

SHIGEO SHINGO

Una revolución en
la producción:
el sistema SMED



3ª Edición

**Una revolución
en la producción:
El sistema SMED**

Una revolución en la producción: El sistema SMED

SHIGEO SHINGO



IV / Una revolución en la producción: El sistema SMED

Originalmente publicado como *Shinguru Dandori*, copyright © 1983 de Japan Management Association, Tokyo.

Edición inglesa © 1985 de Productivity, Inc. —Productivity Press.
P.O. Box. 814. Cambridge, MA 02238. USA.

Título en Español: Una revolución en la producción: El sistema SMED
Traducción: Tecnoareonáutica S.A. / Antonio Cuesta Alvarez

© 1990 de TGP Tecnologías de Gerencia y Producción, S. A.
C/ Raimundo Fernández Villaverde, 1 – 28003 Madrid
Teléf. y Fax: (91) 553 19 37

3.^a edición, 1993

ISBN: 84-87022-02-2

Depósito Legal: M-10256-1993

Portada, Composición y Montaje: M. Grondona.

Imprime: Centro Reprográfico Neptuno

Marqués de Cubas, 18 - 28014 MADRID

CONTENIDO

	Pág.
Prólogo del editor de la edición en inglés	XIII
Prólogo	XIX
Introducción	XXI
 PRIMERA PARTE	
TEORIA Y PRACTICA DEL SISTEMA SMED	3
1 La estructura de la producción	5
Perfil esquemático de la producción	5
Relación entre procesos y operaciones	7
Resumen	8
2 Las operaciones de preparación de máquinas en el pasado	11
Algunas definiciones de términos	11
Lotes pequeños, medios y grandes	
Inventario en exceso y producción en exceso anticipada	
Estrategias tradicionales para perfeccionar las operaciones de preparación	12
Estrategias que implican destreza	
Estrategias relacionadas con los grandes lotes	
Estrategias de lotes económicos	
La debilidad del concepto de tamaño económico de lote	
Resumen	21

3	Fundamentos del SMED	23
	La historia del SMED	23
	El nacimiento del SMED	
	El segundo encuentro	
	El tercer encuentro	
	Pasos básicos en el procedimiento de preparación	29
	Mejora de la preparación: etapas conceptuales ...	30
	Etapas preliminares: No están diferenciadas las preparaciones interna y externa	
	1.ª Etapa: Separación de la preparación interna y externa	
	2.ª Etapa: Convertir la preparación interna en externa	
	3.ª Etapa: Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación	
	Resumen	34
4	Técnicas para aplicar el sistema SMED	35
	Fase preliminar: No están diferenciadas las preparaciones interna y externa	35
	1.ª Etapa: Separación de las preparaciones interna y externa	36
	Empleo de una lista de comprobación	
	Realización de comprobaciones funcionales	
	Mejora del transporte de útiles y de otras piezas	
	2.ª Etapa: Convertir la preparación interna en externa	39
	Preparación anticipada de las condiciones de operación	
	Estandarización de funciones	
	3.ª Etapa: Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación	55
	Resumen	56
5	La aplicación del SMED a las operaciones	
	internas	57
	La implementación de operaciones en paralelo ...	57
	La utilización de anclajes funcionales	59

Fijaciones en una vuelta	
Métodos de un único movimiento	
Métodos de interbloqueo	
Eliminación de ajustes	72
Fijando posiciones numéricas de montaje	
Líneas de centrado imaginario y planos de referencia	
El sistema del mínimo común múltiplo	
Mecanización	
Resumen	99
6 Ejemplos básicos del SMED	103
Prensas para metal	103
Prensas de caída libre	
Prensas de matriz progresiva	
Prensas de matrices de transferencia	
Máquinas de conformado de plásticos	116
Montaje de matrices	
Precalentamiento de la matriz	
Resumen	124
7 Efectos del SMED	125
Tiempo ahorrado aplicando las técnicas SMED ..	125
Otros efectos del SMED	125
Resumen	140
 PARTE DOS	
EL SISTEMA SMED —ESTUDIOS DE CASOS	143
8 Implementación del SMED	145
<i>Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.,</i>	
<i>División de Lavadoras (Fábrica de Mikuni)</i>	
La compañía	145
Aplicaciones del SMED	145
Cambio de herramientas en un torno revólver de seis brocas	
Cambios en la aplicación de lubricante	
Cambio automático de las guías de los palets	

	Cambio de colores para operación de pintado «spray»	
	Consiguiendo cambios instantáneos de matrices de prensa	
	Reducción del tiempo de preparación de matrices para moldeo por inyección utilizadas para las bases de plástico de las lavadoras de doble tubo	
	Cambio de cargas de caucho en las máquinas automáticas de aplicación de juntas selladas	
9	Mejoras en la preparación basadas en el sistema de producción de Toyota	169
	<i>Toyota Gosei Co., Ltd.</i>	
	La compañía	169
	Actividades a nivel de compañía enfocadas a la reducción de costes	
	Motivaciones para incorporar el SMED	
	Aplicaciones del SMED	178
	Montaje de brocas para mecanizado de accesorios	
	Cambios de preparación en matrices de punzón en procesos de forjado en frío	
10	Campana de montajes rápidos («Q-S»)	191
	<i>Nippon Kogaku K.K. (Planta de Oi)</i>	
	La compañía	191
	Filosofía de dirección	
	Motivos y pasos implicados en la incorporación del SMED	
	Aplicaciones del SMED	195
	Mejoras en los cambios de pinza en tornos semiautomáticos	
	Montajes rápidos en torno revólver multipropósito	
	Montaje de engranajes de repuesto	
	Indexado con máquina de grabación	
	Procesos con un torno computerizado	
	Procesos de estiramiento de nylon	

11	Utilización del SMED en una línea de producción de maquinaria agrícola	211
	<i>Kubota, Ltd. (Fábrica de Sakai)</i>	
	La compañía	211
	El problema	
	El sistema de producción U.S.	
	El movimiento hacia el SMED	
	Aplicaciones del SMED	217
	Mejoras en los atornillamientos	
	Aplicación del SMED a una línea de proceso de bielas de motores enfriados por aire	
	Línea de proceso de cárteres para pequeños tractores —Utilización del SMED en una taladradora de husillos múltiples	
12	Mejoras en los cambios de útiles basadas en las actividades de los círculos de control de calidad de los talleres	
	<i>Toyota Auto Body Co., Ltd.</i>	227
	La compañía	227
	Aplicaciones del SMED	227
	Simplificación de los cambios de montaje de material	
	Mejora en cambios de trabajo en equipo accesorio alimentador con útil de transferencia	
	Mejora de la fijación de troqueles en bastidor fijo	
	Mejora en el montaje y retirada de tubos de alimentación de aire para automatización	
	Simplificación de posicionamiento del troquel	
	Mejora preparación apilamiento en microcizalla	
	Mejora de la preparación mediante una línea de alimentación de los troqueles	
	Automatización de soldaduras de cajas a placas de defensa de bastidores	
	Eliminación de operaciones de preparación de palets de carga de parachoques de uretano	
	Mejora de la separación de un troquel de corte	

	Reducción de los tiempos de preparación del cambio de accesorios en una máquina de colocación automática	
	Reducción de los tiempos de preparación del sistema de carga utilizado incorporando un transportador de túnel	
13	Desarrollo comprensivo del concepto SMED inclu- yendo las plantas afiliadas	239
	<i>Arakawa Auto Body Industries K.K.</i>	
	La compañía	239
	Aplicaciones del SMED	241
	Mejora de la preparación en una prensa de recorte para techos interiores de vinilo (Planta de Kotobuki)	
	Utilización del SMED en una prensa de 500 toneladas (Planta de Sarunage)	
	Mejoras en plantas afiliadas	
14	Desarrollos del SMED en la producción de cojine- tes de fricción	275
	<i>T. H. Kogyo K.K.</i>	
	La compañía	275
	Aplicaciones del SMED	275
	Desarrollos concretos del SMED	
	Mejoras de «software» SMED	
	Mejoras de «hardware» SMED	
	Cambiando de SMED a OTED	
15	Ejemplos y efectos del sistema SMED	293
	<i>Glory Industries K.K.</i>	
	La compañía	293
	Aplicaciones del SMED	294
	Mejoras en una prensa multiuso	
	Mejoras en una matriz multipropósito de doblados en V	
	Mejoras en el cambio de las boquillas en una soldadora por puntos	
	Mejoras en accesorios de montaje de tabla de calafateado	

16	Resultados del SMED en el conjunto de la	
	Compañía	301
	<i>Kyoei Kogyo K.K.</i>	
	La compañía	301
	Aplicaciones del SMED	302
	Mejoras en matrices de estampado, corte y taladro	
	Mejoras en matrices de doblado-estampado en dos fases	
	Mejoras de los métodos de preparación para una matriz de doblado	
	Mejoras en las operaciones de preparación de las matrices de transferencia	
17	El SMED en los procesos de fabricación de	
	neumáticos	317
	<i>Bridgestone Tire Co., Ltd.</i>	
	La compañía	317
	Aplicaciones del SMED	318
	Mejorando los cambios de anchos de bobina para el moldeo de neumáticos	
	Mejora del cambio de PCI	
	Reducción de los tiempos de cambio de piezas dentadas para la extrusión de caucho	
	Extrusión de caucho y marcado de líneas indicadoras en un sólo toque	
	Mejorando el cambio de conformadores de moldeo de tramas	
	Mejora de operaciones para montar láminas de caucho en cordones	
	La introducción de un sistema de demostración de preparaciones	
18	Utilización del SMED en moldes de una fundición	
	de aluminio	331
	<i>Tsuta Machine and Metals Co., Ltd.</i>	
	La compañía	331
	Implementación del SMED	331

Aplicaciones del SMED	336
Estandarización de moldes	
Posicionamiento y centrado del molde	
Movimiento de moldes y encaje de ranura de posicionamiento	
Mejora del equipo auxiliar de montaje	
Encaje de la camisa del útil fijo y el manguito del empujador	
Método mejorado para conectar unas placas eyectoras y un cilindro	
Mejora de las conexiones de tubos refrigerantes	
Precalentamiento de molde	
Utilización de un mecanismo interno de pulverización	
Utilización de un diseño especial de conductos de ventilación	
Costes y efectos de las mejoras	346
 19 El sistema Shingo de cambio de útiles con un solo toque: El método sin pernos	 349
Contradicciones en los métodos anteriores de cambio de útiles	 349
Un sentido nebuloso de los objetivos	
El propósito del anclaje de útiles	
Problemas con los métodos del pasado	
La eclosión de un nuevo método	351
Cómo se utiliza el método sin pernos	354
El método sin pernos para los útiles de moldeo	
El método sin pernos para los útiles de prensas	
 Postscript	 371
 Sobre el autor	 381
 Indice	 395

Prólogo del editor de la edición en inglés

Dentro de cincuenta años, cuando se mire hacia atrás para evaluar a los líderes de la revolución industrial, estoy seguro de que el nombre de Shigeo Shingo figurará al mismo nivel que Henry Ford, Frederick Taylor, Eli Whitney, Robert Fulton, Cyrus McCormick, Thomas Edison, y otros. Las ideas de este libro representan verdaderamente «Una revolución en la fabricación». La esencia del mensaje del Sr. Shingo es que *se puede* diseñar un sistema de producción que inherentemente sea capaz de responder a los cambios. Los retrasos por las preparaciones de máquinas, la orden económica de lote (EOQ), las máquinas agrupadas en agregados de la misma clase, los grandes lotes versus los pequeños —todos estos son realmente problemas del pasado—. El Sr. Shingo ha demostrado que las preparaciones de máquinas, que previamente necesitaban días, pueden hacerse en unos pocos minutos; los plazos de fabricación de un mes pueden reducirse hasta menos de una semana; los inventarios de trabajo en curso pueden reducirse en un 90 %. «No puede hacerse» es una frase que ya no tiene aplicación.

Cuando me encontré la primera vez con el Sr. Shingo, no comprendí el enorme poder de sus enseñanzas. Pensaba que los cambios de útiles, las preparaciones de máquinas, eran solamente un aspecto menor del proceso de fabricación. Pero, ahora, estoy convencido de que reducir los tiempos de preparación es la clave para reducir los cuellos de botella, reducir los costes, y mejorar la calidad de los productos. Las preparaciones y cambios de útiles son, desde esta perspectiva, el elemento más crítico del proceso.

Aún hoy mucha gente piensa que su fábrica en particular es «diferente», y que los principios de Shingo no se le aplican. «No tengo prensas punzonadoras», explicará un director. O bien, «Esto puede aplicarse a la industria del automóvil, pero no a la industria que mecaniza piezas». Estos son pensamientos equivocados.

Los principios de Shingeo Shingo se aplican a cualquier contexto de fabricación.

Recientemente he mantenido una conversación con un director de ingeniería, de Iowa, que tiene una máquina para tallar en la que había que apretar 300 pernos en cada cambio de trabajo. Una vez que comprendió el *porqué* de utilizar esos pernos, y la importante diferencia entre los tiempos de preparación interna, se hizo claro para ellos *cómo* realizar las preparaciones de máquina. Y esto fue una diferencia vital.

Las preparaciones de máquinas y cambios de útiles son la clave para cambiar la fabricación. Es la clave para moverse hacia las tecnologías del futuro —la robótica y la automatización avanzada—.

En 1981, estuve realizando mi segundo viaje en misión de estudios en Japón. Después de una esclarecedora visita a Nippon-denso, donde se nos introdujo a un cierto número de conceptos sobre cómo equilibrar una línea en un entorno «Just-in-time», se me entregó un pequeño panfleto promocionando el libro del Sr. Shingo, *Study of the Toyota Production System*. Uno de los ejecutivos que me acompañaba en el viaje era Jack Warne, entonces presidente de Omark Industries.

A ambos nos resultó excitante encontrar algo en inglés sobre el sistema Toyota. Inmediatamente Jack ordenó comprar 500 ejemplares del libro y ordenó entregar uno de ellos a cada uno de los directivos de su compañía. Los principios expuestos por el Sr. Shingo, permeabilizaron todos los estamentos de la compañía mediante la discusión del texto en grupos de estudio. Actualmente las preparaciones de máquinas que usualmente necesitaban cuatro horas se completan en menos de tres minutos. Los plazos de fabricación de cuarenta y siete días se han reducido a tres. Los inventarios se han reducido significativamente. La productividad se ha incrementado de forma dramática. La calidad ha mejorado, mientras los costes de la calidad han disminuído. Se han liberado vastos espacios de fábrica para nuevas actividades.

La importancia de nuestra experiencia en Japón fue comprobar por nuestros propios ojos la simplicidad y practicidad de estos principios en acción. Después de ver cómo una prensa punzonadora se cambia en dos minutos, ya no podemos decir más, «pero, esto no puede hacerse».

Shingo nos enseña que «no obstante la tendencia a asumir que algo no puede hacerse, podemos encontrar un número inesperadamente grande de posibilidades cuando nos concedemos un tiempo a pensar que puede ser posible hacerlo». Nos ayuda a desbloquear nuestras mentes. Nos ayuda a descubrir *porqué* se hacen las cosas de forma que podemos cambiar *cómo* se hacen.

De acuerdo con una persona de una compañía que ha adoptado el sistema SMED, «Es usual que a cualquier sugestión que se haga, alguien replique que ello es algo que no trabajará por tales y tales razones, o que tales y tales problemas la hacen imposible. La mayoría de lo que escuchamos son razones de por qué las cosas no pueden hacerse, y la mayoría de las propuestas mueren en la fase de discusión. Pero, a partir del éxito del SMED, tenemos una nueva determinación para conseguir que las nuevas ideas trabajen; el énfasis es poner las ideas en práctica».

El Sr. Shingo también nos enseña que «las máquinas pueden estar paradas, pero los trabajadores no deben hacerlo». En los últimos cinco años, he visitado alrededor de cien fábricas japonesas, y no puedo recordar haber visto a una sola persona parada supervisando como procesa una máquina. Por el contrario, en todas mis visitas a fábricas norteamericanas, no puedo recordar algún caso en el que *no* haya visto a alguna persona observando o supervisando como operaba una máquina. Shingo establece que los trabajadores generalmente cuestan más que las máquinas, y que esta es la razón por la que los japoneses no tiene gente parada. Estimo que el sistema Toyota enfatiza la idea de que cada trabajador esté activa y creativamente implicado en el proceso de fabricación.

Este libro se ha hecho para cambiar mucho de lo que Vd. piensa. Solamente algunas pocas de las ideas que presenta el Sr. Shingo deben ser suficientes para despertar su interés:

- «Los directores responsables de la producción deben reconocer que la estrategia apropiada es producir lo que puede venderse... El SMED hace posible responder rápidamente a las fluctuaciones de la demanda, y crea las condiciones necesarias para las reducciones de los plazos de fabricación. Ha llegado el tiempo de despedirse de los mitos añejos de la producción anticipativa y en grandes lotes. Debemos tam-

bién reconocer que la producción flexible solamente es accesible a través del SMED».

- «Construir un sistema de producción que pueda responder sin despilfarros a los cambios del mercado y que, adicionalmente, por su propia naturaleza reduce los costes».
- «El propósito de las medidas asociadas a los dos pilares básicos —la producción «Just-in-time» y la automatización con la implicación de los trabajadores— es fabricar tan barato como sea posible y solamente lo que se venderá, y fabricarlo solamente cuando vaya a venderse inmediatamente».
- «Como un reguero de pólvora, los efectos de este ejemplo activan otras operaciones de mejora a través de la compañía».
- «Los cambios de útiles y preparaciones deben permitir producir productos libres de defectos desde la primera pieza. No tiene sentido acelerar una operación de preparación sin saber cuándo puede afectarse la calidad de los productos».
- «Después de que se han completado las mejoras SMED, el próximo desafío es el OTED (Cambio de útil con un sólo toque —«One-Touch Exchange of Die»), que se traduce en hacer cambios de útiles en menos de un minuto».
- «Los cambios de útiles ideales consisten en no cambiar nada. Sin embargo, en tanto que los cambios de útiles sean necesarios, deben diseñarse para ser realizados con un sólo toque».
- «Es importante disminuir los tiempos de cambio de útiles, disminuir los tamaños de los lotes, y aún producir en el acto lo que se demanda; con la reducción de los tiempos de cambio de útiles solamente cabe esperar un éxito parcial».
- «Si no puede bosquejar como hacer algo, hable de ello con sus máquinas».

El libro está lleno con las suficientes ideas como para hacerle

reconsiderar todos los *porqués* de su fábrica. Le apartará de todas las concepciones erróneas que le han obstaculizado cambiar en el pasado. Una vez que comience a aplicar estos principios, encontrará que no puede volver a hacer «negocios como de costumbre».

Este libro puede marcar el comienzo de un camino para Vd. hacia un nuevo mundo en la producción de mercancías. Y, lo que es más importante, puede dar a los directores norteamericanos una rápida lección sobre cómo competir con los japoneses en calidad. En las páginas que siguen hay fundamentos que le permitirán cerrar el desfase actualmente existente; la revolución en producción comienza en su fábrica.

Me complace agradecer la colaboración de algunas personas que han hecho posible este libro. Primero, darle las gracias a Shigeo Shingo mismo, por seleccionar Productivity, Inc., como su editor norteamericano. Nos sentimos orgullosos y honrados por trabajar con él. Me gustaría darle las gracias también a la Japan Management Association, especialmente a Kazuya Uchiyama, por proveernos con materiales útiles. A Andrew P. Dillon, que con la ayuda de E. Yamaguchi, ha producido una correcta traducción. Patricia Slote ha supervisado al staff de producción editorial, y ha diseñado el interior del libro. David Perlstein y Nancy Macmillan han editado el manuscrito, Cheryl Berling ha corregido el texto, Russ Funkhouser ha diseñado la cubierta, y Rudra Press ha preparado el arte final y ha asistido en fases cruciales de la producción final (especiales gracias a Julie Wright, Nanette Redmond, y Laura Santi por su ayuda). Marie Kascus ha preparado el índice. Gracias a todos. También deseo darle las gracias a Swami Chetananda por su inspiración y guía.

Norman Bodek

PROLOGO

Durante una reciente visita a USA me impresionó el hecho de que muchas industrias norteamericanas estén interesadas en los sistemas japoneses de producción —en particular, «Just-in-time» (JIT) y Control total de calidad TQC)— y estén intentando integrar estos sistemas en sus operaciones.

No puedo dejar de decir que el JIT es muy efectivo en dirección industrial, pero el JIT es un fin, no un medio. Sin dominar los métodos prácticos y técnicas que forman su núcleo, el JIT no tiene sentido en sí mismo.

Creo firmemente que el sistema SMED es el método más efectivo para conseguir la producción JIT.

En mi experiencia, la mayoría de la gente no se cree que una operación de cambio de útiles y preparación de máquina que necesita cuatro horas puede ser mejorada hasta dejarla en tres minutos. De hecho, cuando se presenta este reclamo, la mayoría de las personas sostendrá que esto es imposible. Sin embargo, el sistema SMED contiene tres elementos esenciales que hacen posible lo «imposible»:

- Un método de pensamiento básico sobre la producción
- Un sistema realista
- Un método práctico

Una completa comprensión de las tres facetas del SMED harán posible virtualmente para cada uno aplicar el sistema SMED, con fructíferos resultados, en cualquier instalación industrial.

Confío en que el sistema SMED será de gran ayuda para cambiar los sistemas industriales existentes, y sinceramente espero que Vd. no solamente llegará a comprender la esencia de SMED, sino que también será capaz de utilizarlo efectivamente en su área de trabajo.

INTRODUCCION

Cuando pregunto sobre las mayores dificultades que encuentran en muchas de las fábricas que visito, la respuesta usual es breve: producción diversificada, en bajos volúmenes individuales. Cuando profundizo algo más inquiriendo por qué la producción diversificada constituye un problema, la dificultad principal que generalmente aflora es la necesidad de numerosas operaciones de cambio de útiles/preparación de máquinas —calibraciones, cambios de útiles y herramientas, etc.— Son frecuentes los cambios necesarios para producir mercancías variadas en pequeños lotes.

Sin embargo, aunque el número de cambios de útiles no pueda reducirse, el tiempo de los mismos puede bajar radicalmente. ¡Piénsese en las mejoras de productividad que pueden obtenerse si una operación de preparación que requiere tres horas puede reducirse a tres minutos! De hecho, esto se ha hecho posible con la implementación de los cambios en pocos minutos.

Los cambios de útiles en minutos de un sólo dígito se conocen popularmente como el sistema SMED, acrónimo de la expresión inglesa «Single-Minute Exchange of Die». El término se refiere a la teoría y técnicas para realizar las operaciones de preparación en menos de diez minutos. Aunque no cada preparación en particular pueda literalmente completarse en menos de diez minutos, este es el objetivo del sistema que vamos a describir, y puede alcanzarse en un sorprendentemente alto porcentaje de casos. Pero aunque no pueda ser así, son usualmente posibles dramáticas reducciones de tiempo.

Recientemente han aparecido en Japón bastantes libros con títulos tales como *Cambios rápidos de útiles y Preparaciones instantáneas*. Los ingenieros industriales japoneses han comprendido a fondo que reducir los tiempos de preparación de máquinas es un factor clave para desarrollar una posición industrial competitiva. La mayoría de estos libros, sin embargo, no van más allá de una mera descripción de las técnicas. Presentan el «know-how»

sin explicar el *porqué* de las técnicas. Estos manuales son aplicables en tanto que los ejemplos que describen encajen con los problemas a tratar. Cuando no es así, las aplicaciones son difíciles.

En este libro, pretendo presentarle tanto ejemplos prácticos como la teoría que los respalda. Aún las industrias disimilares con máquinas disimilares podrá entonces aplicar los principios del SMED a sus propios procesos de producción, con mejoras fundamentales en la productividad y plazos de fabricación.

En los capítulos que siguen, podrán encontrar:

- Las fases conceptuales que apoyan el SMED.
- Métodos prácticos derivados de esta estructura conceptual
- Ilustraciones de técnicas prácticas

En este punto, me complace resumir los tradicionales puntos de vista concernientes a la mejora del tiempo de cambio de útiles y preparación. Consisten en tres ideas básicas:

- La destreza que se requiere para los cambios de útiles y herramientas puede adquirirse a través de la práctica y una larga experiencia.
- La producción en grandes lotes disminuye el efecto del tiempo de preparación de máquinas y reduce las horas hombre por unidad producida. La combinación de operaciones de preparación ahorra tiempo de preparación y conduce a un incremento en la eficacia y en la capacidad de producción.
- La producción en grandes lotes incrementa el nivel de inventarios. Deben calcularse lotes económicos y las cantidades de inventario quedan reguladas en consecuencia.

Estas ideas fueron pensadas en su momento para constituir la base de políticas racionales de producción. De hecho, ocultan una hipótesis importante: la no declarada asunción de que los tiempos de cambio de útiles y preparación mismos no pueden reducirse drásticamente. Con la adopción del sistema SMED, el enfoque del ta-

maño económico de lote simplemente colapsa.

¿Porqué no se ha perseguido anteriormente con más vigor las mejoras en las preparaciones de máquinas? La respuesta es que los procedimientos de cambio de útiles y herramientas se han tratado usualmente bajo la impresión de que dependían de la destreza de los trabajadores. Los directivos se han refugiado en la aparente racionalidad del concepto del tamaño económico de lote y no se han tomado la molestia de seguir el tema más allá — particularmente, pienso, han sido indiferentes al mismo. Los ingenieros industriales tienen una responsabilidad particular en este aspecto.

Forzosamente se ha argumentado en el pasado que la producción diversificada, en bajos volúmenes individuales, es extremadamente difícil y que es más deseable la producción de grandes volúmenes de pocas clases de artículos. Por supuesto, la producción en masa necesariamente hace crecer los stocks, que los directores tradicionalmente han contemplado como un mal necesario. Sin embargo, esta línea de pensamiento está claramente en quiebra. Que la producción sea diversificada y en pequeños volúmenes, o más homogénea y de gran volumen, depende del mercado (demanda) y de las condiciones de producción (oferta).

Incluso si la demanda requiere gran diversidad y bajos volúmenes de elementos particulares, si se combinan los pedidos, resultan posibles los grandes lotes y la frecuencia de las preparaciones de máquinas puede reducirse. Pero, tendremos que tener presente, que esta solución genera excedentes de inventario.

Por otro lado, cuando la demanda requiere poca diversidad y grandes volúmenes, el lado de la producción puede responder con la fabricación de numerosos y pequeños lotes repetidos. Los stocks se minimizan, pero el número de operaciones de preparación se incrementa.

En este contexto, las características de la demanda pueden separarse de las de la oferta. Aún si se desea una producción de alto volumen en orden a amortizar equipo capital, deberemos tener presente que esto es una función de la demanda y no puede formar la base de una teoría de la producción (oferta). Además, hay una desafortunada tendencia a confundir la producción de elevado volumen con los grandes tamaños de lote, y, en consecuencia a equivocarnos pensando que como los altos volúmenes son buenos, los

grandes tamaños de lote son igualmente deseables. Necesitamos reconocer este problema y aclarar la distinción entre estos dos conceptos.

Adicionalmente, mientras es verdad que el número de preparaciones de máquina no puede reducirse mientras estamos implicados en una producción diversificada, en pequeños lotes, es aún posible reducir dramáticamente los tiempos de las preparaciones. Consecuentemente, aún con la producción en pequeños lotes, los efectos de los tiempos de preparación de máquinas pueden disminuirse significativamente y los stocks reducirse de forma importante.

Hasta este punto, hemos comentado que en la planificación de la producción, tal como corrientemente se practica, se confunden los elevados volúmenes con los grandes lotes. En contraste con este enfoque, que asume que inevitablemente se crearán excesos de stocks, afirmamos el concepto de la *producción confirmada*, en el que el inventario excedente se elimina y se producen pequeños lotes sobre la base de los pedidos recibidos efectivamente.

Seguramente este será el modelo de planificación de la producción en el futuro. En vez de producir artículos que *debemos* vender, las fábricas producirán artículos que ya han sido pedidos. Esta idea representa una revolución en el concepto de la producción. Realmente, pienso que el sistema SMED señala un hito en la historia del progreso económico. Lo que a menudo se refiere como el sistema de producción de Toyota será contemplado como una implementación pionera de este nuevo concepto.

Llevo diecinueve años desarrollando el sistema SMED. Comencé cuando estaba realizando un estudio de mejoras en Toyo Industries en 1950. Percibí entonces, por primera vez, que había dos clases de operaciones de preparación: *preparación interna* (IED), que puede realizarse solamente cuando la máquina está parada, y *preparación externa* (OED), que puede realizarse mientras la máquina está en operación. Por ejemplo, un nuevo troquel puede montarse en una prensa solamente cuando la prensa está parada, pero los pernos para fijar el útil pueden clasificarse y montarse mientras la prensa está operando.

Una dramática mejora realizada en 1957 en una operación de preparación de una cepilladora de bastidores de motores diesel de Mitsubishi Heavy Industries, prefiguró una sorprendente petición

que recibí de Toyota Motor Company en 1969. Toyota quería que una operación de preparación en una prensa de 1.000 tons. —en la que ya habíamos reducido el tiempo desde cuatro horas a una hora y media— redujésemos su tiempo ¡a tres minutos! Habiendo estudiado el fenómeno de los cambios de útiles y herramientas durante muchos años, me excitó este reto y tuve una súbita inspiración: las actividades de preparación internas podrían convertirse en externas. Como en un relámpago, me vinieron a la mente un conjunto de nuevos pensamientos.

Menciono esto para ilustrar un punto. El sistema SMED es mucho más que una cuestión de técnica; es un modo enteramente nuevo de pensar sobre la producción.

El sistema SMED ha recorrido mucho camino y desarrollo en variados sectores de la industria japonesa, y ha comenzado a difundirse por el mundo. Federal-Mogul Corporation en USA, Citroen en Francia, y H. Weidmann Company en Suiza, utilizan el SMED con sustanciales mejoras en productividad. En cualquier país, se obtendrán resultados positivos cuando la teoría y las técnicas del SMED se entiendan y apliquen apropiadamente.

Ofrezco este libro con la convicción de que la teoría, métodos, y técnicas del SMED, como se presentan aquí, contribuirán sustancialmente al desarrollo del mundo.

**Una revolución
en la producción:
El sistema SMED**

PRIMERA PARTE

Teoría y práctica del sistema SMED

La primera parte describe los fundamentos y la teoría del sistema SMED, y proporciona ejemplos concretos de técnicas de mejora. Sin embargo, el mero dominio de las técnicas específicas no basta para asegurar una puesta en marcha adecuada del concepto SMED. La implementación efectiva en una extensa variedad de situaciones en planta es sólo posible cuando comprendamos en profundidad el alcance completo de la teoría, principios, métodos prácticos y técnicas concretas que han evolucionado a la par que el SMED.

El capítulo 1 explica la estructura de la producción y el papel que desempeña en el proceso de producción el cambio (preparación) de matrices u otras partes de una máquina para que ésta produzca un nuevo producto o pieza. Toda producción se compone de *procesos y operaciones*. Cuando se analizan los elementos básicos de las operaciones, se comprende que las operaciones de cambio de útiles y partes ocurren en cada etapa del proceso de fabricación.

El capítulo 2 describe la naturaleza y trascendencia de las operaciones de preparación realizadas en el pasado y explica la producción diversificada, de pequeño volumen. La combinación de la producción diversificada, de pequeños lotes, con el sistema SMED es la manera más efectiva de alcanzar una producción flexible y la máxima productividad.

Los capítulos 3, 4, y 5 cubren los temas centrales de este libro, al proporcionar el marco teórico y las técnicas prácticas del siste-

ma SMED. El capítulo 3 muestra cómo evoluciona el SMED, distinguiendo el *proceso de cambio interno*, (IED), preparación realizada mientras la producción está en marcha, del *proceso de cambio externo*, (OED), realizado con la máquina en marcha. Se identifican las cuatro fases conceptuales del SMED: primero, no se distingue entre IED y OED; después se distingue entre IED y OED; posteriormente, el proceso IED se convierte en OED, y finalmente todos los aspectos del proceso de cambio de útiles o piezas se perfeccionan. En el capítulo 4, se describen las técnicas prácticas correspondientes a las mencionadas cuatro fases. Se pueden obtener mejoras significativas en el tiempo de preparación (cambio) en cada fase del proceso.

El capítulo 5 revisa con mayor detalle las mejoras en las operaciones de preparación, enfatizando tres áreas de perfeccionamiento: la puesta en marcha de operaciones en paralelo, el uso de fijaciones funcionales y la eliminación de los ajustes.

El capítulo 6 describe la aplicación del sistema SMED a las prensas de trabajo sobre metales y a las máquinas de conformado de plásticos. Se discuten tres tipos de prensas para metales: las prensas de golpe único, las prensas de matrizado progresivo y las de transferencia. Se exploran a continuación cuatro aspectos del proceso de cambio de matrices en las máquinas de conformado de plásticos: cambio de matrices, cambio de resinas, cambio de línea de refrigerante y precalentado de matriz.

El capítulo 7 completa nuestro examen del sistema SMED con una visión de los efectos del mismo. Mientras que tiempos de conversión más cortos y productividades más altas son los efectos primarios, otros resultados aumentan la ventaja estratégica de una compañía en numerosas áreas, como las de seguridad e higiene, entrenamiento, costos, tiempos de ejecución y control de inventarios.

1

La estructura de la producción

PERFIL ESQUEMATICO DE LA PRODUCCION

Las actividades de la producción pueden ser mejor entendidas como redes de procesos y operaciones (figura 1-1).

Un *proceso* es un flujo continuo por medio del cual las materias primas se convierten en productos elaborados. En el proceso de fabricar ejes, por ejemplo, puede observarse la siguiente secuencia:

1. Almacenar materias primas en un almacén.
2. Transportar materiales a las máquinas.
3. Depositarlos cerca de las máquinas.
4. Procesarlos en las máquinas.
5. Depositar los productos acabados cerca de las máquinas.
6. Inspeccionar los productos acabados.
7. Almacenar los productos acabados para su envío a los clientes.

Aunque el flujo sería probablemente más complejo en una fábrica real, ésta es una ilustración válida del proceso de producción.

Una *operación*, en contraste, es cualquier acción realizada por un trabajador, máquina o equipo sobre materia prima, productos intermedios o productos terminados. La producción es un entramado de operaciones y procesos, con una o más operaciones correspondientes a cada paso del proceso.

Tras reflexionar más detenidamente, llega a ser aparente que los procesos de fabricación pueden ser divididos en cuatro fases distintas:

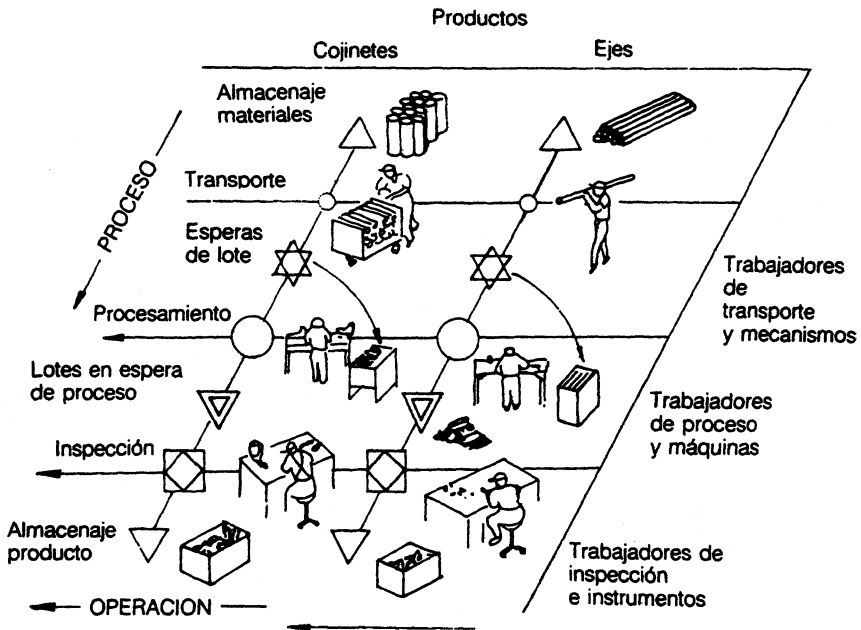


Figura 1-1. Estructura de la producción

1. *Procesado:* ensamblado, desensamblado, alteración de la forma o calidad.
2. *Inspección:* comparación con un patrón.
3. *Transporte:* cambio de ubicación.
4. *Almacenaje:* período de tiempo durante el cual no se realiza sobre el producto ningún trabajo, inspección o transporte.

Figura 1-1. Estructura de la producción.

La fase de almacenamiento puede ser dividida a su vez en cuatro categorías:

1. Almacenamiento de materias primas.
2. Almacenamiento del producto terminado.
3. En espera de un proceso: una serie completa espera porque el trabajo en la serie anterior no ha sido terminado.

4. Esperas de lote: mientras que se mecaniza la primera unidad de un lote, las restantes unidades deben esperar su turno para ser procesadas.

La estructura interna de una operación puede ser analizada como sigue:

Preparación, post-ajustes. Estas operaciones se llevan a cabo una vez, antes y después de que cada lote se procese. En este libro se alude a ellas como operaciones de preparación (cambio), o conversión.

Operaciones principales. Realizadas para cada pieza, estas operaciones entran en tres categorías:

1. *Operaciones esenciales:* el mecanizado actual del material.
2. *Operaciones auxiliares:* la fijación (o suelta) de las piezas trabajadas en las máquinas.
3. *Margen de tolerancia:* Acciones que ocurren irregularmente, como el descanso, la bebida de agua, barrido de virutas, averías de máquinas, etc. Las concesiones de margen pueden ser categorizadas según sean de *fatiga*, *de higiene*, *de operación (realizada sólo para una operación específica)*, y *de taller* (realizadas para todas las operaciones).

Así pues, existen varios elementos básicos que se combinan para integrar las operaciones (figura 1-2).

RELACION ENTRE PROCESOS Y OPERACIONES

Cada fase del proceso de fabricación —trabajo, inspección, transporte, y almacenaje— tiene su correspondiente operación. Es decir, existen operaciones de trabajo, operaciones de inspección, operaciones de transporte y operaciones de almacenaje (figura 1-3). Cada una de éstas, a su vez, tiene cuatro subcategorías: *preparación*, *esencial*, *auxiliar* y *margen de tolerancia*. Por lo tanto, existen operaciones de preparación, esenciales, auxiliares y de margen para cada fase de procesado, inspección, transporte y almacenamiento.

Una operación esencial, pues, implicaría, por ejemplo, lo siguiente:

- *Operación de procesado:* el mecanizado actual de un eje.
- *Operación de inspección:* medición del diámetro con un micrómetro.
- *Operación de transporte:* traslado del eje al siguiente proceso.
- *Operación de almacenaje:* depositar el eje en un estante.

Un análisis similar es aplicable a las operaciones de preparación, ya sea cambios de operaciones de proceso, cambios de operaciones de inspección, cambio de operaciones de transporte, o cambios de operaciones de almacenaje.

Aunque el énfasis principal en este libro recaerá en los cambios de operaciones de proceso, lo que aquí se diga será aplicable igualmente a las operaciones de inspección, transporte y almacenaje.

RESUMEN

El punto principal de este capítulo es que las actividades de producción comprenden procesos y operaciones, y que hay cambios o preparación en cada tipo de operación.

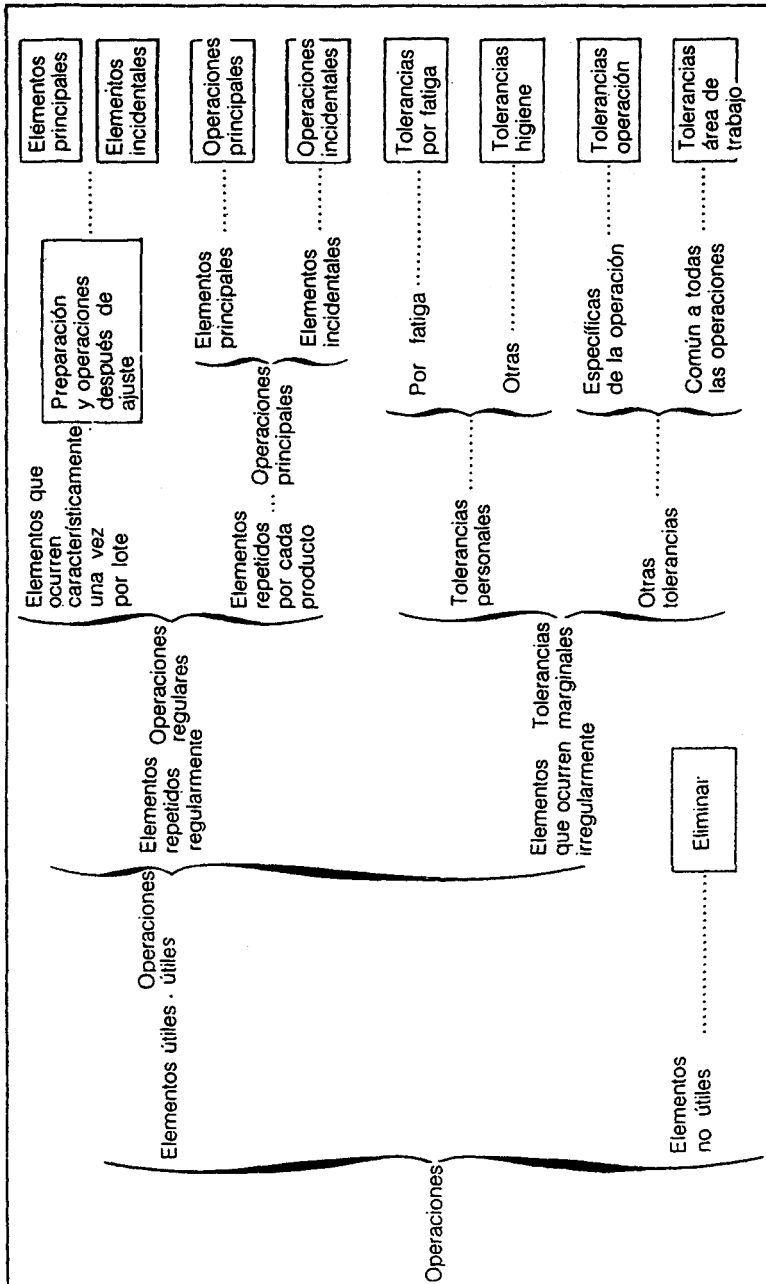


Figura 1-2. La estructura de las operaciones

Proceso Operación		Trabajo	Inspección	Transporte	Almacenaje
Preparación, post-ajustes (Operaciones de preparación)					
Operaciones principales	Operaciones principales				
	Operaciones incidentales				
Tolerancias permitidas	Por fatiga				
	Tolerancia higiene				
	Tolerancias de operaciones				
	Tolerancias área de trabajo				

Figura 1-3. La relación entre procesos y operaciones

2

Las operaciones de preparación de máquinas en el pasado

ALGUNAS DEFINICIONES DE TERMINOS

Lotes pequeños, medios y grandes

Aunque en las discusiones sobre los procedimientos de preparación se mencionan a menudo los lotes pequeños, medios y grandes, estos términos no son precisos, y, de hecho, son bastante vagos. En aras de la conveniencia, este libro utilizará la siguiente clasificación como guía aproximada:

Lote pequeño: 500 unidades o menos.

Lote medio: de 501 a 5000 unidades.

Lote grande: más de 5000 unidades.

Inventario en exceso y producción en exceso anticipada

Ante una fecha de entrega comprometida aproximándose rápidamente en el tiempo, sería problemático encontrarse con productos defectuosos que causarían una insuficiencia en la cantidad lista para entrega. Para evitar esta falta, deberían producirse 330 unidades para satisfacer un pedido de 300. Si resulta, que de hecho, sólo se rechazan 20, por ser defectuosas, entonces sobrarán

10 unidades innecesarias. Si el pedido no se repite, el sobrante debe ser descartado; a menudo se mantiene en inventario con la esperanza de recibir otro pedido del mismo. Este stock, resultado de la producción de demasiadas mercancías, lo denominaremos inventario en exceso.

Otro tipo de excedente, la *producción en exceso anticipada*, aparece cuando se producen productos intermedios o terminados antes de necesitarse realmente.

Todos estamos de acuerdo en reconocer que es antieconómico deshacerse de productos en exceso, y la gran mayoría de los directivos actúan lo mejor que pueden para evitar el inventario en exceso.

Sin embargo, es extraño que, con frecuencia, los productos que se producen antes de necesitarse —producción en exceso anticipada— no se consideran como particularmente indeseables. Es más, se siente a menudo cierto alivio por no haber incumplido un plazo.

En este libro, los términos *stock e inventario* se referirán normalmente a la producción en exceso anticipada. El término *inventario en exceso* será utilizado para referirse a las cantidades producidas que, por una razón u otra, son mayores que el número actual de unidades necesario para cubrir los pedidos.

ESTRATEGIAS TRADICIONALES PARA PERFECCIONAR LAS OPERACIONES DE PREPARACION.

Muchos directivos de fábrica consideran la producción diversificada, de bajo volumen, como su mayor desafío singular. Esta perspectiva, sin embargo, confunde las características de aprovisionamiento con las de la demanda. Desde el punto de vista de la demanda, la producción diversificada, de bajo volumen, supone que se desean muchas clases de bienes, y que la cantidad de cada uno es pequeña.

Para superar el problema suscitado por la producción diversificada, algunas compañías han optado simplemente por producir sólo unas pocas clases de productos e intentar después estimular una demanda suficiente para ellos. Volkswagen es un ejemplo que hace al caso. Durante largo tiempo, Volkswagen fabricó sólo un tipo de automóvil, el famoso «escarabajo».

En el mundo actual de la demanda diversificada, esta estrategia ha obtenido éxito limitado. Por tanto, en los años recientes Volkswagen ha tenido que desarrollar una gama completa de automóviles. Generalizando, será progresivamente más difícil para la industria del automóvil ralentizar el ritmo de la diversificación mientras intenta estimular nueva demanda a base de cambios frecuentes de modelo. A medida que una producción se diversifica, la cantidad de cada modelo disminuirá inevitablemente.

Deberíamos notar, sin embargo, una característica importante de la demanda: la distinción entre pedidos únicos y pedidos de repetición. Los pedidos únicos siempre plantearán un problema porque siempre requieren cambios de preparación especiales. Para los pedidos de repetición —incluso si cada uno individualmente es pequeño— el número de preparaciones y cambios puede reducirse combinándose varios lotes en uno sólo. Desafortunadamente, esta solución lleva a aumentar los excedentes al producir demasiado, demasiado pronto.

En correspondencia con las características de la demanda mencionada, el aspecto del aprovisionamiento (producción) requiere numerosas operaciones de preparación de máquinas para la producción diversificada, y en pequeños lotes.

Aunque se deben realizar numerosas operaciones de preparación de máquinas en un sistema de producción diversificada, varias posibilidades emergen cuando se observa el problema en términos de la preparación en sí misma.

En primer lugar, existirán *elementos de preparación comunes*. Aunque los productos difieran, las dimensiones de las herramientas y piezas usadas en el proceso pueden ser las mismas. En una visita a una fábrica de Volkswagen, recuerdo haber quedado impresionado por su utilización de elementos de preparación comunes. Aunque un cambio de modelo necesitara un cambio en la configuración de los paneles de instrumentación, los montajes eran los mismos que para los modelos anteriores: no existía ningún cambio en las condiciones operativas de la producción. En situaciones como ésta, los problemas de cambio de útiles se reducen considerablemente.

En segundo lugar, pueden existir *elementos de preparación similares*. Algunas veces los productos diferirán, pero la forma básica del plato, por ejemplo, permanece constante. Si es redondo,

y sólo se diferencia en el diámetro, entonces el único cambio de preparación requerido será ajustar la dimensión de las mordazas. Una preparación en esta clase de situación es extremadamente simple.

Centrándose en los elementos de preparación comunes y similares, clasificando estos elementos, y seleccionando la máquina correcta para cada tarea, es posible reducir dramáticamente las dificultades de la preparación, incluso aunque el número de cambios de útiles permanezca constante.

La producción de pequeños lotes tiene la desventaja de que tan pronto como una operación comienza a desarrollarse y estabilizar su velocidad, la producción tiene que pasar al lote siguiente. Estrategias como las que siguen deberían ser consideradas para resolver este problema:

- Eliminar la necesidad de conjeturas tanto como sea posible a base de mejorar operaciones.
- Simplificar las operaciones a base de división en el trabajo e intento de minimizar los efectos de los cambios de ritmo de trabajo.

Si la demanda permite la producción anticipada, los pequeños lotes pueden combinarse en grandes, reduciendo así el número de preparaciones.

A cualquier ritmo, el problema al que se enfrentan las fábricas no es la producción diversificada, de bajo volumen, sino más bien la producción que implica preparaciones múltiples y pequeños lotes. Necesitamos evaluar el problema correctamente y considerar entonces estrategias efectivas para tratarlo.

Estrategias que implican destreza

En las operaciones tradicionales de fabricación, las operaciones de cambio de útiles eficientes requieren dos cosas:

- *Conocimiento* relativo a la estructura y función de la maquinaria y equipo, así como una familiaridad completa con las herramientas, cuchillas, troqueles, plantillas, etc.

- *Destreza* en montar y desmontar estos elementos, y también en medir, centrar, ajustar y calibrar después de las operaciones de ensayo.

Como resultado, las preparaciones eficientes requieren trabajadores altamente entrenados, y aunque una máquina simple puede no presentar problemas, se requiere el conocimiento especializado de un «ingeniero de preparaciones» (a veces referido simplemente como «hombre de preparaciones») cuando el sistema es complejo.

Mientras que el ingeniero de preparaciones está ocupado en las mismas, el operador de la máquina realiza normalmente tareas varias como asistente del ingeniero, opera otra máquina, o, en algunos casos, espera simplemente. Todas estas actividades, sin embargo, son ineficientes.

Generalmente se cree, y es erróneo, que las políticas más efectivas para hacer frente a las preparaciones tratan el problema en términos de entrenamientos. A pesar de que muchas compañías tienen políticas de preparación diseñadas para aumentar el nivel de habilidad de los operarios, pocas han ejecutado estrategias que reduzcan el nivel de entrenamiento requerido por la propia operación de preparación en sí misma.

Estrategias relacionadas con los grandes lotes

Las operaciones de preparación han demandado tradicionalmente una gran cantidad de tiempo, y las compañías fabricantes han sufrido por la ineficiencia extrema que ello causa. Sin embargo, se encontró una solución maravillosa a este problema: aumentar el tamaño de los lotes.

Si se recibe un gran pedido, la producción de un gran lote no planteará problemas particulares porque el efecto del tiempo de cambio de útiles es pequeño al dividirse por el total del tiempo de operación del lote, y el tiempo de preparación de máquinas tiene sólo un ligero efecto sobre la tasa de producción.

Por otro lado, para pedidos diversificados, de bajo volumen, el impacto del tiempo de preparación es mucho mayor. Cuando la demanda es del tipo de pedidos repetidos, pequeños y diversificados, los tamaños de los lotes pueden aumentarse a base de com-

binar varios pedidos y produciendo anticipándose a la demanda.

Si el tamaño de los lotes aumenta, el ratio tiempo de preparación a número de operaciones puede ser reducido apreciablemente (tabla 2-1).

Tiempo de preparación	Tamaño del lote	Tiempo de operación principal por pieza	Tiempo de operación	Ratio (%)	Ratio (%)
4 hrs.	100	1 min.	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{100} = 3.4 \text{ min.}$	100	
4 hrs.	1,000	1 min.	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{1,000} = 1.24 \text{ min.}$	36	100
4hrs.	10,000	1 min.	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{10,000} = 1.024 \text{ min.}$	30	83

Tabla 2-1. Relación entre tiempo de preparación y tamaño de lote —I

Como muestra la tabla 2-1, aumentar el tamaño del lote de 100 a 1000 unidades lleva a disminuir un 64% las horas-hombre en producción. Sin embargo, cuando el lote aumenta por otro factor de 10 a 10.000 unidades, la reducción relativa en horas-hombre es sólo un 17%. En otras palabras, aumentar el tamaño de un lote pequeño lleva a una disminución relativamente grande en horas-hombre, pero a medida que el tamaño aumenta, la tasa de reducción de horas-hombre disminuye. Del mismo modo, las ganancias por aumentar el tamaño del lote son mayores para tiempos de preparación largos que para tiempos cortos (tabla 2-2).

Tiempo de preparación	Tamaño del lote	Tiempo de operación principal por pieza	Tiempo de operación	Ratio (%)	Ratio (%)
8 hrs.	100	1 min.	$1 \text{ min.} + \frac{8 \times 60}{100} = 5.8 \text{ min.}$	100	
8 hrs.	1,000	1 min.	$1 \text{ min.} + \frac{8 \times 60}{1,000} = 1.48 \text{ min.}$	26	100
8 hrs.	10,000	1 min.	$1 \text{ min.} + \frac{8 \times 60}{10,000} = 1.048 \text{ min.}$	18	71

Tabla 2-2. Relación entre tiempo de preparación y tamaño de lote —II