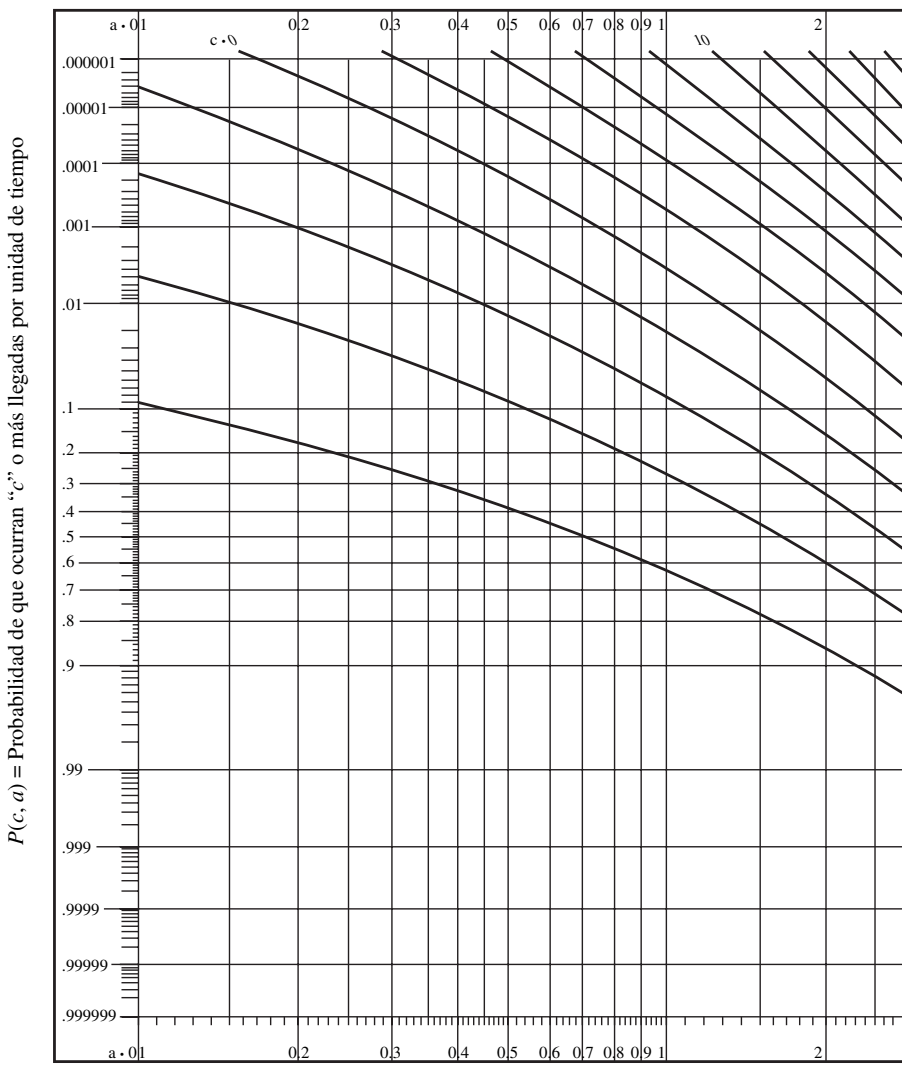


Figura 15.1 Distribución Poisson de llegadas.

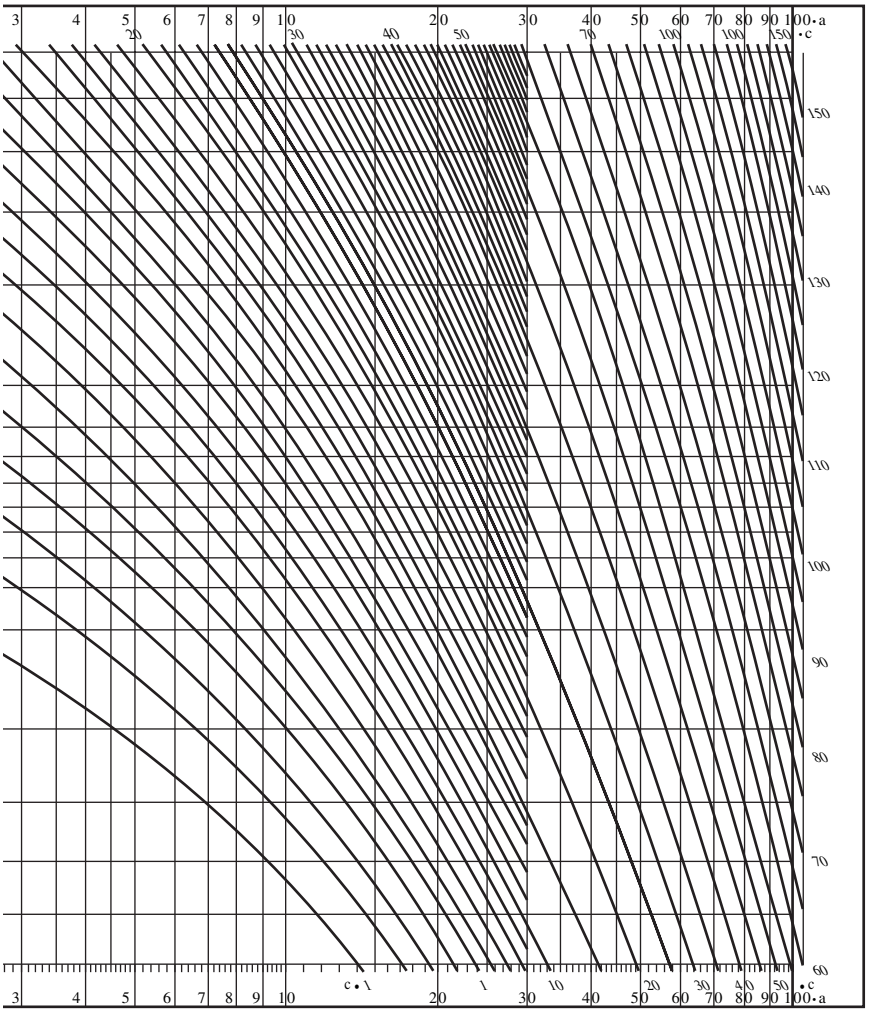


Figura 15.1 (*continuación*)

Una consecuencia adicional del patrón de llegadas Poisson es que la variable aleatoria tiempo entre llegadas obedece a una distribución exponencial con el mismo parámetro a. Debido a que es una distribución continua, la distribución exponencial tiene una función de densidad

$$f(x) = ae^{-ax}$$

La distribución exponencial tiene una media $\mu = 1/a$, y una variancia = $1/a^2$, y μ se puede reconocer como el tiempo medio entre llegadas. En algunos sistemas de colas, el número de servicios por unidad de tiempo puede seguir un patrón Poisson; en consecuencia, los tiempos de servicio siguen una distribución exponencial. En la figura 15.2 se ilustra la curva exponencial $F(x) = e^{-x}$, que muestra las probabilidades de exceder diferentes múltiplos de un tiempo de servicio especificado.

Las ecuaciones básicas que gobiernan las colas aplicables a llegadas y servicio de Poisson, en orden de llegadas, se encuentran en una de estas cinco categorías:

1. Cualquier distribución de tiempos de servicio y un solo servidor.
2. Tiempo de servicio exponencial y un solo servidor.
3. Tiempo de servicio exponencial y un número finito de servidores.
4. Tiempo de servicio constante y un solo servidor.
5. Tiempo de servicio constante y un número finito de servidores.

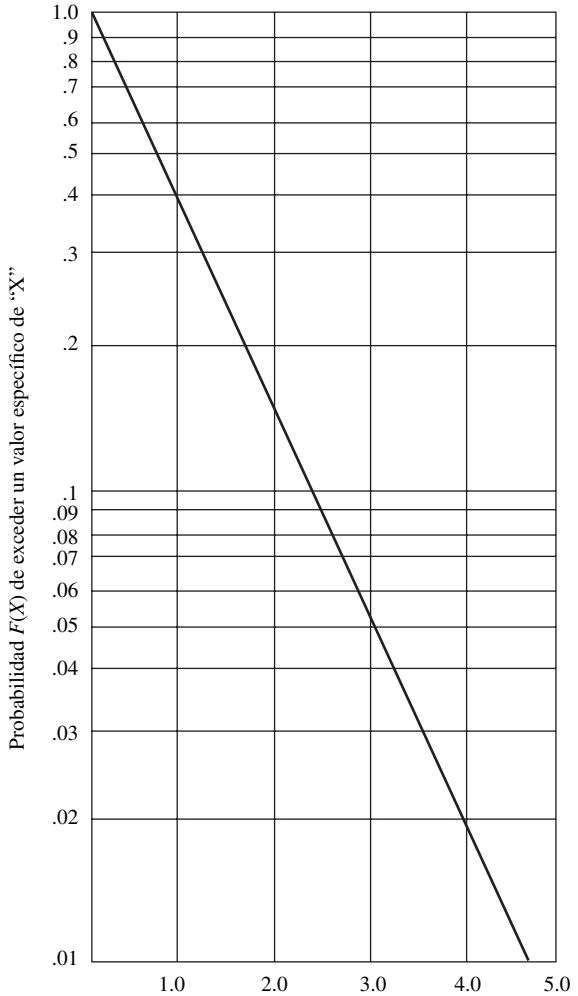


Figura 15.2 Distribución exponencial.

Se han desarrollado ecuaciones para cada una de estas categorías. Estas ecuaciones proporcionan respuestas cuantitativas a problemas como el tiempo medio de demora en la línea de espera y el número promedio de llegadas a la línea de espera.

Dos ejemplos demuestran la aplicación de la teoría de colas. El primero (ejemplo 15.1) es la determinación de un estándar para un proceso de inspección. Se clasifica en la primera de las cinco categorías, esto es, un solo servidor con cualquier distribución de tiempos de servicio. El segundo ejemplo (ejemplo 15.2) se aplica a las demoras en el almacén de herramientas y se clasifica en la segunda categoría, un solo servidor con tiempo de servicio exponencial. Muchos problemas industriales caen en esta categoría.

Uso de la teoría de colas para establecer un tiempo estándar de inspección

EJEMPLO 15.1

Un analista desea determinar un estándar para inspeccionar la dureza de las armaduras de un motor grande. El tiempo se compone de dos cantidades distintas: el tiempo que emplea el inspector para hacer sus mediciones Rockwell y el tiempo que el operario debe esperar hasta que el eje de la siguiente armadura pueda ya para ser inspeccionado. Se aplican los siguientes supuestos: 1) un solo servidor, 2) llegadas Poisson, 3) tiempos de servicio arbitrarios y 4) disciplina de servicio primero en llegar,

primero en salir. Ésta es una situación que se ajusta a la primera de las cinco categorías, por lo que se aplican las siguientes ecuaciones:

$$a)\ P > 0 = u = \frac{ah}{s}$$
$$b)\ w = \left[\frac{uh}{2(1-u)}\right]\left[1 + \left(\frac{\sigma}{h}\right)^2\right]$$
$$c)\ m = \frac{w}{P > 0} = \frac{w}{u}$$

donde a = número promedio de llegadas por unidad de tiempo
h = tiempo medio de servicio
w = tiempo medio de espera de todas las llegadas
m = tiempo medio de espera de llegadas demoradas
n = número de llegadas presentes (en espera y en servicio) en cualquier momento dado
s = número de servidores
u = tasa de ocupación de los servidores = $\frac{ah}{s}$
σ = desviación estándar del tiempo de servicio
$P(n)$ = probabilidad de n llegadas presentes en cualquier tiempo aleatorio
$P(\geqq n)$ = probabilidad de al menos n llegadas presentes en cualquier tiempo aleatorio
t = unidad de tiempo
$P > t/h$ = probabilidad de una demora mayor que t/h múltiplos del tiempo medio de espera
$P(d > 0)$ = probabilidad de cualquier demora (demora mayor que 0)
L = número promedio de individuos en espera entre todos los individuos

Un estudio de tiempos con cronómetro establece un tiempo normal de 4.58 minutos por pieza para la prueba de dureza. La desviación estándar del tiempo de servicio es de 0.82 minutos y se realizan 75 pruebas en una jornada de 8 horas. A partir de estos datos se tiene:

$$s = 1$$
$$a = \frac{75}{480} = 0.156$$
$$h = 4.58$$
$$\sigma = 0.82$$
$$u = (0.156)(4.58) = 0.714$$
$$w = \left[\frac{(0.714)(4.58)}{2(1-0.714)}\right]\left[1 + \left(\frac{0.82}{4.58}\right)^2\right.$$

= 5.95 minutos, tiempo medio de espera de una llegada

De esta forma, el analista puede determinar un tiempo total de 4.58 + 5.95 = 10.53 minutos por turno.

EJEMPLO 15.2

Uso de la teoría de colas para establecer un tiempo estándar para el servicio en el cuarto de herramientas

El tiempo de servicio en el cuarto de herramientas se puede modelar como un sistema de un solo servidor con llegadas Poisson y servicio exponencial. Las ecuaciones que se aplican son

$$a)\ P > 0 = u$$
$$b)\ P > t/h = ue^{(u-1)(t/h)}$$
$$c)\ P(n) = (1-u)u^n$$
$$d)\ P(\geqq n)u^n$$
$$e)\ w = \frac{h(P>0)}{1-u} = \frac{uh}{1-u}$$
$$f)\ m = \frac{w}{P>0} = \frac{h}{1-u}$$
$$g)\ L = \frac{m}{h} = \frac{1}{1-u}$$

Las llegadas al cuarto de herramientas se consideran Poisson con un tiempo promedio de 7 minutos entre una llegada y la siguiente. La longitud del tiempo de servicio en la ventanilla del cuarto tiene una distribución exponencial con media de 2.52 minutos determinada mediante un estudio de tiempos con cronómetro. El analista desea determinar la probabilidad de que una persona que llega al depósito tenga que esperar, y la longitud de las colas que se forman de vez en vez. Con base en esta información, el analista puede evaluar la conveniencia de abrir una segunda ventanilla de entrega de herramientas.

$a = 0.14$ número promedio de llegadas por minuto
$h = 2.52$ minutos tiempo de servicio medio
$s = 1$ servidor
$P > 0 = u$

$u = \frac{ah}{s} = 0.35 =$ probabilidad de que una persona que llega tenga que esperar

$L = \frac{1}{1-u} = 1.52 =$ longitud promedio de la cola que se forma

SIMULACIÓN MONTE CARLO

La simulación se puede usar para resolver problemas de colas para los cuales no es posible obtener estándares ni fórmulas empíricas. En vez de ello, el analista introduce un conjunto muestra de valores de entrada tomados de distribuciones de llegadas y tiempos de servicio especificados. Estos datos de entrada generan una distribución muestra de salida de los resultados de la línea de espera para el periodo. Este enfoque, denominado *simulación Monte Carlo*, desarrolla una solución óptima mediante el balance adecuado de estaciones de servicio, tasas de servicio y tasas de llegadas y es útil principalmente para analizar los problemas de líneas de espera que se forman en lugares centralizados o descentralizados de almacenamiento de herramientas, depósitos de suministros e instalaciones de servicio.

En el ejemplo 15.3 se demuestra el uso de la técnica para determinar el número mínimo de operarios necesario para preparar máquinas en una sección de taladros automáticos.

Uso de simulación Monte Carlo para determinar el número óptimo de operarios

EJEMPLO 15.3

En la actualidad, tres operarios dan servicio a 15 máquinas. El costo de mano de obra es de 12.00 dólares por hora, mientras que el de la máquina es de 48.00 dólares por hora. Un análisis de registros históricos revela las siguientes distribuciones de probabilidad para detenciones del trabajo por hora y el tiempo que se requiere para dar servicio a una máquina:

Interrupciones del trabajo por hora	Probabilidad
0	0.108
1	0.193
2	0.361
3	0.186
4	0.082
5	0.040
6	0.018
7	0.009
8	0.003
	1.000

Horas para poner la máquina en operación	Probabilidad
0.100	0.111
0.200	0.254
0.300	0.009
0.400	0.007
0.500	0.005
0.600	0.008
0.700	0.105
0.800	0.122
0.900	0.170
1.000	0.131
1.100	0.075
1.200	0.003
	1.000

El tiempo necesario para poner una máquina en operación tiene una distribución bimodal y no se ajusta a ninguna distribución estándar. El analista asigna bloques aleatorios de números de tres dígitos (000 a 999), en proporción directa a las probabilidades asociadas con los datos de las tasas de llegada y de servicio, para simular el comportamiento esperado en la sección de máquinas de taladro durante un cierto periodo. El analista toma una serie de observaciones aleatorias para simular las detenciones del trabajo durante un día de actividad (8 horas de trabajo) en la planta. Estos números aleatorios conducen a lo siguiente:

Hora	Número aleatorio	Interrupciones del trabajo
1	221	1
2	193	1
3	167	1
4	784	3
5	032	0
6	932	5
7	787	3
8	236	1
9	153	1
10	587	2
11	573	2

Para estimar el tiempo que se requiere para poner una máquina en operación después de haberse detenido, el analista selecciona un conjunto de números aleatorios distinto como entrada para cada interrupción del trabajo.

Hora	Número aleatorio	Horas para poner la máquina en operación
1	341	0.200
2	112	0.200
3	273	0.200
4	106	0.100
5	597	0.800
6	337	0.200
7	871	1.000
8	728	0.900
9	739	0.900
10	799	1.000

Hora	Número aleatorio	Horas para poner la máquina en operación
11	202	0.200
12	854	1.000
13	599	0.800
14	726	0.900
15	880	1.000

En la tabla 15.1 se muestra el tiempo de interrupción pronosticado debido a un número insuficiente de operarios, con base en los resultados indicados para 8 horas de operación en el departamento de taladros automáticos.

El modelo simulado indica 2.8 horas diarias de interrupciones de máquina, debidas a la falta de un operario. A una tasa de máquina de 48 dólares por hora, esto se convierte en un costo diario de $2.8 \times 48 = 134.40$ dólares. Como el costo de un cuarto operario sólo significa un costo diario adicional de mano de obra directa de $8 \times 12 = 96$ dólares, parecería que tres trabajadores no son el número óptimo desde el punto de vista económico para el servicio de la operación.

Sin embargo, observe que diez números aleatorios es una simulación muy corta y puede conducir a resultados incorrectos. Con una cantidad más grande de números, existe una mayor posibilidad de converger a una solución óptima. En realidad, con 80 números aleatorios, la preparación actual de tres trabajadores que dan servicio a 15 taladros automáticos parece ser la solución óptima, ya que sólo se pierden 19.6 horas (en lugar de las 28 extrapoladas) durante el curso de las 80 horas de operación.

Tabla 15.1 Resultados de la simulación Monte Carlo de interrupciones de máquinas

Hora	Número aleatorio	Interrupciones del trabajo	Número aleatorio	Horas para poner la máquina en operación	Operarios disponibles para la siguiente interrupción del trabajo	Horas de tiempo muerto por falta de operarios para dar servicio
1	221	1	341	0.200	2	
2	193	1	112	0.200	2	
3	167	1	273	0.200	2	
4	784	3	106	0.100	2	
			597	0.800	1	
			337	0.200	0	
5	032	0	—	—	3	
6	932	5	871	1.000	2	
			728	0.900	1	
			739	0.900	0	
			799	1.000	0	0.9
			202	0.200	0	0.9
7	787	3	854	1.000	0	
			599	0.800	0	0.9
			726	0.900	0	0.1
8	236	1	880	1.000	1	
9	153	1	495	0.700	2	
10	587	2	128	0.200	2	
			794	1.000	1	
					Total	2.8

ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA GENERAL

Cada vez más, la administración ha comenzado a reconocer su responsabilidad en la determinación exacta de la fuerza de trabajo adecuada en las oficinas para realizar un volumen dado de trabajo. Para controlar la nómina de las oficinas, la administración debe desarrollar estándares de tiempo, puesto que es la única medida confiable para evaluar la magnitud de cualquier tarea.

Al igual que en el caso de la mano de obra del trabajo directo, el análisis de métodos debe preceder a medir el trabajo implicado en todas las operaciones generales. La gráfica de flujo del proceso es ideal para presentar los hechos del método actual, lo que permite revisarlo de manera crítica. Después, mediante los enfoques primordiales del análisis de operaciones, el analista toma en cuenta factores como el propósito de la operación, el diseño de formas, la distribución de la oficina, la eliminación de las demoras causadas por mala planeación y programación y la conveniencia del equipo existente.

Después de terminar un programa exhaustivo de métodos, puede comenzar el desarrollo de estándares. Muchos trabajos de oficina son repetitivos, por lo cual no es muy difícil establecer estándares justos. Los centro de captura de información, los centros de atención telefónica, los grupos de facturación y los capturistas de datos son grupos representativos adecuados que facilitan la aplicación de los métodos de medición del trabajo con cronómetro, de datos estándar y las técnicas de datos de movimientos básicos.

Cuando estudian el trabajo de oficina, los analistas deben tener cuidado de identificar los puntos finales de los elementos para poder establecer datos de estándares que les permitan obtener los costos de trabajos futuros. Por ejemplo, cuando se introducen recetas médicas a un sistema computacional, normalmente se deben realizar los siguientes elementos de trabajo para cada una de ellas:

1. Tomar la receta médica de una pila.
2. Leer instrucciones de la receta médica.
3. Introducir los encabezados de la receta, usando el teclado:
   a) Fecha
   b) Nombre del paciente
   c) Pruebas de laboratorio o medicamentos requeridos
   d) Enviarla al médico/departamento

Una vez que los analistas han desarrollado datos estándar para la mayoría de los elementos comunes que se usan en una oficina, pueden calcular los estándares de tiempo en forma rápida y económica. Por supuesto, muchos puestos de apoyo en oficina comprenden una serie de actividades diversas que no es fácil medir. Tal trabajo no está constituido por una serie de ciclos estándar que se repiten de manera continua; en consecuencia, es más difícil medir el trabajo que en las operaciones de mano de obra directa. Debido a esta característica de algunas rutinas de oficina, es necesario realizar muchos estudios de tiempos, cada uno de los cuales puede durar un ciclo. Entonces, para calcular todos los estudios que llevaron a cabo, los analistas pueden desarrollar un estándar que refleje las condiciones promedio o típicas. Por ejemplo, es posible calcular el tiempo estándar basado en una página de recetas médicas. Seguramente algunas recetas requieren símbolos, terminología latina y otros caracteres especiales o espaciamiento y por ende tomarán mucho más tiempo que las recetas rutinarias. Incluso si las páginas técnicas no son representativas de las condiciones promedio, el resultado no es una influencia injusta en el desempeño del operario durante un cierto periodo; las páginas sencillas y recetas más cortas equilibran el tiempo adicional que necesitó para ingresar recetas complejas.

Generalmente, no resulta práctico establecer estándares para puestos de servicio que requieren pensamiento creativo. Se debe tener un cuidado considerable antes de intentar establecer tiempos estándar para la generación de una receta por un médico. En caso de establecerlos, deben usarse para programación, control o presupuestación, no para el pago de incentivos. Presionar a empleados como los médicos puede deteriorar el pensamiento creativo y el cuidado del paciente e incluso generar una rebelión total. Asimismo, los médicos deben evaluarse por estándares de desempeño profesional (vea la siguiente sección). El resultado puede ser un mantenimiento de la salud más costoso para la organización que la cantidad ahorrada mediante el incremento de la productividad del médico.

ESTÁNDARES DE SUPERVISIÓN

Es posible establecer estándares para el trabajo de supervisión (vea el ejemplo 15.4). La técnica de muestreo del trabajo es especialmente adecuada para determinar cargas de supervisión equitativas y para mantener un balance apropiado entre los supervisores, las instalaciones, los empleados de oficina y la mano de obra directa. Los analistas pueden obtener la misma información mediante estudios de tiempos de todo el día, pero el costo de datos confiables podría ser prohibitivo. Los estándares de supervisión se pueden expresar en horas efectivas de operación de la máquina o mediante algún otro punto de referencia.

Establecimiento de estándares de supervisión — EJEMPLO 15.4

Un estudio de un fabricante de paneles reveló que en un cierto departamento se requerían 0.223 horas de supervisión por máquina en operación (vea la figura 15.3). El estudio de muestreo del trabajo mostró que de 616 observaciones, el supervisor trabajaba con las máquinas de rejillas, en la inspección de rejillas, en trabajo de escritorio, en el suministro de material, caminando o en actividades clasificadas como holguras varias, un total de 519 veces. Convertida en horas prorrateadas, esta cifra reveló que se requerían 518 horas indirectas para 2 461 horas de operación de las máquinas. Cuando se agregó 6% de holgura personal, el analista calculó un estándar de 0.223 horas de supervisión por hora de máquina en operación.

$$\frac{518}{2\,461} \times 1.06 = 0.223$$

Así, en un departamento que opera 192 horas de máquina en funcionamiento a la semana, la eficiencia de un supervisor sería

$$\frac{192 \times 0.223}{40 \text{ h/semana}} = 107\ \%$$

ESTÁNDAR DE MANO DE OBRA INDIRECTA

TRABAJO - SUPERVISIÓN DEPTO. - REJILLA FECHA 4-16

Centro de costos	Número de observaciones	Porcentaje de observaciones	Horas prorrateadas	Horas base indirectas	Horas efectivas de máquina en operación (HEMO)	Horas de mano de obra directa		Horas base indirectas por hora de máquina en operación (incluye 6% personal)
Máquinas de rejillas	129	21	130	130	2 461			0.223
Inspección de rejillas	161	26	160	160				
Trabajo de escritorio	54	9	56	56				
Suministro de material	18	3	18	18				
Holguras o suplementos varios	150	24	148	148				
Caminar	7	1	6	6				
Salir del departamento	11	2	12					
Inactivo	86	14	86					
Total	616	100	616	518	2 461			0.223

Figura 15.3 Resumen del trabajo de supervisión.

15.2 DATOS ESTÁNDAR DE MANO DE OBRA INDIRECTA Y GENERAL

FUNDAMENTOS

El desarrollo de datos para establecer estándares para la operación de mano de obra indirecta y general es bastante factible. En vista de la diversificación de las operaciones de mano de obra indirecta, los datos estándar son quizá más adecuados para tareas de oficina, mantenimiento y otros trabajos indirectos, que para las operaciones de producción estandarizada.

A medida que calcula los tiempos estándar, el analista debe tabular los tiempos elementales, para referencia futura. Cuando se elabora un inventario de datos estándar, el costo de desarrollar nuevos estándares de tiempo se reduce en forma proporcional. Por ejemplo, los datos estándar tabulados para las operaciones con un montacargas se basan en seis elementos: desplazarse, frenar, elevar la horquilla, bajar la horquilla, inclinar la horquilla y los elementos manuales que se requieren para operar el montacargas. Una vez acumulados los datos estándar de cada elemento, en el intervalo requerido, los analistas pueden determinar el tiempo estándar necesario para cualquier operación con el montacargas mediante la suma de los elementos aplicables. De manera similar, los datos estándar se pueden establecer fácilmente para los elementos del trabajo de intendencia, como barrer, encerar y pulir pisos, secar el trapeador, mojar el trapeador, aspirar alfombras o limpiar, quitar el polvo y trapear el pasillo.

El trabajo de mantenimiento "inspeccionar siete salidas de emergencia en una planta y hacer ajustes menores" se puede estimar a partir de los datos estándar. Por ejemplo, la Marina de Estados Unidos desarrolló el siguiente estándar:

Operación	Tiempo unitario (h)	Número de unidades	Tiempo total (horas)
Inspección de puertas de emergencia, tipo cortina enrollable (cadena manual, manivela o motor eléctrico) con eslabón fusible. Incluye ajuste menor	0.170	7	1.190
Caminar 100 pies entre cada puerta, camino obstruido	0.00009	600	0.054
			1.24

El tiempo del dato estándar de 0.00009 h/pie de caminata con obstáculos se estableció a partir de los sistemas de tiempos predeterminados, mientras que el tiempo de inspección de 0.170 horas por puerta de emergencia se determinó a partir de un estudio de tiempos con cronómetro.

ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA INDIRECTA UNIVERSALES (UILS)

En ciertas situaciones, el mantenimiento y otras operaciones indirectas son numerosas y diversificadas. Para tales casos se han hecho esfuerzos con el fin de reducir el número de estándares de tiempo para las operaciones indirectas, mediante el uso de los estándares de mano de obra indirecta universales (UILS, *Universal Indirect Labor Standards*). El principio que subyace a los estándares universales es la asignación de una proporción importante de operaciones indirectas (quizá hasta 90%) a los grupos adecuados. Cada grupo tiene su propio estándar, que es el tiempo promedio de todas las operaciones indirectas asignadas a él. Por ejemplo, el grupo A puede incluir las siguientes operaciones indirectas: reemplazo de unión defectuosa, reparación de puerta (reemplazo de dos bisagras), reemplazo de interruptor y reemplazo de dos secciones (14 pies de tubería de 1 pulgada). El tiempo estándar para cualquier operación indirecta realizada en el grupo A puede ser de 48 minutos. Este tiempo representa la media $\bar{x}$ de todos los trabajos dentro del grupo y la dispersión de los trabajos incluidos en el grupo para $\pm 2\sigma$ es algún porcentaje predeterminado de $\bar{x}$ (quizá ±10%).

Los tres pasos principales al introducir un sistema de mano de obra indirecta universal, expresado como *clasificación*, son

1. Establecer el número de estándares (grupos o clases) para realizar un trabajo satisfactorio. (Deben usarse veinte clases si el tiempo sobrepasa las 40 horas.)
2. Determinar el estándar numérico representativo de cada grupo de operaciones que contiene cada clase.
3. Asignar el estándar a la clase adecuada de trabajo indirecto cuando éste se lleva a cabo.

El paso inicial es determinar buenos estándares comparativos, con base en la medición de una muestra adecuada de trabajo indirecto para la que se desarrolla el sistema UILS. Éste es el paso más lento y costoso del proceso. El analista debe establecer un número relativamente grande de estándares (200 o más) que sean representativos para toda la población de mano de obra indirecta. Los analistas competentes pueden desarrollar estos estándares comparativos medidos con métodos probados de ingeniería industrial, que incluyen el estudio de tiempos con cronómetro, los datos estándar, las fórmulas, los datos de movimientos fundamentales y el muestreo del trabajo.

Una vez establecidos, los estándares comparativos se arreglan en secuencia numérica. Así, suponiendo 200 estándares comparativos, el más corto estaría en primer lugar de la lista, después el segundo más corto, y así sucesivamente, hasta terminar con el más largo. Si hay 20 clases y se usa una distribución uniforme, el tiempo estándar de la primera clase se obtiene calculando la media de los primeros 10 estándares comparativos. De manera similar, el valor de la segunda clase es la media de los estándares comparativos 11 a 20. La última clase sería igual al promedio de los estándares comparativos 191 a 200. Los ingenieros han usado extensamente este procedimiento en el desarrollo de los UILS.

Los UILS más confiables se obtienen cuando se utiliza la distribución normal en lugar de la uniforme. Para 20 clases, los 200 estándares no se asignarían de a 10 por clase. En su lugar, la variable normal estándar se divide en 20 intervalos iguales (esto se puede hacer al truncar las dos colas). Por ejemplo, la variable normal estándar podría tener un intervalo truncado de

$$-3.0 \le z \le +3.0$$

que incluye 99.74% del área bajo la curva. El rango de cada intervalo sería de 0.3. Los estándares comparativos usados en el cálculo de la media de cada uno de las 20 clases (intervalos) sería igual a

$$P(z \in \text{intervalo})(200)/0.9987$$

Los números de clase 1 y 20 (debido a la simetría) tendrían

$$\frac{P(-3.0 \ge z \le -2.7)(200)}{0.9987} = \frac{P(2.7 \le z \le 3.0)(200)}{0.9987}$$
$$= \frac{(0.9987 - 0.9965)(200)}{0.9987} = 0.4406 \approx 0 \text{ estándares}$$

y los números de clase 10 y 11 tendrían

$$\frac{P(-0.3 \ge z \le 0.0)(200)}{0.9987} = \frac{P(0.0 \le z \le 0.3)(200)}{0.9987}$$
$$= \frac{(0.6179 - 0.5000)(200)}{0.9987} = 23.61 \approx 24 \text{ estándares}$$

El redondeo de las fracciones está determinado por el hecho de que los 200 trabajos deben asignarse a una clase. El tiempo estándar universal para cada clase es el promedio de los estándares comparativos asignados a la clase. Cuando se estudia la fabricación de una parte nueva, los analistas pueden ajustar las tareas a las categorías que contienen tareas similares que han sido estudiadas y cuentan con estándares establecidos.

Para determinar la exactitud relativa de las técnicas de las distribuciones uniforme y normal, los analistas usaron 270 estándares de mantenimiento desarrollados por la Marina de Estados Unidos como estándares comparativos. Dividieron estos estándares comparativos en 20 clases usando los dos

enfoques. Para comparar los resultados de las técnicas uniforme y normal se realizó una simulación. Para cada 25 semanas, los analistas seleccionaron tareas al azar hasta que la suma de los tiempos estándar reales excedió o fue igual a 40 horas. Después determinaron el estándar de mantenimiento universal para cada tarea y calcularon la suma semanal. Supusieron que cada tarea estaba asignada a la clase adecuada.

Para cada semana, se calculó un error como

$$\left| \frac{\text{Tiempo estándar real} - \text{tiempo estándar universal}}{\text{Tiempo estándar real}} \right| \times 100\%$$

Los resultados de la simulación de las distribuciones uniforme y normal se dan en la tabla 15.2. Este estudio confirmó que la distribución normal proporciona mejores resultados que la distribución uniforme.

Aumentar el periodo de pago de una semana (40 horas) a dos semanas (80 horas) reduce en forma importante el error acumulado por periodo. La magnitud del error también disminuye si el número de grupos (clases) aumenta.

El UILS ofrece una oportunidad de introducir estándares para la mayoría de las operaciones indirectas a un costo moderado y minimiza el costo de mantener un sistema de estándares indirectos.

Tabla 15.2 Resultados de la simulación de 25 semanas

	Error absoluto porcentual	
Semana número	**Uniforme**	**Normal**
1	5.97	7.18
2	16.01	6.93
3	8.49	6.42
4	10.94	4.03
5	25.78	1.67
6	2.61	0.47
7	4.79	6.08
8	0.88	3.37
9	4.51	5.34
10	0.05	6.45
11	30.78	0.32
12	21.93	1.75
13	8.23	4.24
14	6.67	7.55
15	2.37	2.37
16	0.06	0.87
17	12.53	2.88
18	3.73	5.21
19	6.85	1.52
20	11.50	2.29
21	20.18	2.48
22	6.44	8.31
23	3.46	6.72
24	2.96	0.45
25	11.74	1.01
Media	9.18	3.84
Varianza	151.78	21.62
Desviación estándar	12.32	4.65

15.3 ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO PROFESIONAL

El costo de los trabajadores asalariados es una proporción considerable del presupuesto total de gastos. En la mayoría de las operaciones de negocios y manufactura, los salarios de los empleados profesionales en ingeniería, contabilidad, compras, ventas y administración general representan una proporción significativa del costo total. Si la productividad de estos empleados se puede mejorar aunque sea en un porcentaje pequeño, el efecto global en el negocio de la firma es notable. Establecer estándares para los empleados asalariados y usarlos como metas a lograr, inevitablemente mejorará la productividad.

Las dificultades para desarrollar estándares profesionales recaen, primero, en determinar qué contar y, segundo, determinar el método para contar esos eventos o salidas. Cuando debe determinar qué contar, el analista puede comenzar por establecer los objetivos de los puestos de los empleados profesionales. Por ejemplo, los compradores en el departamento de compras tienen el siguiente objetivo: "Procurar componentes y materias primas de calidad al menor precio, a tiempo para satisfacer la producción de la compañía y los programas de entrega." Para que sea eficaz, un conteo de las salidas de los compradores deben considerarse cinco aspectos: 1) proporción de entregas hechas a tiempo; 2) proporción de entregas que cumplen o exceden los requisitos de calidad; 3) proporción de envíos que representan el menor precio disponible; 4) número de órdenes colocadas durante cierto lapso, como un mes, y 5) valor total de las compras hechas durante un periodo.

El siguiente problema es establecer metas alcanzables. En casos de este tipo, el uso de registros históricos, complementados con análisis de muestreo del trabajo, a fin de determinar cómo se usa el tiempo, puede servir como base para el desarrollo de estándares profesionales.

De regreso al ejemplo de establecer estándares para los compradores, no sería difícil identificar las compras hechas por los distintos compradores y revisar qué proporción de estas órdenes se entregó a tiempo en un periodo de seis meses. El estudio de los datos históricos puede revelar algo análogo a lo siguiente:

Comprador	Proporción de órdenes entregadas a tiempo o antes de lo programado (porcentaje)
A	70
B	82
C	75
D	50
E	80

Con base en estos registros, los compradores hábiles deben ser capaces de gestionar al menos 72% de sus compras dentro del programa (la media de su desempeño).

De manera similar, una revisión de la calidad de las compras hechas por cinco compradores puede revelar lo siguiente:

Comprador	Proporción de órdenes entregadas con menos de 5% de rechazo (porcentaje)
A	85
B	90
C	80
D	95
E	80

Aquí, el estándar de calidad sería que 86% de las órdenes recibidas tiene menos de 5% de rechazo (la media del desempeño histórico de los cinco compradores).

Para la proporción de compras gestionadas al menor precio disponible, los registros históricos pueden proporcionar de nuevo una comparación del desempeño de los cinco compradores. Suponga que se aplican los siguientes registros:

Comprador	Proporción de órdenes gestionadas al menor precio disponible (porcentaje)
A	45
B	50
C	60
D	47
E	10

El promedio de estos valores, 48.4% de las órdenes colocadas al menor precio disponible, se puede usar como el desempeño normal.

Los registros históricos también pueden indicar que, en promedio, un comprador colocó 120 órdenes por mes, con un valor monetario total de 120 840 dólares.

Después, estos cinco criterios se pueden usar para desarrollar un desempeño global estándar: entrega, calidad, precio, número de órdenes y valor de la orden. Por ejemplo, un método sumaría las medias de los primeros tres criterios (0.72 + 0.86 + 0.484) más 0.002 veces la media de las órdenes colocadas, más 0.000001 veces el promedio del valor monetario de las compras. En consecuencia, el estándar del comprador en esta operación ficticia sería

$$0.72 + 0.86 + 0.484 + 0.24 + 0.12 = 2.424$$

Otro ejemplo puede ayudar a aclarar cómo desarrollar estándares de desempeño para el personal administrativo. Considere el puesto de director de administración del personal. Un analista puede sugerir cuatro objetivos específicos para este puesto:

1. Establecer una metodología para identificar la cantidad y la calidad de los recursos humanos de la compañía.
2. Establecer un procedimiento para atraer, contratar y retener los tipos y números de empleados que se requieren para operar exitosamente la compañía.
3. Establecer políticas, programas y prácticas que faciliten el logro de los objetivos departamentales y mantener la buena moral de los empleados.
4. Administrar y mantener el programa de prestaciones de la compañía.

Una vez que se han establecido los objetivos, es relativamente sencillo desarrollar un estándar de desempeño en términos de tiempo. Por ejemplo, el estándar para el objetivo 1 puede ser: "Durante los siguientes 3 meses, capacitar representantes del personal para realizar auditorías del personal de la compañía, con el fin de determinar las necesidades proyectadas desde el punto de vista de números y tipo."

El estándar de desempeño del objetivo 2 podría ser: "En los siguientes 12 meses contratar *a*) 2 doctores en química, *b*) 7 maestros en ingeniería industrial o ingeniería mecánica y *c*) 35 titulados, con una distribución de 10 en administración, 20 en ingeniería y 5 en humanidades. Contratar (con base en la rotación de personal y la expansión previstas) 75 empleados pagados por hora. Investigar la tasa de rotación de los empleados profesionales durante el año pasado y preparar un informe que muestre cómo se puede reducir esa rotación."

En el caso del objetivo 3, el estándar de desempeño puede ser el siguiente: "En los tres meses siguientes, actualizar el manual de administración y el programa administrativo de salarios. En los seis meses siguientes, desarrollar y distribuir un folleto para todos los empleados contratados por horas, en el cual se describa el nuevo procedimiento de inconformidad establecido en el contrato laboral. El folleto debe explicar la importancia de reducir el número de inconformidades, así como la forma de lograr este objetivo."

El estándar de desempeño del objetivo 4 podría ser: "En los 12 meses siguientes, revisar por completo el programa de prestaciones de la compañía y compararlo con el de compañías de tamaño similar en el área. Hacer las recomendaciones adecuadas a la administración."

Estos objetivos identifican los estándares de desempeño para periodos de tiempo finitos. Los estándares pueden cambiar con el paso del tiempo, puesto que cada uno se basa en los resultados.

Los estándares que se establecen para periodos sucesivos pueden incluir asignaciones de trabajo distintas para cumplir los objetivos que se determinaron.

Para establecer estándares de desempeño profesional, los mismos profesionales deben ayudar a identificar los objetivos de cada puesto, recopilar los registros históricos de desempeño y desarrollar los estándares. Los estándares de desempeño que se desarrollan sin la participación total de los profesionales rara vez son realistas.

Cuando se recopilan datos históricos para facilitar el desarrollo de estándares profesionales, el analista debe realizar un estudio de muestreo del trabajo durante el periodo que sirve como base para los registros de datos históricos. Este estudio de muestreo del trabajo puede revelar cuánto tiempo de trabajo se dedica a las distintas rutinas diarias necesarias, o a las asignaciones de trabajo que se puedan manejar mejor con empleados de oficina o semiprofesionales. También puede revelar, literalmente, cuánto tiempo se perdió. Después de revisar el estudio de muestreo del trabajo, el analista puede calificar el desempeño con el promedio de los datos recopilados en el periodo histórico, para obtener un estándar más representativo de la experiencia profesional normal.

En el desarrollo de estándares profesionales se deben observar las siguientes directrices:

1. Cada administrador debe participar en el establecimiento de estándares para sus subordinados profesionales. Los estándares profesionales deben desarrollarse en conjunto con los empleados y sus supervisores.
2. Los estándares deben basarse en resultados y al enunciarlos deben incluir referencias a las mediciones.
3. Los estándares deben ser realmente alcanzables por, al menos, la mitad del grupo de interés.
4. Si es necesario, los estándares se deben auditar y revisar periódicamente.
5. Es útil para los administradores del muestreo del trabajo asegurarse de tener el apoyo administrativo adecuado y de usar su tiempo en forma racional.

Tabla 15.3 Guía para establecer estándares de mano de obra indirecta y general

Tipo de trabajo indirecto y general	Método recomendado para establecer estándares
Mantenimiento de rutina. Estándares de trabajo de 0.5 a 3 horas	Datos estándar, MTM-2, MTM-3, MOST
Mantenimiento complejo, estándares de 3 a 40 horas	Clasificación basada en estándares de mano de obra indirecta universales
Envío y recepción	Datos estándar, MTM-2, MTM-3, MOST
Depósito de herramientas	Clasificación basada en estándares de mano de obra indirecta universales
Inspección	Datos estándar, MTM-2, MOST
Diseño de herramientas	Clasificación basada en estándares de mano de obra indirecta universales
Compras	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo del trabajo
Contabilidad	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo del trabajo
Ingeniería de planta	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo del trabajo
Apoyo en oficinas	Estándares basados en datos estándar, MTM-2, MOST
Intendencia	Datos estándar; clasificación basada en estándares de mano de obra indirecta universales
Administración general	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo del trabajo

RESUMEN

Es más difícil estudiar y determinar tiempos estándar representativos para las tareas no repetitivas, características de la mayor parte del trabajo indirecto, que para las tareas repetitivas. Como las operaciones de mano de obra indirecta son difíciles de estandarizar y estudiar, sólo de vez en cuando se someten a un análisis de métodos. En consecuencia, esta área suele ofrecer un potencial más grande para reducir costos y aumentar las ganancias mediante los métodos y los estudios de tiempos que cualquier otra área.

El procedimiento usual es tomar una muestra de tamaño suficiente para realizar un estudio de tiempos con cronómetro para asegurar la representación de las condiciones promedio, y después tabular los tiempos elementales asignados en forma de datos estándar. Los datos de los sistemas de tiempo predeterminado también tienen una amplia aplicación en el establecimiento de estándares para el trabajo indirecto. Esto es especialmente cierto en sistemas que utilizan bloques grandes de movimientos fundamentales como MTM-2 y MOST.

Los analistas pueden estimar con precisión los elementos indirectos que involucran tiempo de espera utilizando la teoría de líneas de espera o colas. Cuando el problema no se ajusta a las ecuaciones de líneas de espera establecidas, los analistas pueden usar la simulación Monte Carlo como herramienta para determinar la extensión del problema de línea de espera en el área de trabajo. Para ayudar a establecer estándares de trabajo indirecto y general, la tabla 15.3 puede servir como una guía para elegir el método apropiado.

Los estándares del trabajo indirecto ofrecen distintas ventajas, tanto para el empleador como para el empleado. Algunas de ellas son:

1. La instalación de estándares conduce a diversas mejoras operativas.
2. Se puede determinar la eficiencia de los diferentes departamentos con mano de obra indirecta.
3. Las cargas de mano de obra se pueden programar y presupuestar de mejor manera.
4. Se pueden evaluar las mejoras al sistema antes de instalarlas, con lo cual se evitan costosos errores.
5. Se pueden instalar planes de pago de incentivos, lo que permite a los empleados aumentar sus ingresos.
6. Los empleados requieren menos supervisión y tienen un mejor desempeño, ya que un programa de estándares del trabajo tiende a reforzarse a sí mismo.

PREGUNTAS

1. Describa la diferencia entre la mano de obra indirecta y la general.
2. Explique la teoría de colas.
3. ¿Cuáles son las cuatro divisiones que constituyen el trabajo indirecto y general?
4. ¿Se establecen estándares sobre la parte de demoras innecesarias del trabajo indirecto y general? Explique su respuesta.
5. ¿Por qué ha habido un marcado incremento en el número de trabajadores indirectos?
6. ¿Por qué ocurren más demoras inevitables en las operaciones de mantenimiento que en las de producción?
7. ¿Qué significa balance de la brigada? ¿Y tiempo de interferencia?
8. Explique cómo se deben establecer los tiempos estándar para operaciones de intendencia.
9. ¿Qué operaciones de oficina se pueden someter a estudios de tiempos?
10. ¿Por qué los datos estándar son especialmente aplicables a las operaciones de mano de obra indirecta?
11. Resuma las ventajas de los estándares establecidos para el trabajo indirecto.
12. Explique la aplicación de las clasificaciones de la mano de obra indirecta o general.
13. ¿Por qué un sistema de estándares universales que involucra a más de 20 estándares comparativos funciona para un departamento grande de mantenimiento donde cada año se realizan miles de trabajos distintos?

PROBLEMAS

1. Los procedimientos de medición de trabajo establecen un tiempo promedio de 6.24 minutos por pieza en la inspección de un forjado complejo. La desviación estándar del tiempo de inspección es de 0.71 minutos. Por lo general, en cada turno de 8 horas se entregan 60 forjados a la estación de inspección

en la línea. Un operario realiza esta inspección. Suponga que los forjados llegan en una forma Poisson y que el tiempo de servicio es exponencial. ¿Cuál sería el tiempo medio de espera de una matriz en la estación de inspección? ¿Cuál sería la longitud promedio de la cola para el forjado?

2. En el taller de herramientas y matrices de la Dorben Company, el analista de medición del trabajo desea determinar un estándar para barrenar orificios en una variedad de moldes. El estándar se usará sólo para estimar el costo de los moldes. Además, se debe basar en el tiempo que espera el operario para que lleguen los moldes de una sección de pulido de superficie y en el tiempo de maquinado de ese operario. El tiempo de espera se basa en el modelo de un servidor, llegadas Poisson, tiempo de servicio exponencial y disciplina de servicio primero en llegar, primero en salir. Un estudio reveló que el tiempo promedio entre llegadas era de 58 minutos. El tiempo promedio de barrenado es de 46 minutos. ¿Cuál es la probabilidad de que un molde se demore en la sección de taladros? ¿Cuál es el número promedio de moldes que esperan pasar al taladro?
3. ¿Cuál sería el tiempo de espera estimado por envío si un estudio de tiempos con cronómetro estableció que el tiempo normal para preparar un envío es de 15.6 minutos? Se realizan 21 embarques cada turno (8 horas). La desviación estándar del tiempo de servicio se estima en 1.75 minutos. Se supone que las llegadas tienen una distribución Poisson y que el tiempo de servicio es arbitrario.
4. Usando los métodos de Monte Carlo, ¿cuáles serían las horas esperadas de interrupciones debidas a la falta de un operario para dar servicio a las máquinas, si se asignaran cuatro operarios a la situación de trabajo descrita en el ejemplo 15.3?
5. Las llegadas a la cafetería de la compañía son Poisson con un tiempo promedio entre llegadas de 1.75 minutos durante el periodo de la comida. El tiempo promedio para que un cliente obtenga su comida es de 2.81 minutos, el tiempo de servicio se distribuye exponencialmente. ¿Cuál es la probabilidad de que una persona que llega a la cafetería tenga que esperar? ¿Cuánto tiempo?

REFERENCIAS

Knott, Kenneth, "Indirect Operations: Measurement and Control", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Lewis, Bernard T., *Developing Maintenance Time Standards*. Boston, MA: Indistrial Education Institute, 1967.

Nance, Harold W., *Office Work Measurement*. Malabar, FL: Krieger, 1983.

Newbrough, E. T., *Effective Maintenance Management*. Nueva York: McGraw-Hill, 1967.

Pappas, Frank G. y Robert A. Dimberg, *Practical Work Standards*. Nueva York: McGraw-Hill, 1962.

Raghavachari, M., "Queuing Theory", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Seguimiento y uso de estándares

CAPÍTULO 16

PUNTOS CLAVE

- El seguimiento de los métodos y estándares es necesario para garantizar tanto la justicia hacia los trabajadores como la rentabilidad de la empresa.
- Usar el enfoque adecuado para establecer y revisar los estándares.
- Utilizar estándares para:
  - Establecer incentivos salariales.
  - Comparar métodos.
  - Determinar la capacidad de planta.
  - Determinar costos y presupuestos de mano de obra.
  - Reforzar los estándares de calidad.
  - Mejorar el servicio al cliente.

El seguimiento es el octavo y último paso sistemático para instalar un programa de mejoramiento de métodos. Aunque es tan importante como cualquiera de los otros pasos, con frecuencia es el más despreciado. Los analistas tienen una tendencia natural a considerar que el programa está terminado después de desarrollar los tiempos estándar. Sin embargo, nunca debe considerarse que una instalación de métodos y los estándares resultantes están terminados.

El seguimiento es necesario para asegurar que se aplica el método propuesto, que se están logrando los estándares establecidos y que el nuevo método está apoyado por los trabajadores, los supervisores, el sindicato y la administración. En general, los resultados del seguimiento son beneficios adicionales que surgen de nuevas ideas y nuevos enfoques, que finalmente estimulan el deseo de mejorar un programa de ingeniería de métodos de un diseño o proceso existentes. El procedimiento es repetir el ciclo de mejoramiento de métodos poco tiempo después de completarlo, de manera que cada proceso y cada diseño estén bajo un escrutinio continuo para encontrar más mejoras posibles. Éste es un componente necesario de cualquier programa de mejora continua razonable.

Sin el seguimiento, es fácil que los métodos propuestos regresen a los procedimientos originales. Se han realizado innumerables estudios en los que el seguimiento reveló que el método en estudio regresaba lentamente, o ya había regresado, al método original. Los seres humanos somos criaturas de hábitos y una fuerza de trabajo debe desarrollar el hábito del método propuesto, si se desea que éste se consolide. El seguimiento continuo es la única manera de asegurar que el nuevo método se mantenga durante el tiempo suficiente para que todas las personas asociadas con sus detalles se familiaricen por completo con sus rutinas.

16.1 MANTENIMIENTO DE TIEMPOS ESTÁNDAR

Tanto los trabajadores como la administración hacen hincapié en la necesidad de establecer tiempos estándar justos, y una vez introducidos dichos estándares, su mantenimiento es igual de importante. Aunque es normal que la función de supervisión de la producción realice verificaciones puntuales y monitoree los estándares, lo extenso de ese trabajo pocas veces deja el tiempo adecuado para dar un seguimiento eficaz y completo. En consecuencia, el departamento de métodos y estándares debe programar el seguimiento en forma regular.

El seguimiento inicial o auditoría de trabajos de producción se debe llevar a cabo aproximadamente un mes después del desarrollo de los estándares de tiempo. Una segunda auditoría debe hacerse dos meses después, y una tercera, nueve meses después de la segunda. La frecuencia de las auditorías se basa en las horas esperadas de aplicación por año. Como ejemplo, una compañía grande usa los datos que se muestran en la tabla 16.1 para determinar la frecuencia de las auditorías de métodos y estándares.

En cada seguimiento, los analistas deben revisar el informe del método original y el desarrollo del estándar, para estar seguros de que se cumplen todos los aspectos del método nuevo. En ocasiones, pueden encontrar que algunas partes del nuevo método se descuidaron y que los trabajadores regresaron a la forma anterior. Algunas veces los empleados ocultan los cambios de métodos que han implantado personalmente para poder aumentar sus ingresos o disminuir su esfuerzo mientras logran la misma producción. A menudo, pueden desarrollarse cambios de métodos que incrementan el tiempo que se requiere para realizar la tarea. Estos cambios pudieron haber sido iniciados por el supervisor o el inspector y, en su opinión, son de consecuencias insuficientes para ajustar el estándar. Cuando se presenta esta situación, debe contactarse de inmediato al supervisor y el analista debe intentar determinar por qué se llevó a cabo el cambio no autorizado. Si no existe una razón satisfactoria que justifique el cambio, el analista debe insistir en que se siga el procedimiento correcto.

El seguimiento debe hacerse tanto del método como del desempeño del operario, que debe ser igual o mayor que el estándar. El desempeño debe compararse con las curvas de aprendizaje típicas (vea el capítulo 18) de la clase de trabajo. Si el operario no tiene un progreso suficiente, debe realizarse un estudio cuidadoso que incluya una reunión con él para determinar si existe alguna dificultad que no se haya detectado.

Normalmente, el desempeño de los trabajadores se aproxima a la curva normal, como se describe en el capítulo 11. Sin embargo, algunas variaciones comunes de la curva normal indican problemas y la necesidad de realizar una auditoría. En la figura 16.1 se muestra que los estándares son holgados y que los trabajadores reducen voluntariamente su rendimiento para no superar el nivel de 140%, porque piensan que si van más allá de este punto, los estándares de tiempos se ajustarán hacia abajo.

En la figura 16.2 se ilustra la producción en un entorno donde el método no se ha estandarizado. La variación del material es otra causa de esta distribución plana. En ambos casos, una auditoría puede asegurar que se aplique el mejor método. De esta forma, el estándar desarrollado refleja el tiempo que requieren los operarios experimentados promedio, que trabajen con buenas habilidades y esfuerzo, para realizar una operación a un ritmo que pueden mantener durante ocho horas, con las holguras por demoras personales e inevitables y por fatiga.

Por lo general, si el tiempo de ciclo completo y los estándares de tiempo existentes varían en más de ±5%, debe realizarse una auditoría. En la mayoría de los casos, un estudio de tiempos detallado

Tabla 16.1 Frecuencia de auditorías

Horas de aplicación por estándar por año	Frecuencia de auditorías
0-10	Una vez cada tres años
10-50	Una vez cada dos años
50-600	Una vez al año
Arriba de 600	Dos veces al año

Fuente: Cortesía de Industrial Engineers Division, Procter & Gamble, Co.

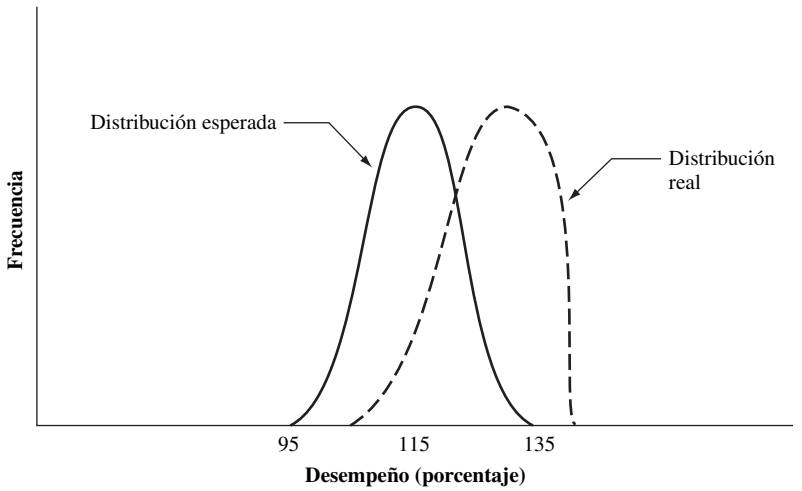


Figura 16.1 Distribución del desempeño en una planta donde los estándares son holgados, comparada con la distribución esperada para el desempeño promedio de 115% del normal.

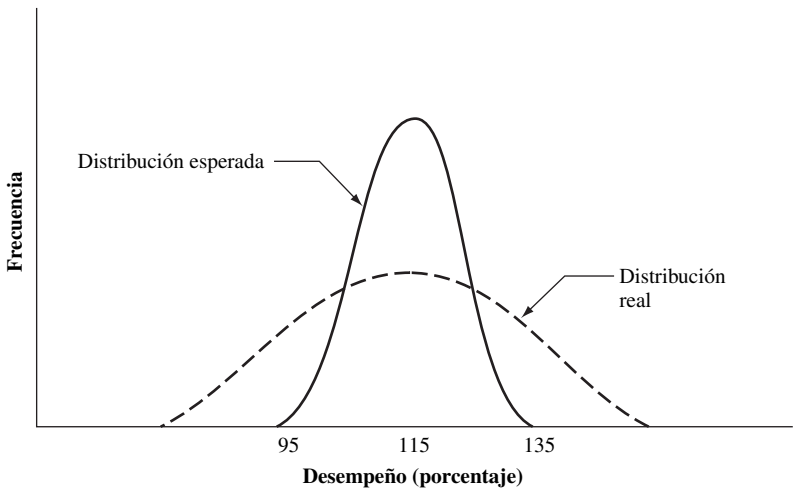


Figura 16.2 Distribución del desempeño en una planta donde no se han estandarizado los métodos o los materiales.

debe revelar que la causa es un cambio en el método. Esto puede determinarse haciendo referencia al estudio de tiempos original, que incluye una descripción completa del método.

Además, el analista debe revisar todas las distribuciones de planta para asegurar que ocurre un flujo ideal de materiales y productos. También debe examinar cualquier nuevo equipo adquirido junto con el método para garantizar que se logran la productividad y el desempeño previstos.

Asimismo, el analista debe auditar la evaluación del trabajo después que el trabajador adoptó el nuevo método durante seis meses. Esta revisión debe asegurar que la compensación de todos los empleados relacionados con el método desarrollado sea competitiva respecto a tareas equivalentes en el área. También se auditan las tasas de ausentismo para obtener una medida adicional de la aceptación del operario. Aunque la auditoría de métodos y estándares requiere tiempo y dinero, un sistema de seguimiento exhaustivo asegurará el éxito del programa.

16.2 USO DE ESTÁNDARES

REVISIÓN DE ESTÁNDARES

Los estándares de tiempo son fundamentales para lograr la eficiente operación de cualquier empresa de manufactura o de negocios, puesto que proporcionan el denominador común del que surgen todos los elementos de costo. En realidad, todas las personas usan estándares de tiempo para casi todo

lo que hacen o lo que quieren que otros hagan. Los ejemplos en la vida diaria incluyen: un trabajador que calcula una hora para lavarse, rasurarse, vestirse, desayunar e ir al trabajo; el estudiante que programa dos horas para terminar una tarea, y el operador de un autobús que sigue un programa específico de llegadas y salidas.

Existe un interés especial en los estándares de tiempo que se utilizan en la operación eficaz de una compañía de manufactura, una empresa de servicio o un negocio. Tales estándares de tiempo se pueden determinar en una o más de las siguientes formas:

1. Por estimación o registros de desempeño.
2. Por estudios de tiempos con cronómetro (vea el capítulo 10).
3. Mediante datos estándar (vea el capítulo 12).
4. Mediante las fórmulas de estudio de tiempos (vea el capítulo 12).
5. Con los sistemas de tiempo predeterminado (vea el capítulo 13).
6. Por medio de estudios de muestreo del trabajo (vea el capítulo 14).
7. Mediante la teoría de colas (vea el capítulo 15).

Los métodos 2, 3, 4, 5 y 6 proporcionan resultados mucho más confiables que los métodos 1 o 7. Si los estándares se usan para el pago de salarios deben determinarse con la mayor precisión posible. En consecuencia, los estándares determinados mediante estimaciones o registros de desempeño son mejores que la no existencia de ellos. Todos estos métodos son aplicables en ciertas condiciones y todos tienen limitaciones de exactitud y costo de instalación. Los resúmenes que se presentan en las tablas 16.2 y 16.3 son útiles para seleccionar el enfoque adecuado.

BASES DEL PLAN DE INCENTIVOS SALARIALES

Los estándares tienen muchos otros usos en una empresa, pero la necesidad de que sean consistentes y confiables es más notoria en el área de pagos salariales (capítulo 17). Sin estándares equitativos no tendrá éxito ningún plan de incrementos que compense en proporción a la producción, y sin una medida no es posible evaluar el desempeño individual.

De manera similar, cualquier tipo de bono de supervisión por productividad depende directamente de estándares de tiempo equitativos. Como los trabajadores reciben más y mejor atención del supervisor cuando se aplica un plan en el que los bonos se relacionan con la producción, la mayoría de los planes de supervisión consideran la productividad del empleado como criterio principal para otorgar los bonos. Otros factores usuales son los costos de mano de obra indirecta, los costos de desperdicio, la calidad de producción y las mejoras a los métodos.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS

Como el tiempo es la medida común de todas las tareas, los estándares de tiempo son una base para comparar distintos métodos para realizar el mismo trabajo. Por ejemplo, suponga que un operario piensa que puede resultar ventajoso instalar el brochado con una tolerancia estricta para el diámetro interior, en vez de escariar la parte para lograr el tamaño, como se hace en la actualidad. Para tomar una decisión razonable sobre la conveniencia del cambio, los analistas deben desarrollar estándares de tiempo para cada procedimiento y después comparar los resultados.

UTILIZACIÓN EFICAZ DEL ESPACIO

El tiempo es la base para determinar cuántos equipos de cada tipo se necesitan. La administración sólo puede hacer el mejor uso posible del espacio si conoce los requisitos exactos para las instalaciones. Si una compañía requiere 10 fresadoras, 20 taladros, 30 tornos de torreta y 6 esmeriladoras en un departamento de maquinado, el administrador puede planear la mejor distribución de este equipo. Sin estándares de tiempo, la compañía puede proporcionar más de los que necesita para un tipo de instalación y menos para otro, es decir, utiliza de manera ineficiente el espacio disponible.

Como otro ejemplo, para determinar el tamaño de las áreas de almacenamiento e inventario, los administradores consideran el tiempo que una parte estará almacenada y la demanda de ella. De nuevo en este caso los estándares de tiempo son la base para determinar el tamaño de estas áreas.

Tabla 16.2 Comparación de diferentes métodos para establecer un estándar de tiempo

Ventajas	Desventajas
Estudio de tiempos con cronómetro	
1. Único método que mide directamente los tiempos del operario.	1. Requiere la calificación del desempeño del trabajador.
2. Permite la observación detallada del ciclo completo y el método.	2. No obliga a llevar un registro detallado de los métodos, movimientos, herramientas, etc., que se utilizan.
3. Puede cubrir los elementos relativamente infrecuentes.	3. Puede no evaluar bien los elementos no cíclicos.
4. Proporciona valores rápidos y exactos de los elementos controlados por la máquina.	4. Basa el estándar en el sesgo de un analista que estudia a un trabajador que usa un solo método.
5. Es relativamente fácil aprenderlo y explicarlo.	5. Requiere que la línea de producción esté en operación.
Sistema de tiempos predeterminados	
1. Obliga a tener un registro detallado del método, los movimientos, las herramientas, etc., que se utilizan.	1. Depende de la descripción completa del método, los movimientos, las herramientas, etc., para obtener un estándar preciso.
2. Estimula la simplificación del trabajo.	2. Requiere más capacitación de los analistas.
3. Elimina la calificación del desempeño.	3. Es más difícil de explicar a los trabajadores.
4. Permite establecer estándares antes de la producción real.	4. Requiere más tiempo para establecer estándares.
5. Permite ajustes sencillos a los estándares cuando hay cambios en los métodos.	5. Requiere otras fuentes de datos para los elementos del proceso o controlados por la máquina.
6. Establece estándares consistentes.	
Métodos de datos estándar, fórmulas y teoría de colas	
1. Eliminan la calificación del desempeño.	1. Pueden requerir más capacitación de los analistas.
2. Establecen estándares consistentes.	2. Son más difíciles de explicar a los trabajadores.
3. Permiten establecer el estándar antes de la producción real.	3. Pueden no incluir pequeñas variaciones en el método.
4. Permiten ajustes sencillos de estándares debidos a cambios en el método.	4. Pueden ser inexactos si se extienden más allá del alcance de los datos empleados en su desarrollo.
Muestreo del trabajo	
1. Reduce la tensión que causa la observación constante del trabajador.	1. Deteriora la exactitud de la evaluación del desempeño.
2. Establece un estándar promedio sobre condiciones cambiantes.	2. Requiere un número relativamente grande de observaciones aleatorias para lograr exactitud.
3. Permite el desarrollo simultáneo de estándares para una variedad de operaciones.	3. Requiere registros exactos de las horas trabajadas y unidades producidas.
4. Se adapta mejor a estudios de utilización de máquinas, análisis de actividades y demoras.	4. Supone que el operario usa un método estándar.

Tabla 16.3 Guía para seleccionar el método adecuado de estándares de tiempo

Mejor método:	Para trabajo:
Estudio de tiempos con cronómetro	1. Con ciclos repetitivos, de cualquier duración 2. Con una amplia variedad de elementos distintos 3. Con elementos controlados por el proceso o la máquina
Sistemas de tiempos predeterminados	1. Con elementos controlados por el operario 2. Con ciclos repetitivos de corta a media duración 3. Antes de la producción 4. Con controversia sobre la calificación y consistencia de los estándares
Métodos de datos estándar, fórmulas y teoría de colas	1. Con elementos similares de cualquier duración 2. Con controversia sobre la calificación y consistencia de los estándares
Muestreo del trabajo	1. Con grandes variaciones de ciclo a ciclo 2. Con controversia sobre el uso del cronómetro 3. Con controversia sobre la observación constante del trabajador 4. Cuando se necesitan la utilización de máquina, niveles de actividad y holguras por demora

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PLANTA

A través de los estándares de tiempo se puede determinar la capacidad de las máquinas, los departamentos y la planta. Una vez que se conocen las horas disponibles para la instalación y el tiempo que se requiere para producir una unidad de producto, es cuestión de hacer cálculos aritméticos sencillos para estimar el potencial del producto. Por ejemplo, si la operación con cuello de botella requiere 15 minutos por pieza, y se cuenta con 10 máquinas para realizar esta actividad, entonces con 40 horas por semana la capacidad de la planta para este producto sería

$$\frac{40 \text{ h} \times 10}{0.25 \text{ h}} = 1\,600 \text{ piezas por semana}$$

BASES PARA LA COMPRA DE NUEVOS EQUIPOS

Así como los tiempos estándar permiten al analista determinar las capacidades de máquinas, departamentos y plantas, también proporcionan la información necesaria para determinar cuántas instalaciones son necesarias y de qué tipo para lograr un volumen de producción dado. Los estándares de tiempo comparativos precisos también resaltan las ventajas de una instalación sobre sus competidores. Por ejemplo, una planta puede tener la necesidad de comprar tres taladros de mesa de un vástago. Al revisar los estándares disponibles, los gerentes de la planta pueden determinar el estilo y diseño de taladros que alcancen el rendimiento más favorable por unidad de tiempo.

FUERZA DE TRABAJO CONTRA TRABAJO DISPONIBLE

Si cuenta con información concreta sobre el volumen de producción que se requiere y el tiempo necesario para producir una unidad, el analista puede determinar la fuerza de trabajo que se necesita. Por ejemplo, si la carga de producción de una semana dada de 40 horas es 4 420 horas, la compañía necesita 4 420/40, es decir, 111 operarios. Este uso de los estándares es especialmente importante en un mercado que se contrae, esto es, donde el volumen de producción está en disminución. Sin una medida que ayude a determinar el número real de personas necesario para realizar la carga reducida cuando el volumen total disminuye, toda la fuerza de trabajo puede aminorar la velocidad para hacer que el trabajo disponible dure. A menos que la fuerza de trabajo esté balanceada con el volumen de trabajo disponible, los costos unitarios se elevan cada vez más. En estas circunstancias, las operaciones de producción comienzan a producir pérdidas y se necesitará aumentar los precios de venta ante las reducciones potenciales del volumen de ventas. El ciclo se repite y las pérdidas aumentan.

En un mercado en expansión, es igual de importante poder presupuestar la mano de obra. Las crecientes demandas de los clientes deben ser satisfechas mediante un mayor volumen de personal. Las compañías deben determinar con exactitud el número y tipo de personal adicional, para reclutarlo con suficiente anticipación a fin de cumplir con los programas de los clientes. Si existen estándares de tiempo exactos es cuestión de simple aritmética convertir requisiciones de productos en horas de trabajo del departamento.

En la figura 16.3 se ilustra la forma en que la capacidad total de la planta se puede aumentar en un mercado en expansión. En este caso, la planta espera duplicar su capacidad de horas-trabajo entre enero y noviembre. Este presupuesto proyecta los contratos programados en términos de horas-trabajo y proporciona una reserva razonable (zona sombreada) para recibir órdenes adicionales. Este proceso también se puede extender a la presupuestación de las necesidades de mano de obra de departamentos específicos.

MEJORAMIENTO DEL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

El control de la producción es la fase de una operación que programa, determina rutas, acelera y da seguimiento a las órdenes de producción, en un esfuerzo por economizar y satisfacer los pedidos de los clientes. La función completa de control de la producción se basa en determinar dónde y cuándo se puede realizar el trabajo. Este objetivo no se puede lograr sin una idea concreta de "cuánto tiempo".

La programación, una de las funciones más importantes del control de producción, se maneja generalmente por grados de refinamiento: 1) programación a largo plazo o programa maestro, 2) programación de órdenes recibidas y 3) programación de la operación detallada o carga de máquinas.

La programación a largo plazo se basa en el volumen de producción existente y anticipado. En este caso, no se dan órdenes específicas ni secuencias particulares, sino que sólo se integran y se programan para los periodos adecuados.

La programación de órdenes de la empresa incluye la programación de pedidos existentes para cumplir con la demanda de los clientes de una manera económica. En este caso, los trabajadores asignan grados de prioridad a órdenes específicas y promesas de entrega anticipada que evolucionan a partir de este programa.

La programación de la operación detallada, o carga de las máquinas, comprende la asignación específica de las operaciones a cada una de las máquinas día a día. La programación se planea para minimizar los tiempos de preparación y las interrupciones de las máquinas de manera que se cumpla con los programas de órdenes recibidas. En la figura 16.4 se ilustra la demanda de máquinas en cierto departamento durante una semana. Muestra que existe una capacidad considerable en fresadoras, taladros y roscadoras.

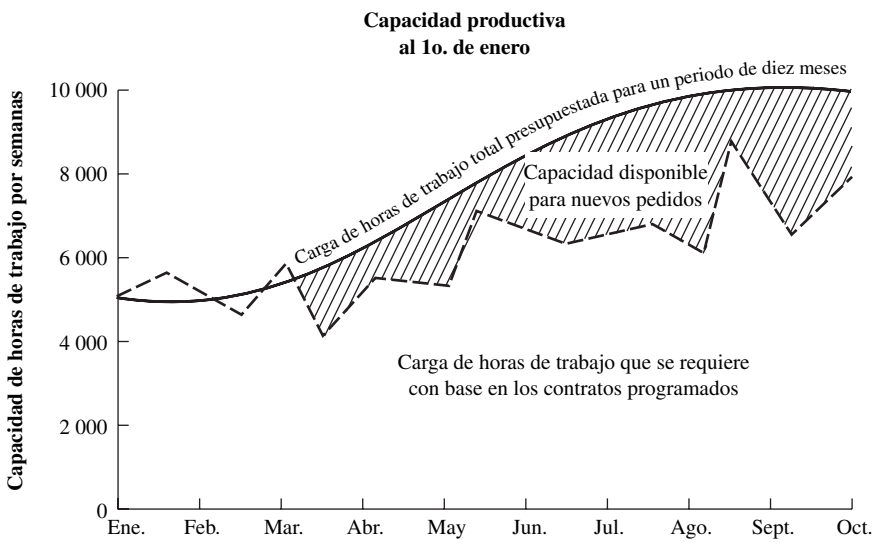


Figura 16.3 Gráfica que ilustra la carga de horas de trabajo proyectada y la carga de horas de trabajo presupuestadas.

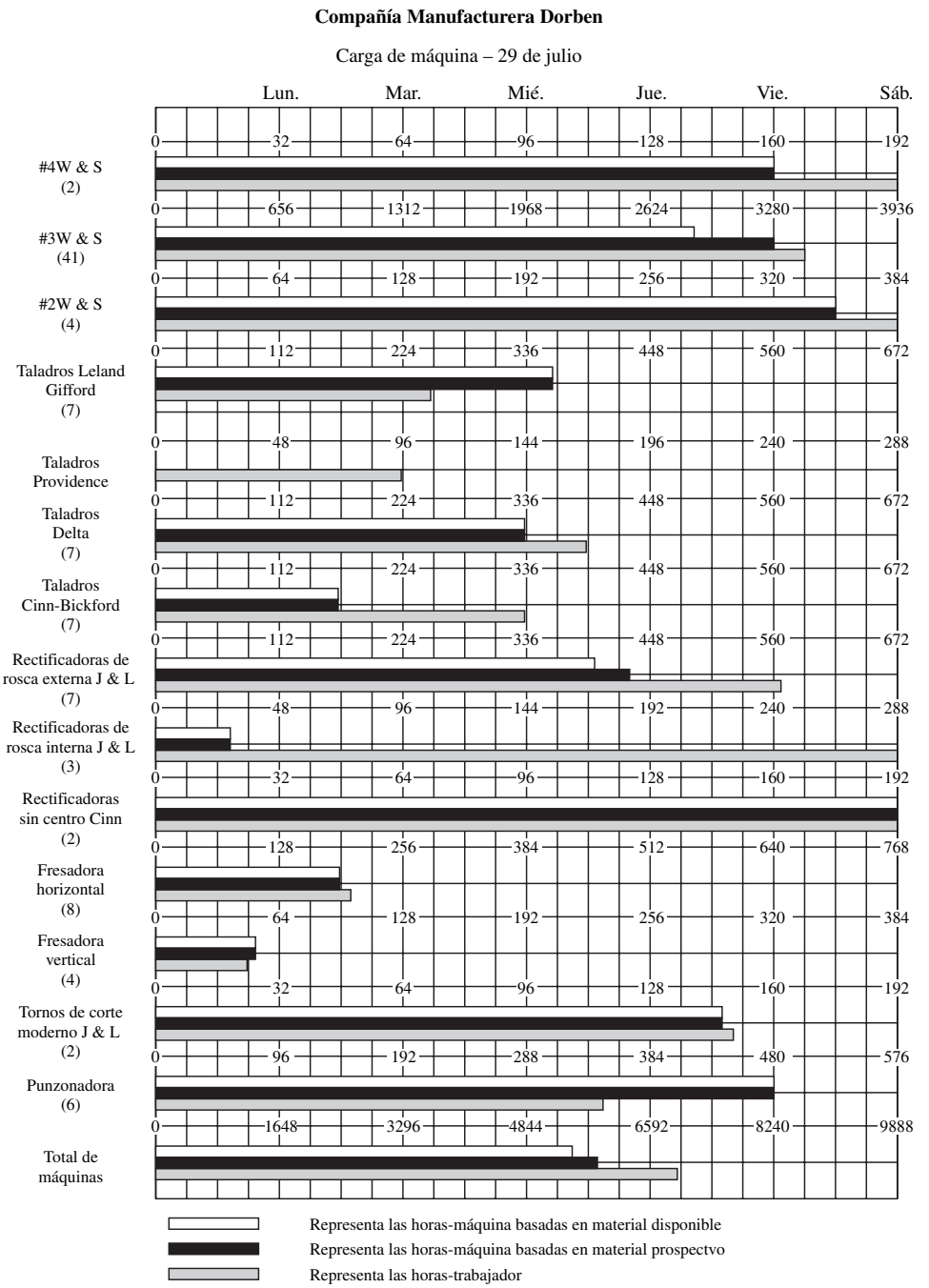


Figura 16.4 Carga de máquinas en un departamento de maquinado durante una semana. (Observe que varios programas dependen de la recepción de materia prima adicional.)

Sin importar el grado de refinamiento del procedimiento de programación, ésta sería imposible sin estándares de tiempo. Los estándares de tiempo ayudan a predeterminar el flujo de materiales y el trabajo en proceso, lo que forma la base de una programación precisa. El éxito de cualquier programa se relaciona directamente con la exactitud de los valores de tiempo que se utilizan para determinar el programa. Si no existen estándares de tiempo, no se puede esperar que los programas basados en el juicio subjetivo sean confiables.

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MANO DE OBRA

Con estándares de tiempo confiables, no es necesario que una planta tenga un sistema de pago de incentivos para determinar y controlar sus costos de mano de obra. La razón de los ingresos por hora

de producción sobre las horas reloj revela la eficiencia de ese departamento. El recíproco de la eficiencia multiplicado por la tasa promedio por hora da el costo por hora de la producción estándar. Por ejemplo, el departamento de terminados en una planta que usa la jornada de trabajo directa tiene 812 horas reloj H_c de tiempo de mano de obra para 876 horas de ingresos de producción H_e. La eficiencia del departamento sería

$$E = \frac{H_e}{H_c} = \frac{876}{812} = 108\%$$

Si la tasa promedio por hora del día de trabajo (vea el capítulo 17) en el departamento es de 16.80 dólares, el costo de mano de obra directa, con base en el estándar de producción es

$$\frac{1}{1.08} \times \$16.80 = \$15.56$$

En un segundo ejemplo, suponga que en otro departamento las horas reloj son 2 840 y las horas de trabajo de la producción en el periodo son sólo 2 760. En este caso, la eficiencia sería

$$\frac{2\,760}{2\,840} = 97\%$$

y el costo por hora de mano de obra directa, con base en la producción estándar, con una tasa promedio diaria de 16.80 dólares sería igual a

$$\frac{1}{0.97} \times \$16.80 = \$17.32$$

En el último caso, la administración se daría cuenta de que sus costos de mano de obra son 0.52 dólares por hora más altos que las tasas base y tal vez aumente la supervisión para poder controlar los costos de mano de obra. En el primer ejemplo, los costos de mano de obra eran menores que el estándar, lo que permitiría reducir los precios, aumentar el volumen de producción o hacer otros ajustes adecuados para la administración y los trabajadores.

REFORZAMIENTO DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD

Los estándares de tiempo obligan a mantener los requisitos de calidad. Debido a que los estándares de producción se basan en la cantidad aceptable de piezas producida en una unidad de tiempo y no se reconoce el trabajo defectuoso, existe un esfuerzo constante e intenso por parte de los trabajadores para producir sólo partes buenas. Si existe un plan de pago de incentivos, sólo se compensa a los operarios por las unidades aceptables; para mantener sus ingresos altos, minimizan el desperdicio. La inspección por muestreo es invariablemente más eficaz si se aplica en condiciones de incentivos. El operario ya se ha asegurado de que la calidad de cada pieza sea satisfactoria antes de entregarla. Cuando algunas piezas tienen defectos se responsabiliza de la recuperación al operario que las produjo, o sus ingresos se ajustan a una compensación sólo por las piezas bien elaboradas.

PROBLEMAS DE ADMINISTRACIÓN

Los estándares de tiempo deben ir acompañados por muchas medidas de control, como programación, rutas, control de materiales, presupuestos, pronósticos, planeación y costos estándar. Tener control sobre prácticamente todas las fases de una empresa, entre ellas producción, ingeniería, ventas y costos, minimiza los problemas de la administración. Si se aplica el "principio de excepción" por el que se dedica atención sólo a aquellos artículos que se desvían del curso planeado de eventos, la administración puede confinar sus esfuerzos a sólo un pequeño segmento de la actividad total en la empresa.

Por ejemplo, en la figura 16.5 se ilustra un análisis del tiempo perdido semanal que se desarrolló para que la administración pueda tomar acciones positivas cuando no se concretan las horas programadas. Observe que se estableció una meta de 9.50% de horas perdidas del tiempo programado, y que en los meses de julio, septiembre, octubre y abril se superó la meta.

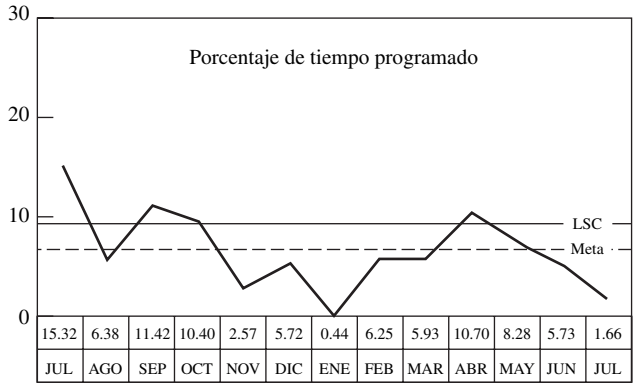


Figura 16.5 Análisis del tiempo perdido semanal de ETF, julio 14-20, 1991. (*Cortesía:* Ramesh C. Gulati, Sverdrup Technology, Inc., AEDC Group)

SERVICIO A CLIENTES

La experiencia indica que las compañías que han desarrollado estándares razonables basados en la medición tienen más posibilidades de cumplir con las fechas de entrega programadas para sus productos. El uso de estándares de tiempo permite la introducción de procedimientos de control actualizado que benefician a los consumidores que obtienen su mercancía cuando la necesitan o la desean. Además, los estándares de tiempo tienden a hacer que una compañía esté más consciente de los costos y el tiempo; por lo general, de esta forma se logran precios de venta más bajos. Como ya se explicó, la calidad se conserva mediante un plan de estándares de trabajo que asegure a los clientes la fabricación de más partes que cumplen las especificaciones requeridas.

16.3 COSTEO

El *costeo* se refiere al procedimiento que se utiliza para determinar de manera precisa los costos antes de la producción. La ventaja de poder predeterminar el costo es obvia. La mayoría de los contratos actuales se firman con base en un "costo firme", que significa que el productor debe predeterminar los costos de producción, a fin de establecer un precio firme suficientemente alto para obtener un margen de utilidad. Si se cuenta con estándares de tiempo de las operaciones de mano de obra directa, los fabricantes pueden asignar un precio anticipado a esos elementos con base en el *costo primario* del producto. Por lo general, se piensa en el costo primario como la suma de los costos directos de material y mano de obra.

Los costos son la base de las acciones dentro de una organización. Cuando los costos de procesar una parte escalan demasiado en comparación con los métodos de producción competitiva se debe considerar la realización de un cambio. Invariablemente existen varias alternativas para la producción de un diseño funcional dado, las cuales compiten en términos de costos. Por ejemplo, el moldeo compite con el forjado, el escariado con el limado, el moldeo en matriz con moldeo en plástico, el metal pulverizado con destornilladores automáticos, etcétera.

Los costos de manufactura se pueden clasificar en cuatro grupos: costos directos de material, costos directos de mano de obra, gastos de fabricación y gastos generales. Los dos primeros se refieren a la producción directa, mientras que los dos últimos son gastos fuera de la producción, llamados *costos generales*. Los costos *directos de material* incluyen materia prima, subcomponentes comprados, artículos comerciales estándar (sujetadores, alambre, conectores, etc.) y artículos subcontratados. El ingeniero industrial comienza por calcular la cantidad básica que se requiere para el diseño. A este valor se le suman pérdidas por desperdicio debidas a errores ya sea de manufactura o del proceso; gastos por errores de diseño y mermas debidas a robo o efectos ambientales. La cantidad aumentada que se obtiene, multiplicada por el precio unitario, proporciona el costo final de material con un factor de resta por el valor de recuperación anticipado:

$$\text{Costo}_{\text{materiales}} = Q \times (1 + L_{sc} + L_w + L_{sh}) \times C - S$$

donde
Q = cantidad base en peso, volumen, área, longitud, etcétera
L_{sc} = factor de pérdida debido a desperdicio (mismas unidades)

L_w = factor de pérdida debido a gasto (mismas unidades)
L_{sh} = factor de pérdida debido a mermas (mismas unidades)
C = costo unitario de materiales
S = valor de recuperación de materiales

La *mano de obra directa* se refiere a las labores que realizan los trabajadores que están involucrados en la fabricación directa del producto. Los costos directos de mano de obra se calculan a partir del tiempo que se requiere para fabricar el producto (el tiempo estándar, como se vio en capítulos anteriores) multiplicado por la tasa salarial.

Estimación del costo primario de un componente

EJEMPLO 16.1

Para estimar el costo primario de producir un componente de ABS cuyo proceso es moldeado por inyección, el analista primero multiplica el costo por libra de la resina ABS por el peso en libras del producto, con la holgura correspondiente por el bombeo, escurrimiento y mermas normales (típicamente de 3 a 7% en partes termoplásticas complejas). El analista suma a esta cifra el costo de mano de obra directa. Por ejemplo, si el operario de la prensa de inyección atiende cinco máquinas y tiene una tasa por hora (que incluye el costo de las prestaciones) de 18 dólares, el costo directo de mano de obra por prensa de inyección es de 3.60 dólares por hora, o $0.06/minuto. Si el tiempo de ciclo para moldear la parte es de 0.5 minutos, el costo de mano de obra directa por pieza es de 0.03 dólares.

Supongamos que el costo de la libra de resina es 1.20 dólares y que el peso de cada pieza es una onza. Supongamos también que el peso del escurrimiento y el bombeo es de 0.1 onzas y que una merma de 5% es característica de esta sala de moldeo particular. En consecuencia, el costo estimado del material es

$$\$1.20 \times 1.1 \times 1.05/16 = \$0.087$$

En este ejemplo, el costo primario por pieza es de

$$\$0.03 + 0.087 = \$0.117$$

Los *costos de fabricación* incluyen aspectos como mano de obra indirecta, herramental, máquinas y costos de energía. La *mano de obra indirecta* incluye aspectos como envío y recepción, flete, almacenamiento, mantenimiento y servicios de intendencia. Los costos de mano de obra indirecta, máquinas y herramientas pueden tener mayor influencia en la selección de un proceso específico que los costos de material y mano de obra directa. Por ejemplo, en la ilustración anterior, un molde de una cavidad puede costar 30 000 dólares, y la tasa de maquinado (costo de operar la prensa de inyección excluyendo al operario) puede ser de 20.00 dólares la hora. (En un centro de maquinado complejo, las tasas de las máquinas con frecuencia son de unos cuantos dólares por hora y llegan a ser hasta de 50 dólares o más por hora.)

La asignación de costos de herramientas también tiene una relación significativa con la cantidad de producción. De nuevo en el ejemplo, suponga que deben producirse 10 000 piezas, lo cual genera un costo unitario por herramientas de $30 000/10 000, o 3.00 dólares por pieza. Este costo es mucho mayor que el costo combinado de material y mano de obra directa (más de 10 veces). Si se producen 1 000 000 de piezas, el costo unitario por molde será sólo de 0.03 dólares (cerca de un tercio del costo de mano de obra directa y material). Suponga que la tasa de la máquina de este equipo (sin incluir el costo del molde) es de 20.00 dólares por hora, o sea 0.333 dólares por minuto, y que se desea un millón de piezas. Entonces, el costo total de fabricación (material directo + mano de obra directa + gastos de fabricación) es

$$\$0.087 + \$0.03 + \$0.333/2 = \$0.2835$$

El *gasto general* incluye costos como el de *mano de obra general* (contabilidad, administración, apoyo, ingeniería, ventas, etc.), renta, seguros y servicios. El ingeniero industrial está preocupado principalmente por el costo de fabricación, puesto que es el que tiene efecto en la selección de las formas alternativas de producir un diseño dado.

En la figura 16.6 se ilustran los diferentes costos y elementos de ganancia que influyen en el desarrollo del precio de venta. Entender la base del costo ayuda al ingeniero a elegir los materiales, procesos y funciones que fabriquen el mejor producto donde el costo es usualmente el factor decisivo. La relación entre costo, ventas, ganancias o pérdidas y volumen se aprecia mejor en una gráfica de punto de equilibrio o de cruce (vea el capítulo 9). En la figura 16.7 se ilustra una gráfica de punto de equilibrio típica.

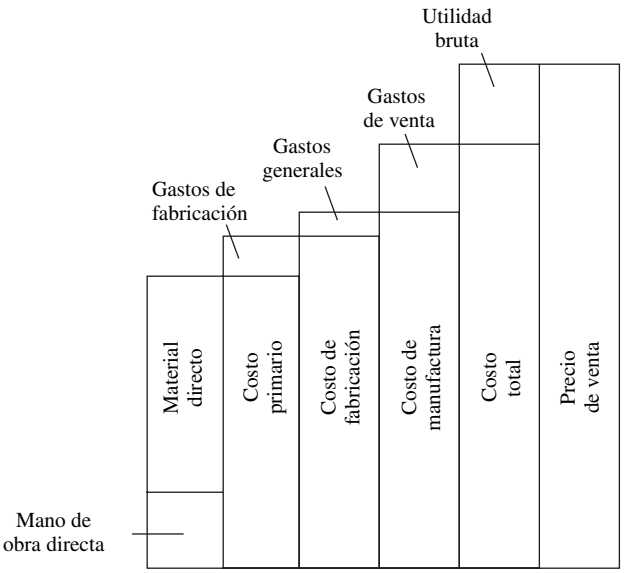


Figura 16.6 Elementos de costos y utilidades brutas (antes de impuestos) que entran en el desarrollo del precio de venta.
Observe que, en este producto, el costo de material asciende a aproximadamente 53% del costo total y que 17.5% del costo total es la utilidad bruta anticipada.

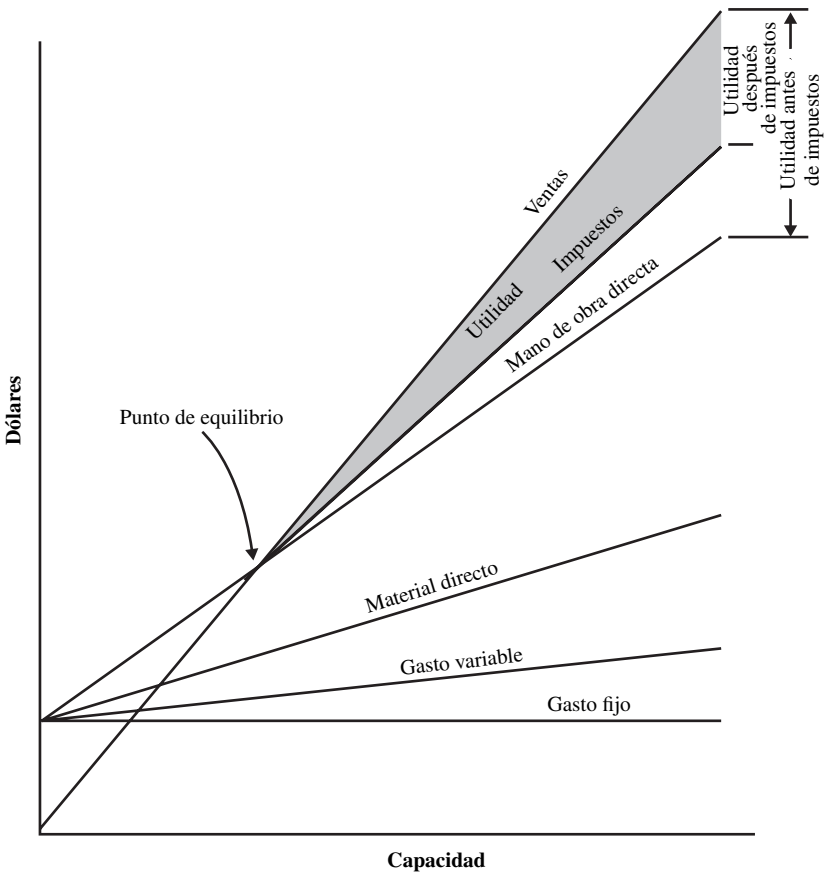


Figura 16.7 Gráfica de punto de equilibrio que indica la relación entre costo, ventas, utilidades o pérdidas y volumen.
Observe que en cada categoría se agrega la categoría anterior para obtener una suma acumulada.

La distribución de los factores de costo varían dramáticamente en función del número de unidades que deben producirse. Cuando las cantidades son pequeñas, la proporción de costos de desarrollo es alta comparada con el costo de gastos en manufactura, mano de obra directa, materia prima y partes compradas. El costo de desarrollo incluye diseño, preparación de dibujos, recolección de información de manufactura, diseño y construcción de herramientas, pruebas, inspección y muchos otros aspectos que intervienen en la colocación de las primeras partes en producción. A medida que aumenta el número de unidades, el interés se centra en reducir los gastos generales, de mano de obra directa y de materiales, mediante procesos de ingeniería y métodos de manufactura avanzados. Por ejemplo, si un fabricante de automóviles produce 2 millones de unidades al año, de las cuales 1 millón tiene cuatro cilindros por motor y el otro millón tiene seis, y se colocan cuatro anillos por pistón en cada cilindro, debe producirse 40 millones de anillos al año. Un ahorro de 0.01 dólares en cada anillo sería igual a 400 000 dólares anuales. Por lo tanto, para obtener un costo mínimo, es posible que sea redituable un gran esfuerzo de ingeniería aplicado al esfuerzo de producción, desde la materia prima hasta la instalación del producto terminado.

Existe una competencia constante entre materiales y procesos basada en los costos influidos por el número de piezas elaboradas durante un determinado periodo. La actividad de las partes afecta la cantidad de tiempo que opera la actividad, comparada con las horas disponibles. La razón de las horas operadas entre las horas disponibles tiene un gran efecto sobre el costo. Considere el siguiente ejemplo representativo.

Una gran prensa de extrusión hidráulica, que incluye bombas hidráulicas y el edificio que aloja la prensa, cuesta 3 000 000 de dólares. La depreciación, mantenimiento e interés sobre la inversión asciende a 20% anual (600 000 dólares). Por lo general se cuenta con 2 000 horas-trabajo al año en un turno (8 h/día × 5 días/semana = 40 h/semana × 50 semanas/año = 2 000 h/año). Tres turnos representarían 6 000 h/año disponibles. Por lo tanto, el costo mínimo de la instalación durante un día de 24 horas será 600 000/6 000 = 100 dólares la hora. Sin embargo, si el departamento de ventas puede vender sólo lo suficiente para mantener el equipo en operación 8 h/día, los costos de máquina aumentan a 600 000/2 000 = 300 dólares la hora. Si las ventas disminuyen, el costo de máquina por hora aumenta, lo que dificulta operar el negocio con utilidades.

Observe que estos *costos estándar* son metas de costo cuidadosamente predeterminadas que deben lograrse. Se usan para determinar los costos del producto, evaluar el desempeño y, en general, para elaborar presupuestos. Sin embargo, a medida que se desarrolla el trabajo, se incurre en costos reales que pueden tener *variaciones* en comparación con los costos estándar. Estas variaciones se consideran favorables si los costos reales son menores que los presupuestados o estándar, y son desfavorables cuando exceden a los costos estándar. Las variaciones proporcionan una retroalimentación sobre lo que debe modificarse para operar una línea productiva.

Costeo del claro de una ventana

EJEMPLO 16.2

Como un ejemplo, considere la construcción de una nueva ventana. La Hess Manufacturing Co. produce una amplia variedad de ventanas de reemplazo de vinil y puertas para tormentas. Contar con un sistema de datos estándar y de costeo es una necesidad para que Hess considere introducir cualquier cambio en los estilos, formas y características de las ventanas y puertas. Considere el elemento más sencillo de la construcción de una ventana, el claro, o la hoja fija de vidrio en un marco de aluminio. Uno de los claros más pequeños es de 2 pies × 3 pies, pero su tamaño real es 24 pulg × 35.5 pulg.

Los materiales directos para construir un claro incluyen extrusiones de aluminio 6069 revestido de vinil para la cabeza, el silo, dos mordazas y cuatro retenes vidriados; dos bloques vidriados, y dos cubiertas para los agujeros de drenaje; una hoja doble de vidrio separada por un espaciador de butilo para el aislamiento, y los materiales de empaque. De acuerdo con la cuenta separada (vea la tabla 16.4), el costo total de materiales directos es de 18.42 dólares. Observe que, cuando se calculan los costos de material, se usan varios factores de desperdicio. En el caso de las extrusiones de aluminio se aumentó un factor de 8% a la longitud de corte y el costo aumentó en el mismo porcentaje:

$$24.25 \text{ pulg} \times (1 + 0.08) \times \$0.08275/\text{pulg} = 2.167 \text{ dólares}$$

Tabla 16.4 Lista de materiales: Construcción nueva de ventana (2 pies × 3 pies)

Partes: materiales	Unidades	Longitud (pulg)	Factor de desperdicio	Longitud total (pulg)	Costo unitario ($/pulg)	Costo ($)
Extrusiones						
Cabeza, 6069	1	24.250	0.08	26.190	0.08275	2.167
Silo, 6069	1	24.250	0.08	26.190	0.08275	2.167
Mordaza, 6069	2	35.697	0.08	38.552	0.08275	6.380
Retén vidriado, superior	2	15.290	0.08	16.513	0.00733	0.242
Retén vidriado, lados	2	19.750	0.08	21.330	0.00733	0.313
Hardware						
Bloque vidriado	2	—	0.01	—	0.019	0.0388
Cubierta del agujero de drenaje	2	—	0.01	—	0.085	0.1717
Vidrio						
Vidrio transparente*	2	5.92	0.10	6.51	0.258	3.360
Espaciador†	1	119.00	0.10	130.90	0.0246	3.220
Empaques						
Esquineros	4	—	0.03	—	0.056	0.231
Cubiertas elásticas‡	1	—	—	—	0.131	0.131
					Costos totales de material directo	18.42

*El tamaño del vidrio está dado como un área en pies y los costos unitarios como $/pie.
†El espaciador es de butilo y se coloca entre las dos hojas de vidrio.
‡No se midió específicamente; se usa un valor promedio.

Tabla 16.5 Datos estándar (minutos) de la construcción de nuevas ventanas (2 pies × 3 pies)

Operación	Código de operación	Tipo de ventana				Tiempo observado		Calificación operario	Tiempo normal	
		uh	vc	dh	cl	Operario	Máquina		Operario	Máquina
Cortar	CT	•	•	•		0.125	—	115	0.144	—
	CT	•	•	•	•	0.232	—	102	0.236	—
	CT	•	•	•	•	0.432	—	122.5	0.529	—
Fresar	ML	•	•			0.305	—	125	0.381	—
Barrenar	DL	•	•	•		0.275	—	115	0.316	—
	DL	•		•		0.242	—	117	0.283	—
Punzonar	PC	•	•	•		0.145	—	115	0.167	—
	PC	•	•	•	•	0.208	—	122.5	0.255	—
Balancear ensamble	BA	•		•		0.757	—	120	0.908	—
Reforzar barra	RB	•	•	•		1.233	—	115	1.418	—
Apilar lana	WP	•	•	•		0.163	—	115	0.187	—
Soldar	WD	•	•	•	•	0.767	0.717	107.5	0.825	0.717
Limpiar esquinas	CC	•	•	•		1.133	—	122.5	1.388	—
	CC	•	•	•	•	0.220	2.942	100	0.220	2.942
Hardware	HW	•	•	•		1.673	—	112.5	1.882	—
Colocar vidrios	DG	•	•	•	•	3.210	—	107.5	3.451	—
Ensamble final	FA	•	•	•	•	3.390	—	115	3.899	—
Empacar	PK	•	•	•	•	0.373	0.790	105	0.392	0.790

Nota: uh = ventana de una hoja; vc = ventana corrediza; dh = ventana de doble hoja; cl = ventana de claro.

Tabla 16.6 Análisis del tiempo de ensamble (minutos): Construcción de nuevas ventanas (2 pies × 3 pies)

	Elementos manuales				
Proceso	**Cabeza**	**Silo**	**Mordaza**	**Retén vidriado**	**Elementos de máquina**
Corte	0.529	0.529	0.529	0.236	—
Punzonado de agujeros de drenaje	—	0.255	—	—	—
Núm. partes/marco	1	1	2	4	—
Subtotal de tiempo		3.315			—
Soldadura		0.825			0.717
Limpieza de esquinas		0.220			2.942
Colocación de vidrios		3.451			—
Ensamblado final		3.899			—
Empacado		0.392			0.790
Tiempo total de ensamblado		12.102			4.449
Holguras		20%[1]			5%[2]
Tiempo estándar de ensamblado		14.522			4.671
		Tiempo total de ensamble estándar			19.193

[1]Incluye 5% de holgura personal, 5% de holgura por fatiga básica, 5% de holgura por demora y 5% de holgura por manejo de materiales.
[2]Considera mal funcionamiento y mantenimiento de la máquina.

Tabla 16.7 Costeo de la construcción nueva de ventanas (2 pies × 3 pies)

Tipo de costo	**Minutos**	**Horas**	**Tasa ($/h)**	**Costo ($)**
Materiales directos	—	—	—	18.42
Mano de obra directa	19.193	0.320	7.21	2.31
Costo de fabricación	19.193	0.320	9.81	3.14
			Costo total de fabricación	23.87

Un diagrama de flujo del proceso de la operación de manufactura indica que se necesitan las siguientes operaciones básicas: cortar extrusiones de aluminio y retenes vidriados al tamaño, perforar los agujeros de drenaje, soldar el marco, limpiar las esquinas, ensamblar el producto final y empacar. A partir de los datos de estándares de la tabla 16.5 y los componentes requeridos se calcula un tiempo estándar de ensamble total de 19.193 minutos para un claro de 2 pies × 3 pies (vea la tabla 16.6). De los 19.193 min, 14.522 min se deben a elementos manuales del operario (con una holgura de 20%, 12.102 × 1.2 = 14.522 minutos) y 4.671 minutos se deben a elementos de máquina (con una holgura de 5% por malfuncionamiento de máquinas y mantenimiento, 4.449 × 1.05 = 4.671 min).

Los 19.193 minutos corresponden a 0.32 h (19.193/60) de mano de obra directa, que a un costo promedio de $7.21/h da un costo de mano de obra directa de 2.31 dólares. Una tasa de gastos generales de 136% de los costos de mano de obra directa dan como resultado 3.14 dólares de gastos de fabricación (0.32 × 1.36 × 7.21). Al sumar 18.42 dólares del costo de material directo y los dos costos anteriores se obtiene un costo total de fabricación de 23.87 dólares (vea la tabla 16.7). Con base en este costo, Hess puede determinar un costo de venta sugerido que mantenga su presupuesto dentro de las utilidades deseadas.

RESUMEN

Un seguimiento minucioso y periódico asegura el logro de los beneficios esperados del nuevo método. Esto exige el mantenimiento de los estándares de tiempo a fin de obtener una estructura de costos satisfactoria. En forma periódica, debe hacerse una revisión de todos los estándares para verificar que los métodos que se utilizan son idénticos a los que se emplearon cuando se establecieron los estándares. Es necesario realizar un análisis de métodos continuo.

Existen muchas aplicaciones de los estándares de tiempo en todas las áreas de cualquier empresa. Probablemente, el resultado más significativo es el mantenimiento de la eficiencia en toda la planta. Si no se puede medir la eficiencia, no es posible controlarla, y sin control será notorio su deterioro. Una vez que la eficiencia disminuye, los costos de mano de obra se elevan con rapidez y el resultado es la pérdida final de la competitividad en el mercado. Si establece y mantiene estándares eficaces, un negocio puede estandarizar los costos de mano de obra directa y controlar los costos totales.

PREGUNTAS

1. Compare y contraste las diferentes formas de determinar un tiempo estándar.
2. ¿De qué manera pueden ayudar los estándares de tiempo correctos a desarrollar una distribución de planta ideal?
3. Explique la relación entre los estándares de tiempo y la capacidad de la planta.
4. ¿Cómo se usan los estándares de tiempo para establecer un control efectivo de la producción?
5. ¿De qué forma permiten los estándares de tiempo determinar de manera precisa los costos de mano de obra?
6. ¿Cómo ayuda el desarrollo de estándares de tiempo a mantener la calidad del producto?
7. ¿De qué manera mejora el servicio al cliente a través de los estándares de tiempo correctos?
8. ¿Cuál es la relación entre el costo de mano de obra y la eficiencia?
9. Explique cómo se pueden predecir con precisión las áreas de inventario y almacén.
10. Una auditoría reveló que un estándar, como se estableció inicialmente, está holgado en un 20 por ciento. Explique la metodología para rectificar la tasa.
11. ¿Cuál es la relación entre la precisión de los estándares de tiempo y el control de la producción? ¿Se puede aplicar la regla de disminuir rendimientos?
12. Explique los diferentes costos que comprende el costo de fabricación. ¿Sobre cuál de ellos tiene mayor control un analista de métodos?
13. Explique los beneficios de incrementar la producción con relación al costo de manufactura.
14. ¿Cuándo ya no es necesario dar seguimiento a un método instalado?

PROBLEMAS

1. La administración de la compañía XYZ considera aumentar de dos a tres turnos diarios de 8 horas, o a dos turnos de 10 horas diarias, a fin de incrementar la capacidad. La administración se ha percatado de que a los inicios de turno se produce una pérdida de productividad que promedia 0.5 horas por empleado. El cargo por el tercer turno llega a 15% por hora. Las horas trabajadas por día, después de las 8 horas, le dan al operario un salario 50% superior. Para cumplir con las demandas proyectadas es necesario aumentar 25% las horas-trabajo de producción. En vista de las insuficiencias de espacio y el equipo de capital, el incremento no puede lograrse si aumenta el número de empleados en el primero y segundo turnos. ¿Qué debe hacer la administración?
2. Se establece un estándar de tiempo que da al operario 11.28 minutos por pieza. El departamento de ventas espera vender al menos 2 000 de ellas durante el siguiente año. ¿Cuántas auditorías de este estándar recomendaría que se programaran en los próximos 12 meses?
3. Si el salario por jornada de trabajo es en promedio de 12.75 dólares la hora y hay 250 empleados de trabajo directo, ¿cuál sería el costo directo verdadero por hora si, durante un mes normal, se producen 40 000 horas-trabajo? Suponga 21 días de trabajo al mes.
4. La Dorben Co. debe decidir si vale la pena lanzar un nuevo modelo "mejorado" de su dispositivo. Se recolectaron los siguientes detalles:

Tiempo estándar (minutos)	= 1.00
Costo directo de material por dispositivo	= $0.50
Costo de mano de obra directa por dispositivo	= $1.00

Costos de mano de obra indirecta por dispositivo = $0.50
Gastos generales de mano de obra por dispositivo = $0.50
Gastos generales fijos incluido el costo de venta/año = $50 000

a) Grafique el costo primario como una función de la producción.
b) Grafique los costos totales como una función de la producción.
c) Dado un precio de venta de 3.00 dólares por dispositivo, ¿cuántos dispositivos debe vender Dorben para obtener ganancias? Muestre este punto en la gráfica.

5. Los operarios ensamblan bombas a una tasa horaria de 10.00 dólares. El tiempo estándar para realizar el ensamble es de 20 minutos. Los costos de materiales directos ascienden a 19.50 dólares por bomba. La mano de obra indirecta y otros gastos generales se calculan simplemente a una tasa de 5.00 dólares la hora, mientras que los gastos generales de oficina se calculan a una tasa de 2.00 dólares la hora. ¿Cuál es el costo de fabricación de una bomba?

REFERENCIAS

Buffa, Elwood S., *Modern Production Operations Management*, 8a. ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 1987.

Carter, W. K. y M. F. Usry, *Cost Accounting*, 12a. ed. Houston: Dane Publications, 1999.

Lucey, T., *Costing*. Nueva York: Continuum, 2002.

Narasimhan, S., *Production Planning and Inventory Control*, Nueva York: Prentice-Hall, 1995.

Sims. E. R., *Precision Manufacturing Costing*. Nueva York: Marcel Dekker, 1995.

Pago de salarios

CAPÍTULO 17

PUNTOS CLAVE

- Establecer incentivos sencillos pero justos, con base en estándares probados.
- Garantizar tasas horarias básicas.
- Proporcionar incentivos individuales por encima de las tasas base.
- Relacionar directamente los incentivos con el aumento de la producción de un producto de calidad.
- Evitar la compensación de las ganancias en la productividad con mayores costos por lesiones.

Con el propósito de generar trabajadores altamente productivos y satisfechos, las compañías deben recompensar y reconocer el desempeño eficiente. La recompensa debe ser significativa para los empleados, ya sea financiera, psicológica o de ambos tipos. La experiencia ha probado que los trabajadores no hacen un esfuerzo adicional o sostenido a menos que tengan un incentivo, ya sea directo o indirecto. Los incentivos, de una forma u otra, se han usado durante muchos años. En la actualidad, debido a la creciente necesidad de las empresas e industrias estadounidenses de mejorar su productividad para reducir la inflación y mantener o mejorar su posición en el mercado mundial, la administración debe tomar en cuenta las ventajas de los incentivos salariales. Sólo cerca de 25% de los trabajadores en el sector manufacturero reciben incentivos. Si esta cifra se duplicara en la década siguiente se podría incrementar sustancialmente la productividad.

El costo de las prestaciones es cada día más significativo (hoy promedia 40% de la mano de obra directa), razón por la cual debe prorratearse entre más unidades de producción, objetivo que puede lograrse a través de los incentivos salariales. En la actualidad, las prestaciones incluyen no sólo los rubros básicos como pensiones, pago de vacaciones y cobertura médica (cuyos costos se han disparado), sino también aspectos como seguro por incapacidad y beneficios educativos, como se muestra en la tabla 17.1.

El salario típico, que no contempla los incentivos y se basa en un pago fijo, se conoce como *jornada de trabajo*, mientras que cualquier plan de incentivos que incremente la producción del empleado suele llamarse *plan de compensación flexible*. En este capítulo se presentarán brevemente cuatro tipos de planes flexibles: planes de piezas elaboradas y horas de mano de obra, planes de ganancias compartidas: Scanlon, Rucker, IMPROSHARE; ESOP; y planes de reparto de utilidades. Antes de que los analistas diseñen un plan de pagos salariales deben revisar las fortalezas y debilidades de los planes anteriores, en especial los planes de jornada de trabajo y todos los planes no financieros.

Tabla 17.1 Prestaciones típicas proporcionadas por una compañía

Beneficio	Porcentaje aproximado*
Seguro de salud	13-18
Seguro de la vista	1/2-1
Seguro dental	2-4
Vacaciones (hasta 4 semanas por año)	20-25
Días de licencia (hasta 5 días por año)	2-5
Días festivos (hasta 10 por año)	10-12
Seguro de vida	2-5
Incapacidad de largo plazo	1-3
Pensión	25-30
Reembolso por gastos educativos	1-2

*Como porcentaje de las prestaciones totales.

17.1 PLANES DE JORNADA DE TRABAJO

Los planes de *jornada de trabajo* compensan al empleado con base en el número de horas trabajadas multiplicadas por una tasa horaria base establecida. Las políticas de la empresa que son justas, que contemplan tasas base relativamente altas (basadas en la evaluación del trabajo y la calificación de méritos), un salario anual garantizado y prestaciones más o menos altas, crean actitudes sanas por parte de los empleados, estimulan su buen ánimo e indirectamente aumentan la productividad.

Desde la perspectiva de la compañía, parecería que este plan es el ideal. Los costos unitarios de mano de obra (salarios divididos entre la productividad o el desempeño del trabajador) disminuyen cuando la productividad aumenta (vea la figura 17.1). Matemáticamente, los costos unitarios de mano de obra y_c se pueden expresar como

$$y_c = y_w/x$$

donde y_w = tasa base en horas normalizadas (= 1)
x = productividad o desempeño normalizado

Desafortunadamente, los planes de jornada de trabajo tienen una debilidad: permiten una brecha demasiado amplia entre los beneficios que reciben los empleados y la productividad. Después de un cierto periodo, los empleados toman las prestaciones como un derecho adquirido y la compañía nunca logra reducir los costos unitarios de mano de obra. Las teorías, filosofías y técnicas de los planes de jornada de trabajo están fuera del alcance de este libro; para más información sobre este tema, consulte libros sobre administración de personal.

17.2 PLANES DE COMPENSACIÓN FLEXIBLES

Los planes de compensación flexibles incluyen todos los planes en los que el salario del trabajador se relaciona con la producción. Esta categoría incluye tanto los planes de incentivos individuales como los de grupo. En los planes individuales sencillos, el desempeño de cada empleado durante el periodo determina su compensación. Los planes de grupo se aplican a dos o más personas que dependen entre sí como un equipo de trabajo. En estos planes, la compensación de cada miembro del grupo se basa en su propia tasa base y en el desempeño del grupo durante el periodo.

El incentivo por un esfuerzo individual tenaz o prolongado no es tan grande en los planes de grupo como lo es en los individuales. Por ende, la industria favorece a estos últimos. Además de la baja productividad global, los planes de grupo tienen otras desventajas: 1) problemas en el personal que surgen por la falta de uniformidad en la producción, junto con la uniformidad de pago, y 2) dificultades para justificar los diferenciales de las tasas base por las distintas oportunidades dentro del grupo.

Sin embargo, los planes de grupo ofrecen algunas ventajas definitivas sobre los de incentivos individuales: 1) facilidad de instalación debido a que es más sencillo medir la producción del grupo

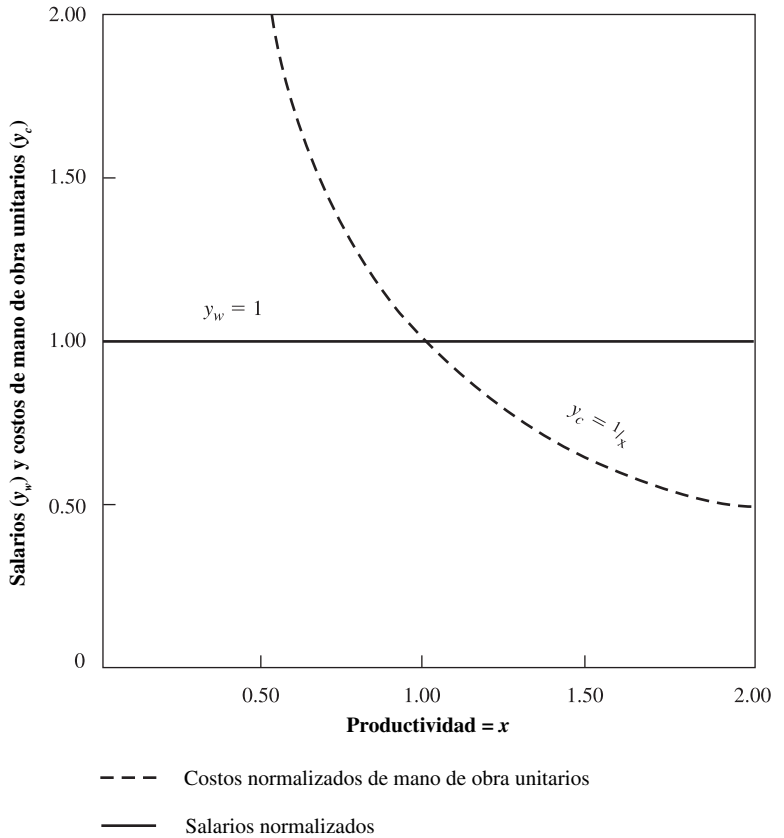


Figura 17.1 Relación entre costos, salarios y productividad en los planes de jornada de trabajo.
(Adaptado de Fein, 1982; reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

que la individual, y 2) reducción de los costos administrativos debido a la menor cantidad de papeleo, menos verificaciones de inventario en proceso y menos inspección en proceso.

En general, los planes individuales permiten lograr tasas de producción más altas y costos unitarios menores. Si resulta práctico instalarlo, el plan individual debe tener preferencia sobre los de grupo. Por otro lado, el enfoque de grupo funciona bien cuando es difícil medir la producción individual y donde el trabajo individual es variable y se realiza frecuentemente en cooperación con otros empleados. Por ejemplo, si cuatro operarios trabajan juntos en la operación de una prensa de extrusión, sería casi imposible instalar un sistema de incentivos individuales; en su lugar se debería aplicar un plan de grupo. De manera similar, cualquier esquema de rotación del trabajo, para minimizar las lesiones por movimiento repetitivo, tendría necesariamente que basarse en un plan de incentivos de grupo.

PLAN POR PIEZA TRABAJADA

De acuerdo con el plan *por pieza trabajada*, todos los estándares se expresan en dinero y se recompensa a los operarios en proporción directa a la producción. Con este plan no se garantiza una tasa diaria. Debido a que las leyes federales de Estados Unidos requieren la garantía de una tasa horaria mínima, este tipo de plan ya no se usa. Antes de la Segunda Guerra Mundial se usó en forma más extensa que cualquier otro plan de incentivos. Las razones de su popularidad fueron que el plan era fácilmente entendido por el trabajador, su aplicación es sencilla y es uno de los planes de incentivos salariales más antiguos. En la figura 17.2 se ilustra gráficamente la relación entre los salarios de los operarios y los costos directos de mano de obra bajo un plan por pieza trabajada.

Debido a que los costos unitarios de mano de obra permanecen constantes sin que importe la productividad del trabajador, parece que la compañía no se beneficia con el plan por pieza trabajada. Sin embargo, esta apreciación no es correcta si se recuerdan todos los costos que se incluyen en los gastos de fabricación (vea el capítulo 16). Los costos generales relativamente constantes decrecen si se consideran con base en el costo unitario.

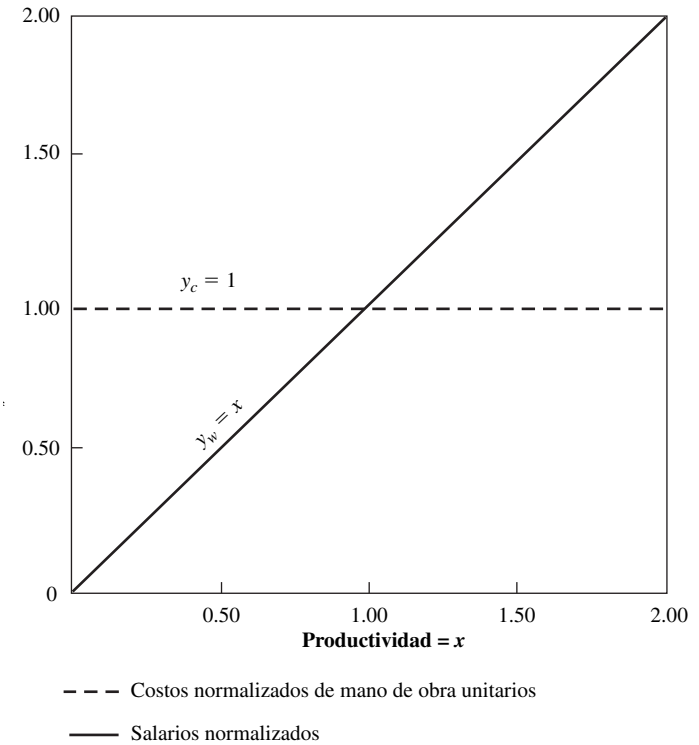


Figura 17.2 Relación entre costos, salarios y productividad en el plan por pieza trabajada.

PLAN DE HORAS ESTÁNDAR

El *plan de horas estándar* con una tasa base garantizada, establecida mediante la evaluación del trabajo, es por mucho el plan de incentivos más popular en la actualidad. Ofrece todas las ventajas del plan de piezas trabajadas y elimina el importante problema legal que afecta a este último. De manera gráfica, la relación entre los salarios de los operarios y el costo unitario de mano de obra directa, en función de la productividad, es una combinación de las figuras 17.1 y 17.2 (vea la figura 17.3). El trabajador que opera bajo un plan de jornada de trabajo alcanza hasta 100% de productividad, mientras que con un plan por pieza trabajada supera dicho porcentaje. Por ejemplo, un estándar puede expresarse como 0.02142 horas por pieza o 373 piezas por turno de ocho horas. Cuando se conoce la tasa base, es sencillo calcular ya sea la tasa de dinero o el salario del operario. Si el operario tiene una tasa base de 12 dólares, entonces la tasa de dinero por el trabajo es: $12.00 \times 0.02142 = 0.257$ dólares por pieza. Si el operario produce 412 partes en una jornada de ocho horas, el salario diario sería $412 \times 0.257 = 105.88$ dólares, mientras que el salario por hora sería 105.88/8 = 13.24 dólares. Entonces, en este caso la eficiencia del operario durante el día es 412/373, o bien 110%.

Una variación del plan de hora estándar es un esquema en el que los incentivos se aplican a cada trabajador con base en la producción del grupo, lo que crea un esquema de incentivos de grupo. Este enfoque es especialmente útil en el caso de las células de trabajo, como parte de la ampliación o la rotación laboral, o en situaciones donde el desempeño individual no se puede medir con facilidad (por ejemplo, en la construcción de barcos o aviones). Estos esquemas tienen algunas ventajas pues permiten mayor flexibilidad para los trabajadores, reducen la competencia y estimulan la moral y el trabajo en equipo. Por otro lado, el incentivo individual se reduce y los mejores trabajadores pueden llegar a desalentarse.

JORNADA DE TRABAJO MEDIDA

A principios de la década de 1930, poco después de la era de los expertos en eficiencia, los trabajadores organizados intentaron evitar la práctica de estudios de tiempos y, en particular, eliminar el plan de trabajo por pieza. En ese tiempo, la *jornada de trabajo medida* se popularizó como un sistema de incentivos que ampliaba la distancia entre los estándares establecidos y los ingresos del trabajador.

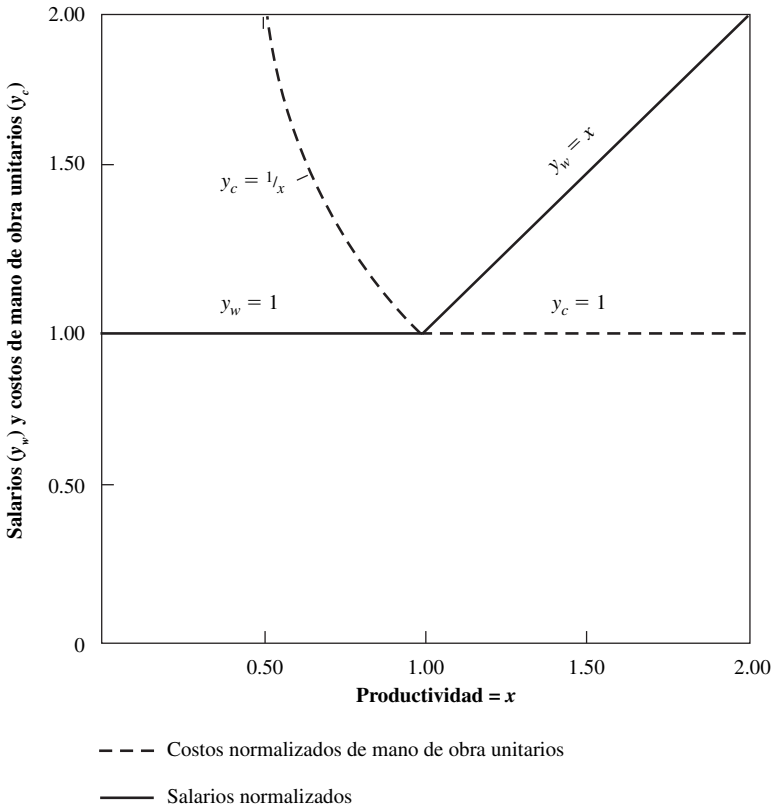


Figura 17.3 Relación entre costos, salarios y productividad en el plan de hora estándar.
(Adaptado de: Fein, 1982) (Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

En la actualidad, operan muchas modificaciones a la jornada de trabajo medida, pero la mayoría sigue un patrón específico. Primero, las evaluaciones del trabajo establecen tasas base para todas las tareas que se incluyen en el plan. Segundo, alguna forma de medición del trabajo determina los estándares de todas las operaciones. Tercero, los analistas mantienen un registro continuo de la eficiencia de cada empleado desde uno hasta tres meses. Esta eficiencia, multiplicada por la tasa base, establece una tasa base garantizada para el siguiente periodo. Por ejemplo, la tasa base de cierto operario puede ser 12.00 dólares por hora. Suponga que el periodo de control del desempeño es un mes, o 173 horas de trabajo. Si durante el mes el operario devenga 190 horas estándar, su eficiencia en el periodo sería 190/173, o 110%. Entonces, en vista del desempeño, el operario recibiría una tasa base de $1.10 \times 12.00 = 13.20$ dólares por cada hora trabajada durante el siguiente periodo, sin que importase su desempeño. Sin embargo, sus logros durante este periodo regirían la tasa base del periodo subsecuente.

En todos los planes de jornada de trabajo medida se garantiza la tasa base; así, una operación que no alcanza el estándar (100%) en cualquier periodo recibiría la tasa base en el siguiente periodo. Por lo general, el tiempo que se utiliza para determinar el desempeño es de tres meses, para disminuir el trabajo repetitivo de cálculos e instalación de nuevas tasas base garantizadas. Por supuesto, entre más largo sea el periodo, menor será el esfuerzo esperado por incentivos. Cuando la diferencia entre desempeño y recompensa es demasiado grande, el efecto de desempeño por incentivos desaparece.

La ventaja principal de la jornada de trabajo medida es que elimina la presión directa sobre los trabajadores. Ellos saben cuál es su tasa base y se dan cuenta que, independientemente del desempeño, recibirán esa cantidad durante el periodo.

Las limitaciones de la jornada de trabajo medida son evidentes. Primero, debido a la longitud del periodo de desempeño, el incentivo no es particularmente fuerte. Segundo, para ser eficaz, el plan debe asignar una gran responsabilidad en los supervisores para mantener la producción arriba del estándar. De otra manera, el desempeño del empleado disminuye y la tasa base del siguiente periodo se reduce, lo cual le causa insatisfacción. Tercero, es costoso mantener los registros detallados y hacer los ajustes periódicos en todas las tasas base. De hecho, se requiere tanto trabajo de oficina como en el plan de incentivos directos en el que se compensa al empleado según su producción.

PLANES DE GANANCIAS COMPARTIDAS

Los planes de *ganancias compartidas*, conocidos también como planes de *productividad compartida*, se caracterizan por compartir los beneficios de los aumentos de la productividad, la reducción de costos o la mejora de la calidad. Hoy, en Estados Unidos, muchas compañías cuentan con alguna forma del plan de ganancias compartidas como un suplemento en lugar de sustituir los sistemas de compensación existentes. El principio es recompensar a los empleados por los aumentos de la productividad o la reducción de costos, ya sea que las mejoras se deban o no a un desempeño más eficiente que el normal o a mejoras en los métodos de trabajo.

Bajo planes de este tipo, la administración calcula los incentivos mensualmente. Se acostumbra que sólo se distribuyan dos tercios de los incentivos ganados en un periodo de pago dado. El tercio restante se coloca en un fondo de reserva que se usa en meses en que el desempeño cae por debajo del estándar. Los tres planes de productividad compartida que se presentan son: Scanlon, Rucker e IMPROSHARE. Difieren en la fórmula en que se basan para calcular los ahorros en productividad y en el método de implementación. Los planes Scanlon y Rucker miden la nómina de una compañía contra las ventas totales en dólares y comparan el resultado con el promedio de los años recientes. El plan IMPROSHARE mide la producción con el total de horas trabajadas, lo que significa que los planes Scanlon y Rucker usan el dinero como unidad de medida mientras que IMPROSHARE usa horas. Estos tres planes de productividad son flexibles en lo referente al personal incluido en ellos. Se puede involucrar a trabajadores directos e indirectos o de cualquier nivel administrativo.

Plan Scanlon Durante la Gran Depresión, Joseph Scanlon desarrolló el plan que lleva su nombre para salvar a una compañía de la quiebra. Tres principios fundamentales forman la base de este plan: pago de bonos, identidad con la compañía o empresa y participación de los empleados. Los planes Scanlon reconocen el valor y contribución de cada miembro de la empresa, estimulan la toma de decisiones descentralizada y buscan que cada empleado se identifique con los objetivos de la organización a través de la participación financiera.

Antes de calcular el bono debe calcularse la razón base. Tradicionalmente, ésta es:

$$\text{Razón base} = \frac{\text{costos de nómina que deben incluirse}}{\text{valor de la producción}}$$

Los analistas realizan un estudio histórico durante cerca de un año para reunir datos antes de calcular la razón base apropiada. Por ejemplo, si la razón base es de 15% y si durante el mes pasado el valor de la producción (ventas más o menos inventario) es igual a 2 millones de dólares, la mano de obra asignada es igual a 300 000 dólares ($0.15 \times 2\,000\,000$). Un costo real de mano de obra de 270 000 dólares genera un bono de grupo de 30 000 dólares. Por lo general, la compañía conserva una parte de este bono para cubrir los gastos de capital. El resto se distribuye entre los empleados en forma de bono mensual, con base en un porcentaje de sus salarios.

Para estimular la identificación con la compañía, el plan Scanlon recomienda aplicar un programa continuo de desarrollo administrativo en el que todos los empleados, mediante una comunicación eficaz, aprenden las metas, objetivos, oportunidades y áreas de problemas característicos del plan. El plan Scanlon incorpora la mayor parte de las variables de "calidad de vida en el trabajo", como la ampliación del trabajo, el enriquecimiento laboral, el sentimiento de logro y el reconocimiento.

La inclusión de los empleados casi siempre se logra mediante sistemas de sugerencias formales y dos sistemas de comités que se superponen. Los representantes elegidos por los empleados se reúnen al menos una vez al mes con sus supervisores de departamento para revisar las sugerencias sobre productividad, reducción de costos y mejoras de la calidad. Con frecuencia, estos comités tienen autoridad para tomar decisiones sobre las sugerencias de menor costo. Las sugerencias más costosas o las que afectan a otros departamentos se transfieren a un comité de más elevado nivel.

Plan Rucker Este plan surgió a principios de la década de 1940. Fue concebido por Allen W. Rucker, que se dedicó a observar la relación entre los costos de nómina y las ventas netas reales, más o menos los cambios en inventario, menos los materiales y servicios comprados.

Al igual que el plan Scanlon, el *plan Rucker* hace hincapié en la identificación con la compañía y la participación de los empleados, a través del establecimiento de un sistema de sugerencias, los

comités Rucker y la buena comunicación trabajadores-Administración. Este plan proporciona un bono en el que todos, excepto la alta administración, comparten un porcentaje de las ganancias. En la evaluación del bono se debe establecer una relación histórica entre la mano de obra y el valor agregado. Por ejemplo:

Ventas netas (por un periodo de un año)	$1 500 000
Cambio de inventario (decremento)	200 000
	$1 300 000
Menos materiales y suministros utilizados	700 000
Valor agregado en la producción	$600 000

$$\text{Estándar Rucker} = \frac{\text{costos de nómina incluidos en el grupo}}{\text{valor de la producción}}$$

Suponiendo que los costos de mano de obra con base en un periodo de un año son 350 000 dólares, el estándar Rucker se convierte en:

$$\frac{\$350\,000}{\$600\,000} = 0.583$$

Así, en cualquier periodo futuro (por lo general un mes) en que los costos reales de mano de obra sean menores que 0.583 del valor de producción, los empleados reciben bonos. Con frecuencia, 30% de este bono se reserva para meses de déficit, la compañía conserva una parte para mejoras futuras y el resto (a menudo 50%) se distribuye entre los empleados. Con 50% del bono distribuido entre los empleados y 30% retenido para meses de déficit, el resto se puede usar para retrabajo de producción y transporte de entregas en lugar de que esa cantidad se quede en la empresa para realizar mejoras.

Debido a que los materiales y suministros usados se deducen de las ventas netas, el cálculo del plan Rucker toma en cuenta, sólo de manera parcial, variables como la mezcla de productos. Este plan también exhorta a los empleados a ahorrar en materiales y suministros, puesto que ellos son los beneficiarios de estos ahorros.

IMPROSHARE El plan de mejora de la productividad por medio de compartir (*IMproved PRODuctivity through SHARing*) fue desarrollado por Mitchell Fein en 1974. Su meta es producir más unidades con menos horas de mano de obra directa e indirecta. A diferencia de los planes Scanlon y Rucker, IMPROSHARE no hace hincapié en la participación de los empleados, sino que mide el desempeño y estimula a los trabajadores para mejorar la productividad.

IMPROSHARE compara las horas-trabajo que se ahorran en un número dado de unidades producidas con las horas que se requieren para fabricar el mismo número de unidades durante un periodo base. Los ahorros se comparten entre la compañía y los empleados directos e indirectos involucrados en la fabricación del producto. La productividad base se mide mediante la comparación entre el valor de la hora de mano de obra de la producción terminada con el total de mano de obra contratada para esta producción. Sólo se cuentan los productos aceptables. Así,

$$\text{Estándar de horas-trabajo} = \frac{\text{horas-trabajo de producción total}}{\text{unidades producidas}}$$

Plan de incentivos IMPROSHARE

EJEMPLO 17.1

Suponga que en una planta que fabrica un solo producto, 122 empleados producen 65 500 unidades en un periodo de 50 semanas. Si las horas-trabajo totales fueron 244 000, la hora-trabajo estándar sería

$$\frac{244\,000}{65\,500} = 3.725 \text{ h/unidad}$$

Si, en una semana, 125 empleados trabajaron un total de 4 908 horas y produjeron 1 650 unidades, el valor de la producción sería 1 650 × 3.725 = 6 146.25 horas. La ganancia ascendería a 6 146.25 – 4 908 = 1 238.25 horas. Por lo general, la mitad de esta cantidad, esto es, 619.125 horas, se reparte entre los empleados. Esto significaría un bono o pago adicional de 12.6% (619.125/4 908) para cada uno de ellos.

La compañía también se beneficia ya que los costos de mano de obra se reducen. El costo unitario de mano de obra de 3.725 horas establecidas para el periodo base se reduce a (4 908 + 619.25)/1 650 = 3.350 horas por unidad.

De manera gráfica, el plan IMPROSHARE se puede considerar una variación del plan de horas estándar de la figura 17.3, excepto que la pendiente del segmento de piezas trabajadas no es 1 sino una fracción menor que 1 (vea la figura 17.4). Esta fracción, o pendiente p, es la fracción de participación y puede variar de una compañía a otra. Si la división entre la organización y los empleados es del tipo 50/50 (como se vio anteriormente), entonces p es igual a 0.5. En el plan de horas estándar, la participación es 100% y $p = 1$.

Planes de posesión de acciones (ESOP) Los planes de posesión de acciones (Employee Stock-Ownership Plans) por parte de los empleados han ganado popularidad en la última década. En Estados Unidos, el Bureau of National Affairs hizo una investigación en 1984 entre 195 empleados para determinar el tipo de programas de aumento de la productividad instalados e indicó que 37, esto es, 19%, contaban con planes de posesión de acciones. Éstos incluían la creación de un fondo con acciones de la compañía para sus empleados. Aunque las plantas que pertenecen totalmente a los empleados son raras es posible usar los ESOP para desarrollar una organización de ese tipo.

Reparto de utilidades El plan de *reparto de utilidades* se puede definir como un procedimiento en el cual, además del pago normal, el empleador paga a todos los empleados sumas actuales o diferidas basadas en la prosperidad de la compañía. No hay un tipo específico de plan que haya tenido la

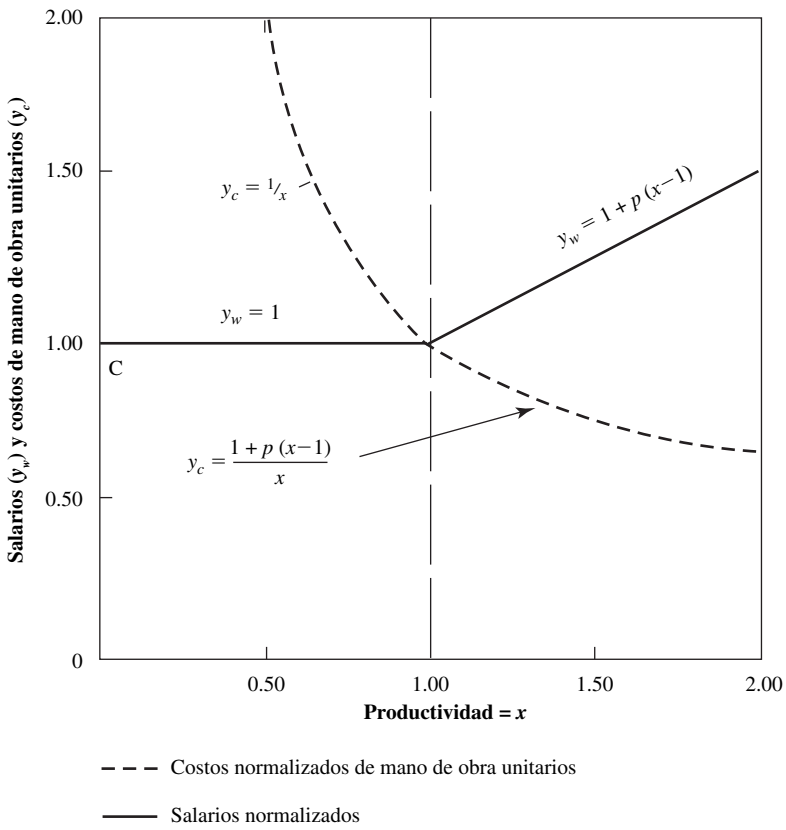


Figura 17.4 Relación entre costos, salarios y productividad en los planes de incentivos con participación variable (p = fracción de participación). (Adaptado de: Fein, 1982) (Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

aceptación general de la industria. De hecho, casi todos los sistemas tienen ciertas características de "hecho a la medida" que los distingue entre sí. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de reparto de utilidades se pueden clasificar en cualquiera de las siguientes categorías: 1) planes de efectivo directo, 2) los planes diferidos o 3) los planes combinados.

Como su nombre lo indica, el plan de efectivo directo implica la distribución periódica de dinero proveniente de las utilidades a los empleados. El pago no se incluye en el sobre normal del sueldo, sino que se hace por separado para identificarlo como una recompensa adicional obtenida por el esfuerzo individual y combinado de toda la fuerza de trabajo. La cantidad de efectivo que se distribuye se basa en el grado de éxito financiero de la empresa en el periodo. Entre más corto sea el periodo, mayor será la relación entre el esfuerzo y la remuneración a los empleados. Se seleccionan periodos más largos porque éstos promedian las variaciones de los ciclos de negocios.

Los planes de reparto de utilidades diferidos comprenden la inversión periódica de parte de las utilidades para los empleados. Al jubilarse o separarse de la empresa, cuentan con una fuente de ingresos distinta al salario. Resulta obvio que los planes de reparto de utilidades diferidos no proporcionan el mismo estímulo o incentivo que los planes de efectivo. Sin embargo, presentan la ventaja de que son más fáciles de implantar y administrar. Además, ofrecen mayor seguridad que las remuneraciones en efectivo. Esto los hace especialmente atractivos a los ojos de los empleados estables.

Los planes combinados implican un arreglo para invertir parte de las ganancias en la jubilación y prestaciones similares y otra parte se distribuye como remuneración en efectivo. Esta clase de planes puede lograr las ventajas de los planes diferidos y de las recompensas directas en efectivo. Una implantación representativa podría permitir compartir con los empleados la mitad de las ganancias. De esta cantidad, un tercio se puede distribuir en cheques adicionales, un tercio se mantiene en reserva para periodos de menos éxito financiero y el resto se puede colocar en un fondo para su distribución diferida.

Existen tres métodos para determinar la cantidad de dinero de las utilidades de la compañía que se reparte a cada uno de los empleados. El primero y menos usado es el plan de "partes iguales". Aquí, cada empleado, sin que importe el tipo de trabajo, recibe una cantidad igual de las utilidades, después de cumplir con cierto periodo de antigüedad en la compañía. Quienes proponen este método piensan que las tasas base individuales ya toman en cuenta la importancia relativa de cada trabajador. El plan de "partes iguales" proporciona el sentimiento de trabajo en equipo y da importancia a cada empleado sin considerar cuál sea su posición en la planta.

El método de distribución que más se utiliza bajo el reparto de utilidades se basa en la compensación regular que se paga a los trabajadores. La teoría es que el empleado cuyos ingresos son mayores durante el periodo, contribuyó más a las ganancias de la empresa y debe obtener una porción más grande. Por ejemplo, un trabajador que fabrica herramientas con sueldo de 15 000 dólares durante un periodo de seis meses debe recibir una porción mayor de las ganancias que un empleado que gana 7 000 durante el mismo periodo.

Otro medio popular para distribuir las utilidades implica la asignación de puntos. Los puntos, que se otorgan por cada año de antigüedad, significan un pago de 100 dólares, pero también se consideran otros factores como la asistencia y la cooperación. El número de puntos acumulados en el periodo determina la parte de las utilidades que recibe cada empleado. Quizá la desventaja más importante del método de puntos es la dificultad de mantener y administrar los complejos y detallados registros.

Para que un plan de reparto de utilidades tenga éxito son esenciales la representación del trabajador y la cooperación del sindicato. Debe hacerse hincapié en la participación y no en la benevolencia de la Administración. Ésta debe reconocer que el plan debe ser dinámico y que no es una panacea para todos los problemas. El reparto de utilidades no debe usarse como una excusa para pagar menos que los salarios prevalecientes.

Quizá la preocupación más grande que implican los planes de reparto de utilidades es que los empleados cuentan con recibir un cheque adicional al final del año. Por lo tanto, comenzarán a esperar los cheques y quizá sientan que se comete una injusticia si la compañía tiene un mal año y no puede pagarlos. Por estas razones, cualquier empleador debe ser muy cuidadoso antes de emprender un programa de reparto de utilidades. Por otro lado, muchas compañías experimentan una mayor eficiencia laboral, menores costos, reducción de desperdicio y mejor ánimo en los trabajadores como resultado de este tipo de plan.

EJEMPLO 17.2 Comparación de dos esquemas de incentivos

Una compañía desea evaluar dos esquemas de incentivos. El primero es similar al plan de ganancias compartidas IMPROSHARE, con una partición 50/50 sobre el excedente de 100% de productividad. El segundo es una jornada de trabajo constante hasta 100% de productividad, un *impulso* hasta de 120% (un incremento escalonado en salarios para inducir a los trabajadores a alcanzar cierto nivel de productividad) y después un plan de reparto de utilidades donde los trabajadores sólo reciben 20% y la compañía 80%. Los planes y los costos unitarios de mano de obra se muestran en la figura 17.5. La compañía desea conocer el punto de equilibrio entre los dos planes para premiar una productividad mayor a 100%.

Los costos normalizados de mano de obra del primer plan se pueden expresar como

$$y_{c_1} = 0.5 + 0.5/x$$

mientras que el segundo plan es

$$y_{c_2} = 0.2 + 1/x$$

Al igualar las dos ecuaciones y despejar x se obtiene $x = 1.67$. Por lo tanto, con el plan 1, la compañía se beneficia hasta alcanzar 167% de productividad y con el plan 2, incluso a niveles más altos. La compañía debe decidir si es razonable esperar que los trabajadores alcancen tales niveles de productividad.

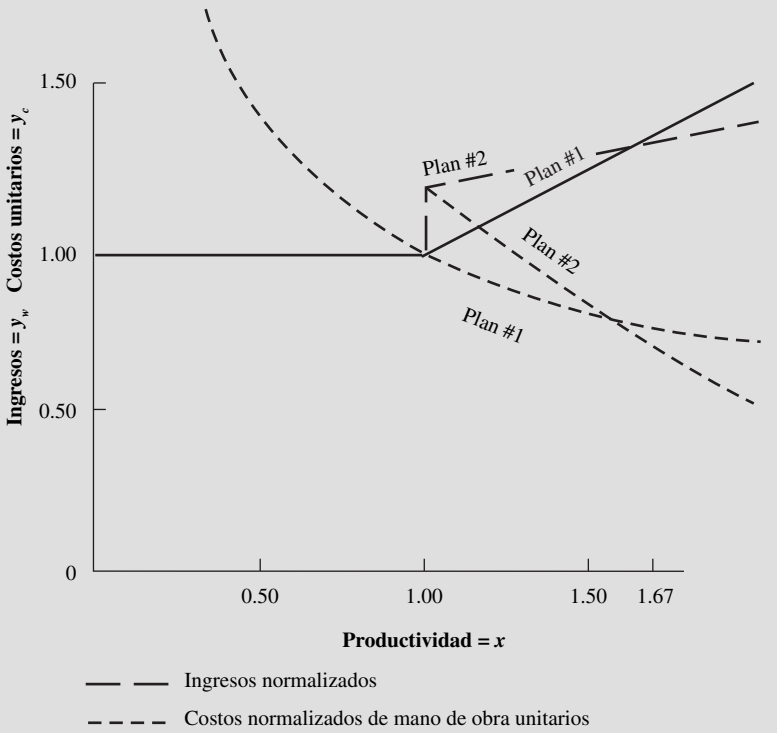


Figura 17.5 Comparación de dos esquemas de incentivos.

PLANES FINANCIEROS INDIRECTOS

Las políticas empresariales que estimulan la moral de los empleados y aumentan la productividad, sin relacionar directamente la compensación con la producción, se clasifican como planes financieros indirectos. Las políticas globales como tasas base justas y relativamente altas, prácticas equitativas de promoción, buenos sistemas de sugerencias, salario anual garantizado y elevadas prestaciones

ayudan a la manifestación de actitudes sanas por parte de los empleados, lo que a su vez estimula e incrementa la productividad. Entonces, se clasifican como planes financieros indirectos.

La debilidad de todos los métodos indirectos de incentivos es la brecha tan amplia que se permite entre el beneficio que obtiene el empleado y la productividad. Después de un cierto periodo, los empleados toman los beneficios como algo seguro y no se dan cuenta de que su continuidad debe ser enteramente resultado de su productividad. Las teorías, filosofías y técnicas de los incentivos indirectos están fuera del alcance de este libro; para más información sobre esta área consulte libros sobre administración de personal.

17.3 IMPLEMENTACIÓN DE INCENTIVOS SALARIALES

PRERREQUISITOS

La mayoría de las compañías que aplican planes de incentivos favorecen su continuación y creen que sus planes: 1) incrementan la tasa de producción, 2) disminuyen sus costos unitarios globales, 3) reducen los costos de supervisión y 4) suscitan mayores ingresos para los empleados. Antes de implementar un programa de incentivos salariales, la administración debe estudiar su planta para estar segura de que está lista para aplicar el plan de incentivos. Al inicio, debe introducirse una política de estandarización de métodos para lograr una medición del trabajo válida. Si diferentes operarios siguen patrones distintos cuando realizan su trabajo, y si la secuencia de elementos no está estandarizada, la organización no está lista para instalar incentivos salariales.

Los programas de trabajo deben crear un conjunto de órdenes pendientes para cada operario a fin de minimizar las posibilidades de que se queden sin trabajo. Esto implica que se dispone de inventarios de materiales adecuados y que las máquinas y herramientas tienen el mantenimiento apropiado. Además, las tasas base establecidas deben ser justas y proporcionar suficiente tolerancia entre los tipos de trabajo, para reconocer los puestos que demandan mayores aptitudes, esfuerzo y responsabilidad. De preferencia, la administración debe establecer las tasas base mediante un programa razonable de evaluación del trabajo.

Por último, es imprescindible que se desarrollen estándares de desempeño justos antes de implantar el plan de incentivos. Las tasas nunca deben establecerse sólo con base en juicios subjetivos o los registros históricos de desempeño. Para asegurarse de que las tasas sean las correctas, debe usarse alguna forma de medición del trabajo como estudio de tiempos, sistemas de tiempos predeterminados, datos de estándares, fórmulas o muestreo del trabajo.

Una vez cumplidos estos prerrequisitos y cuando la administración esté convencida por completo del pago de incentivos, la compañía está en posición de diseñar el sistema.

DISEÑO

Para tener éxito, un plan de incentivos debe ser justo para la compañía y para sus operarios. El plan debe dar a éstos la oportunidad de ganar entre 20 y 35% más que la tasa base. Después, debe ser sencillo. Entre más sencillo sea, más fácil será que todas las partes lo entiendan, y su comprensión mejora la oportunidad de aprobación. Es más fácil entender los planes de incentivos individuales, y éstos funcionan mejor si se puede medir la producción de cada empleado.

El plan debe garantizar la tasa horaria básica establecida por la evaluación del trabajo, la cual debe significar un buen nivel de vida comparable al de los salarios que prevalecen en el área para cada trabajo en cuestión. Debe existir un rango de tasas para cada trabajo relacionado con el desempeño global, el cual comprende la calidad, la confiabilidad, la seguridad y la puntualidad así como la producción. Para desempeños mayores que el estándar, la compensación de los operarios debe estar en proporción directa con la producción, con lo que se descarta cualquier restricción sobre ésta.

Para ayudar a los empleados a asociar el esfuerzo con compensación, los recibos de pago deben mostrar con claridad los ingresos normales y los ingresos logrados por incentivos. También es recomendable indicar, en forma separada, la eficiencia del operario en el periodo de pago anterior. Estas cantidades se calculan como la razón de las horas estándar producidas durante el periodo entre las horas trabajadas en ese periodo.

ADMINISTRACIÓN

Una vez que el plan ha sido instalado, la administración debe aceptar la responsabilidad de mantenerlo. Además, tiene que ejercer su derecho a cambiar los estándares cuando cambian los métodos o los equipos. Los empleados deben tener la garantía de que podrán presentar sus sugerencias y, antes de hacer cambios, deben probarse las modificaciones incluidas en sus peticiones. Se debe evitar hacer concesiones respecto a los estándares o el resultado será el fracaso del plan.

La administración debe hacer que todos los empleados estén conscientes de cómo funciona el plan y de cualquier cambio que se le introduzca. Una técnica que se usa con frecuencia es distribuir a todos los empleados un manual de "instrucciones de operación" en el cual se especifican tanto las políticas de la compañía relativas al plan como los detalles del trabajo, con ejemplos. El manual debe explicar ampliamente la base de la clasificación de tareas, los estándares de tiempo, el procedimiento de calificación del desempeño, las holguras y el procedimiento de quejas. También tiene que describir la técnica de manejo de situaciones no usuales. Por último, debe presentar los objetivos de la organización y el papel de cada empleado para el logro de esos objetivos.

A continuación debe establecerse un clima motivacional adecuado para acompañar el plan formal de incentivos. Primero, el estilo administrativo debe hacer hincapié en el papel de apoyo en vez del papel directivo, donde el supervisor debe ayudar a los trabajadores de la mejor manera posible.

Segundo, las metas realistas de la compañía deben establecerse con claridad y separarse en metas de divisiones, departamentos, centros de trabajo y metas individuales. Deben otorgar importancia tanto a la calidad como a la cantidad, así como a la confiabilidad y a cualquier otra característica esencial para el éxito del negocio.

Tercero, debe haber retroalimentación regular para todos los empleados acerca de los resultados de sus esfuerzos y el efecto de éstos sobre las metas establecidas. Cuarto, cada situación de trabajo debe diseñarse de manera que los operarios estén en posición de controlar en un alto grado las asignaciones que reciben. El sentido de responsabilidad es una fuente importante de motivación, como lo es el reconocimiento de los logros. En el capítulo 18 se presentan más detalles sobre las teorías y enfoques de la motivación.

Los administradores del plan deben verificar diariamente el desempeño bajo o excesivamente alto, y hacer un esfuerzo para determinar sus causas. El desempeño deficiente no sólo es costoso para la administración en vista de los salarios por hora garantizados, sino que hace que los empleados sientan inquietud e insatisfacción. Un desempeño excesivamente alto es un síntoma de estándares holgados, o de la introducción de un cambio en el método sin que se revisaran los estándares. Además, una tasa holgada genera insatisfacción entre los trabajadores vecinos, quienes ven al operario con el estándar bajo como si tuviera un "trabajo fácil". Un número suficiente de estándares inadecuados puede causar que todo el plan de incentivos fracase. Asimismo, los operarios que tienen tasas holgadas pueden restringir su producción diaria por temor a que la administración ajuste su estándar. Esta restricción productiva es costosa para los operarios y para la compañía.

La administración debe realizar un esfuerzo continuo para lograr una mayor participación de los empleados en el plan de incentivos. Cuando sólo una parte de la planta tiene estándares, no habrá armonía entre el personal de operación debido a las diferencias significativas entre los ingresos que cada uno lleva a su casa. Sin embargo, generalmente el trabajo no debe estar en el plan de incentivos a menos que

1. Se pueda medir con facilidad.
2. El volumen de trabajo disponible sea suficiente para justificar la implantación de los incentivos.
3. El costo de medir la producción no sea excesivo.

Para la administración de un plan de incentivos ligado a la producción es fundamental hacer un ajuste constante de los estándares en respuesta a los cambios en las tareas. Sin importar qué tan significativo sea el cambio que se introduzca al método, el estándar debe revisarse para su posible ajuste. El conjunto de varias mejoras aunque menores en los métodos, pueden constituir una cantidad diferencial de tiempo considerable y causar una tasa estándar holgada si no se cambia el estándar. Al revisar los estándares de tiempo debido a cambios en los métodos, sólo es necesario estudiar los elementos afectados por los cambios.

La administración eficaz del plan requiere un esfuerzo continuo para minimizar las horas no productivas de la mano de obra directa. Este tiempo improductivo, para el que se asignan holguras, representa el tiempo perdido por descomposturas de máquinas, faltantes de material, dificultades con las herramientas y largas interrupciones de cualquier tipo no cubiertas por las holguras aplicadas a los tiempos estándar individuales. Los administradores deben observar estos tiempos —conocidos frecuentemente como "tiempo de boleto azul" o "tiempo de holgura adicional"— con cuidado o destruirán el propósito de todo el plan.

Bajo el plan por incentivos, el desempeño productivo es considerablemente más alto que cuando se aplica la operación de la jornada de trabajo. Debido a que el tiempo de los materiales en proceso es más corto, se necesita un control de inventario más estricto para prevenir faltantes. De la misma manera, la administración debe introducir un programa de mantenimiento preventivo para asegurar la operación continua de todas las máquinas herramienta. Igualmente importante que el control de materiales es el control de todas las herramientas desechables, de manera que no se desarrollen faltantes, lo cual genera demoras del operario.

Es esencial que se registre el número exacto de piezas en cada estación de trabajo para determinar los ingresos del operario. Por lo general, esta tarea la realiza el operario; sin embargo, deben establecerse controles para evitar que los trabajadores falsifiquen el reporte de producción. Cuando el número de piezas es pequeño, la cuenta de los operarios al final del turno debe ser verificada por el supervisor inmediato, quien pone sus iniciales en el informe de producción. Cuando el número de piezas es elevado, se usa una caja grande en la que caben números fijos del trabajo, como 10, 20 o 50 piezas. Así, al final del turno, es sencillo para los supervisores autentificar los informes de producción con sólo contar las cajas y multiplicarlas por el número de piezas que cabe en cada caja.

Básicamente, la administración establece los planes de incentivos salariales para aumentar la productividad. En una planta adecuada y bien mantenida, el porcentaje de ingresos por incentivos de los trabajadores permanecerá relativamente constante. Si un análisis muestra que los ingresos por incentivos siguen elevándose en un periodo de años, la planta puede tener problemas que al final

Administración de un plan de incentivos salariales — EJEMPLO 17.3

Suponga que, en cierto trabajo, la tasa de producción es de 10 piezas por hora, y que está vigente una tasa por hora de 12 dólares para la jornada de trabajo directa. De esta forma, el costo unitario de mano de obra directa es de 1.20 dólares. A continuación, esta planta cambia a un programa de incentivos para el que se garantiza la tasa diaria de 12 dólares por hora y la tarea adicional se compensa en proporción directa a la producción del operario. Suponga que el estándar desarrollado con el estudio de tiempos es de 12 piezas por hora, y que durante las primeras cinco horas del día cierto operario tiene un promedio de 14 piezas por hora de trabajo. En consecuencia, sus ingresos de este periodo serían:

$$(\$12.00)(5)\left(\frac{14}{12}\right) = \$70.00$$

Ahora suponga que en el resto de la jornada de trabajo, el operario no pudo realizar un trabajo productivo debido a que le faltó material. Entonces, el trabajador debería esperar, por lo menos, la tasa base, o bien

$$(3)(\$12.00) = 36.00 \text{ dólares}$$

que significarían un ingreso por día de trabajo de

$$\$70.00 + \$36.00 = 106.00 \text{ dólares}$$

Lo anterior resultaría en un costo unitario de mano de obra directa de

$$\frac{\$106.00}{70} = \$1.514$$

Bajo el plan de jornada de trabajo, aun con desempeño bajo, el operario habrá producido 70 piezas en menos de un día de trabajo. Aquí, sus ingresos serían de $8 \times \$12.00$, esto es, 96.00 dólares, y el costo unitario de trabajo directo sería de 96.00/70, o 1.371 dólares. Por lo tanto, cualquier tiempo no productivo debe controlarse con cuidado.

deterioren la eficacia del plan. Si, por ejemplo, el promedio de ingresos por incentivos se incrementa de 17 a 40% en un periodo de 10 años, un incremento de 23% quizá no se deba a un aumento proporcional de la productividad sino a la holgura de los estándares.

En la tabla 17.2 se presenta una lista de verificación de los principios fundamentales que deben aplicarse en un buen plan de incentivos salariales.

FRACASO DEL PLAN DE INCENTIVOS

Un plan de incentivos se puede clasificar como un fracaso cuando su mantenimiento cuesta más de lo que en realidad ahorra; en ese caso, el plan debe suspenderse. Por lo general, no es posible señalar la causa precisa del fracaso de un programa de incentivos dado; puede haber muchas razones para la falta de éxito del plan. Una investigación (Britton, 1953; vea la tabla 17.3) enlistó las causas principales del fracaso del plan como deficiencias en las bases, relaciones humanas inadecuadas y mala administración, que dan como resultado un programa demasiado costoso. En su mayor parte, estas razones se deben a una administración incompetente, que permite la instalación de un plan con mala programación, métodos no satisfactorios, falta de estandarización o estándares holgados y concesiones con los estándares.

Asimismo, sin la cooperación completa de los empleados, el sindicato y la administración para impulsar el espíritu de equipo, no podrá lograrse el éxito final de un plan de incentivos.

17.4 PLANES DE MOTIVACIÓN DEL DESEMPEÑO NO FINANCIEROS

Los incentivos no financieros incluyen cualquier recompensa que no tengan relación con el pago, pero que mejore la moral de los empleados a tal grado que el esfuerzo adicional sea evidente. Los elementos o políticas de la compañía dentro de esta categoría incluyen: conferencias periódicas de taller, círculos de control de calidad, pláticas frecuentes entre supervisores y empleados, colocación adecuada de los empleados, enriquecimiento del trabajo, ampliación del trabajo (vea el capítulo 18), planes de sugerencias no financieras, condiciones ideales de trabajo y publicación de los registros

Tabla 17.2 Lista de verificación para planes de incentivos salariales razonables

	Sí	No
1. ¿La administración y la mano de obra están de acuerdo en los principios generales?	❑	❑
2. ¿Existe un fundamento razonable de las evaluaciones del trabajo y las estructuras de tasas salariales?	❑	❑
3. ¿Existen incentivos individuales, grupales o para toda la planta?	❑	❑
a) ¿Se da una mayor ponderación a los incentivos individuales?	❑	❑
4. ¿Los incentivos están en proporción directa con el incremento de producción?	❑	❑
5. ¿El plan es lo más sencillo posible?	❑	❑
6. ¿La calidad está ligada a los incentivos?	❑	❑
7. ¿El establecimiento de incentivos está precedido por mejoras de los métodos?	❑	❑
8. ¿Los incentivos se basan en técnicas probadas?	❑	❑
a) A partir de estudios de tiempos detallados	❑	❑
b) A partir de datos de movimientos básicos o sistemas de tiempos predeterminados	❑	❑
c) A partir de datos estándar o fórmulas	❑	❑
9. ¿Los estándares se basan en estándares de desempeño en condiciones normales?	❑	❑
10. ¿Los estándares se modifican cuando cambian los métodos?	❑	❑
a) Por acuerdo mutuo entre la administración y representantes de los empleados	❑	❑
11. ¿Los estándares temporales se mantienen en un mínimo?	❑	❑
12. ¿Están garantizadas las tasas horarias básicas?	❑	❑
13. ¿Se han establecido incentivos para trabajadores indirectos?	❑	❑
14. ¿Se conservan registros precisos de piezas contadas, trabajo no medido, preparaciones y descomposturas?	❑	❑
15. ¿Se mantienen buenas relaciones humanas?	❑	❑

Tabla 17.3 Razones más comunes del fracaso de un plan de incentivos

	Porcentaje
Deficiencias fundamentales	**41.5**
Estándares deficientes	11.0
Baja cobertura de incentivos para el trabajo productivo directo	8.6
Límites en los ingresos	7.0
No hay incentivos indirectos	6.8
No existen incentivos de supervisión	6.1
Fórmula de pago complicada	2.0
Ineptitud en las relaciones humanas	**32.5**
Capacitación insuficiente de los supervisores	6.9
No hay garantía de los estándares	5.7
No se requiere un día justo de trabajo	5.0
Estándares negociados con el sindicato	4.8
Plan que no se comprende	4.1
Falta de apoyo de la alta administración	3.6
Operarios capacitados deficientemente	2.4
Administración técnica deficiente	**26.0**
Cambios de métodos no coordinados con los estándares	7.8
Tasas base defectuosas	5.1
Administración deficiente, es decir, procedimientos de quejas deficientes	4.9
Planeación deficiente de la producción	3.2
Grupo grande de empleados con incentivos	2.8
Control de calidad deficiente	2.2

de producción individuales. Los supervisores eficaces y los administradores capaces y conscientes usan muchas otras técnicas, como invitar al empleado y su esposa a cenar, proporcionar boletos para eventos deportivos o teatro, u organizar viajes especiales de intercambio con otras compañías sobre tecnologías de punta. Todos estos enfoques tratan de motivar mediante la mejora del entorno de trabajo. Con frecuencia se conocen como planes de "calidad de vida laboral".

El equipo administrativo también debe poner ejemplo de alto desempeño y búsqueda de la excelencia. Así, los empleados entenderán que la cultura de su compañía es el alto desempeño en la manufactura de productos de la mejor calidad. Los resultados de esta filosofía para todos los trabajadores serán un sentimiento de orgullo por su trabajo. Los programas individuales y de grupo deben concordar con esta filosofía, reconociendo el trabajo en equipo y sus resultados.

RESUMEN

Los principios de incentivos se han aplicado en talleres e instalaciones de producción, en la fabricación de bienes tanto duros como suaves, en la industria de la manufactura y de los servicios, y en operaciones de mano de obra directa e indirecta. Los incentivos se han usado para aumentar la productividad, mejorar la calidad y la confiabilidad del producto, reducir el desperdicio, mejorar la seguridad y estimular buenos hábitos de trabajo como la puntualidad y la asistencia regular.

Probablemente el mejor plan de incentivos aplicado a trabajadores individuales en la actualidad es el plan de hora estándar con una tasa diaria garantizada. Sin embargo, el reparto de utilidades, la posesión de acciones por los empleados y otros planes relacionados con el ahorro en costos también han tenido éxito en muchos casos. En general, tienden a ser más eficaces cuando se instalan junto con un plan de incentivos sencillo y no en lugar de éste. Los planes de grupo deben garantizar las tasas diarias respectivas a todos los miembros del grupo, los cuales deben ser recompensados en proporción directa a su productividad una vez que se logra el desempeño estándar.

En la tabla 17.4 se ilustra el pensamiento de 508 gerentes de personal y relaciones industriales respecto a los diferentes planes. La mayoría siente que los incentivos sencillos —pieza trabajada, horas estándar y jornada de trabajo medida— son los mejores desde el punto de vista de la elevación de la productividad y su fácil explicación.

Tabla 17.4 Caracterización de planes de compensación flexibles de acuerdo con los encuestados

	Reparto de utilidades	Planes de posesión de acciones por el empleado (%)	Ganancias compartidas, Scanlon, Rucker, IMPROSHARE (%)	Tasa de piezas por hora estándar sencilla (%)
Mejores para:				
Elevar la productividad	28	5	26	41
Incrementar la lealtad	48	17	19	14
Proporcionar el retiro	80	13	n.p.	n.p.
Vincular el costo de mano de obra con el desempeño	53	n.p.	28	19
Más fáciles de:				
Explicar a los empleados	32	9	4	49
Administrar	40	7	4	38

n.p. = no se preguntó.
Fuente: Adaptado de Broderick y Mitchell (1977).

Los sistemas de incentivos administrados razonablemente poseen ventajas importantes, tanto para los trabajadores como para la administración. El beneficio clave para los empleados es que hacen posible que los empleados incrementen sus ingresos totales, no en un tiempo futuro indefinido, sino de inmediato, esto es, en su próximo pago. La administración obtiene una mayor producción y, suponiendo que logra ganancias por cada unidad producida, obtendrá un mayor volumen de utilidades. Por lo general, las utilidades aumentan no en proporción a la producción, sino cuando se logra una tasa más alta de producción, de modo que los costos generales por unidad disminuyen. Además, los mejores salarios que surgen de los planes de incentivos mejoran la moral de los empleados y tienden a reducir la rotación de personal, el absentismo y los retardos.

En general, entre más difícil sea medir el trabajo, más difícil será instalar un plan de incentivos salariales exitoso. Normalmente, no resulta ventajoso aplicar incentivos a menos que el trabajo se pueda medir con una precisión razonable. Aún más, casi siempre resulta desventajoso introducir incentivos si la disponibilidad de trabajo está limitada a menos de 120% de lo normal. Además, los planes de incentivos salariales pueden aumentar los costos de producción y reducir los costos unitarios totales. Sin embargo, casi siempre compensan con creces el aumento de los costos de ingeniería industrial, control de calidad y mantenimiento del tiempo que puede resultar de su uso.

Una advertencia final es que existe una concesión definitiva entre aumentar el ritmo de trabajo con un plan de incentivos e incrementar el riesgo de lesiones por movimientos repetitivos, en especial si la tarea o el sitio de trabajo no tienen un diseño ergonómico. Los autores han sido testigos de muchos casos, especialmente en la industria del vestido, donde las tareas tienen tasas bajas pero incentivos altos (de forma que para lograr un salario decente las costureras deben producir a tasas muy altas, muy por arriba de 150%) tienen un alto índice de lesiones. Sin duda un trabajo mejor diseñado puede disminuir la tasa de lesiones. Sin embargo, aun con las mejores condiciones, las tasas altas (más de 20 000 movimientos manuales por turno de ocho horas) pueden ser causa de algunas lesiones. Por lo tanto, incluso descuidando la salud del trabajador y los aspectos de seguridad, el ingeniero que estudia y establece estándares debe decidir si los mayores costos médicos, en las condiciones de incremento actuales, compensan las ganancias que se obtienen mediante un plan de incentivos dado.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son las tres categorías generales bajo las que se pueden clasificar la mayor parte de los planes de incentivos salariales?
2. Diferencie entre planes de pago salarial individual y de grupo.
3. ¿Qué se entiende por prestaciones?
4. ¿Qué políticas de la compañía se incluyen bajo el rubro de incentivos no financieros?
5. ¿Cuáles son las características de la pieza trabajada? Grafique la curva de costo unitario y la de ingresos del operario durante una jornada de trabajo y la pieza trabajada en el mismo sistema coordenado.
6. ¿Por qué se popularizó la jornada de trabajo medida en la década de 1930?
7. ¿En qué difiere IMPROSHARE de los planes Rucker y Scanlon?

8. Defina reparto de utilidades.
9. ¿Cuáles son las tres grandes categorías que cubren la mayor parte de los planes de ganancias compartidas?
10. Bajo el plan de efectivo, ¿de qué depende la cantidad de dinero distribuida?
11. ¿Qué determina la longitud del periodo entre el pago de bonos bajo el plan de efectivo? ¿Por qué es una mala práctica tener periodos demasiado largos? ¿Qué desventajas presentan los periodos cortos?
12. ¿Cuáles son las características del plan de reparto de utilidades diferido?
13. ¿Cuál es la base del método de distribución de "compartir por igual"?
14. ¿Cuáles son los prerrequisitos fundamentales de un plan de incentivos salariales exitoso?
15. ¿Por qué es fundamental mantener actualizados los estándares de tiempo para que un plan de incentivos generales tenga éxito?
16. ¿Qué indica un desempeño inusualmente alto?
17. ¿Cómo abordaría la tarea de establecer un ambiente que incremente la motivación del trabajador?
18. ¿Cuáles son algunas de las razones para el fracaso de un esquema de incentivos salariales?

PROBLEMAS

1. En una planta que fabrica un solo producto donde se instaló IMPROSHARE, 411 empleados que producen 14 762 unidades en un periodo de un año registran 802 000 horas de reloj. En una semana dada, 425 empleados trabajaron un total de 16 150 horas y produjeron 348 unidades. ¿Cuál sería el valor por hora de esta producción? ¿Qué porcentaje de bono recibiría cada uno de los 425 trabajadores? ¿Cuál sería el costo unitario de mano de obra para la producción de esta semana?
2. Los analistas establecieron un tiempo estándar de 0.0125 horas por pieza para maquinar un pequeño componente. También se determinó un tiempo de preparación de 0.32 horas, puesto que el operario realiza el trabajo necesario de preparación con incentivos. Calcule lo siguiente:
   a) El tiempo total asignado para terminar una orden de 860 piezas.
   b) La eficiencia del operario si termina el trabajo en una jornada de ocho horas.
   c) La eficiencia del operario que requiere 12 horas para terminar el trabajo.
3. Se ha implantado un plan de participación total para el pago de incentivos. La tasa base del operario para esta clase de trabajo es de 10.40 dólares. La tasa base está garantizada. Calcule:
   a) Los ingresos totales por el trabajo con la eficiencia determinada en el problema 2b.
   b) Los ingresos por hora.
   c) Los ingresos totales por el trabajo con la eficiencia determinada en el problema 2c.
   d) El costo de mano de obra directa por pieza de a, excluyendo la preparación.
   e) El costo de mano de obra directa por pieza de c, excluyendo la preparación.
4. Se establece una tasa de 0.42 minutos por pieza para una operación de forjado. El operario trabaja en la tarea el día completo de ocho horas y produce 1 500 piezas. Use el plan de horas estándar.
   a) ¿Por cuántas horas estándar tiene ingresos el operario?
   b) ¿Cuál es la eficiencia diaria del operario?
   c) Si la tasa base es 9.80 dólares por hora, calcule las ganancias del día.
   d) ¿Cuál es el costo por pieza de la mano de obra directa con esta eficiencia?
   e) ¿Cuál sería la tasa por pieza adecuada (expresada en dólares) para este trabajo, suponiendo que el tiempo estándar es correcto?
5. En una planta se usa un plan de ganancias compartidas 60/40 (la tasa base está garantizada y el operario recibe 60% de las ganancias proporcionales que superen al 100%). El valor de tiempo establecido en cierto trabajo es de 0.75 minutos y la tasa base es de 8.80 dólares. ¿Cuál es el costo de mano de obra directa por pieza cuando la eficiencia del operario es la siguiente?
   a) 50% del estándar
   b) 80% del estándar
   c) 100% del estándar
   d) 120% del estándar
   e) 160% del estándar
6. En una planta donde todas las tasas se establecen con base en el dinero (tasas de piezas), un trabajador realiza regularmente una tarea para la que está garantizada una tasa base de 8.80 dólares. Los ingresos normales de este trabajador son mayores a 88 dólares por día. Debido a la presión del trabajo, se le pide que ayude con otra tarea, clasificada en 10 dólares por hora. El empleado trabaja tres días en esta tarea y gana 80 dólares diarios.

a) ¿Cuánto debe pagarse al operario por cada día de trabajo en esta nueva tarea? Explique su respuesta.
b) ¿Habría diferencia si el operario hubiese trabajado en una nueva tarea para la que la tasa base es de 8 dólares por hora y hubiese ganado 72 dólares? Explique su respuesta.

7. Una empresa aplica un plan de incentivos que emplea un impulsor. Debajo del desempeño estándar, el trabajador tiene la garantía de una tasa de 6 dólares por hora y arriba del desempeño estándar en trabajador recibe 9.20 dólares por hora. Se estudia una tarea y se establece una tasa de 0.036 horas por pieza. ¿Cuál es el costo de la mano de obra directa por pieza con las siguientes eficiencias?
a) 50%
b) 80%
c) 98%
d) 105%
e) 150%

8. A una compañía le gustaría evaluar dos esquemas de incentivos que tienen efecto una vez que el trabajador excede el desempeño estándar. En el primer caso, los beneficios se dividen 50/50 entre el trabajador y la compañía. En el segundo, el trabajador recibe un incremento de hasta 120% en sus ingresos y después mantiene el nivel de desempeño hasta 150%, a partir del cual le corresponden todas las ganancias.
a) Grafique los costos unitarios de mano de obra normalizados de cada esquema.
b) Obtenga las ecuaciones de los ingresos del trabajador y los costos unitarios de mano de obra de cada esquema.
c) Encuentre el punto de equilibrio entre ambos esquemas.
d) ¿Qué esquema debería escoger la compañía?

9. A una compañía le gustaría evaluar dos esquemas de incentivos que tienen efecto una vez que el trabajador excede el desempeño estándar. En el primer caso, los beneficios se dividen 30% para el trabajador y 70% para la compañía hasta un desempeño de 120%. Si el trabajador excede 120% del desempeño, le corresponden todos los ingresos. En el segundo caso, todos los ingresos arriba del desempeño normal se dividen 50/50 entre el trabajador y la compañía.
a) Grafique los ingresos según cada esquema.
b) Obtenga las ecuaciones de los ingresos del trabajador y los costos unitarios de mano de obra de cada esquema.
c) Encuentre el punto de equilibrio entre los dos planes.
d) ¿Qué plan debería escoger la compañía?

REFERENCIAS

Britton, Charles E., *Incentives in Industry*, Nueva York: Esso Standard Oil Co., 1953.

Broderick, R. y D. J. B. Mitchell, "Who Has Flexible Wage Plans and Why Aren´t There More of Them?", en *IRRA 29th Annual Proceedings*, 1997, pp. 163-164.

Fay, Charles H. y Richard W. Beatty, *The Compensation Source Book*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, 1988.

Fein, M., "Financial Motivation", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Globerson, S., *Performance Criteria and Incentive Systems*, Amsterdam: Elsevier, 1985.

Lazear, E. P., *Performance Pay and Productivity*, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1996.

Lokiec, Mitchell, *Productivity and Incentives*, Columbia, SC: Bobbin Publications, 1977.

U.S. General Accounting Office, *Productivity Sharing Programs*: *Can They Contribute to Productivity Improvement?* Gaithersburg, MD: U.S. Printing Office, 1981.

Von Kaas, H. K., *Making Wage Incentives Work*, Nueva York: American Management Associations. 1971.

Zollitsch, Herbert G. y Adolph Langsner, *Wage and Salary Administration*, 2a. ed. Cincinnati, OH: South-Western Publishing, 1970.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en el sitio de McGraw-Hill para el libro en www.mhhe.com/niebel-freivalds), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Capacitación y otras prácticas administrativas

CAPÍTULO 18

PUNTOS CLAVE

- Capacitar a trabajadores para minimizar lesiones y alcanzar el tiempo estándar con mayor rapidez.
- Usar curvas de aprendizaje para ajustar estándares de trabajadores nuevos y lotes pequeños.
- Reconocer y comprender las necesidades del trabajador.
- Usar la ampliación del trabajo y la rotación de tareas para minimizar las lesiones repetitivas e incrementar la autoestima del trabajador.

En una investigación realizada en 1954 sobre temas que se encontraban en el currículo de ingeniería industrial, los educadores clasificaron el estudio de tiempos y movimientos en primer lugar de una lista de 41 temas (Balyeat, 1954). Un sondeo similar que se realizó 10 años después entre más de 8 700 ingenieros industriales de 250 grandes compañías manufactureras estadounidenses comprobó que éstos dedicaban la mayor parte de su tiempo a la medición del trabajo (Anónimo, 1964). Un estudio más reciente (Freivalds, *et al*., 2000) que se aplicó a 61 ingenieros industriales indicó que los temas tradicionales de medición de trabajo (estudio de tiempos, datos estándar, muestreo del trabajo) ya no encabezaba la lista (pero sí las herramientas de métodos). Por otro lado, varios aspectos organizacionales del trabajo no tradicionales (trabajo en equipo, evaluación del trabajo y capacitación) se encontraban entre los 10 primeros. Debido a esta demanda, se ha dado una mayor importancia a estos temas en este libro.

Otra tendencia es la dispersión de las técnicas de ingeniería industrial entre todas las áreas de los negocios modernos, que incluyen mercadotecnia, finanzas, ventas y alta administración, así como áreas del sector servicios y la administración de la salud. Para satisfacer la demanda y obtener los beneficios de la capacitación en este campo con mayor rapidez, muchas industrias han emprendido programas educativos en sus propias plantas en horas de trabajo. Por ejemplo, un amplio estudio de más de 5 300 compañías estadounidenses reveló que 80% proporcionaban programas de capacitación formal para supervisores de primera línea y 42% de estos programas de capacitación incluía la simplificación del trabajo y los métodos y la manufactura esbelta. Por lo tanto, estos temas también se destacan en este capítulo.

18.1 CAPACITACIÓN DEL OPERARIO

ENFOQUES DE CAPACITACIÓN

La fuerza de trabajo de una compañía es uno de sus recursos principales. Sin trabajadores calificados, las tasas de producción serían menores, la calidad del producto más deficiente y la productivi-

dad global más baja. Por lo tanto, una vez que se instala el nuevo método y se establece el estándar adecuado, los operarios deben capacitarse de manera apropiada para aplicar el método prescrito y alcanzar el estándar deseado. Si ello se logra, los operarios tendrán muy poca dificultad para cumplir o superar el estándar. Existen muchas fuentes excelentes de material, programas y consultores en capacitación los cuales no se presentan aquí a detalle. Sin embargo, es importante reconocer algunas de las opciones más importantes en programas de capacitación, como las que se presentan a continuación.

Aprendizaje en el trabajo Colocar a los operarios directamente en un nuevo trabajo sin ninguna capacitación es un enfoque que implica hundirse o nadar. Aunque la compañía puede pensar que ahorra dinero, definitivamente no lo hace. Algunos operarios harán las cosas mal y finalmente se adaptarán a la nueva técnica, en teoría "aprendiendo". Sin embargo, pueden aprender el método incorrecto y nunca lograrán el estándar deseado. O pueden emplear un tiempo mayor para alcanzar ese estándar. Esto significa una curva de aprendizaje más larga. Otros operarios quizás observen y hagan preguntas a sus compañeros de trabajo y aprendan el nuevo método. Sin embargo, durante este periodo habrán hecho más lentos a otros operarios y a toda la producción. Peor aún, sus compañeros podrían estar usando un método incorrecto que aplicará el nuevo operario. Además, este operario va a experimentar una ansiedad considerable durante todo el proceso de aprendizaje, lo cual puede deteriorar dicho proceso.

Instrucciones escritas Las descripciones escritas en forma simple del método correcto implican una mejora al aprendizaje en el trabajo, pero sólo para operaciones relativamente sencillas o en situaciones donde el operario tiene conocimientos relativos del proceso y sólo necesita ajustarse a pequeñas variaciones. Esto supone que el operario entiende el lenguaje en el que están escritas las instrucciones o que tiene suficiente educación para leerlas correctamente. En estos días, debido a la gran diversidad que priva en el lugar de trabajo, no se puede suponer ninguna de las dos cosas.

Instrucciones gráficas Se ha probado que el uso de ilustraciones o fotografías junto con las instrucciones escritas es un sistema muy eficaz para capacitar a los operarios. Esto también les facilita a los trabajadores con menor educación y que hablan un idioma diferente adoptar el nuevo método. Por lo general, los dibujos tienen una ventaja sobre las fotografías pues hacen hincapié en detalles específicos, omiten detalles extraños y permiten vistas ampliadas. Por otro lado, las fotografías son más fáciles de producir y almacenar y son más fieles a la realidad (Konz y Johnson, 2000) si se exponen y enfocan apropiadamente.

Videocintas y DVD Las películas pueden mostrar la dinámica del proceso, como la interrelación de movimientos, partes y herramientas mucho mejor que las fotografías. Ya sea en la forma de videocintas o DVD, las películas son poco costosas y es sencillo producirlas y mostrarlas. Aún más, otorgan al operario libertad para controlar el tiempo y la velocidad de visión, regresarla si es necesario, y revisar los procedimientos. También, ambas modalidades se pueden guardar, borrar y regrabar con facilidad.

Capacitación física La capacitación que incluye modelos físicos, simuladores o equipo real es mejor para enseñar tareas complejas. Permite que el trabajador en capacitación realice las actividades del trabajo en circunstancias reales válidas, que experimente las condiciones de emergencia bajo controles de seguridad y que su desempeño sea supervisado para obtener retroalimentación. Esta capacitación física se ejemplifica mejor con los simuladores de vuelo de alta fidelidad para capacitar pilotos en varias aerolíneas y las minas de carbón simuladas para colocar remaches en el techo o la capacitación en la operación continua de la mina en el centro de investigación del Bureau of Mines Bruceton, cerca de Pittsburgh, Pennsylvania.

Una ventaja de la capacitación física es que los operarios también se *endurecen en el trabajo* durante el proceso; es decir, ejercitan los movimientos de sus músculos o muñecas en condiciones controladas y frecuencias reducidas, de manera que el cuerpo se acostumbra gradualmente a las condiciones más extremas que encontrarán en el trabajo. Este procedimiento ha tenido bastante éxito, por ejemplo, para reducir desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo de los empacadores de carne, mencionados por OSHA en su guía (OSHA, 1990) y recomendados por el American Meat Institute en su documento *Ergonomics and Safety Guidelines*.

18.2 LA CURVA DE APRENDIZAJE

Los ingenieros industriales, los ergonomistas y otros profesionales interesados en el estudio del comportamiento humano reconocen que el aprendizaje depende del tiempo. Incluso el dominio de la operación más sencilla puede tomar horas. El trabajo complicado puede tomar días o semanas antes de que el operario logre la coordinación mental y física que le permitan pasar de un elemento a otro sin duda o demora. Este periodo y el nivel relacionado de aprendizaje forman la curva de aprendizaje, que, gráficamente, se presenta en la figura 18.1.

Una vez que el operario alcanza la parte más plana de la curva, se simplifica el problema de calificar el desempeño. Sin embargo, no siempre es conveniente esperar tanto para desarrollar un estándar. Los analistas pueden necesitar establecer el estándar en la parte inicial del proceso, donde la pendiente de la curva es mayor. En tales casos, resulta útil disponer de curvas de aprendizaje representativas de los diversos tipos de trabajo que se realizan. Esta información se puede usar tanto para determinar el punto en el tiempo en que sería deseable establecer el estándar, como para proporcionar una guía del nivel de productividad esperado de un operario promedio.

Al graficar los datos de la curva de aprendizaje en papel logarítmico, los analistas pueden linealizar los datos para facilitar su uso. Por ejemplo, cuando se grafica la variable dependiente (tiempo de ciclo) y la variable independiente (número de ciclos) como en la figura 18.1 en papel doble logarítmico, se obtiene una línea recta, como se puede ver en la figura 18.2.

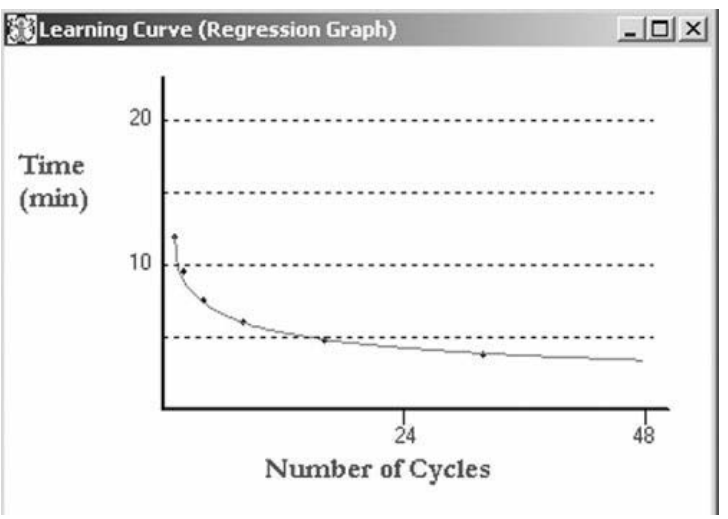


Figura 18.1 Gráfica típica de incremento de productividad.

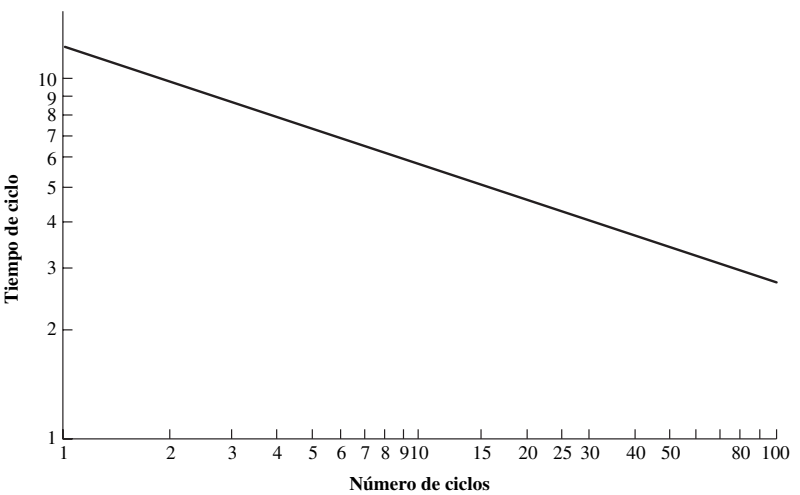


Figura 18.2 Tiempos de ciclo estimados con base en una reducción de 20% cada vez que se duplica la cantidad.

Tabla 18.1 Datos de aprendizaje en forma tabular

Número de ciclos	Tiempo de ciclo (min)	Relación con tiempo anterior
1	12.00	—
2	9.60	80
4	7.68	80
8	6.14	80
16	4.92	80
32	3.93	80

La teoría de la curva de aprendizaje sostiene que cuando se duplica la cantidad total de unidades producidas, el tiempo por unidad disminuye en un porcentaje constante. Por ejemplo, si los analistas esperan una tasa de aprendizaje de 80%, cuando se duplica la producción, el tiempo promedio por unidad disminuye 20%. En la tabla 18.1 se ilustra la disminución del tiempo de ciclo a medida que aumenta el número de ciclos; con la duplicación sucesiva de los ciclos, se logra una tasa de mejora de 80%. Los mismos datos se grafican en las figuras 18.1 y 18.2. Las tasas típicas de aprendizaje son las siguientes: trabajo grande o fino de ensamble (como el de aviones), 70 a 80%; soldadura, 80 a 90%; maquinado, 90 a 95%. Contrario a la intuición, 70% es la tasa más alta de aprendizaje, característica de todas las operaciones manuales, mientras que 100% no representaría ningún tipo de aprendizaje en el caso de las operaciones completamente automatizadas.

Cuando se usa papel lineal para graficar, la curva de aprendizaje es una curva de potencia de la forma $y = kx^n$. En papel doble logarítmico, la curva se representa por:

$$\log_{10} y = \log_{10} k + n \times \log_{10} x$$

donde y = tiempo de ciclo
x = número de ciclos o unidades producidas
n = exponente que representa la pendiente
k = valor del primer tiempo de ciclo

Por definición, el porcentaje de aprendizaje es entonces igual a

$$\frac{k(2x)^n}{kx^n} = 2^n$$

Tomando los logaritmos de ambos lados de la ecuación se obtiene

$$n = \frac{\log_{10} \text{ (porcentaje de aprendizaje)}}{\log_{10} 2}$$

Para 80% de aprendizaje,

$$n = \frac{\log_{10} 0.80}{\log_{10} 2} = \frac{-0.0969}{0.301} = -0.322$$

También se puede encontrar n directamente a partir de la pendiente:

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\log_{10} y_1 - \log_{10} y_2}{\log_{10} x_1 - \log_{10} x_2} = \frac{\log_{10} 12 - \log_{10} 4.92}{\log_{10} 1 - \log_{10} 16} = -0.322$$

Observe que k es 12 y la ecuación final de la curva de aprendizaje es

$$y = 12x^{-0.322}$$

En la tabla 18.2 se presentan las pendientes de las curvas de aprendizaje comunes como una función de los porcentajes de aprendizaje. El ejemplo 18.1 puede ayudar a aclarar el uso de la curva de aprendizaje.

Tabla 18.2 Relación entre la pendiente de la curva de aprendizaje y el porcentaje de la curva de aprendizaje

Porcentaje de la curva de aprendizaje	Pendiente
70	−0.514
75	−0.415
80	−0.322
85	−0.234
90	−0.152
95	−0.074

Cálculo de la curva de aprendizaje

EJEMPLO 18.1

Suponga que se emplean 20 minutos para producir la quincuagésima unidad y 15 minutos para producir la centésima. ¿Cuál es la curva de aprendizaje?

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\log_{10} 20 - \log_{10} 15}{\log_{10} 50 - \log_{10} 100} = \frac{1.301 - 1.176}{1.699 - 2.000} = -0.4152$$

El porcentaje de la curva de aprendizaje es

$$2^{-0.4152} = 75\%$$

Para completar la ecuación de la curva de aprendizaje, se sustituye uno de los puntos de datos, como (20, 50), en la ecuación y se despeja k:

$$k = y/x^n = 20/50^{-0.4152} = 101.5$$

De esta forma, para el analista los costos de las primeras unidades producidas se basan en un tiempo de 101.5 minutos para producir un ensamble, no en los 10 minutos que se desarrollaron a partir de los datos estándar o del sistema de tiempos predeterminados.

En seguida, tal vez el analista desee determinar cuántos ciclos se necesitan para lograr un tiempo específico, por ejemplo, un tiempo estándar de 10 minutos. Se sustituye $y = 10$ minutos en la ecuación de aprendizaje, se toman logaritmos de ambos lados de la ecuación y se despeja x para obtener

$$10 = 101.5\, x^{-0.4152}$$
$$\log_{10}(10/101.5) = -0.4152 \log_{10} x$$
$$\log_{10} x = (-1.006)/(-0.4152) = 2.423$$
$$x = 10^{2.423} = 264.8 \approx 265 \text{ ciclos (siempre redondee hacia arriba)}$$

Entonces, el trabajador tardaría 265 ciclos en lograr el estándar de tiempo.

Después, quizás el analista desee saber cuánto tiempo real emplea para lograr el tiempo estándar de 10 minutos. Ésta es el área bajo la curva de aprendizaje, que puede encontrarse al integrar bajo la curva:

$$\text{Tiempo total} = \int_{x_1 - 1/2}^{x_2 + 1/2} kx^n dx = k[(x_2 + 1/2)^{n+1} - (x_1 - 1/2)^{n+1}]/(n+1)$$
$$= 101.5(265.5^{0.5848} - 0.5^{0.5848})/0.5848 = 4.424 \text{ min}$$

Así, en el caso del ejemplo 18.1, se emplea un total de 4 424 minutos, o aproximadamente 73.7 horas, para lograr un tiempo de ciclo de 10 minutos. El tiempo de ciclo promedio sería de 4 424/265 = 16.7 minutos.

Observe que hay dos modelos de curva de aprendizaje. El que se presenta aquí es el *modelo Crawford*, también conocido como *modelo unitario*, porque la mejora que se obtiene es para una unidad particular (Crawford, 1944). El otro modelo es el *modelo Wright* original desarrollado por Wright (1936) para la industria aérea, que también se conoce como *modelo de promedio acumulado*,

porque la mejora que se logra con su uso es para la unidad promedio acumulada en lugar de una unidad específica. El valor promedio acumulado es necesariamente mayor que el costo unitario de la *n*-ésima unidad producida; sin embargo, a medida que aumente el número de unidades, los modelos convergerán. Algunos analistas consideran que el modelo Crawford es más práctico porque no enmascara la variabilidad individual como lo hace el modelo Wright.

Una pregunta interesante se relaciona con lo que sucede si el operario sale de vacaciones. ¿Olvida algo de lo aprendido? De hecho, este olvido ocurre y se conoce como *retroceso* (Hancock y Bayha, 1982). La cantidad de retroceso es una función de la posición del operario en la curva de aprendizaje cuando ocurre la interrupción. La cantidad de retroceso se aproxima extrapolando la línea recta que va del tiempo del primer ciclo al tiempo estándar (vea la figura 18.3). La ecuación de esta recta de retroceso es

$$y = k + \frac{(k - s)(x - 1)}{1 - x_s}$$

donde s = tiempo estándar
x_s = número de ciclos para lograr el tiempo estándar

Poder estimar el tiempo de la primera unidad producida y el tiempo que requieren las unidades sucesivas puede ser extremadamente útil para estimar cantidades relativamente bajas, si el analista tiene datos estándar e información de la curva de aprendizaje. Como los datos estándar casi siempre se basan en el desempeño del trabajador cuando el aprendizaje se nivela o alcanza la parte plana de la curva, esos datos deben ajustarse hacia arriba para asegurar que se asigna un tiempo adecuado por unidad en condiciones de cantidades pequeñas. Por ejemplo, suponga que el analista desea conocer el tiempo necesario para producir la primera unidad de un ensamble complejo. El análisis de los datos estándar sugiere un tiempo de 1.47 horas, que es el tiempo de ciclo de la *n*-ésima unidad, o el punto en el que la curva comienza a aplanarse. En este caso, se estima que la *n*-ésima unidad consta de 300 ensambles. Con base en otros trabajos similares, el analista espera una tasa de aprendizaje de 95%. Según la tabla 18.2, el exponente *n*, que representa la pendiente, es –0.074. Entonces *k*, el valor del primer tiempo de ciclo, es

$$k = 1.47/300^{-0.074} = 2.24 \text{ h}$$

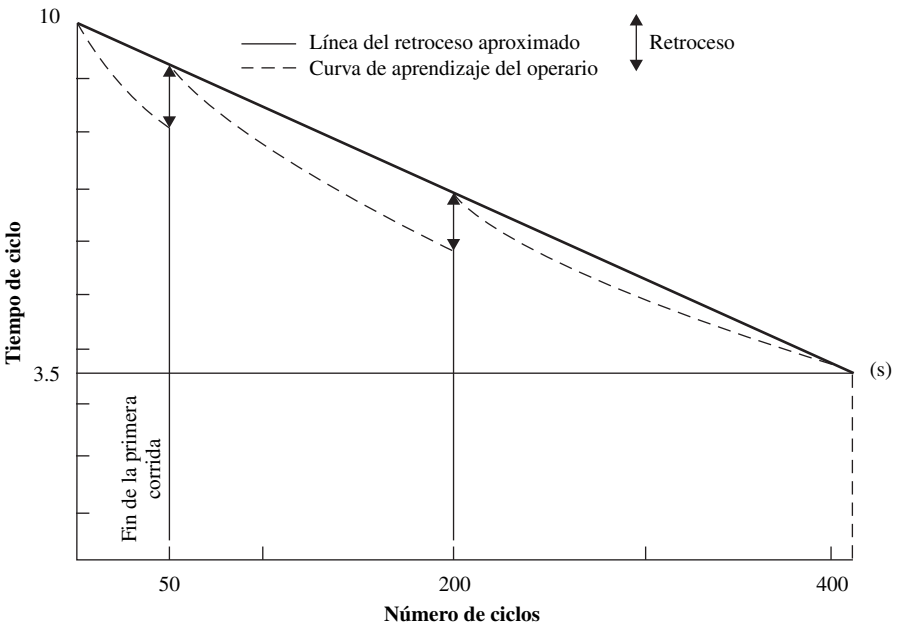


Figura 18.3 Efecto de las interrupciones del aprendizaje del operario.
(*De:* Hancock y Bayha, 1982). (Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

Cálculo de la curva de aprendizaje con retroceso — EJEMPLO 18.2

En el ejemplo 18.1, el operario se detiene después de 50 ciclos para tomar dos semanas de vacaciones. Su tiempo del ciclo número 51 se determina a partir de la función de retroceso

$$y = 101.5 + \frac{(101.5 - 10)(51 - 1)}{1 - 265} = 84.17$$

El tiempo de ciclo del operario sin una interrupción hubiera sido

$$y = 101.5\,x^{-0.4152} = 101.5 \times 51^{-0.4152} = 19.84$$

Por lo tanto, hubo un retroceso de 84.17 – 19.84 = 64.33 minutos, y se inicia una nueva curva de aprendizaje con una nueva $k = 84.17$. El ciclo número 51 se convierte en el primer ciclo de la nueva curva de aprendizaje $y = 84.17x^{-0.4152}$.

De esta forma, los costos del analista se basarían en 2.24 horas del tiempo para producir un ensamble, no las 1.47 horas desarrolladas a partir de los datos estándar.

Muchos factores afectan el aprendizaje humano. La complejidad del trabajo es muy importante, pues entre más larga sea la longitud de ciclo, mayor será la incertidumbre de los movimientos, y mientras más movimientos simultáneos o tipo C haya (vea el capítulo 13), mayor capacitación se requerirá. De manera similar, las características individuales, como la edad (la tasa de aprendizaje disminuye con la edad), la capacitación previa y las capacidades físicas, afectan la capacidad de aprender.

18.3 EMPLEADOS Y MOTIVACIÓN

REACCIONES DE LOS EMPLEADOS

Los ingenieros industriales deben comprender con claridad las reacciones psicológicas y sociológicas de los empleados hacia los métodos, estándares y salarios. Siempre deben reconocerse tres aspectos:

1. La mayoría de las personas no responden favorablemente al cambio.
2. La seguridad del empleo es prioritaria en la mente de la mayoría de los trabajadores.
3. Las personas tienen necesidad de afiliarse y en consecuencia reciben influencia del grupo al que pertenecen.

La mayoría de las personas, sin que importe sus puestos, tienen una resistencia inherente a cambiar cualquier aspecto asociado con sus patrones de trabajo o centros de trabajo. Esto se debe a varios factores psicológicos. Primero, el cambio indica insatisfacción con la situación actual. Sin embargo, la tendencia natural es defender el procedimiento actual, pues está íntimamente asociado con el individuo. A nadie le gusta que otros estén insatisfechos con su trabajo; incluso si se sugiere un cambio, la reacción inmediata es oponerse a la modificación propuesta.

Segundo, las personas tienden a ser criaturas de hábitos. Una vez adquirido uno de ellos es difícil dejarlo y surge resentimiento si alguien intenta alterarlo. Por ejemplo, cualquiera que tenga el hábito de comer en cierto lugar se resiste a ir a otro restaurante, aunque la comida pueda ser mejor y menos costosa.

Tercero, las personas tienen un deseo natural de sentirse seguros en sus puestos, lo cual es tan básico como el instinto de autopreservación. De hecho, la seguridad y la autopreservación se relacionan y forman el segundo nivel de la jerarquía de Maslow de las necesidades humanas (vea la siguiente sección). La mayoría de los trabajadores prefieren la seguridad en el empleo que un salario alto cuando eligen un sitio para trabajar.

Cuarto, al trabajador, todos los cambios de métodos y estándares le parecen un esfuerzo por aumentar la productividad. La reacción inmediata y entendible es pensar que si la producción aumenta, la demanda quedará satisfecha en un periodo más corto, y sin demanda habrá menos trabajos.

La solución a la necesidad de seguridad del trabajo descansa principalmente en la sinceridad de la administración. Cuando la mejora de los métodos da como resultado el desplazamiento de algunos

trabajadores, la administración es responsable de hacer un esfuerzo honesto para reubicar a quienes hayan sido desplazados. Esto puede incluir proporcionar un reentrenamiento. Algunas compañías han llegado al extremo de garantizar que nadie perderá su empleo como resultado de la mejora de métodos. Debido a que la tasa de rotación de la mano de obra suele ser mayor que la tasa de mejora, la contracción natural por renuncias o retiros casi siempre absorbe a las personas desplazadas como resultado de la mejora.

Quinto, la necesidad sociológica de afiliarse y el efecto resultante de "actuar como el grupo quiere que todos actúen" también influye en el cambio. Con frecuencia, el trabajador, como miembro del sindicato, piensa que se espera que él se oponga a cualquier cambio instituido por la administración; en consecuencia, se resiste a cooperar con cualquier cambio propuesto como resultado de los métodos y estándares de trabajo. Otro factor es la resistencia hacia cualquiera que no sea parte del propio grupo. Una compañía representa un "grupo" que tiene varios grupos más pequeños dentro de sus fronteras principales, los cuales responden a leyes sociológicas básicas. Con frecuencia, el cambio propuesto por alguien externo al grupo se recibe con abierta hostilidad. El trabajador se asocia con un grupo diferente al de los analistas de métodos y tiende a resistirse a cualquier esfuerzo de aquellos que pudiera interferir con el desempeño establecido dentro de su grupo.

JERARQUÍA DE MASLOW DE LAS NECESIDADES HUMANAS

Algunos factores psicológicos como el estrés, las necesidades o las compensaciones pueden ser aspectos muy importantes de la productividad del trabajador. Los empleados naturalmente desean trabajar con la menor cantidad de estrés y la mayor compensación posible. Maslow (1970) cuantificó estos deseos en una jerarquía comparable a una serie de escalones que conducen a la cima de una pirámide o a la meta final (vea la figura 18.4). El trabajador debe satisfacer cada necesidad inferior antes de buscar la recompensa del siguiente nivel. El nivel más bajo incluye las *necesidades fisiológicas* que corresponden a supervivencia, comida, agua y salud. Los factores de trabajo relacionados con este nivel pueden ser una remuneración suficiente u otras recompensas monetarias.

Una vez satisfechos estos deseos fisiológicos, adquiere importancia el segundo nivel, *necesidades de seguridad*, que incluyen la necesidad de seguridad tanto en el sentido físico como psicológico. Pueden ser tan simples como evitar lesiones físicas en el trabajo o tan complejas como buscar un supervisor "amable" que no amenace o degrade al trabajador. Debido al predominio de las reducciones de tamaño de las compañías a finales de la década de 1990, las necesidades de seguridad podrían incluir la seguridad del trabajo y los derechos de antigüedad.



Figura 18.4 Jerarquía de las necesidades humanas de Maslow.

El tercer nivel, las *necesidades sociales*, contemplan la necesidad de atención, amistad, pertenencia social y relaciones significativas con los compañeros de trabajo. En el cuarto nivel, *necesidades de autoestima*, el trabajador lucha por la competencia y el logro, expresa un deseo de respeto a sí mismo o trata de satisfacer su ego.

En la parte superior de la pirámide, en el quinto o último nivel, se encuentra la *autosatisfacción*. Finalmente, los trabajadores han logrado cubrir sus necesidades y están satisfechos consigo mismos y con sus egos. Este nivel puede variar considerablemente de un individuo a otro. Algunas personas pueden estar satisfechas haciendo objetos día tras día, mientras que otras quizá sólo lo estén si tienen su propio negocio.

El ingeniero industrial puede preguntarse para qué sirve la jerarquía de Maslow en la planta, o cómo puede el trabajador satisfacer estos deseos en la línea de producción. Considere el primer nivel de necesidades fisiológicas. Una táctica, aunque muy negativa en términos de la relaciones trabajador-administrador, es la amenaza de despedirlo si no cumple con las cuotas de producción o si viola las reglas de seguridad. Otros procedimientos para atemorizar, o enfoques duros, se encuentran en esta misma categoría. Un enfoque más positivo es la implantación de incentivos salariales (capítulo 17). Éste es un condicionamiento clásico o reforzamiento positivo, en su forma más simple. Muchos trabajadores están dispuestos a realizar trabajos relativamente tediosos, o a tasas de producción más altas, cuando reciben un incentivo monetario suficiente. Así, los trabajadores aceptan una menor satisfacción con el trabajo si se les otorga una paga adicional. Desafortunadamente, cuando aumenta la riqueza y los impuestos, el ingreso adicional deja de ser significativo, y el ingeniero industrial puede tener que enfocarse en niveles más altos de la jerarquía de Maslow.

En el segundo nivel, las necesidades de seguridad en el trabajo, la preocupación principal es la seguridad de conservar el empleo, en especial debido a la tendencia creciente a despedir personal. Tradicionalmente, en otras culturas, en especial la japonesa, el trabajo era una garantía de por vida con la compañía. En Estados Unidos es común que un empleado cambie de trabajo cada cinco o seis años y trabaje para una media docena de empresas a lo largo de su vida y quizás el empleo esté garantizado por un número fijo de años. A nivel del sitio de trabajo, los reglamentos específicos respecto de las prácticas de trabajo, el cuidado físico ante maquinaria insegura o las campañas de seguridad pueden mejorar el clima laboral.

En el tercer nivel, necesidades sociales, los trabajadores muestran deseos de "pertenecer" a un sistema social. En términos de trabajo, esto implicaría tener compañeros de trabajo amigables, una interacción agradable con la administración, participación en los comités de seguridad o ergonómicos, etc. Tales organizaciones formales son más comunes en Japón, donde se han instituido los círculos de calidad; en Alemania, donde los trabajadores eligen un consejo de trabajo (*betriebsrat*) para intervenir problemas y negociar con la administración, y en Suecia, donde las plantas de automóviles tiene grupos de trabajo (*arbetsgrupper*).

En el cuarto nivel, los empleados tratan de aumentar su autoestima. Este objetivo podría lograrse agregando más retos al trabajo, la asignación de mayor responsabilidad y proporcionando mayor variedad. Esto último se hace mediante la *ampliación del trabajo*, una expansión horizontal de las actividades. En lugar de sólo apretar un conjunto de tornillos todo el día, el trabajador puede realizar el ensamble completo. Este cambio no sólo aumenta su sentido de responsabilidad, sino que también utiliza mayor cantidad de músculos y articulaciones, lo que divide la tensión en una mayor parte del cuerpo y reduce el riesgo de desórdenes por trauma acumulativo. Unido a la ampliación del trabajo también se puede mencionar el *enriquecimiento del trabajo*, una ampliación vertical de las actividades que permite a los trabajadores iniciar y terminar una tarea completa, diversificar los deberes de modo que no recaigan sobre alguien todas las asignaciones aburridas, delegar la toma de decisiones y rotar las asignaciones de trabajo. La *rotación del trabajo* es similar a la ampliación laboral pues cualquier trabajador tiene la oportunidad de realizar varias tareas, a pesar de que está regido por un horario más rígido. La rotación tiene efectos similares al enriquecimiento del trabajo, pues cambia los factores de tensión y permite que los músculos y partes del cuerpo fatigados se recuperen.

ENFOQUE DE VOLVO

Todos estos conceptos (ampliación, enriquecimiento, rotación y grupos de trabajo) se crearon en Suecia en la década de 1960. El impulso se debió al creciente ausentismo, las huelgas no autorizadas,

la inquietud de los trabajadores y la insatisfacción general de los empleados. Se necesitaban cambios drásticos. Por lo tanto, en 1974, bajo la dirección de su presidente Pehr Gyllenhammer, Volvo desarrolló un plan revolucionario y construyó una planta completamente nueva para el ensamblado de automóviles en Kalmar. La línea transportadora tradicional fue remplazada por un sistema de vehículos de guía automatizada (AGV, *automated guided vehicle*) donde se realizaba el ensamblado. El AGV era guiado por un sistema electrónico de cables enterrados en el piso. Una computadora central controlaba el movimiento de los AGV por la planta, pero los empleados podían tomar el mando en cualquier momento. Además, hubo un cambio drástico en la organización del trabajo: los empleados participaban en todo y formaban grupos de trabajo que recibían y examinaban órdenes de producción, decidían qué miembro del grupo haría cada tarea en un día dado, inspeccionaban su propio trabajo, hacían el papeleo después del ensamble y, al final del día, elaboraban un breve análisis sobre los sucesos y problemas de la jornada. La ampliación del trabajo fue llevada al grado de que un grupo de trabajadores ensamblaba más de 25% de un automóvil.

El diseño de Kalmar tuvo éxito desde el principio, puesto que el trabajo tenía un mayor significado y los trabajadores asumieron mayores responsabilidades. El absentismo y la rotación de personal se redujeron en gran medida, al mismo tiempo que se cumplían las metas de costo de producción. Debido al éxito en Kalmar se abrieron nuevas plantas en Uddevalla y Gteborg (Torslunda). Desafortunadamente, debido a un mercado cambiante y una caída radical de las ventas, Volvo cerró sus plantas de Uddevalla y Kalmar. En 1997 la empresa reabrió la planta de Uddevalla para producir un nuevo automóvil deportivo.

Observe que en las plantas de Volvo se adoptaron las tres formas de reorganización del trabajo: ampliación, enriquecimiento y rotación. Los tiempos de ciclo aumentaron muchas horas, a la vez que los movimientos repetitivos disminuyeron para cualquiera de las extremidades o conjunto de músculos.

En el quinto y más alto nivel de la jerarquía de Maslow se espera que el trabajador se dedique a la compañía por completo. Fuera de Japón, parece que este objetivo no es alcanzable en ninguna empresa grande. Por otro lado, en compañías pequeñas que apenas comienzan a producir, no sólo el dueño, sino también algunos de los colegas más cercanos pueden dedicar la mayor parte de las horas que están despiertos a mantenerla a flote. En consecuencia, la compañía y el trabajo realmente se convierten en la autosatisfacción.

MOTIVACIÓN

Herzberg (1966) desarrolló una interesante *teoría de mantenimiento de la motivación*, basada en una investigación de los factores que conducen a la satisfacción o insatisfacción de 1 500 empleados en 12 organizaciones diferentes. De manera semejante a Maslow, Herzberg detectó que los individuos tienden a satisfacer dos necesidades básicas. Si los trabajadores estaban insatisfechos con sus trabajos, su preocupación principal era el entorno laboral. Sin embargo, si estaban satisfechos, esta satisfacción se refería al propio trabajo.

Herzberg clasificó los factores ambientales como *extrínsecos* y factores potenciales de insatisfacción. Éstos incluyen elementos como la administración, la supervisión, las condiciones de trabajo, los salarios y las relaciones interpersonales. Los satisfactores potenciales, o motivadores, incluyen logro, reconocimiento, responsabilidad y avance, y los llamó *factores intrínsecos*. Los factores extrínsecos tenían un efecto positivo pequeño, pero podían ser fuertes motivos de insatisfacción. Los factores intrínsecos exhortaban al trabajador a ser más productivo. Por lo tanto, el interés de la administración debe ser maximizar estos factores intrínsecos y minimizar los efectos negativos de los extrínsecos.

Una de las técnicas de motivación intrínseca más eficaz es el enriquecimiento del trabajo, que es el opuesto de la simplificación del trabajo. Con métodos de trabajo y los principios de economía de movimientos, la meta típica de un ingeniero industrial es simplificar el trabajo. Si un trabajo es sencillo y repetitivo, se requiere poco aprendizaje y los trabajadores se pueden intercambiar con facilidad. Este enfoque fue desarrollado para lograr una consistencia tipo máquina en la línea de ensamble. Sin embargo, los trabajadores no son máquinas y cuando están sujetos a ese tipo de condiciones se aburren y se sienten insatisfechos, lo que conduce a mayor ausentismo y cambios de trabajo. Peor aún, como lo muestran estadísticas recientes, los niveles de estrés se incrementan y causan más des-

órdenes por trauma acumulativo. No vale la pena ahorrar centavos en trabajos repetitivos cuando se pierden miles de dólares por las lesiones resultantes.

Herzberg también encontró algunas desviaciones interesantes en los resultados del estudio, según las poblaciones examinadas. Estas desviaciones se podían usar en beneficio de la compañía de acuerdo con la composición de la fuerza de trabajo. Por ejemplo, los trabajadores más jóvenes estaban menos preocupados por la seguridad del trabajo que los más antiguos y en general estaban más satisfechos con el sistema de remuneración de la empresa. Los empleados con mayor nivel educativo y salario más alto favorecían las remuneraciones intrínsecas. Las recompensas extrínsecas tenían más importancia que las intrínsecas, pero eran más apreciadas por los trabajadores con menor nivel educativo, menor salario y de más edad.

18.4 INTERACCIONES HUMANAS

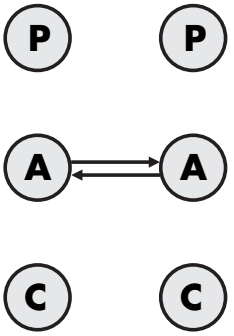
Las interacciones entre empleados en el lugar de trabajo son un componente importante de la moral y la productividad. Se han utilizado varios enfoques para tratar y comunicarse con las personas; aquí se analizan dos de ellos: el análisis transaccional y el enfoque de Dale Carnegie.

ANÁLISIS TRANSACCIONAL

El *análisis transaccional*, según lo desarrolló Berne (1964), consta de varios componentes: 1) estados del ego, 2) transacciones, 3) palmadas y golpes y 4) juegos y estilos de vida más complejos. Existen tres *estados del ego* que se encuentran en algún grado en todas las personas. El *estado del ego padre* refleja las actitudes y valores absorbidos de los padres como figuras de autoridad y produce afirmaciones como "en realidad ése es un error muy tonto". La serie de televisión *Cosby Show*, de Bill Cosby, sería un buen ejemplo del estado del ego padre. El *estado del ego adulto* analiza los hechos lógicamente, toma decisiones y obtiene conclusiones racionales y opera con frases como "examinemos el problema con cuidado". El señor Spock, de la serie *Star Trek*, sería un ejemplo perfecto del estado del ego adulto. El *estado del ego hijo* es más complejo y puede tomar tres formas distintas. Un estado inocente produce respuestas como "¡Ah!, no lo sabía". El estado adaptativo establece reglas internas basadas en condicionamientos sociales como "respeta a tus mayores". El estado manipulador puede llegar a fingir lesiones para evitar algo desagradable, como el niño que finge tener catarro para no ir a la escuela.

Las interacciones entre los estados del ego ocurren en forma de *transacciones*. Los participantes pueden mandar y recibir mensajes de cualquiera de estos tres estados. Si los mensajes se envían y reciben en el mismo nivel del ego, como de adulto a adulto, las transacciones se conocen como *complementarias* y se considera que conducen a un resultado de intercambio positivo y exitoso (figura 18.5). Una transacción de padre a hijo (figura 18.6), si ocurre en un nivel paralelo, todavía se considera complementaria, pero puede no ser tan eficaz como la transacción que ocurre al mismo nivel.

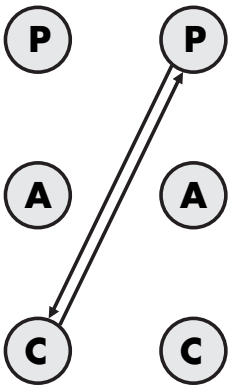
Una *transacción cruzada* ocurre cuando cada parte asume un nivel de transacción diferente y con frecuencia el resultado es un sentimiento de irritación y hostilidad (figura 18.7). Las *transacciones ulteriores*, aunque superficialmente parezcan lógicas, siempre tienen un significado oculto y forman la base de los juegos (figura 18.8). Como ejemplo, aparentemente, un supervisor de línea



Gerente de producción:
"La estación de esmerilado necesita recuperar sus tasas de producción."

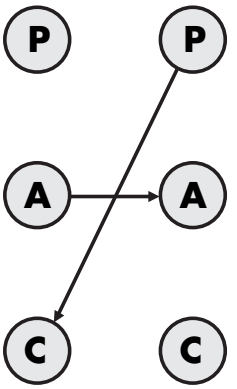
Supervisor de línea:
"Sí, iré allá y me ocuparé de ello."

Figura 18.5 Transacción complementaria: de adulto a adulto: el mensaje se envía y recibe de manera apropiada.
(Adaptado de Berne, 1964)



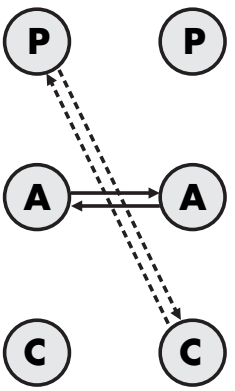
Gerente de producción (con una expresión de preocupación en el rostro):
"Me pregunto si podría hacer que esos esmeriles recuperaran su tasa de producción."
Supervisor de línea (en tono indulgente):
"No se preocupe; me ocuparé de ello."

Figura 18.6 Transacción complementaria: de padre a hijo: no es tan eficaz como la de adulto a adulto, pero todavía es útil. (Adaptado de Berne, 1964)



Gerente de producción (como de adulto a adulto):
"¿Qué se ha hecho para corregir el problema de manejo de materiales?"
Supervisor de línea (como de padre a hijo):
"¿No tiene nada mejor que hacer que molestarme todo el tiempo?"

Figura 18.7 Transacción cruzada: esta interacción puede resultar en sentimientos de enojo y hostilidad. (Adaptado de Berne, 1964)



Gerente de producción (en una aparente transacción de adulto a adulto):
"Buscaré la causa de que esa máquina se atore y regresaré con usted."
Pero en realidad piensa:
"Ah, bueno. Yo la revisaré y regresaré con usted."
El operario escucha un tono indulgente y lo ve como una transacción de padre a hijo.

Figura 18.8 Transacción ulterior: aunque este enfoque parece lógico, puede tener un significado oculto y forma la base de los juegos. (Adaptado de Berne, 1964)

realiza una transacción de adulto a adulto, pero en realidad sólo revisa los movimientos y produce una transacción de padre a hijo. Ésta puede ser la forma en que un operario quiere ser tratado; si no lo es, el supervisor de línea no debe sorprenderse de que los empleados se quejen porque nadie los escucha nunca.

El análisis transaccional hace hincapié en que todas las personas sienten la necesidad de ser reconocidas de alguna manera. Esta necesidad (el cuarto nivel en la jerarquía de Maslow) puede comenzar en la niñez y continuar hasta la adultez. El reconocimiento puede llegar como *palmadas positivas* o *negativas*, donde las positivas se basan en los buenos atributos, como el reconocimiento de la inteligencia, la disposición para ayudar y la compasión, mientras que las negativas se deben a los atributos negativos como la falsedad y el egoísmo. Sólo las palmadas positivas ("lo haces bien") mantienen a una persona con mente sana. Las palmadas negativas pueden dejar a la persona con

rencores y una mala impresión del mundo. El exceso de palmadas negativas (crítica) en la niñez puede llevarse hasta la adultez, donde la persona trata de llevar a cabo transacciones que conduzcan a la compasión o dependencia. Algunos individuos se pueden convertir en buscadores extremos de palmadas positivas.

Cuando las transacciones incrementan su nivel de complejidad, toman la forma de rituales, pasatiempos o juegos. Los rituales son las ligas culturales más simples, como el simple saludo por la mañana, "hola, ¿qué tal?" Los pasatiempos son interacciones más complejas como conversaciones sobre trabajo, deportes o amigos en las funciones sociales. Los juegos son las transacciones más intrincadas, que pueden sustituir a la intimidad en la vida privada o producir un comportamiento propenso a sufrir accidentes (como un niño que busca el perdón) en el trabajo.

En general, el ingeniero industrial o el gerente deben intentar comprender las bases del análisis transaccional para interactuar de mejor manera con los trabajadores de producción y demás personal. Los juegos complejos deben evitarse cambiando del ego de padre o hijo al de adulto. Esto funciona en las situaciones "sí, pero" en las que, por un motivo ulterior de uno de los participantes, se reduce la eficacia de solución de problemas para la situación. El gerente debe percibir que cuando todas las sugerencias para mejorar el diseño de la estación de trabajo se rechazan con comentarios del tipo "sí, pero no se puede", la transacción ha pasado al modo de padre a hijo. Cambiarla a una de adulto a adulto con "Sí, sin duda es difícil: ¿qué puede hacer al respecto?" detendrá el juego y llevará directamente al problema. En otras palabras, en las transacciones cruzadas, es mejor cambiar los egos, incluso cuando están en el nivel de padre a hijo, pues son menos eficaces que las transacciones de adulto a adulto. Por último, puede ser necesario participar en un nivel de juegos inferior, como dar o recibir palmadas. En muchas compañías existe el "Juana o José Calamidad" que siempre se mete en algún tipo de problema, ya sea que atore una máquina o que dañe herramientas. Estos individuos quizá lleven a cuestas una carga de palmadas negativas desde la niñez hasta la adultez. Al cambiar al ego de adulto con "acepto la responsabilidad de asignarte a ese trabajo", con el tiempo se detendrá el juego, pero también puede crear un enemigo. Otro enfoque puede ser compensar las palmadas negativas con más palmadas positivas en forma de reconocimiento de las cosas buenas que hace ese operario (por ejemplo, tener un desempeño arriba del normal, alta calidad, etc.) (Denton, 1982).

Sobre todo, el ingeniero industrial debe dedicar tiempo a hablar con los operarios y obtener sus ideas y reacciones. El trabajo progresa con mayor suavidad y eficacia si los operarios se convierten en parte del equipo. Sin embargo, se les debe pedir que "se unan al equipo" y no darles la orden de hacerlo. Los empleados están más cerca que nadie de las situaciones de trabajo y casi siempre tienen un conocimiento más específico de los detalles. Este conocimiento debe aprovecharse, respetarse y utilizarse. Acepte las sugerencias de los operarios con gratitud; si son útiles y valen la pena, póngalas en práctica lo más pronto posible. Si se usan, puede tenerse la seguridad que los operarios reciben la recompensa adecuada. Si no se pueden usar por el momento, dé una explicación completa sobre las razones por las cuales no se puede utilizar. En todo momento, los analistas deben imaginarse a sí mismos en el lugar de los operarios y después usar el enfoque que les gustaría que usaran con ellos. La amabilidad, la cortesía, la alegría y el respeto, templados con la firmeza, son las características humanas que deben practicarse para tener éxito en este trabajo. En resumen, debe aplicarse la regla de oro.

ENFOQUE DE DALE CARNEGIE

El enfoque humano para manejar a las personas, hacer que éstas se parezcan a usted, influir en su pensamiento y cambiarlas, fue desarrollado como un arte por Dale Carnegie (1936) en una serie de cursos, que aún en la actualidad mantienen su popularidad. Los principios de Carnegie y sus ideas se resumen en la tabla 18.3.

18.5 COMUNICACIONES

Los ingenieros industriales, como administradores de nivel medio, dedican una cantidad considerable de su tiempo a las comunicaciones interpersonales. Por lo tanto, el dominio de la habilidad para comunicarse eficazmente es una gran ayuda para poder vender un argumento o un diseño, aunque sea valioso por méritos propios. Las comunicaciones se pueden dividir en cinco tipos principales: verbales, no verbales, de uno a uno, en grupos pequeños y para audiencia grande (Denton, 1982).

Tabla 18.3 Enfoque de Dale Carnegie

Técnicas fundamentales para el manejo de personal
1. En vez de criticar a las personas, intente entenderlas. 2. Recuerde que todas las personas necesitan sentirse importantes; por lo tanto, trate de encontrar los puntos buenos de ellas. Olvide la adulación, emita una apreciación honesta y sincera. 3. Recuerde que todas las personas están interesadas en sus propias necesidades; por lo tanto, hable de lo que ellas quieren y muéstreles cómo obtenerlo.
Seis formas de agradarle a las personas
1. Interésese genuinamente por los demás. 2. Sonría. 3. Recuerde que el nombre de las personas es el sonido más importante y dulce para ellos en el lenguaje hablado. 4. Sea un buen oyente. Anime a otros a hablar sobre sí mismos. 5. Hable en términos de los intereses de la otra persona. 6. Haga que la otra persona se sienta importante, y hágalo sinceramente.
Doce formas de ganarse a las personas para que piensen como usted
1. La única manera de obtener lo mejor de una discusión es evitarla. 2. Muestre respeto por las opiniones de otras personas. Nunca le diga a nadie que está equivocado. 3. Si usted está equivocado, admítalo rápida y enfáticamente. 4. Comience de una manera amigable. 5. Haga que la otra persona diga sí, de inmediato. 6. Deje que la otra persona sienta que la idea es de él o ella. 7. Deje que la otra persona hable a su gusto. 8. Trate honestamente de ver las cosas desde el punto de vista de la otra persona. 9. Simpatice con las ideas o deseos de la otra persona. 10. Apóyese en los motivos más nobles. 11. Dramatice sus ideas. 12. Derribe un reto.
Nueve formas de cambiar a las personas sin ofender o causar resentimiento
1. Inicie con un elogio y una apreciación honesta. 2. Llame la atención hacia los errores de las personas en forma indirecta. 3. Hable sobre sus propios errores antes de criticar a otras personas. 4. Haga preguntas en vez de dar órdenes directas. 5. Deje que la otra persona salga bien librada. 6. Elogie hasta la más ligera mejora. Sea sincero en su aprobación y generoso con los elogios. 7. Dé a la otra persona una buena reputación. 8. Utilice el exhorto. Haga que parezca sencillo corregir los errores. 9. Haga que la otra persona se sienta feliz de hacer lo que usted sugirió.

COMUNICACIONES VERBALES

En las comunicaciones verbales, las palabras son muy poderosas y sus significados son muy importantes. Según este enfoque, la palabra *producción* es poderosa, mientras que otros términos como *seguridad* o *factores humanos* pueden tener una connotación negativa debido a que implican, sea cierto o no, consentir a los empleados o reducir la tasa de producción. El nombre de una persona (y los nombres de sus familiares) son muy importantes para esa persona. Por lo tanto, los administradores deben saber los nombres de los trabajadores (y un poco de sus antecedentes), para estimular el interés de la otra parte y otorgar mayor interés a la conversación.

Un problema de todos los idiomas es el significado específico de cada palabra. Debido a la gran diversidad del sitio de trabajo, existe una gran posibilidad de que otro individuo asigne un significado un poco diferente, haga una inferencia equívoca o quizá ni siquiera entienda el significado de algunas palabras.

Los administradores también deben tener cuidado de no dividir el mundo en dos. Clasificar las cosas como buenas o malas, seguras o inseguras, etc., polariza los eventos y ocasiona que los individuos se concentren en las diferencias y no en las semejanzas.

COMUNICACIONES NO VERBALES

Algunos datos indican que más del 50% de un mensaje, especialmente si se relaciona con los sentimientos, se presenta a través de canales no verbales, que incluyen características de la voz, expresiones faciales y lenguaje corporal. Entre las características de la voz, una forma de hablar rápida indica entusiasmo, mientras que uno más lento con pausas indica emoción pasiva. Las expresiones faciales y el lenguaje corporal involucran el comportamiento no verbal como inclinar la cabeza para indicar atención en el discurso de otra persona, elevar las cejas en señal de sorpresa, mantener el contacto visual que indica confianza, cruzar los brazos o cerrar los puños en una actitud defensiva, cruzar las piernas para indicar superioridad o falta de interés.

Otros factores, como la cantidad de espacio alrededor del individuo, también pueden afectar las comunicaciones. Por ejemplo, las personas tratan de mantener cierta cantidad de espacio abierto a su alrededor; cerrar estos espacios crea un nivel mayor de incomodidad aunque pueda incrementar la interacción.

UNO A UNO

La comunicación uno a uno, o *diádica*, ocurre con frecuencia entre un administrador y un trabajador en una situación cara a cara. El propósito de esta comunicación es casi siempre lograr la comprensión de las metas entre los dos individuos. Después, uno de los dos puede buscar la aprobación de una idea propuesta, y puede ser necesario presentar las soluciones disponibles. Para obtener la solución esperada, quizá se requiera usar técnicas motivacionales, como los cuestionarios guiados, los cuales pueden constar de preguntas guiadas que propician que las respuestas tengan cierta dirección o preguntas cerradas (sí/no o con opciones limitadas) para extraer un compromiso, o bien preguntas abiertas para provocar una discusión.

Desafortunadamente, pueden surgir conflictos durante la conversación. Los conflictos sencillos surgen cuando cada parte conoce las metas de la otra, pero ninguna puede ganar sin que el otro pierda. En tales casos puede ser apropiado retrasar la discusión hasta que ambas partes se calmen y encuentren una solución racional. Los pseudoconflictos surgen por comunicación ineficaz y sólo pueden difuminarse cuando se proporcionan datos precisos y se eliminan las distorsiones. Los peores conflictos son los del ego relacionados con el análisis transaccional de Berne (1964) que se analizó anteriormente.

GRUPOS PEQUEÑOS

De manera típica, las comunicaciones de grupos pequeños se centran en la solución del problema. Los problemas pueden ser bastante complejos y ningún individuo puede tener todas las soluciones. Por lo tanto, el concepto de un grupo de personas que trabajan en un problema parece lógico. Los beneficios adicionales incluyen que los juicios individuales extremos tienden a moderarse, los juicios globales tienden a mejorar su exactitud y en las discusiones se incluye un conjunto más amplio de información y opiniones. También existen concesiones. Por su naturaleza, los grupos pequeños consumen tiempo. Además, la falta de coordinación, la baja motivación y los conflictos de personalidad entre los miembros del grupo pueden provocar el fracaso del cumplimiento de sus objetivos. Por lo tanto, es importante organizar y administrar los grupos pequeños en forma eficaz.

En las comunicaciones de grupos pequeños deben seguirse los procedimientos básicos de solución de problemas (por ejemplo, los diagramas de pescado). El grupo debe identificar el problema, analizar los detalles, elaborar una variedad de ideas, seleccionar algunas para su desarrollo posterior, evaluar las diferentes alternativas y especificar y vender la solución. Para mejorar este

proceso, el facilitador del grupo debe permitir el acceso sin límites a la información para alentar la construcción de la confianza. También es muy importante fijar estándares elevados y contar con una planeación adecuada además de las técnicas de interacción específicas que pueden aumentar la eficacia del proceso.

Facilitación del acuerdo La facilitación del acuerdo entre todos los miembros, como la obtención de consenso, puede mejorar si se involucra a todos de manera positiva y se refuerza para ello su autoestima con preguntas abiertas que resuman los comentarios de cada uno antes de proceder con la siguiente persona, resumir los pros y contras de cada discusión antes de pasar al siguiente tema.

Desempeño de papeles El desempeño de los papeles dentro del grupo pueden ayudar al proceso de solución de problemas con la presentación de las situaciones o eventos adecuados. Este objetivo se logra con la participación y discusión en *subgrupos más pequeños*. Un miembro del grupo puede actuar como quien registra las ideas para escribirlas con rapidez. Esta dinámica puede llevar fácilmente a sesiones de *lluvia de ideas*, para las cuales se cuenta con las siguientes guías básicas: 1) se exhortan las ideas, no importa cuán raras sean; 2) entre más ideas haya, mejor; 3) no se critican las ideas (en ocasiones los contribuyentes no se identifican), y 4) se anima a los participantes a profundizar o a combinar las ideas previas. Por lo general, se establece un tiempo límite de 10 minutos, después del cual se jerarquizan las ideas, junto con sus posibles soluciones. Se analizan los pros y contras de cada idea discutida y se votan las soluciones posibles. Las que obtengan más votos se revisan a detalle y se vota de nuevo, hasta que el proceso de eliminación deja sólo la mejor solución (Denton, 1982).

Círculos de calidad Los *círculos de calidad* son una forma de pequeños grupos, desarrollada en Japón en 1963, para ayudar a resolver problemas de control de calidad. La esencia es la solución participativa de problemas en grupos de ocho a 10 personas, incluyendo trabajadores, ingenieros y administradores. Es importante tener participantes de cada departamento involucrado en el producto. Se da capacitación especial a estos voluntarios sobre técnicas de control estadístico de calidad y por lo general las juntas se realizan una o dos veces al mes. Con la ayuda de un facilitador, el grupo selecciona un problema que provoque defectos y potencialmente pueda tener solución. Normalmente se usan técnicas de exploración operativa como la distribución de Pareto y los diagramas de pescado (capítulo 2) para ayudar a identificar el problema y los factores involucrados. En consecuencia, el grupo recomienda las soluciones potenciales como mejorar los procedimientos o cambiar el diseño e intenta implantar la solución. Todo esto se hace con la cooperación de la administración (Konz y Johnson, 2000).

Equipos de ergonomía Una extensión lógica de los círculos de calidad para combatir las altas tasas de desórdenes músculo-esqueléticos en las compañías de Estados Unidos es el equipo de ergonomía. Típicamente, éstos son equipos interdisciplinarios integrados por un ergonomista (si hay uno en el personal), un ingeniero industrial, un especialista en seguridad, una persona del área de medicina (por lo general, la enfermera de la planta), varios trabajadores de producción interesados, un miembro del sindicato y quizás un representante de la alta administración. Este comité se reúne una o dos veces al mes y sigue un procedimiento similar al de los círculos de calidad en busca de soluciones a tareas que ocasionan problemas. Según la experiencia de los autores, muchas compañías, entre ellas las grandes ensambladoras de autos y compañías más pequeñas de menos de 500 empleados, han experimentado un éxito considerable al usar este tipo de equipos.

GRANDES AUDIENCIAS

Los ingenieros industriales o los administradores de nivel medio rara vez presentan información a grandes grupos, por lo que este tema no se presentará aquí. Existe una gran cantidad de información en otras fuentes sobre la producción de presentaciones y el uso eficaz de técnicas de distribución para grandes audiencias.

RELACIONES LABORALES

Todos los dueños de empresas reconocen la importancia de concretar una relación armoniosa entre la fuerza de trabajo y la administración. La falta de consideración del elemento humano en los procedi-

mientos de medición del trabajo puede causar problemas y reducir la rentabilidad de las operaciones. La administración debe identificar e implantar las condiciones que permitan a los empleados lograr los objetivos de la organización.

Para entender la relación entre la medición del trabajo y las relaciones laborales, los analistas deben entender los objetivos principales de un sindicato típico, como asegurar niveles de salarios más altos para sus miembros, disminuir las horas de trabajo por semana, aumentar las prestaciones y los beneficios marginales, mejorar las condiciones y la seguridad en el trabajo. La filosofía que apoya el movimiento sindical tuvo, en el pasado, mucho que ver con la oposición a los sistemas de incentivos. Los sindicatos intentaban unir a los trabajadores mediante la búsqueda de fines comunes a todos sus miembros y hacer hincapié en las diferencias entre las aptitudes e intereses de los trabajadores no era ventajoso para los primeros sindicatos. En consecuencia, la mano de obra organizada solía buscar incrementos porcentuales de salarios para todos los miembros de un grupo y no medios para adecuar la remuneración según el valor del trabajador individual. El trabajo de los analistas de medición comenzó a verse como un medio con el cual la administración trataba de destruir la solidaridad de los trabajadores al resaltar las diferencias entre sus capacidades.

Debido a los cambios recientes hacia una naturaleza más competitiva de la manufactura, con más mano de obra extranjera y subcontratación, y con un movimiento más fluido de capital e instalaciones de producción, los sindicatos han perdido mucho de su poder anterior. Por lo tanto, son unidades menos combativas que los comités que se encargan de la negociación salarial para sus miembros. Para satisfacer a la mayoría de sus miembros deben obtener salarios equitativos (reconociendo las distintas aptitudes y cualidades de los trabajadores), así como salarios altos para todos. En realidad, en muchos casos los sindicatos ya han tenido ese tipo de logros.

En la actualidad, muchos sindicatos capacitan a su propio personal de medición del trabajo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas personas de estudio de tiempos están contratadas para verificar los tiempos estándar y explicarlos a los trabajadores y no para tomar parte en su establecimiento original. En muchos casos, la capacitación en estudios de tiempos que imparte la compañía a los representantes del sindicato ha tenido éxito como medio para promover una atmósfera de mayor cooperación en la planta y el mantenimiento de los métodos, estándares y sistemas de salarios. Este procedimiento proporciona la capacitación conjunta del personal de la compañía y el sindicato. Cuando reciben esta capacitación, los representantes sindicales están mejor calificados para evaluar la equidad y exactitud de la técnica y analizar cualquier punto técnico relativo a un caso específico.

18.6 PRÁCTICAS MODERNAS DE ADMINISTRACIÓN

MANUFACTURA ESBELTA

Debido a su interés en elaborar un proceso de manufactura estricto y eficiente con base en métodos similares a los descritos en capítulos anteriores, y a la vez mantener la participación activa del trabajador, el sistema de producción Toyota (SPT) merece atención especial. El Sistema de Producción Toyota fue desarrollado por la Toyota Motor Corporation como una forma de eliminar el desperdicio a consecuencia del embargo petrolero de 1973. Su propósito primordial es la mejora de la productividad y la reducción de los costos mediante la aplicación del sistema de administración científica de Taylor y de la línea de ensamblado en masa de Ford. Sin embargo, es un concepto mucho más amplio que se dirige no sólo a los costos de manufactura sino también a los costos de ventas, y a los costos administrativos y de capital. Toyota sintió que sería peligroso seguir a ciegas el sistema de producción en masa de Ford, que funcionaba bien en tiempos de alto crecimiento. En épocas de menor crecimiento, era importante prestar atención a la reducción del desperdicio, la disminución de costos y el incremento de la eficiencia. En Estados Unidos este enfoque de SPT recibe el nombre de *manufactura esbelta*.

El SPT resalta siete tipos de desperdicio o *muda* (en japonés) (Shingo, 1981): 1) sobreproducción, 2) esperas para el siguiente paso, 3) transporte innecesario, 4) sobreprocesamiento, 5) inventario excesivo, 6) movimientos innecesarios y 7) productos defectuosos. Todos ellos son muy semejantes a las técnicas de análisis de operaciones y los enfoques de estudio de métodos que se presentaron en los capítulos 2 y 3. Por ejemplo, esperar y transportar son elementos que se examinan directamente

mediante las gráficas de flujo del proceso para su eliminación o mejora potencial hacia distribuciones más eficientes y un mejor manejo de material. El procesamiento en exceso significa que se va a gastar energía por parte de los operarios y las máquinas con poco valor agregado al producto y regresa a las preguntas básicas realizadas en el análisis del capítulo 3. El desperdicio de movimientos resume el trabajo de toda la vida de los Gilbreth sobre el estudio de movimientos, que culmina en los principios de diseño del trabajo y economía de movimiento. También incluye los movimientos grandes de los operarios, los cuales deben minimizarse mediante una distribución más eficiente de la estación de trabajo o de las instalaciones. Los desperdicios de sobreproducción e inventarios se basan en el sentido común sobre los requerimientos adicionales de almacenamiento y manejo de materiales para movilizar los artículos hacia dentro y hacia fuera del almacén además de los costos de iluminación, calefacción y mantenimiento. Por último, el desperdicio por productos defectuosos es obvio, puesto que necesitan retrabajo. En lugar de un nivel de calidad aceptable que se encuentra en la producción en masa, la manufactura esbelta hace hincapié en la producción justo a tiempo que requiere una política de calidad de cero defectos en las partes.

Otros elementos clave del SPT son: 1) *keiretsu*, un sistema a favor del proveedor, que suministra partes de calidad de una manera oportuna; 2) *poke-yoke*, un sistema de control de calidad para prevenir errores; 3) producción *justo a tiempo* (*Just in time*: JIT) con su *jidoka* asociado, control de defectos autónomo o no dejar que una unidad defectuosa interrumpa un proceso subsecuente; 4) el sistema *kanban*, que es un método de tarjetas con la información del producto que acompaña al producto durante todo el ciclo de producción, para mantener el JIT; 5) la fuerza de trabajo flexible, como un número variable de trabajadores en respuesta a los cambios de demanda; 6) *kaizen*, o actividades de mejora continua (Imai, 1986), y (7) el respeto por el trabajador y un sistema de sugerencias para estimular el "pensamiento creativo" de los empleados.

JIT se basa en un control de la producción con un *sistema de jalar* en el cual la demanda de partes proviene de la estación que se encuentra abajo en el flujo, en lugar de un *sistema empujar*, en el cual las partes se producen de manera independiente a las necesidades del sistema, lo que genera largas colas y cuellos de botella. Un componente necesario de JIT es el intercambio de matrices en un minuto (SMED, *single minute exchange of die*). El sistema SMED se compone de una serie de técnicas desarrolladas por Shingo (1981) para realizar cambios en la maquinaria de producción en menos de 10 minutos. Obviamente, el objetivo a largo plazo es la cero preparación, en el que los cambios son instantáneos y no interfieren de ninguna manera con el flujo continuo del trabajo.

El corolario de las siete mudas es el sistema de las 5*S* para reducir el desperdicio y optimizar la productividad al mantener un sitio del trabajo ordenado y métodos consistentes. Los pilares de las 5*S* son: 1) *clasificar* (seiri), 2) *poner en orden* (seiton), 3) *limpiar* (seiso), 4) *estandarizar* (seiketsu) y 5) *sostener* (shitsuke). La *clasificación* se enfoca en remover todos los artículos innecesarios del sitio de trabajo y dejar sólo los elementos esenciales. *Poner en orden* significa arreglar los artículos necesarios de manera que sea fácil encontrarlos y usarlos. Una vez que se remueve el desorden, la *limpieza* asegura el aseo y la pulcritud posteriores. Después de implantar los tres primeros pilares, la *estandarización* sirve para mantener el orden y el enfoque consistente en el aseo y los métodos. Por último, *sostener* implica mantener el proceso completo de las 5*S* de manera regular.

Se han presentado grandes éxitos con la implantación del SPT, que van de la Toyota misma a pequeños proveedores, como Showa (Womack y Jones, 1996). Para mayores detalles sobre el sistema de producción Toyota consulte las fuentes originales de Shingo (1981), Imai (1986) y Ohno (1988), y para lecturas más sencillas y comprensibles consulte Monden (1993) y Womack y Jones (1996).

CALIDAD TOTAL

La calidad es un concepto que todos entienden intuitivamente, pero es difícil de definir. Todos pueden relacionar el hecho de comer en un restaurante y juzgar su calidad por el sabor de la comida, la rapidez y cortesía del servicio, el costo y el ambiente. Dos aspectos comunes a todos estos factores son los resultados y la satisfacción de los clientes. En otras palabras, ¿el producto o servicio cumple o excede la satisfacción del cliente? Aún más: la calidad es un estado siempre cambiante que debe mantenerse en forma permanente mediante un programa de *mejora continua*. La *calidad total* es un concepto mucho más amplio que abarca no sólo el aspecto de los resultados sino también la calidad del proceso, los materiales, el entorno y las personas.

Se puede considerar que el movimiento de calidad total, igual que el de medición del trabajo, evolucionó a partir de los *Principios de la Administración Científica*, de F. W. Taylor. Los desarrollos posteriores surgieron debido al efecto de la Segunda Guerra Mundial en las industrias estadounidenses y japonesas. Mientras que las compañías de Estados Unidos se enfocaron más en cumplir con las fechas de entrega que en la calidad, lo cual continuó mucho después de la guerra, las de origen japonés se vieron forzadas a competir con compañías establecidas en el resto del mundo. Esto sólo fue posible gracias a la importancia que se le otorgó a la calidad de sus productos durante los siguientes 20 años.

El esfuerzo japonés concentrado en la mejora continua de la calidad y los círculos de calidad se inició principalmente con las filosofías y trabajos de tres individuos: W. E. Deming, J. M. Juran y A. V. Feigenbaum. Después de su trabajo en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, Deming se convirtió en consultor de las industrias japonesas y, en todos los casos, convenció a la alta administración del poder de los métodos estadísticos y la importancia de la calidad como un arma competitiva. Deming es más conocido por sus 14 puntos (vea la tabla 18.4) y el Premio Deming de calidad establecido por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros.

Juran es uno de los fundadores del control estadístico de la calidad y es más conocido por su *Quality Control Handbook* (Juran, 1951), una referencia obligada en el área. La filosofía de Juran se basa en la organización e implantación de mejoras mediante "innovaciones administrativas" resumidas en los 10 pasos hacia la mejora de la calidad (vea la tabla 18.5).

Tabla 18.4 Catorce puntos de Deming

1. Crear fidelidad al propósito del mejoramiento de los productos y servicios a fin de lograr la competitividad, permanecer en el negocio y proporcionar empleos.
2. Adoptar una nueva filosofía. La administración debe aprender que se vive una nueva era económica y aceptar el reto, aprender sus responsabilidades y asumir el liderazgo para el cambio.
3. Dejar de depender de la inspección para lograr calidad. Producir calidad desde el principio.
4. Dejar de conceder contratos con base en cotizaciones bajas.
5. Mejorar continuamente y para siempre el sistema de producción y servicios, a fin de mejorar la calidad y la productividad y, por ende, reducir los costos de manera constante.
6. Instituir la capacitación en el lugar de trabajo.
7. Instituir el liderazgo. El propósito del liderazgo debe ser ayudar a las personas y la tecnología para que trabajen mejor.
8. Eliminar el miedo para que todos puedan trabajar con eficacia.
9. Romper las barreras entre departamentos para que las personas puedan trabajar como un equipo.
10. Eliminar las frases hechas, las exhortaciones y las metas para la fuerza de trabajo. Crean animosidad en las relaciones.
11. Eliminar las cuotas y la administración por objetivos. Sustituirla por el liderazgo.
12. Eliminar barreras que evitan que los empleados estén orgullosos de su trabajo.
13. Instituir un programa vigoroso de educación y superación personal.
14. Realizar la transformación del trabajo y lograr que todos participen.

Tabla 18.5 Diez pasos de Juran para la mejora de la calidad

1. Crear conciencia de la necesidad y de las oportunidades de mejora.
2. Establecer metas para la mejora.
3. Organizar el cumplimiento de las metas establecidas.
4. Proporcionar capacitación.
5. Implantar proyectos dirigidos a resolver problemas.
6. Informar sobre el progreso.
7. Dar reconocimiento.
8. Comunicar los resultados.
9. Registrar calificaciones.
10. Mantener la inercia construyendo las mejoras dentro de los sistemas normales de la compañía.

Feigenbaum fue uno de los primeros en introducir el concepto de programa de control de calidad en toda la compañía, en su libro *Total Quality Control* (1991, 3a. ed.), que se usó ampliamente en Japón en la década de 1950. Recién a finales de la década de 1980 y principios de la siguiente que el concepto de calidad total comenzó a tener gran aceptación en Estados Unidos con el nombre de *administración de la calidad total* (TQM, *Total Quality Management*), *aseguramiento de la calidad total* (TQA, *Total Quality Assurance*) o programas más especializados, específicos de una compañía, como el Seis Sigma, de Motorola.

En general, la calidad total (TQ, *Total Quality*) es una forma de hacer negocios que maximiza la competitividad de una compañía mediante la mejora continua de sus productos, servicio, personal, proceso y entorno. Los elementos clave de TQ incluyen una estrategia que abarca toda la compañía, incluso una obsesión, sobre la calidad donde el cliente indica el curso a seguir. TQ utiliza un enfoque científico, la participación del empleado (en especial el trabajo en equipo), la educación y la capacitación, un compromiso a largo plazo y un propósito de unidad. El proceso no siempre es sencillo y debe ser un trabajo continuo para el logro de las mejoras. Además, la reducción de costos mediante una mayor conciencia de los costos del ciclo de vida, mejoras en el diseño de producto/proceso y mejor control de procesos con sistemas de manufactura integrales son factores importantes para el éxito de la calidad total. Se pueden encontrar más detalles sobre calidad total y componentes específicos del programa en Goetsch y Davis (1997).

ISO 9000

Relacionada con la calidad total se encuentra la certificación ISO 9000. ISO 9000 es un estándar del control de la calidad desarrollado por la International Standards Organization (ISO 9000, 1993). (En la actualidad comprende un conjunto de cinco estándares, ISO 9000-9004.) Por definición, ISO 9000 se refiere sólo a los procedimientos de revisión de contrato, desarrollo, producción, instalación y servicio de productos o servicios.

La certificación ISO 9000 asegura que los productos o servicios de una compañía son consistentes con un cierto nivel de calidad. En Estados Unidos, esta certificación se realiza a través del Registration Accreditation Board, conformado por personal del American National Standards Institute y de la American Society for Quality Control. Sin embargo, éste es un grupo privado voluntario y no tiene el peso de la autorización gubernamental, como en otros países. Donde ISO 9000 se limita primordialmente a los procesos que usa una compañía, la calidad total abarca todos los aspectos de esa compañía, entre ellos la fuerza de trabajo y el entorno. Así, ISO 9000 es compatible con la calidad total, y puede decirse que es un subconjunto de ella, que sirve para asegurar que una compañía es competitiva en un mercado global (Goetsch y Davis, 1998).

RESUMEN

En gran medida, el trabajo de los ingenieros industriales influye sobre las relaciones laborales dentro de las empresas. Al menos, en ellas deben conocer la naturaleza de la capacitación que se proporciona a los operarios y el efecto que tendrá en las curvas de aprendizaje y el establecimiento de estándares de producción. Además, como afectan el pago de salarios a los empleados, también deben comprender las actitudes, preocupaciones y problemas de los trabajadores así como de los sindicatos que los representan. Al sentar nuevos métodos y estándares, ya sea usando herramientas tradicionales o enfoques más actuales de manufactura esbelta, siempre deben actuar de una manera razonable y justa, tanto para la compañía como para los trabajadores. En todo momento, deben estar concientes de la necesidad de usar el enfoque humano.

PREGUNTAS

1. ¿Por qué es necesaria la capacitación de los operarios?
2. ¿Cómo se cuantifica el aprendizaje?
3. ¿Cuál es la diferencia entre los modelos de aprendizaje de Crawford y Wright?
4. ¿Qué es el retroceso y cómo afecta a la curva de aprendizaje?
5. ¿Cómo debe usar el analista de estándares las curvas de aprendizaje?
6. ¿Cuáles son los cinco estados relacionados con las reacciones psicológicas y sociológicas del operario que debe reconocer el analista?

7. ¿Qué significa el enfoque humano?
8. Mencione 12 formas que pueden lograr que las personas estén de acuerdo con sus ideas.
9. ¿Por qué es un paso saludable para la administración proporcionar capacitación en las áreas de medición del trabajo en toda la planta?
10. ¿Por qué los analistas experimentados deben verificar de manera continua su aptitud para calificar el desempeño?
11. ¿Por qué los sindicatos con frecuencia capacitan a sus propios analistas de estudio de tiempos?
12. ¿Cuáles son los estados del ego en el análisis transaccional?
13. ¿Qué es una transacción cruzada?
14. ¿Qué niveles de transacciones funcionan mejor para tratar a los trabajadores?
15. ¿Qué es una transacción ulterior?
16. ¿Qué es un círculo de calidad?
17. Compare y contraste los motivadores intrínsecos y extrínsecos.
18. ¿Cómo opera el desempeño de papeles en los equipos ergonómicos?
19. ¿Cómo se involucra la administración de la calidad total en las prácticas administrativas modernas?
20. ¿En qué difieren el enriquecimiento y la ampliación del trabajo?
21. ¿Cuáles son los siete tipos de desperdicio?
22. ¿Qué es la mejora continua y por qué es importante?
23. Defina manufactura esbelta.
24. ¿Qué se entiende por producción justo a tiempo?
25. ¿Qué es el sistema de las 5*S*?
26. ¿Cuál es la diferencia entre un sistema de jalar y uno de empujar?
27. ¿Qué es kanban?
28. ¿Qué significa SMED y cómo se relaciona con JIT?

PROBLEMAS

1. Un nuevo empleado de la Dorben Co. tardó 186 y 140 minutos en ensamblar el cuarto y octavo ensambles, respectivamente. El tiempo estándar para ensamblar este producto es de 100 minutos.
   a) Calcule la curva de aprendizaje de este trabajador.
   b) ¿Cuántos ensambles son necesarios para que el trabajador logre el tiempo estándar? ¿Cuánto tiempo implica esto?
2. Un experto en capacitación sugiere que debe asignarse un mínimo de 40 horas de aprendizaje. ¿Qué tiempo habrá logrado el trabajador del problema 1 en este punto?
3. Trabajadores nuevos en ensamblar carburadores tardan 15 minutos para terminar su primer ensamble. Suponga una curva de aprendizaje de 95%, ¿cuánto tiempo es necesario para que lleguen a un tiempo estándar de 10 minutos?
4. En una síntesis de MTM, el tiempo estándar para un ensamble C se calcula en 1.0 min. Un trabajador nuevo suele emplear cerca de 2 minutos para el primer ensamble y baja a 1.7 minutos en el quinto.
   a) Calcule y grafique la curva de aprendizaje.
   b) ¿Cuál es el porcentaje de aprendizaje?
   c) ¿Cuánto tiempo tardará el nuevo trabajador en alcanzar el desempeño estándar?
5. La Dorben Co. aplica un plan horario estándar con un salario base de 9.00 dólares/hora. Contrata a un ingeniero industrial consultor para planear una corrida de producción con lotes de 300 unidades. Este consultor tiene una trabajadora en la línea que produce dos unidades. Para la primera emplea 10 minutos y para la segunda 9.7 minutos.
   a) Encuentre la ecuación de la curva de aprendizaje.
   b) ¿Cuál es el porcentaje de aprendizaje?
   c) ¿Cuánto tiempo tardará la trabajadora en lograr el tiempo estándar de ocho minutos?
   d) Suponga que la trabajadora intenta mejorar para ganar el pago del incentivo. ¿Cuánto ganará la trabajadora las primeras 20 horas con el plan de hora estándar?
   e) Suponiendo que la trabajadora continúa mejorando su desempeño, ¿cuánto le pagarán por el lote completo de 300 unidades con el plan de hora estándar?
   f) ¿Cuál es el costo unitario de la primera unidad producida? ¿Cuál es el costo de la unidad 300?
6. Un analista estimó que habrá una curva de aprendizaje de 84% para una operación de ensamble. El primer ensamble toma 48 minutos y el tiempo estándar se establece en seis minutos.
   a) ¿Cuánto tiempo le tomará al operario alcanzar el tiempo estándar?

b) Desafortunadamente, el operario se enferma después de la primera semana en la nueva operación de ensamblado y regresa después de una semana. ¿Cuál será ahora el tiempo estimado para que el operario logre el tiempo estándar?

REFERENCIAS

Anónimo, "Just What Do You Do? Mr. Industrial Engineer", en *Factory*, 122 (enero de 1964), pp. 83-84.

Balyeat, R. E., "A Survey: Concepts and Practices in Industrial Engineering", en *Journal of Industrial Engineering*, 5 (mayo de 1954), pp. 19-21.

Berne, E., *Games People Play*, Nueva York: Grove Press, 1964.

Carnegie, Dale, *How to Win Friends and Influence People*, Nueva York: Simon & Schuster, 1936. (www.dalecarnegie.com)

Crawford, J. R., "Statistical Accounting Procedures in Aircraft Production", en *Aero Digest* (15 de marzo de 1994), pp. 78-81, 222, 224 y 226.

Deming, W. Edwards, *Out of the Crisis*, Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1986.

Denton, K., *Safety Management, Improving Performance*, Nueva York: McGraw-Hill, 1982.

Feigenbaum, A. V. *Total Quality Control*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1991.

Freivalds, A., S. Konz, A. Yurgec y J. H. Goldberg, "Methods, Work Measurement and Work Design: Are We Satisfying Customer Needs?", en *The International Journal of Industrial Engineering*, 7, núm. 2 (junio de 2000), pp. 108-114.

Goetsch, D. L. y S. B. Davis, *Introduction to Total Quality*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Goetsch, D. L. y S. B. Davis, *Understanding and Implementing ISO 9000 and ISO Standards*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

Hancock, W. M. y F. H. Bayha, "The Learning Curve", en *The Handbook of Industrial Engineering*, Ed. G. Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Herzberg, F., *Work and the Nature of Man*, Cleveland, OH: World Publishing, 1966.

Imai, M. *Kaizen*. Nueva York: Random House, 1986.

ISO 9000: International Standards for Quality Management, 3a. ed., Ginebra, Suiza: International Standards Organization, 1993.

Juran, J. M., *Quality Control Handbook*, Nueva York: McGraw-Hill, 1951.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed. Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway, Inc., 2000.

Majchrzak, A., "Management of Technological and Organizational Change", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2da. ed. Ed. Gavriel Salvendy. Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Maslow, A., *Motivation and Personality*, 2a. ed., Nueva York: Harper & Row, 1970.

Monden, Y., *Toyota Production System*, Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 1993.

Ohno, T., *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, OSHA 3123, Washington, DC: The Bureau of National Affairs, Inc., 1990.

Santos, J., R. Wysk y J. M. Torres, *Improved Production with Lean Thinking*, Nueva York: John Wiley & Sons, 2006.

Shingo, S., *Study of Toyota Production System from Industrial Engineering Viewpoint*, Tokio, Japón: Japan Management Association, 1981.

Taylor, F. W., *The Principles of Scientific Management*, Nueva York: Harper, 1911.

Womack, J. P. y D. T. Jones, *Lean Thinking*, Nueva York: Simon & Schuster, 1996.

Wright, T. P., "Factors Affecting the Cost of Airplanes", en *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3 (febrero de 1936), pp. 122-128.

SOFTWARE SELECCIONADO

DesignTools (disponible en el sitio web de McGraw-Hill para el texto en www.mhhe.com/niebels-freivalds).

SITIO WEB:

www.dalecarnegie.com

Glosario

APÉNDICE 1

3E Enfoque preferido para la acción correctiva: rediseño de **ingeniería** (*engineering*) para asegurar la seguridad estricta sin confiar en el cumplimento del operario; **educación** (*education*) que confía en el cumplimiento del operario de una manera positiva; y **reforzamiento** (*enforcement*) de reglas estrictas que pueden tener connotaciones negativas.

5S Sistema para reducir el desperdicio y optimizar la productividad mediante el mantenimiento de un sitio de trabajo ordenado y el uso de métodos consistentes.

A

Acido láctico Producto secundario del metabolismo anaeróbico, causa de la sensación de fatiga.

Acoplamiento de máquinas Práctica de asignar a un empleado la operación de más de una máquina.

Acuerdo facilitador Proceso para obtener un consenso mediante el involucramiento de manera positiva a todos los miembros del grupo.

Adaptación al trabajo Capacitación física en una tarea simulada para aclimatar al trabajador a las condiciones de la línea de producción.

Administración de la seguridad Enfoque estratégico para la planeación global, la educación y la capacitación en actividades de seguridad.

Aeróbico Trabajo muscular para el que la inhalación de oxígeno es precisa.

Agarrar Movimiento elemental de la mano al cerrar los dedos alrededor de una pieza.

Agarre de contracción Tipo de agarre que no incluye todos los dedos, al contrario del agarre de potencia; en consecuencia, se produce menor fuerza pero mayor precisión.

Agarre de fuerza Agarre cilíndrico óptimo para la fuerza que usa todos los dedos y en el que el pulgar apenas se superpone con el índice.

Agonista Músculo principal involucrado en el movimiento deseado.

Agrupar Reunión de artículos similares para facilitar su localización.

Alfanumérico Conjunto de todas las letras (a-z) y dígitos numéricos (0-9).

Algoritmo Especificaciones paso a paso de la solución de un problema, que casi siempre se representa por un diagrama de flujo, que con el tiempo se convierte en un programa.

Alimentación Velocidad a la que se mueve la herramienta de corte en el trabajo, como en el barrenado y el torneado, o la tasa a la cual se mueve el trabajo a través de la herramienta de corte.

Alimentación por gravedad Transporte de material hacia o desde una estación de trabajo que aprovecha la fuerza de gravedad.

Almacén Instalación para guardar productos durante largos periodos entre etapas de producción, o para guardar productos terminados.

Almacenamiento sensorial Memoria transitoria localizada en la etapa de entrada de un canal sensorial.

Almacenar Manejo con el propósito de posicionar o asegurar los bienes en el espacio designado.

Ampliación del trabajo Expansión horizontal o diversificación del trabajo, para evitar el trabajo repetitivo.

Anaeróbico Trabajo muscular para el que la inhalación de oxígeno no es precisa.

Análisis costo-beneficio Tipo de análisis en el que los costos totales esperados se ponderan en relación con los beneficios esperados totales de una o más intervenciones, con el fin de elegir la mejor opción o la más rentable.

Análisis de árbol de fallas Proceso deductivo probabilístico que emplea un modelo gráfico de combinaciones de eventos o fallas en serie o en paralelo, las cuales conducen al evento indeseable global, por ejemplo, un accidente.

Análisis de características Desglose de objetos en las formas geométricas que los componen o de texto en palabras y cadenas de caracteres.

Análisis de filmación Observación cuadro por cuadro y estudio de la filmación de un operario o proceso, con el objeto de mejorar esa operación o proceso.

Análisis de la chi-cuadrada Herramienta estadística que se utiliza para identificar si un departamento es significativamente más peligroso que otro, con base en la prueba de precisión de ajuste de la chi-cuadrada entre una muestra y una distribución poblacional en la forma de datos categóricos de la tabla de contingencia.

Análisis de la operación Proceso de investigación sobre las operaciones en la fábrica o el trabajo de oficina. En general, proceso para lograr la estandarización de la operación, que incluye el estudio de tiempos y movimientos.

Análisis de octava de banda Análisis de ruido con un dispositivo de filtrado especial con el que el medidor de nivel de sonido lo descompone en frecuencias.

Análisis de Pareto Técnica exploratoria donde los artículos de interés se identifican y miden en una escala común y se arreglan en orden ascendente, lo que crea una distribución acumulada; por lo general, 20% de los artículos son responsables de 80% o más de la actividad total, lo que sugiere el término alternativo de *regla 80-20*.

Análisis de redes Técnica de planeación usada para analizar la secuencia de actividades y sus interrelaciones dentro de un proyecto.

Análisis de riesgo Proceso probabilístico que se emplea para determinar los factores de riesgo presentes, sus características y el valor global del éxito o el fracaso.

Análisis de seguridad en el trabajo Procedimiento para identificar los peligros asociados con cada paso de un trabajo con el propósito de mejorar la seguridad de toda la tarea.

Análisis del trabajo Procedimiento para realizar una cuidadosa evaluación de cada trabajo y registrar sus detalles para evaluar de manera equitativa.

Análisis transaccional Enfoque para comunicarse con las personas que usan los conceptos de 1) estados del ego, 2) transacciones y 3) palmadas positivas.

Ancho de banda Velocidad máxima de procesamiento de información de un canal de comunicación dado.

Ángulo visual Ángulo subtendido en el ojo por el objetivo.

Antagonista Músculo que se opone al agonista y al movimiento deseado.

Antropometría Ciencia que se ocupa de la medición del tamaño físico del ser humano.

Aptitud Experiencia o facilidad para seguir un método prescrito.

Área de trabajo máxima Área que alcanza con facilidad un operario al extender completamente sus brazos, cuando trabaja en posición normal.

Área de trabajo normal Espacio del área de trabajo que se puede alcanzar con la mano izquierda o derecha, en el cual los codos actúan como pivote en la orilla de la estación de trabajo.

Asistentes digitales personales (PDA) Computadoras personales tamaño bolsillo operadas con un estilete.

Asociaciones Relaciones concretas de un nombre o palabra con el conocimiento previo, utilizando las expectativas y estereotipos del usuario; es útil para mantener la memoria a largo plazo.

Atención dividida Recursos de atención aplicados de manera difusa a varias partes o incluso a todo el sistema humano de procesamiento de información.

Atención enfocada Recursos de atención aplicados de manera muy directa, como un objeto resaltado en una parte específica del sistema de procesamiento de información humano.

Atención sostenida Capacidad de un operario para mantener sus recursos de atención y permanecer alerta por periodos prolongados; también se denomina **vigilancia**.

ATP Trifosfato de adenosina; unidad de energía inmediata necesaria para la contracción muscular.

Automatización Aumento de la mecanización para producir bienes y servicios.

Autosatisfacción Logro final de todas las necesidades que contempla la jerarquía de Maslow. El trabajador logra satisfacer su ego.

B

Balanceo de líneas Problema que consiste en determinar el número ideal de trabajadores asignados a una línea de producción.

Bandera roja Señal de un problema de seguridad potencial indicado por lesiones por debajo o por encima de los límites de control.

Barra de herramientas Colección de botones o iconos en una interfaz gráfica de usuario.

Base de datos Colección de datos que se pueden procesar en diversas aplicaciones.

Bastones Fotorreceptores del ojo sensibles al blanco y al negro, especialmente en la noche, y que tienen poca agudeza visual.

Beta Razón de la altura de la señal a las curvas de ruido del criterio de respuesta.

Biomecánica Aplicación de los principios de mecánica, como palancas, ventaja mecánica y fuerzas, al análisis de la estructura y movimiento de las partes del cuerpo.

Bit Cantidad de información que se obtiene de dos alternativas igualmente probables.

Botones Ventanas aisladas de imagen dentro de la imagen principal en una pantalla que el usuario puede seleccionar para invocar acciones específicas, parte esencial de una interfaz gráfica de usuario.

C

CAD Diseño asistido por computadora.

Calidad total Enfoque administrativo japonés que engloba la calidad de todos los aspectos de una empresa (procesos, materiales, personal, entorno) mediante un proceso de mejora continua.

Calificación *Vea* **Calificación del desempeño**.

Calificación de méritos Método de evaluación del valor de un empleado de la compañía en términos de cantidad y calidad del trabajo, formalidad y contribución general a la compañía.

Calificación de velocidad Método para calificar en el que el analista mide la eficacia del operario contra el concepto de un operario calificado que realiza el mismo trabajo con un desempeño estándar.

Calificación del desempeño Asignación de un porcentaje al tiempo observado promedio del operario, con base en su desempeño real comparado con la concepción del observador del desempeño estándar.

Calificación del esfuerzo percibido Medio para evaluar el esfuerzo durante las actividades dinámicas de todo el cuerpo.

Calificación del ritmo Método para calificar la velocidad mediante el empleo de una serie de puntos de comparación para ayudar a definir el desempeño.

Calificación mediante el reloj Procedimiento de calificación incorrecto mediante el cual el analista recurre a tiempos observados con anterioridad para calificar al operario.

Calificación objetiva Método de calificación que establece una sola asignación de trabajo con la que se compara el ritmo del resto de las tareas.

Calificación sintética Sistema para calificar el desempeño, según el cual los tiempos observados elementales se deben comparar con los tiempos desarrollados mediante sistemas de tiempos predeterminados.

Candado encendido Tipo de medida de seguridad cuyo objetivo es mantener un evento o dispositivo en un estado ener-

gizado de manera que no se pueda apagar accidentalmente.

Candela Medida de la intensidad luminosa de una fuente de luz.

Cansancio después de comer Disminución del desempeño y los ritmos circadianos después del mediodía.

Capacidad de canal Vea **Ancho de banda**.

Capacidad de logro Característica percibida que proporciona la acción deseada, por ejemplo, una puerta con manija que se abre al jalarla.

Carga de trabajo mental Demandas cognitivas impuestas sobre el procesador de información humano.

Carga unitaria Material empacado. Con frecuencia, unidad de transporte estandarizada.

Causa asignable Fuente de variación que puede aislarse en un proceso u operación.

Causas múltiples Extensión de la teoría dominó; detrás de cada accidente o lesión puede haber muchos factores, causas y condiciones que contribuyen a su ocurrencia.

Cerradura Tipo de medida de seguridad para evitar que individuos sin autorización entren a un área peligrosa.

Cervical Parte de la columna vertebral localizada en el cuello.

Ciclo Serie de elementos que ocurren en un orden regular y hacen posible una operación. Estos elementos se repiten cuando se realiza de nuevo la operación.

Ciclo de trabajo Secuencia total de movimientos y eventos que comprende un sola operación.

Círculos de calidad Pequeños grupos que se constituyen para la solución participativa de problemas.

Citación Declaración de falta y penalizaciones potenciales establecidas por la OSHA en relación con violaciones de los estándares por ella establecidos.

Clasificación Colocación de trabajos, estándares, etc., en categorías específicas.

Cláusula de deberes generales Párrafo introductorio del acta de OSHA que establece que cada empleador "debe proporcionar un lugar de trabajo libre de peligros reconocidos que causen o que puedan causar la muerte o daños físicos graves a los empleados". En ocasiones, esta frase es usada por OSHA para emitir citaciones en situaciones que no cubren los estándares de manera específica.

Claves Piezas de información que se emplean para la toma de decisiones.

Clo Cantidad de aislamiento térmico en la ropa para mantener cómoda a una persona sentada en un cuarto con ventilación normal, a 70°F y 50% de humedad relativa; se parece a un traje ligero.

Cobertura Número de tareas a las cuales se asignaron estándares durante el periodo que se reporta, o número de empleados a cuyas tareas se les asignó un estándar durante el periodo que se reporta.

Cóclea Estructura del oído medio en forma de espiral, llena de fluido, la cual es partida a lo largo por la membrana basilar.

Cojinete de tacto Forma de tableta digitalizadora sensible al tacto integrada al teclado para controlar la posición del cursor.

Comparación de factores Método para evaluar el trabajo basado en la comparación de diferentes factores laborales.

Compatibilidad Relación entre un estímulo y una respuesta, consistente con las expectativas humanas y que minimiza el conflicto; por ejemplo, una luz roja se asocia con peligro o alto.

Compensación a los trabajadores Forma de seguro que proporciona cuidado médico y compensación a los empleados y sus familias en el caso de una lesión en el curso del trabajo sin importar la existencia de falta o negligencia.

Compuerta AND Tipo de lógica booleana que requiere que ocurran todas las entradas para que suceda la salida.

Compuerta OR Tipo de lógica booleana que necesita que ocurra al menos una de las entradas para que suceda la salida.

Comunicación diádica Comunicación uno a uno, por lo general, cara a cara.

Concesión velocidad-exactitud Relación inversa entre velocidad y exactitud, es decir, cuando aumenta la exactitud, el tiempo de respuesta es más lento.

Conciencia de la situación Evaluación de todas las claves recibidas del entorno circundante.

Confiabilidad Probabilidad de éxito de un sistema, que necesariamente depende del éxito de cada uno de sus componentes.

Conos Fotorreceptores del ojo sensibles a los colores, especialmente a la luz del día, que tienen una buena agudeza visual.

Conservador Comportamiento del observador cuando el criterio cambia a la derecha, lo que ocasiona una disminución de éxitos y falsas alarmas.

Consistencia Ausencia de variación notoria o significativa en los datos numéricos o de comportamiento.

Contador Pantalla digital que muestra valores numéricos precisos.

Contador de cuadros Dispositivo que tabula en forma automática cuántos cuadros pasan por la lente del proyector.

Contraste Característica de un objeto que permite distinguirlo del fondo; en general se mide como la diferencia de luminancia entre el objeto y el fondo.

Control de punto muerto Control que requiere la aplicación continua de fuerza. Una vez que ésta se deja de ejercer, regresa a la posición cero (o segura).

Córnea Cobertura protectora externa de la pupila del ojo, que ayuda a enfocar los rayos de luz sobre la retina.

Costeo Procedimiento para determinar costos con exactitud antes de la producción.

Costo de fabricación Costos directos de material más costos directos de mano de obra más gastos de fábrica.

Costo primario Costo de material directo más costo de mano de obra directa.

Costos directos de materiales Costo de la materia prima y los componentes.

Costos estándar Costos presupuestados o preestablecidos que sirven como base para las corridas de producción y las decisiones de ventas.

Costos generales Cualquier costo de un negocio, además de los costos primarios.

Costos unitarios de mano de obra Salarios de empleados divididos entre la productividad o el desempeño del trabajador.

CP Fosfato de creatina, precursor inmediato del ATP.

Criterio de arrepentimiento minimax Estrategia de toma de decisiones en la que se calcula una matriz de valores de sentimiento negativos (diferencias entre los pagos reales y los proyectados). El analista selecciona el mínimo de los sentimientos negativos máximos.

Criterio de especulación Estrategia optimista de toma de decisiones que espera el mejor resultado sin importar la alternativa que se elija.

Criterio de respuesta Nivel de estímulo sensorial que se utiliza para decidir si existe una señal.

Criterios de pesimismo Estrategia de toma de decisiones que selecciona el resultado con la consecuencia negativa mínima.

Criticidad Medida de la severidad asociada con el evento principal de un árbol de fallas.

Cronómetro decimal de horas Cronómetro que se utiliza para medir el trabajo, cuya carátula está graduada en 0.0001 h.

Cronómetro decimal de minutos Cronómetro que se emplea para medir el trabajo, cuya carátula está graduada en 0.01 min.

Cuadro Espacio ocupado por una foto en una película o videocinta.

Curva Representación gráfica de la relación entre dos factores, uno de los cuales casi siempre es el tiempo.

Curva de aprendizaje Presentación gráfica de la disminución del tiempo para realizar una tarea; mejora del desempeño como resultado del aprendizaje.

Curva U invertida de Yerkes-Dodson Teoría que explica el cambio en el desempeño como función del nivel de estrés, que tiene forma de U invertida, es decir, desempeño bajo en niveles de estrés muy bajos o muy altos, y mejor desempeño en algunos niveles de estrés intermedios.

D

d′ En la teoría de detección de señales, medida de sensibilidad; distancia entre la media de la distribución del ruido y la media de la distribución de la media más el ruido.

Daño punitivo Pagos adicionales otorgados por los tribunales al demandante, que se usan específicamente para castigar al demandado.

Daños compensatorios Pagos otorgados por un tribunal a un demandante por costos médicos, salarios perdidos y otras pérdidas directas.

Datos estándar Colección estructurada de valores del tiempo normal de los elementos de trabajo, codificados en forma tabular o gráfica.

dBA Medida de la intensidad del sonido en una escala de ponderación que aproxima la respuesta característica del oído humano; comúnmente se la utiliza para evaluar la exposición al ruido de los trabajadores.

Decibel (dB) Unidad de intensidad de sonido; razón logarítmica de la intensidad medida sobre la intensidad de referencia.

Dedo de disparo Tendinitis en el dedo índice, causada por la detonación repetitiva de una herramienta de potencia.

Dedo pálido Oclusión del flujo de sangre a la mano debida a los efectos de la vibración. El resultado es pérdida de destreza y sensibilidad.

Déficit de oxígeno Falta de oxígeno en la que se incurre durante la etapa inicial o pesada del trabajo; suministrado por el metabolismo anaeróbico.

Demandado Persona o entidad, por lo general un empleador o el fabricante de un producto, que defiende un caso en un tribunal.

Demandante Persona que insta a un órgano judicial.

Demora Cualquier interrupción de la rutina de trabajo que no ocurre en el ciclo de trabajo típico.

Demora evitable Interrupción del trabajo productivo debido por completo al operario y que no ocurre en el ciclo de trabajo normal.

Demora inevitable Interrupción de la continuidad de una operación que sale del control del operario.

Desempeño Razón de la producción real del operario entre la producción estándar.

Desempeño estándar Desempeño esperado del operario capacitado promedio cuando aplica el método prescrito y trabaja a un ritmo estándar durante un turno de 8 horas sin fatiga indebida, por ejemplo, caminar a 3 mph.

Desensamblar Movimiento básico que se lleva a cabo cuando se separan dos partes que de alguna manera están unidas.

Desorden por trauma acumulativo (DTA) Lesión músculo-esquelética relacionada con el trabajo debida a movimientos altamente repetitivos que involucran movimientos de articulaciones con gran fuerza; también se le llama **lesión por movimientos repetitivos**.

Desviación cubital Doblez de la muñeca que provoca que el meñique se mueva hacia el brazo.

Desviación radial Doblez de la muñeca tal que el pulgar se mueve hacia el brazo.

Detección Determinación de si un estímulo se encuentra presente en la actualidad.

Determinación de tasas Acto de establecer las tasas monetarias o los valores de tiempo en cualquier operación.

Deuda de oxígeno Incremento de la actividad metabólica después del trabajo para recuperar el déficit de oxígeno.

Diagrama de descripción del proceso Representación gráfica sencilla de todas las operaciones que se llevan a cabo en un proceso de manufactura.

Diagrama de flujo Representación gráfica de la distribución de un proceso, que muestra la localización de todas las actividades que aparecen en el diagrama de flujo del proceso y las trayectorias de viaje del proceso.

Diagrama de flujo del proceso Representación gráfica de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos que ocurren durante un proceso o procedimiento. El diagrama incluye información que se considera deseable para el análisis, como el tiempo que se requiere y la distancia que se debe recorrer.

Diagrama de proceso Representación gráfica de un proceso de manufactura.

Diagrama de proceso bimanual Diagrama que muestra los movimientos que realiza una mano en relación con los que

realiza la otra; usa las abreviaturas o símbolos de los therbligs.

Diagrama de proceso de grupo Diagrama de las actividades simultáneas de una o más máquinas o uno o más operarios.

Diagrama de proceso de la operación Representación gráfica de una operación que muestra todos los métodos, inspecciones, holguras y materiales que se usan en un proceso de manufactura.

Diagrama de proceso del operario *Vea* **Diagrama de proceso bimanual**.

Diagrama de proceso hombre-máquina Diagrama que muestra la relación exacta en el tiempo entre el ciclo de trabajo del operario y el ciclo de operación de la(s) máquina(s).

Diagrama de relaciones Diagrama que expresa los grados relativos de cercanía entre las actividades, áreas, departamentos, habitaciones, etc., para lograr la mejor distribución de las instalaciones.

Diagrama de viaje Tabla que proporciona las distancias recorridas entre puntos de una instalación de manufactura o de negocios.

Diagrama simo Diagrama de proceso bimanual con medidas de tiempos realizadas con microcronómetro como parte de un estudio de micromovimientos.

Diagramas de causa-efecto Vea **Diagramas de pescado**.

Diagramas de pescado (causa-efecto) Método para definir la ocurrencia de un evento no deseable o problema; es decir, el efecto como la cabeza del pescado, e identificar los factores que contribuyen, esto es, las causas como las espinas que salen de las vértebras y la cabeza del pescado.

Diferencia apenas notoria (DAN) Diferencia más pequeña detectable entre dos estímulos.

Discapacidad parcial permanente Tipo de discapacidad que se caracteriza porque el operario no se recupera completamente de las lesiones pero aún puede realizar algún trabajo. Se subdivide en lesiones programadas y no programadas.

Discapacidad parcial temporal Tipo de discapacidad en la que el trabajador es incapaz de realizar cualquier trabajo durante un tiempo limitado, pero se espera una recuperación completa. El trabajador puede realizar la mayoría de sus tareas pero puede sufrir alguna pérdida de tiempo o salarios.

Discapacidad total permanente Tipo de discapacidad tan seria que el empleado no podrá volver a trabajar en un empleo regular.

Discapacidad total temporal Tipo de discapacidad que es suficientemente seria para evitar que un empleado trabaje en cualquier empleo regular.

Disco (intervertebral) Tejido suave, compuesto por un núcleo gelatinoso y rodeado de capas fibrosas, como las de una cebolla, que separa los huesos vertebrales.

Disco desviado *Vea* **Hernia de disco**.

Diseño ajustable Principio de diseño antropométrico que se usa típicamente para equipo o instalaciones que deben adecuarse a un amplio rango de individuos.

Diseño de falla segura Tipo de diseño de sistemas tal que, en el caso de falla, adopta el nivel de energía más bajo.

Diseño del trabajo Diseño del proceso que se basa en la ergonomía para adecuar la tarea y la estación de trabajo al operario.

Diseño para extremos Principio de diseño antropométrico en el que una característica especial es el factor limitante para determinar el valor máximo o mínimo de una variable de población a la que debe adecuarse; por ejemplo, la estatura en el caso del claro de las puertas.

Diseño promedio Principio de diseño antropométrico del tipo "una talla se adecua a todos".

Disociabilidad Propiedad de que una señal deseada sea lo más diferente posible de otras señales (o ruidos) en términos de sus características.

Distribución binomial Distribución de probabilidad discreta con media = np y variancia = np(1 – p) con función de probabilidad

$$P(k) = C_{n,k}\, p^k\, (1-p)^{n-k} \text{ para } k = 0, 1, 2 \ldots$$

Distribución en línea recta *Vea* **Distribución por producto**.

Distribución exponencial Distribución de probabilidad continua con media = $1/a$, varianza = $1/a^2$ y función de densidad = ae^{-ax}.

Distribución funcional *Vea* **Distribución por proceso**.

Distribución normal Distribución de probabilidad continua con media = μ y varianza = σ^2 y con función de densidad igual a

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} e^{-\left[\frac{(x-\mu)}{2\sigma^2}\right]^2}$$

Distribución Poisson Distribución de probabilidad discreta, con media = λ y variancia = λ, con función de probabilidad igual a:

$$P(k) = \frac{\lambda^k e - \lambda}{k!} \quad \text{para} \quad k = 0, 1, 2\ldots$$

Distribución por proceso Tipo de distribución de planta según el cual las estaciones de trabajo o máquinas se deben agrupar por similitud de proceso o función; también se conoce como distribución funcional.

Distribución por producto Tipo de distribución de planta según el cual las estaciones de trabajo se deben colocar en una línea continua de manera que el flujo de una operación a la siguiente se minimice para cualquier clase de producto; también se conoce como distribución de planta en línea recta.

Dosis de ruido Exposición diaria total al ruido; consiste en exposiciones a varios niveles de ruido, donde cada uno es una dosis parcial.

E

Efecto de rango Tendencia a pasarse del objeto que se encuentra cerca y no llegar al objeto que está lejos, por lo general como resultado de la fatiga.

Efecto Hawthorne Fenómeno donde un aumento de la productividad del empleado puede atribuirse a un interés percibido en él por mejorar los métodos o el lugar de trabajo; sin embargo, también se aplica a resultados confusos debidos

a variables no controladas o no consideradas en el cambio de método.

Eficiencia Razón de la producción real sobre la producción estándar. También, producción de luz por unidad de energía.

Eficiencia de iluminación Luz producida por unidad de energía, por lo general en lúmenes por watt.

Elemento División del trabajo que se puede medir con un cronómetro y que tiene puntos terminales o de quiebre fácilmente identificables.

Elemento constante Elemento cuyo tiempo de realización no varía de manera importante cuando ocurren cambios en el proceso o en la dimensión en el producto.

Elemento extraño Interrupción del ciclo de trabajo normal.

Elemento variable Elemento cuyo tiempo es afectado por una o más características como el tamaño, la forma, la dureza o la tolerancia, de manera que si las condiciones cambian, también lo hace el tiempo que se requiere para realizar el elemento.

EMG (electromiograma) Actividad eléctrica en un músculo.

Enriquecimiento del trabajo Expansión vertical del trabajo, que permite a los empleados iniciar y terminar una tarea dada, a la cual se le proporciona mayor diversificación y satisfacción.

Ensamblar Acto de unir dos partes que corresponden entre sí.

Ensayo Repetición mental de elementos para facilitar su recuerdo.

Entrega por gravedad Entrega de una parte dejándola caer, por gravedad, en una banda transportadora o un dispositivo, lo que minimiza los therbligs de mover y posicionar.

Ergonomía Ciencia del ajuste de la tarea o del lugar de trabajo a las aptitudes y limitaciones del operario; en ocasiones se le llama **factores humanos**.

Error de registro Error porcentual debido al tiempo no considerado durante un estudio de tiempos.

Escala CR-10 (razón de categorías) Escala de calificación del nivel de dolor o incomodidad de varias partes del cuerpo en una escala logarítmica de 0 a 10; se usa para evaluar el esfuerzo muscular.

Escala RPE de Borg Escala de calificación del cansancio percibido que va de 6 a 20; tiene correspondencia con la tasa de pulsaciones cardiacas (divididas entre 10). Se usa para evaluar el cansancio percibido durante actividades dinámicas de todo el cuerpo.

Esfuerzo Voluntad para realizar trabajo productivo mental o manual.

Espacio muerto Suma de movimientos del control que no causa una respuesta del sistema.

Espina erectora Músculos primarios de la espalda que proporcionan la fuerza para levantar una carga.

Estación de trabajo Área donde el operario realiza los elementos de trabajo de una operación específica.

Estados del ego Tres etapas psíquicas que puede lograr un individuo: adulto, padre e hijo.

Estándar temporal Estándar establecido para un número limitado de piezas o por un tiempo limitado, para tomar en cuenta la novedad del trabajo o algunas condiciones poco usuales.

Estenógrafo o teclado de cuerdas Teclado que requiere la activación simultánea de dos teclas o más para un solo caracter, opuesto a la activación secuencial de los teclados estándar.

Estudio de métodos (ingeniería de métodos) Análisis de una operación para incrementar la producción por unidad de tiempo y, en consecuencia, reducir el costo unitario.

Estudio de micromovimientos División de la asignación de trabajo en therbligs, que se logra mediante el análisis cuadro por cuadro de una película y la mejora de la operación a través de la eliminación de los movimientos innecesarios y la simplificación de los necesarios.

Estudio de movimientos Análisis y estudio de los movimientos que constituyen una operación, para mejorar el patrón de movimiento mediante la eliminación de los movimientos no eficientes y la reducción de los eficientes.

Estudio de tiempos Procedimiento que usa un cronómetro para establecer estándares.

Evaluación del trabajo Procedimiento para determinar el valor relativo de las distintas asignaciones de trabajo.

Evento básico Eventos de un árbol de fallas identificados mediante círculos en la parte baja del árbol de fallas que no pueden desarrollarse con mayor detalle.

Evento de falla Eventos de un árbol de fallas identificados mediante rectángulos que se expandirán posteriormente.

Éxito Identificación correcta de una señal cuando está presente.

Extensión Movimiento de articulación en el que el ángulo incluido se incrementa.

F

Factor de seguridad Razón de la resistencia de una estructura entre la máxima tensión aplicada; por seguridad, debe ser mucho menor a 1.

Factores extrínsecos Factores del entorno tales como administración, supervisión y condiciones de trabajo en la teoría de motivación/mantenimiento de Herzberg, que actúan como insatisfactores.

Factores humanos *Vea* **Ergonomía**.

Factores intrínsecos Satisfactores potenciales como logro, reconocimiento y progreso según la teoría de motivación-mantenimiento de Herzberg.

Falla Rechazo incorrecto de una señal cuando ésta se encuentra presente.

Falsa alarma Identificación incorrecta de una señal cuando ésta no se encuentra presente.

Fatiga Disminución de la capacidad de trabajo.

Filamentos delgados Filamentos microscópicos que se localizan en las fibras del músculo de proteína globular llamada actina; son más delgados que los filamentos gruesos; ambos son necesarios para que ocurra la contracción muscular.

Filamentos gruesos Filamentos microscópicos en las fibras del músculo conformados por proteínas alargadas con cabezas moleculares llamadas miosina; son más gruesos que los filamentos delgados; ambos son necesarios para que ocurra la contracción muscular.

Flexión Movimiento de articulación en el que el ángulo disminuye.

Flujo de efectivo descontado Herramienta económica que calcula la razón del valor presente del flujo de efectivo sobre la inversión original.

Forma de estudio de tiempos Forma diseñada con los elementos de un estudio de tiempos dado, con espacios para registrar sus duraciones.

Fórmula de Wright Tiempo de interferencia de máquina que se expresa como porcentaje del tiempo de servicio promedio de siete máquinas o más.

Fototropismo Tendencia de los ojos a dirigirse a la fuente de luz más brillante.

Fóvea Parte de la retina en donde los conos tienen mayor sensibilidad.

Frecuencia cardiaca pico Incremento lento de la frecuencia cardiaca durante el trabajo pesado, lo que indica fatiga.

Frecuencia de uso Principio basado en la frecuencia de uso que se aplica para distribuir los controles o pantallas.

Frecuencia natural Frecuencia interna de vibración dentro de un sistema, determinada por sus características de masa, resorte y amortiguamiento.

Fuerza isocinética Tipo de contracción muscular en la que el músculo se contrae a una velocidad constante.

Fuerza isométrica Tipo de contracción muscular en la que el músculo se contrae en una posición fija estática y produce la máxima fuerza; también se conoce como fuerza estática.

Fuerza isotónica Tipo de contracción muscular en la que el músculo se contrae contra una fuerza constante; en ocasiones se llama fuerza dinámica.

Fuerza psicofísica Tipo de fuerza en la que el operario determina en forma subjetiva la carga aceptable que puede levantar.

Funcionalidad Principio que se utiliza para distribuir controles o pantallas de acuerdo con sus funciones similares.

G

Ganancias compartidas Cualquier método de pago de salarios en el que el trabajador participa en todo o una parte de las ganancias que se obtienen de una producción superior a la estándar.

Gastos de fábrica Costos tales como mano de obra indirecta, herramientas, máquinas y energía.

Gastos generales Costo de gasto de mano de obra, renta, seguros, etcétera.

Glucosa El componente primario de los carbohidratos que entra en el proceso bioquímico para la producción de energía.

Gráfica de alineación *Vea* **Nomograma**.

Gráfica de cruce Método para graficar el incremento del costo como función de alguna variable. El punto en el que se cruzan las dos rectas se conoce como punto de quiebre o punto de equilibrio y, en éste, el costo de cada método es el mismo.

Gráfica de Gantt Serie de gráficas que consisten en líneas horizontales o barras en posiciones y longitudes que muestran los programas o cuotas y el avance, en una escala de tiempo común.

Gráfica de incomodidad del cuerpo Método para evaluar el estado de salud del trabajador mediante la verificación del nivel de incomodidad de distintas partes del cuerpo.

Gráfica de punto de equilibrio Vea **Gráfica de cruce**.

Grupos de reporte Grupos pequeños de discusión.

Guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo Técnica de análisis para identificar problemas potenciales en un trabajo, área o lugar de trabajo.

Guía de levantamiento NIOSH Conjunto de guías para el levantamiento manual desarrollado por el NIOSH para proporcionar una medida de seguridad a efectos de prevenir lesiones por esfuerzo excesivo que ocasiona demandas de la tarea que exceden la capacidad del trabajador.

H

Hernia de disco Inflamación del disco intravertebral que causa presión en los nervios de la espina y que provoca dolor.

Hertz Unidad de frecuencia, en ciclos por segundo. Un hertz es igual a un ciclo por segundo.

Holgura Tiempo que se agrega al tiempo normal para permitir demoras personales, inevitables y por fatiga.

Holgura adicional Holgura para compensar el trabajo que se requiere, adicional al que se especifica en el método estándar.

Holgura especial Variedad de holgura que se relaciona con el proceso, equipo, materiales, etc., se subdivide en suplementos por demora inevitable, demora evitable, adicional y por política.

Holgura por fatiga Tipo de holgura que proporciona tiempo al trabajador para recuperarse de la fatiga incurrida como resultado del trabajo o del entorno de trabajo.

Holgura por fatiga básica Holgura constante que toma en cuenta el consumo de energía cuando se realizan ciertas tareas y la reducción de la monotonía.

Holgura por fatiga constante Combinación de holguras por necesidades personales y fatiga básica que suelen ser constantes para todos los trabajadores de la compañía.

Holgura por fatiga variable Holgura por fatiga que se ajusta a cada trabajador de la compañía según la tarea o las condiciones de trabajo.

Holgura por necesidades personales Porcentaje que se agrega al tiempo normal para tomar en cuenta las necesidades personales del operario.

Holgura por política Holgura para proporcionar un nivel satisfactorio de ganancias a un nivel de desempeño especificado en circunstancias excepcionales.

Horas ganadas Horas estándar que se acreditan a un trabajador o al personal como resultado de la terminación de una tarea o grupo de tareas.

I

Iconos Pequeñas representaciones de objetos que actúan como una ventana en una interfaz gráfica de usuario.

Iluminación Cantidad de luz que llega a una superficie, medida en pies-candela.

Iluminación directa Tipo de iluminación que aplica más luz sobre las superficies de trabajo y el piso.

Iluminación indirecta Tipo de iluminación en la que la luz se dirige hacia el techo y éste la refleja hacia abajo.

Importancia Principio que se emplea en la distribución de controles y pantallas basado en la relevancia de cada uno.

IMPROSHARE Plan de ganancias compartidas basado en la productividad del empleado medida en horas trabajadas.

Impulso Incremento escalonado de los ingresos para inducir a los trabajadores a lograr cierto nivel de productividad.

Incentivo Compensación, financiera o de otro tipo, que remunera al trabajador por un desempeño alto o continuo por arriba del estándar.

Incentivo salarial Inducción financiera para realizar un esfuerzo mayor que el estándar.

Independiente Descripción de dos eventos donde la ocurrencia de uno de ellos no afecta la ocurrencia del otro.

Índice de dificultad Relación que define la distancia del movimiento D y el ancho meta W como una forma de información en la ley de Fitts:

$$\text{Índice de dificultad} = \log_2 (2D/w)$$

Índice de factor de viento Índice de tensión por frío que describe la tasa de pérdida de calor por radiación y convección como función de la temperatura ambiente y la velocidad del viento.

Información Conocimiento recibido respecto a un hecho particular o reducción de la incertidumbre acerca de ese hecho.

Ingeniería de valor Método para evaluar alternativas usando sus valores y pesos en una matriz de pagos.

Ingreso promedio por hora Cantidad promedio en dinero que se paga a un operario por hora; se determina dividiendo las horas trabajadas por periodo entre el salario total pagado en el periodo.

Ingresos por bonos Dinero que se paga además del salario o sueldo normal.

Inhibición recíproca Tipo de reflejo en el que el músculo agonista se activa y el antagonista se inhibe para reducir las contracciones contraproducentes del músculo.

Inminencia de peligro Tipo de citación de OSHA en la que hay una certidumbre razonable de que existe un peligro que puede causar la muerte o un daño físico serio inmediatamente o antes de que el peligro pueda eliminarse mediante procedimientos normales de refuerzo. Su presencia puede generar un cese de la operación o incluso en un cierre total de la planta.

Inspeccionar Movimiento elemental que se lleva a cabo para comparar un objeto con el estándar.

Intensidad luminosa Intensidad de la luz emitida por una fuente, medida en candelas.

Inter-candados Tipo de medida de seguridad que implica una serie de pasos o mecanismos para asegurar que un evento no ocurra al mismo tiempo que otro.

Interfaz gráfica del usuario (GUI) Tipo de pantalla interactiva que cuenta con cuatro elementos principales: ventanas, iconos, menúes y punteros.

Interferencia de máquina Situación donde más de una máquina están paradas y requieren la atención de un operario; como éste sólo puede servir una máquina a la vez, el resto debe esperar la reparación y, en consecuencia, no producirán.

Interpretación de color Cercanía con que los colores percibidos de un objeto concuerdan con los colores percibidos del mismo objeto cuando se ilumina con fuentes de luz estándar.

J

Jidoka Control autónomo de errores dentro del Sistema de Producción Toyota, donde se detienen las máquinas para evitar que unidades defectuosas afecten un proceso posterior.

Jornada de trabajo Cualquier trabajo por el cual se compensa al trabajador con base en el tiempo y no en la producción.

Jornada de trabajo justa Cantidad de trabajo que realiza un operario que es justa para él y la compañía, que se toma en cuenta para el pago de salarios. Es la "cantidad de trabajo que puede producir un empleado calificado cuando trabaja a paso normal y usa de manera eficiente su tiempo cuando el trabajo no está restringido por las limitaciones del proceso".

Jornada de trabajo medida Sistema de incentivos en el que la tasa por hora se ajusta en forma periódica según el desempeño del operario durante el periodo anterior.

Juicio absoluto Diferenciación entre dos estímulos cuando no puede hacerse una comparación directa.

Juicio relativo Diferenciación entre dos estímulos que se basa en una comparación directa.

Justo a tiempo (JIT) Técnica de manufactura esbelta o flujo de producción directo que disminuye tiempos de preparación y requiere que los proveedores entreguen partes sólo cuando se necesitan, lo que elimina los grandes inventarios.

K

Kaizen Sistema de actividades de mejora continua.

Kanban Tarjeta similar a una etiqueta con información del producto que sigue al producto durante todo su ciclo de producción para mantener el JIT.

Keiretsu Relación bilateral entre un fabricante japonés y sus proveedores.

L

Lente Parte del ojo que enfoca los rayos de luz sobre la retina.

Lesión no programada Discapacidad parcial permanente de naturaleza poco específica, como una desfiguración, con pagos prorrateados en una lesión programada.

Lesión programada Discapacidad parcial permanente a la que se asigna un pago particular para un periodo dado de acuerdo con un programa específico.

Lesiones por movimientos repetitivos *Vea* **Desorden por trauma acumulativo**.

Ley administrativa Ley establecida por la rama ejecutiva o las oficinas del gobierno.

Ley común En el derecho de origen anglosajón, ley derivada de costumbres no escritas y usos típicos, pero ajustada e interpretada por los tribunales a través de las decisiones que emiten.

Ley de Fitts Extensión de la ley de Hick-Hyman respecto del tiempo de movimiento, por ejemplo, entre más grande sea la distancia y menor el objeto, mayor tiempo se empleará en el movimiento.

Ley de Hick-Hyman Relación lineal entre el tiempo de respuesta y la cantidad de información de estímulo transportada en bits.

Ley de Weber Regla que establece que la razón de la diferencia apenas notoria entre el nivel de estímulo permanece constante en todo el intervalo sensorial normal.

Ley estatutaria Ley escrita sancionada por legisladores y aplicada por el ejecutivo.

Leyes distributivas Expresiones de lógica booleana que permiten la simplificación de expresiones más complicadas.

Límite de peso recomendado (LPR) Según la guía de levantamiento NIOSH, peso óptimo que pueden manejar casi todas las personas, con ajustes debidos a diversos factores relacionados con las variables de levantamiento.

Lluvia de ideas Sesiones de análisis en las que se alienta la exposición de ideas, sin importar cuán extrañas sean.

Longitud en reposo Longitud del músculo mientras está en estado neutral, sin contraerse.

Lordosis Curvatura natural hacia dentro de la porción lumbar de la espina.

Lumbar Área de la espalda más expuesta a lesiones; se encuentra cerca de la línea del cinturón.

Luminancia Cantidad de luz reflejada por una superficie, medida en pies-lambert.

Luminaria Fuente de luz, como una lámpara.

Lux Unidad de luminancia igual a 1 lumen por metro cuadrado, o 0.093 pies-candela.

M

Mano de obra directa Trabajo que se realiza en cada pieza que hace que ésta avance hasta obtener sus últimas especificaciones.

Mano de obra general Mano de obra no implicada en la manufactura de un producto, por lo general ingeniería, investigación, ventas, apoyo, contabilidad y otras funciones administrativas.

Mano de obra indirecta Mano de obra que no participa en forma directa en la transformación del material que se emplea para fabricar un producto, pero que es necesaria para apoyar la manufactura de éste.

Manufactura esbelta Teoría de administración de la manufactura que sostiene que los ingenieros de producción deben trabajar sin pausas para eliminar el desperdicio, reducir los costos e incrementar la eficiencia.

Mapas de Karnaugh Herramienta gráfica para simplificar expresiones algebraicas booleanas.

Mapeo Representación clara de la compatibilidad entre controles y respuestas.

Material flotante Cantidad de material que no se usa o trabaja directamente en un sistema o proceso, en un tiempo determinado.

Matriz de sentimiento negativo *Vea* **Criterio de arrepentimiento minimax**.

Medición del trabajo Uno de varios procedimientos (estudio de tiempos, muestreo del trabajo y sistemas de tiempos predeterminados) para establecer estándares.

Mejora continua Proceso continuo para asegurar la calidad total en una compañía.

Membrana basilar Membrana que divide la cóclea a lo largo, que contiene células de cabello.

Membrana del tímpano Membrana que separa el oído externo del oído medio; también se conoce como tambor.

Memoria a corto plazo *Vea* **Memoria de trabajo**.

Memoria a largo plazo Almacenamiento de información a largo plazo para su uso posterior.

Memoria de trabajo Almacenamiento temporal de información mientras se procesa para obtener una respuesta; también llamada **memoria a corto plazo**.

Menú Lista ordenada de operaciones, servicios o información que está disponible en una interfaz gráfica para el usuario.

Método Técnica que se emplea para realizar una operación.

Método continuo de toma de tiempos Método de estudio de una operación en el que el cronómetro se mantiene en marcha durante el estudio y no se regresa cuando termina un elemento.

Método de Ashcroft Tablas desarrolladas por H. Ashcroft con los tiempos de interferencia de máquinas para diferentes tiempos de servicio

Método de clasificación Método de evaluación del trabajo que se basa en una serie de definiciones para distinguir entre tareas.

Método de periodo de pago Técnica de análisis económico que usa el tiempo para recuperar el costo de la inversión original.

Miofibrillas Subdivisión de las fibras musculares que contienen filamentos proteínicos gruesos y delgados.

Modalidad de despliegue Formato de información correspondiente a uno de los cinco sentidos.

Modelo ABC Modelo de seguridad basado en el comportamiento, en el cual eventos **antecedentes** conducen a ciertos patrones de **comportamiento (behavior)** del trabajador, lo que puede generar **consecuencias** indeseables como los accidentes. Para corregir el comportamiento de ese trabajador, primero deben modificarse los antecedentes.

Modelo completo El modelo más complejo en una prueba lineal general.

Modelo Crawford Modelo de curva de aprendizaje en el que se define la mejora que obtuvo una unidad particular. También se le conoce como modelo unitario.

Modelo de motivación-recompensa-satisfacción Modelo de seguridad basado en el comportamiento que emplea un ciclo de retroalimentación positiva en el cual el trabajador se desempeña mejor; entre mayores recompensas reciba, más satisfecho estará y se desempeñará de mejor manera.

Modelo de Wright Modelo de curva de aprendizaje, en el cual la mejora ganada se define para el promedio unitario acumulado en vez de hacerlo para una unidad particular. También se denomina modelo de promedio acumulado.

Modelo promedio acumulado *Vea* **Modelo de Wright**.

Modelo reducido Modelo simplificado de una prueba lineal general.

Modelo unitario *Vea* **Modelo Crawford**.

Modulación Variación del nivel de señales en un ciclo periódico, a fin de incrementar las demandas de atención.
Mover Movimiento de la mano con una carga.
Movimiento balístico Movimiento de los brazos (usualmente) o piernas con acción suave, fluida y rápida de músculos desde el principio hasta el final de la acción.
Movimiento básico Movimiento fundamental relacionado con la capacidad de desempeño primario fisiológico o biomecánico de los miembros del cuerpo.
Movimientos simultáneos Dos o más movimientos elementales que se realizan de manera simultánea por diferentes miembros del cuerpo. En MTM se agrega una penalización para los movimientos difíciles.
MTM (métodos de medición del tiempo) Procedimiento para analizar una operación o método manual, a fin de determinar los movimientos básicos que se requieren para realizar la operación y asignar un estándar de tiempo predeterminado a cada movimiento, basado en su naturaleza y las condiciones en las que se realiza.
Muda En la industria japonesa, desperdicios que deben eliminarse.
Muestreo del trabajo Método para analizar el trabajo tomando un número grande de observaciones a intervalos aleatorios, para establecer estándares y mejorar los métodos.
Músculo-esquelético Músculos adheridos a los huesos que proporcionan la fuerza motriz para el movimiento.
Mutuamente excluyente Estado booleano en el que dos eventos no se pueden intersecar.

N

Necesidades de autoestima Cuarto escalón en la jerarquía de Maslow de necesidades humanas: deseo de competencia, logro y respeto por sí mismo.
Necesidades de seguridad Segundo escalón en la jerarquía de Maslow de necesidades humanas: la necesidad de seguridad en el trabajo.
Necesidades fisiológicas Primer escalón en la jerarquía de Maslow de las necesidades humanas: preocupación básica por supervivencia, comida, agua y salud.
Necesidades sociales Tercer escalón de la jerarquía de Maslow de necesidades humanas: necesidad de atención, amistad y sentido de pertenencia.
Negligencia Ausencia de cuidado razonable para evitar una lesión.
Negligencia *per se* Forma más alta de negligencia, sin necesidad de pruebas.
Negligencia pura Forma más alta de negligencia que no muestra el menor cuidado.
Nemotécnico Acrónimo o frase cuyas letras representan una serie de aspectos para facilitar su recuerdo.
Nivel de aspiración Estrategia de toma de decisiones basada en un valor del resultado que representa la consecuencia de lo que una persona está dispuesta a aceptar si está razonablemente segura de obtener al menos estas consecuencias la mayor parte del tiempo.
Nomograma Gráfica que suele tener tres escalas paralelas graduadas para variables diferentes, de manera que cuando una línea recta conecta cualesquiera dos variables, el valor relacionado se puede leer directamente en la tercera escala del punto intersecado por la recta.
NOT Tipo de lógica booleana que indica la negación de un evento.

O

Observación Recolección y registro del tiempo que se requiere para ejecutar un elemento, o una lectura del reloj.
Observador Analista que toma el estudio de tiempos de una operación dada.
Operación Cambio intencional de una parte a su forma, tamaño y características deseadas.
Operario calificado Operario que puede lograr el estándar de desempeño establecido cuando aplica el método prescrito y trabaja a un ritmo estándar.
OSHA 300 log Formulario para mantener los registros de lesiones y enfermedades ocupacionales que exige la ley de la OSHA.

P

Palanca de control Pequeño joystick en medio del teclado que se emplea para controlar el cursor.
Palmadas Reconocimiento para un individuo y sus logros.
Pantalla de tacto Pantalla con una capa sensible al tacto que se activa ante la proximidad del dedo.
Paralelo Arreglo de componentes de un sistema, de tal forma que el sistema total tiene éxito si cualquier componente lo tiene.
Paso de incentivo Desempeño más alto que el nivel estándar.
Paso de máquina Control mecánico o de la máquina sobre la tasa a la que avanza el trabajo.
Paso del trabajo Velocidad a la que se realiza una operación o actividad.
Patrón de movimiento balanceado Secuencia de movimientos realizados en forma simultánea por ambas manos en direcciones que facilitan el ritmo y la coordinación.
Peligro Exposición relativa o consecuencias potenciales de un riesgo.
Percepción Comparación de la información del estímulo entrante con el conocimiento almacenado para clasificar la información.
PERT (técnica de revisión y evaluación de programas) Método de planeación y control que representa gráficamente la manera óptima de lograr algún objetivo predeterminado, por lo general, en términos de tiempo.
Pie-candela Medida de la luz que llega a una superficie. Un pie-candela es igual a 10.8 lúmenes por metro cuadrado.
Pie-lambert Unidad de luminancia (luz emitida o reflejada). Un pie-lambert es igual a 3.43 candelas por metro cuadrado.
Plan de descripción por grados *Vea* **Método de clasificación**.
Plan de hora estándar Plan de incentivos que usa la jornada de trabajo hasta 100% de desempeño y el trabajo por pieza con desempeño mayor a 100%.
Plan Rucker Plan de ganancias compartidas que se basa en la productividad del empleado medida por uno de los siguien-

tes aspectos: producción bruta, ventas netas o cambios de inventario.

Plan Scanlon Plan de ganancias compartidas que se basa en la productividad del empleado medida por uno o más de los siguientes aspectos: producción bruta, ventas netas y cambios de inventario.

Planear Movimiento básico que implica el proceso mental de determinar la siguiente acción.

Planes de compensación flexibles Cualquier plan de incentivos que aumenta los ingresos o beneficios del trabajador como una función de su incremento de producción.

Plantilla Dispositivo que puede estar o no sujeta a la estación de trabajo y que se usa para sostener el trabajo y para guiar la herramienta.

Pluma de luz Estilete especial unido a la computadora por un cable eléctrico sensible al rayo de exploración electrónico en un lugar específico de la pantalla.

Poke-yoke Sistema de prevención del error en control de calidad del Sistema de Producción Toyota.

Poner Acto de mover un objeto bajo control hacia una nueva posición. Consiste en los therbligs mover y posicionar.

Posicionar Elemento de trabajo que consiste en localizar un objeto de manera que tenga la orientación adecuada en un lugar específico.

Preparación Arreglo de una estación o centro de trabajo para realizar una operación o serie de operaciones.

Preposicionar Movimiento básico que consiste en posicionar un objeto en un lugar predeterminado para que pueda agarrarse en la posición que debe, cuando sea necesario.

Prestaciones Parte de la compensación tangible que no se incluye en los sueldos, salarios o bonos que paga el empleador a su personal. Incluyen seguros, fondo de retiro y otros servicios para los empleados.

Prevención de accidentes Enfoque táctico para controlar a los trabajadores, materiales, herramientas y equipo y el sitio de trabajo con el propósito de reducir o evitar la ocurrencia de accidentes.

Principio de la razón insuficiente Estrategia de toma de decisiones en la que las condiciones o estados se consideran igualmente probables.

Principio de movimientos combinados Si una mano realiza dos movimientos simultáneos, en ciertos sistemas de tiempos predeterminados se cuenta el tiempo más largo.

Principio de movimientos limitantes Para dos movimientos diferentes realizados al mismo tiempo por las manos izquierda y derecha, en ciertos sistemas de tiempos predeterminados se usa el tiempo más largo.

Principio de movimientos simultáneos Los movimientos realizados al mismo tiempo con las dos manos no siempre pueden ejecutarse en el mismo tiempo que los mismos movimientos realizados por cada mano en forma independiente; por ello, en algunos sistemas de tiempos predeterminados debe agregarse una penalización.

Principio de tamaño Reclutamiento ordenado de unidades motrices, de pequeñas a grandes.

Principio de Warrick Principio de diseño de pantallas por el que los puntos cercanos y los controles se mueven en la misma dirección, lo que proporciona la mejor compatibilidad.

Privacidad Doctrina legal que requiere una relación directa, en forma de contrato, entre las partes contendientes.

Procesamiento de abajo a arriba Procesamiento de información impulsado por datos, guiado por características sensoriales.

Procesamiento de arriba abajo Procesamiento de información dirigido por los conceptos, que usa conceptos de alto nivel para procesar características de percepción de bajo nivel.

Proceso Serie de operaciones que logran el avance del producto hacia su tamaño, forma y especificaciones finales.

Programa de construcción Programa de distribución de planta que genera la mejor solución a partir de la nada.

Programa de mejora Programa de distribución de las instalaciones que mejora una distribución inicial.

Promedio ponderado del tiempo Nivel de sonido que produciría una dosis de ruido dada si un trabajador estuviera expuesto a él, de manera continua, durante un turno de trabajo de ocho horas.

Pronación Rotación del antebrazo de manera que la palma queda hacia abajo, o supinación con la palma hacia arriba.

Prueba lineal general Procedimiento formal para encontrar el mejor modelo mediante la aplicación de disminuciones estadísticamente significativas de las variancias entre modelos alternativos.

Puntero Dispositivo para manipular directamente un icono o cursor en una interfaz gráfica de usuario.

Punto Unidad de producción identificada como la producción de un operario estándar en un minuto. Se usa como base para establecer estándares cuando se aplica el sistema de puntos.

Punto de comparación Estándar que se identifica mediante las características, con suficiente detalle para comparar otras clasificaciones como mejor, peor o comparable al estándar determinado.

Punto de quiebre Punto del ciclo de trabajo que se distingue con facilidad, seleccionado como frontera entre la terminación de un elemento y el inicio de otro.

Pupila Apertura del ojo que deja entrar la luz.

R

Rad Unidad de dosis de radiación equivalente a la absorción de 0.01 joules por kilogramo (J/kg).

Ratón Dispositivo manual con una bola en la base para controlar la posición del cursor.

Ratón de bola Ratón invertido para controlar la posición del cursor.

Razón control-respuesta Razón de la cantidad de movimiento en un control de la cantidad de movimiento de la respuesta; se usa para definir la capacidad de respuesta del sistema.

Razón mod Razón de las pérdidas reales sobre las pérdidas esperadas de empleadores similares donde el promedio es

1.00; se emplea para establecer las primas de seguro de compensación de los trabajadores.

Rechazo correcto Rechazo de una señal cuando ésta no existe.

Recuperación de ritmo cardiaco Regreso del ritmo cardiaco al nivel de descanso después del trabajo.

Recursos de atención Cantidad de capacidad cognitiva dedicada a una tarea particular o etapa de procesamiento o, simplemente, a la atención.

Redundancia Reducción de información a partir de la cantidad máxima posible debido a probabilidades de ocurrencia diferentes de las alternativas.

Reflectancia Porcentaje de luz reflejada por una superficie.

Reflejo Brillantez excesiva en el campo de visión que impide la visibilidad.

Reforzamiento positivo Concepto skinneriano según el cual la fuerza de respuesta se incrementa a medida que aumenta la fuerza del estímulo.

Regla de Miller Límite superior de la capacidad de memoria de trabajo en alrededor de 7 ± 2 artículos.

Regresión a la media Tendencia de un analista novato a calificar más cerca del desempeño normal que del desempeño real.

Relación fuerza-longitud Relación U invertida en la que la fuerza del músculo es mayor en su longitud en descanso.

Relación fuerza-velocidad Concesión entre movimientos más lentos que proporcionan mayor fuerza y movimientos más rápidos pero más débiles.

Rem Equivalente del roentgen en una persona o dosis equivalente de cualquier tipo de radiación ionizante que produce un efecto biológico de 1 roentgen de rayos X en los seres humanos.

Rendimiento sobre la inversión Método de análisis económico que usa la razón de la ganancia anual entre la vida del producto.

Rendimiento sobre ventas Método de análisis económico que usa la razón de las ganancias anuales entre las ventas anuales.

Reparto de utilidades Cualquier procedimiento mediante el cual un empleador paga a los empleados sumas actuales o diferidas especiales, además de las buenas tasas de pago normales, con base no sólo en el desempeño individual o de grupo, sino también en la prosperidad de todo el negocio.

Resonancia Situación en la que vibraciones forzadas inducen vibraciones de mayor amplitud en un sistema.

Responsabilidad Obligación de proporcionar compensación por daños o lesiones.

Responsabilidad estricta Nivel más alto de responsabilidad legal, según el cual el demandante no necesita probar negligencia o falta.

Retina Capa de receptores fotosensibles en la parte posterior del ojo.

Retroalimentación Regreso de información significativa al operario, de tal forma que pueda modificar su desempeño adecuadamente.

Retroceso Incremento del tiempo de ciclo en la curva de aprendizaje debido al olvido.

Riesgo Condición con el potencial de causar lesiones o daños.

Riesgoso Comportamiento de un observador cuando el criterio cambia a la izquierda, lo que ocasiona un incremento de los éxitos, pero a costa de un incremento correspondiente de las falsas alarmas.

Ritmos circadianos Variación general en 24 horas de las funciones del cuerpo humano.

Roentgen Unidad de exposición a la radiación que mide la cantidad de ionización producida en el aire por la radiación *X* o gamma.

Rotación del trabajo Actividad similar a la ampliación del trabajo, debido a que proporciona al trabajador la oportunidad de realizar una variedad de tareas para evitar el trabajo repetitivo, pero con una programación más rígida.

Rotación rápida Tipo de trabajo por turnos en el que el trabajador cambia turno cada dos o tres días.

Ruido Estímulo sensorial como los sonidos no deseados que interfieren con la detección de señales.

S

Salida de producción Salida total de una máquina, proceso o trabajador en una unidad de tiempo específica.

Secuencia de uso Principio de diseño según el cual los controles y pantallas se deben colocar en lugares físicos correspondientes al orden en que se usan.

Sellados Palmadas que se han ido juntando en forma de una deuda que debe pagarse .

Sensibilidad Resolución del sistema sensorial medida como la separación entre las distribuciones de la señal y el ruido.

Señal Estimulación sensorial que genera información.

Serie Arreglo de componentes de un sistema, de tal manera que todos deben tener éxito para que todo el sistema también lo tenga.

Servicio aleatorio Interacción entre el operario y la máquina que ocurre de manera aleatoria.

Servicio sincrónico Caso ideal en el cual el trabajador y la máquina actúan en un ciclo repetitivo fijo.

Síndrome de Raynaud Oclusión del flujo de sangre en las manos inducida por el frío, situación que reduce la destreza.

Síndrome del túnel carpiano Compresión del nervio medio debida a inflamación dentro del túnel del carpo de la muñeca, que causa dolor, pérdida de la sensación y del control motriz.

Sistema de calificación Westinghouse Método de calificación desarrollado en Westinghouse Corp., que se basa en cuatro factores, habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

Sistema de control Sistema cuya función principal es la recolección y análisis de retroalimentación a partir de un conjunto dado de funciones, con el propósito de controlarlas.

Sistema de puntos Método de evaluación del trabajo para determinar el valor relativo de diversos trabajos con base en el total de puntos asignados a los distintos factores aplicables a diferentes tareas.

Sistema de tiempos predeterminados Sistema basado en los tiempos de los movimientos básicos que se contemplan para calcular el tiempo estándar.

Sistema empujar Tipo de sistema de control de la producción justo a tiempo según el cual las partes se deben pro-

ducir sin que importen las necesidades de las estaciones subsiguientes

Sistema jalar Tipo de sistema de control de la producción justo a tiempo en el cual la demanda de piezas proviene de la estación subsiguiente.

Sistema músculo-esquelético Sistema de músculos y huesos del cuerpo que permite el movimiento.

SMED (intercambio de matriz en un minuto) Serie de técnicas para cambiar la maquinaria de producción en menos de 10 minutos.

Soporte Herramienta que casi siempre se fija a la estación de trabajo y que sujeta el material que se procesa.

Soporte lumbar Soporte de la espalada (área lumbar) en forma de saliente en el respaldo del asiento o del cojín colocado a nivel del cinturón.

Supinación Rotación del antebrazo de manera que la palma queda hacia arriba.

T

Tabla de acción ante riesgos Tabla de decisión para especificar ciertas acciones ante peligros dados.

Tablas de decisión Enfoque estructurado para evaluar la información y seleccionar el mejor cambio de método entre varias opciones.

Tablero del estudio de tiempos Tablero que se emplea para sostener el cronómetro y la forma de observaciones durante un estudio de tiempos.

Tableta de digitalización Base plana colocada al lado de la computadora que se activa con el movimiento de un estilete electrónico.

Tamaño en puntos Tamaño de letra; un punto es igual a 1/72 pulg (0.035 mm).

Tambor Membrana que separa el canal externo del oído del oído medio; también se lo conoce como membrana del tímpano.

Tarea de chapado de Fitts Una serie de movimientos de posicionamiento hasta y desde objetos, que demuestran la ley de Fitts.

Tarea de color y palabras de Stroop Presentación de estímulos de color y palabras en conflicto que muestra los efectos de la redundancia y la interferencia.

Tarea principal Tarea en la que un operario dedica la mayor cantidad de sus recursos de atención.

Tarea secundaria Tarea que debe realizarse además de la tarea principal.

Tareas múltiples Realización de varias tareas simultáneas.

Tarima Transportador de carga, por lo general, instalado en un carrito estandarizado rectangular.

Tarjeta de operación Forma que describe la secuencia de operaciones, el tiempo asignado y las herramientas especiales que se requieren para manufacturar una pieza.

Tasa Estándar que se expresa en dinero.

Tasa de reducción de ruido Medida de la eficacia de las orejeras, en términos de la atenuación de los decibeles de nivel de ruido.

Tasa estrecha Estándar de tiempo que asigna menos tiempo que el que necesita un operario calificado para realizar el trabajo a ritmo estándar.

Tasa holgada Tiempo establecido que permite a un operario calificado lograr el desempeño estándar con menos esfuerzo que el promedio.

Tasa salarial Tasa de dinero que se expresa en dinero por hora, pagados al empleado.

Tasa salarial base Dinero que se paga por hora por una asignación de trabajo específica realizada a ritmo estándar por un operario calificado.

Tasas de círculo rojo Tasas de empleados más altas que las establecidas en el plan de evaluación del trabajo.

Teclado de Dvorak Diseño alternativo de teclado que optimiza la carga de los dedos.

Teclado QWERTY Tipo de teclado popular en el que la secuencia de las primeras seis letras a la izquierda de la tercera fila es QWERTY.

Temperatura de bulbo húmedo Medida del enfriamiento evaporativo, que usa un termómetro con un pabilo húmedo y el movimiento natural del aire.

Temperatura de bulbo seco Temperatura ambiental básica, con el termómetro protegido de la radiación.

Temperatura de globo Mide la carga de radiación con un termómetro dentro de una esfera de cobre negro de 6 pulgadas de diámetro.

Temperatura equivalente con factor de viento Temperatura ambiente que en condiciones de calma produciría el factor de viento equivalente como combinación real de la temperatura del aire y la velocidad del viento.

Tendinitis Inflamación de un tendón causada por trabajo repetitivo.

Tendosinovitis Inflamación de las cubiertas de un tendón causada por trabajo repetitivo.

Teoría de colas Análisis matemático de las leyes que gobiernan las llegadas, los tiempos de servicio y el orden en el que se da servicio a las unidades que entran.

Teoría de detección de señales Teoría que explica una situación en la que el observador necesita identificar una señal entre el ruido confuso.

Teoría de filamentos deslizantes Teoría de contracción de músculos en la que los filamentos que lo componen se deslizan uno encima del otro.

Teoría de la información Disciplina cuyo objetivo consiste en medir y comprender la información.

Teoría del mantenimiento de la motivación Teoría de motivación de F. Herzberg según la cual los factores extrínsecos (administración, condiciones de trabajo) actúan como insatisfactores potenciales y los intrínsecos (logro, reconocimiento) como satisfactores.

Teoría dominó Teoría de las causas de accidentes según la cual el accidente es la quinta ficha de dominó en una secuencia de fichas que caen.

Teoría unitaria del cambio de vida Teoría según la cual los factores situacionales afectan la capacidad de una persona para lidiar con el estrés en el sitio de trabajo, lo que provoca que la persona tenga más posibilidades de sufrir un accidente a medida que el estrés aumenta.

TGBH (temperatura de globo de bulbo húmedo) Índice de tensión por calor que se basa en un promedio ponderado de temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco.

Therblig Uno de los 17 elementos de trabajo definido por los Gilbreth.

Tiempo actual Tiempo elemental promedio que tarda un operario durante un estudio de tiempos.

Tiempo anormal Valores de tiempos elementales que son mucho mayores o mucho menores que la media de la mayoría de las observaciones tomadas durante un estudio de tiempos.

Tiempo compartido Vea **Tareas múltiples**.

Tiempo de atención Parte del tiempo de ciclo en el que el operario observa un proceso para mantener el avance eficiente de la operación.

Tiempo de atención del operario *Vea* **Tiempo de atención**.

Tiempo de cambio Tiempo requerido para modificar o sustituir un trabajo existente. Incluye el tiempo para desmontar la condición actual y para preparar la nueva condición.

Tiempo de ciclo promedio Suma de todos los tiempos elementales divididos entre el número de observaciones que se hicieron durante el ciclo.

Tiempo de elección-reacción Tiempo de respuesta de un operario ante varios estímulos, cada uno con una respuesta adecuada.

Tiempo de esfuerzo Parte del tiempo de ciclo que depende de la aptitud y esfuerzo del operario.

Tiempo de espera Tiempo en que el operario no puede realizar trabajo útil debido a la naturaleza del proceso o por falta inmediata de material.

Tiempo de inicio Tiempo de reloj en el que comienza un estudio de tiempos.

Tiempo de interferencia Tiempo de máquina ocioso debido a un tiempo insuficiente para que el operario alimente una o más máquinas que necesitan servicio por realizar otro trabajo asignado.

Tiempo de máquina disponible Parte de un ciclo durante el cual una máquina puede realizar trabajo útil.

Tiempo de paro Tiempo que representa la interrupción de alguna operación debida a descomposturas de máquinas o herramientas, falta de material, etcétera.

Tiempo de reacción simple Tiempo para que un operario responda a un estímulo simple con una respuesta predeterminada.

Tiempo de reloj Tiempo registrado para una lectura de reloj.

Tiempo de servicio Tiempo total que un operario interactúa directamente con una máquina; puede incluir carga, descarga, mantenimiento, etcétera.

Tiempo de terminación Tiempo en reloj en el que termina un estudio de tiempos.

Tiempo de verificación Suma de los tiempos transcurridos antes y después del estudio.

Tiempo efectivo Total del tiempo observado.

Tiempo elemental promedio Tiempo elemental medio que tarda un operario en realizar la tarea durante el estudio de tiempos.

Tiempo estándar Valor en unidades de tiempo para realizar una tarea, determinado con la aplicación correcta de las técnicas de medición del trabajo por personal calificado.

Tiempo flexible Sistema de turnos en el que el trabajador establece sus tiempos de entrada y salida, dentro de los límites establecidos por la administración.

Tiempo no efectivo Suma de todos los tiempos elementales extraños.

Tiempo no registrado Tiempo mal contado en un estudio de tiempos; diferencia entre el tiempo transcurrido y el tiempo registrado.

Tiempo normal Tiempo que se requiere para que un operario estándar realice una operación cuando trabaja a paso estándar, sin demoras por razones personales o por circunstancias inevitables.

Tiempo observado Tiempo elemental de un ciclo, que se obtiene ya sea de manera directa o con la resta de observaciones sucesivas.

Tiempo ocioso Tiempo en el que una máquina o un operario está desocupado o no trabaja.

Tiempo productivo Cualquier tiempo empleado en el avance de un producto hacia sus especificaciones finales.

Tiempo total registrado Suma de los tiempos de verificación, efectivo y no efectivo, durante un estudio de tiempos.

Tiempo transcurrido Tiempo real que transcurre durante el curso de un estudio o una operación.

Tiempo transcurrido antes del estudio (TTAE) Lectura en el cronómetro cuando el analista oprime el botón al inicio del primer elemento de un estudio de tiempos.

Tiempo transcurrido después del estudio (TTDE) Lectura en el cronómetro cuando el analista oprime el botón al final del estudio de tiempos en el reloj maestro.

Tiempos básicos Vea **Tiempos predeterminados**.

Tiempos predeterminados Tiempos asignados a los movimientos fundamentales que no pueden evaluarse de manera precisa con el empleo de los procedimientos normales de estudio de tiempos con cronómetro, sino que son el resultado de estudios detallados de videocintas de muchas operaciones; son predeterminados porque se usan para predecir los tiempos estándar de trabajos nuevos que surgen de cambios de método; en ocasiones se llaman *sintéticos* porque se obtienen con combinaciones lógicas de therbligs; también son *básicos* porque generalmente no es posible lograr un mayor refinamiento.

Tiempos sintéticos *Vea* **Tiempos predeterminados**.

Toma de decisiones Procesamiento de información que incluye la evaluación de alternativas y la selección de la respuesta adecuada.

Toma de decisiones de criterios múltiples Procedimiento cuantitativo para la toma de decisiones en presencia de información en conflicto.

Toma de tiempos con regreso a cero Técnica de estudio de tiempos donde después de leer el reloj en el punto de quiebre de cada elemento, el tiempo se regresa a cero.

Toma del riesgo Concepto legal en el que un trabajador, que fue advertido de los peligros de su tarea, pero que continúa trabajando ahí, asume los riesgos, y podría no recibir compensación por los daños en caso de una lesión aunque ésta no haya sido por su culpa.

Tomar Acto de recoger y controlar un objeto. Se compone de los therbligs alcanzar, agarrar y mover; en ocasiones incluye buscar y seleccionar.

Trabajo clave Representativo de trabajos similares o clases de trabajo en la misma planta o industria.

Trabajo por pieza Estándar de desempeño que se expresa en dinero por unidad de producción.

Trabajo por turno Trabajo en tiempos distintos a las horas del día.

Transacción complementaria Transacción enviada y recibida al mismo nivel de estados del ego.

Transacción cruzada Transacción entre estados no paralelos del ego.

Transacciones Interacciones entre los estados del ego en el análisis transaccional de Berne.

Transacciones ulteriores Transacciones con significado oculto.

Triángulo de la razón de accidentes Teoría que sostiene que por cada lesión importante ocurren al menos 29 lesiones menores y 300 accidentes sin lesión. Asimismo, cientos o miles de actos inseguros ocultos forman la base del triángulo. Los esfuerzos eficaces para la prevención de accidentes se deben enfocar en la gran base más que sólo en la lesión importante.

U

Unidad motriz Unidad funcional de los músculos que comprende una fibra nerviosa y todas las fibras musculares que enerva.

Usar Movimiento básico que ocurre cuando alguna mano o ambas tienen el control de un objeto durante una parte del ciclo en la que se realiza el trabajo productivo.

V

Valor del dinero en el tiempo Concepto económico que indica que un dólar hoy vale mas de un dólar en el futuro.

Valor fuera de control *Vea* **Tiempo anormal**.

Variable aleatoria Número al azar, resultado de una prueba entre el conjunto de números x_1, x_2, etcétera.

Varianza Diferencia entre los costos reales y los presupuestados o estándar.

Vasoconstricción Oclusión de los vasos periféricos de sangre debida a condiciones de frío.

Vasodilatación Aumento del flujo periférico de sangre debido a condiciones de calor.

Ventanas Áreas de la pantalla, en una interfaz gráfica del usuario, que se comportan como si fueran una parte independiente de la pantalla.

Verificación de tiempos Procedimiento para verificar errores en un estudio de tiempos tomando en cuenta todos los tiempos que se registraron durante el estudio.

Vértebras Huesos que forman el soporte estructural de la espalda.

Vértebras torácicas Los doce huesos vertebrales de la espalda alta.

Vigilancia *Vea* **Atención sostenida**.

Violación de minimis Tipo de violación que no tiene relación inmediata con la seguridad o salud y que por lo general no amerita ninguna sanción.

Violación no seria Según la OSHA, tipo de violación que probablemente no causaría muerte o daño físico serio; se incurre en una sanción de hasta 7 000 dólares por cada violación.

Violación repetida Tipo de violación OSHA que se determina mediante la reinspección y localización de recurrencia de una violación previamente citada. Cada violación repetida puede ocasionar una multa de hasta 70 000 dólares.

Violación seria Tipo de violación OSHA en la que hay una probabilidad sustancial de ocurrencia de muerte o daños serios, la cual resulta de un peligro acerca del cual el empleador sabe o debería saber.

Violación voluntaria Tipo de violación OSHA cometida de manera intencional o consciente por el empleador; es decir, éste sabe de la existencia de una condición peligrosa y no hace un esfuerzo razonable para eliminarla.

Visibilidad Capacidad para ver los detalles finos.

Fórmulas útiles

APÉNDICE 2

1) *Cuadrática*

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

2) *Logarítmica*

$$\log ab = \log a + \log b$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

$$\log a^n = n \log a$$

$$\log \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \log a$$

$$\log 1 = 0$$

$$\log_2 x = 1.4427 \ln x$$

3) *Teorema binomial*

$$(a + b)^n = a^n + na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{2!}a^{n-2}b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}a^{n-3}b^3 + \cdots$$

4) *Círculo*

$$\text{Circunferencia} = 2\pi r$$

$$\text{Área} = \pi r^2$$

5) *Prisma*

$$\text{Volumen} = Ba$$

6) *Pirámide*

$$\text{Volumen} = \tfrac{1}{3}\, Ba$$

7) *Cilindro circular recto*

$$\text{Volumen} = \pi r^2 a$$

$$\text{Superficie lateral} = 2\pi ra$$

$$\text{Superficie total} = 2\pi r(r + a)$$

8) *Cono circular recto*

$$\text{Volumen} = \tfrac{1}{3}\pi r^2 a$$
$$\text{Superficie lateral} = \pi r s$$
$$\text{Superficie total} = \pi r(r + s)$$

9) *Esfera*

$$\text{Volumen} = \tfrac{4}{3}\pi r^3$$
$$\text{Superficie} = 4\pi r^2$$

10) *Tronco de cono circular recto*

$$\text{Volumen} = \tfrac{1}{3}\pi a(R^2 + r^2 + Rr)$$
$$\text{Superficie lateral} = \pi s(R + r)$$

11) *Mediciones de ángulos*

$$1 \text{ grado} = \frac{\pi}{180} = 0.0174 \text{ rad}$$
$$1 \text{ radián} = 57.29 \text{ grados}$$

12) *Funciones trigonométricas*

a) Triángulos rectángulos:

- El seno del ángulo A es el cociente del lado opuesto dividido entre la hipotenusa: $\operatorname{sen} A = \dfrac{a}{c}$.
- La tangente del ángulo A es el cociente del lado opuesto entre el lado adyacente: $\tan A = \dfrac{a}{b}$.
- La secante del ángulo A es el cociente de la hipotenusa dividida entre el lado adyacente: $\sec A = \dfrac{c}{b}$.
- El coseno, la cotangente y la cosecante del ángulo son, respectivamente, el seno, la tangente y la secante del complemento de ese ángulo.

b) Ley de los senos:

$$\frac{a}{\operatorname{sen} A} = \frac{b}{\operatorname{sen} B} = \frac{c}{\operatorname{sen} C}$$

c) Ley de los cosenos:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

13) *Ecuaciones de líneas rectas*

a) Forma de pendiente-intersección

$$y = a + bx$$

b) Forma de la intersección

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$$

Tablas especiales

APÉNDICE 3

Tabla A3.1 Senos y tangentes naturales

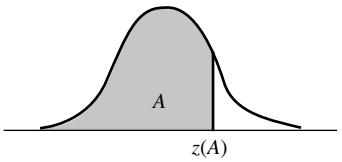
Ángulo	Sen	Tan	Cot	Cos	
0	0.0000	0.0000	∞	1.0000	**90**
1	0.0175	0.0175	57.2900	0.9998	**89**
2	0.0349	0.0349	28.6363	0.9994	**88**
3	0.0523	0.0524	19.0811	0.9986	**87**
4	0.0698	0.0699	14.3007	0.9976	**86**
5	0.0872	0.0875	11.4301	0.9962	**85**
6	0.1045	0.1051	9.5144	0.9945	**84**
7	0.1219	0.1228	8.1443	0.9925	**83**
8	0.1392	0.1405	7.1154	0.9903	**82**
9	0.1564	0.1584	6.3138	0.9877	**81**
10	0.1736	0.1763	5.6713	0.9848	**80**
11	0.1908	0.1944	5.1446	0.9816	**79**
12	0.2079	0.2126	4.7046	0.9781	**78**
13	0.2250	0.2309	4.3315	0.9744	**77**
14	0.2419	0.2493	4.0108	0.9703	**76**
15	0.2588	0.2679	3.7321	0.9659	**75**
16	0.2756	0.2867	3.4874	0.9613	**74**
17	0.2924	0.3057	3.2709	0.9563	**73**
18	0.3090	0.3249	3.0777	0.9511	**72**
19	0.3256	0.3443	2.9042	0.9455	**71**
20	0.3420	0.3640	2.7475	0.9397	**70**
21	0.3584	0.3839	2.6051	0.9336	**69**
22	0.3746	0.4040	2.4751	0.9272	**68**
23	0.3907	0.4245	2.3559	0.9205	**67**
24	0.4067	0.4452	2.2460	0.9135	**66**
	Cos	**Cot**	**Tan**	**Sen**	**Ángulo**

Tabla A3.1 (*continuación*)

Ángulo	Sen	Tan	Cot	Cos	
25	0.4226	0.4663	2.1445	0.9063	**65**
26	0.4384	0.4877	2.0503	0.8988	**64**
27	0.4540	0.5095	1.9626	0.8910	**63**
28	0.4695	0.5317	1.8807	0.8829	**62**
29	0.4848	0.5543	1.8040	0.8746	**61**
30	0.5000	0.5774	1.7321	0.8660	**60**
31	0.5150	0.6009	1.6643	0.8572	**59**
32	0.5299	0.6249	1.6003	0.8480	**58**
33	0.5446	0.6494	1.5399	0.8387	**57**
34	0.5592	0.6745	1.4826	0.8290	**56**
35	0.5736	0.7002	1.4281	0.8192	**55**
36	0.5878	0.7265	1.3764	0.8090	**54**
37	0.6018	0.7536	1.3270	0.7986	**53**
38	0.6157	0.7813	1.2799	0.7880	**52**
39	0.6293	0.8098	1.2349	0.7771	**51**
40	0.6428	0.8391	1.1918	0.7660	**50**
41	0.6561	0.8693	1.1504	0.7547	**49**
42	0.6691	0.9004	1.1106	0.7431	**48**
43	0.6820	0.9325	1.0724	0.7314	**47**
44	0.6947	0.9657	1.0355	0.7193	**46**
45	0.7071	1.0000	1.0000	0.7071	**45**
	Cos	**Cot**	**Tan**	**Sen**	**Ángulo**

Tabla A3.2 Probabilidades acumuladas de la distribución normal estándar

El valor es el área A bajo la curva normal estándar de $-\infty$ a $z(A)$.



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Percentiles seleccionados							
Probabilidad acumulada A:	**0.90**	**0.95**	**0.975**	**0.98**	**0.99**	**0.995**	**0.999**
$z(A)$:	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	3.090

Fuente: J. Neter, W. Wasserman y M. H. Kutner, *Applied Linear Statistical Models*, 2a. ed., Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1985. Reproducida con permiso de McGraw-Hill Companies.

Tabla A3.3 Puntos porcentuales de la distribución *t*

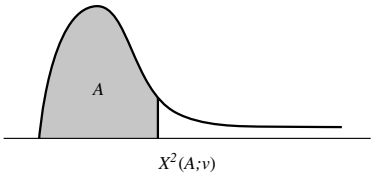
	Probabilidad *P*												
n	**0.9**	**0.8**	**0.7**	**0.6**	**0.5**	**0.4**	**0.3**	**0.2**	**0.1**	**0.05**	**0.02**	**0.01**	**0.001**
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.142	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.137	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.134	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.132	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.131	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.130	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.130	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.129	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.129	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.129	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.128	0.259	0.395	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.128	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.128	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.128	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.128	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.128	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.127	0.257	0.392	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.127	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.127	0.257	0.391	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.127	0.257	0.391	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.127	0.256	0.390	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.127	0.256	0.390	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.127	0.256	0.390	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.127	0.256	0.389	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.126	0.255	0.388	0.529	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.126	0.254	0.387	0.527	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.126	0.254	0.386	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	0.126	0.253	0.385	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Fuente: Reproducido de la tabla III de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (Edinburgo: Oliver & Boyd, Ltd.), con permiso de los autores y editores.

Nota: Las probabilidades se refieren a la suma de las dos áreas de cola; en el caso de una sola cola, divida la probabilidad entre 2.

Tabla A3.4 Percentiles de la distribución χ^2

El valor es $\chi^2(A; v)$ donde $P\{\chi^2(v) \leq \chi^2(A; v)\} = A$



						A				
v	**0.005**	**0.010**	**0.025**	**0.050**	**0.100**	**0.900**	**0.950**	**0.975**	**0.990**	**0.995**
1	0.0^4393	0.0^3157	0.0^3982	0.0^2393	0.0158	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.103	0.211	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.676	0.872	1.24	1.64	2.20	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.989	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	26.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	37.94	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	85.53	90.53	95.02	100.4	104.2
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	96.58	101.9	106.6	112.3	116.3
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2

Fuente: Reimpreso con autorización, de C. M. Thompson, "Table of Percentage Points of the Chi-Square Distribution", *Biométrika* 32 (1941), pp. 188-89.

Tabla A3.5 Números aleatorios III

22	17	68	65	84	68	95	23	92	35	87	02	22	57	51	61	09	43	95	06	58	24	82	03	47
19	36	27	59	46	13	79	93	37	55	39	77	32	77	09	85	52	05	30	62	47	83	51	62	74
16	77	23	02	77	09	61	87	25	21	28	06	24	25	93	16	71	13	59	78	23	05	47	47	25
78	43	76	71	61	20	44	90	32	64	97	67	63	99	61	46	38	03	93	22	69	81	21	99	21
03	28	28	26	08	73	37	32	04	05	69	30	16	09	05	88	69	58	28	99	35	07	44	75	47
93	22	53	64	39	07	10	63	76	35	87	03	04	79	88	08	13	13	85	51	55	34	57	72	69
78	76	58	54	74	92	38	70	96	92	52	06	79	79	45	82	63	18	27	44	69	66	92	19	09
23	68	35	26	00	99	53	93	61	28	52	70	05	48	34	56	65	05	61	86	90	92	10	70	80
15	39	25	70	99	93	86	52	77	65	15	33	59	05	28	22	87	26	07	47	86	96	98	29	06
58	71	96	30	24	18	46	23	34	27	85	13	99	24	44	49	18	09	79	49	74	16	32	23	02
57	35	27	33	72	24	53	63	94	09	41	10	76	47	91	44	04	95	49	66	39	60	04	59	81
48	50	86	54	48	22	06	34	72	52	82	21	15	65	20	33	29	94	71	11	15	91	29	12	03
61	96	48	95	03	07	16	39	33	66	98	56	10	56	79	77	21	30	27	12	90	49	22	23	62
36	93	89	41	26	29	70	83	63	51	99	74	20	52	36	87	09	41	15	09	98	60	16	03	03
18	87	00	42	31	57	90	12	02	07	23	47	37	17	31	54	08	01	88	63	39	41	88	92	10
88	56	53	27	59	33	35	72	67	47	77	34	55	45	70	08	18	27	38	90	16	95	86	70	75
09	72	95	84	29	49	41	31	06	70	42	38	06	45	18	64	84	73	31	65	52	53	37	97	15
12	96	88	17	31	65	19	69	02	83	60	75	86	90	68	24	64	19	35	51	56	61	87	39	12
85	94	57	24	16	92	09	84	38	76	22	00	27	69	85	29	81	94	78	70	21	94	47	90	12
38	64	43	59	98	98	77	87	68	07	91	51	67	62	44	40	98	05	93	78	23	32	65	41	18
53	44	09	42	72	00	41	86	79	79	68	47	22	00	20	35	55	31	51	51	00	83	63	22	55
40	76	66	26	84	57	99	99	90	37	36	63	32	08	58	37	40	13	68	97	87	64	81	07	83
02	17	79	18	05	12	59	52	57	02	22	07	90	47	03	28	14	11	30	79	20	69	22	40	98
95	17	82	06	53	31	51	10	96	46	92	06	88	07	77	56	11	50	81	69	40	23	72	51	39
35	76	22	42	92	96	11	83	44	80	34	68	35	48	77	33	42	40	90	60	73	96	53	97	86
26	29	13	56	41	85	47	04	66	08	34	72	57	59	13	82	43	80	46	15	38	26	61	70	04
77	80	20	75	82	72	82	32	99	90	63	95	73	76	63	89	73	44	99	05	48	67	26	43	18
46	40	66	44	52	91	36	74	43	53	30	82	13	54	00	78	45	63	98	35	55	03	36	67	68
37	56	08	18	09	77	53	84	46	47	31	91	18	95	58	24	16	74	11	53	44	10	13	85	57
61	65	61	68	66	37	27	47	39	19	84	83	70	07	48	53	21	40	06	71	95	06	79	88	54
93	43	69	64	07	34	18	04	52	35	56	27	09	24	86	61	85	53	83	45	19	90	70	99	00
21	96	60	12	99	11	20	99	45	18	48	13	93	55	34	18	37	79	49	90	65	97	38	20	46
95	20	47	97	97	27	37	83	28	71	00	06	41	41	74	45	89	09	39	84	51	67	11	52	49
97	86	21	78	73	10	65	81	92	59	58	76	17	14	97	04	76	62	16	17	17	95	70	45	80
69	92	06	34	13	59	71	74	17	32	27	55	10	24	19	23	71	82	13	74	63	52	52	01	41
04	31	17	21	56	33	73	99	19	87	26	72	39	27	67	53	77	57	68	93	60	61	97	22	61
61	06	98	03	91	87	14	77	43	96	43	00	65	98	50	45	60	33	01	07	98	99	46	50	47
85	93	85	86	88	72	87	08	62	40	16	06	10	89	20	23	21	34	74	97	76	38	03	29	63
21	74	32	47	45	73	96	07	94	52	09	65	90	77	47	25	76	16	19	33	53	05	70	53	30
15	69	53	82	80	79	96	23	53	10	65	39	07	16	29	45	33	02	43	70	02	87	40	41	45
02	89	08	04	49	20	21	14	68	86	87	63	93	95	17	11	29	01	95	80	35	14	97	35	33
87	18	15	89	79	85	43	01	72	73	08	61	74	51	69	89	74	39	82	15	94	51	33	41	67
98	83	71	94	22	59	97	50	99	52	08	52	85	08	40	87	80	61	65	31	91	51	80	32	44
10	08	58	21	66	72	68	49	29	31	89	85	84	46	06	59	73	19	85	23	65	09	29	75	63
47	90	56	10	08	88	02	84	27	83	42	29	72	23	19	66	56	45	65	79	20	71	53	20	25
22	85	61	68	90	49	64	92	85	44	16	40	12	89	88	50	14	49	81	06	01	82	77	45	12
67	80	43	79	33	12	83	11	41	16	25	58	19	68	70	77	02	54	00	52	53	43	37	15	26
27	62	50	96	72	79	44	61	40	15	14	53	40	65	39	27	31	58	50	28	11	39	03	34	25
33	78	80	87	15	38	30	06	38	21	14	47	47	07	26	54	96	87	53	32	40	36	40	96	76
13	13	92	66	99	47	24	49	57	74	32	25	43	62	17	10	97	11	69	84	99	63	22	32	98
10	27	53	96	23	71	50	54	36	23	54	31	04	82	98	04	14	12	15	09	26	78	25	47	47
28	41	50	61	88	64	85	27	20	18	83	36	36	05	56	39	71	65	09	62	94	76	62	11	89

Fuente: Reimpreso con autorización de Random Numbers IV de la tabla XXXIII de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (Edinburgo: Oliver & Boyd, Ltd.).

Tabla A3.6 Información útil

Para encontrar la circunferencia de un círculo, se multiplica el diámetro por 3.1416.
Para encontrar el diámetro de un círculo, se multiplica la circunferencia por 0.31831.
Para encontrar el área de un círculo, se multiplica el cuadrado del diámetro por 0.7854.
El radio de un círculo × 6.283185 = la circunferencia.
El cuadrado de la circunferencia de un círculo × 0.07958 = el área.
La mitad de la circunferencia de un círculo × la mitad de su diámetro = el área.
La circunferencia de un círculo × 0.159155 = el radio.
La raíz cuadrada del área de un círculo × 0.56419 = el radio.
La raíz cuadrada del área de un círculo × 1.12838 = el diámetro.
Para encontrar el diámetro de un círculo igual en área a un cuadrado dado, se multiplica el lado del cuadrado por 1.12838.
Para encontrar el lado de un cuadrado igual en área a un círculo dado, se multiplica el diámetro por 0.8862.
Para encontrar el lado de un cuadrado inscrito en un círculo, se multiplica el diámetro por 0.7071.
Para encontrar el lado de un hexágono inscrito en círculo, se multiplica el diámetro del círculo por 0.500.
Para encontrar el diámetro de un círculo inscrito en un hexágono, se multiplica el lado del hexágono por 1.7321.
Para encontrar el lado de un triángulo equilátero inscrito en un círculo, se multiplica el diámetro del círculo por 0.886.
Para encontrar el diámetro de un círculo inscrito en un triángulo equilátero, se multiplica el lado del triángulo por 0.57735.
Para encontrar el área de la superficie de una pelota (esfera), se multiplica el cuadrado del diámetro por 3.1416.
Para encontrar el volumen de una pelota (esfera), se multiplica el cubo del diámetro por 0.5236.
Un tubo con el doble del diámetro aumenta cuatro veces su capacidad.
Para encontrar la presión en libras por pulgada cuadrada en la base de una columna de agua, se multiplica la altura de la columna en pies por 0.433.
Un galón de agua (estándar en Estados Unidos) pesa 8.336 libras y contiene 2.31 $pulg^3$. Un pie cúbico de agua contiene 7½ galones y 1 728 $pulg^3$, y pesa 62.425 libras a una temperatura aproximada de 39°F.
Estos pesos varían un poco a mayor o menor temperatura.

Tabla A3.7 Factores de interés compuesto a 15%

	Pago único		Serie uniforme			
n	Factor de cantidad compuesta fcc′	Factor de valor presente fvp′	Factor de fondo de amortización ffa	Factor de recuperación de capital frc	Factor de cantidad compuesta fcc	Factor de valor presente fvp
	Dado P encontrar S $(1+i)^n$	Dado S encontrar P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Dado S encontrar R $\frac{i}{(1+i)^n-1}$	Dado P encontrar R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	Dado R encontrar S $\frac{(1+i)^n-1}{i}$	Dado R encontrar P $\frac{(1+i)^n-1}{i\ (1+i)^n}$
1	1.150	0.8696	1.00000	1.15000	1.000	0.870
2	1.322	0.7561	0.46512	0.61512	2.150	1.626
3	1.521	0.6575	0.28798	0.43798	3.472	2.283
4	1.749	0.5718	0.20026	0.35027	4.993	2.855
5	2.011	0.4972	0.14832	0.29832	6.742	3.352
6	2.313	0.4323	0.11424	0.26424	8.754	3.784
7	2.660	0.3759	0.09036	0.24036	11.067	4.160
8	3.059	0.3269	0.07285	0.22285	13.727	4.487
9	3.518	0.2843	0.05957	0.20957	16.786	4.772
10	4.046	0.2472	0.04925	0.19925	20.304	5.019
11	4.652	0.2149	0.04107	0.19107	24.349	5.234
12	5.350	0.1869	0.03448	0.18448	29.002	5.421
13	6.153	0.1625	0.02911	0.17911	34.352	5.583
14	7.076	0.1413	0.02469	0.17469	40.505	5.724
15	8.137	0.1229	0.02102	0.17102	47.580	5.847
16	9.358	0.1069	0.01795	0.16795	55.717	5.954
17	10.761	0.0929	0.01537	0.16537	65.075	6.047
18	12.375	0.0808	0.01319	0.16319	75.836	6.128
19	14.232	0.0703	0.01134	0.16134	88.212	6.198
20	16.367	0.0611	0.00976	0.15976	102.443	6.259
21	18.821	0.0531	0.00842	0.15842	118.810	6.312
22	21.645	0.0462	0.00727	0.15727	137.631	6.359
23	24.891	0.0402	0.00628	0.15628	159.276	6.399
24	28.625	0.0349	0.00543	0.15543	184.167	6.434
25	32.919	0.0304	0.00470	0.15470	212.793	6.464
26	37.857	0.0264	0.00407	0.15407	245.711	6.491
27	43.535	0.0230	0.00353	0.15353	283.568	6.514
28	50.065	0.0200	0.00306	0.15306	327.103	6.534
29	57.575	0.0174	0.00265	0.15265	377.169	6.551
30	66.212	0.0151	0.00230	0.15230	434.744	6.566
31	76.143	0.0131	0.00200	0.15200	500.956	6.579
32	87.565	0.0114	0.00173	0.15173	577.099	6.591
33	100.700	0.0099	0.00150	0.15150	664.664	6.600
34	115.805	0.0086	0.00131	0.15131	765.364	6.609
35	133.175	0.0075	0.00113	0.15113	881.168	6.617
40	267.862	0.0037	0.00056	0.15056	1,779.1	6.642
45	538.767	0.0019	0.00028	0.15028	3,585.1	6.654
50	1,083.652	0.0009	0.00014	0.15014	7,217.7	6.661
∞				0.15000		6.667

Tabla A3.8 Tablas de tiempo interferencia de máquinas (*i*) y tiempo de operación de máquina (*m*) para constantes de servicio seleccionadas ($k = l/m$)
(Los valores se expresan como porcentaje del tiempo total, donde $m + l + i = 100\%$)

	(a)		(b)	
n	***i***	***m***	***i***	***m***
		***k* = 0.01**		
1	0.0	99.0	0.0	99.0
10	0.1	99.0	0.1	98.9
20	0.1	98.9	0.2	98.8
30	0.2	98.8	0.4	98.6
40			0.6	98.4
50			0.9	98.1
60			1.3	97.8
70			1.8	97.2
80			2.7	96.3
85			3.4	95.7
90			4.2	94.9
95			5.2	93.8
100			6.7	92.4
105			8.5	90.6
110			10.7	88.4
115			13.4	85.8
120			16.3	82.9
121			16.9	82.3
122			17.5	81.7
123			18.1	81.1
124			18.8	80.4
125			19.4	79.8
126			20.0	79.2
127			20.6	78.6
128			21.2	78.1
129			21.8	77.5
130			22.4	76.9
131			22.9	76.3
132			23.5	75.7
133			24.1	75.2
134			24.6	74.6
135			25.2	74.1
136			25.7	73.5
137			26.3	73.0
138			26.8	72.5
139			27.3	71.9
140			27.9	71.4
141			28.4	70.9
142			28.9	70.4
143			29.4	69.9
144			29.9	69.4
		***k* = 0.02**		
1	0.0	98.0	0.0	98.0
5	0.1	98.0	0.2	97.9
10	0.2	97.8	0.4	97.6
15	0.4	97.7	0.7	97.4
20	0.6	97.5	1.1	97.0
25	0.8	97.2	1.6	96.5
30	1.2	96.9	2.2	95.9
35			3.1	95.0
40			4.3	93.8
45			6.1	92.0
50			8.7	89.5
51			9.3	88.9
52			10.0	88.3
53			10.7	87.6
54			11.5	86.8
55			12.3	86.0
56			13.1	85.2
57			14.0	84.3
58			14.9	83.4
59			15.9	82.5
60			16.8	81.5
61			17.9	80.5
62			18.9	79.5
63			19.9	78.5
64			21.0	77.5
65			22.0	76.4
66			23.1	75.4
67			24.2	74.4
68			25.2	73.3
69			26.2	72.3
70			27.2	71.3
71			28.2	70.4
72			29.2	69.4
		***k* = 0.03**		
1	0.0	97.1	0.0	97.1
5	0.2	96.9	0.4	96.7
10	0.5	96.6	1.0	96.2
15	1.0	96.2	1.8	95.4
20	1.6	95.5	3.0	94.2
25	2.8	94.4	4.7	92.5
26	3.1	94.1	5.2	92.1
27	3.4	93.7	5.7	91.6
28	3.8	93.4	6.2	91.1
29	4.3	92.9	6.8	90.5
30	4.8	92.4	7.4	89.9
31			8.1	89.2
32			8.9	88.5
33			9.7	87.7
34			10.6	86.8
35			11.6	85.9
36			12.6	84.9
37			13.7	83.8
38			14.9	86.8
39			16.1	81.4
40			17.4	80.2
41			18.8	78.9
42			20.1	77.5
43			21.6	76.2
44			23.0	74.8
45			24.4	73.4
46			25.9	72.0
47			27.3	70.6
48			28.7	69.2
		***k* = 0.04**		
1	0.0	96.2	0.0	96.2
2	0.1	96.1	0.2	96.0
3	0.2	96.0	0.3	95.9
4	0.2	95.9	0.5	95.7
5	0.3	95.8	0.7	95.5
6	0.5	95.7	0.9	95.3
7	0.6	95.6	1.1	95.1
8	0.7	95.5	1.3	94.9
9	0.8	95.4	1.5	94.7
10	1.0	95.2	1.8	94.4
11	1.1	95.1	2.1	94.1
12	1.3	94.9	2.4	93.8
13	1.5	94.7	2.8	93.5
14	1.8	94.5	3.2	93.1
15	2.0	94.2	3.6	92.7
16	2.3	94.0	4.0	92.3
17	2.6	93.6	4.5	91.8
18	3.0	93.3	5.1	91.3
19	3.4	92.9	5.7	90.7
20	3.9	92.4	6.4	90.0
21	4.5	91.8	7.1	89.3
22	5.2	91.2	8.0	88.5
23	6.0	90.4	8.9	87.6
24	6.8	89.6	9.9	86.7
25	7.9	88.6	11.0	85.6
26	9.0	87.5	12.2	84.5

Tabla A3.8 (*continuación*)

	(a)		(b)	
n	***i***	***m***	***i***	***m***
		$k = 0.04$ *(cont.)*		
27	10.4	86.2	13.4	83.2
28	11.9	84.7	14.8	81.9
29	13.6	83.0	16.3	80.5
30	15.5	81.3	17.9	79.0
31			19.6	77.4
32			21.3	75.7
33			23.0	74.0
34			24.8	72.3
35			26.6	70.6
36			28.4	68.9
37			30.1	67.2
		$k = 0.05$		
1	0.0	95.2	0.0	95.2
2	0.1	95.1	0.2	95.0
3	0.2	95.0	0.5	94.8
4	0.4	94.9	0.7	94.5
5	0.5	94.7	1.0	94.3
6	0.7	94.6	1.4	94.0
7	0.9	94.4	1.7	93.6
8	1.1	94.2	2.1	93.3
9	1.4	93.9	2.5	92.9
10	1.6	93.7	3.0	92.4
11	2.0	93.4	3.5	91.9
12	2.3	93.0	4.1	91.4
13	2.7	92.6	4.7	90.8
14	3.2	92.2	5.4	90.1
15	3.8	91.7	6.2	89.3
16	4.4	91.0	7.1	88.5
17	5.2	90.3	8.1	87.6
18	6.1	89.5	9.1	86.5
19	7.1	88.5	10.4	85.4
20	8.4	87.3	11.7	84.1
21	9.8	85.9	13.1	82.7
22	11.5	84.3	14.7	81.2
23	13.4	82.5	16.5	79.6
24	15.5	80.5	18.3	77.8
25	17.8	78.2	20.2	76.0
26	20.3	75.9	22.2	74.1
27	22.8	73.6	24.3	72.1
28	25.3	71.2	26.4	70.1
29	27.9	68.8	28.5	68.1
		$k = 0.06$		
1	0.0	94.3	0.0	94.3
2	0.2	94.2	0.3	94.0
3	0.4	94.0	0.7	93.7
4	0.6	93.8	1.1	93.3
5	0.8	93.6	1.5	92.9
6	1.1	93.3	2.0	92.5
7	1.4	93.1	2.5	92.0
8	1.7	92.7	3.1	91.4
9	2.1	92.4	3.7	90.8
10	2.6	91.9	4.5	90.1
11	3.1	91.4	5.3	89.4
12	3.8	90.8	6.2	88.5
13	4.5	90.1	7.3	87.5
14	5.4	89.2	8.4	86.4
15	6.5	88.2	9.7	85.2
16	7.8	87.0	11.2	83.8
17	9.3	85.6	12.8	82.3
18	11.1	83.9	14.6	80.6
19	13.2	81.9	16.5	78.8
20	15.6	79.7	18.6	76.8
21			20.8	74.7
22			23.1	72.5
23			25.5	70.3
24			27.9	68.0
25			30.3	65.8
		$k = 0.07$		
1	0.0	93.5	0.0	93.5
2	0.2	93.2	0.4	93.1
3	0.5	93.0	0.9	92.6
4	0.8	92.7	1.4	92.1
5	1.1	92.4	2.0	91.6
6	1.5	92.1	2.7	91.0
7	1.9	91.7	3.4	90.3
8	2.4	91.2	4.3	89.5
9	3.1	90.6	5.2	88.6
10	3.8	89.9	6.3	87.6
11	4.7	89.1	7.5	86.4
12	5.7	88.1	8.9	85.1
13	7.0	86.9	10.4	83.7
14	8.6	85.4	12.2	82.1
15	10.4	83.7	14.1	80.3
16	12.6	81.6	16.2	78.3
17	15.2	79.3	18.5	76.2
18	18.1	76.6	21.0	73.9
19	21.1	73.7	23.5	71.5
20	24.4	70.7	26.2	69.0
21			28.9	66.5
		$k = 0.08$		
1	0.0	92.6	0.0	92.6
2	0.3	92.3	0.5	92.1
3	0.6	92.0	1.2	91.5
4	1.0	91.7	1.9	90.9
5	1.4	91.2	2.7	90.1
6	2.0	90.8	3.5	89.3
7	2.6	90.2	4.5	88.4
8	3.4	89.5	5.7	87.3
9	4.3	88.6	7.0	86.1
10	5.4	87.6	8.5	84.8
11	6.7	86.4	10.1	83.2
12	8.4	84.8	12.0	81.4
13	10.4	83.0	14.2	79.5
14	12.8	80.8	16.5	77.3
15	15.6	78.2	19.0	75.0
16	18.8	75.2	21.8	72.4
17	22.2	72.0	24.6	69.8
18	25.7	68.8	27.6	67.1
19	28.2	66.5	30.5	64.4
		$k = 0.09$		
1	0.0	91.5	0.0	91.7
2	0.4	91.4	0.7	91.1
3	0.8	91.0	1.4	90.4
4	1.3	90.6	2.3	89.6
5	1.9	90.0	3.3	88.7
6	2.6	89.4	4.5	87.7
7	3.4	88.6	5.8	86.5
8	4.5	87.6	7.3	85.1
9	5.7	86.5	9.0	83.5
10	7.3	85.0	10.9	81.7
11	9.3	83.2	13.1	79.7
12	11.7	81.0	15.6	77.5
13	14.5	78.4	18.3	75.0
14	17.8	75.4	21.2	72.3
15	21.5	72.0	24.2	69.5
16	25.3	68.5	27.4	66.6
17	29.2	65.0	30.6	63.7
		$k = 0.10$		
1	0.0	90.9	0.0	90.9
2	0.4	90.5	0.8	90.2
3	1.0	90.0	1.8	89.3
4	1.6	89.5	2.8	88.3
5	2.3	88.8	4.1	87.2
6	2.2	88.0	5.5	85.9

Tabla A3.8 (*continuación*)

	(a)		(b)	
n	***i***	***m***	***i***	***m***
		k* = 0.10 *(cont.)		
7	4.4	86.9	7.1	84.4
8	5.8	85.7	9.0	82.7
9	7.5	84.1	11.2	80.8
10	9.7	82.1	13.6	78.5
11	12.4	79.8	16.3	76.1
12	15.6	76.8	19.3	73.4
13	19.2	73.4	22.5	70.4
14	23.3	69.8	25.9	67.4
15	27.4	66.0	29.4	64.2
16	31.5	62.0		
		***k* = 0.15**		
1	0.0	87.0	0.0	87.0
2	0.9	86.2	1.7	85.5
3	2.1	85.1	3.6	83.8
4	3.9	83.8	6.0	81.8
5	5.5	82.2	8.7	79.4
6	8.0	80.0	11.8	76.7
7	11.2	72.2	15.4	73.5
8	15.2	73.7	19.5	70.0
9	20.1	69.5	23.8	66.2
10	25.5	64.8	28.4	62.3
11	31.0	60.0		
		***k* = 0.20**		
1	0.0	83.3	0.0	83.3
2	1.5	82.0	2.7	81.1
3	3.6	80.4	5.9	78.4
4	6.3	78.1	9.8	75.2
5	10.0	75.0	14.2	71.5
6	14.7	71.1	19.2	67.4
7	20.6	66.2	24.6	62.8
8	27.3	60.6	30.3	58.1
9	32.6	56.1		
		***k* = 0.30**		
1	0.0	76.9	0.0	76.9
2	3.0	74.6	5.1	73.0
3	7.4	71.3	11.1	68.4
4	13.3	66.7	18.0	63.1
5	21.1	60.7	25.4	57.4
6	29.9	53.9	33.0	51.6
		***k* = 0.40**		
1	0.0	71.4	0.0	71.4
2	4.8	68.0	7.5	66.0
3	11.8	63.0	16.3	59.8
4	21.2	56.3	25.6	53.1
5	31.9	48.6	34.9	46.5

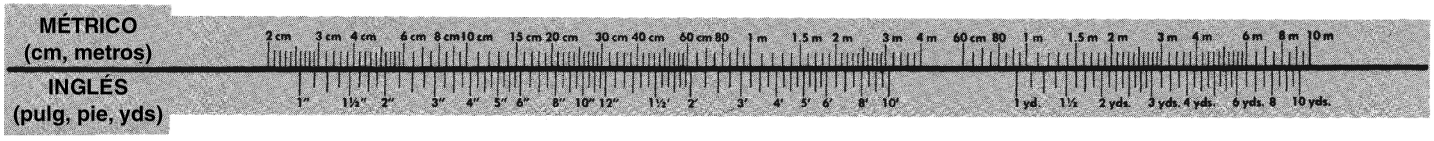
Nota: En todas las tablas se suponen solicitudes de servicio al azar. La columna (a) es para tiempo de servicio constante y la columna (b) para una distribución exponencial de tiempos de servicio. Se espera que los valores que faltan en la columna (a) puedan obtenerse por aproximación en un futuro cercano. Cuando no aparecen datos en la columna, significa que no se disponía de las cifras.

Tabla A3.9 Diagrama de conversión del sistema métrico

Estados Unidos MÉTRICO
1 pulgada = 25.4 milímetros
1 pie = 30.48 centímetros
1 yarda = 0.914 metros

MÉTRICO Estados Unidos
1 milímetro = 0.039 pulgadas
1 centímetro = 0.394 pulgadas
1 metro = 39.37 pulgadas

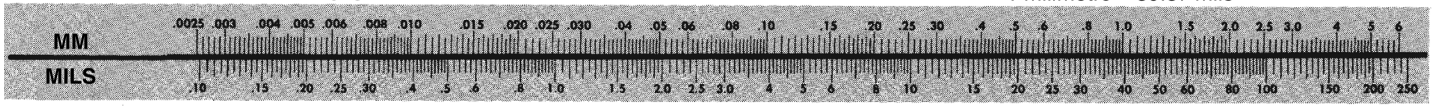
LONGITUD



ESPESOR

1 mil = .025 milímetros

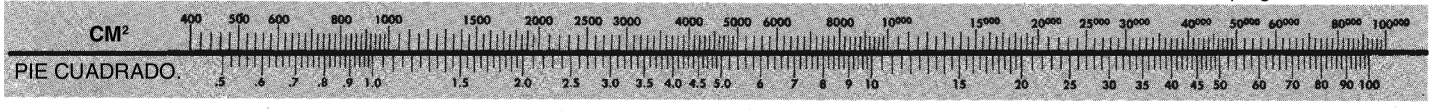
1 milímetro = 39.37 mils



ÁREA

1 pie cuadrado = 929.03 centímetros cuadrados

1 centímetro cuadrado = 0.155 pulgadas cuadradas



VOLUMEN

1 galón = 3.785 litros

1 litro = 0.264 galones

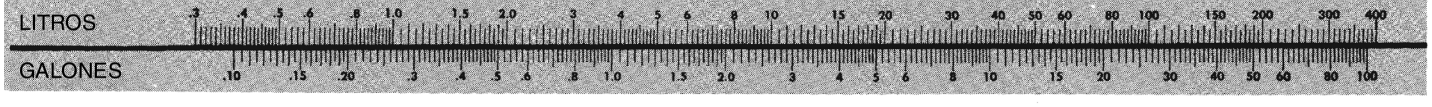


Tabla A3.9 (*continuación*)

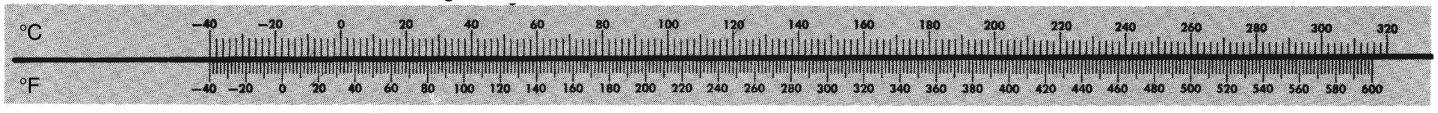
VOLUMEN

1 pulgada cúbica = 16.387 centímetros cúbicos 1 centímetro cúbico = 0.061 pulgada cúbica



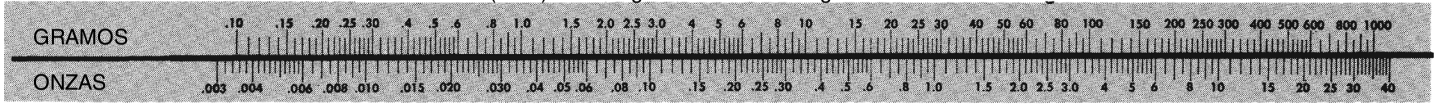
TEMPERATURA

$$°\text{Fahrenheit} = \frac{(°\text{Celsius})\,9}{5} + 32 \qquad °\text{Celsius} = \frac{(°\text{Fahrenheit} - 32)5}{9}$$



PESO

1 onza (seca) = 28.35 gramos 1 gramo = 0.035 onzas



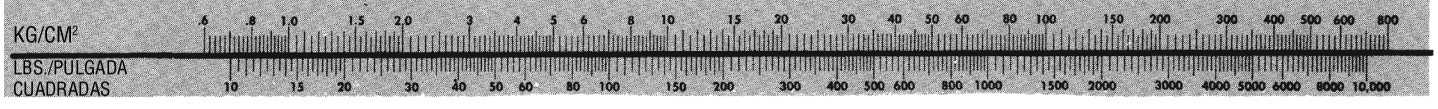
PESO

1 libra = .454 kilogramos 1 kilogramo = 2.204 libras



PRESIÓN

1 libra/pulgada cuadrada = 0.703 kilogramos/centímetros cuadrados 1 kilogramo/centímetro cuadrado = 14.22 libras/pulgada cuadradas



Con la aprobación de McGraw-Hill Book Company, College Division. Publicado para la diversidad del ingeniero, 1221 Avenue of the Americas, Nueva York, NY 10020.

ÍNDICE

Los números de página seguidos por una e, f, g y t se refieren a ejemplos, figuras, glosario y tablas, respectivamente

3 E, 266, 547g
5 S, 58, 542, 547g

Abducción, 163f
Acción del ojo (E), 414
Acción repetitiva del dedo, 169
Ácido láctico, 118, 123, 547g
Aclimatación, 201
Acoplamiento de máquinas, 31
Acoplamiento, 131, 134f
Activadores, 259
Actividad principal en la vida, 319-320
Actividades ficticias, 21
Acuerdo de facilitación, 540, 547g
Acusado, 282
ADA (Ley para discapacitados en Estados Unidos), 13, 143, 319-320
Administración de la seguridad y la salud ocupacional (OSHA), 13, 285-290
Administración de la seguridad, 256, 547g
"Administración de taller" (Taylor), 8
Administración médica, 289
Administración total de la calidad (TQM), 542
Advertencias, 246, 252
Aeróbico, 104, 118, 547g
Agarre (G), 117t, 413, 547g
Agarre de fuerza, 130, 164-166, 541g
Agarre de gancho, 166-167, 170f, 547g
Agarre de pistola, 173
Agarre de precisión, 166-167
Agonista, 100, 547g
Agrupamiento, 224-225, 547g
AGV (vehículo de guía automatizada), 81
Alcanzar (RE), 117t, 413
Almacenamiento, 79, 81f, 547g
Alojamiento razonable, 319-320
Altura de la superficie de trabajo, 143, 145f
Altura del codo, 143, 145f
Anaeróbico, 104, 118, 547g
Análisis. *Vea también* Diagramas; Listas de verificación; Guías
  análisis de puestos, 23-25
  análisis de seguridad en el trabajo (JSA), 262-264
  árbol de fallas, 276-282
  balanceo de líneas, 45-52
  costo-beneficio, 279-282, 301-304
  cruce (punto de equilibrio), 301-304, 500f
  decisión económica, 309-310e, *Vea también* Costeo
  ji-cuadrada, 261-263
  sitio de trabajo, 23-25
  tablas de acción ante peligros, 299-300t
Análisis costo-beneficio, 279-282, 301-304, 547g
Análisis de árbol de fallas, 276-282, 547g
  AND, 269, 276-278
  análisis costo-beneficio, 278-282
  eventos fallidos, 276
  leyes distributivas, 269t
  OR, 269, 276-278
Análisis de la ji-cuadrada, 261-263, 547g, 547t
Análisis de operaciones, 3-6, 18, 57-97, 541g
  diseño de partes, 60-63
  distribución de planta, 86-94
  lista de verificación, 95f
  manejo de material, 78-86
  manufactura esbelta, 58, 60, 541-543
  materiales, 65-68
  preguntas realizadas, 57-59t
  preparación (setup) y herramientas, 74-79
  propósito de operación, 58-60
  secuencia de manufactura, 69-73
  tolerancias, 63-64
Análisis de Pareto, 18-19, 74
Análisis de riesgo, 265-267, 547g
Análisis de riesgos en el trabajo, 262-264
Análisis de seguridad de los métodos, 262-264
Análisis de seguridad en el trabajo (JSA) 262-264, 547g
Análisis del trabajo/sitio de trabajo, 23-25, 547g
Análisis ji-cuadrada, 261-263
Análisis transaccional, 535-537, 547g
  estados del ego, 535
  transacciones, 535-537
Ancho de banda, 219, 547g
AND, 269, 276-278, 547g
Ángulo visual, 184-185, 244, 547g
Antagonista, 100, 547g
Antecedentes, 259
Antropometría, 139-143, 547g
  dimensiones del cuerpo, 140t
  diseño del asiento en la sala de capacitación, 144e
  diseño para el promedio, 142
  diseño para la ajustabilidad, 142
  diseño para los extremos, 142
  percentiles, 141-142
Aplicación de presión (A), 414
Aprendizaje en el trabajo, 526
Apriete, 164
Apropiación del riesgo, 283, 547g
Arco, 21
Arco cifótico hacia afuera, 147f
Arreglos alternativos, 90, 91f
Asistentes personales digitales (PDA), 245
Asociación Internacional de Ergonomía, 11-12
Asociaciones, 225, 548g
Atención, 229-233, 547g
  carga de trabajo mental, 233
  compartida, 230
  dividida, 230
  enfocada, 229-230
  vigilancia, 231-232f
  Yerkes-Dodson, 231-232f
Atención dividida, 230
Atención enfocada, 229-231, 541g
Atención sostenida, 229-231, 547g
ATP (trifosfato adenosino), 118-120, 548g
Audiencias grandes, 540
Aumento de la frecuencia cardiaca, 123, 548g
Aumento del trabajo, 533, 548g
Automatización, 70-71
Autoobservación, 540-541
Autosatisfacción, 532-533, 548g
Balance de calor, 198
Balanceadores de herramientas, 151f, 174
Balanceo de líneas de ensamble. *Vea* Balanceo de líneas
Balanceo de líneas, 45-52
  diagrama de precedencia, 49
  eficiencia, 46-47
  número de operarios, 46-47
  peso de posición, 49-50
  restricciones de zona, 49
  tiempo ocioso, 46, 50
Banco para sentarse/pararse, 148, 150f
Bancos, 150f
Bandas octavas, 193, 195-197f, 548g
Bandera roja, 268, 548g
Barras de herramientas, 246, 548g
Barras de par de torsión de reacción, 174
Barth, Carl G., 10
Base firme del costo, 498
Bastones (retina), 185, 548g
Beneficios complementarios, 507, 548g
Beta, 220-221f, 548g
Bíceps, 100, 166
Bit, 218, 548g
Botones, 246, 548g
Buscar (S), 117t, 548g

Calidad total (TQ), 542-544, 548g
Calificación. *Vea* Calificación del desempeño
Calificación contra reloj, 357, 548g
Calificación de velocidad, 357-358, 548g
Calificación del desempeño (R), 331, 343-344, 355-366, 549g
  análisis de la, 364-394
  aplicación de la, 362-363
  calificación objetiva, 360-361
  curvas de aprendizaje, 526-531
  holgada, 366
  seguimiento, 489-491
Calificación objetiva, 360-361, 548g
Calificación sintética, 360-361
Calificaciones del esfuerzo percibido (RPE), 124-125, 548g
Calificaciones subjetivas de esfuerzo percibido (RPE), 124-125
Cámaras de video, 330-331
Candelas (cd), 184, 549g
Cansancio después de comer, 207, 549g
Capacidad de canal, 219
Capacitación, 526-530
  curva de aprendizaje, 526-531
  enfoques, 526-527
  motivación del empleado, 530-535
  para la calificación del desempeño, 364-366
Capacitación física, 526
Carga de trabajo
  física, *Vea* Gasto de energía
  mental, 231, 375-376
Carga de trabajo mental, 231, 375-376
Caso (MTM-2), 413-414
Causas múltiples, 256-257
Choque, 21-25, 549g

Ciclos de trabajo-descanso, 108
Ciclos en, 549g
balanceo de líneas, 49-50
curvas de aprendizaje, 527-531
MTM-2, 409
relaciones hombre-máquina, 32-40
ritmos circadianos, 207-208
Cierre, 283, 549g
Cintas negras, 134-135
Círculos de calidad, 540, 549g
Citas, 287-288, 549g
Clasificación del trabajo, 317-319
Clasificaciones de movimientos, 112-114
Cláusula de obligación general, 285, 549g
CLI (Índice de levantamiento compuesto), 131-132
CLO, 202, 519g
Cóclea, 191-192f, 549g
Codificación de forma, 155-156
Codificación de textura, 155-156
Codificación del tamaño, 155-156
Código de barras, 86
Código de control, 155-157
forma, 155-156
operativo, 156-157
tamaño, 157
textura, 156
Código de información, 233-237
compatibilidad, 235-236
diferencia apenas perceptible (JND), 233
juicio relativo, 234
ley de Weber, 235
modalidad de señal, 234-235
redundancia, 236
Código de Producto Universal (UPC), 84
Código operativo, 157-158
Coeficiente de fatiga, 368
Colocación (P, MOST), 423-424
Color, 190-191t
recomendaciones para la seguridad, 294
representación, 186-188, 548g
Columna vertebral, 142f, 549g
Combinación de operaciones, 69
Comparación de sistemas MTM, 422-425
Compatibilidad, 159, 235-236, 549g
Compatibilidad de modalidad, 235
Compensación a los trabajadores, 282-285
discapacidades, 284
lesión programada, 284
razón mod, 284
Compresión de tejidos, 167-168
Compromiso de administración, 288-289
Compromiso e inclusión, 287-288
Comunicación del peligro (HAZCOM), 294
Comunicación uno a uno, 539
Comunicaciones, 537-541
audiencia grande, 540
diádicas, 539
grupos pequeños, 540
relaciones laborales, 540-541
uno a uno, 539
Comunicaciones diádicas, 539, 549g
Comunicaciones en grupos pequeños, 539
Comunicaciones verbales, 539
Concesión en la relación velocidad-precisión, 227, 549g
Conciencia situacional, 226, 549g
Condiciones (en clasificación), 358-259t
Condiciones atmosféricas, 371-373e
Confiabilidad, 271-276, 549g
leyes distributivas, 269t, 273
mapas de Karnaugh, 274-275
paralela, 270-271f, 273
redundancia, 273-274
serie, 270-271f, 274
Conos, 183, 549g
Consistencia (calificaciones), 359-360t, 388g
Contador, 237, 549g
Contenedores por gravedad, 150, 151f, 549g
Contornos equivalentes del nivel de sonido, 194f
Contraste, 184-186
Control de ganancia (G), 425-426
Control de la calidad total (Feigenbaum), 542
Control de producción, 495-496
Control del muerto, 157, 291, 549g
Control del peligro, 290-292t
Control estadístico de la calidad, 267, 542-543
Control motriz, 109-115
clasificación del movimiento, 112-115
concesión en la relación velocidad-precisión, 110, 227
electromiogramas (EMG), 109
fatiga, 104-108, 110
movimiento simultáneo, 111-112, 114-116
movimientos balísticos, 110
movimientos curvos, 112
movimientos simétricos, 11-112
pivote alrededor del codo, 112f
principio del tamaño, 109
ritmo natural, 111
sistema nervioso central, 108-110
tarea de enrosque de Fitts, 113, 213-230f
unidad motriz, 109
Controles, 154-160, 163. *Vea también* Señales
codificación, 154-157
compatibilidad, 159
control del muerto, 157, 291
criterio de desplazamiento, 157t
efecto del rango, 157
espacio muerto, 159
mapeo, 160
principio de Warrick, 159
razonabilidad, 163
regla de la mano derecha, 160
resistencia, 158t
retroalimentación, 160
sensibilidad, 157, 159f
tamaño, 157t
Convenciones de los diagramas de flujo, 27-28f
Convexión, 198, 201
Córnea, 183, 549g
Cortes múltiples, 154
Costeo, 498-503, 549g
costo primo, 498, 500f
costos generales, 498
ejemplo, 499e, 500-501e
gastos indirectos, 487
mano de obra directa, 498
mano de obra indirecta, 499
materiales directos, 498, 500g
Costo de fábrica, 500f, 549g
Costo de material directo, 498, 500, 549g
Costo primo, 498, 500f, 549g
Costos Estándar, 503, 549g
Costos generales, 498, 549g
Costos unitarios de mano de obra, 508, 549g
Criterio
émbolo, 308
minimax, 308
pesimismo, 307
tres sigma 343, 344
Criterio 1.5 IQR, 542, 542g
Criterio de arrepentimiento Minimax, 308, 550g
Criterio de Plunger, 307, 550g
Criterio de respuesta, 220, 550g
Criterio pesimista, 307, 550g
Criticismo, 280, 550g
Cronómetro, 329-330
Cronómetro electrónico asistido por computadora, 331f
Cronómetro electrónico, 330f
Cursor, 246
Curva de aprendizaje, 527-531, 550g
ejemplo, 529e
retroceso, 530-531
tasa de aprendizaje, 528
Curva de resistencia, 107f
Curva U invertida, 231-232f
Curvas de Blackwell, 130, 186f

d', 221-222, 550g
Daños (legales), 282
Daños compensatorios, 282, 550g
Daños punitivos, 282, 550g
Datos estándar, 385-399, 550g
construcción de ventanas, 502t
desarrollo de tiempos de elemento, 382-388
espacios, 388t
fórmulas, 389-397
graficación de curvas, 390-393
nomogramas, 388-389f
uso de, 397-398
Datos estándar de gastos indirectos y mano de obra indirecta, 468-479
Datos tabulares, 387
Decibel (dB), 192-193, 550g
Dedo de disparo, 163, 550g
Dedos, 168-170
Déficit de oxígeno, 119, 550g
Degeneración de disco, 125-126, 550g
Demandante, 282, 550g
Demandas a terceros, 284
Deming, W. E., 542-543t
Demora evitable (AD), 117t, 367, 378, 558g
Demoras inevitables (UD), 117t, 376-378, 550g
Desarrollos históricos, 7-15
Descansar para recuperarse de la fatiga (R), 117t, 550g
Descanso de la muñeca, 242
Descripción del puesto, 314
Desempeño de papel, 540
Desempeño estándar, 355-356, 550g
Desensamble (DA), 117t, 550g
Deslumbramiento, 189-190f, 550g
Desórdenes de trauma acumulativo (CTD), 160-164, 550g
dedo blanco, 163, 206
dedo del gatillo, 163
factores que conducen a, 160
gráfica de incomodidad del cuerpo, 163-164f
índice de riesgo CTD, 163-165f
síndrome de Raynaud, 163, 206
tendinitis, 163
túnel carpiano, 162, 168
vasoconstricción, 173
vibración, 164, 173
Desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo; *Vea* Desórdenes por trauma acumulativo
Desperdicio, 58, 539-542
Desviación cubital, 163f, 167f, 550g
Desviación radial, 163f, 167f, 550g

Detección, 219, 550g
Determinación de la capacidad de planta, 494
Deuda de oxígeno, 119, 550g
Diagrama de flujo, 28-32, 550g
Diagrama de movimiento simultáneo (simo), 116, 550g
Diagrama de proceso bimanual, 116-118, 550g
  ejemplo, 117f
Diagrama de proceso de la operación, 25-27, 550g
  construcción, 25-26
  convenciones de los diagramas de flujo, 26f
  ejemplo, 26f
Diagrama de proceso del operario, 116-118
Diagrama de proceso descriptivo, 25, 550g
Diagrama de proceso hombre-máquina, 30-33, 550g
  acoplamiento de máquina, 31
  convenciones, 31
  ejemplo, 33f
  grupo, 32-35
  relaciones cuantitativas, 32-45
Diagrama de relación (rec), 88, 89f, 550g
Diagrama de relaciones de actividad, 89-91f
Diagrama/matriz de precedencia, 49-50
Diagramas, *Vea también* Formas
  bimanual, 116-118
  causa y efecto, 19-20f
  control, 450-454
  cruce, 303-304e, 500f
  de-hacia, 88-89f
  diagrama de flujo, 26-32
  diagrama de pescado, 18-20f
  equilibrio, 303-305e, 500f
  flujo de proceso, 26-29
  Gantt, 19-20f
  incomodidad del cuerpo, 163-164f
  índice de riesgo de desórdenes por traumas acumulativo (CTD), 163-165f
  Pareto, 18-19f
  PERT, 20-25
  precedencia, 49-50
  proceso de cuadrilla, 32-35
  proceso de operación, 25-27
  proceso hombre-máquina, 30-32
  proceso operador, 116-118
  relación (rel), 88, 89f
  relación de actividad, 90-91f
  sima, 116
  trabajo/sitio de trabajo, 23-24f
  viaje, 88-89f
Diagramas de causa y efecto, 19-20
Diagramas de pescado, 19-20, 550g
Diagramas de viaje, 88-89f, 530g
Diagramas de-hacia, 88-89f
Diagramas del proceso
  bimanual, 116-118
  flujo, 26-30, 550g
  grupo, 32-35
  hombre-máquina, 30-33
  operación, 25-27
  operario, 116-118
  símbolos, 27-28f
Diferencia apenas perceptible (JND), 235, 250g
Dimensiones del cuerpo, 140t
Dimensiones para el sitio de trabajo de pie, 145f
Discapacidad, 284
Discapacidad parcial permanente, 284
Discapacidad parcial temporal, 284, 551g
Discapacidad temporal total, 284, 551g
Discapacidad total permanente, 284
Disco desviado, 126
Disco herniado, 125-127
Disco L_5/S_1, 127
Diseño, 551g
  de distribución de planta, 86-94
  de herramientas, 164-176
  de manejo de materiales, 78-86, 128-134
  de maquinaria y equipo, 154-160
  de operaciones de manufactura, 69-79
  de partes, 61-63
  de trabajo manual, 101-138
  del ambiente de trabajo, 183-214
  del sitio de trabajo, 139-160
  para el promedio, 143
  para la ajustabilidad, 142
  para los extremos, 142
Diseño contra fallas, 291, 551g
Diseño de asientos en salas de capacitación grandes, 144e
Diseño de carátula, 229-230f
Diseño de herramientas, 164-174
  acción repetitiva, 169
  agarre de contracción, 166-167
  agarre de fuerza, 130, 164-166
  agarre de precisión interna, 169
  agarre de precisión, 166-167
  carga estática, 166
  compresión de tejidos, 167-168
  espacio de agarre, 170-171
  fuerza de agarre, 166-167f, 170-171
  fuerza de contracción, 171f
  fuerzas de los dedos, 170f
  gatillos, 169f
  género, 169
  herramientas de potencia, 173-174
  lista de verificación, 175f
  manijas dobladas, 168f
  manijas, 168-172, 173
  peso, 171
  postura neutra, 167
  ranuras para los dedos, 168
  tipos de agarre, 166-167t
  zurdos, 108, 167-168
Diseño de interfase de software, 245-247
Diseño de maquinaria y equipo, 154-160
  codificación, 154-156
  controles, 154-160, 163
  cortes múltiples, 154
  fijaciones, 154-155f
  lista de verificación, 161-162f
  manivelas, 155, 159
  palancas, 159
  razón de control-respuesta, 156-159f
  volantes, 155, 159
Diseño de partes, 61-63
Diseño de perillas, 155f
Diseño de trabajo cognitivo, 217-248
  código de información, 233-237
  interacción humano-computadora, 242-247
  listas de verificación, 233f, 243-244f, 248f
  procesamiento humano de información, 214-224
  señales de auditoría, 241-242
  señales visuales, 237-240
  teoría de detección de señales, 219-224
  teoría de la información, 217-219
Diseño del ambiente de trabajo, 183-214
  iluminación, 183-190
  lista de verificación, 213f
  radiación, 205-206
  ruido, 190-198
  temperatura, 198-202
  tensión por calor, 200-202
  tensión por frío, 201-202
  trabajo en turnos, 207-212
  ventilación, 202-204
  vibración, 204-206
Diseño del sitio de trabajo, 139-160
  altura de descanso del codo, 143, 145f
  altura de la superficie de trabajo, 143-144
  antropometría, 139-143
  área de trabajo normal, 148-150f
  arreglo de componentes, 151-152
  banco para sentarse/pararse, 148, 149f
  contenedores por gravedad, 150, 151f
  entrega por gravedad, 151
  flexibilidad de la postura, 148
  listas de verificación, 153f
  principios del diseño, 142-143
  sillas, 145-148
  sitio de trabajo de pie, 145f
  sitio de trabajo sentado, 143-149f
  soporte lumbar, 143
  tapetes antifatiga, 148
  ubicaciones de herramientas fijas, 150-152
Diseño del trabajo manual, 99-138
  asignación de descansos, 123
  cinturones de espalda, 134-135
  control motriz, 109-114
  economía de movimientos, 109-114
  estudio de movimientos, 114-1118
  evaluación del esfuerzo percibido (RPE), 124-125t
  evaluación del esfuerzo percibido de Borg (RPE), 124-125t
  fatiga, 104-109, 111
  frecuencia cardiaca, 123-125
  fuerza muscular, 101-110
  fuerza, 101-110
  fuerzas compresivas en la espalda baja, 124-128
  gasto de energía, 118-123
  guías de levantamiento NIOSH, 128-134
  levantamiento, 103f, 105t, 128-135
  listas de verificación, 115f, 135f
  postura neutra, 102f, 167
  principios de, 101-114
  sistema músculo-esquelético, 100-102
  therbligs, 116-117t
Diseño del trabajo, 551g
  ambiente de trabajo, *Vea* Diseño del ambiente de trabajo
  definición, 7
  herramientas, *Vea* Diseño de herramientas
  maquinaria y equipo, *Vea* Diseño de máquinas
  sitio de trabajo, *Vea* Diseño del sitio de trabajo
  trabajo manual, *Vea* Diseño de trabajo manual
Disociabilidad, 242
Disposición de herramientas en el panel, 150-152
Dispositivos apuntadores, 243-244, 246, 551g
Distancia de acción (A, MOST), 425-426
Distribución. *Vea* Distribución de planta
Distribución asistida por computadora, 91-93
Distribución binomial (teorema), 40-41, 441, 443, 551g
Distribución de luz, 186-189
Distribución de planta, 86-94
  calificaciones de relaciones, 89-90t
  diagrama de relaciones (rel), 89-91f
  diagrama de viaje, 87-89f
  diagrama de-hacia, 87-89f
  distribución asistido por computadora, 91-93
  distribución de relación espacial, 90, 91f

ejemplo, 89-90e
evaluación de arreglos alternativos, 90, 92f
planeación de distribución sistemática de Muther (SLP), 88-91
relaciones de actividad, 89-91f
SPIRAL, 92-93f
tipos, 87
Distribución de Poisson, 470-472, 551g
Distribución de relaciones espaciales, 90, 91f
Distribución del proceso, 87, 551g
Distribución del producto, 87, 551g
Distribución en línea recta, 87
Distribución exponencial, 472-473, 551g
Distribución funcional, 87, 551g
Distribución normal estándar (*z*), 567t
Distribución *z*, 141-142, 567t
Doblar y levantar (B), 414
Doce principios de la eficiencia (Emerson), 10
Dos a la vez, 72, 111
Dosis (radiación), 206-207
Dosis (ruido), 194-295
Duración de agarre, 170-171
Duración del descanso, 100-101, 551g

Economía de movimientos, 101-104; *Vea también* Control motriz
control motriz, 109-115
fuerza humana, 109-107
Efecto de género
fuerza de agarre, 167t, 171f
fuerza muscular, 104-105t
Efecto del rango, 157
Efecto Hawthorne, 313-314, 551g
Eficiencia, 552g
balanceo de línea, 47-47
gasto de energía, 118-122
herramientas, 78-79
iluminación, 186-187t
mano de obra, 496-479
motor, 78
operario, 345, 346e, 495-497
Eficiencia de iluminación, 186-187t, 552g
Eficiencia de la mano de obra, 496-497
Ejecución de la respuesta, 227
Electromiograma (EMG), 109, 552g
Elementos (estudio de tiempos), 333-342, 552g
constante, 386
división en, 334-335
erráticos, 340, 345
extraños, 340, 350-351
faltantes, 338
número a estudiar, 340-343
variables, 386
Elementos extraños, 338, 350-351, 552g
Embrague, 174
Emerson, Harrington, 10
EMG (electromiógrafo), 109, 552g
Encerrar, 283, 552g
Endurecimiento por trabajo, 526, 552g
Enfermedad ocupacional, 285
Enfoque de Dale Carnegie, 537-538
Enfoque de Volvo, 533-534
Enlazamiento, 281, 291, 552g
Enriquecimiento del trabajo, 533, 552g
Ensamble (A), 117t, 552g
Entrega por gravedad, 151, 552g
Equipos de ergonomía, 540
Erector espinal, 126, 552g
Ergonomía, 11, 139, 552g, *Vea también* Diseño del trabajo
Errático, 342, 344-345
Error de registro, 345-351, 552g
Escala Borg de la clasificación del esfuerzo percibido (RPE), 124-125, 552g
Escala Borg de la razón de categoría (CR-10) 163-164f
Escala de razón de categoría (CR-10), 163-167f
Escala de ventana abierta, 238f
Escala fija, puntero móvil, 236-239
Escala móvil, puntero fijo, 236-239
Escala RPE (calificación del esfuerzo percibido), 204-205
Escala vertical, 238f
Escalas circulares, 238f
Esfuerzo, 552g
clasificación para calificación, 357-359t
evaluación en el trabajo, 316-317t
Esfuerzo de calor, 198-202
Esfuerzo frío, 201-202
CLO, 201
índice del factor del viento, 202f
Esfuerzo visual, 149f
ESOP (plan de posesión de acciones para los empleados), 514
Espacio muerto, 159, 552g
Especificaciones, 63-64
Espectro de frecuencia, 109
Espina, 124-126
Espina lumbar, 125-126f
Estación de trabajo, apropiada, 149f
Estados del ego, 535, 552g
Estampas, 535
Estándar universal de mano de obra indirecta (UILS), 463-466
Estándares, 489-504. *Vea también* Tiempo estándar, Datos estándar
Estándares de desempeño profesional, 481-485
Estándares de gastos indirectos y mano de obra indirecta, 468-479
cuarto de herramientas, 475e
guía para el establecimiento, 485t
inspección, 473-474e
mano de obra indirecta, 478-479, 499
profesional, 481-485
simulación Monte Carlo, 475-478
supervisión, 478-479
teoría de colas, 470-475
universales (UILS), 480-483
Estándares de gastos indirectos: *Vea* Estándares de mano de obra indirecta y gastos indirectos
Estándares de puntos de comparación, 480-483, 552g
Estándares de supervisión, 478-479
Estándares temporales, 345-347, 552g
Estudio de la razón de demora, 441
Estudio de movimientos, 9-10, 114-121, 552g
diagrama de movimientos simultáneos (simo), 116
diagrama de proceso bimanual, 116-118
diagrama de proceso del operario, 116-118
historia del, 9-10
listas de verificación, 115f, 120-121f
movimientos básicos, 116
principios de la economía de movimientos, 101-114
técnica de micromovimientos, 145-147
therbligs, 116-117f, 118-120f
Estudio de tiempos, 327-351, 552g
cálculo del estudio, 344-346
calificación del desempeño, 342-343, 355-366
cinta de video, 330-331
comparación con el muestreo del trabajo, 493-494t
cronómetro, 329-330
dificultades encontradas, 338-340
ejemplos, 332f, 336f, 339f, 341f, 350-351
elementos extraños, 340, 348-351
elementos, 333-343
equipo de capacitación, 333
equipo, 329-333
formas, 331, 332f, 336f, 339f, 341f
holguras, 343-344
número de ciclos necesarios, 340-343
operario calificado, 328, 343, 355, 356
puntos de quiebre, 335
regresos a cero, 330, 332f, 335, 337
responsabilidades en, 328-329
selección del operario, 334
software, 331
tablero, 331-332, 552g
tiempo continuo, 330, 335, 338, 339f
tiempo estándar. *Vea* Tiempo estándar
verificación de tiempo, 345
Estudios de Bethlehem Steel, 8
Estudios de micromovimiento, 114-116, 552g
Evaluación de puestos, 317-320, 552g
Evaporación, 198
Evento básico, 277, 552g
Evento fallido, 276, 552g
Eventos independientes, 270-272, 552g
Éxito, 220, 552g
Experimento de las palas, 9
Explosiones, 294-295
Extensión, 100, 163f, 167f, 552g

Factor de ajuste en la calificación, 385, 552g
Factor de seguridad, 291, 552g
Factor del viento, 202, 552g
Factores extrínsecos, 535, 552g
Factores humanos y Sociedad de ergonomía, 12
Factores humanos, *Vea* Diseño del trabajo
Factores intrínsecos, 355, 552g
Falsa alarma, 219, 552g
Fatiga, 552
asignación de descansos, 123
descanso a superar (R), 117t
músculo, 104-108
tolerancias. *Vea* Coeficientes de tolerancia, 368
Fatiga muscular, 104-108, 110
Feigenbaum, A. V., 543
Filamentos delgados, 100, 552g
Filamentos gruesos, 100, 552g
Flexión, 100, 163f, 167f, 552g
Flotante, 21, 553g
Foco del descanso, 245
Foot-lamberts (fL), 183, 553g
Formas. *Vea también* Diagramas
estudio de tiempos, 331-332f, 336f, 339f, 341f
MOST básico, 430f
MTM, 416f
muestreo del trabajo, 451f, 455f
Fórmula de Wright, 43, 553g
Fórmulas analíticas, 389-397
Fórmulas, *Vea también* Tablas especiales
construcción de, 389-397
movimientos de cuarta clase, 113
usadas comúnmente, 562-563
Fortalecimiento de los estándares de calidad, 497
Fotorreceptores, 183
Fototropismo, 190, 553g
Fóvea, 183-184, 553g

Fracaso, 220, 563g
Frecuencia
multiplicador (NIOSH), 128t
ruido, 190
vibración, 203-204
Frecuencia de uso, 233, 553g
Frecuencia natural, 204, 553g
Fuentes de luz, 186-189f
Fuerza de agarre, 166-167f, 170-171f
Fuerza de empuje/jalón, 106t
Fuerza de trabajo, 494
Fuerza isocinética, 102, 553g
Fuerza isométrica, 102, 104, 553g
Fuerza isotónica, 102, 553g
Fuerza muscular, 102-109: *Vea también* Sistema músculo-esquelético
área de sección transversal, 104
ciclos de trabajo y descanso, 108
contracción rítmica, 109f
control motriz, 108-115
derecho o zurdo, 108-110
dinámica, 102, 104
efecto de la edad, 108
efecto del género, 108
empuje/jalón, 106t
estática, 102, 103f, 107t, 164
fatiga, 104-108, 110
psicofísica, 103, 103-104t
resistencia, 104-108
tipos, 102-107
Fuerza psicofísica, 102-106t, 553g
Fuerzas compresivas en la espalda. *Vea* Espalda baja
Fuerzas compresivas sobre la espalda baja, 125-128
Vea también Guías de levantamiento NIOSH
anatomía, 124-127
discos desviados, 127
discos, 125-127
erector espinal, 125
espina lumbar, 125-126f
vértebras, 125-126
Funcionalidad, 152
Funciones esenciales, 319-320

Gantt, Henry Laurence, 10-11
Gasto de fábrica, 498-500f, 553g
Gasto energético, 118-123, 372-373e
ácido láctico, 118, 122
aeróbico, 104, 119, 124
anaeróbico, 104, 118
asignación de descansos, 123
cálculo, 119
déficit de oxígeno, 119
deuda de oxígeno, 119
ejemplos, l31f
guías, 121-123
trifosfato adenosino (ATP), 118-119
Gastos generales, 498-500f, 553g
Gastos indirectos, 467, 478-479, 499, 553g
Gilbreth, Frank y Lillian, 9-10
Giros, 133-135, 166
Glucosa, 173, 553g
Grados de trabajo, 317-319t
Gráfica de control, 450-454
Gráfica de Gantt, 19-21, 553g
Gráfica de incomodidad del cuerpo, 163-164f, 553g
Gráfica de tolerancia de la limpieza de una máquina, 378t
Gráfica del flujo de proceso, 26-29, 553g
construcción de, 26-28
ejemplos, 29f
símbolos, 27-28f
Gráficas, 388-389
Gráfica del proceso en grupo, 32-35, 553g
Gráficas de cruce, 303-306, 500f, 553g
Gráficas de equilibrio, 303-305e, 500f
Gráficas PERT, 20-25, 553g
aceleración, 21-25
actividades ficticias, 21
arco, 21
flotación, 21
nodo, 21
red, 21-23
ruta crítica, 21-23
Grupos de discusión, 539, 553g
GT (temperatura del globo), 199-200
Guantes, 172
Guardas (máquina), 293
Guía para el análisis del trabajo/sitio de trabajo, 23-24
Guías. *Vea también* Niveles recomendados
administración de la ergonomía, 288-291
clasificación, velocidad, 357-358
clasificación, Westinghouse, 357-361
exposiciones a la vibración, 204-206
frecuencia cardiaca, 123-125
gasto energético, 122-123
guías de levantamiento (NIOSH), 128-135
holguras (revisadas), 381t
holguras(ILO), 369t
niveles de esfuerzo calórico, 200-202
niveles de iluminación, 184f
niveles de ruido, 194t
radiación, 206-207
requerimientos de ventilación, 202-204
turno de trabajo, 207-212
zona de confort térmica, 199f
Guías de administración del programa de ergonomía, 288-291
Guías de la frecuencia cardiaca de Brohua, 124
Guías de la frecuencia cardiaca, 123-125
Guías de levantamiento multitareas, 131-133
Guías de levantamiento NIOSH, 128-133, 553g
ejemplo, 131-133e
guías generales de levantamiento, 133-135
índice de levantamiento (LI), 131
índice de levantamiento compuesto (CLI), 132-133
levantamiento con multitareas, 132-133
límite de peso recomendado (RWL), 128
multiplicador de acoplamiento, 128-131
multiplicador de frecuencia, 129t
Guías de levantamiento, 128-135

Habilidad (calificación de Westinghouse), 358-359t, 553g
Herramientas, 74-79
eficientes, 77-79
preparación (setup), 76-77
Herramientas alineadas, 173
Herramientas de carburos, 78
Herramientas de decisión económica, 309-310e
flujo de efectivo descontado, 309-310
rendimiento sobre la inversión, 309
rendimiento sobre ventas, 309
Herramientas de diseño, 18f, 20f, 35f, 38-40f, 527f
Herramientas de potencia, 172-174
barras de reacción de par de torsión, 174
mecanismo de apagado, 174
orientación, 173f
Herramientas de registro y análisis, 25-52
Herramientas exploratorias, 18-25
Herramientas para la resolución de problemas, 17-52
análisis de Pareto (regla 80-20), 18-19
balanceo de líneas, 45-52
diagrama de flujo del proceso, 26-29
diagrama de flujo, 26-32
diagrama de operación del proceso, 25-27
diagrama de pescado (causa y efecto), 18-20
diagrama del proceso en grupo, 32-35
diagramas hombre-máquina, 30-35
gráfica de Gantt, 19-21
gráfica PERT, 20-25
guía para el análisis del trabajo/sitio de trabajo, 23-24f
servicio aleatorio, 40-43
servicio sincronizado, 33-40
Herramientas para la toma de decisiones, 300-311
análisis costo-beneficio, 301-304
gráficas de cruce, 303-304e, 500f
herramientas de decisión económica, 309-310e
ingeniería de valor, 301-302, 302t
tablas de acción ante peligros, 300-302t
tablas de decisión, 300-302t
toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM), 303-309
Holgura de fuerza muscular, 369-371
Holguras, 343-344, 366-381t, 457, 553g
Holguras constantes, 367-368, 553g
Holguras especiales, 377-378, 553g
Holguras para necesidades personales, 367, 553g
Holguras por mantenimiento de las herramientas, 378
Holguras por tensión visual, 375-316e
Holguras recomendadas ILO, 369t
Horas de trabajo, *Vea* Trabajo en turnos

Íconos, 246, 553g
Identificación del problema, 261-262
Iluminación, 183-190, 373-374, 553g
ángulo visual, 184-185, 244, 375
candela, 184
color, 190-191t
contraste, 186, 375
curvas de Blackwell, 186f
deslumbramiento, 189-190f
directa, 189
distribución, 186-189
efecto Hawthorne, 313-314
eficiencia, 186-188t
fototropismo, 189
fuente del punto, 183
holguras, 374-375
indirecta, 189, 189f
intensidad, 184
luminancia, 184, 186, 373-375
luminarias, 186-189, 190f
niveles recomendados, 187f
para lijado, 190f
pie-candela, 184
reflectancia, 184-185f, 186, 189f
representación del color, 186-188
transiluminación, 190f
visibilidad, 184-185
Iluminación directa-indirecta, 189
Iluminación indirecta, 188, 189f
Iluminación para lijado, 190f
Iluminancia, 186-188

Implantación, 299-323
efecto Hawthorne, 312-314
evaluación del trabajo, 314-320
herramientas para la toma de decisiones, 300-311
instalación, 311-314
Ley para discapacitados en Estados Unidos (ADA), 320-321
resistencia al cambio, 312-313
seguimiento, 320-321
IMPROSHARE, 513-514f, 554g
Impulso, 516e, 554g
Incentivos. *Vea* Pago de salarios
Incentivos al salario; *Vea* Pago de salario
Inclusión del empleado, 287-288
Indemnizaciones por miembros perdidos, 284
Indeterminación estática, 102
Indicaciones, 226, 554g
Indicaciones de auditoría, 241-242
Índice de dificultad, 229e, 554g
Índice de levantamiento (LI), 131
Índice de levantamiento compuesto (CLI), 131-133
Índice de riesgo CTD, 163-165f
Información (tipos), 233
Información alfanumérica, 233, 241, 554g
Información del estado, 233
Ingeniería de métodos (estudio), 3-6, 433-436, 554g
análisis de la operación, 57-97
análisis los datos, 25-52
desarrollar el método ideal, 32-52
desarrollos históricos, 7-15
diseño de herramientas, 164-174
diseño de maquinaria y equipo, 152-160
diseño del ambiente de trabajo, 183-214
diseño del sitio de trabajo, 133-160
diseño del trabajo manual, 99-138
establecer estándares. *Vea* Tiempo estándar
evaluar puestos, 314-320
implantación, 299-314, 321-325
mano de obra indirecta y gastos indirectos, 468-471
obtener y presentar datos, 25-33
seguimiento, 320-321
selección del proyecto, 19-25
sistemas de tiempos predeterminados, 403-437
Ingeniería de valor, 300-301, 302t, 554g
Inhibición recíproca, 110, 554g
Inspección, 64, 222-224, 286-287, 376e
al 100 por ciento, 64
lote por lote, 64
OSHA, 286-287
puntual, 64
visual, 376e
Inspección al 100 por ciento, 64
Inspección lote por lote, 64
Inspección puntual, 64
Inspección visual, 376e
Inspeccionar (I), 117t
Instituto de Ingenieros Industriales (IIE), 12
Instituto Nacional para la Seguridad e Higiene Ocupacional (NIOSH), 13, 286
Instrucciones gráficas, 526
Interacción hombre-computadora, 242-247, 248f
asistentes digitales personales (PDA), 245
dispositivos de señalización, 242-243, 246
interfaz gráfica con el usuario, 246, 248f
monitores, 244-245
notebooks, 245
teclados, 242, 244
Interacciones humanas, 535-541
análisis transaccional, 535-537
comunicaciones, 537-541
enfoque de Dale Carnegie, 537-538
Interés compuesto, 310-311
Interfaz gráfica con el usuario, 245, 248f, 554g
ISO 9000, 544

Jerarquía de Maslow de necesidades humanas, 532-534
Jidoka, 542, 554g
JIT (justo a tiempo), 76, 542
JND (diferencia apenas perceptible), 235, 246
Jornada de trabajo justa, 328, 554g
Jornada de trabajo medida, 510-511, 554g
Juegos, 536
Juicio absoluto, 234
Juicio relativo, 234, 554g
Juran, J. M., 542-543t

Kaizen, 542, 554g
Kanban, 542, 554g
Keiretsu, 69, 542, 554g

Laptops, 245
Lecturas, reloj (W), 329-330, 335-338, 344-345
Legislación, 282-285
acusado, 282
apropiación del riesgo, 283
compensación a los trabajadores, 283-285
daños, 282
demandante, 282
negligencia, 282
privacidad, 283
responsabilidad legal, 282
Lentes, 183, 554g
Lesión ocupacional, 285
Lesión programada, 284, 554g
Lesiones por movimiento repetitivo. *Vea* Desórdenes por traumas acumulativo
Letreros, 240
Levantamiento de una caja hacia un automóvil, 134-135
Ley administrativa, 282, 554g
Ley común, 282, 554g
Ley de Fitts, 229e, 230f, 554g
Ley de Hick-Hyman, 226-228, 230f, 554g
Ley de Weber, 235, 554g
Ley estatutaria, 282, 554g
Ley OSHA, 285-286
Ley para discapacitados en Estados Unidos (ADA), 13, 143, 319-320
Leyes distributivas, 269t, 273, 554g
LI (índice de levantamiento), 131
Libro Fuente Antropométrico, 139
Límite de peso recomendado (RWL), 128, 554g
Limpieza, 292-295
colores, 292
comunicaciones del peligro (HAZCOM), 294
protección con guardas de maquinaria, 292
protección contra el fuego, 294
superficies para caminar, 292
sustancias tóxicas, 294
Lista de verificación de la postura, 135f
Lista de verificación del diseño de carátula, 242-243f
Lista de verificación para la evaluación de la estación de trabajo, 153f
Listas de verificación. *Vea también* Análisis; Diagramas; Guías
ambiente de trabajo, 213f
análisis de operaciones, 94-95f
análisis MTM-2, 434-435f
análisis therblig, 121-122f
diseño de tableros, 242-243f
economía de movimientos, 114f
evaluación de herramientas, 175f
evaluación de la configuración (setup) y las herramientas, 75f
evaluación de la estación de trabajo, 153f
evaluación de la postura en la tarea, 135f
evaluación de la tarea y la postura general, 135f
evaluación de máquinas, 161-162f
evaluación de trabajo cognitivo, 233f
guía para el análisis del trabajo/sitio de trabajo, 240
incentivos al salario, 520f
índice de riesgo CTD, 165f
interfaz gráfica con el usuario, 248f
Lluvia de ideas, 540, 555g
Lordosis, 143, 147f, 555g
Luces de advertencia, 240
Luces indicadoras, 240
Luminancia, 184-186, 373-374, 555g
Luminarias, 186-189, 190f
Lux, 184f, 555g
Luz intermitente, 240t

Manejo de material, 78-86
almacén, 81f
código de barras, 84
equipo, 80-83
manual, 85f, 128-134
máquina de almacenamiento vertical, 82t
mesa de elevación, 82f
montacargas, 83f
principios, 86
vehículo de guía automatizada (AGV), 80-82
Manejo de materiales, 79-86
Manejo manual de materiales, 128-135
Manija (MTM-3), 416
Manijas, 168-172, 173f
configuración, 173f
diámetro, 170-171
forma y tamaño, 171-172
llave T, 171
longitud, 170-171
manijas dobladas, 168f
superficie, 172
Manivela (C), 413
Manivelas, 154, 158
Mano de obra directa, 469, 498, 555g
Mano de obra general, 499-500f
Mano de obra indirecta, 468-471, 499, 555g
Manos alternantes, 168
Manufactura esbelta, 541-543
justo a tiempo, 76, 542
keiretsu, 69, 542
muda, 58, 541-542
SMED, 76, 542
Manufactura, 69-74
cercana a la forma neta, 72-74
mecanización de las operaciones manuales, 70-71
operación más eficiente, 72
reorganización de operaciones, 69-71
uso de robots, 72-74
uso eficiente de las instalaciones, 72
Mapas de Karnaugh, 274-275, 555g
Mapeo, 160, 555g
Más barato por docena (Gilbreth), 10

Material, 65-68
el mejor proveedor, 68
estandarización, 68-69
más fácil de procesar, 66-67
más liviano, menos costoso, 65-66
recuperación, 67-68
uso económico del, 66-68
Materiales, 65-68
Materiales de estandarización, 69-70
Materiales inflamables, 294
Matriz de arrepentimiento, 308, 555g
Maxi MOST, 423
MCDM (toma de decisiones con criterios múltiples), 303-309
Mecanización de operaciones, 70-71
Medición del trabajo, 555g; *Vea* Estudio de tiempos, Muestro del trabajo, Datos de estándar y Sistemas de tiempos predeterminados
Medidor conservador, 366, 555g
Mejora continua, 542, 555g
Membrana basilar, 191-192f, 555g
Membrana timpánica, 191-192f, 555g
Memoria, 224-226
Memoria a corto plazo, 224
Memoria a largo plazo, 225, 555g
Memoria de trabajo, 224-226, 555g
Menú, 245, 555g
Método de Ashcroft, 44-45, 455g
Método de clasificación, 314-316, 555g
Método de comparación del factor, 316, 555g
Método de jerarquización, 317, 555g
Método de pago, 309, 555g
Método del flujo de efectivo descontado, 309-310e, 555g
Métodos de medición del tiempo (MTM), 404-425, 555g
Métodos de probabilidad, 268-271
independientes (eventos), 270-271
mutuamente excluyentes, 269-270
regla de Bayes, 270
tablas de verdad, 268-269
MiniMOST, 423
Miofibrillas, 100, 555g
Modalidad de señal, 231, 232-234, 555g
Modelo ABC, 259-261, 555g
Modelo completo, 391, 555g
Modelo Crawford, 533, 555g
Modelo de motivación-recompensa-satisfacción, 259, 261f, 555g
Modelo de promedio acumulado, 529
Modelo de Wright, 530, 555g
Modelo motivación-recompensa-satisfacción, 259, 261f
Modelo reducido, 391, 555g
Modelo unitario, 529
Modelos. *Vea también* Fórmulas
ABC, 259-261
Crawford, 530
motivación-recompensa-satisfacción, 259
procesamiento humano de información, 220f
promedio acumulado, 539
unidad, 530
Wright, 530
Modelos basados en el comportamiento, 258-262
modelo ABC, 259-261
modelo motivación-recompensa-satisfacción, 259, 260t
teoría unitaria de cambio de vida, 258-260t
Modelos biomecánicos, 126-127
Modelos de causa de accidentes, 256-262
Modulación, 241, 555g
Molestia, 195-196
Momento, 102
Monitoreo, 267-269
Monotonía, 376
Montacargas, 83e
MOST, 423-433
Motivación, 543-535
enfoque de Volvo, 533-535
jerarquía de Maslow, 532-534
Motor de energía eficiente, 78
Mover (M, MTM), 117t, 413, 556g
Movimiento combinado (MTM), 409, 415-416f
Movimiento controlado (MOST), 426, 429f
Movimiento del cuerpo (B, MOST), 425-426
Movimiento general (MOST), 425-426f
Movimiento limitante (MTM), 415-416t
Movimiento simultáneo, 110-111, 116-117, 415-416
Movimientos balísticos, 110, 556g
Movimientos básicos, 116
Movimientos curvos continuos, 112
Movimientos curvos, 112
Movimientos de primera-clase, 112-113
Movimientos de segunda clase, 113
Movimientos de tercera clase, 113
Movimientos en línea recta, 114
Movimientos simétricos, 110-111
MTM-1, 404-411t
datos 406-411t
MTM-2, 409, 412-417, 434-435e
casos, 412-413
datos 412t
ejemplos, 416f, 435-436e
lista de verificación, 434-435f
MTM-3, 415-418
MTM-C, 418-422
MTM-M, 420-421
MTM-MEK, 421-422
MTM-TE, 421-422
MTM-UAS, 422
MTM-V, 418
Muda, 58, 541-542, 556g
Muestreo del trabajo, 441-464, 556g
autoobservación, 459-460
comparación con el estudio de tiempos, 493-494t
formas, 451f, 455f, 460f
frecuencia de observaciones, 449-450
gráficas de control, 450-453
holguras, 457
industria de los servicios, 461-462e
número de observaciones necesarias, 447-449
observaciones correlacionadas, 447-448e
planeación del estudio, 446-453
precisión, 442, 445
registro de datos, 453-454
software, 461-462
teoría de, 442-445
tiempo estándar, 457-460
utilización de máquina, 454-455
utilización del operario, 456e
ventas, 446-447
Multas, 288
Multiplicador de acoplamiento, 129-131
Multitareas, 230, 556g
Muñeca, 167
Músculos, 100-101
bíceps, 100, 167
erector espinal, 125
extensor del carpo, 162
flexión del codo, 106e
flexor del carpo, 162
Mutuamente excluyente, 269-270, 277

Necesidades de autoestima, 532-533
Necesidades de seguridad, 532, 556g
Necesidades fisiológicas, 532, 556g
Necesidades sociales, 532, 556g
Negligencia, 282, 556g
Negligencia gruesa, 282, 556g
Nemotécnica, 225, 556g
Nervio mediano, 162f, 163
NIOSH Instituto Nacional para la Seguridad e Higiene Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health), 13, 286
Nivel de aspiración, 307
Nivel de sonido con peso A, 192-194
Nivelación, 358
Niveles de esfuerzo, 309
Niveles de iluminación IESNA, 187f
Niveles recomendados. *Vea también* Guías
frecuencia cardiaca, 123-125
gastos de energía, 122-123
iluminación, 187f
peso (RWL), 128
radiación, 206-207
ruido, 194f
vibración, 204-206
Nodo, 21
Número
de ciclos para el estudio de tiempos, 340-343
de observaciones para muestreo del trabajo, 446-448
de ocurrencias de los elementos en el ciclo, 345-346
de operarios para el balanceo de líneas, 46-47

Observaciones correlacionadas, 447-448e
Oído, 191-192f
Ojo, 183-184
Operación de presión de dos botones, 208, 210f
Operaciones de reordenamiento, 69
OR, 269, 277-278, 556g
Organizaciones profesionales, 11-13
Organizaciones técnicas, 11-13
OSHA. *Vea* Administración de la seguridad y la salud ocupacional

Pago de salario, 507-522, 556g
administración del sistema, 519-520
comparación de planes, 516e
compromiso con lesiones, 522
falla de, 520-521
fracción de participación, 512-513e
ganancias compartidas, 514-517
hora estándar, 510-511
implantación, 517-522
IMPROSHARE, 513-514f
jornada de trabajo medida, 511-512
lista de verificación, 520t
plan Rucker, 512-513
plan Scanlon, 512-513
planes de compensación flexible, 507-517
planes de ganancias compartidas, 512-517
planes de jornada de trabajo, 507-509f
planes financieros indirectos, 516
por pieza de trabajo, 509-511
posesión de acciones por el empleado, 514
Palancas, 158
Palmadas, 536
Panel de carátulas, 240

Pantalla de monitor, 244-245
Pantalla de tacto, 244, 556g
Paralelo, 270-271f, 274, 556g
Parpadeo, 245
Paso estándar, 328, 334; *Vea también* Desempeño estándar
Pasos (S), 415
Patrón de llegadas, 470
Patrón, 154-155f, 556g
PC portátiles de mano, 245
PDA (asistentes personales digitales), 245
Peligro inminente, 286, 288, 556g
Peligro, 290, 556g
Percentiles, 141-142
Percepción, 219-220, 556g
Pérdida del oído, 192-194
Perillas de posicionamiento y detención, 155f
Peso de posición, 49-50
Pie (F), 414
Pie-candelas (fc), 184, 556g
Plan de descripción del grado, 314-316
Plan de efectivo, 515
Plan de partes iguales, 515
Plan de posesión de acciones para el empleado (ESOP), 514
Plan desglosado por pieza, 509-510, 557g
Plan horario estándar, 510-511
Plan Rucker, 512-514, 557g
Plan Scanlon, 512-513, 557g
Planeación de distribución sistemática (SLP) de Muther, 88-91
Planeación de distribución sistemática (SLP), 88-91
Planear (PL), 117t, 557g
Planes de compensación flexibles, 507-517, 557
Planes de ganancias compartidas diferidas, 514-515
Planes de ganancias compartidas, 512-517, 557g
Planes de incentivos en grupo, 508-509
Planes de jornada de trabajo, 508-509f, 557g
Planes de participación, 513-514f
Planes de productividad compartida, 512-517
Pluma de luz, 242-244, 557
Poke-yoke, 542, 557g
Política de holguras, 367, 557g
Posicionamiento (P), 117t, 413, 557g
Postura, 148, 167, 368
Postura anormal, 370
Postura general y lista de verificación de la evaluación de la tarea, 135f
Postura neutra, 101f, 167
Posturas de sentado, 147f
Prácticas de administración, 541-544
  análisis transaccional, 535-537
  calidad total, 542-544
  capacitación, 520-526
  comunicaciones, 537-541
  interacción humana, 534-541
  manufactura esbelta, 541-543
  motivación a los empleados, 530-535
  relaciones laborales, 540-541
Precisión absoluta, 447
Precisión relativa, 447
Preparación (setup) y herramientas, 74-79, 557g
  estándares, 346-347, 350
  herramientas, 77-79
  justo a tiempo, 76, 542
  lista de verificación, 75f
  SMED, 76, 542
  tecnología de grupos, 74, 76f
Preparaciones (setup) parciales, 348-350
Preposicionamiento (PP), 117t, 557g
Principio ambiental, 86
Principio de automatización, 86
Principio de carga unitaria, 86
Principio de estandarización, 86
Principio de excepción, 498
Principio de planeación, 86
Principio de utilización del espacio, 86
Principio de Warrick, 159, 557g
Principio del ciclo de vida-costo, 6
Principio del sistema, 86
Principio del tamaño, 109, 557g
Principio del trabajo, 86
Principios. *Vea también* Criterio; Guías
  excepción, 497
  frecuencia de uso, 152
  funcionalidad, 152
  importancia, 152
  manejo de material, 86
  movimiento limitante (MTM), 415-416f
  movimientos combinados (MTM), 415-416f
  movimientos simultáneos (MTM), 415-416f, 689g
  razón insuficiente, 307
  secuencia de uso, 152
  tamaño (unidades unitarias), 109
Principios de la Administración Científica (Taylor), 543
Privacidad, 283, 557g
Procedimiento de levantamiento seguro, 134f
Procesamiento de abajo hacia arriba, 219, 557g
Procesamiento de arriba hacia abajo, 219, 557g
Procesamiento hombre de información, 219-232
  ejecución de respuesta, 229
  ley de Fitts, 113, 229e, 230f
  Ley de Hick-Hyman, 226-228, 230f
  memoria, 224-226
  modelo, 220f
  percepción, 219-220
  recursos de atención, 229-233
  selección de respuesta, 225-229
  teoría de detección de señales, 219-224
  toma de decisiones, 225-230
Proceso de prevención de accidentes, 256f, 261-268, 557
Producción justo a tiempo (JIT), 76, 542, 557g
Programa de ergonomía OSHA, 288-291
Programas de construcción, 91, 557g
Programas de mejora, 91, 557g
Pronación, 163, 168f, 557g
Protección contra el fuego, 294
Protección del oído, 197-198
Proveedores, 68
Prueba lineal general, 391, 557g
Pulgar, 168-169t
Puntos de quiebre, 335, 557g
Puntos de rastreo, 244, 557g
Pupila, 184, 557g

QuikSamp, 461f
QuikTS, 331, 333f

rad, 206, 557g
Radiación, 198, 201, 206-207
  dosis, 206-207
  rad, 206
  rem, 206
Rango medio de movimiento, 101-102f
Rangos de ajuste del asiento, 146t
Ranurado, 316, 481, 557g
Ratón, 244, 557g
Razón C/R (control-respuesta), 157-159f
Razón de control a respuesta (C/R), 157-159f, 557g
Razón de inervación, 109
Razón de primas, 285, 557g
Razonabilidad, 159, 557g
Rechazo correcto, 220
Reclutamiento (unidad motriz), 109
Recolección y análisis de datos, 262-264
Recordatorio aleatorio, 450
Recuperación de materiales, 67-68
Red, 21-28, 558g
Redundancia, 218-219, 236, 274-275, 558g
Reflectancia, 184-185t, 558g
Reforzamiento positivo, 259, 261, 533, 558g
Región torácica, 124f, 558g
Regla 80-20, 18-19
Regla de Bayes, 270
Regla de la mano derecha, 160
Regla de Miller, 224, 226, 240, 558g
Regla tres-sigma, 342, 344
Regresión hacia la media, 364, 588g
Regreso (MOST), 423-425f
Regresos a cero, 330, 332f, 335, 558g
Relación fuerza-longitud, 101-102
Relación fuerza-velocidad, 102, 558g
Relaciones hombre-máquina, 26-52
  balanceo de línea, 45-52
  diagrama de flujo del proceso, 26-30
  diagrama de flujo, 29-32
  diagramas de proceso hombre-máquina, 30-33
  servicio aleatorio, 40-43
  servicio sincronizado, 32-40
Relaciones laborales, 540-541
Reloj de minuto decimal, 330f, 558g
Reloj maestro, 335, 350
Rem, 206, 558g
Rendimiento sobre la inversión, 309-310, 558g
Rendimiento sobre las ventas, 309, 558g
Repaso, 225, 558g
Resistencia al cambio, 312-313
Resonancia, 204t, 558g
Responsabilidad en el estudio de tiempos, 328-329
Responsabilidad estricta, 282, 558g
Responsabilidad legal, 282, 558g
Restricciones de zona, 48-49
Retina, 183, 558g
Retroalimentación, 160, 259, 558g
Retroceso, 530-531, 558g
Ritmo continuo, 330, 335, 338-339f
Ritmos circadianos, 207-208f, 558g
Ritmos naturales del cuerpo, 111
Rituales, 537
Robots, 72-74
Roentgen (R), 206, 558g
Rotación de turno de ocho horas, 209f
Rotación del trabajo, 534, 558g
Ruido, 190-198
  bandas de octava, 194, 196-197f
  control del, 196-198
  decibel, 191-192
  dosis, 194-195, 551g
  holguras, 372-373e
  niveles equivalentes, 194f
  niveles permisibles OSHA, 195t
  pérdida de la audición, 192-193
  ponderación A, 192-194f
  promedio ponderado de tiempo, 195
  protección del oído, 197-198
  sonido, 190-191

suma logarítmica del, 192
tasa de reducción (NRR), 197, 687g
Ruido de banda ancha, 192-193
Ruido ponderado en el tiempo, 196
Ruta crítica, 21-23
RWL (límite de peso recomendado), 128

Sacro, 125f
Secuencia de uso, 152, 558g
Seguimiento, 320-321, 489-491
Seguridad de sistemas; *Vea* Seguridad
Seguridad en el sitio de trabajo; *Vea* Seguridad
Seguridad, 255-295
análisis costo beneficio, 279-282
análisis de árbol de fallas, 276-287
compensación a los trabajadores, 283-285
confiabilidad, 271-276
control de peligros, 290-292
legislación, 282-285
mantenimiento, 292-295
métodos de probabilidad, 268-271
modelos de causas de accidentes, 256-268
OSHA, 285-291
proceso de prevención de accidentes, 261-269
protección de maquinaria con guardas, 208
Seis sigma, 542-543
Selección de respuesta, 225-229
Selección de un remedio, 265-267
Selección del proyecto, 6, 17-25
análisis de la regla de Pareto (80-20), 17-18f
diagrama de pescado (causa y efecto), 18-19f
gráfica de Gantt, 19-20f
gráfica PERT, 20-25
Seleccionar (SE), 117t, 558g
Sensibilidad, 157, 159f, 221-222, 558g
Señal electrónica, 236-238
Señales, 159-160. *Vea también* Controles
compatibilidad, 158
mapeo, 160
principio de Warrick, 159
retroalimentación, 160
Señales auditivas de dos etapas, 241
Señales visuales, 236-240
apuntador móvil en escala fija, 236-239
diseño de panel, 240
luces de indicador, 240
Serie, 270-271f, 274, 558g
Servicio, 33-45
aleatorio, 40-43
complejo, 43-44
fórmula de Wright, 43
método de Ashcroft, 44-45
sincronizado, 32-40
Servicio al cliente, 498
Servicio aleatorio, 40-43, 558g
Servicios sincronizados, 32-40, 360-362, 692g
Sesgo (decisión), 226
Sesgo de la respuesta, 220
Silla de oficina, 148f
Sillas, 146-147f
Simplificación del trabajo; *Vea* Diseño del trabajo
Simulación Monte Carlo, 475-477
Síndrome de Raynaud, 163, 206, 558g
Síndrome del dedo blanco, 162, 558g
Sistema de calificación de Westinghouse, 358-361, 558g
Sistema de producción de Toyota (TPS), 58, 541-543
Sistema de tiempo predeterminado, 403-437, 558g
análisis de métodos, 433-436
aplicación, 431-436
comparación de sistemas, 423-425
datos estándar, 431-433
ejemplo, MOST, 432f
ejemplo, MTM-1, 410-411t
ejemplo, MTM-2, 417f
lista de verificación, 434-435f
Métodos de medición de tiempo (MTM), 404, 425
MOST, 423-433
MTM-1, 404-411t
MTM-2, 409, 412-416, 434-435e
MTM-3, 415-418
MTM-C, 418-422
MTM-M, 420-421
MTM-MEK, 421-422
MTM-TE, 420-421
MTM-UAS, 422
MTM-V, 418
tipos, 404f
Sistema empuje/jalón, 542, 558g
Sistema músculo-esquelético, 100-102, 164-164
agonista/antagonista, 101
desviación radial/cubital, 163, 167t
filamentos, 100-102
flexión/extensión, 100, 163f, 167f
fuerza, 102-110
longitud de reposo, 100
músculo, 100-102
nervio mediano, 162f, 164
postura neutra, 101f, 167
relación fuerza-longitud, 101-102
relación fuerza-velocidad, 102
teoría de filamento deslizante, 100-102
Sistema nervioso central, 108-109
Sistema puntual, 315, 317t, 319f
SLP (Planeación de distribución sistemática de Muther), 88-91
SMED, 76, 542, 558g
Soltar (RL), 117t, 413
Sonido, 190-193f; *Vea también* Ruido
Soporte lumbar, 143
Sordera nerviosa, 192-193
Sostener (H), 119t
SPIRAL, 91-93f
Sujetador, 154-155f
Superficies para caminar, 292
Supinación, 163f, 167f, 559g
Sustancias tóxicas, 294

Tabla de conversión al sistema métrico, 575-576t
Tabla de números aleatorios, 570t
Tablas. *Vea* Tablas especiales
Tablas de acción ante peligros, 299-300t, 559g
Tablas de decisión, 299, 302t, 559g
Tablas de verdad, 268-269
Tablas especiales, 564-576
distribución normal estándar (z), 567t
distribución t, 568t
factores de interés compuesto (15%), 572t
información útil, 571t
ji-cuadrada, 569t
números aleatorios, 570t
senos/tangentes naturales, 564-565t
tabla de conversión al sistema métrico, 575-576t
tiempo de interferencia de máquina, 572-574t
Tableta digitalizadora, 244, 559g
Taguchi, 63
Tamaño
de controles, 156t
de manijas, 168-170
Tapetes antifatiga, 148
Tapones para el oído, 197-198
Tarea de color y palabra de Stroop, 227, 559g
Tarea de golpeo de Fitts, 113, 227-230f, 559g
Tarea primaria, 231, 559g
Tarea secundaria, 231, 559g
Tarjeta de datos básica MOST, 426-428f
Tarjeta de operación de producción, 347f
Tasa de holgura, 366, 559g
Tasa de incidencia, 267
Tasa de severidad, 310
Tasas de incidencia, 267
Tasas del círculo rojo, 319, 559g
Taylor, Frederick W., 7-9
Teclado de cuerda, 242, 559g
Teclado Dvorak, 242, 559g
Teclado QWERTY, 242, 559g
Teclados, 242
Técnica de evaluación y revisión del proceso: *Vea* PERT
Técnica secuencial de operación de Maynard (MOST), 423-433
Tecnología de grupo, 74, 76f
Tedio, 361
Temperatura, 198-202
aclimatación, 201
balance de calor, 200-202
control de, 200-202
niveles recomendados, 200f
núcleo, 198
temperatura global de bulbo húmedo (WBGT), 199-201, 372
tensión por calor, 199-201
tensión por frío, 201-202
zona de confort técnico, 199f
Temperatura central, 199
Temperatura de bulbo seco (DB), 200-201
Temperatura del globo (GT), 200-201, 559g
Temperatura equivalente al factor del viento, 201, 559g
Temperatura global de bulbo mojado (WBGT), 200-201, 559g
Tendinitis, 163, 559g
Tenosinovitis, 163, 559g
Tensión mental, 375-376. *Vea también* Atención
Teoría de colas, 470-475, 559g
Teoría de detección de señales (SDT), 219-224, 559g
Teoría de filamento deslizante, 100-102, 559g
Teoría de la información, 217-219, 559g
ancho de banda, 219
bit, 218
redundancia, 218-219
Teoría de mantenimiento de la motivación, 534, 559g
Teoría dominó, 256-259, 559g
Teoría unitaria del cambio de vida, 258-260t, 559g
Therbligs, 116-117t, 118-120f
efectivo/no efectivo, 116-117t
lista de verificación, 118-120f
Tiempo
ajuste, 157, 159f
atención, 378
boleto azul, 519
carga, 33
efectivo, 218, 350
esfuerzo manual, 366
estándar, *Vea* Tiempo estándar

inicio, 335, 345, 350, 560g
interferencia de máquina, 46
interferencia, 469
máquina, 33, 366
movimiento fundamental, 361
no contabilizado, 345, 350, 560g
no efectivo, 345, 350, 560g
normal, 331, 343-345, 350, 361, 379, 560g
observado, 331, 337, 343-345, 350, 362, 560g
ocioso, 46, 51
predeterminado, 403-437
proceso (MOST), 344-345
reloj, 335
terminación, 358
total registrado, 345, 350, 560g
trabajador, 35
transcurrido antes del estudio (TEBS), 345, 350, 560g
transcurrido después del estudio (TEAF), 345, 350, 560g
transcurrido, 218, 350
verificación, 345, 350
viaje, 157, 159f
Tiempo compartido, 230
Tiempo de ajuste, 157, 159f
Tiempo de atención, 378
Tiempo de carga, 33
Tiempo de elección-reacción, 226-227f, 560g
Tiempo de esfuerzo manual, 366
Tiempo de inicio, 335, 345, 350, 560g
Tiempo de interferencia, 469, 560g
Tiempo de interferencia de máquina, 45
Tiempo de limpieza de la estación de trabajo, 378
Tiempo de lubricación de máquina, 378
Tiempo de máquina, 35, 366
Tiempo de movimiento fundamental, 335
Tiempo de reacción simple, 226, 241
Tiempo de reloj, 337, 560g
Tiempo de terminación, 345
Tiempo de verificación, 345, 350, 560g
Tiempo de viaje, 157, 159f
Tiempo del boleto azul, 519
Tiempo del proceso (MOST), 344-345
Tiempo del trabajador, 35
Tiempo efectivo, 345, 350, 560g
Tiempo estándar, 343-346, 379, 360g. *Vea también* Estándares
a partir de curvas de aprendizaje, 529e
a partir de datos estándar, 388, 393-397
a partir de sistemas de tiempos predeterminados, 403, 416-417f
a partir del estudio de tiempos, 343-344, 379
a partir del muestreo del trabajo, 456-460
comparación de métodos para establecer, 493-494t
seguimiento, 490-492
Tiempo extra, 210-211
Tiempo flexible, 211, 560g
Tiempo no contabilizado, 345, 350, 360g
Tiempo no efectivo, 345, 350, 560g
Tiempo observado, 331, 337, 343, 560g
Tiempo ocioso, 46, 50, 560g
Tiempo transcurrido, 345, 351
Tiempos de movimiento básicos. *Vea* Sistemas de tiempo predeterminados
Tiempos sintéticos; *Vea* Sistemas de tiempo predeterminado
Tipos de agarre, 166f
Tolerancia básica a la fatiga, 367, 560g
Tolerancias extra, 367, 378, 560g
Tolerancias, 63-65
Toma de decisiones, 225-230, 560g
compromiso en la relación velocidad-precisión, 227
Ley de Fitts, 227e, 230f
Ley de Hick-Hyman, 227, 228-230f
tarea color-palabra de Stroop, 226
tiempo de reacción de la opción, 226-230f
Toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM), 304-309
Tomar (G), 411-412f, 423-424f, 560g
Touch pads, 244, 560g
Trabajador calificado, 328, 343, 355-356, 560g
Trabajo directo, 468-470
Trabajo en el cuarto de herramientas, 449e
Trabajo en fresadora, 394-397
Trabajo en taladros, 393-394
Trabajo en torno, 393
Trabajo por turno, 201-202, 560g
cansancio después de la comida, 207
productividad, 210-211
ritmos circadianos, 207-208f
rotación rápida, 207-210
semana de trabajo comprimido, 210-212
tiempo extra, 210-211
tiempo flexible, 211
turnos de doce horas, 209f
turnos de ocho horas, 209f
Trabajo semanal comprimido, 211-212
Trackball, 244, 561g
Transacción complementaria, 535-536, 561g
Transacción cruzada, 535, 561gf
Transiluminación, 190f
Triángulo de la razón de accidentes, 258-259f, 561g
Túnel carpiano, 160, 163, 167, 561g
Turnos de trabajo de rotación rápida, 207-208, 501g

UILS (estándares universales de mano de obra indirecta), 480-482
Unidad motriz, 109
Usar (U), 117t, 561g
Uso de herramienta y equipo (MOST), 429-430
Usos de los estándares, 491-498
administración, 479-498
calidad, 497
comparación de métodos, 492
compra de equipo nuevo, 490-495
control de la producción, 495-496
costeo, 498-503
determinación de la capacidad de planta, 494
eficiencia de la mano de obra, 496-497
formas de establecer, 493-494t
incentivos al salario, 492, 507-523
utilización efectiva del espacio, 492-494
Utilización del espacio, 492-494
Utilización efectiva, 303

Valor del dinero en el tiempo, 310, 561g
Valor fuera de control, 340, 345, 561g
Valor presente, 310
Varianzas (costeo), 503, 561g
Vasoconstricción, 173, 561g
Vehículo de guía automatizada (AGV), 80-81
Velocidad apretada, 366, 561g
Velocidad del aire, 204
Velocidades de corte
fresado, 395-397
perforación, 393-394
torneado, 394
Ventilación, 202-204
Vibración, 161, 166, 203-206
dedo blanco, 162
límites, 205f
resonancia, 204t
síndrome de Raynaud, 163, 206
Vigilancia, 231-234, 561g
Violación intencional, 287, 567g
Violación mínima, 287, 561g
Violación repetida, 287, 567g
Violaciones (OSHA), 287-288
Violaciones serias, 287, 561g
Visibilidad, 184-185, 561g
Volantes, 155, 158t

WBGT (temperatura global de bulbo mojado), 199-200, 561g
WIMP (Windows, íconos, menús, punteros), 246
Windows (PC), 246, 561g

Yerkes-Dodson (curva U invertida), 231-232f, 561g

Zona de confort térmico, 199f
Zurdos, 168-169, 308

FÓRMULAS

Servicio sincronizado

$$n = \frac{l + m}{l + w}$$

$$\text{TEC}_{n_1} = \frac{(l + m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1}$$

$$\text{TEC}_{n_2} = (l + w)(K_1 + n_2 K_2)$$

Servicio aleatorio

$$\frac{n!}{m!(n - m)!} p^m q^{n-m}$$

$$\text{TEC} = \frac{K_1 + nK_2}{R}$$

Balanceo de línea

$$E = \frac{\Sigma \text{SM}}{\Sigma \text{AM}} * 100 \qquad N = \frac{R * \Sigma \text{SM}}{E}$$

Ley de Fitt

$$\text{MT} = a + b \log_2 \frac{2D}{W}$$

Descanso recomendado

$$R = \frac{W - 5.33}{W - 1.33}$$

Guías de levantamiento

$$\text{RWL}^{\dagger} \text{ (lb)} = 51(10/H)(1 - 0.0075 \mid \text{V} - 30\mid)(0.82 + 1.8/D)(1 - 0.0032\text{A})\text{FM} \times \text{CM}$$

LI = peso de carga/RWL

Dosis de ruido

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \cdots \leq 1.0$$

Tensión por calor

$$\text{WBGT}_{\text{ENT}} = 0.7\text{WB} + 0.3\text{GT}$$

$$\text{WBGT}_{\text{SAL}} = 0.7\text{WB} + 0.1\text{DB} + 0.2\text{GT}$$

Tasas de incidencia

$$\text{IR} = 200\,000 \frac{I}{H}$$

Tasa de severidad

$$\text{SR} = 200\,000 \frac{\text{LT}}{H}$$

Procesamiento de información

$$\text{H} = \Sigma p_i \times \log_2(1/\text{p}_i)$$

$$\log_2 n = 1.4427 \ln n$$

$$\%\text{ redundancia} = (1 - H/H_{\text{máx}}) \times 100$$

$$\text{RT} = a + bH$$

Estudio de tiempos

$$n = \left(\frac{st}{k\bar{x}}\right)^2$$

$$\text{NT} = \frac{\text{OT} \times \text{Rango}}{100}$$

$$\text{ST} = \text{NT}\ (1 + \text{Holgura})$$

[†]Recommended Weight for Lifting = límite de peso recomendado.

Calificación sintética $P = \dfrac{f_T}{\text{OT}}$

Interferencia de máquina $I = 50\left[\sqrt{(1 + X - N)^2 + 2N} - (1 + X - N)\right]$

Chi cuadrada $\chi^2 = \sum_{i=1}^{m} (E_i - O_i)^2 / E_i$

$E_i = H_i \times O_T / H_T$

Tasas de incidencia y severidad $\text{IR} = 200\,000 \times I/H$

$\text{SR} = 200\,000 \times \text{LT}/H$

Relaciones de publicidad

$P(X + Y) = P(X) + P(Y) - P(XY)$

$P(X + Y + Z) = 1 - [1 - P(X)]\,[1 - P(Y)]\,[1 - P(Z)]$

$P(XY) = P(X)P(Y)$

$P(Y/X) = P(Y)P(X/Y)P/(X)$ (Regla de Bayes)

Leyes distributivas $(X + Y)\,(X + Z) = X + YZ$

$XY + XZ = X(Y + Z)$

Seguridad $\text{PE} = mgh$

$\text{KE} = \dfrac{1}{2} mv^2$

$V = RI$

Muestreo del trabajo $n = \dfrac{3.84p(1 - p)}{l^2}$

$\text{OT} = \dfrac{T}{P} \times \dfrac{n_i}{n}$

Probabilidad de Poisson $p(k) = \dfrac{a^k e^{-a}}{k!}$

Eficiencia de la mano de obra $E = \dfrac{H_e}{H_c}$

Costos de materiales $\text{Costo} = Q(1 + L_{\text{sc}} + L_w + L_{\text{sh}})\,C - S$

Incentivos al salario Salarios $y_w = 1 + p(x \ldots 1)$

Costos de mano de obra por unidad $y_c = \dfrac{y_w}{x}$

Curvas de aprendizaje $y = kx^n \quad n = \dfrac{\log\,(\text{radio de aprendizaje})}{\log 2}$

Tiempo de aprendizaje total $T = k\dfrac{(x_2 + \frac{1}{2})^{n+1} - (x_1 - \frac{1}{2})^{n+1}}{n + 1}$

Línea de remisión $y = k + \dfrac{(k - s)\,(x - 1)}{1 - x_s}$


LIBROSVIRTUAL
TUS LIBROS DIGITALES