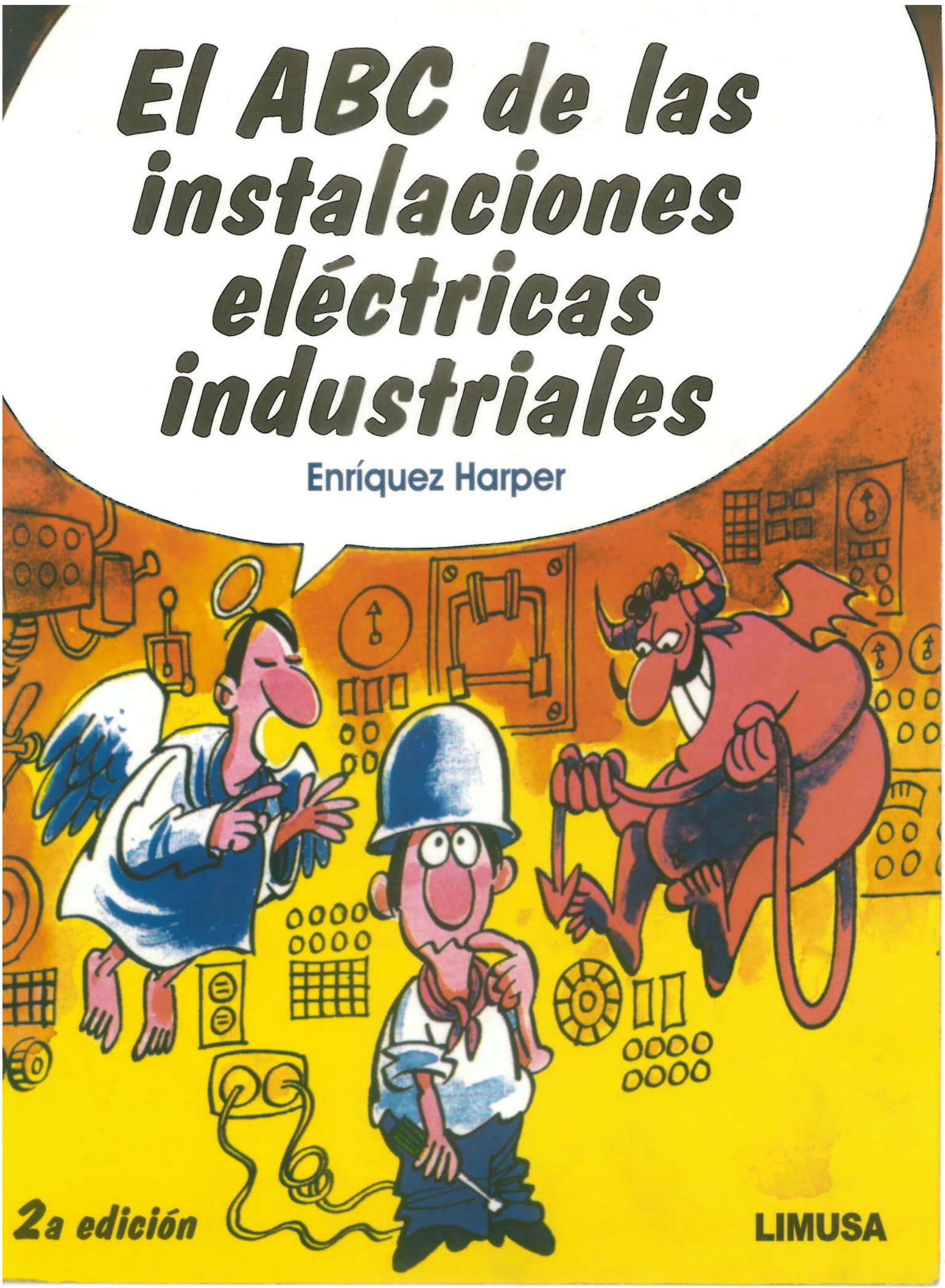
El ABC de las instalaciones eléctricas industriales

Enríquez Harper



2a edición

LIMUSA

Acerca del autor:

Gilberto Enríquez Harper es ingeniero electricista egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (ESIME-IPN). En la misma institución obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica. Cursó estudios de doctorado en el Imperial College de la Universidad de Londres. Es fundador del Premio Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Ramas Afines, otorgado por el Colegio de Ingenieros Mecánicos y Eléctricos (CIME).

Ha ocupado los cargos de subdirector técnico y jefe de cátedra en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y de la sección de Posgrado e Investigación en la ESIME, así como el de jefe de Ingeniería en el Centro de Enseñanza Técnica Industrial (CETI), y el de coordinador en la Universidad Autónoma Metropolitana. Ha impartido cursos de matemáticas avanzadas, computación, métodos numéricos, teoría del control, análisis de sistemas, técnicas de alta tensión y redes eléctricas.

Se ha desempeñado en la Comisión Federal de Electricidad como jefe de ingenieros en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Electromecánica y de la Unidad de Ingeniería Especializada, además de haber sido subgerente de ingeniería básica para el diseño de líneas y subestaciones.

En 1997 obtuvo el Premio Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Ramas Afines.

Es autor de libros especializados en su rama, miembro de la Conferencia Internacional para el Estudio de Grandes Redes Eléctricas y *Senior Member* del Instituto de Ingenieros de Electricidad y Electrónica de Estados Unidos (IEEE, por sus siglas en inglés).

Actualmente es profesor titular en cursos de licenciatura y posgrado en la ESIME del IPN.

EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

SEGUNDA EDICIÓN

Giberto Enríquez Harper
Profesor titular de la ESIME-IPN

EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

SEGUNDA EDICIÓN

LIMUSA

Enríquez Harper, Gilberto
El ABC de las instalaciones eléctricas industriales / Gilberto Enríquez Harper. -- 2a. ed. -- México : Limusa, 2018
520 p.: il.; 27.5 x 21 cm.
ISBN: 978-607-05-0722-9
Bibliografía: p. 517-518
Rústica

1. Instalaciones eléctricas -- Industria

Dewey: 621.319'25 I 22 / E596a LC: TK3271

Ilustración de portada: Raúl Moysent

La presentación y disposición en conjunto de

EL *ABC* DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, SEGUNDA EDICIÓN

son propiedad del editor. ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del editor.

Derechos reservados:

© 2018, EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.
GRUPO NORIEGA EDITORES
Balderas 95, México, CDMX
C.P. 06040
☎ 5130 0700
5512 2903
limusa@noriegaeditores.com
www.noriega.com.mx

CANIEM NÚM. 121

Hecho en México
ISBN: 978-607-05-0722-9
2.2

CONTENIDO

Capítulo 1 Conceptos básicos de electricidad

1.1 Introducción 13
1.2 Conceptos básicos de circuitos eléctricos 16
1.3 Condiciones de operación de los circuitos 18
1.4 Los circuitos de corriente alterna 28
1.5 El concepto de impedancia 36
1.6 El concepto de factor de potencia 40
1.7 Circuitos trifásicos. 41
1.8 Características de la carga. 55

Capítulo 2 Conductores eléctricos y canalizaciones

2.1 Introducción 69
2.2 Conductores eléctricos 70
2.3 Calibre de conductores 76
2.4 Canalizaciones eléctricas 99
2.5 Cajas y accesorios para canalización con tubo conduit 105
Apéndice de tablas Capítulo 2 121

Capítulo 3 Cálculos de circuitos derivados y alimentadores para alumbrado y motores eléctricos

3.1 Introducción 141
3.2 Circuitos derivados 143
3.3 Circuitos derivados para alumbrado 149
3.4 Caída de voltaje para alimentadores de alumbrado 152
3.5 Circuitos derivados para motores 153
3.6 Cálculo de alimentadores para motores 170
Apéndice de tablas Capítulo 3 190

Capítulo 4 Elementos de control de motores eléctricos de corriente alterna

4.1 Introducción 205
4.2 Dispositivos de control 207
4.3 Diagramas de control 214
4.4 Métodos de arranque de motores de corriente alterna 219
4.5 Arrancadores a voltaje reducido 238

Capítulo 5 Protección contra sobrecorrientes y cortocircuito

5.1 Introducción 247
5.2 Los dispositivos de protección 248
5.3 Comparación entre fusibles e interruptores termomagnéticos 265
5.4 La protección de las instalaciones contra el cortocircuito 269

Capítulo 6 Fundamentos de tableros eléctricos

6.1 Introducción 307
6.2 Tableros de maniobra, control y distribución 308
6.3 Procedimiento preliminar para el diseño y localización de tableros de pared 316
6.4 Factores eléctricos en el diseño de los tableros de pared y de piso 329
6.5 Circuitos para transformadores 335
6.6 Disposiciones reglamentarias 337

Capítulo 7 Elementos para el proyecto de instalaciones eléctricas industriales

7.1 Introducción 343
7.2 Elementos para el dimensionamiento económico del sistema 345
7.3 La subestación eléctrica 352
7.4 Estimación del área servida 358
7.5 Plantas de emergencia 368
7.6 El interruptor de transferencia 378

Capítulo 8 Corrección del factor de potencia

8.1 Introducción 397
8.2 Consecuencias y causas de un bajo factor de potencia 405
8.3 El factor de potencia 406
8.4 Ventajas de la corrección del factor de potencia 407
8.5 Reducción de pérdidas 412

Capítulo 9 Eficiencia eléctrica en la industria

9.1 Introducción 473
9.2 Eficiencia energética en motores eléctricos 476
9.3 Motores de corriente alterna 481
9.4 Factor de carga 483
9.5 Ventajas de los motores de alta eficiencia (premium) 487
9.6 Recomendaciones para la aplicación de motores de alta eficiencia 490
9.7 Instalaciones eléctricas 495
9.8 Subestaciones industriales grandes 498
9.9 Pérdidas en las instalaciones eléctricas 499
9.10 Transformadores 500
9.11 Circuitos de distribución 505

Bibliografía 517

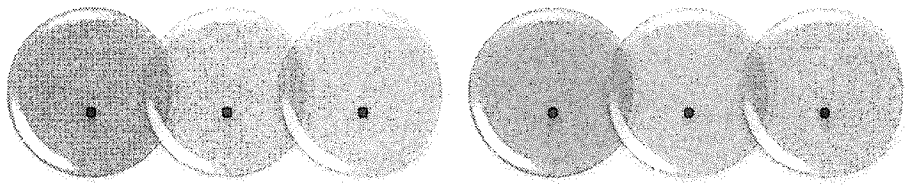
Para mi hija Paola,

Por su enorme entereza para superar los problemas.

PRÓLOGO

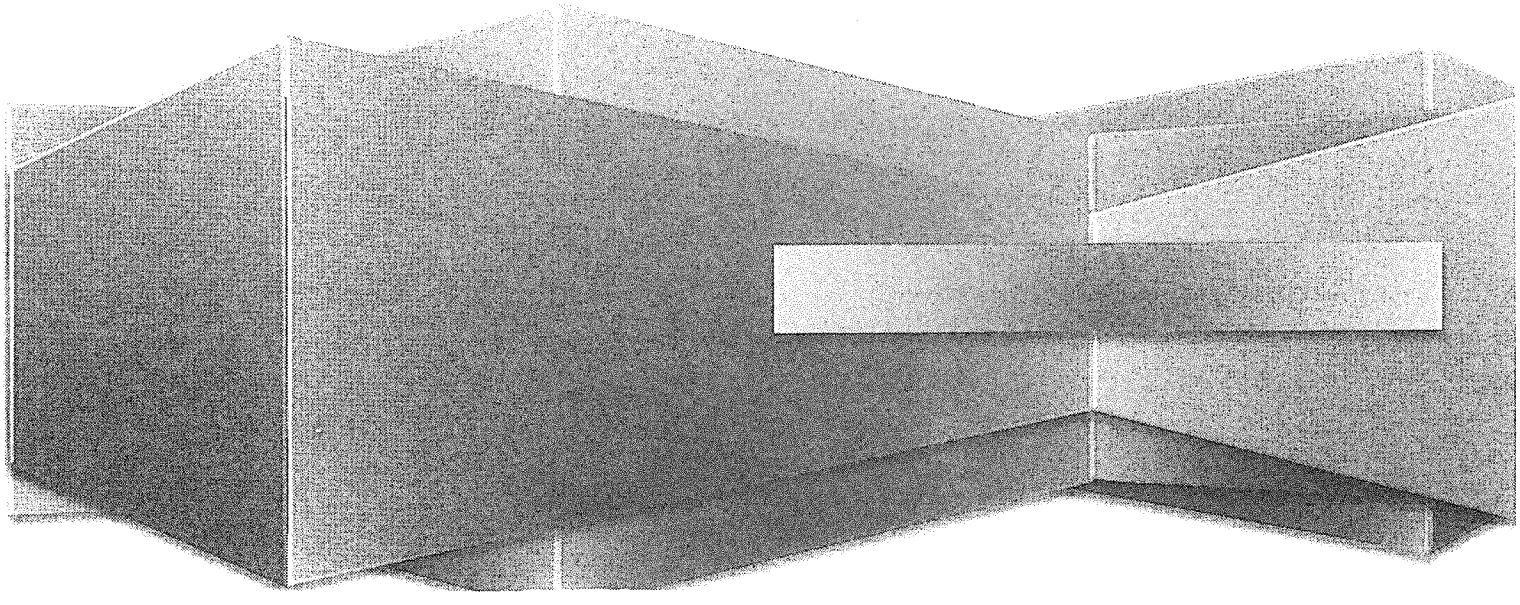
Esta **2da. Edición del ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES**, ha surgido como una necesidad de actualizar el contenido original de ese libro y de ampliarlo con dos capítulos que son complementarios y necesarios para el estudio de las instalaciones eléctricas industriales modernas.

El contenido está actualizado con la última versión de la **NORMA MEXICANA NOM-001-SEDE** e incorpora los capítulos de **CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y DE ARMÓNICAS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES Y DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS INDUSTRIALES**, con lo cual se tocan temas de actualidad que son muy necesarios en el estudio de las instalaciones eléctrica industriales. Para la elaboración de esta 2da. Edición se ha contado con la valiosa colaboración de la Lic. Aida A. García Bonola, del Ing. Alejandro Frías Martínez y de la señorita Arsenia Rabia, a quienes agradezco su apoyo.



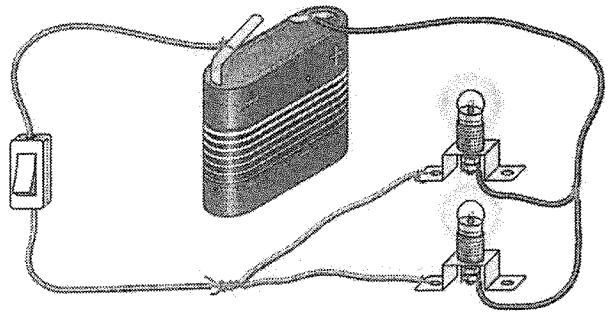
1

CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD



CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD

1



1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la electricidad se inició aproximadamente hace un siglo, y cambió desde entonces nuestras formas de vida. A partir del desarrollo experimental de Thomas Alba Edison, para obtener finalmente la lámpara incandescente, se observó un desarrollo notable en los requerimientos del uso de la electricidad, no sólo para alumbrado, también para otros usos distintos, con lo que quedó establecida la necesidad de producir volúmenes considerables de energía eléctrica y medios prácticos para su distribución.

Paralelamente a los usos incipientes de la electricidad, aparecieron las ***Centrales Generadoras, los Sistemas de Transmisión y Distribución y las Instalaciones Eléctricas***. Es decir, que para

poder dar uso a la electricidad, se requiere de todo un conjunto de instalaciones con distintas funciones, pero con un sólo propósito: ***llevar la energía eléctrica a satisfacer necesidades.***

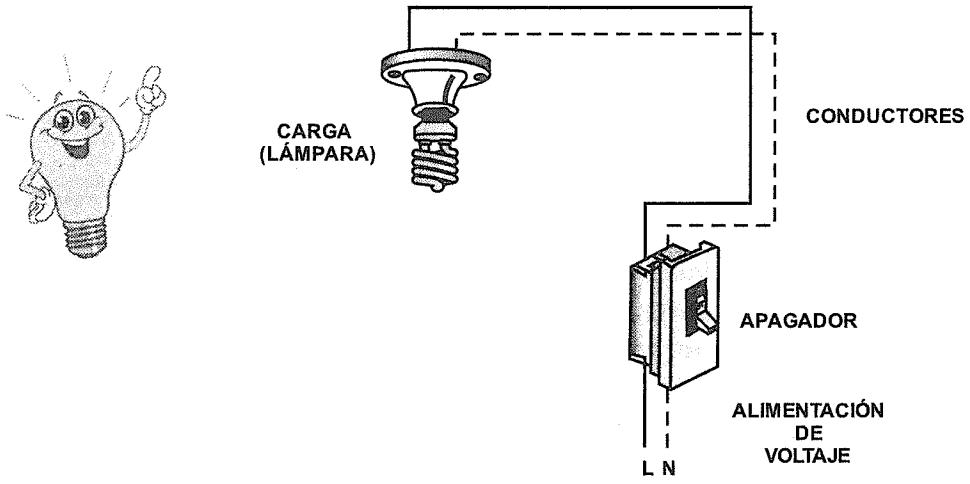
Las instalaciones eléctricas pueden tener un distinto grado de complejidad, dependiendo del lugar que ocupen dentro del conjunto de instalaciones y de la función a desempeñar, es así como se pueden tener instalaciones tan simples como las que se observan a diario en las casas habitación, que a simple vista se observan sus componentes, como son: ***las salidas para lámparas, los apagadores, los contactos, etc.***

En general, se puede decir que el requerimiento fundamental para la utilización de la energía eléctrica, es el llamado **"CIRCUITO ELÉCTRICO".**

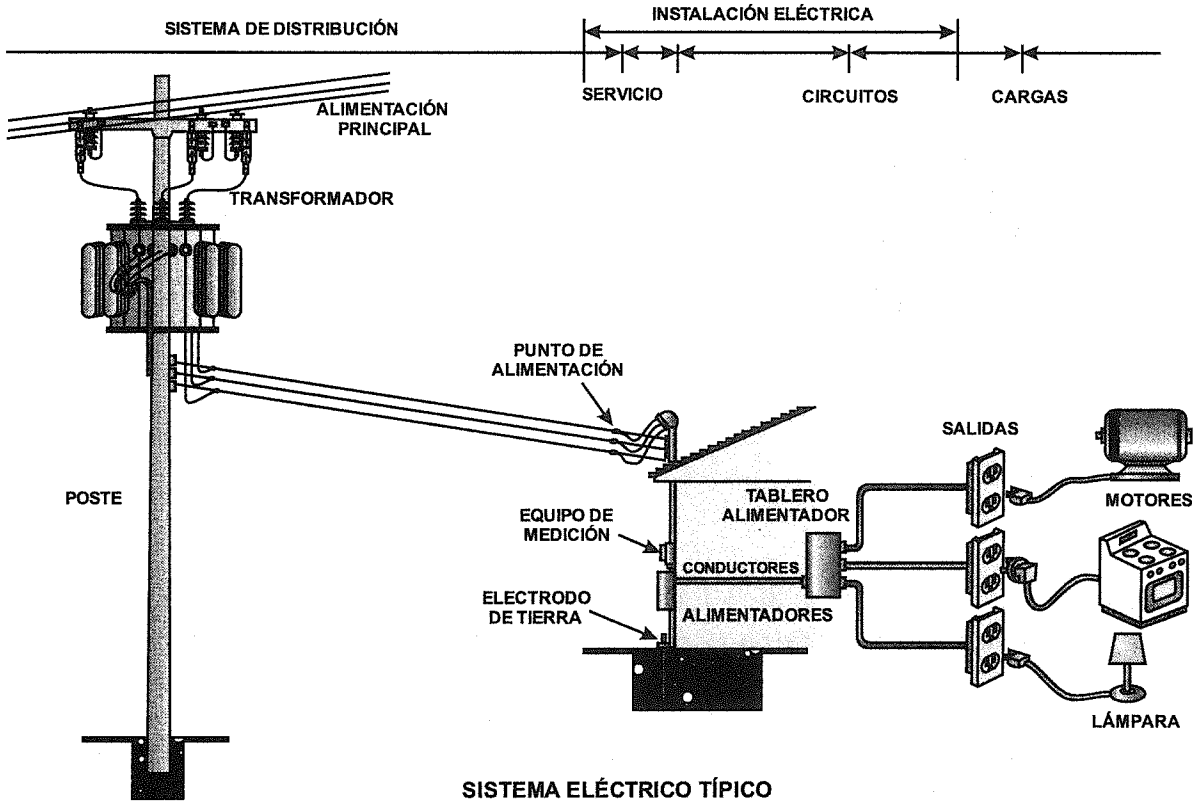
Un circuito eléctrico, en su forma más elemental, consiste de una fuente de voltaje, por ejemplo: una batería, un generador o cualesquier terminal donde aparezca un voltaje o diferencia de potencial, uno o más dispositivos de carga, los cuales usan la corriente suministrada por la fuente y una trayectoria conductora cerrada, formada normalmente por conductores eléctricos.

En la vida cotidiana es posible observar algunos casos típicos de circuitos eléctricos, como son:

a) ***Los circuitos de alumbrado***, que obtienen el voltaje de un tablero o punto de alimentación. Los conductores van dentro de tubos conduit hacia las salidas en donde se conectan las cargas, la corriente que alimenta a las cargas circula cuando se cierra el circuito por medio de los llamados apagadores de pared.

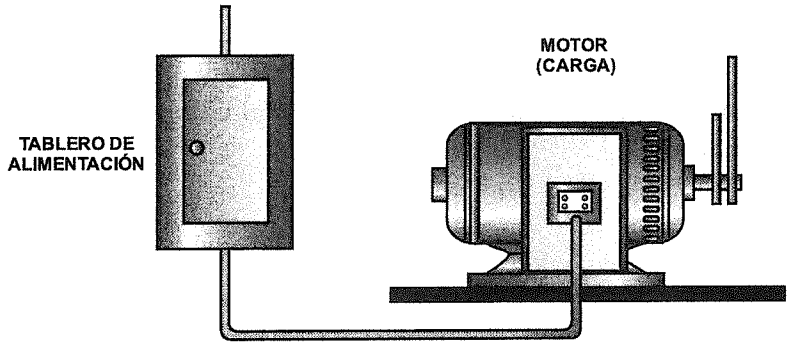


CIRCUITO ELEMENTAL DE ALUMBRADO



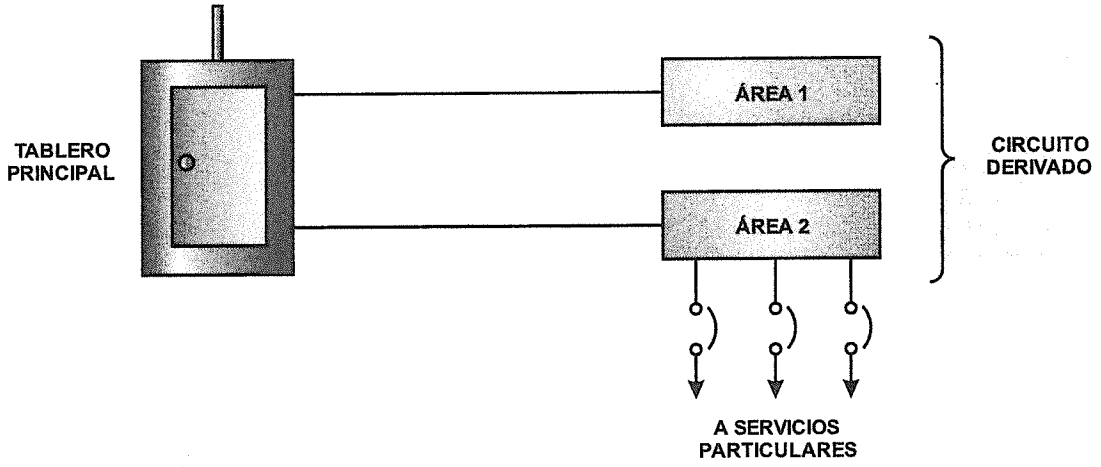
SISTEMA ELÉCTRICO TÍPICO

b) ***Los circuitos de fuerza o alimentación a motores.*** En estos circuitos el voltaje se obtiene de un tablero o "panel" de alimentación y se lleva por medio de conductores alimentadores hasta el motor, que representa la carga.



CIRCUITO ELEMENTAL DE ALIMENTACIÓN A UN CIRCUITO

c) ***Los circuitos alimentadores en cualquier circuito***, alimentan a su vez a otros circuitos llamados derivados. Ejemplos típicos de estos circuitos son las instalaciones de edificios, donde de un tablero salen las alimentaciones para distintas áreas.



Dependiendo de las características de la fuente de voltaje, los circuitos pueden ser de ***corriente continua (C.C.) o de corriente alterna (C.A.)*** y pueden operar con distintos rangos de voltaje, por ejemplo: en corriente continua se tienen señales de fuerza o para control a 50, 125, 250, 500V y en corriente alterna, 127 volts (1 fase), 220 volts, 440 volts (3 fases) y en tensiones superiores a 1000 volts, consideradas como ***"Alta Tensión".*** En las instalaciones eléctricas, se tienen otros rangos de voltaje con tensiones como: 2200 volts, 4160 volts, 13800 volts y otros.

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

1.2.1 CORRIENTE.

La corriente que circula a través de un circuito es igual al voltaje aplicado al mismo, dividido entre su resistencia total.

$$I = \frac{V}{R}$$

DONDE:

I = Corriente en amperes.
V = Voltaje aplicado en volts.
R = Resistencia del circuito en Ohms.

1.2.2 VOLTAJE.

El voltaje aplicado a un circuito es igual a la corriente que circula a través del mismo, multiplicada por la resistencia del circuito.

$$V = RI$$

1.2.3 RESISTENCIA.

La resistencia de un circuito es igual al voltaje aplicado al circuito, dividido entre la corriente que circula por el mismo:

$$R = \frac{V}{I}$$

Las tres ecuaciones anteriores, que relacionan al voltaje aplicado con la resistencia del circuito y la corriente que circula por el mismo, fueron establecidas por *George Ohm en 1827,* y se conocen como: **"LA LEY DE OHM".**

En el caso de los circuitos eléctricos, la resistencia eléctrica está constituida por la propia resistencia del conductor y la resistencia de la carga o elemento al cual se alimenta.

Como un resultado de la corriente que circula por la resistencia de los conductores, se produce una cierta ***"caída de voltaje"***, que se calcula de acuerdo con la expresión:

$$E = RI$$

DONDE:

E = Caída de voltaje en volts.
R = Resistencia del circuito.
I = Corriente que circula por el circuito.

La caída de voltaje en el circuito se le resta al voltaje aplicado al circuito para obtener el voltaje aplicado a la carga (lámpara, motor, etc.). Esta consideración de la caída de voltaje es importante para el cálculo de las instalaciones eléctricas, como se estudiará más adelante.

Debido a que los circuitos por lo general alimentan a un número determinado de lámparas, motores y otras cargas, es importante estar en posibilidad de calcular los valores de corrientes, voltajes y resistencias para cualquier condición de operación esperada.

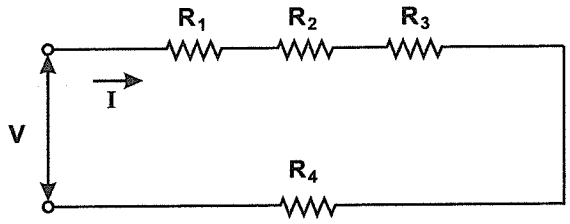
1.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS CIRCUITOS

El cálculo de las condiciones de operación para alimentar un determinado número de dispositivos de carga por medio de un circuito, se basa por lo general en dos reglas para las conexiones de la carga.

1.3.1 CONEXIÓN SERIE.

Se dice que un circuito está conectado en serie, cuando por todos los dispositivos de carga circula la misma corriente, en estos circuitos la resistencia total es la suma de la resistencia de carga y la de los propios conductores.

Por lo que se refiere a la conexión de las cargas, los ***circuitos en serie*** se puede decir que tienen poca utilización en las instalaciones eléctricas de alumbrado y de fuerza; sin embargo, la teoría de la conexión en serie resulta esencial para comprender lo que sucede en cada rama de un circuito eléctrico.



CIRCUITO DE CONEXIÓN EN SERIE

La corriente que circula a través del circuito se calcula como:

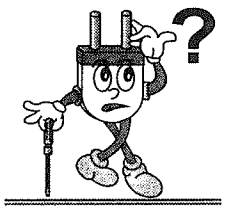
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_N}$$

DONDE:

I = Corriente que circula por todas las resistencias.
V = Voltaje aplicado al circuito.
R_1, R_2, ... , R_N = Resistencia de los elementos conectados en serie.

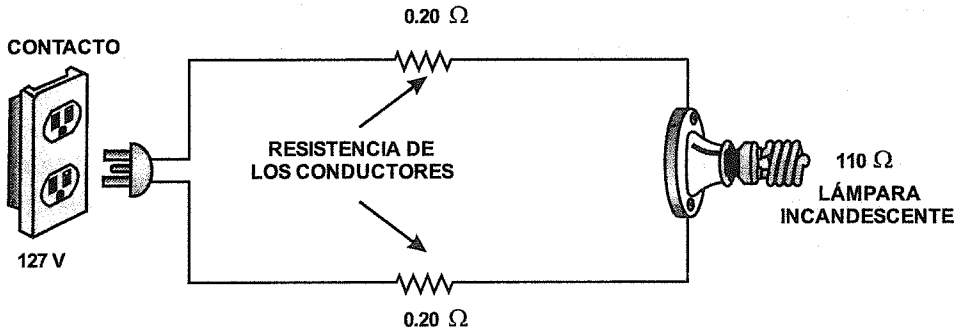
La caída de voltaje en cada resistencia se obtiene por aplicación de la **Ley de Ohm**.

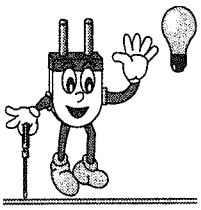
$$V_1 = R_1 I,\ V_2 = R_2 I, \cdots, V_N = R_N I$$



EJEMPLO 1.1 Se tiene la sección de una instalación eléctrica a partir de los contactos, que constituye un circuito eléctrico serie como se muestra en la figura y del que se desea calcular:

a) La resistencia total.
b) La corriente.
c) La caída de voltaje en cada elemento.





SOLUCIÓN

a) La resistencia total se calcula como la suma de las resistencias de cada elemento.

R_T = R conductor a la lámpara + R lámpara + R conductor lámpara a contacto

$$R_T = 0.20 + 110 + 0.20 = 110.4\ ohms$$

b) Para calcular la corriente què circula por el circuito.

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{127}{110.4} = 1.15\ Amperes$$

c) Las caídas de voltaje son:

Del conductor a la lámpara.

$V_2 = R_L I$ = 110 x 1.15 = 126.5 volts

En el conductor de la lámpara al contacto.

$V_3 = R_{C2} I = 0.20\ x\ 1.15 = 0.23$ volts

1.3.2 CONEXIÓN PARALELO.

La llamada conexión en paralelo resulta ser la más empleada tanto en alumbrado como en instalaciones eléctricas de fuerza. En los circuitos en paralelo, todos los elementos o cargas se conectan entre los conductores que se alimentan de la fuente de voltaje y, por lo tanto, el voltaje es igual en cada uno de los elementos conectados en paralelo.

Con el mismo voltaje aplicado a través de todas las cargas, la corriente total que demanda el circuito es igual a la suma de las corrientes individuales que demanda cada elemento, y que se calcula de acuerdo con la expresión:

$$I = \frac{V}{R}$$

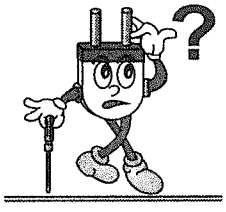
Si se desea calcular el valor equivalente de la resistencia para las resistencias conectadas en paralelo, se emplea la conocida fórmula:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N}$$

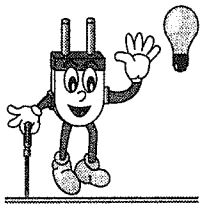
DONDE:

$\mathbf{R_{EQ}}$ = Resistencia equivalente del conjunto.

$\boldsymbol{R_1, R_2, \cdots, + R_N}$ = Resistencias individuales o de cada elemento.



EJEMPLO 1.2 Se conectan en paralelo tres resistencias de 0.5, 0.25 y 0.10 ohms, calcular el valor de la resistencia equivalente.



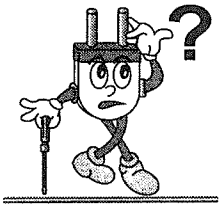
SOLUCIÓN El valor de la resistencia equivalente se calcula como:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

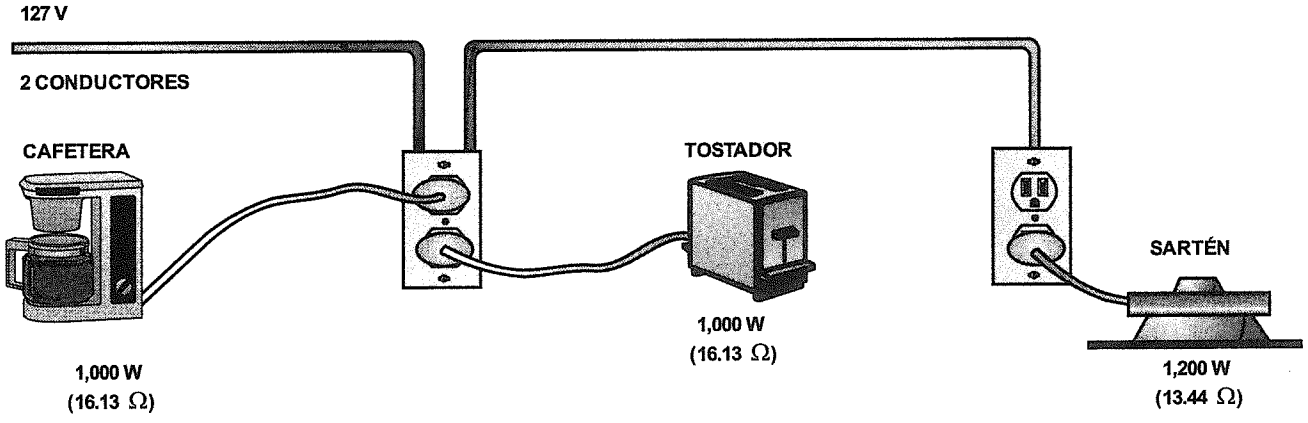
$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{0.5} + \frac{1}{0.25} + \frac{1}{0.10}$$

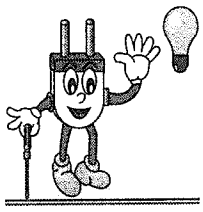
$$\frac{1}{R_{EQ}} = 2 + 4 + 10 = 16$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{16} \quad (Ohms)$$

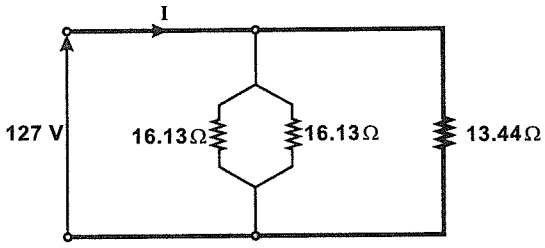


EJEMPLO 1.3 En una sección de una instalación eléctrica se tienen conectadas las cargas siguientes: A un contacto doble una cafetera de 1000 watts y un tostador de pan de 1000 watts, a otro contacto un sartén eléctrico de 1200 watts, estas cargas se alimentan a 127 volts. Se desea calcular la corriente total y la corriente en cada elemento.





SOLUCIÓN El circuito equivalente es el siguiente:



La corriente de la cafetera se calcula como:

$$I_C = \frac{V}{R} = \frac{127}{16.13} = 7.87 \text{ Amperes}$$

La corriente en el tostador de pan:

$$I_T = \frac{V}{R} = \frac{127}{16.13} = 7.87 \text{ Amperes}$$

La corriente en el sartén:

$$I_S = \frac{V}{R} = \frac{127}{13.44} = 9.45 \text{ Amperes}$$

La corriente total es:

$$I_{TOT} = I_C + I_R + I_S = 7.87 + 7.87 + 9.45 = 25.19 \text{ Amperes}$$

Si se calcula la resistencia equivalente:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{16.13} + \frac{1}{16.13} + \frac{1}{13.44} = 0.1984$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{0.19884} = 5.04 \text{ Ohms}$$

La corriente es: $1 = \frac{V}{R_{EQ}} = \frac{127}{5.04} = 25.19 \text{ Amperes}$

1.3.3 EL CONCEPTO DE POTENCIA.

Las características y aplicaciones de los circuitos eléctricos se han descrito hasta ahora en términos del voltaje, la resistencia y la corriente, elementos que son importantes y esenciales para el estudio de los sistemas eléctricos; sin embargo, se puede decir que son incidentales para el propósito primario de cualquier circuito eléctrico, que es el de: ***suministrar una potencia para desarrollar un trabajo.***

Los sistemas eléctricos, ya sea una simple batería que opera una campana, o una compleja instalación industrial que alimenta a un gran número de lámparas y motores eléctricos, y que tiene el propósito de producir alumbrado y hacer girar los motores para accionar bombas, ventiladores, transportadores, etc., o bien producir calor, tienen como propósito final: ***desarrollar una potencia o producir un trabajo.***

En el análisis de cualquier circuito para instalaciones eléctricas se involucran aspectos de voltaje, resistencia y corriente, pero las últimas consideraciones son siempre de potencia y trabajo, por lo que para la aplicación de los circuitos eléctricos es necesaria una clara comprensión de los términos ***"potencia", "trabajo"*** y las relaciones de éstos con el voltaje, la corriente y la resistencia.

La potencia es una medida del índice para desarrollar un trabajo. La potencia mecánica se mide en ***"CABALLOS DE FUERZA".***

La energía es la capacidad para hacer un trabajo y se mide en las mismas unidades que el trabajo, ***kilogramos-metro.*** La energía puede estar almacenada en un cuerpo y se entrega cuando el objeto desarrolla un trabajo. La potencia eléctrica se designa comúnmente con las unidades ***watt o kilowatt***, el watt es la medida de la capacidad para desarrollar un trabajo eléctrico, el kilowatt es igual a 1000 watts y cuando se habla de la **potencia eléctrica,** se hace referencia por lo general a watts o kilowatts de la carga de un circuito. La potencia eléctrica se puede expresar como:

$$P = VI\ (watts)$$

También como:

$$V = RI$$

$$P = RI^2\ (watts)$$

Esta expresión es comúnmente usada para expresar las pérdidas por efecto Joule que se manifiestan en forma de calor.

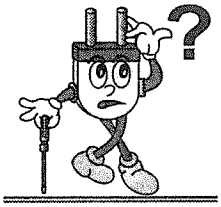
Otra forma de expresar la potencia es a partir del voltaje aplicado al circuito, ya que se sabe que:

$$I = \frac{V}{R}$$

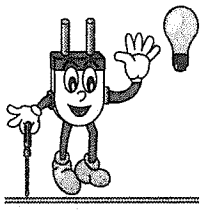
Por lo que:

$$P = \frac{V^2}{R}\ (watts)$$

A partir de las expresiones anteriores, se pueden hacer ciertos cálculos necesarios, como los que se muestran en el ejemplo anterior.



EJEMPLO 1.4 Se tiene una lámpara de 100 watts que se alimenta a 127 volts y opera durante 20 horas. Calcular el valor de su resistencia, la corriente que demanda y la energía que consume.



SOLUCIÓN De la fórmula:

$$P = \frac{V^2}{R}\ ;\quad R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{(127)^2}{100} = 161.3\ ohms$$

La corriente se obtiene de la expresión:

$$P = VI\ \ ; I = \frac{P}{V} = \frac{100}{127} = 0.7875\ Amperes$$

La energía que consume es:

$$W = P_{XT} = 100\ x\ 20 = 2000\ watts - hora$$

O bien:

$$W = 2\ Kw - Hora$$

De las relaciones importantes para la potencia eléctrica se puede hacer el siguiente resumen:

Watts = volts x amperes
Watts = ohms x $(\text{amperes})^2$

$$\text{Watts} = \frac{(volts)^2}{ohms}$$

También:

1 caballo de potencia (HP) es igual a 746 watts.

1 HP = 746 watts.

Asimismo:

1 = HP = 0.746 Kw.

1 Kw = 1.34 HP

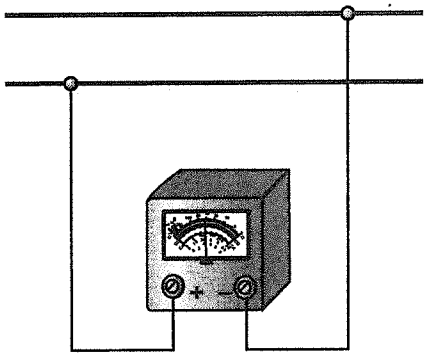
Conceptos básicos de mediciones eléctricas.

En la práctica, la aplicación de los conceptos básicos de circuitos se encuentran relacionados con el equipo eléctrico y es necesario con frecuencia medir algunos parámetros considerados como incógnitas y correlacionar los datos obtenidos, el conjunto de instrumentos básicos para efectuar estas mediciones son: **EL VÓLTMETRO, AMPÉRMETRO,** y **WATTHORÍMETRO.**

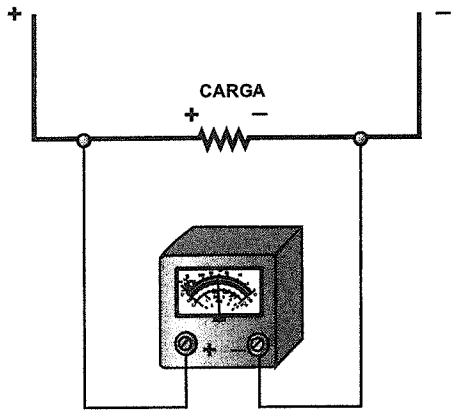
El vóltmetro.

Este es un aparato o instrumento de medición construido y calibrado para dar directamente la lectura del valor de voltaje aplicado. El vóltmetro se debe conectar siempre en paralelo con la carga, el circuito o elemento de circuito del cual se requiere medir.

El vóltmetro tiene dos terminales y se conecta por medio de dos conductores directamente a través de la carga por medir el voltaje. En corriente alterna se pueden conectar indistintamente estas terminales, pero cuando se hace la medición en corriente continua se debe tener cuidado de conectar las terminales de manera tal que se correspondan las marcas de polaridad, es decir, el positivo del vóltmetro con el positivo de la carga, y en la misma forma los negativos.



CONEXIÓN EN C.A.



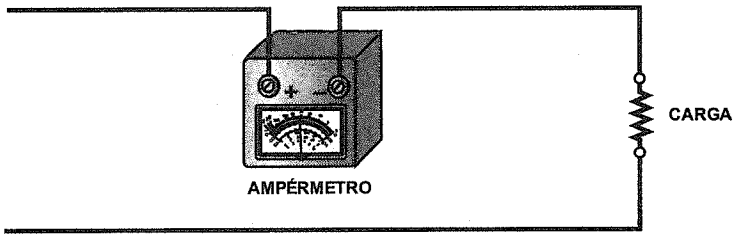
CONEXIÓN EN C.C.

El amperímetro.

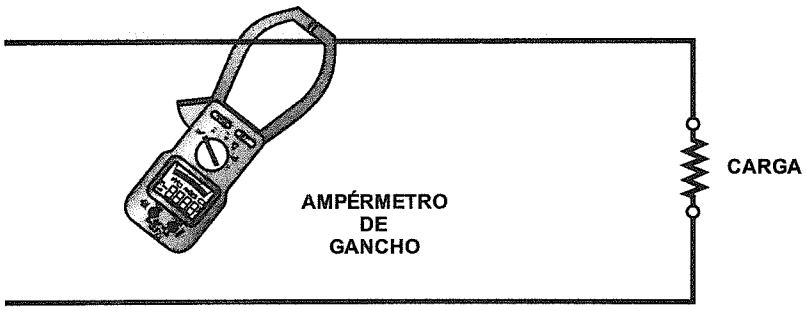
Este es otro instrumento de lectura directa que está diseñado para medir la corriente eléctrica, es decir, amperes. Los ampérmetros convencionales se deben conectar en serie con la carga o elemento del circuito, a través del cual se debe medir la corriente.

Debido a la propia conexión, toda la corriente que fluye a través del ampérmetro es la que circula por el circuito o elemento.

Otro tipo de ampérmetro es el denominado ampérmetro de gancho, que se **"conecta"** al circuito por medir en forma indirecta, es decir, magnéticamente.



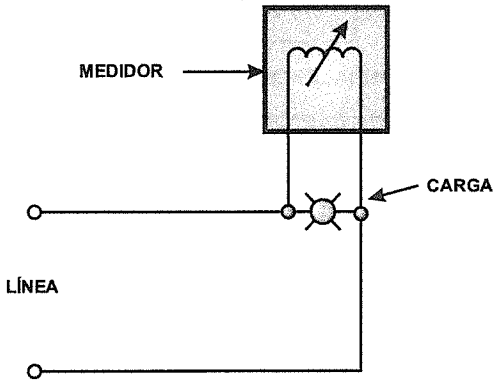
CONEXIÓN DEL AMPÉRMETRO CONVENIONAL



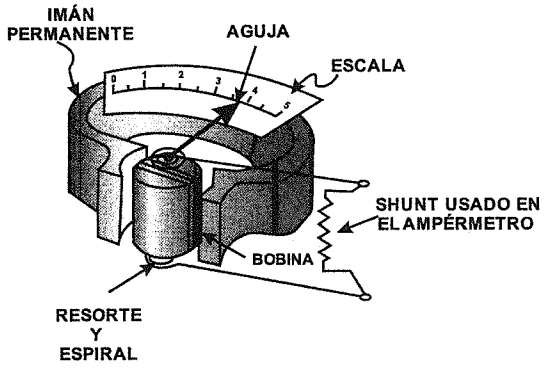
WÁTTMETRO.

Este es también un instrumento de lectura directa que mide la potencia y es una combinación del vóltmetro y del ampérmetro, ya que mide volts y amperes e indica su producto, que resulta ser watts.

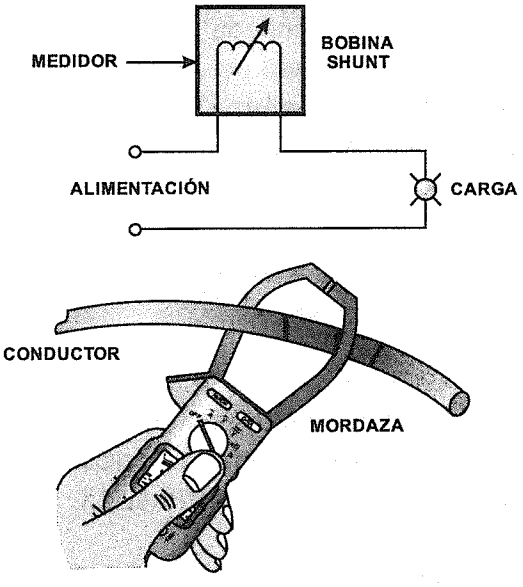
El wáttmetro básico tiene 4 terminales para conectarse al circuito que va a ser medido, dos de las terminales se conectan en serie con la carga y alimentan la sección del ampérmetro del instrumento, las otras dos terminales son para la sección del vóltmetro y se conectan a través de la carga.



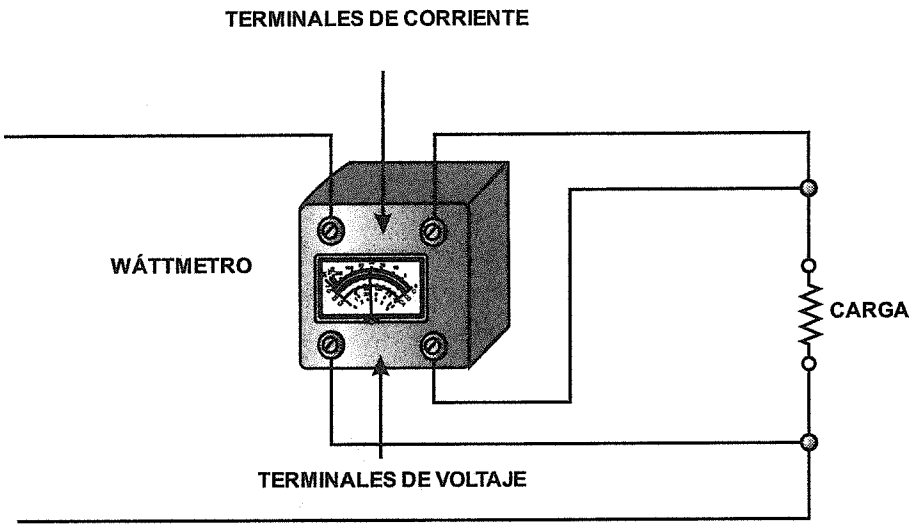
CONEXIÓN DEL VÓLTMETRO



PRINCIPIO DEL AMPÉRMETRO DE BOBINA



AMPÉRMETRO DE GANCHO



WATTHORÍMETRO.

Este también es un instrumento de lectura directa que se usa para medir la cantidad de energía eléctrica que se entrega o se consume en una instalación eléctrica, es decir, mide la cantidad de trabajo desarrollado. La cantidad de energía medida, normalmente lo hace la compañía suministradora y sirve para saber el consumo que ha tenido el usuario en un determinado lapso de tiempo, y de esta manera elaborar su recibo de pago.

Por medio de un mecanismo interno, se correlaciona la potencia medida con el tiempo en que esta potencia ha sido demandada. El producto de los watts y horas se indica en un sistema de carátulas calibradas en la casa del medidor. Estos instrumentos se conectan en la misma forma que un wáttmetro, y en la misma forma que los otros instrumentos, se usa principalmente en circuitos de corriente alterna.

1.4 LOS CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

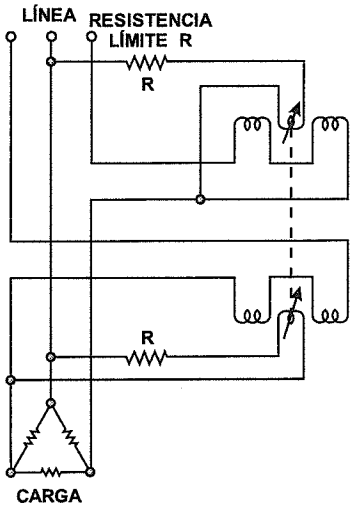
La gran mayoría de las instalaciones eléctricas residenciales o industriales usan la llamada **"CORRIENTE ALTERNA"**, misma que es producida en las centrales generadoras de energía eléctrica y transformada en las subestaciones eléctricas, para ser transmitida y distribuida por las llamadas líneas de transmisión y redes de distribución.

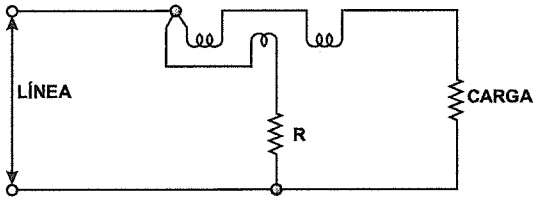
Desde el punto de vista del estudio de los circuitos eléctricos, los valores más significativos son los valores **"efectivos"** o eficaces de la corriente y el voltaje.

Debido a que la corriente alterna está constantemente variando con valores instantáneos y regularmente alternos en dirección, la única forma de calcular la corriente es determinando su valor eficaz. Esto se puede hacer calculando el efecto de calentamiento de la corriente alterna, y dando a la corriente alterna la misma designación en amperes que a la corriente continua que produce el mismo efecto de calentamiento.

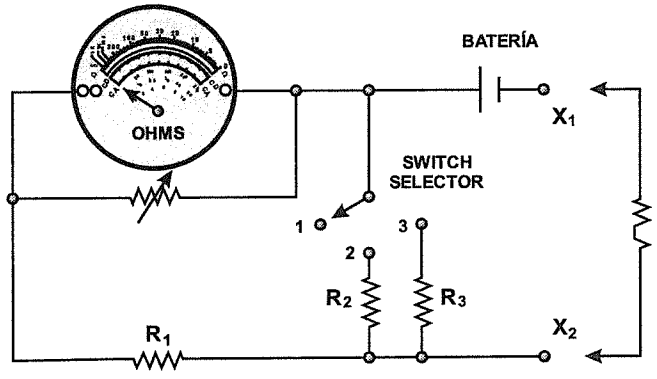
En corriente alterna cada ciclo de una alternación tiene lugar en un periodo determinado de tiempo, dependiendo de la frecuencia con que se producen las alternaciones, por ejemplo: en México la frecuencia es de 60 ciclos/seg., también se dice que es de 60 Hertz. En otros países, se tienen valores de frecuencias distintos, como por ejemplo: 50 ciclos/seg. Para una frecuencia de 60 ciclos/seg., cada ciclo ocurre en 1/60 de segundo.

Existe otra forma de referirse a los ciclos o partes de ciclos de la corriente alterna, y que no está referida con la frecuencia, pero que facilita el análisis de los circuitos de corriente alterna, esta forma está basada en las llamadas relaciones fasoriales y usa el concepto de **ángulo eléctrico.**

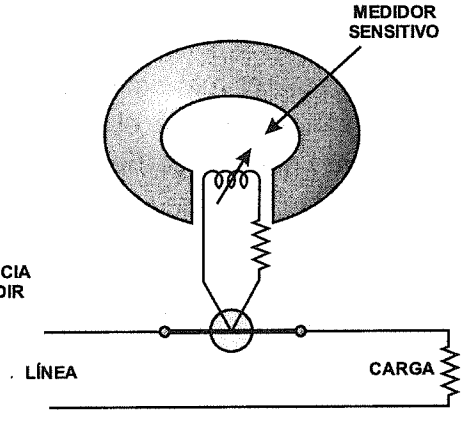




WÁTTMETROS

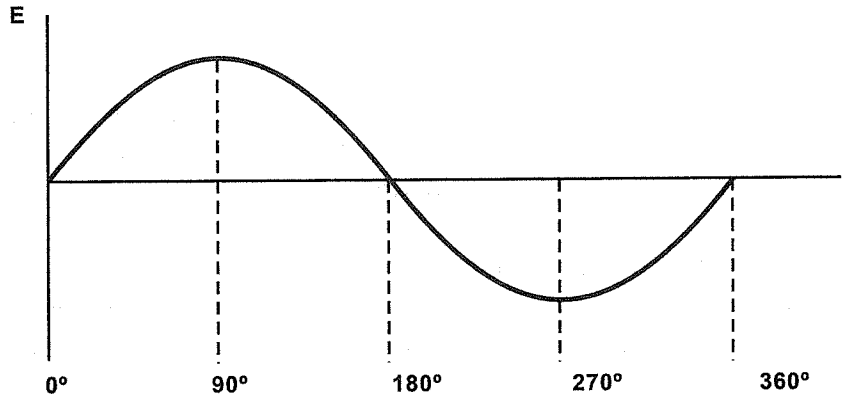


ÓHMETRO



AMPÉRMETRO CON TERMOPAR

Se dice que un ciclo completo tiene 360°, una mitad de ciclo 180°, etc., cada ciclo comienza en 0°, la alternación positiva o mitad de ciclo ocurre en la medida que el vector produce la llamada ***onda senoidal*** moviéndose de 0 a 180°. La alternación negativa o medio ciclo ocurre de 180 a 300 grados.



ONDA SENOIDAL DE CORRIENTE ALTERNA

Los valores instantáneos de voltaje y corriente en cualquier punto del ciclo se pueden calcular como:

$$E_1 = E_M \, sen \, \theta$$

$$I_1 = I_M \, sen \, \theta$$

Donde $\mathbf{E_M}$ es el valor máximo de la onda de voltaje, que se encuentra a 90° para la parte positiva de la onda y $-\mathbf{E_M}$ que se encuentra a 270° (de la parte negativa).

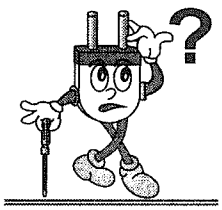
$\mathbf{I_M}$ valor máximo de la onda de corriente a 90° (en la parte positiva) y $-\mathbf{I_M}$ (en la parte negativa) a 270°, representa el valor máximo negativo.

Por demostraciones matemáticas, que no forman parte del propósito de estudio en estas notas, se puede demostrar que el valor **EFICAZ** de la corriente que produce el mismo efecto de calentamiento que una corriente continua de igual magnitud se puede calcular como:

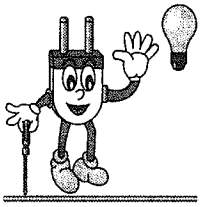
$$I_E = 0.707 \; I_M$$

La misma relación es aplicable a los voltajes de corriente alterna.

$$E_E = 0.707 \; E_M$$



EJEMPLO 1.5 La onda senoidal de una corriente alterna tiene un valor máximo de 100 amperes. Qué valor de corriente continua producirá el mismo efecto de calentamiento?



SOLUCIÓN

$$I_E = 0.707\, I_M$$

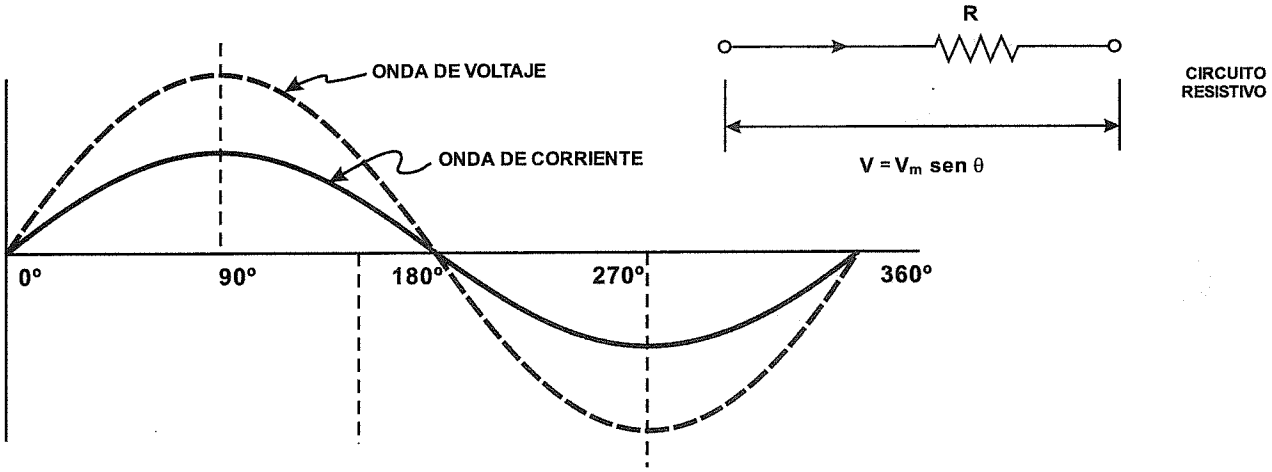
$$= 0.707\, x\, 100$$

$$= 70.7\ amperes$$

1.4.1 RELACIÓN VECTORIAL ENTRE VOLTAJES Y CORRIENTES.

En los circuitos de corriente alterna es necesario hacer algunas consideraciones importantes con relación al carácter o naturaleza de la forma de onda.

Cuando un voltaje de corriente alterna se aplica a un circuito que contiene resistencia únicamente, la onda de corriente pasa por su valor máximo y mínimo al mismo tiempo y en la misma dirección; en estas condiciones de dice que la corriente está en **"fase"** con el voltaje.



En los circuitos que contienen otros elementos como inductancias o capacitancias, las corrientes y voltajes no coinciden en sus valores máximos y mínimos, entonces se dice que están ***"fuera de fase"***

Hay dos posibles condiciones para la relación ***"fuera de fase"*** entre voltaje y corriente.

1. Cuando la corriente pasa por su valor cero y se incrementa a su valor máximo después de un cierto tiempo que el voltaje ha pasado por su cero e incrementado a su máximo. En estas condiciones, se dice que la corriente está ***"atrasada"*** con respecto al voltaje.

2. Cuando la corriente pasa por su valor cero y se incrementa un cierto tiempo antes que el voltaje pase por su cero e incremente su valor hasta el máximo. En este caso, se dice que la corriente está ***"adelantada"*** con respecto al voltaje.

Dependiendo de las condiciones particulares de un circuito, la corriente se puede adelantar o atrasar con respecto al voltaje por un valor hasta ¼ de ciclo o 90°, a esta diferencia en tiempo o ***"diferencia de fase"*** se expresa comúnmente en grados eléctricos y se le conoce como el **"ÁNGULO DE FASE"** y se designa con la letra griega teta (θ) o fi (φ)

El ángulo de fase depende de las características de la carga, es atrasado cuando es predominantemente inductiva, o sea cuando existen muchas bobinas en el circuito, o elementos que contengan bobinas, como por ejemplo motores eléctricos o cualquier otro elemento electromagnético. Los circuitos eléctricos que contienen inductancias se dice que son ***inductivos*** y tienen la propiedad de inductancia.

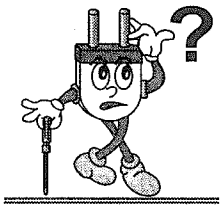
En un circuito de corriente alterna (CA) que contiene inductancia se induce una **"fuerza electromotriz"** o autoinducción debido al valor instantáneo de la corriente. La oposición que la inductancia presenta al flujo de corriente alterna se conoce como **"REACTANCIA INDUCTIVA"** y se designa por el símbolo $\mathbf{X_L}$ y se conoce como:

$$X_L = 2\pi\ FL$$

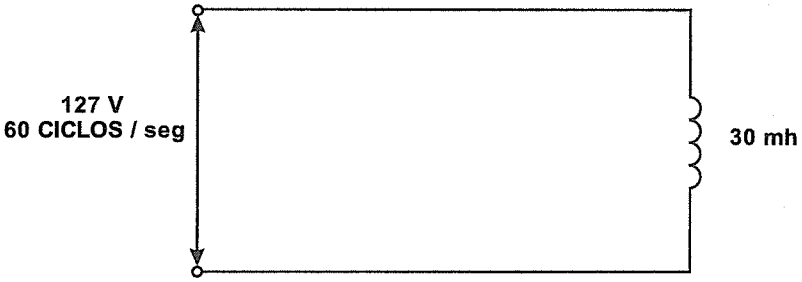
$$\pi = 3.1416$$

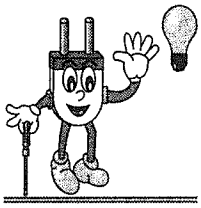
DONDE:

F = Frecuencia en ciclos / seg (Hertz).
L = Valor de la inductancia en Henry.



EJEMPLO 1.6 Calcular el valor efectivo de la corriente que circula a través de una bobina de 30 Milihenry que se alimenta a 127 volts y una frecuencia de 60 ciclos/seg.





SOLUCIÓN La reactancia inductiva se calcula como:

$$X_L = 2\pi\ FL$$

L = 30 MH = 0.03 Herny

Ya que: $1\ milihenry = \frac{1}{1000}\ Henry$

X_L = 2 x 3.1416 x 60 x 0.03 = 11.3 ohms

La corriente es:

$$1 = \frac{V}{X_L} = \frac{127}{11.3} = 11.24\ Amperes$$

En algunos circuitos eléctricos se tienen elementos que tienen capacidad para almacenar una cierta cantidad de electrones, a esta capacidad de almacenar carga eléctrica se le conoce como **"CAPACITANCIA"** y sus unidades se expresan en Farads. Se dice que el elemento que tiene la propiedad de la capacitancia es el **capacitor** o **condensador,** y un capacitor tiene una capacitancia de 1 Farad cuando se le aplica un voltaje de 1 volt, que hace que el capacitor tome una carga de 1 coulomb.

Debido a que el farad es una unidad muy grande, para fines prácticos se usa el **"MICROFARAD"**, que es **una millonésima de farad (1 microfarad = 10^{-6} farad)**, se usa por lo general la letra **C** para representar la capacitancia.

Algunos capacitores se construyen de placas en paralelo, o bien en forma cilíndrica. *(Mediante capas formando un rollo)*. La capacitancia es directamente proporcional al área de las placas del capacitor e inversamente proporcional a la distancia que separa a las placas. Un factor adicional en la determinación de la capacitancia es el material usado como dieléctrico, por ejemplo, un conjunto dado de placas para capacitor puede dar una cierta capacidad en farads con una separación fija. Cuando se usa el aire como dieléctrico, pero con el mismo arreglo de placas, se tendrá un valor más alto de capacitancia si se usa mica, cerámica o vidrio como dieléctrico.

REACTANCIA CAPACITIVA.

Como se mencionó antes, un capacitor conectado en un circuito permite la circulación de corriente debido a su capacidad para almacenar corriente en una dirección del flujo de corriente, después descarga la corriente y vuelve a almacenar la corriente alterna, pero en dirección opuesta. Sin embargo, el capacitor ofrece una cierta oposición al flujo de corriente, esta oposición depende de dos factores: El valor de la capacitancia y el índice con el cual el voltaje aplicado cambia, que es, la frecuencia del voltaje de la fuente de corriente alterna.

La oposición a la circulación o flujo de corriente se conoce como **REACTANCIA CAPACITIVA** y su valor es inversamente proporcional a la capacitancia y frecuencia. Se mide en forma análoga a la resistencia o a la reactancia inductiva, en ohms y su valor se calcula con la siguiente expresión:

$$X_C = \frac{1}{2\pi FC} \qquad X_C = \frac{1\,000{,}000}{2\pi FC}$$

DONDE:

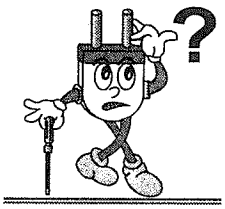
F = Frecuencia en ciclos/seg.
C = Valor de la capacitancia en farads.

Cuando la capacitancia está dada en microfarads la fórmula anterior se escribe como:

$$I = \frac{V}{X_C}$$

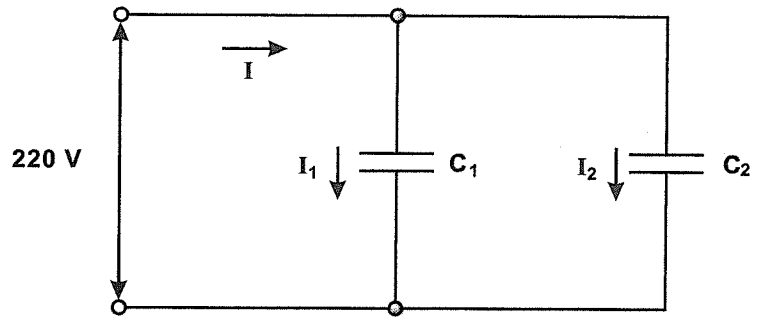
DONDE:

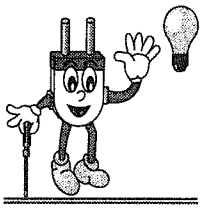
I = Valor eficaz de la corriente.
V = Valor eficaz del voltaje aplicado.
X_C= Reactancia capacitiva en ohms.



EJEMPLO 1.7 Calcular las corrientes I_1, I_2, I en el siguiente circuito, si los valores de las capacitancias son:

C_1 = 200 microfarads, C_2 = 100 microfarads y F = 60 ciclos/seg.





SOLUCIÓN Las reactancias capacitivas son:

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi F C_2} = \frac{1000{,}000}{2\ x\ 3.1416\ x\ 60\ x\ 100} = 26.52\ ohms$$

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi F C_1} = \frac{1000{,}000}{2\ x\ 3.1416\ x\ 60\ x\ 200} = 13.26\ ohms$$

Las corrientes son:

$$I_2 = \frac{V}{X_{C2}} = \frac{220}{26.52} = 8.295\ Amperes$$

$$I_1 = \frac{V}{X_{C1}} = \frac{220}{13.26} = 16.591\ Amperes$$

La corriente total I es entonces:

$$I = I_1 + I_2 = 8.295 + 16.591 = 24.886\ Amperes$$

Como verificación, se puede calcular la capacitancia total, que resulta de la combinación en paralelo de las dos, es decir:

$$C = C_1 + C_2 = 100 + 200 = microfarads$$

La reactancia capacitiva total es entonces:

$$X_C = \frac{1}{2\pi FC} = \frac{1}{2\ x\ 3.1416\ x\ 60\ x\ 300} = 8.84\ ohms$$

La corriente total es entonces:

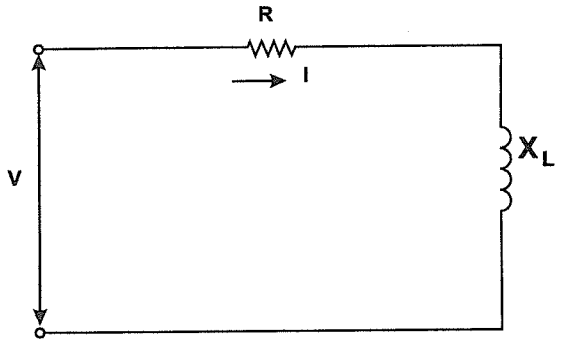
$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{220}{8.84} = 24.886\ amperes$$

1.5 EL CONCEPTO DE IMPEDANCIA

En los circuitos eléctricos, por lo general, no aparecen en forma aislada los parámetros de resistencia, inductancia y capacitancia, más bien aparecen combinados de alguna manera, ya que prácticamente es muy difícil encontrar circuitos que no tengan resistencia, por ejemplo, cualquier conductor de corriente que proporciona cierta inductancia en corriente alterna, tiene un cierto valor de resistencia, tal es el caso de las balastras para lámparas fluorescentes, los transformadores, los solenoides, los motores eléctricos, etc.

Cuando una resistencia y una inductancia se conectan en serie, se produce una caída de voltaje tanto en la resistencia como en la reactancia inductiva, si se designan por V_R la caída de voltaje en la resistencia y V_L la caída de voltaje en la reactancia inductiva, el voltaje aplicado al circuito se calcula como:

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$



Sí las caídas de voltaje se expresan como:

$V_R = IR$
$V_L = I \times L$

El voltaje aplicado se puede expresar también como:

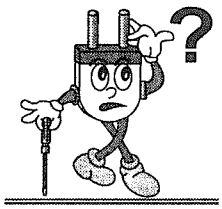
$$V = \sqrt{(IR)^2 + (I\ x\ L)^2} = \sqrt{I^2\ (R^2 + XL^2)}$$

$$V = I\sqrt{R^2 + XL^2}$$

Al término $\sqrt{R^2 + XL^2}$ se le conoce también como la impedancia (en magnitud) del circuito y se designa por la letra Z.

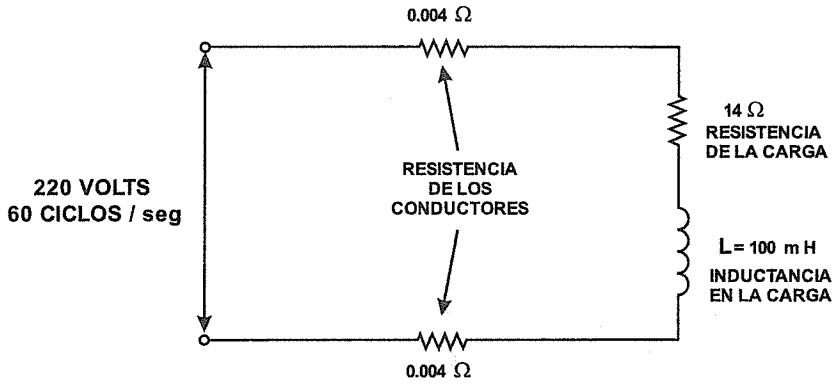
$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

Como la caída de voltaje debida a la reactancia inductiva se encuentra desplazada 90° con respecto a la de resistencia, estas caídas de voltaje no se pueden sumar numéricamente, se tienen que sumar en forma vectorial.

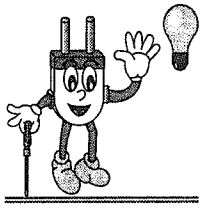


EJEMPLO 1.8 Para el circuito mostrado en la figura, calcular:

a) La reactancia inductiva.
b) La impedancia.
c) El valor eficaz.
d) El valor máximo de la corriente.



SOLUCIÓN



a) La reactancia inductiva se calcula como:

$$X_L = 2\pi FL = 2\ x\ 3.1416\ x\ 60\ x\ 0.1$$

$$X_L = 37.7\ ohms$$

b) La impedancia se calcula como:

$$Z = \sqrt{R^2 + {X_L}^2}$$

Donde la resistencia total es la suma de las resistencias en el circuito:

R = 14 + 0.004 + 0.004 = 14.008 ohms

Por lo que:

$$Z = \sqrt{(14.008)^2 + (37.7)^2} = 40.22\ ohms$$

c) El valor eficaz de la corriente:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{40.22} = 5.47\ Amperes$$

d) El valor máximo de la corriente se calcula como:

Ieficaz = 0.707 Imáx

$$I\,\text{máx} = \frac{Ieficaz}{0.707} = \frac{I}{0.707} = \frac{5.47}{0.707}$$

$$IE = 7.737\ Amperes$$

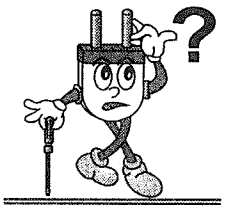
En la misma forma que un circuito contiene inductancia y resistencia, también puede tener capacitancia, es decir, existe la caída de voltaje por reactancia capacitiva y entonces existe un valor combinado que determina la caída de voltaje por impedancia. El valor de la impedancia formada por un circuito que contiene resistencia y capacitancia se calcula ahora como:

$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ Donde $\mathbf{X_C}$ es la reactancia capacitiva.

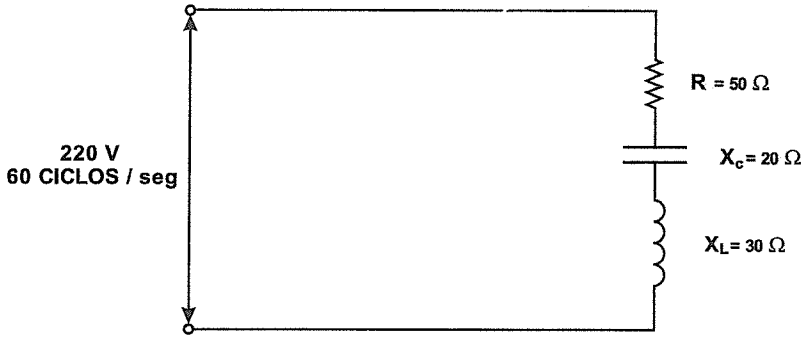
Cuando el circuito contiene resistencia, inductancia y capacitancia, debido a que los efectos producidos por la corriente en la inductancia y en la capacitancia son opuestos, entonces éstos se manifiestan por medio de sus reactancias, que cuando están conectadas en serie se restan:

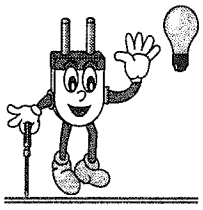
$$X = X_L - X_C$$

Y la impedancia resultante es entonces: $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$



EJEMPLO 1.9 Para el circuito mostrado en la figura, calcular el valor de la impedancia Z, la corriente efectiva I y las caídas de voltaje en cada uno de los siguientes elementos.





SOLUCIÓN El valor de la impedancia es:

$$Z = \sqrt{(R^2) + (X_L + X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{(50)^2 + (30 - 20)^2} = \sqrt{(50)^2 + 10^2} = 51\ ohms$$

La corriente es:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{51} = 4.31\ Amperes$$

Las caídas de voltaje por resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva son:

$V_R = IR = 4.31 \times 50 = 215.5$ Amperes

$V_L = IX_L = 4.31 \times 30 = 129.3$ Amperes

$V_C = IX_C = 4.31 \times 20 = 86.2$ Amperes

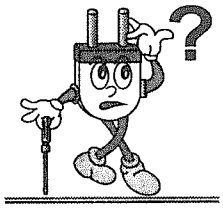
1.9 EL CONCEPTO DE FACTOR DE POTENCIA

En un circuito en serie que contiene resistencia e inductancia, o también resistencia, inductancia y capacitancia, la oposición al paso de la corriente está dada por la impedancia $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, la corriente que circula es I = v/z y la potencia aparente" en el circuito es P=VI, pero la única parte que consume potencia es la resistencia y su valor está dado como $P = RI^2$, que se conoce como la potencia real consumida por el circuito.

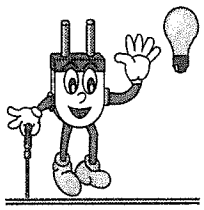
Si se trata de un circuito formado por resistencia e inductancia, la onda de corriente se encuentra fuera de fase con respecto al voltaje, atrasándose un ángulo θ entre 0 y 90^o, en tal circuito la potencia promedio no es simplemente **P = VI**, se calcula esta potencia de acuerdo con la fórmula:

$$P = VI \cos \theta$$

Siendo θ el ángulo que la onda de corriente se atrasa con respecto al voltaje, el coseno de este ángulo se conoce como el factor de potencia del circuito y es una medida de la cantidad de potencia que es consumida por la resistencia del circuito, tomando en consideración el efecto de la inductancia del circuito. En otras palabras, el factor de potencia determina qué porción de la potencia aparente **VI** es la potencia real. El valor del factor de potencia varía entre 0 y 1, es **1** cuando la carga es puramente resistiva y **0** cuando la carga es puramente inductiva.



EJEMPLO 1.10 Un motor alimentado a 220 volts toma 10 amperes y consume 1750 watts a plena carga. Calcular el factor de potencia.



SOLUCIÓN La potencia real consumida por el motor es:

$$P = VI \cos \theta$$

$$1750 = 220 \times 10 \times \cos \theta$$

Por lo tanto:

$$\cos\theta = \frac{1750}{220\ x\ 10} = 07.95$$

1.7 CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Aun cuando los circuitos de corriente alterna monofásicos son ampliamente usados y aparecen prácticamente en cada circuito eléctrico, como es el caso de las instalaciones eléctricas en las casas-habitación, la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica se hace con circuitos de corriente alterna trifásicos y lo mismo se puede decir de la mayoría de las aplicaciones industriales.

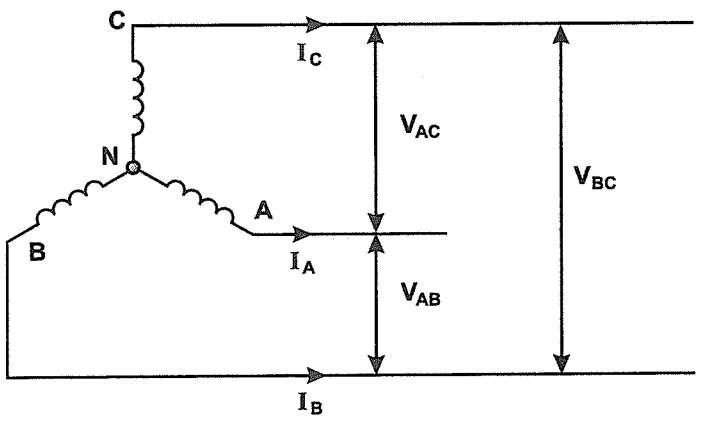
Los circuitos trifásicos requieren menos peso en los conductores que los circuitos monofásicos al mismo valor de potencia. Los motores eléctricos trifásicos son por lo general de menor tamaño y menos pesado, así como más eficientes que los motores monofásicos a igualdad de potencia.

Existen dos conexiones básicas en los circuitos trifásicos, una es llamada la **CONEXIÓN ESTRELLA** y la otra la **CONEXIÓN DELTA**, las fuentes de voltajes para las instalaciones eléctricas (generadores o secundarios de los transformadores) o bien las cargas, se pueden conectar ya sea en estrella o en delta.

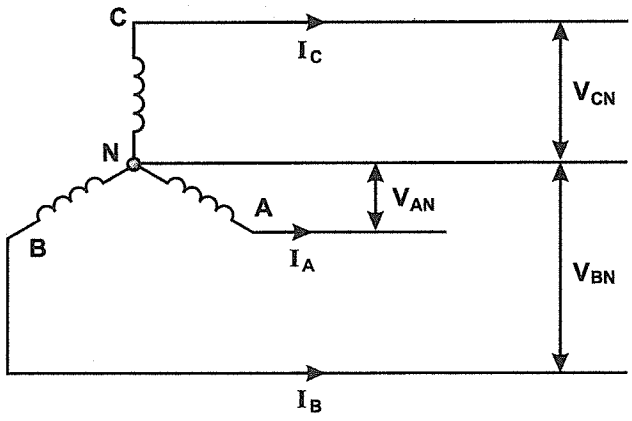
1.7.1 LA CONEXIÓN ESTRELLA.

En las conexiones trifásicas, ya se la denominada estrella o bien aquella conocida como delta, es importante establecer las relaciones entre los voltajes ∨ corrientes en la salida de cada conexión con respecto a las mismas cantidades, pero en el interior.

En el caso de la llamada conexión estrella, se tiene una representación como la que se indica, con las relaciones que se muestran:



N representa el neutro de la conexión y los voltajes V_{AB}, V_{BC}, V_{AC} se conocen como los voltajes de línea, y si se considera el sistema balanceado, sus valores son iguales en magnitud y están desplazados 120° eléctricos entre sí, $V_{AC} = V_{BC} = V_{AB} = V_L$ en magnitud. El neutro constituye el punto de referencia y se usa en los sistemas trifásicos a 4 hilos o con cuatro conductores, los voltajes referidos a este neutro se conocen como voltajes de fase.



$$V_{AN} = V_{BN} = V_{CN} = V_F$$

La relación entre los voltajes de fase y los de línea para esta conexión es la siguiente:

$$V_L = \sqrt{3}\, V_F$$

Las corrientes I_A, I_B, I_C son las corrientes de línea, pero son las mismas que circulan por cada fase, por lo que si el sistema es balanceado se puede hacer:

$I_A = I_B = I_C = I_L$ (en magnitud)

Y también:

$I_L = I_F$

Para la conexión estrella, la potencia aparente por fase es:

$P_F = V_F\ I_F$

La potencia aparente total para las tres fases es:

$P = 3\ V_F\ I_F$

Pero:

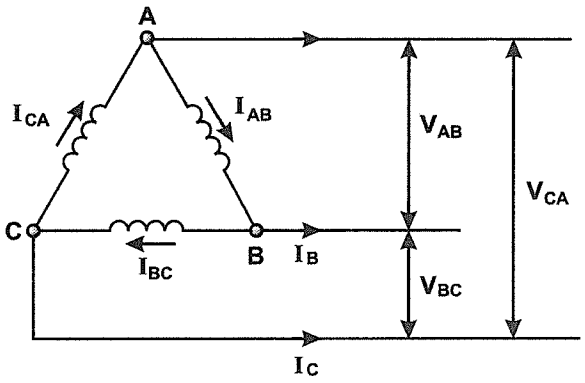
$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \; ; \; I_F = I_L$$

$$P = \frac{3\,V_L}{\sqrt{3}}\, x\, I_L = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$$

$$P = \sqrt{3}\; V_L\, I_L$$

1.7.2 LA CONEXIÓN DELTA.

Esta conexión también se le conoce como conexión triángulo, por la forma que tiene su representación, es una conexión cerrada debido a que se conecta el final de una fase con el principio de la otra, teniendo la siguiente representación:



V_{AC}, V_{BC} y V_{CA} se conocen como los voltajes de línea y si son iguales en magnitud y están defasados 120° eléctricos entre sí, se dice que el sistema es balanceado. También $V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_L$.

V_L es el voltaje de línea y su valor es igual al voltaje de fase.

$$V_L = V_F$$

Por otra parte, para las corrientes de línea $I_A = I_B = I_C$, si el sistema está balanceado y se dice que están defasados 120°eléctricos entre sí.

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

Para las corrientes de fase, si el sistema es balanceado, se tiene también:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_F$$

La relación entre las corrientes de fase y las de línea está dada como:

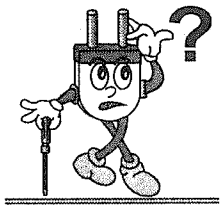
$$I_L = \sqrt{3}\, I_F$$

La potencia aparente es también:

$$P = 3\, V_F\, I_F$$

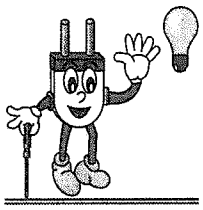
O bien:

$$P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$$



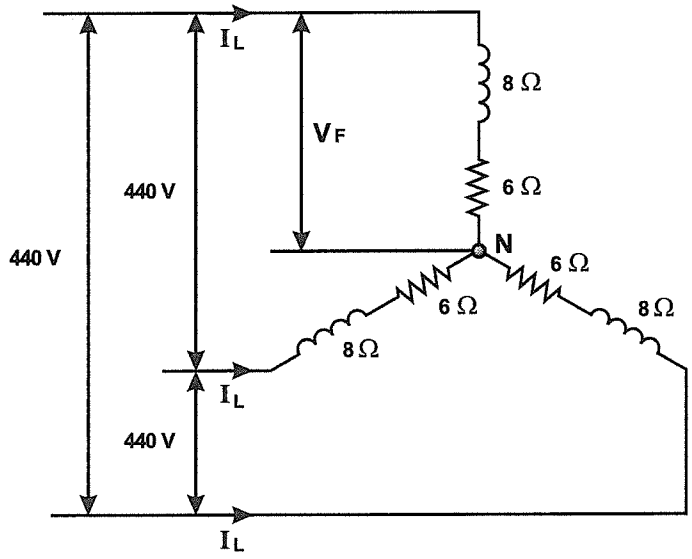
EJEMPLO 1.11 Se tienen tres impedancias iguales y conectadas en estrella a un sistema trifásico de 440 volts, 60 ciclos/seg. La resistencia es de 6 ohms y la reactancia inductiva de 8 ohms, calcular:

a) La corriente de línea.
b) La potencia consumida.



SOLUCIÓN

a) El sistema de que se trata es el mostrado en la figura:



La impedancia de cada fase es:

$$Z_F = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\ ohms$$

El voltaje de fase es:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254\ volts$$

La corriente de fase es entonces:

$$I_F = \frac{V_F}{Z_F} = \frac{254}{10} = 25.4\ amperes$$

La corriente de línea:

$$I_L = I_F = 25.4\ amperes$$

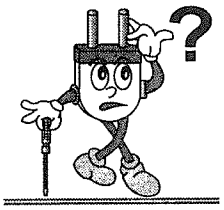
b) El factor de potencia se puede calcular como el coseno de la resistencia por fase entre la impedancia por fase, es decir:

$$\cos\theta = \frac{R}{Z_F} = \frac{6}{10} = 0.6$$

La potencia consumida es entonces:

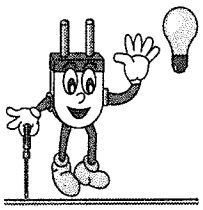
$$P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\theta = \sqrt{3}\ x\ 440\ x\ 25.4\ x\ 0.6$$

$$P = 11614.44\ watts$$

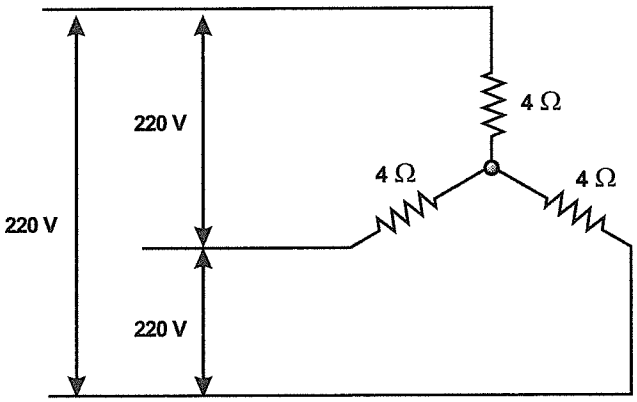


EJEMPLO 1.12 Una carga trifásica balanceada consiste de 3 resistencias cada una de 4 ohms conectadas a una alimentación de 220 volts, 60 ciclos/seg, tres fases. Se desea calcular la potencia total consumida cuando las resistencias se conectan.

a) En estrella.
b) En delta.



SOLUCIÓN



a) Para la conexión estrella.

El voltaje de línea es: $V_L = 220\ volts$

El voltaje de fase:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{3} = 127\ volts$$

La corriente de fase:

$$I_F = \frac{V_F}{R_F} = \frac{127}{4} = 31.75\ amperes$$

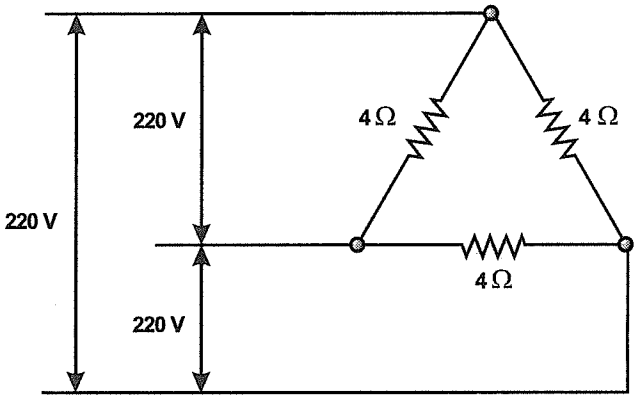
$$I_F = I_L = 31.75\ amperes$$

La potencia consumida es:

$$P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\theta \qquad P = \sqrt{3}\ x\ 220\ x\ 31.75\ x\ 1$$

$$P = 12098.37\ watts = 12.09837\ Kw$$

b) Para la conexión delta.



$$V_L = V_F = 220\ volts$$

La corriente de fase:

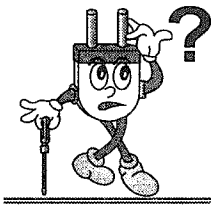
$$I_F = \frac{V_F}{R_F} = \frac{220}{4} = 55\ Amperes$$

La corriente de línea:

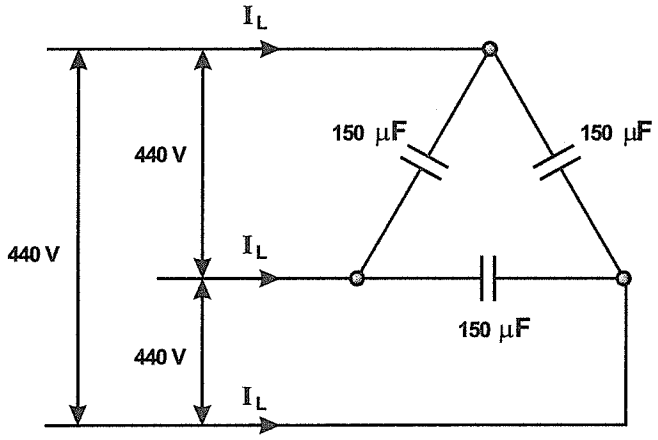
$$I_L = \sqrt{3}\, I_F = \sqrt{3}\ x\ 55 = 95.26\ Amperes$$

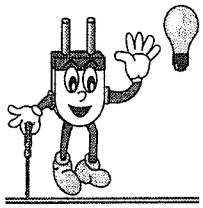
La potencia consumida:

$$P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\theta = \sqrt{3}\ x\ 220\ x\ 95.26\ x\ 1 = 36300\ watts$$



EJEMPLO 1.13 Tres capacitores, cada uno de 150 microfarads se conectan en delta a 440 volts, 3 fases, 60 ciclos/seg de alimentación. Calcular la corriente de línea. Cuál debe ser la capacitancia de cada uno de los tres capacitores, de manera que cuando se conectan en estrella a la misma fuente de alimentación, la corriente de línea sea la misma que cuando está conectado en delta.





SOLUCIÓN El voltaje de línea es: $V_L = 440$ V

El voltaje de fase es:

$$V_F = V_L = 440 \text{ V}$$

La impedancia de cada fase:

$$Z_F = \frac{1}{2\,\pi\,FC} = \frac{10^6}{2\,\pi\,x\,60\,x\,150} = 17.68\ ohms$$

La corriente de fase es:

$$I_F = \frac{V_F}{Z_F} = \frac{440}{17.68} = 24.88\ Amperes$$

La corriente de línea es entonces:

$$I_L = \sqrt{3} \qquad I_F = \sqrt{3}\,x\,24.88 = 43.1\ Amperes$$

PARA LA CONEXIÓN ESTRELLA

Sea **C** la capacitancia en farads de cada capacitor cuando está conectado en estrella.

La corriente de línea es:

$I_L = 43.1$ amperes

El voltaje de fase:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254\ volts$$

También:

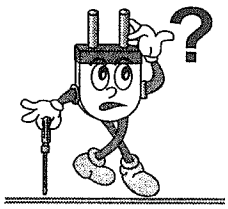
$$I_F = \frac{V_F}{X_C}$$

$$X_C = \frac{V_F}{I_F} = \frac{254}{43.1} = 5.9\ ohms$$

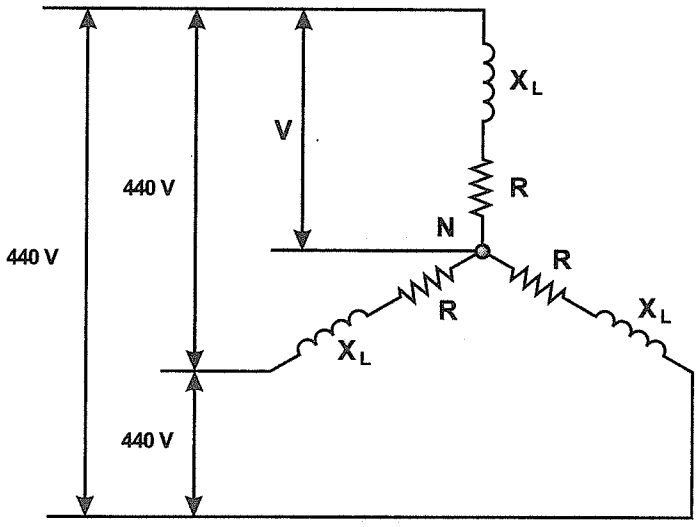
$$X_C = \frac{1}{2\pi\, FC}\ ;\quad C = \frac{1}{2\pi\, FX_C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi\ x\ 60\ x\ 5.9} = 449.6\ x\ 10^{-6}\ F$$

$$C = 449.6\ micro\ farads$$



EJEMPLO 1.14 Tres bobinas similares se conectan en estrella y demandan una potencia de 1.5 Kw a factor de potencia 0.2 atrasado de una fuente de alimentación trifásica a 440 volts, 60 ciclos/seg. Se desea calcular la resistencia e inductancia de cada bobina.



De los datos:

Potencia total: P = 1.5 Kw = 1500 watts

Voltaje de línea: V = 440 V.

Factor de potencia = $\cos\theta = 0.2$

Frecuencia = 60 ciclos/seg.

$$P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L\ \cos\theta$$

Despejando la corriente de línea:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}\ V_L \cos\theta} = \frac{1500}{\sqrt{3}\ x\ 440\ x\ 0.2} = 9.84\ Amperes$$

La corriente en cada fase es:

$$I_F = I_L = 9.84\ Amperes$$

El voltaje de fase:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254\ volts$$

La impedancia de cada fase es:

$$Z_F = \frac{V_F}{I_F} = \frac{254}{9.84} = 25.81\ ohms$$

De la expresión para el factor de potencia:

$$\cos\theta = \frac{R}{Z_F}\ ; \quad R = Z_F \cos\theta$$

$$R = 25.81\ x\ 0.2$$

$$R = 5.61\ ohms$$

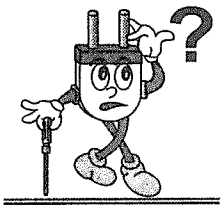
La reactancia inductiva por fase es:

$$X_L = \sqrt{Z_F^2 - R^2} = \sqrt{(25.81)^2 - (5.16)^2}$$

$$X_L = 25.29\ ohms$$

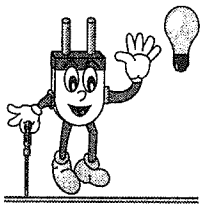
La inductancia por fase es:

$$L = \frac{X_L}{2\,\pi\,F} = \frac{25.29}{2\,\pi\,x\,60} = 0.067\ Henry$$

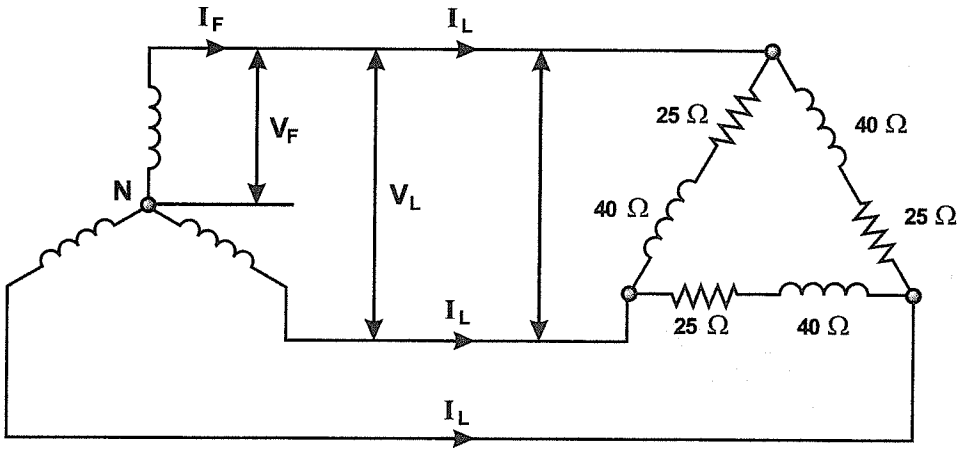


EJEMPLO 1.15 Una carga trifásica conectada en delta tiene en cada fase una reactancia de 40 ohms y una resistencia de 25 ohms, la carga se alimenta del secundario de un transformador trifásico, conectado en estrella, que tiene un voltaje de fase de 220 V, calcular:

a) El voltaje en cada fase de la carga.
b) La corriente en cada fase de la carga.
c) La corriente en el devanado secundario del transformador.
d) La potencia total que se demanda del suministro y su factor de potencia.



SOLUCIÓN El diagrama de conexiones se muestra a continuación:



El voltaje de línea en el secundario del transformador, conectado en estrella es:

$$V_L = \sqrt{3}\ \ V_F = \sqrt{3}\, x\, 220 = 381.05\ volts$$

a) El voltaje en cada fase de la carga es entonces.

$V_F = 381.05$

b) La impedancia de la carga por fase es:

$$Z_F = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(25)^2 + (40)^2}$$

$$Z_F = 47.17\ ohms$$

La corriente en cada fase de la carga:

$$I_F = \frac{V_F}{Z_F} = \frac{381.05}{47.17} = 8.08\ Amperes$$

c) La corriente de línea:

$$I_L = \sqrt{3}\ \ I_F = \sqrt{3}\ x\, 8.08 = 14\ amperes$$

Por lo tanto, la corriente en el secundario del transformador es:

$$I_{FS} = I_L = 14\ Amperes$$

d) El factor de potencia de la carga:

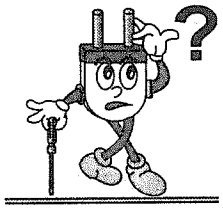
$$\cos\theta = \frac{R_F}{Z_F} = \frac{25}{47.17} = 0.53\ atrasado$$

La potencia suministrada a la carga:

$$P = \sqrt{3}\, V_L\ I_L\ \cos\theta$$

$$= \sqrt{3}\ x\ 381.05\ x\ 14\ x\ 0.53$$

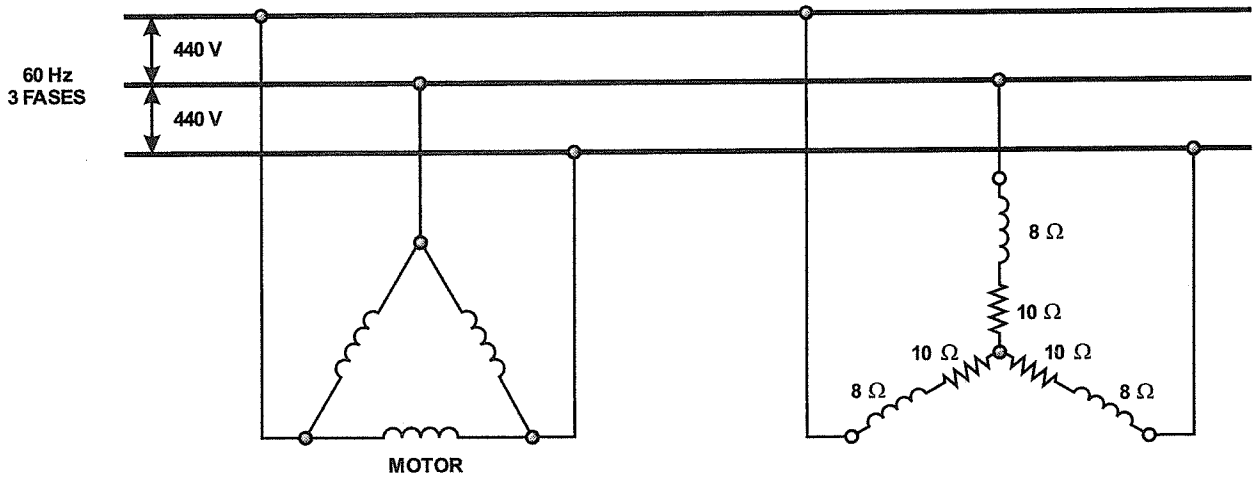
$$= 4897.2\ watts$$

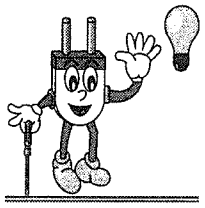


EJEMPLO 1.16 En una instalación eléctrica, un alimentador a 440 volts, 60 ciclos/seg, tres fases, alimenta a un motor de inducción de 20 KVA, con factor de potencia a 0.8 atrasado y a un grupo de cargas conectadas en estrella, formando cada fase una impedancia con una resistencia de 10 ohms y una reactancia inductiva de 8 ohms.

Se desea calcular:

a) Las potencias totales, activa, reactiva y aparente.
b) El factor de potencia resultante.
c) Las corrientes de línea.





SOLUCIÓN

a) La potencia aparente suministrada al motor es:

P_{A1} = 20 KVA

La potencia activa suministrada al motor es:

$P_1 = P_{A1} \times \text{Cos}\,\theta = 20 \times 0.8 = 16$ Kw

El ángulo correspondiente al factor de potencia es:

θ = ang. Cos 0.8 = 36.9°

La potencia reactiva suministrada al motor es:

$P_{R1} = P_{A1} \times \text{Sen}\theta = 20 \times \text{Sen}\,(36.9^{\circ})$

$P_{R1} = 20 \times 0.6 = 12$ KVAr

El valor de la impedancia por fase para la carga conectada en estrella es:

$$Z_F = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(10)^2 + (8)^2}$$

$$Z_F = 12.8\ ohms$$

El voltaje por fase:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{3} = 254\ volts$$

La corriente por fase es entonces:

$$I_F = \frac{V_F}{Z_F} = \frac{254}{12.8} = 19.8\ Amperes$$

El factor de potencia de la carga conectada en estrella es:

$$\text{Cos}\,\theta_2 = \frac{R}{Z_F} = \frac{10}{12.8} = 0.78\ (atrasado)$$

La potencia aparente suministrada a esta carga es:

$$P_{A2} = \sqrt{3}\ \ V_L I_L = \sqrt{3}\ x\ 440\ x\ 19.8 = 15089.5\ VA$$

$$P_{A2} = 15.089\ KVA$$

La potencia activa que se alimenta a la carga es:

$$P_2 = P_{A2}\ x\ Cos\ \theta_2$$

$$P_2 = 15.089\ x\ 0.78 = 11.77$$

La potencia reactiva suministrada a la carga es:

$$P_{R2} = P_{A2}\ x\ Sen\ \theta_2$$

$$\theta_2 = Ang\ Cos\theta_2 = Ang\ \text{Cos}(0.78) = 38.74°$$

$$P_{R2} = 15.089\ x\ Sen\ (38.74°)$$

$$P_{R2} = 9.44\ KVAr$$

La potencia activa total suministrada es:

$P = P_1 + P_2 = 16 + 11.77 = 27.7$ Kw

La potencia reactiva total suministrada es:

$P_R = P_{R1} + P_{R2} = 12 + 9.44 = 21.44$ KVAr

La potencia aparente total suministrada:

$$P_A = \sqrt{P^2 + P_R^2} = \sqrt{(27.77)^2 + (21.44)^2}$$

$$P_A = 35.08\ KVA$$

b) El factor de potencia resultante es:

$$\text{Cos}\,\theta = \frac{Potencia\ activa}{Potencia\ aparente} = \frac{27.77}{35.08} = 0.79\ atrasado$$

c) La corriente total de línea alimentada:

$$I_L = \frac{P_A}{\sqrt{3}\,V_L} = \frac{35.08\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 440} = 46.03\ Amperes$$

La corriente de línea alimentada al motor:

$$I_{L1} = \frac{P_{A1}}{\sqrt{3}\ V_L} = \frac{20\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 400} = 26.24\ Amperes$$

1.8 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

En el diseño de instalaciones eléctricas o de los circuitos eléctricos para comercios o industrias, es necesario considerar una gran variedad de tipos de cargas que intervienen, y que genéricamente se pueden agrupar en alumbrado, motores, contactos y aplicaciones especiales.

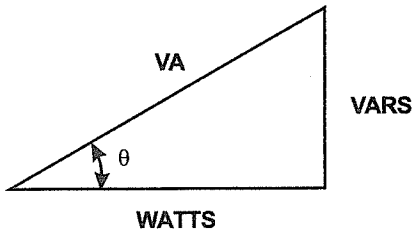
En el renglón de aplicaciones especiales, puede intervenir una gran variedad de tipo de cargas, dependiendo de las características de la industria o local al cual se le va a diseñar la instalación eléctrica y, de hecho, cada caso representa un problema particular que debe ser resuelto para cada proyecto o diseño específico.

No obstante la gran diversidad en los distintos tipos de carga que pueden haber, el calculista o proyectista debe tener una idea de los cálculos que debe hacer o los criterios a aplicar en ciertos casos, por lo que resulta conveniente tener un resumen de fórmulas para los cálculos más comunes a realizar.

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA.

- **Factor de potencia**

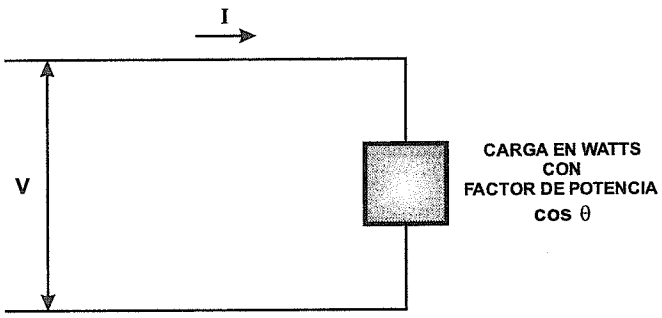
$$\cos\theta = \frac{Watts}{VA}$$



- **Potencia**

$$P = VI\ x\ \text{Cos}\,\theta\ (monofásico)$$

$$P = \sqrt{3}\,VI\ Cos\theta\ (trifásico)$$



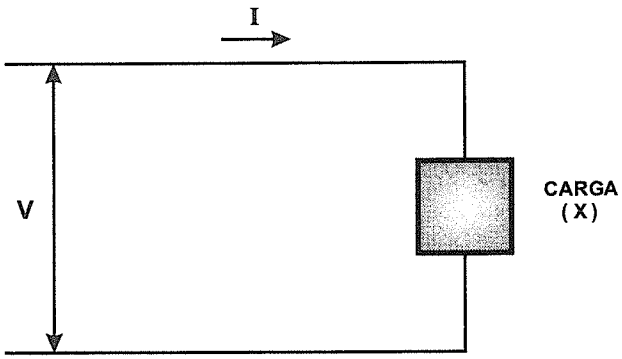
- **Energía**

Watts x tiempo, por lo general se mide en kilowatts-hora.

Potencia reactiva (VARS)

$$VARs = I^2x$$

$$VARs = \frac{V^2}{X}$$



DONDE:

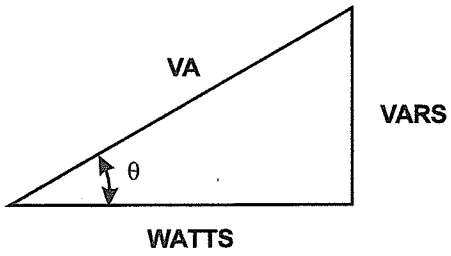
X = Reactancia en ohms
V = Voltaje en volts

- **Relaciones entre las potencias aparente, activa y reactiva**

$$VA = \sqrt{(Watts)^2 + (VARs)^2}$$

$$Watts = \sqrt{(VA)^2 - (VARs)^2}$$

$$VARs = \sqrt{(VA)^2 - (Watts)^2}$$

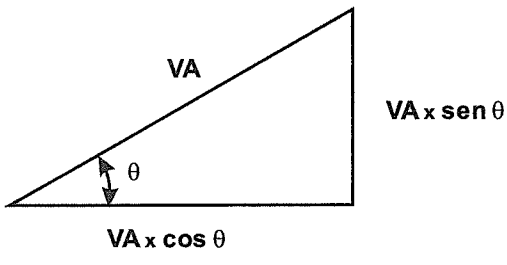


- **Relaciones trigonométricas**

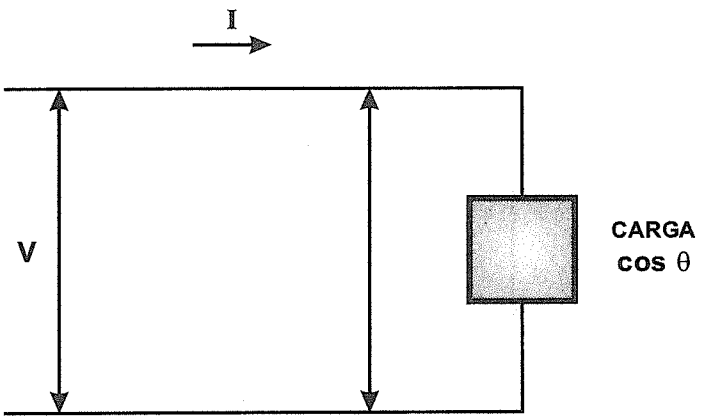
$$\theta = Ang\ \text{Cos}(factor\ de\ potencia)$$

$$Watts = VA\ x\ Cos\theta$$

$$VARs = VA\ x\ Sen\theta$$



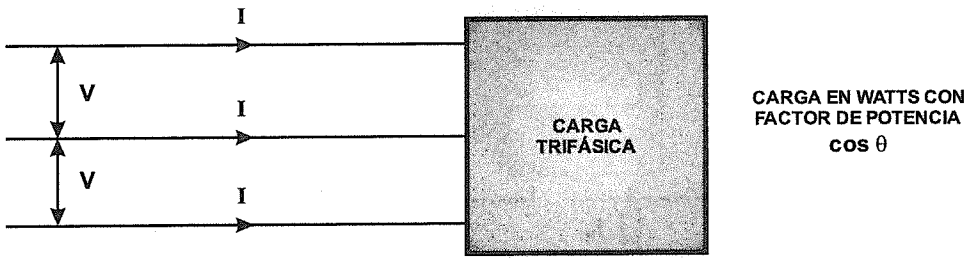
- **Corriente de carga en circuitos monofásicos**



COS θ = FACTOR DE POTENCIA

$$I = \frac{Potencia\ (watts)}{V\ (volts)\ x\ cos\theta} \quad (Amperes)$$

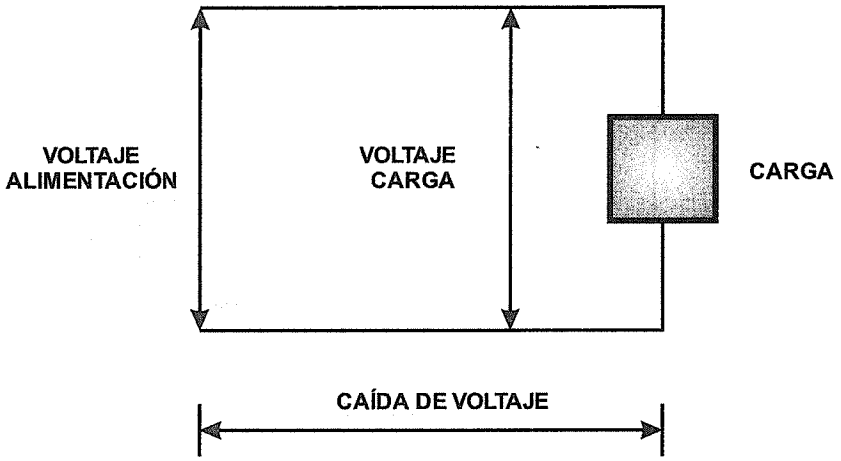
- **Corriente de carga en sistemas trifásicos balanceados (tres o cuatro conductores)**



CORRIENTE DE CARGA EN SISTEMAS TRIFÁSICOS BALANCEADOS
(TRES O CUATRO CONDUCTORES)

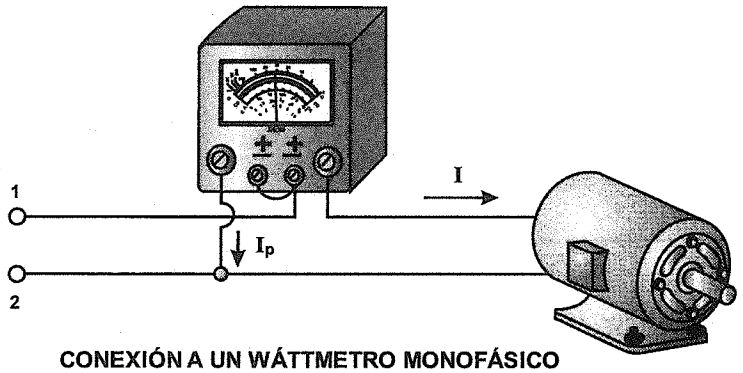
$$I = \frac{potencia\ :\ (watts)}{\sqrt{3}\ x\ V\ (volts)\ x\ \cos\theta} \quad (Amperes)$$

- **Caída de voltaje**

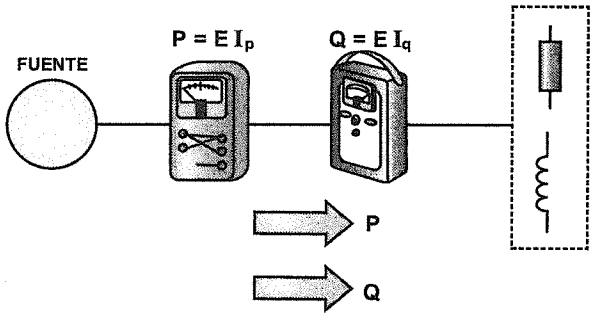


$$Caída\ de\ voltaje = V\ alimentación - carga$$

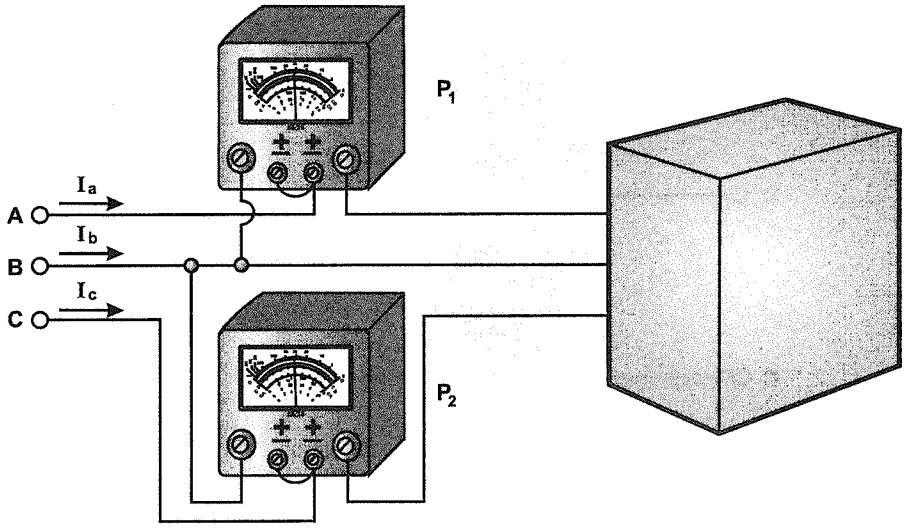
$$\%\ de\ caída\ de\ voltaje = \frac{caída\ de\ voltaje}{V\ alimentación}\ x\ 100$$



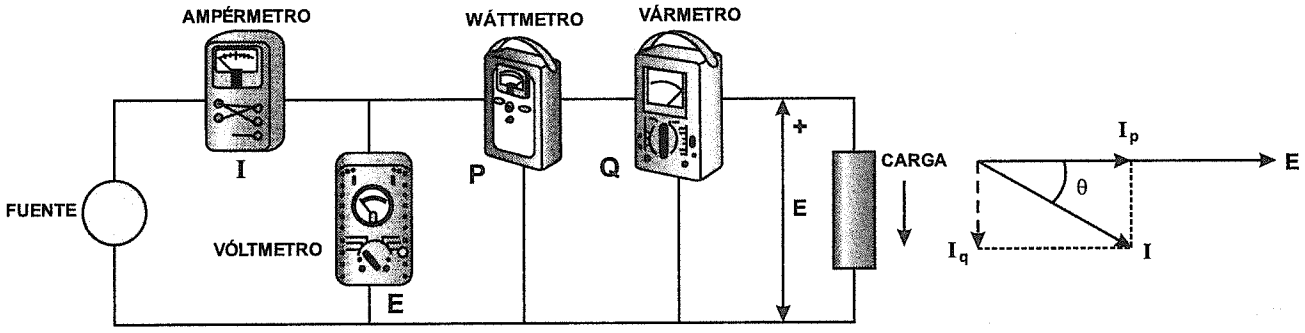
CONEXIÓN A UN WÁTTMETRO MONOFÁSICO



MEDICIÓN DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA MONOFÁSICA

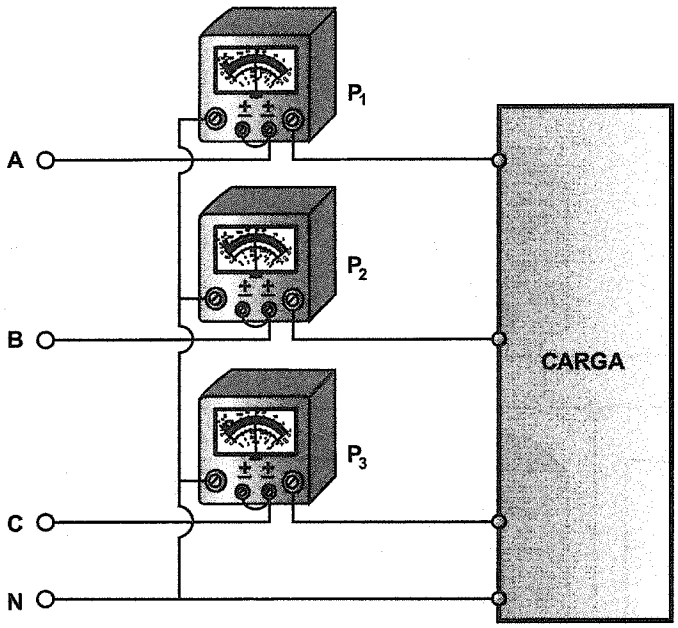


MEDICIÓN DE POTENCIA TRIFÁSICA POR EL MÉTODO DE LOS DOS WÁTTMETROS



RELACIÓN ENTRE POTENCIA ACTIVA, REACTIVA, VOLTAJE Y CORRIENTE

- El vóltmetro mide V (watts).
- El ampérmetro mide I (amperes).
- El wáttmetro mide P (watts).
- El vármetro mide Q (vars).



MEDICIÓN DE POTENCIA TRIFÁSICA EN UN CIRCUITO TRIFÁSICO DE 3 HILOS Y UN NEUTRO

- **Motores eléctricos de corriente alterna**

Velocidad en revoluciones por minuto (RPM)

$$N = \frac{120\ F}{P}$$

DONDE:

F = Frecuencia en ciclos/seg.
P = Número de polos.

Deslizamiento:

$$S = \frac{No - N}{No}\ x\ 100$$

DONDE:

No =Velocidad de vacío en RPM.
N = Velocidad a plena carga (de placa) en RPM.

A) Motores monofásicos

Corriente:

$$I = \frac{Hp\ x\ 746}{Vx\ \eta\ \mathrm{Cos}\ \theta}$$

$1\ Hp = 746\ watts\ ;\ \eta =\ eficiencia$

Potencia en la flecha:

$$Hp = \frac{VI\ \eta\ \mathrm{Cos}\ \theta}{746}$$

B) Motores trifásicos

Corriente:

$$I = \frac{Hp\ x\ 746}{\sqrt{3}\ x\ V\ x\ \eta\ \mathrm{Cos}\ \theta}$$

V = voltaje de línea o entre fases

Potencia en la flecha:

$$Hp = \frac{\sqrt{3}\ V\ I\ \eta\ \mathrm{Cos}\ \theta}{746}$$

Potencia en algunas máquinas eléctricas:

Aparatos de levantamiento (ascensores y montacargas)

Para el movimiento vertical, la potencia requerida se calcula como:

$$P = \frac{G\ V\ x\ 10^{-2}}{\eta}$$

DONDE:

G = Carga en Kg.
P = Potencia en Kw.
V = Velocidad de levantamiento en m/seg.
$\boldsymbol{\eta}$ = Rendimiento de la instalación

- Para reductor con engranes: -0.7 a 0.9
- Para reductor con bandas (poleas): 0. A 0.7
- El valor menor corresponde a reducciones importantes.

Se puede usar también la expresión:

$$Hp = \frac{Sv}{75\,\eta}$$

DONDE:

Hp = Potencia requerida del motor en Hp.
S = Fuerza tangencial en la polea de arrastre en Kg.
V = Velocidad tangencial del tambor en m/seg.
η = Rendimiento

Bombas elevadoras:

La potencia requerida por una bomba se calcula en forma aproximada por la fórmula:

$$P = \frac{Q_{XH}\ x\ 10^{-2}}{\eta}$$

DONDE:

H = Altura manométrica en metros (m).
P = Potencia en Kw.
Q = Capacidad de la bomba en litros/seg.
η = Rendimiento de la bomba.

Se toma: 0.4 a 0.8 para bombas centrífugas.
0.6 a 0.7 para bombas de pistón.

La altura manométrica se calcula como:

$$H = H_A + H_R + P$$

DONDE:

H_A = Altura de aspiración (m).
H_R = Altura de recurrencia (m).
P = Pérdidas en tuberías, codos, etc. (m).

También se puede usar la fórmula simplificada:

$$HP = \frac{Q\ x\ H}{75\ \eta}$$

DONDE:

Hp = Potencia de la bomba en Hp.
H = Altura de elevación del agua en m.
η = Rendimiento de la instalación (0.6 a 0.7)

Ventiladores

La potencia que demanda un ventilador se calcula en forma aproximada por la fórmula:

$$P = \frac{Q\ x\ P\ x\ 10^{-2}}{\eta}$$

DONDE:

P = Potencia en Kw.
P = Presión total en mm de agua.
Q = Gasto m^3/seg.
η = Rendimiento del ventilador.

- 0.2 a 0.3 para ventilador de hélice.
- 0.5 a 0.75 para ventiladores centrífugos.

TABLA 1-1

FÓRMULAS ELÉCTRICAS USUALES				
	CORRIENTE CONTINUA	CORRIENTE ALTERNA		
		UNA FASE	DOS FASES	TRES FASES
AMPERES CONOCIENDO HP	$I = \frac{HP\ x\ 746}{E\ x\ N}$	$I = \frac{HP\ x\ 746}{E\ x\ N\ x\ fp}$	$I = \frac{HP\ x\ 746}{2\ x\ E\ x\ N\ x\ fp}$	$I = \frac{HP\ x\ 746}{1.732\ x\ E\ x\ N\ x\ fp}$
AMPERES CONOCIENDO KW	$I = \frac{KW\ x\ 1000}{E}$	$I = \frac{KW\ x\ 1000}{E\ x\ fp}$	$I = \frac{KW\ x\ 1000}{2\ x\ E\ x\ fp}$	$I = \frac{KW\ x\ 1000}{1.732\ x\ E\ x\ fp}$
AMPERES CONOCIENDO KVA		$I = \frac{KVA\ x\ 1000}{E}$	$I = \frac{KVA\ x\ 1000}{2\ x\ E}$	$I = \frac{KVA\ x\ 1000}{1.732\ x\ E}$
KW	$KW = \frac{I\ x\ E}{1000}$	$KW = \frac{I\ x\ E\ x\ fp}{1000}$	$KW = \frac{I\ x\ E\ x\ fp\ x\ 2}{1000}$	$KW = \frac{I\ x\ E\ x\ fp\ x\ 1.732}{1000}$
KVA		$KW = \frac{I\ x\ E}{1000}$	$KVA = \frac{1\ x\ E\ x\ 2}{1000}$	$KVA = \frac{1\ x\ E\ x\ 1.732}{1000}$
POTENCIA EN LA FLECHA HP	$HP = \frac{I\ x\ E\ x\ N}{746}$	$HP = \frac{I\ x\ E\ x\ N\ x\ fp}{746}$	$HP = \frac{I\ x\ E\ x\ 2\ x\ N\ x\ fp}{746}$	$HP = \frac{I\ x\ E\ x\ 1.732\ x\ N\ x\ fp}{746}$
FACTOR DE POTENCIA	UNITARIO	$fp = \frac{W}{E\ x\ I}$	$fp = \frac{W}{2\ x\ E\ x\ I}$	$fp = \frac{W}{1.732\ x\ E\ x\ I}$

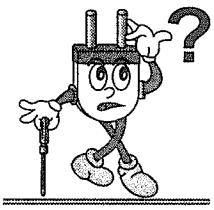
I Corriente en Amperes
E Tensión entre fases en Volts
N Eficiencia expresada en decimales (porciento)

$$RPM = \frac{f\ x\ 120}{p}$$

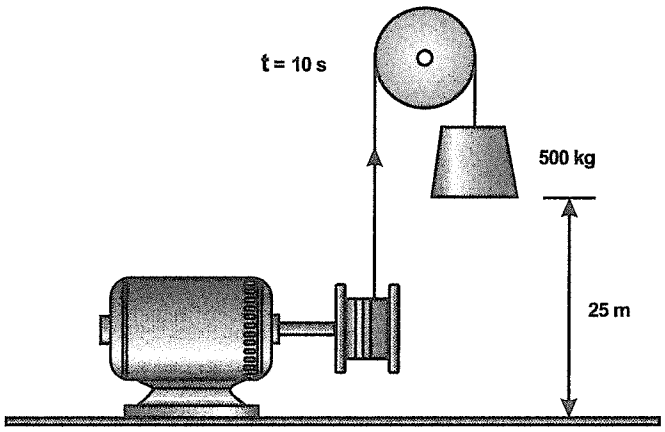
HP Potencia en caballos (Horse Power)
fp Factor de potencia
KW Potencia en kilowatts

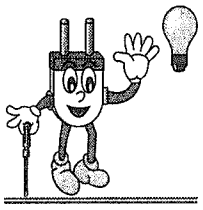
KVA Potencia aparente en kilo volt amperes
W Potencia en watts
RPM Revoluciones por minuto

f Frecuencia
p Número de polos



EJEMPLO 1.17 Un motor eléctrico mediante un mecanismo levanta una masa de 500 Kg a una altura de 25 m en 10 segundos (ver figura). Calcular la potencia desarrollada por el motor en Kw y en HP.





SOLUCIÓN La tensión en el cable es:

$$F = 9.8\,M = 9.8\,x\,500 = 49000\,Newton$$

El trabajo desarrollado es:

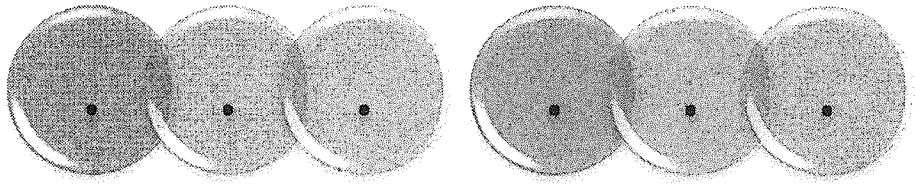
$$W = F\,x\,H = 500\,x\,25 = 125000\,Joules$$

La potencia es:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{125000}{10} = 12500\,Watts$$

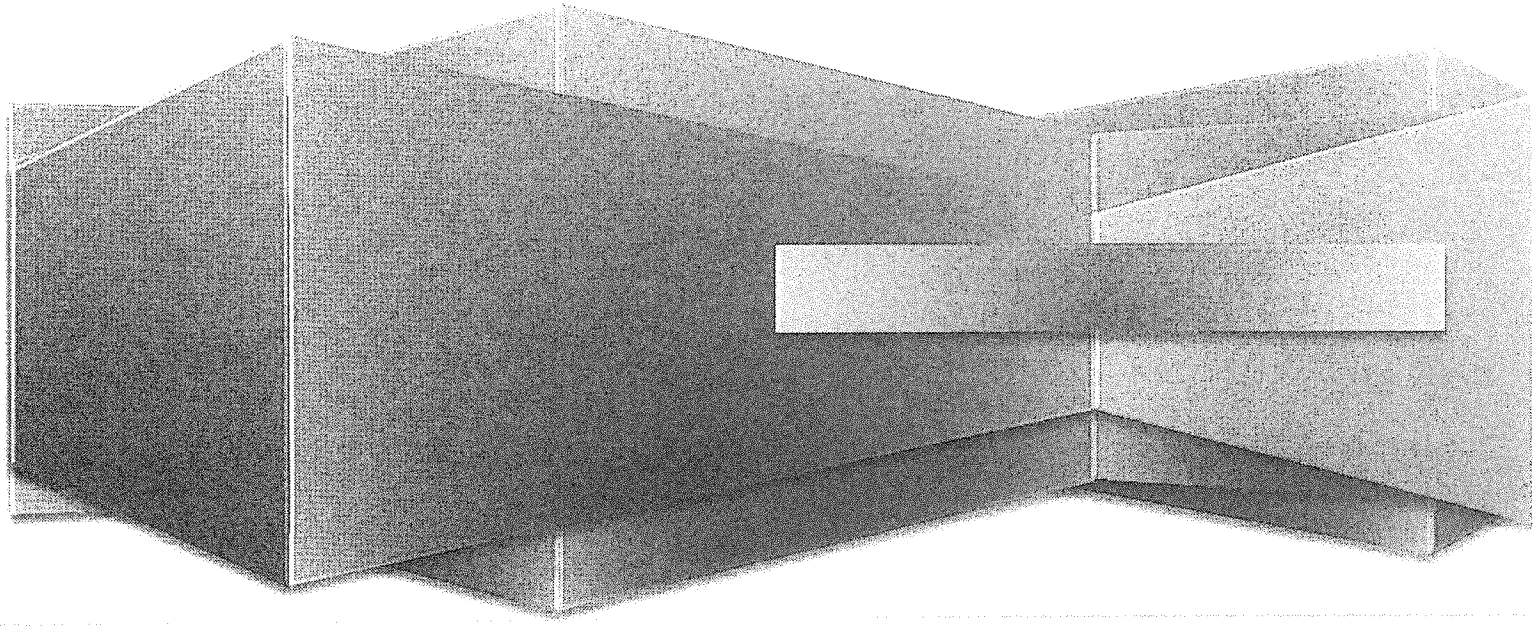
Expresándola en HP:

$$P = \frac{Watts}{746} = \frac{12500}{746} = 16.75\,HP$$

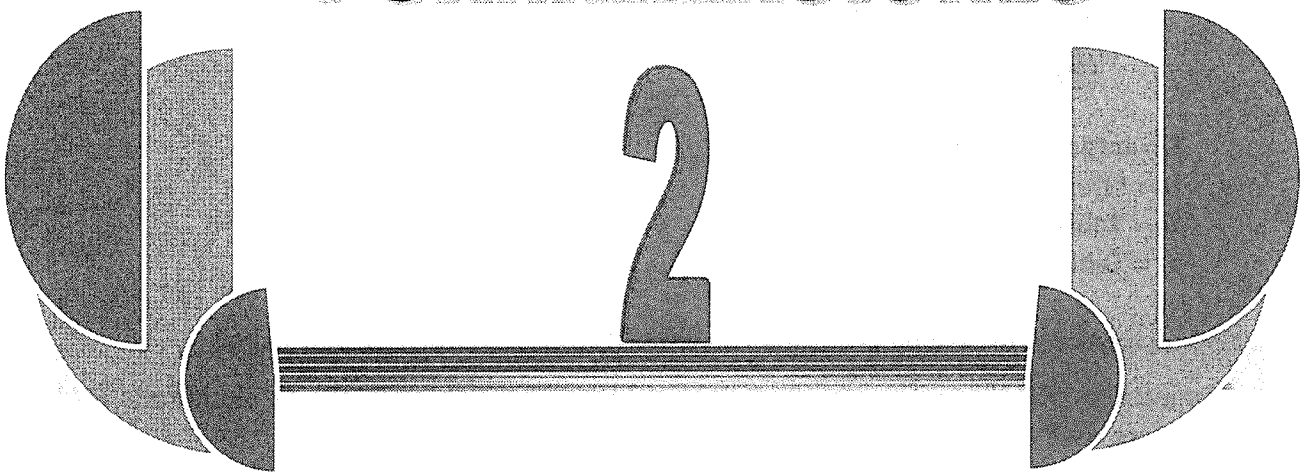


2

CONDUCTORES ELÉCTRICOS Y CANALIZACIONES



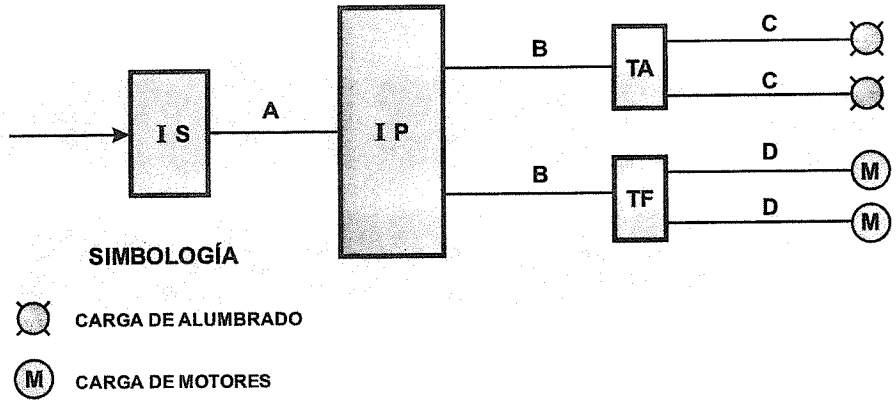
CONDUCTORES ELÉCTRICOS Y CANALIZACIONES



2.1 INTRODUCCIÓN

En cualquier instalación eléctrica, los elementos que conducen la corriente eléctrica de las fuentes a las cargas o que interconectan los elementos de control, son los conductores eléctricos. Por otra parte, por razones de protección de los propios conductores y de seguridad, normalmente estos conductores se encuentran instalados dentro de canalizaciones eléctricas de distinta naturaleza y cuya aplicación depende del tipo de instalación eléctrica de que se trate.

En la figura siguiente, se muestra con propósitos ilustrativos, un diagrama de bloques donde aparecen algunas de las aplicaciones de los conductores eléctricos en las instalaciones.



I_S = Interruptor de servicios.
I_P = Interruptor principal.
T_A = Tablero de alumbrado.
T_F = Tablero de fuerza.

A = Conductores de servicio de la compañía suministradora al interruptor principal.

B = Conductores que llevan la potencia del interruptor principal al tablero de alumbrado (TA) y al tablero de fuerza (TF)

C = Conductores que llevan la potencia de los circuitos derivados del tablero de alumbrado (TA) a la carga de alumbrado.

D = Conductores que llevan la potencia de los circuitos derivados del tablero de fuerza (TF) a la carga de motores M.

Los elementos que contienen a los conductores se conocen como canalizaciones y son de distinto tipo según la aplicación, conociéndose como tubos conduit, ductos, charolas, etc.

2.2 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

En general la palabra **"conductor"** se usa con un sentido distinto al de alambre, ya que por lo general un alambre es de sección circular, mientras que un conductor puede tener otras formas (por ejemplo barras rectangulares o circulares), sin embargo, es común que a los alambres se les designe como conductores, por lo que en caso de mencionar algún conductor de forma o características distintas a los alambres, se designará específicamente con el nombre que se le conozca.

La mayor parte de los conductores usados en las instalaciones eléctricas son de cobre (Cu) o aluminio (Al), debido a su buena conductividad y a que comercialmente no tienen un costo alto;

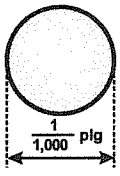
en cambio, que existen otros que tienen un costo elevado y hacen antieconómica su utilización en instalaciones eléctricas, aun cuando tienen mejor conductividad.

Comparativamente el aluminio es aproximadamente un 16% menos conductor que el cobre, pero al ser mucho más liviano que éste, resulta un poco más económico cuando se hacen estudios comparativos, ya que a igualdad de peso se tiene hasta cuatro veces más conducción que el cobre.

Como se mencionó antes, para instalaciones eléctricas se fabrican de sección circular de material sólido o como cables, dependiendo la cantidad de corriente por conducir (ampacidad) y su utilización, aunque en algunos casos se fabrican en secciones rectangulares o tubulares para altas corrientes.

Desde el punto de vista de las normas, los conductores se han identificado por un número de las normas, los conductores se han identificado por un número, que corresponden a lo que comúnmente se conoce como el ***calibre,*** que normalmente sigue el sistema americano de designación *AWG (American Wire Gage),* siendo el más grueso el número 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas. Para conductores con un área mayor del designado como 4/0, se hace una designación que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada el **CIRCULAR MIL,** siendo así como un conductor de 250 corresponderá a aquel cuya sección sea de 250,000 C.M. y así sucesivamente.

Se denomina **CIRCULAR MIL** a la sección de un círculo que tiene un diámetro de un milésimo de pulgada (0.001 plg.)



La relación entre el circular mil y el área en mm^2 para un conductor se obtiene como sigue:

$$1\,plg = 25.4\,mm$$

$$\frac{1}{1000}\,plg = 0.0254\,mm$$

Siendo el circular mil un área:

$$1\,C.M. = \frac{D^2}{4} = \frac{3.1416\,x\,(0.0254)^2}{4}$$

$$= 5.064506\,x\,10^{-4}\,mm^2$$

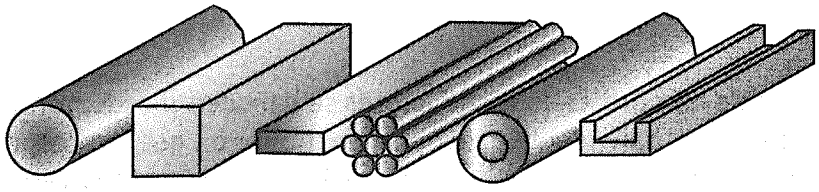
De donde:

$$1\ mm^2 = \frac{10^4}{5.064506} = 1974\ cm$$

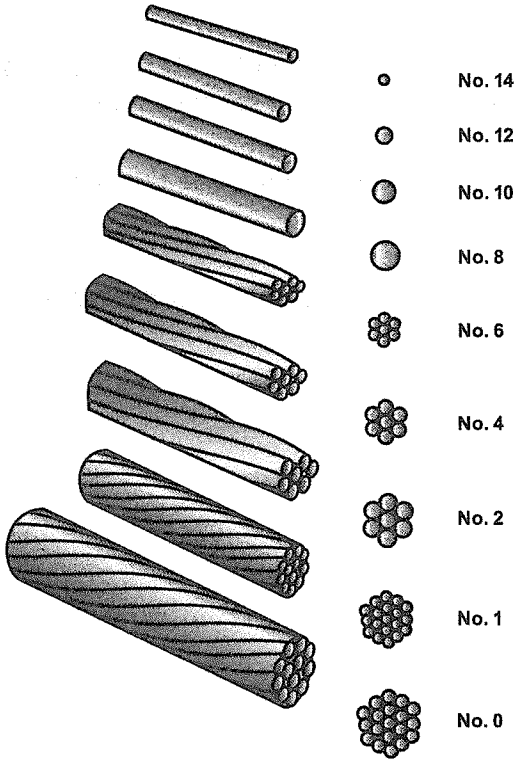
O en forma aproximada:

$$1\ mm^2 = 2000\ cm$$

Por ser de utilidad para algunas aplicaciones, en la tabla siguiente se dan las dimensiones de algunos conductores eléctricos.



FORMAS COMERCIALES DE CONDUCTORES



CALIBRES DE CONDUCTORES DESNUDOS

Los conductores empleados en las instalaciones eléctricas están aislados. Antiguamente los conductores eléctricos se aislaban con hule, conociéndose comercialmente como tipo **R.** Actualmente, se fabrican con aislantes de tipo termoplástico **(T)** con distintas denominaciones comerciales, según el tipo de fabricante, siendo los más conocidos por ser a prueba de agua, entre otras propiedades, los siguientes: tipo *TW, Vinanel 900, Vinanel Nylon, Vulcanel Ep, Vulcanel XLP, THWN, RUW, TWD, THW, PILC, V, RHH.*

Cada tipo de conductor tiene propiedades específicas que lo diferencian de otros, pero en general en la selección de un conductor deben considerarse los agentes que los afectan durante su operación y que se pueden agrupar como:

- Agentes mecánicos.
- Agentes químicos.
- Agentes eléctricos.

AGENTES MECÁNICOS.

La mayor parte de los ataques mecánicos que sufren un conductor se deben a agentes externos, como son el desempaque, manejo e instalación que pueden afectar las características del conductor dañado y que producen fallas de operación, por lo que es necesario prevenir el deterioro por agentes externos usando las técnicas adecuadas de manejo de materiales e inserción de conductores en canalizaciones.

Los principales agentes que pueden afectar mecánicamente a los conductores se pueden dividir en cuatro clases:

a) Presión mecánica.
b) Abrasión.
c) Elongación.
d) Doblez a 180°.

a) PRESIÓN MECÁNICA. La presión mecánica se puede presentar en el manejo de los conductores por el paso o colocación de objetos pesados sobre los conductores, su efecto puede ser una deformación permanente del aislamiento, disminuyendo el espesor del mismo y apareciendo fisuras que pueden provocar fallas eléctricas futuras.

b) ABRASIÓN. La abrasión es un fenómeno que se presenta normalmente al introducir los conductores a las canalizaciones, cuando éstas están mal preparadas y contienen rebabas o bordes punzo-cortantes, también se puede presentar durante el manejo de los conductores en las obras civiles semiterminadas.

c) **ELONGACIÓN.** El reglamento de obras e instalaciones eléctricas marca que no deben haber más de dos curvas de 90° en una trayectoria unitaria de tubería. Cuando se tiene un número mayor de curvas, se puede presentar el fenómeno de elongación, o también cuando se trata de introducir más conductores en el tubo conduit de los permitidos por el reglamento (deben ocupar el 40% de la sección disponible dejando libre la sección restante).

   Tratándose de conductores de cobre debe tenerse cuidado que la tensión no exceda a 7 Kg/mm^2, ya que se corre el riesgo de alargar el propio metal, creándose un problema de aumento de resistencia eléctrica por disminución en la sección del conductor. Por otra parte, la falta de adherencia del aislamiento provocada por el deslizamiento produzca puntos de falla latente.

d) **DOBLEZ A 180°.** Este problema se presenta principalmente por mal manejo de material, de tal forma que las moléculas del aislamiento que se encuentran en la parte exterior están sometidas a la tensión y las que se encuentran en la parte interior a la comprensión, este fenómeno se conoce en el argot técnico como la formación de **"COCAS".**

AGENTES QUÍMICOS.

Un conductor se ve sujeto a ataques por agentes químicos, que pueden ser diversos y dependen de los contaminantes que se encuentran en el lugar de la instalación.

Estos agentes químicos contaminantes se pueden identificar en cuatro tipos generales, que son:

- Agua o humedad.
- Hidrocarburos.
- Ácidos.
- Alcalis.

Por lo general, no es posible eliminar en su totalidad los contaminantes de una instalación eléctrica, lo que hace necesario el uso de conductores eléctricos que resistan los contaminantes en cada instalación eléctrica.

Las fallas por agentes químicos en los conductores se manifiestan como una disminución en el espesor del aislamiento, como grietas con trazos de sulfatación en el aislamiento o por oxidación en el mismo, caso típico que se manifiesta como un desprendimiento en forma de escamas.

En la tabla siguiente, se indican algunas propiedades de aislamientos a la acción de los contaminantes más comunes.

TABLA 2.1
CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DE BAJA TENSIÓN AL ATAQUE DE AGENTES QUÍMICOS

TIPO COMERCIAL	ALCALIS	ÁCIDOS	HUMEDAD	HIDROCARBUROS
TW	MUY BUENO	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO
VINANEL 900	MUY BUENO	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO
VULCANEL NYLON	MUY BUENO	EXCELENTE	EXCELENTE	INERTE
VULCANEL EP	MUY BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR
VULCANEL XLP	MUY BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR

AGENTES ELÉCTRICOS.

Desde el punto de vista eléctrico, la característica principal de los conductores de baja tensión se mide por la rigidez dieléctrica del aislamiento, que es la que determina las condiciones de operación, manteniendo la diferencia de potencial requerida dentro de los límites de seguridad, permite soportar sobrecargas transitorias e impulsos de corriente provocados por cortocircuito.

Normalmente se expresa la rigidez dieléctrica en kV/mm, y dependiendo si en la prueba se emplea elevación rápida de tensión o impulso, varía su valor. Por lo general, la habilidad eléctrica de los aislamientos para conductores en baja tensión es del orden de 600 volts, que es la tensión máxima a que están especificados. Por esta razón, los conductores empleados en instalaciones eléctricas de baja tensión difícilmente fallan por causas meramente eléctricas, en la mayoría de los casos fallan por fenómenos térmicos provocados por sobrecargas sostenidas o deficiencias en los sistemas de protección en caso de cortocircuito.

En la tabla siguiente, se indican algunas propiedades de los conductores eléctricos comerciales desde el punto de vista de la rigidez dieléctrica de sus aislamientos.

TABLA 2.2
RIGIDEZ DIELÉCTRICA DE LOS AISLAMIENTOS USADOS EN CONDUCTORES DE BAJA TENSIÓN

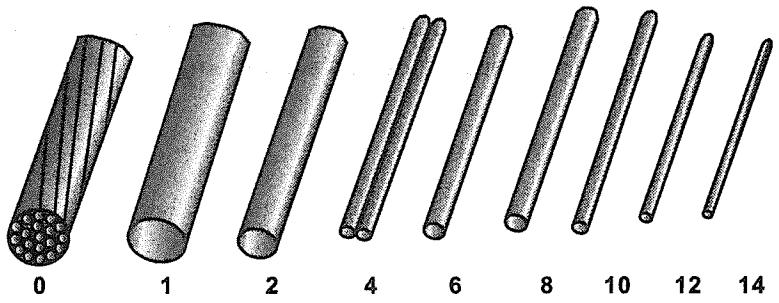
IDENTIFICACIÓN COMERCIAL	KV/mm C.A. ELEVACIÓN RÁPIDA	Kw/ mm C.D. IMPULSO
TW	12	40
VINANEL 900	12	40
VINANEL NYLON	15	45
VULCANEL EP	18	54
VULCANEL XLP	20	60

2.3 CALIBRE DE CONDUCTORES

Los calibres de conductores dan una idea de la sección o diámetro de los mismos y se designan usando el sistema americano de calibres (AWG), por medio de un número al cual se hace referencia para sus otras características, como son: diámetro, área, resistencia, etc. La equivalencia en mm^2 del área se debe hacer en forma independiente de la designación usada por la *American Wire Gage (AWG)*. En nuestro caso, siempre se hará referencia a los conductores de cobre.

Es conveniente notar que en el sistema de designación de los calibres de conductores usado por la AWG, a medida que el número de designación es más grande la sección es menor.

En la figura siguiente, se da una idea de los tamaños de los conductores sin aislamiento.



CALIBRES DE CONDUCTORES DESNUDOS DESIGNACIÓN AWG

2.3.1 SELECCIÓN DE CALIBRE DE CONDUCTORES PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN.

Los conductores usados en las instalaciones eléctricas deben cumplir con ciertos requisitos para su aplicación, como son:

1. Límite de tensión de aplicación, en el caso de las instalaciones residenciales es 1000 V.
2. Capacidad de conducción de corriente (ampacidad), que representa la máxima corriente que puede conducir un conductor para un calibre dado y que está afectada principalmente por los siguientes factores:
   a) Temperatura.
   b) Capacidad de disipación del calor producido por las pérdidas en función del medio en que se encuentre el conductor, es decir, aire o en tubo conduit.
3. Máxima caída de voltaje permisible de acuerdo con el calibre del conductor y la corriente que conducirá, se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible recomendada por el reglamento de otras e instalaciones eléctricas, y que es del 3% del punto de alimentación al punto más distante de la instalación. Algunos datos de los conductores de cobre usados en las instalaciones eléctricas se dan en tablas de fabricantes, o bien en las normas para instalaciones eléctricas.

2.3.2 CÁLCULO DE CONDUCTORES POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE.

La capacidad de conducción de un conductor (ampacidad) se encuentra limitada por los siguientes factores:

- Conductividad del metal conductor.
- Capacidad térmica del aislamiento.

Desde el punto de vista de conductividad, se han elaborado tablas que dan la resistencia eléctrica de los conductores de cobre, factor que es muy importante en virtud de que determina las pérdidas de potencia eléctrica al paso de la corriente, según la fórmula:

$$W = RI^2$$

DONDE:

R = Resistencia eléctrica en ohms
I = Corriente eléctrica en amperes.
W = Potencia en watts

Esta potencia por un período de tiempo determinado es una energía que se disipa en forma de calor.

Por otra parte, se sabe que la resistencia eléctrica de los conductores varía por la temperatura, y los datos de resistencia normalmente están dados para una temperatura de 60°C, por lo que al calcular la resistencia de un conductor a cualquier otra temperatura se debe corregir mediante la fórmula:

$$R_T = R_{60°C}\,[1+\propto\ (T-60)]$$

DONDE:

RT = Resistencia a la temperatura deseada.
T = Temperatura considerada.
$\propto$ = Coeficiente de corrección en ohms/°C, en el caso del cobre su valor es 0.00385.

Es conveniente aquí recordar también que los valores de resistencia indicados en las tablas están dados para una corriente directa, y que cuando una corriente alterna circula por un conductor se produce lo que se conoce como: **EFECTO SUPERFICIAL,** debido a que se desarrolla una tensión por efecto de la inducción, que es mayor en la parte central del conductor que en la superficie, produciendo el efecto de una corriente en sentido contrario a la corriente normal que circula por el conductor, manifestándose esto como un aumento de resistencia.

De lo anterior, se deduce que la resistencia de un conductor cuando circula por él una corriente alterna es mayor que cuando circula una corriente directa, debido a esto se han obtenido factores de corrección para obtener los valores de resistencia en corriente alterna a partir de los valores de resistencia en corriente directa.

Como se expresó anteriormente, las pérdidas RI^2 se manifiestan en forma de calor, que a su vez influye directamente en el aislamiento del conductor, factor que es muy importante porque determina la temperatura máxima de operación a régimen permanente de un conductor. En la siguiente tabla, se indican estas temperaturas para algunos conductores comerciales en baja tensión.

TABLA 2.3
TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN A RÉGIMEN PERMANENTE DE LOS CONDUCTORES DE BAJA TENSIÓN

TW	60 °C EN AMBIENTE SECO	60 °C EN AMBIENTE MOJADO
VINANEL 900	90 °C EN AMBIENTE SECO	75 °C EN AMBIENTE MOJADO
VINANEL NYLON	90 °C EN AMBIENTE SECO	75 °C EN AMBIENTE MOJADO
VULCANEL EP	90 °C EN AMBIENTE SECO	75 °C EN AMBIENTE MOJADO
VULVANEL XLP	90 °C EN AMBIENTE SECO	75 °C EN AMBIENTE MOJADO

De lo anterior, se deduce que la capacidad de conducción de corriente de un conductor está íntimamente ligada a la capacidad del aislamiento a las temperaturas elevadas, esto considerando también que por lo general los conductores se encuentran dentro de canalizaciones en las instalaciones eléctricas, que se comportan como emisoras de calor y también por temperaturas ambientes superiores a los 40°C.

Teóricamente un conductor desnudo soportado por aisladores de porcelana puede transmitir una gran corriente, hasta el punto en que por efecto Joule se alcance la temperatura de fusión del material. En realidad esto no ocurre, ya que los conductores conducen la corriente permisible de acuerdo a su capacidad, pero en el caso de sobrecargas, el calor producido es disipado por el aire circundante al conductor.

En el caso de las instalaciones eléctricas de baja tensión, los conductores se encuentran alojados en un medio de canalización en donde además se encuentran alojados otros conductores. Consideremos como ejemplo un tubo conduit, en este caso el calor generado tiende a disiparse en el medio envolvente, es decir, el propio aislamiento del conductor, el aislamiento de los conductores vecinos y el aire que está contenido en el tubo mismo. En este caso, el calor generado, en el caso de sobrecargas permanentes, destruirá a los aislamientos mucho antes que el material conductor llegue a su temperatura de fusión, debido a que la capacidad térmica del aislamiento es mucho menor que la del conductor, por lo que es muy importante limitar la temperatura de trabajo de los conductores hasta el punto en que el calor que se genera no llegue a la temperatura de fusión de los aislamientos, es decir, que siempre se debe trabajar al conductor debajo de la temperatura de fusión del aislamiento.

Desde el punto de vista teórico se pueden establecer las bases para el cálculo del calibre del conductor de acuerdo con su capacidad de conducción de corriente, considerando el efecto térmico en los términos que se describió anteriormente. Este cálculo establece una analogía con la Ley de Ohm para circuitos eléctricos, y a semejanza de la ecuación conocida para la Ley de

Ohm que expresa la caída de voltaje en un circuito **(V)** cuando circula una corriente **(I)** a través de una resistencia **(R).**

$$V = RI$$

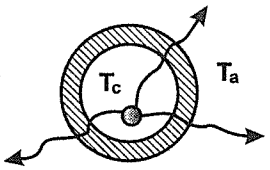
Se tiene una ecuación para un medio en el cual está circulando calor y establece que un incremento de temperatura es igual al calor circundante en el medio multiplicado por la resistencia térmica del mismo, que se expresa como:

$$\Delta T = R_X W$$

DONDE:

T = Incremento o caída de temperatura en °C.
W = Calor circulante en watts/m
$\mathbf{R_x}$ = Resistencia térmica del medio en $\frac{°C-m}{Watt}$

Suponiendo el caso de un conductor aislado dentro de un tubo conduit y que la temperatura ambiente T_A es menor que la producida por el conducto T_C, entonces el calor fluye del conductor hacia el medio ambiente pasando por su aislamiento, el aire contenido en el tubo y el tubo mismo. Cada uno de estos elementos tendrá una resistencia al paso del calor de acuerdo con sus características propias.



La variación de la temperatura desde el punto más caliente hasta el punto más frío está dada como:

$$\Delta^T = T_C - T_A$$

En el calor que se produce el conductor es exclusivamente el debido al efecto Joule.

$$W = RI^2 \frac{watts}{m}$$

DONDE:

R = Resistencia del conductor en $\frac{Ohms}{m}$

I = Corriente que circula por el conductor en amperes

La resistencia térmica $\mathbf{R_X}$ es la suma de las resistencias térmicas de los distintos medios, desde el punto más caliente hasta el punto más frío.

$$R_X = R_{X1} + R_{X2} + R_{XN} = \sum_{I=1}^{N} R_{XI}$$

De las ecuaciones anteriores se tiene:

$$T_C - T_A = (RI^2) * \sum_{I=1}^{N} R_{XI} = RI^2 * R_X$$

De la expresión anterior se puede despejar la corriente I, que representa el valor admisible de corriente en el conductor.

$$I = \sqrt{\frac{T_C - T_A}{R * R_X}}$$

Si se expresa la resistencia del conductor como:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

DONDE:

ρ = Resistividad en $\frac{\Omega - m}{mm^2}$
L = Longitud en m
S = Sección en mm^2

La ecuación anterior se puede escribir como:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\,(T_C - T_A)}{\rho^{XR}}}$$

Con ecuaciones como las anteriores se pueden prefijar la temperatura de operación deseada y calcular la corriente admisible de un conductor para un calibre determinado, que aparecen en tablas de características de conductores, ya sea de norma o de fabricantes.

2.3.3 NÚMERO DE CONDUCTORES EN UN TUBO CONDUIT

Normalmente los conductores en las instalaciones eléctricas se encuentran alojados ya sea en tubos conduit o en otros tipos de canalizaciones. Como se ha mencionado, los conductores están limitados en su capacidad de conducción de corriente por el calentamiento, debido a las limitaciones que se tienen en la disipación de calor y a que el aislamiento mismo presenta también limitaciones de tipo térmico.

Debido a estas restricciones térmicas, el número de conductores dentro de un tubo conduit se limita de manera tal que permite un arreglo físico de conductores, de acuerdo a la sección del tubo conduit o de la canalización, facilitando su alojamiento y manipulación durante la instalación. Para obtener la cantidad de aire necesaria para disipar el calor, se debe establecer la relación adecuada entre la sección del tubo y la de los conductores, para esto se puede proceder en la forma siguiente:

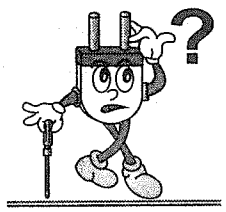
Si **A** es el área interior del tubo en mm^2 o plg^2 y A_C es el área total de los conductores, el factor de relleno es:

$$F = \frac{A}{A}$$

Este factor de relleno tiene los siguientes valores establecidos para instalaciones en tubos conduit.

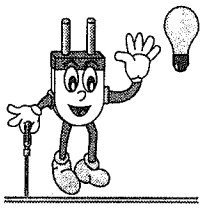
F =
- **53% para un conductor.**
- **31% para dos conductores.**
- **43% para tres conductores.**
- **40% para cuatro o más conductores.**

En las tablas que se dan a continuación se muestran algunas de las características de conductores eléctricos que son importantes para su correcta aplicación en las instalaciones. Estas características pueden tener ligeras variaciones dependiendo del fabricante del conductor, pero en general, son aplicables en la misma forma y los resultados prácticamente son los mismos.



EJEMPLO 2.1 Para los conductores **R, T, X** dados en la tabla siguiente:

a) Cuál se puede recomendar para usar a 75°C en ambientes secos y húmedos?.
b) Cuál se puede usar a 90°C en ambiente seco?.



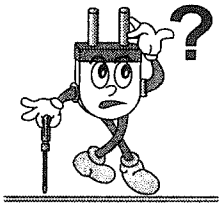
SOLUCIÓN

a) Para 75°C en ambiente seco y húmero se pueden usar los conductores:

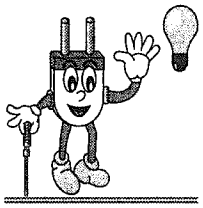
XHHW, THWN, THW y RHW

b) Para 90°C en un ambiente seco se pueden usar conductores:

RHH, THHN, XHHW

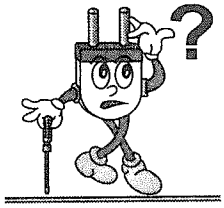


EJEMPLO 2.2 Calcular el calibre de los conductores tipo TW y el tamaño del tubo conduit para una alimentación monofásica con dos conductores, que llevan una corriente de 60 Amp a 30°C.

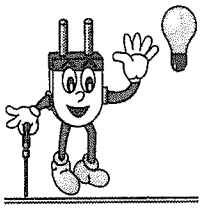


SOLUCIÓN De la Tabla 2.7 para dos conductores con 70A, se entra en la columna correspondiente a 1 a 3 conductores y se busca en el cuerpo de la tabla el valor próximo a 60 A que es el inmediato superior de 70 A, y en la columna de la izquierda, se observa que el calibre del conductor es el No. 4.

Si se considera que los conductores se alojarán en tubo conduit, de la tabla 2.6, se entra en la columna correspondiente al calibre del conductor (No. 4) y se busca en el cuerpo de la tabla el número de conductores considerado o el más próximo a éste, encontrando en este caso 3, en la parte superior de la columna requerida de un tubo conduit de 25 mm (1 pulgada).



EJEMPLO 2.3 Calcular el calibre de los conductores Vinanel 900 y el tamaño del tubo conduit que contendrá a un alimentador trifásico con 4 conductores, 3 de corriente y 1 neutro, que va a conducir 28 amperes por fase a una temperatura ambiente de 40°C.



SOLUCIÓN De la Tabla 2.7 para una temperatura de 30°C se dan las capacidades de corriente, y al final de la misma tabla los factores de corrección por temperatura, por lo que para 40°C para 4 conductores en un tubo conduit, el factor de corriente es:

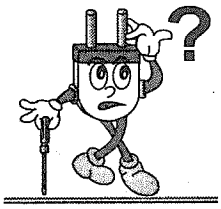
F.C. = 0.82

Es decir, que con este factor la corriente equivalente es:

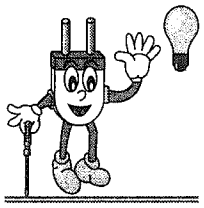
$$I_{40°C} = \frac{I_{30°C}}{F.C.} = \frac{28}{0.82} = 34.14\ amperes$$

Entrando ahora en la tabla 2.7 en la columna correspondiente de 4 a 6 conductores y encontrando en el cuerpo de la tabla, la corriente más próxima (inmediata superior a 34.14 A), que es de 36 A, se encuentra que el calibre de conductor Vinanel 900 debe ser el No. 6.

De la tabla 2.6, para 4 conductores No. 6 el tubo conduit debe ser de 25 mm (1plg).



EJEMPLO 2.4 Calcular el tamaño de tubo conduit necesario para contener a los siguientes conductores tipo Vinanel 900: 2 del No. 10, 4 del No.8 y 3 del No. 6.



SOLUCIÓN Cuando se trata de varios conductores, se debe usar el concepto de factor de relleno, para lo cual es necesario conocer el área de cada conductor para calcular el área total de los mismos. Para esto, se usa la Tabla 2.5 y se procede como sigue:

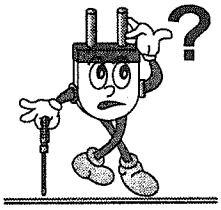
CANTIDAD DE CONDUCTORES	CALIBRE AWG	ÁREA POR CONDUCTOR (mm^2)	ÁREA TOTAL (mm^2)
2	10	5.2610	10.522
4	8	8.3670	33.468
3	6	13.3030	39.909
TOTAL DE CONDUCTORES: 7			**83.899**

Para 7 conductores, el factor de relleno es para más de 3 conductores = 40%

El área del tubo conduit necesaria es:

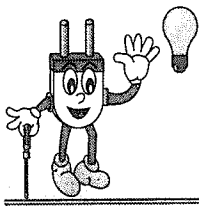
$$A = \frac{A_C}{F} = \frac{83.899}{0.40} = 209.7475\ mm^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es de 19 mm de diámetro (3/4 plg).



EJEMPLO 2.5 En un tubo conduit PVC rígido del tipo pesado, se llevan los siguientes conductores:

- Un alimentador trifásico de 3 conductores Vinanel 900 que llevan una corriente de 125 amperes a 40°C.
- Un alimentador monofásico con 2 conductores TW, que llevan una corriente de 30 amperes a la temperatura ambiente.



SOLUCIÓN Para conductor Vinanel 900 con 1 a 3 conductores, un tubo conduit de la Tabla 2.7 a 40°C, el factor de corrección es F = 0.88.

Para 1 a 3 conductores TW a 40°C de temperatura, el factor de corrección es F = 0.82, las corrientes a esta temperatura para los dos alimentadores son:

Para el alimentador trifásico:

$$I_{40°C} = \frac{125}{0.88} = 142\ Amperes$$

Para el alimentador monofásico:

$$I_{40°C} = \frac{30}{0.82} = 36.58\ Amperes$$

De la Tabla 2.12 para 3 conductores con 142 amperes, se requiere conductor 1/0 AWG. Para el alimentador monofásico con 36.58 amperes, se requiere conductor No. 8 AWG.

2.3.4 CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES POR CAÍDA DE VOLTAJE

El voltaje en las terminales de la carga es por lo general menor que el voltaje de alimentación, la diferencia de voltaje entre estos dos puntos se conoce como **"La caída de voltaje"**. Las normas técnicas para instalaciones eléctricas recomiendan que la máxima caída de voltaje (desde la alimentación hasta la carga) no debe exceder al 5%: 3% se permite a los circuitos derivados (del tablero o interruptor a la salida para utilización) y el otro 2% se permite al alimentador (de la alimentación al tablero principal).

Una caída de voltaje excesiva (mayor del 5%) conduce a resultados indeseables, debido a que el voltaje en la carga se reduce. En las lámparas incandescentes, se reduce notablemente el nivel de iluminación. En las lámparas fluorescentes, se tienen problemas como dificultad para arrancar, parpadeo, calentamiento de las balastras, etc. En el equipo de control, los reveladores pueden no operar. En los motores, la reducción de voltaje se traduce en un incremento en la corriente, lo cual produce sobrecalentamiento y algunas veces causa problemas de arranque. Por esta razón, no es suficiente calcular los conductores por corriente, es decir, seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circulará por él. También es necesario que la caída de voltaje en el conductor no exceda los valores establecidos por el Reglamento de

Obras e Instalaciones Eléctricas (que son 2% caída de voltaje en instalaciones residenciales y un máximo de 5% en instalaciones industriales, desde el punto de alimentación hasta el último punto). Para estar seguros de que las caídas de voltaje no excedan esos valores, es necesario calcularlas en los circuitos derivados y en los alimentadores.

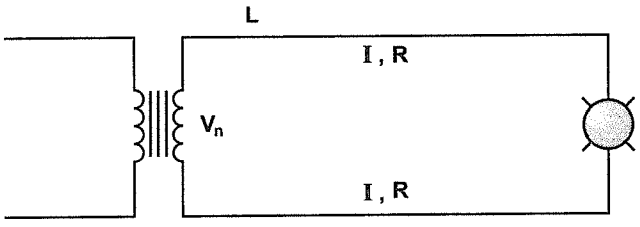
En las fórmulas que se desarrollarán a continuación, se empleará la siguiente nomenclatura:

W = *Potencia en watts.*
I = *Corriente en amperes por conductor.*
$\mathbf{V_F}$ = *Voltaje entre fases.*
$\mathbf{V_N}$ = *Voltaje de línea a neutro.*
Cos θ = *Factor de potencia.*
R = *Resistencia de un conductor en ohms.*
ρ = *Resistividad del cobre 1/58* $(m/mm^2) \approx 1/50$
L = *Longitud del conductor en metros*
S = *Sección del conductor en* mm^2.
E = *Caída de voltaje de fase a neutro en volts.*
$\mathbf{E_F}$ = *Caída de voltaje entre fases, en volts.*
E% = *Caída de voltaje en porciento.*

$$E\% = \frac{E\ x\ 100}{V_N} = \frac{E_F\ x\ 100}{E_F}$$

2.3.5 SISTEMAS MONOFÁSICOS.

El estudio de la caída de voltaje se puede efectuar para casos específicos, similares a los que se tienen en las instalaciones eléctricas, pero el concepto general es el mismo usado en circuitos eléctricos. Considérese el siguiente circuito simplificado.



CIRCUITO MONOFÁSICO SIMPLIFICADO

La potencia que consume la carga es:

$$W = V_N\ I \cos \emptyset$$

$$I = \frac{W}{V_N \cos \emptyset}$$

La caída de voltaje por resistencia en el conductor es:

$$E = 2\ RI$$

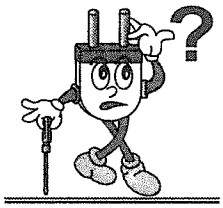
La resistencia del conductor es:

$$R = \frac{\rho\ L}{s} = \frac{1}{50}\ \frac{L}{s}$$

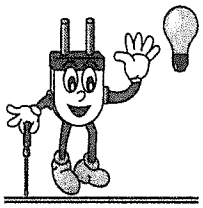
De donde:

$$E = \frac{1}{25}\ \frac{LI}{s}$$

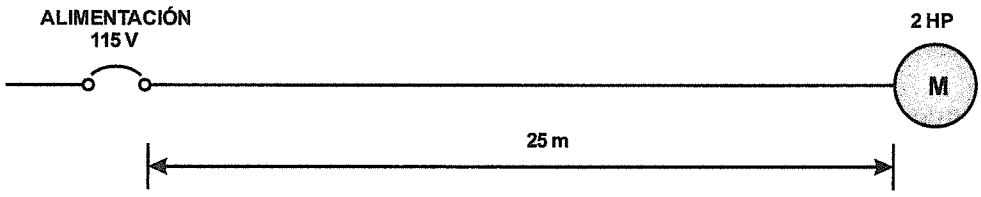
$$E\% = \frac{LI}{25\ s}\ \frac{100}{V_N} = 4\ \frac{LI}{V_N\ s}$$



EJEMPLO 2.6 Calcular la caída de voltaje en el circuito derivado de un motor de 2 HP, monofásico a 115 volts, que tiene una longitud de conductor del punto de alimentación al punto de conexión del motor de 25 m. El alambre es de cobre.



SOLUCIÓN



Para un motor monofásico de 2 HP a 115 volts, la corriente a plena carga es:

$$I_{PC} = 24\ A$$

$$1.25\ I_{PC} = 1.25\ x\ 24 = 30\ A$$

Calibre del conductor (2 conductores en tubo conduit) No. 10 Awg.

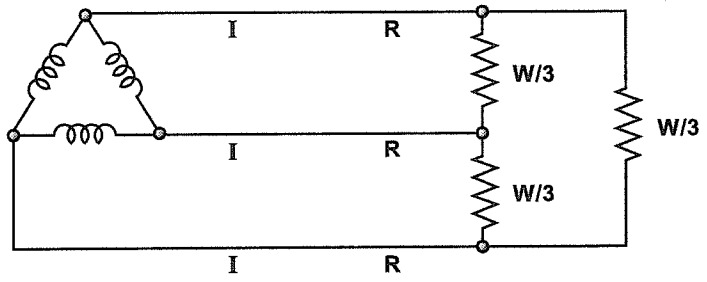
Para un alambre No 10, s = 5.26 mm^2, también de datos L = 25m.

La caída de voltaje en porciento es:

$$E\% = \frac{4\ x\ 25\ x\ 24}{115\ x\ 5.26} = 4\%$$

2.3.6 SISTEMA TRIFÁSICO A TRES HILOS.

El circuito simplificado se puede representar en la forma siguiente:



W/3 = CARGA POR FASE

La potencia que consume la carga trifásica es:

$$W = \sqrt{3}\ V_F\ I\ \text{Cos}\ \emptyset$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3}\ V_F\ \text{Cos}\ \emptyset}$$

La caída de voltaje entre fases es:

$$E_F = \sqrt{3}\ RI$$

Pero:

$$R = \frac{\rho\, L}{s} = \frac{1}{50}\ \frac{L}{s}$$

$$E_F = \frac{\sqrt{3}}{50}\ \frac{LI}{s}$$

El porciento de caída de voltaje es:

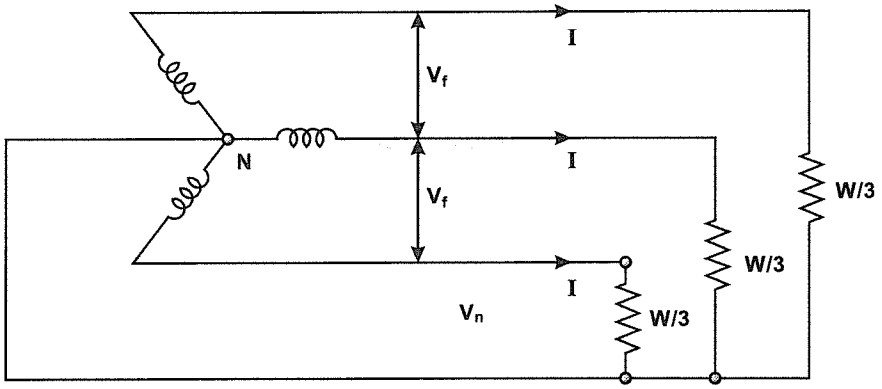
$$E\% = \frac{E_F}{V_F}\ x\ 100$$

$$E\% = \frac{\sqrt{3}\, L}{50\, S\, V_F}\ x\ 100$$

$$E\% = \frac{2\sqrt{3}\, LI}{s\, V_F}$$

2.3.7 SISTEMA TRIFÁSICO A CUATRO HILOS.

Este es el caso típico de los sistemas conectados en estrella (3 hilos) con neutro (el cuarto hilo), se representan como sigue:



W/3 = CARGA POR FASE

La potencia que consume la carga trifásica es:

$$W = \sqrt{3}\ V_F\ I \cos\emptyset\ =\ V_N\ I\ \cos\emptyset$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3}\, V_F \cos\emptyset} = \frac{W}{V\ E_N\ \cos\emptyset}$$

La caída de voltaje entre fases es:

$$V_F = \sqrt{3}\ RI = \frac{\sqrt{3}\ LI}{50\ s}$$

Expresando esta caída de voltaje en porciento:

$$E - RI = \frac{LI}{50\ s}$$

$$E\% = \frac{E}{V_N}\ x\ 100 = \frac{LI}{50\ s\ x\ V_N}\ x\ 100$$

$$E\% = \frac{2\ LI}{s\ V_N}$$

2.3.8 UTILIZACIÓN RECOMENDABLE DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

Para alimentar distintos tipos de cargas, ya sean comerciales o industriales, que tienen características variables, el proyectista debe de tener una idea clara de cuáles son los elementos importantes a considerar en la selección de un sistema de distribución. Las características más importantes de cada uno de estos sistemas son las que se describen a continuación:

a) Sistema monofásico con dos conductores:

Este sistema se usa por lo general para alimentar cargas de alumbrado cuyo valor no exceda a 3750 watts por circuito, se usan también en la alimentación de circuitos derivados de 20 y 30 amperes.

b) Sistema trifásico con tres conductores:

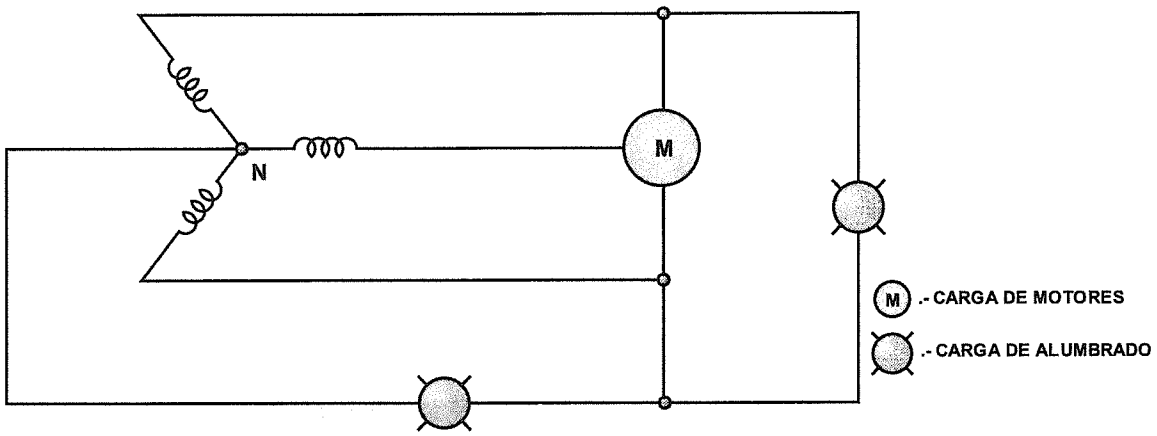
Este sistema puede ser la salida de una conexión delta en un transformador, o bien de una conexión estrella sin conductor al neutro. Desde luego que la conexión se usa para alimentar cargas trifásicas, como es el caso de los motores que operan con voltajes de 220 volts o 440 volts.

c) Sistema trifásico a cuatro hilos:

Este es uno de los sistemas de alimentación más usados, ya que resulta flexible para la alimentación de cargas trifásicas (con los tres conductores de fase) y monofásicos (con una fase

y neutro). Por ejemplo, se pueden alimentar motores trifásicos a 220 volts y alumbrado a $220/\sqrt{3} = 127$ volts.

Debido a esta flexibilidad, para la alimentación de distintos tipos de cargas, tanto monofásicas como trifásicas, el sistema a 4 hilos es uno de los preferidos en México.



SISTEMA TRIFÁSICO DE 4 HILOS

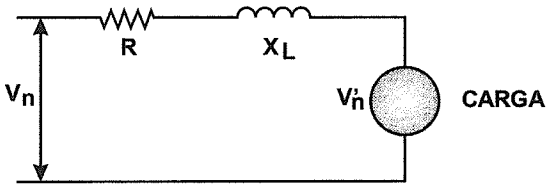
2.3.9 LA CAÍDA DE VOLTAJE POR IMPEDANCIA.

En los conductores eléctricos se tiene resistencia y reactancia, es decir, la caída de voltaje total es la suma de las caídas por resistencia y reactancia, o sea la impedancia del conductor.

La reactancia de un conductor depende de varios factores, como son: La sección, frecuencia de operación, longitud, material, materiales magnéticos en su cercanía y la tensión de operación asociada al valor de la corriente de carga.

Para analizar la caída de voltaje por impedancia, considérese un circuito elemental en donde:

VN = Voltaje al principio del conductor.
VN'= Voltaje al final del conductor.
E = La caída de voltaje en el conductor por resistencia y reactancia.



R = RESISTENCIA DEL CONDUCTOR

X_L = REACTANCIA INDUCTIVA DEL CONDUCTOR

θ = ÁNGULO COS FACTOR DE POTENCIA

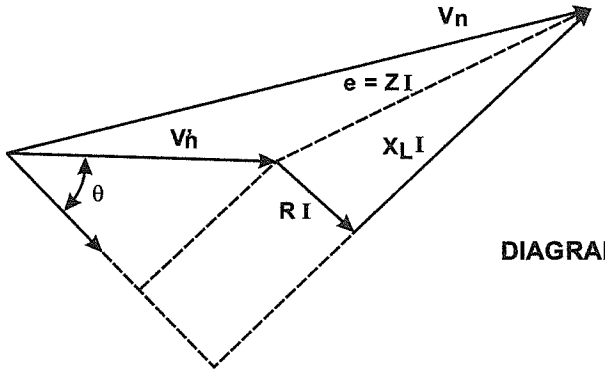


DIAGRAMA VECTORIAL ELEMENTAL

Vectorialmente:

$$V_N = \bar{V}_N + \overline{RI} + \overline{JX}_L I$$

La magnitud del voltaje al principio del conductor es:

$$V_N = \sqrt{(V_N' \cos \emptyset + RI)^2 + (V_N' \, sen \, \emptyset + XI)^2}$$

En magnitud:

$$|V_N| = |V_N'| + |RI + X_L I| = |V_N'| + |ZI|$$

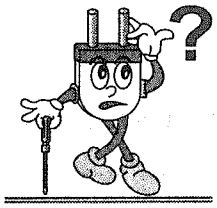
$$|ZI| = E = \sqrt{(RI)^2 + (X_L I)^2}$$

$$|V_N| = |V_N'| + E$$

$$|V_N'| = |V_N| - E$$

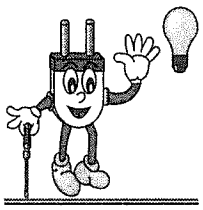
La caída de voltaje total por resistencia y reactancia es:

$$E = \sqrt{(RI)^2 + (X_L I)^2}$$



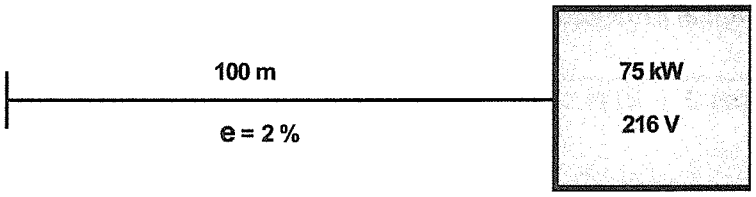
EJEMPLO 2.7 Un alimentador trifásico de tres conductores tipo TW, con 100 m de longitud, debe transmitir una carga de 75 kW a 216 volts entre fases, con una frecuencia de 60 Hz y un factor de potencia de 0.8 atrasado. Los conductores deberán ir dentro de un tubo conduit de acero, calcular el calibre de los conductores y el tubo conduit, si se desea que la caída de voltaje no exceda el 2%.

a) Considerando únicamente la resistencia.
b) Tomando en cuenta la resistencia y la reactancia.



SOLUCIÓN

a) Considerando sólo la resistencia:



La corriente que demanda la carga es:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, x\, V_F\, x\, \text{Cos}\,\emptyset} = \frac{75\,000}{\sqrt{3}\, x\, 216\, x\, 0.80} = 250\, A$$

La caída de tensión máxima permisible se encuentra en la fórmula para un alimentador trifásico:

$$E = \frac{2\sqrt{3}\, LI}{V_F\, s}\ (\%)$$

La sección del conductor para una caída de tensión máxima de 2% se calcula despejando de la fórmula anterior:

$$s = \frac{2\sqrt{3}\ LI}{V_F\ \ (E\%)}\ mm^2$$

Sustituyendo valores:

$$s = \frac{2\sqrt{3}\ 100\ x\ 250}{216\ x\ 2} = 200\ mm^2$$

De la tabla de conductores, para s = 200 mm^2.

Conductor No. 400 MCM

La corriente permisible para tres conductores de 400 MCM en tubo conduit 280 A.

Tubo conduit: 76 mm (3 plg).

b) La caída de voltaje total considerando la reactancia es:

$$E\ = \sqrt{(RI)^2 + \ (XI)^2}\ \ volts$$

En donde: **RI =** caída de voltaje por resistencia.

La caída de tensión por fase es:

$$E\% = \frac{E}{V}\ x\ 100$$

$E\ =$ caída de tensión en volts

$$V = \frac{V_F}{\sqrt{3}} = \frac{216}{\sqrt{3}}$$

$$E = \frac{E\%\ V}{100} = \frac{2\ x\ 216}{100} = 2.5\ volts$$

Para una corriente, I = 250 A. Conductor 400 MCM

De la tabla de reactancias, para 400 MCM, (3 conductores en tubo):

$$X_L = 0.0096 \frac{\Omega}{100} m$$

El factor de corrección es 1.25, por lo tanto:

$$X_L = 1.25\ x\ 0.0096 = 0.012\ ohms$$

La resistencia para un conductor de 0.012-Ohm de reactancia tendrá que ser de:

$$E = \sqrt{(RI)^2 + (XI)^2}$$

Elevando al cuadrado y despejando:

$$E^2 = (RI)^2 + (XI)^2$$

$$(RI)^2 = E^2 - (XI)^2$$

$$R = \sqrt{\frac{E^2 - (XI)^2}{I}}$$

$$R = \sqrt{\frac{2.5^2 - (0.012\ x\ 250)^2}{250}} = \frac{\sqrt{6.25 - 9}}{250}$$

Como la raíz cuadrada es negativa, daría una resistencia imaginaria. Por lo que es necesario disminuir el valor de **XI**. Pero como **X** es constante, se puede cambiar el valor de **I** metiendo dos conductores en paralelo por fase. De esta forma, cada fase lleva dos conductores, cada uno con una corriente de 125 amperes.

La resistencia del conductor es ahora:

$$R = \sqrt{\frac{E^2 - (XI)^2}{I}} = \frac{\sqrt{2.5^2 - (0.012\ x\ 125)^2}}{125}$$

$$R = 0.015 - ohm\ para\ los\ 100\ m$$

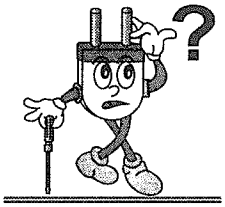
Para calcular la sección del conductor, es necesario calcular la resistencia en ohms/100 m y entrar a la tabla de resistencia para conductores.

De la tabla de resistencia para conductores, se toma el valor más próximo: Conductor 300 MCM.

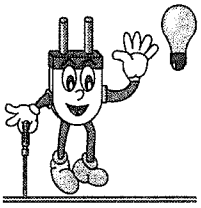
6 conductores de 300 MCM, en tubos conduit. De la tabla para el número de conductores en tubo conduit se requiere: Tubo conduit de 101 mm (4")

CONSTANTES PARA EL CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE.

El método descrito con el ejemplo anterior es general y sencillo de aplicar, sin embargo, se han desarrollado métodos simplificados basados en el mismo procedimiento, pero en constantes que dan mayor simplicidad y rapidez a los cálculos. En las ecuaciones para el cálculo de la caída de voltaje en %, el término 1/3 x 50 es una constante, por lo que para cada sistema de distribución se puede calcular una constante asociada al calibre (sección) del conductor, ésta se dan en la tabla 2.14.



EJEMPLON 2.8 Una carga de 100 A, factor de la potencia 0.8 atrasado, se alimenta de un sistema trifásico con 3 hilos a 220 volts por medio de conductor TW 3/0 en tubo conduit. Calcular la longitud del conductor para limitar la caída de voltaje al 1%.



SOLUCIÓN La caída de voltaje para cualquier sistema de distribución se calcula con la expresión general:

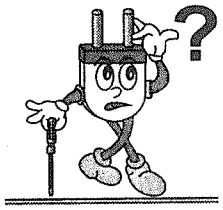
$$E\% = KLI$$

De la tabla de constantes para caída de voltaje, para un sistema de 3 conductores a 220 volts, con conductor 3/0 K = 0.00013.

De la fórmula:

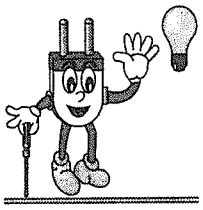
$$E\% = KLI$$

$$L = \frac{E\%}{KI} = \frac{1}{0.00013\ x\ 100} = 77\ m$$



EJEMPLO 2.9 Usando la tabla para el cálculo de la caída de tensión en conductores aislados, calcular la longitud del conductor que alimentará a un motor trifásico que demanda 50 amperes.

a) Para una caída de tensión máxima permisible de 3%.
b) Para una caída de tensión máxima permisible de 2%.



SOLUCIÓN

a) Entrando a las tablas de capacidad de conducción de corriente y suponiendo que se trata de conductor TW a 60°C, el calibre de conductor es el No. 6 AWG en tubo conduit de 25 mm (1 plg).

Entrando en la tabla del cálculo de conductores por caída de voltaje, para el calibre No. 6 con 50 amperes, la longitud máxima a 200 volts y 3% de caída de voltaje es:

$$L = 62.1\ m$$

b) Si la caída máxima de voltaje permisible es del 2%, se aplica el factor de corrección de la misma tabla, que en este caso para el 2% es 0.66, de manera que la longitud máxima es:

L = 62.1 x .066 = 40.98 m

2.4 CANALIZACIONES ELÉCTRICAS

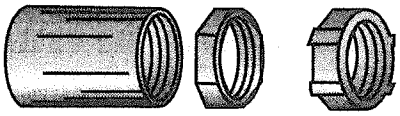
Se entiende por canalizaciones eléctricas a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores, de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, y además protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de cortocircuito.

Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

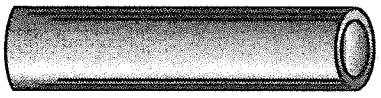
- Tubos conduit.
- Ductos.
- Charolas.

ELEMENTOS PARA CANALIZACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

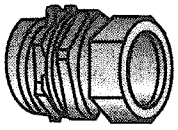
TUBO CONDUIT DE PARED GRUESA



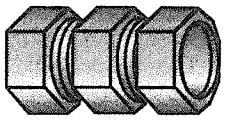
CONECTOR CONTRA Y MONITOR



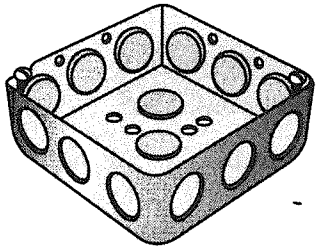
TUBO CONDUIT DE PARED DELGADA



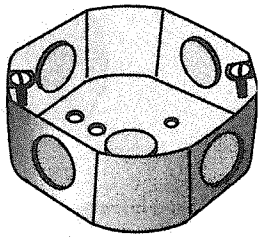
CONECTOR PARA UNIÓN DE CAJA CON TUBO DE PARED DELGADA



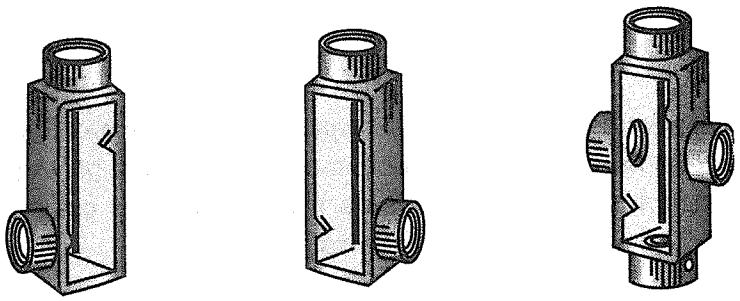
CONECTOR TUBO DE PARED DELGADA



CAJA CUADRADA



CAJA OCTAGONAL



CONDULET

2.4.1 TUBOS CONDUIT.

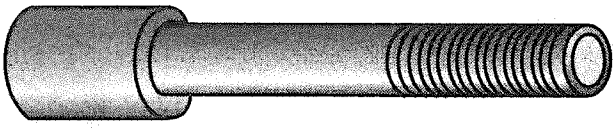
El tubo conduit es un tipo de tubo (de metal o plástico) usado para contener y proteger los conductores eléctricos usados en las instalaciones.

Los tubos conduit metálicos pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales. Los tubos de acero, a su vez, se fabrican en los tipos pesado, semipesado y ligero; distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared.

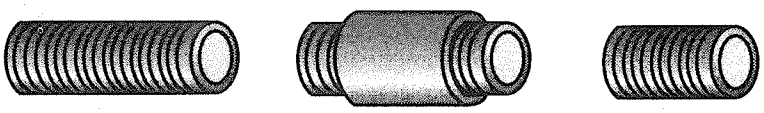
2.4.1.1 TUBOS CONDUIT DE ACERO PESADO (PARED GRUESA).

Estos tubos conduit se encuentran en el mercado en forma galvanizada o con recubrimiento negro esmaltado, normalmente en tramos de 3.05 m de longitud con rosca en ambos externos. Se usan como conectores para este tipo de tubo los llamados coples, niples, (corto y largo), así como niples cerrados o de cuerda corrida. El tipo de herramienta que se usa para trabajar en los tubos conduit de pared gruesa es el mismo que se usa para tuberías de agua en trabajos de plomería.

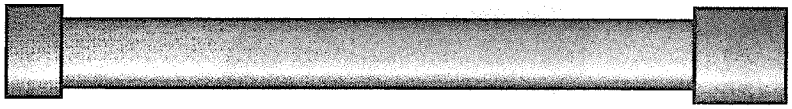
Se fabrican en secciones circulares con diámetros que van de 13 mm (1/2 pulgada) a 152.4 mm (6 pulgadas). La superficie interior en estos tubos, como en cualquiera de los otros tipos, debe ser lisa para evitar daños al aislamiento o a la cubierta de los conductores. Los extremos se deben escariar para evitar bordes cortantes que dañen a los conductores durante el alambrado.



TUBO CONDUIT DE PARED GRUESA



NIPLE CORRIDO NIPLE LARGO NIPLE CORTO



CONDUIT DE PARED GRUESA

LONGITUD = 3.05 m POR TRAMO

Los tubos rígidos (metálicos) de pared gruesa del tipo pesado y semipesado se pueden emplear en instalaciones visibles u ocultas, ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería en cualquier tipo de edificios y bajo cualquier condición atmosférica. También se pueden usar directamente enterrados, recubierto externamente para satisfacer condiciones más severas.

En los casos en que sea necesario hacer el doblado del tubo metálico rígido, se debe hacer con la herramienta apropiada, para que no se produzcan grietas en su parte interna y no se reduzca su diámetro interno en forma apreciable.

Para conductores con aislamiento normal alojados en tubo conduit rígido, se recomienda que el radio interior de las curvas no sea menor que 6 veces el diámetro exterior del tubo. Cuando los conductores tienen cubierta metálica, el radio de curvatura de las curvas puede ser hasta 10 veces el diámetro exterior del tubo.

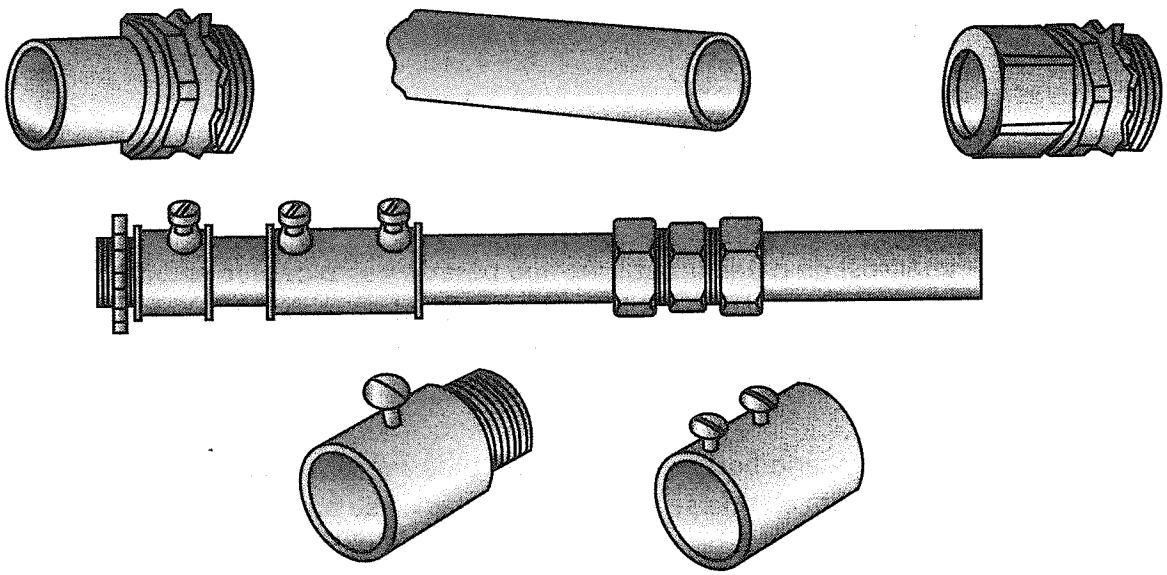
El número de curvas en un tramo de tuberías colocado entre dos cajas de conexiones consecutivas o entre una caja y un accesorio entre dos accesorios se recomienda que no exceda a dos de 90°, o bien su equivalente (180° en total).

2.4.1.2 TUBO CONDUIT METÁLICO DE PARED DELGADA.

A este tubo se le conoce también como tubo metálico rígido ligero, su uso es permitido en instalaciones ocultas o visibles, ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería en lugares de ambiente seco no expuestos a humedad o ambiente corrosivo.

No se recomienda en lugares que durante su instalación o después de está esté expuesto a daño mecánico. Tampoco se debe usar directamente enterrado o en lugares húmedos o mojados, así como en lugares clasificados como peligrosos.

El diámetro máximo recomendable para estos tubos es del 51 mm (2 pulgadas), y debido a que son de pared delgada, en estos tubos no se debe hacer roscado para atornillarse a cajas de conexión u otros accesorios, de modo que los tramos se deben unir por medio de accesorios de unión especiales.



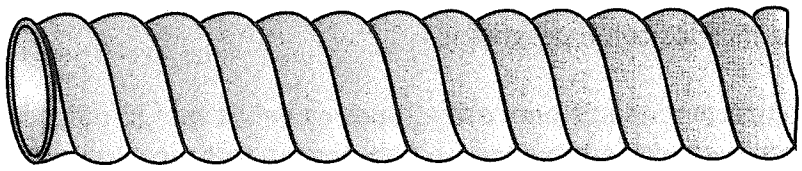
TUBO CONDUIT DE PARED DELGADA Y UNIONES

2.4.1.3 TUBO CONDUIT METÁLICO FLEXIBLE.

Con esta designación se encuentra el tubo flexible común fabricado con cinta metálica engargolada (en forma heliocoidal), sin ningún recubrimiento. A este tipo de tubo también se le conoce como **"Greenfield"**. No se recomienda su uso en diámetros inferiores a 13 mm (1/2 pulgada) ni superiores a 102 milímetros (4 pulgadas).

Para su aplicación, se recomienda su uso en lugares secos donde no esté expuesto a corrosión o daño mecánico, o sea que se puede instalar embutido en muros o ladrillos o bloques similares, así como en ranuras en contacto.

No se recomienda su aplicación en lugares en donde se encuentre directamente enterrado e embebido en concreto, también poco se debe usar en lugares expuestos a ambiente corrosivo. Su uso se acentúa en las instalaciones de tipo industrial, como último tramo para conexión de motores eléctricos.



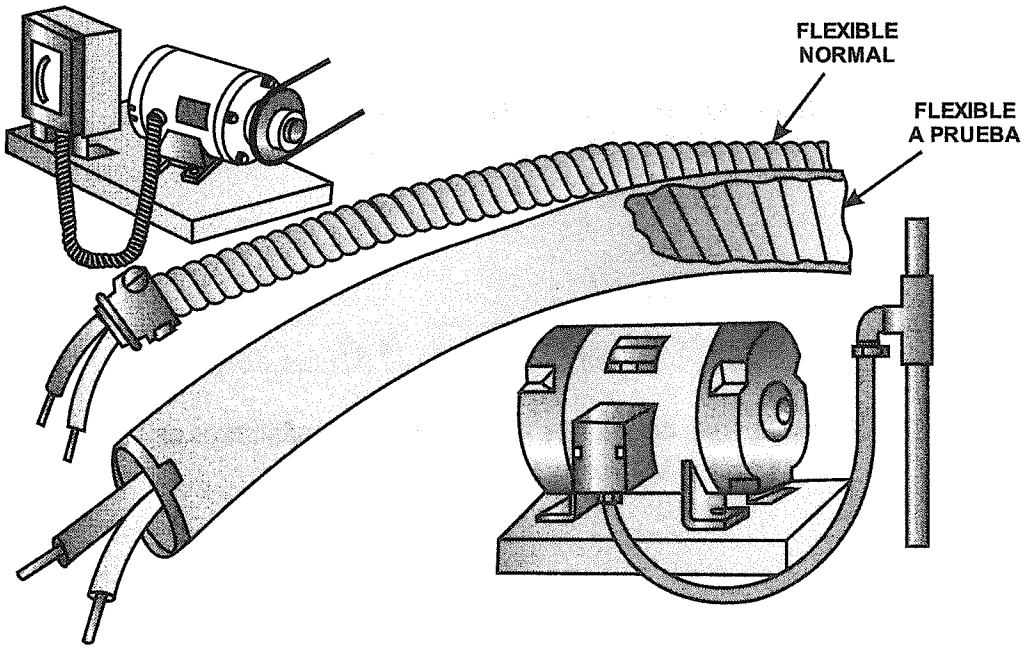
TUBO CONDUIT FLEXIBLE

En el uso de tubo flexible, el acoplamiento a cajas, ductos y gabinetes se debe hacer utilizando los accesorios apropiados para tal objeto. Asimismo, cuando se usa este tubo como canalización fija a un muro o estructura, se deben usar para su montaje o fijación abrazaderas, grapas o accesorios similares que no dañen al tubo, debiendo colocarse a intervalos no mayores de 1. 50 m y a 30 cm como máximo con respecto a cada caja o accesorio.

2.4.1.4 TUBO CONDUIT DE PLÁSTICO RÍGIDO (PVC).

Este tubo cae dentro de la clasificación de los tubos conduit **no metálicos**, el tubo PVC es la designación comercial que se da al tubo rígido de policloruro de vinilo (PVC). También dentro de la clasificación de los tubos no metálicos, se encuentran los tubos de polietileno. El tubo rígido de PVC debe ser autoextinguible, resistente al aplastamiento, a la humedad y a ciertos agentes químicos.

TUBO CONDUIT DE FIERRO GALVANIZADO



TUBO CONDUIT FLEXIBLE USADO PARA CONEXIÓN DE MOTORES

El uso permitido del tubo conduit rígido de PVC se encuentra en:

a) Instalaciones ocultas.

b) En instalaciones visibles en donde el tubo no esté expuesto a daño mecánico.

c) En ciertos lugares en donde existen agentes químicos que no afecten al tubo y a sus accesorios.

d) En locales húmedos o mojados instalados de manera que no les penetre el agua y en lugares donde no les afecte la corrosión que exista en medios de ambiente corrosivo.

e) Directamente enterrados a una profundidad no menor de 0.50 m, a menos que se proteja con un recubrimiento de concreto de 5 centímetros de espesor como mínimo, de acuerdo a la Norma-Técnica para instalaciones eléctricas en México.

El tubo rígido de PVC no debe ser usado en las siguientes condiciones:

a) En locales o áreas que estén considerados como peligrosos.

b) Para soportar luminarias u otros equipos.

c) En lugares en donde la temperatura del medio ambiente más la producida por los conductores no exceda a 70°C.

Con relación a la instalación de los tubos rígidos de PVC, se deben soportar a intervalos que no excedan a los que se indican a continuación:

DIÁMETRO DEL TUBO (mm)	DISTANCIA ENTRE APOYOS (m)
13 Y 19 mm	1.20
25 A 51 MM	1.50
63 A 76 MM	1.80
89 A 102 mm	2.10

NOTA: EL TUBO CONDUIT DE PVC SE FABRICA EN DIÁMETROS DE 13 mm (1/2 PLG) A 102 m (4 PLG).

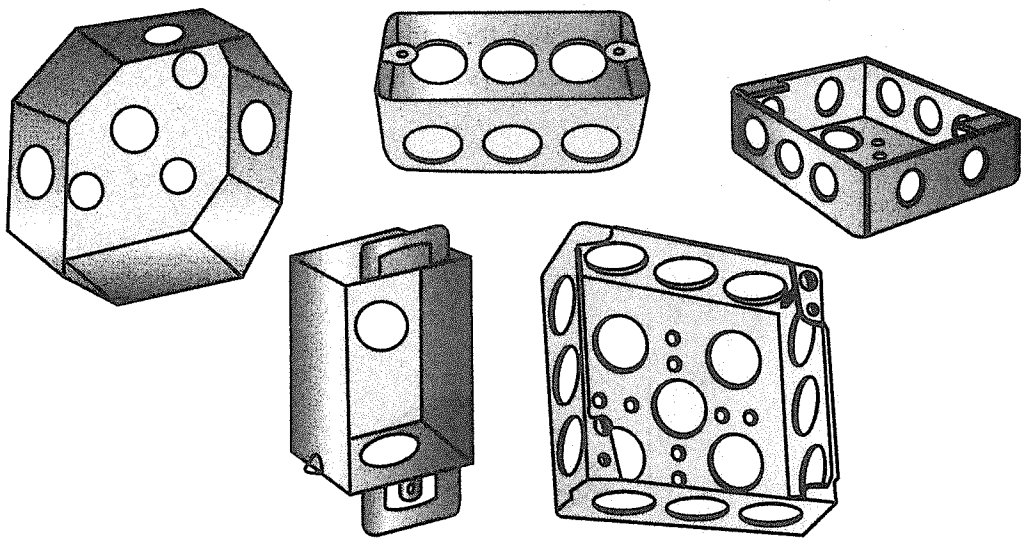
2.5 CAJAS Y ACCESORIOS PARA CANALIZACIÓN CON TUBO CONDUIT

En los métodos modernos para instalaciones eléctricas, se puede decir que todas las conexiones de conductores o uniones entre conductores se deben realizar en cajas de conexión aprobadas para tal fin, y que deben estar instaladas donde puedan ser accesibles para hacer cambios en el alumbrado.

Por otra parte, todos los apagadores y salidas para lámparas se deben encontrar alojados en cajas, y en forma similar los contactos.

Las cajas se construyen metálicas y de plástico, según se usen para instalaciones con tubo conduit metálico o con tubo de PVC o polietileno. Las cajas metálicas se construyen de acero galvanizado de cuatro formas principalmente: cuadradas, octagonales, rectangulares y circulares. Se fabrican de varios anchos, profundidades y perforaciones para acceso de tubería. Hay perforaciones en las cajas laterales y en el fondo.

En la figura siguiente, se muestran algunos tipos de cajas de conexión.



CAJAS DE CONEXIÓN

DIMENSIONES DE CAJAS DE CONEXIÓN.

- **Tipo rectangular:** 6 x 10 cm de base por 3.8 cm de profundidad, con perforaciones para tubo conduit de 13 mm.

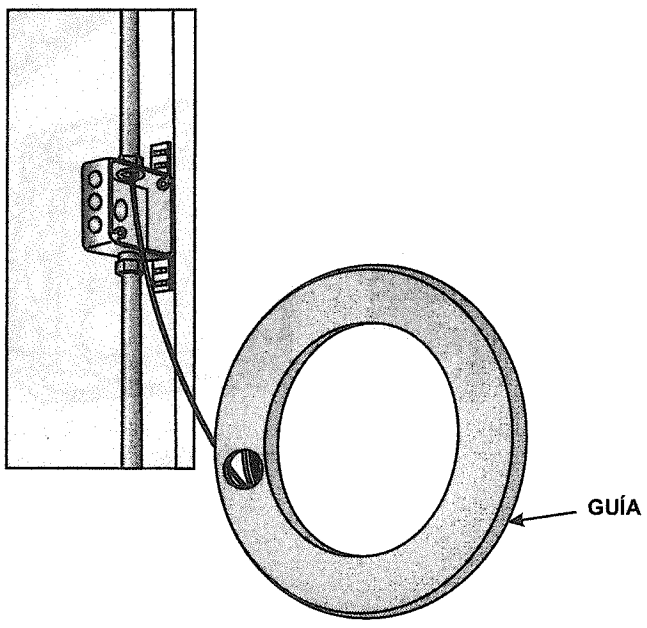
- **Tipo redondas:** diámetro de 7.5 cm y 3.6 cm de profundidad, con perforaciones para tubo conduit de 13 mm.

- **Tipo cuadradas:** Estas cajas tienen distintas medidas y se designan o clasifican de acuerdo con el diámetro de sus perforaciones donde se conectan los tubos, designándose así como cajas cuadradas de 13, 19, 25, 32 mm, etc.

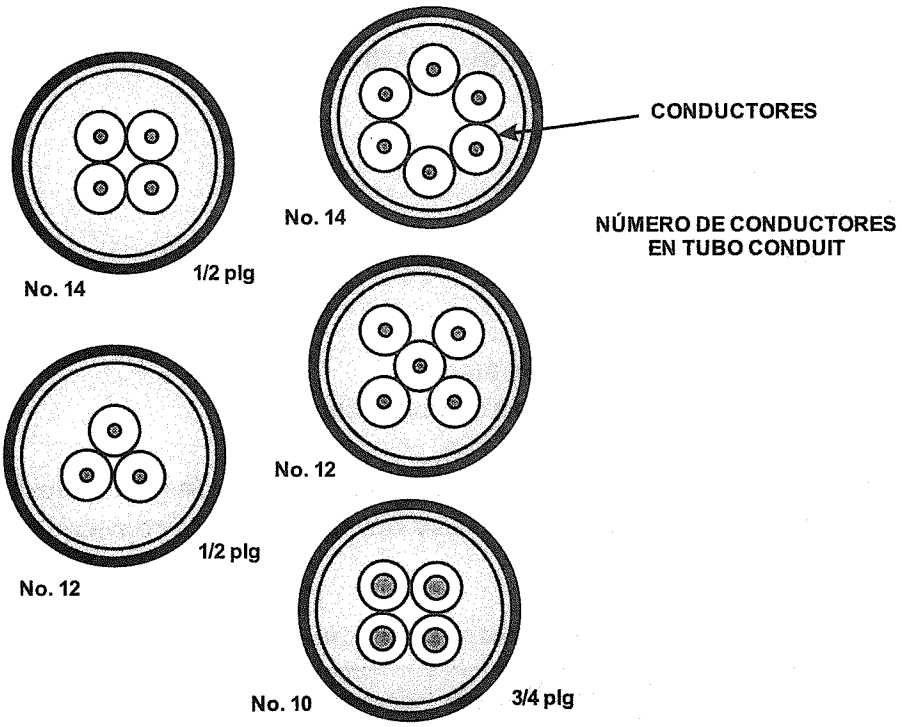
En las instalaciones denominadas residenciales o de casas habitación, se usan cajas cuadradas de 13 mm, que son cajas de 7.5 x 7.5 cm de base con 38 mm de profundidad, en éstas sólo se sujetan tubos de 13 mm (1/2 plg).

Otros tipos de cajas cuadradas como la de 19 mm tienen base de 10 x 10 cm, con profundidad de 38 mm, con perforaciones para 13 mm y 19 mm. Las de 25 mm son de 12 x 12 cm de base con 55 mm de profundidad y perforaciones para tubos de 13, 19 y 25 mm.

Aun cuando no hay una regla general para aplicaciones de los distintos tipos de cajas, la práctica general es usar la de tipo octagonal para salidas de alumbrado (lámparas) y la rectangular y cuadrada para apagadores y contactos. Las cajas redondas son de poco uso en la actualidad y se encuentran más bien en instalaciones un poco viejas.



ALAMBRADO EN TUBO CONDUIT Y SALIDA POR CAJA



Cuando se utilicen cajas metálicas en instalaciones visibles sobre aisladores o con cables con cubierta no metálica, o bien con tubo no metálico, es recomendable que dichas cajas se instalen rígidamente a tierra; en los casos de baños y cocinas este requisito es obligatorio.

Las cajas no metálicas se pueden usar en: instalaciones visibles sobre aisladores, con cables con cubierta no metálica y en instalaciones con tubo no metálico.

Se recomienda que todos los conductores que se alojen en una caja de conexiones, incluyendo empalmes (amarres), aislamientos y vueltas, no ocupen más del 60% del espacio interior de la caja.

En el caso de las cajas metálicas, se debe tener cuidado que los conductores queden protegidos contra la abrasión.

2.5.1 CONDULETS.

Los condulets se fabrican en tres tipos distintos, principalmente:

a) Ordinario.
b) A prueba de polvo y vapor.
c) A prueba de explosión.

Por otra parte, las tapas de los condulets pueden ser:

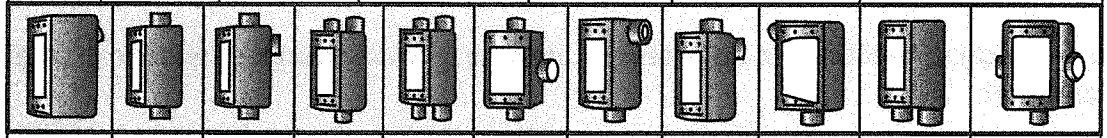
De paso:	Tapa ciega.
De cople exterior:	Tapa con niple macho.
De contacto:	Tapa de contacto doble o sencillo.

Para sacar conexión para lámina: Tapa con abrazadera para salida de cordón flexible o cable de uso rudo. Algunos de los condulets más comunes y sus designaciones comerciales se ilustran a continuación.

CARACTERÍSTICAS DE CONDULETS

mm	E	C	LB	LL	LR	LF	L	mm
12.7	E 17 M	C 17 M	LB 17 M	LL 17 M	LR 17 M	LF 1 M	L 17 M	12.7
19.0	E 27 M	C 27 M	LB 27 M	LL 27 M	LR 27 M	LF 2 M	L 27 M	19.0
25.4	E 37 M	C 37 M	LB 37 M	LL 37 M	LR 37 M	LF 3 M	L 37 M	25.4
31.8	E 47 M	C 47 M	LB 47 M	LL 47 M	LR 47 M		L 47 M	31.8
38.1	E 57 M	C 57 M	LB 57 M	LL 57 M	LR 57 M		L 57 M	38.1
50.8	E 67 M	C 67 M	LB 67 M	LL 67 M	LR 67 M		L 67 M	50.8
63.5		C 77 M	LB 77 M	LL 77 M	LR 77 M	SE SURTE TAPA CIEGA.		63.5
76.2		C 87 M	LB 87 M	LL 87 M	LR 87 M	EL CONDULET L TIENE 2 BOCAS,		76.2
101.6				LL107 M	LR107 M	PUEDE SER USADO COMO LR O LL		101.6

mm	T	TB	X	LBD	TAPA CIEGA	EMPAQUES NEOPRENO
12.7	T 17 M	TB 17 M	X 17 M		170 FM	GSAK 571 NM
19.0	T 27 M	TB 27 M	X 27 M		270 FM	GSAK 572 NM
25.4	T 37 M	TB 37 M	X 37 M		370 FM	GSAK 573 NM
31.8	T 47 M	TB 47 M	X 47 M	LBD 4400	470 FM	GSAK 574 NM
38.1	T 57 M	TB 57 M	X 57 M	LBD 5500	570 FM	GSAK 575 NM
50.8	T 67 M	TB 67 M	X 67 M	LBD 6600	670 FM	GSAK 576 NM
63.5	T 77 M			LBD 7700	770 FM	GSAK 577 NM
76.2	T 87 M			LBD 8800	870 FM	GSAK 578 NM
88.9				LBD 9900	970 FM	GSAK 579 NM
101.6				LBD 10900		



FSA1 M	FSC1 M	FSCA1 M	FSCC1 M	FSCD1 M	FSCT1 M	FSL1 M	FSLA1 M	FSR1 M	FSS1 M	FST1 M 12.7
FSA2 M	FSC2 M	FSCA2 M	FSCC2 M	FSCD2 M	FSCT2 M	FSL2 M	FSLA2 M	FSR2 M	FSS2 M	FST2 M 19.0
	FSC3 M		FSCC3 M	FSCD3 M	FSCT3 M	FSL3 M		FSR3 M	FSS3 M	FST3 M 25.4

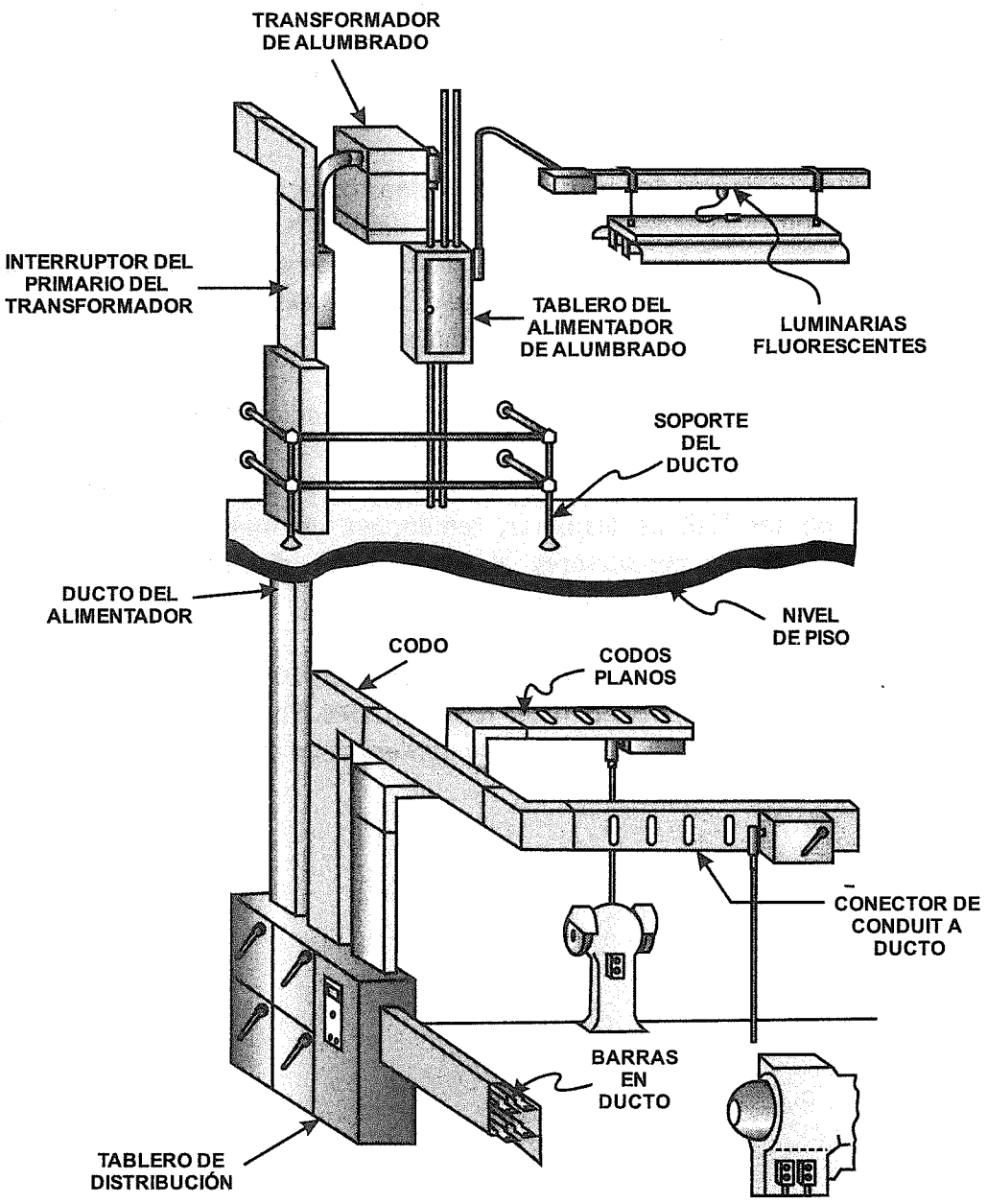
2.5.2 DUCTOS.

Los ductos son otros medios de canalización de conductores eléctricos que se usan sólo en las instalaciones eléctricas visibles, debido a que no se pueden montar embutidos en pared o dentro de lazo de concreto. Se fabrican de canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapas atornilladas, y su aplicación se encuentra en instalaciones industriales y laboratorios.

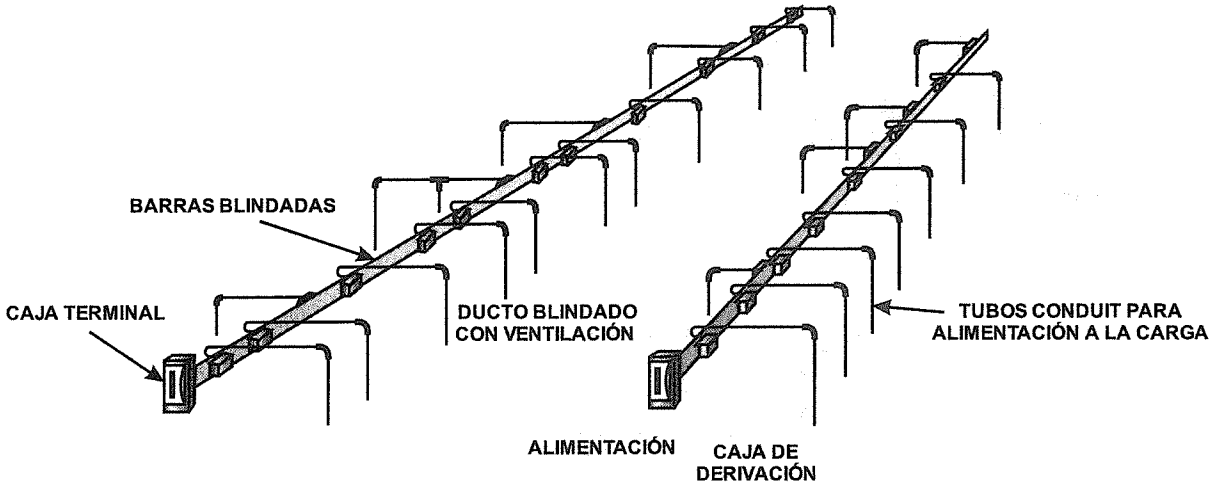
Los conductores se llevan dentro de los ductos en forma similar al caso de los tubos conduit. Se pueden usar para circuitos alimentadores y circuitos derivados. Su uso no está restringido, ya que se pueden emplear también en edificios multifamiliares y de oficinas. Su instalación requiere de algunas precauciones, como por ejemplo, que no existan tuberías de agua cercanas, o bien se restringe su uso en áreas catalogadas como peligrosas.

Los ductos ofrecen ventajas en comparación con los tubos conduit, debido a que ofrecen mayor espacio para alojar conductores y son más fáciles de alambrar. Esto, en sistemas menores de distribución en donde por un mismo ducto se pueden tener circuitos múltiples, ofreciendo además la ventaja de ser fácil de alambrar, teniéndose un mejor aprovechamiento de la capacidad conductiva de los conductores al tener mejor disipación de calor. Tienen la desventaja de que requieren de mayor mantenimiento.

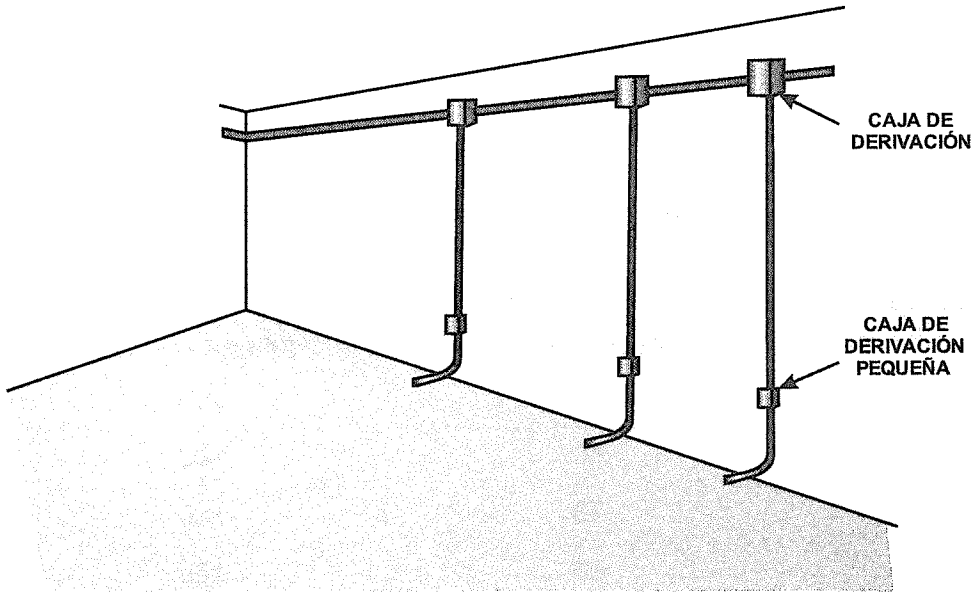
Se permiten un máximo de 30 conductores hasta ocupar un 20% del interior del ducto, en el caso de empalmes o derivaciones pueden ser hasta un 75%. En la siguiente tabla, se muestra comparativamente la capacidad de conducción de corriente con respecto al tubo conduit.



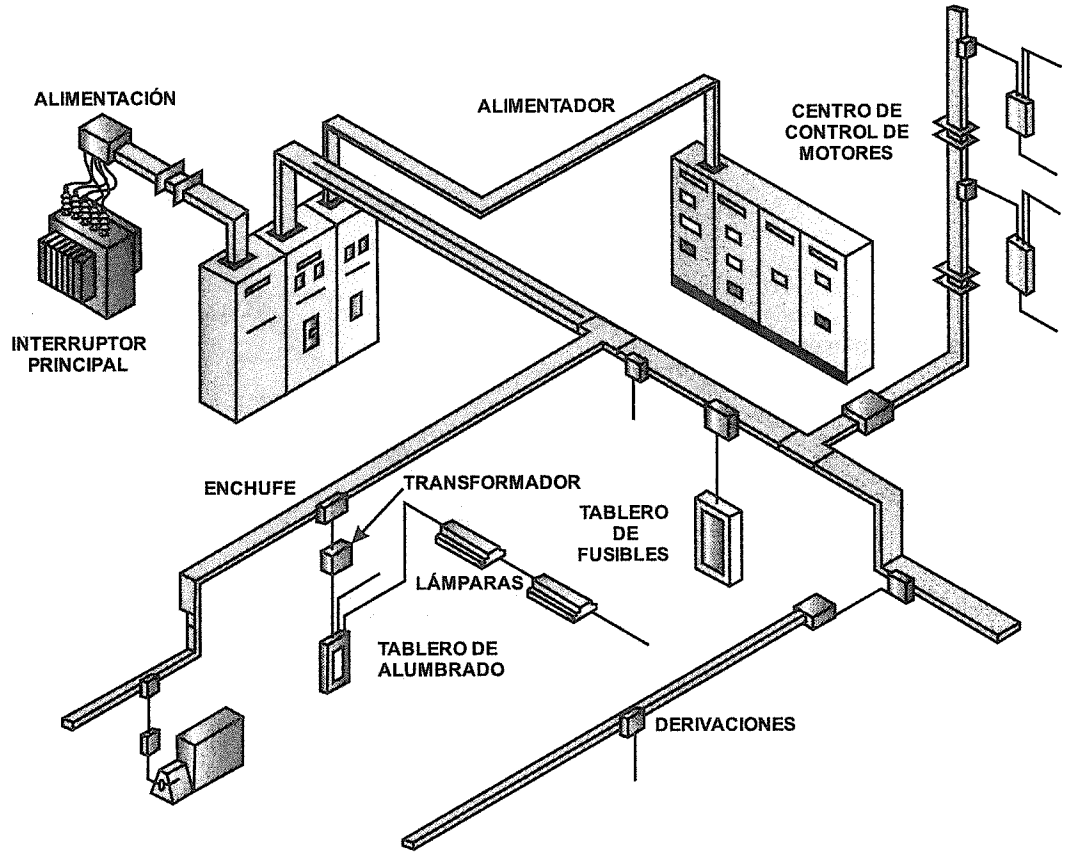
APLICACIÓN DE DUCTOS ELÉCTRICOS



EJEMPLO DE INSTALACIÓN PREFABRICADA CON DUCTOS



EJEMPLO DE ALIMENTACIÓN DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS



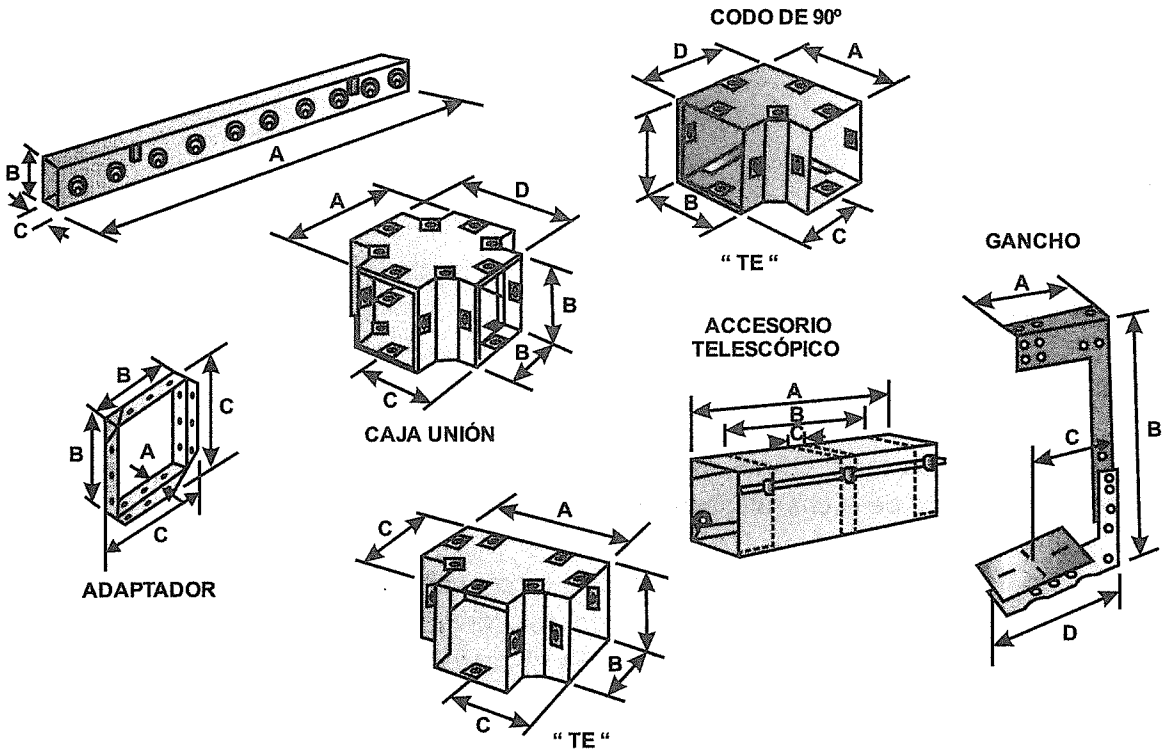
TRAYECTORIA DE DUCTOS

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES EN TUBO CONDUIT Y DUCTOS

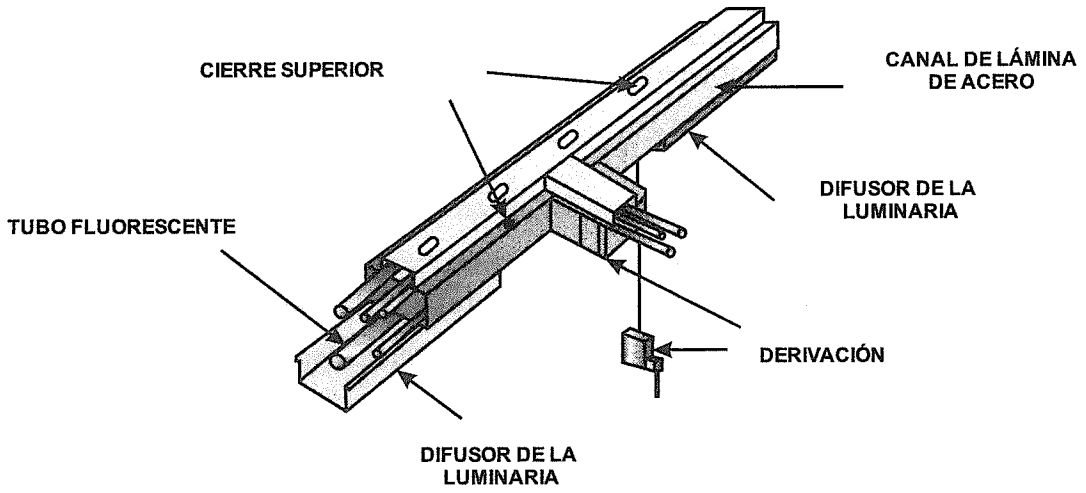
NÚMERO DE CONDUCTORES	CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMITIDA EN CONDUIT EN %	CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMITIDA EN DUCTOS EN %
1 - 3	100	100
4 - 6	80	100
7 - 24	70	100
25 - 30	60	100
31 - 32	60	100
43 O MÁS	50	100

El empleo de ductos en las instalaciones industriales, de laboratorios, edificios de viviendas o edificios de oficinas tienen ventajas como:

- Fácil de instalar.
- Se surte en tramos de diferentes medidas, lo que hace versátiles su instalación.
- Se tiene facilidad y versatilidad para la instalación de conductores dentro del ducto, teniéndose la posibilidad de agregar más circuitos a las instalaciones ya existentes.
- Los ductos son 100% recuperables cuando se modifican las instalaciones y se vuelven a usar.
- Son fáciles de abrir y conectar derivaciones para alumbrado o fuerza.
- Se tiene ahorro en herramienta, ya que no es necesario usar herrajes, dobladoras de tubo, etc.
- Facilitan la ampliación en las instalaciones eléctricas.



DUCTO METÁLICO Y ACCESORIOS



INSTALACIÓN PREFABRICADA CON DUCTO PARA ALIMENTACIÓN DE ALUMBRADO

1. CANAL EN LÁMINA DE ACERO
2. DERIVACIÓN
3 y 4. CIERRE SUPERIOR
5. TUBOFLUORESCENTE
6. DIFUSOR DE LA LUMINARIA
7. DERIVACIÓN

2.5.2 CHAROLAS.

En el uso de charolas se tienen aplicaciones parecidas a las de los ductos, con algunas limitantes propias de los lugares en que se hace la instalación.

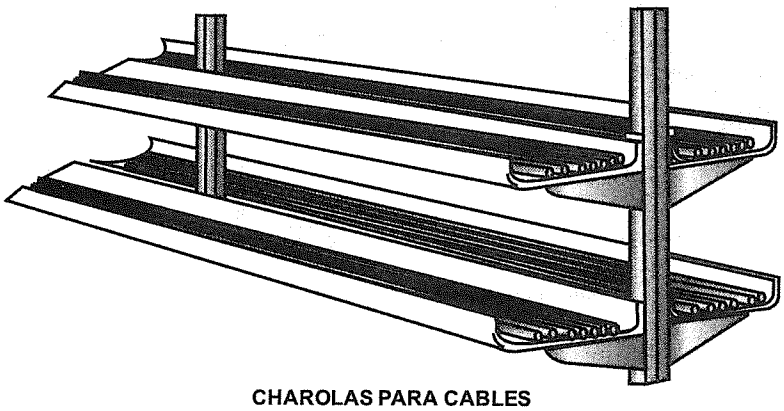
En cuanto a la utilización, se dan las siguientes recomendaciones:

1. Procurar alinear los conductores, de manera que guarden siempre la misma posición relativa en todo el trayecto de la charola, especialmente los de grueso calibre.

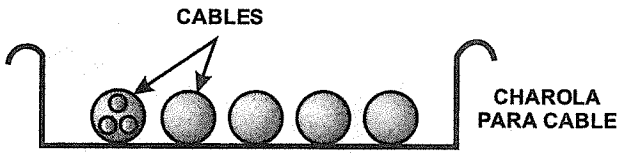
2. En el caso de muchos conductores delgados, es conveniente hacer amarres a intervalos de 1.5 a 2.0 m aproximadamente, procurando colocar etiquetas de identificación cuando se traten de conductores de varios circuitos. En el caso de conductores de calibre grueso, los amarres se pueden hacer cada 2.0 ó 3.0 m.

3. En la fijación de conductores que vayan a través de charolas por trayectorias verticales muy largas, es recomendable que los amarres se hagan con abrazaderas especiales en lugar de usar los de cáñamo.

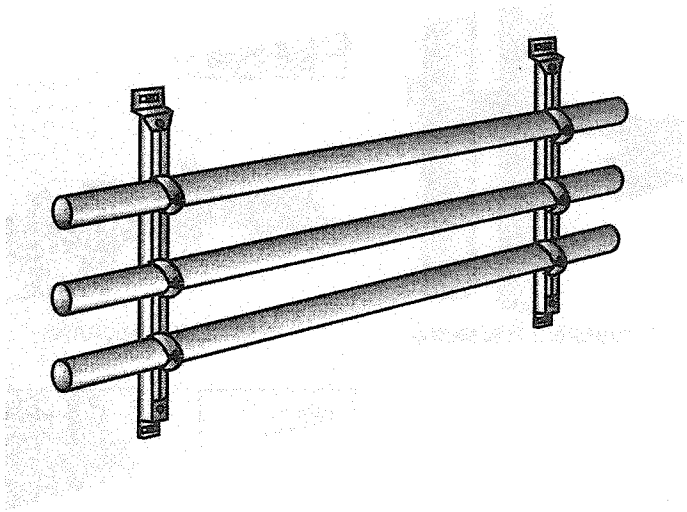
CAJAS Y ACCESORIOS PARA CANALIZACIÓN CON TUBO CONDUIT



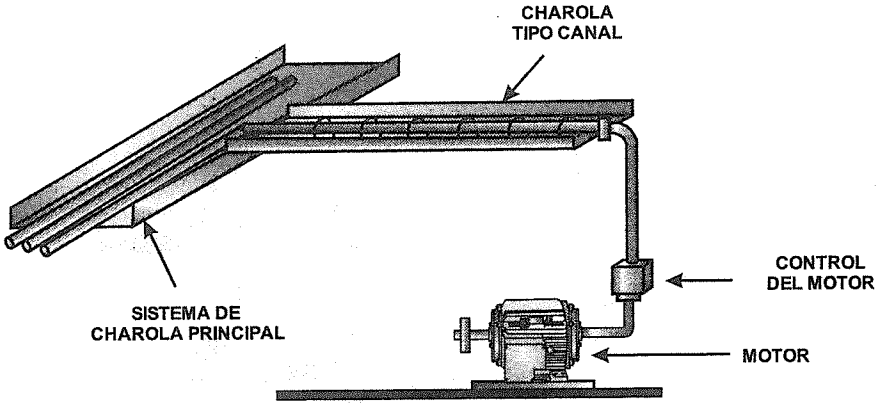
CHAROLAS PARA CABLES



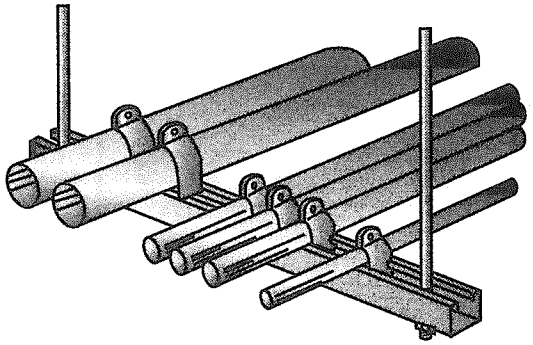
ARREGLOS DE CABLES EN CHAROLAS



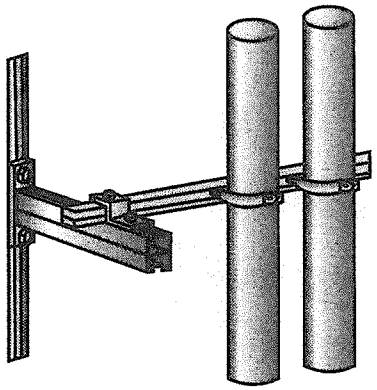
TUBERÍAS MONTADAS POR MEDIO DE ACCESORIOS



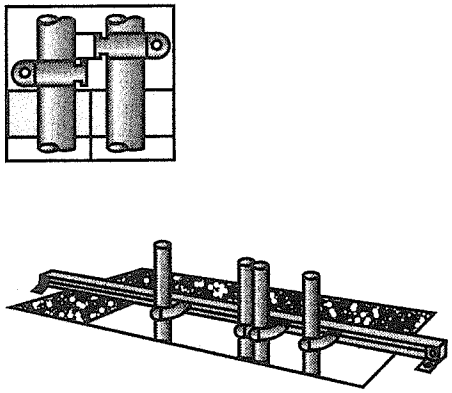
ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR CON DERIVACIÓN DE UN SISTEMA DE CHAROLAS



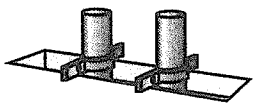
SOPORTES COLGANTES PARA TUBERÍAS

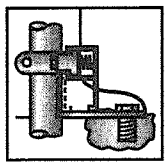


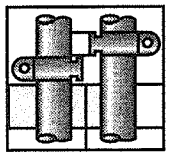
SUJECIÓN DE TUBERÍAS POR MURO



SUJECIÓN CON GRAPA

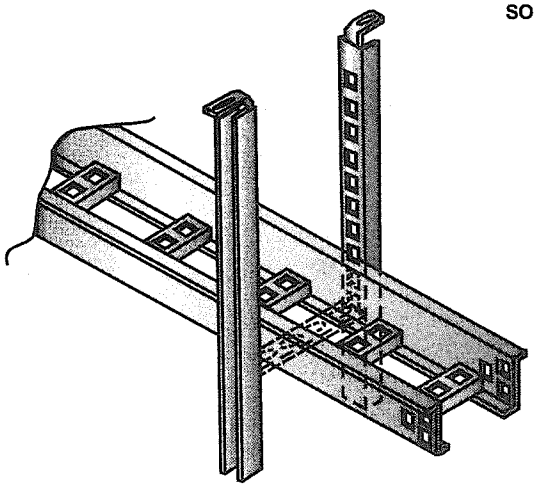






SOPORTES

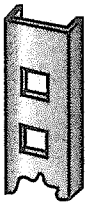
SOPORTE TIPO TRAPECIO CON CANALES VERTICALES



COMPONENTES :

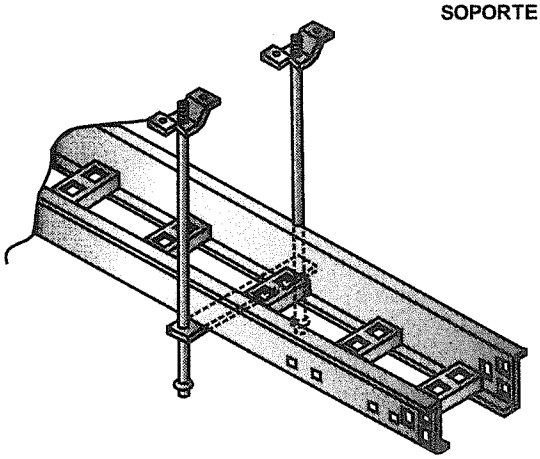
CLIP ANGULAR

TRAVESAÑO HORIZONTAL



CANAL VERTICAL
3.05 m DE LONGITUD

SOPORTE TIPO TRAPECIO CON VARILLAS ROSCADAS



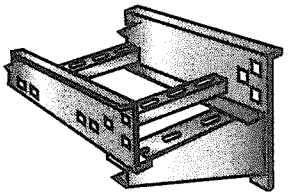
COMPONENTES :

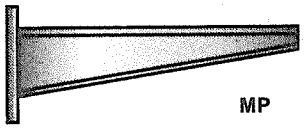
CLIP "U"

VARILLA ROSCADA

CANAL HORIZONTAL

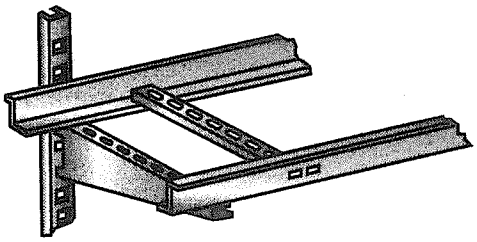
MÉNSULA PARA MONTAJE EN PARED

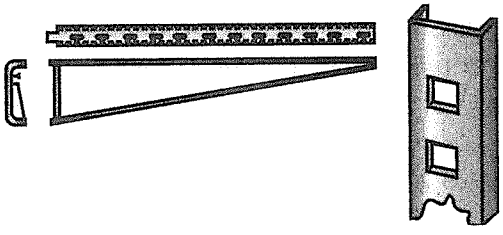




MP

MÉNSULA PARA MONTAJE EN CANAL

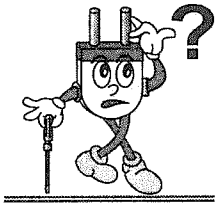




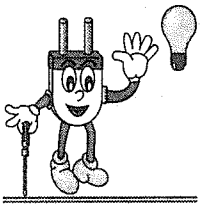
De acuerdo con las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas en Ductos Verticales (también aplicable a charolas), los conductores deberán estar sostenidos a intervalos no mayores que los indicados en la tabla siguiente:

SOSTÉN DE CONDUCTORES EN DUCTOS VERTICALES	
CALIBRES	**SEPARACIÓN DE SOSTENES**
HASTA CALIBRE 1/0	30 m
HASTA CALIBRE 4/0	25 m
HASTA CALIBRE 350 MCM	18 m
HASTA CALIBRE 500 MCM	15 m
HASTA CALIBRE 750 MCM	12 m

Una variante de los ductos donde se alojan los conductores que llevan corriente, son los llamados **ELECTRODUCTOS,** donde los conductores son barras ya integradas de fábrica para ser armados en la obra, y se usan por lo general para la conducción de grandes corrientes, por ejemplo: del orden de 4000 amperes. Se fabrican en una gran variedad de estilos, incluyendo los llamados *enchufables* o *atornillables,* su uso se da en los mismos casos de aplicación de los ductos.



EJEMPLO 2.10 Cuál es el máximo número de alambres No. 12 RHW que se pueden instalar en un ducto cuadrado de 6.35 cm (2.5 plg)?



SOLUCIÓN Para encontrar el área de un conductor No. 12 RHW se consulta la tabla de dimensiones de conductores con aislamientos de hules o termoplásticos, observando el triple asterisco en la nota al pie de la tabla. Las columnas 3 y 5 indican que para el No. 12 RHW sin recubrimiento, el área es la misma que para el No. 12 THW. De la columna 5, esta área es 0.251 plg^2. El área del ducto cuadrado de 2.5 plg. por lado es:

$$A = 2.5\ x\ 2.5 = 6.25\ plg^2$$

Al 20% permisible para ser utilizado el área disponible es:

$$A_R = 0.20\ x\ 6.25 = 1.25\ plg^2$$

Por lo tanto, con relación al área por conductor, el número total de conductores es:

$$No.cond. = \frac{A_R}{A_C} = \frac{1.25}{0.051} = 49.8\ conductores$$

$$No.cond. = 50\ del\ No.12\ RHW$$

Como se permite un máximo de 30 conductores, este es el número que se instalará en el ducto.

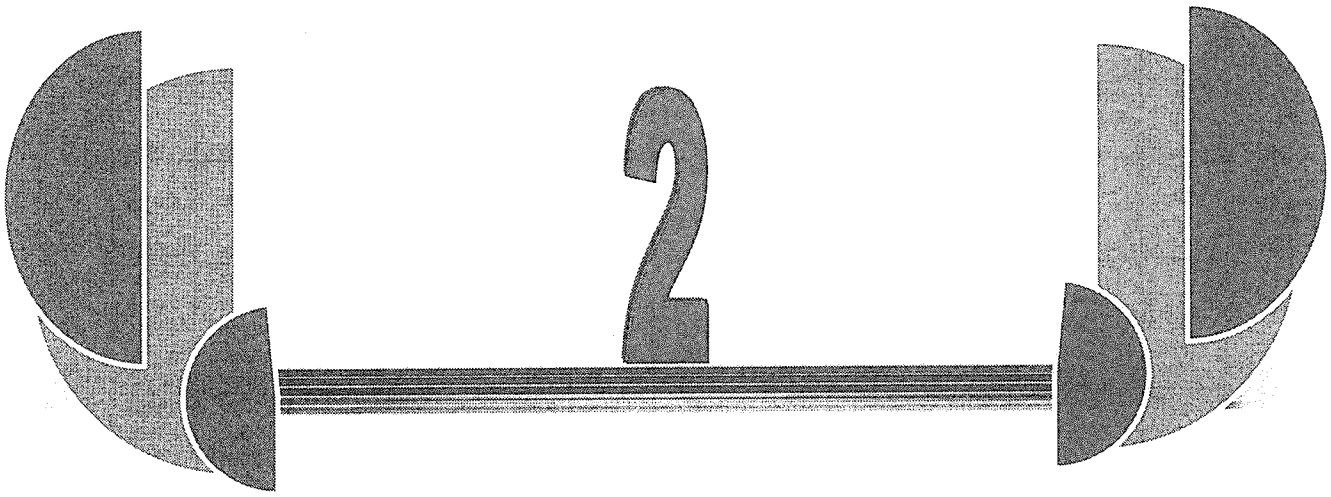
Suponiendo que se permitiera dejar el área completa con 50 conductores, la máxima corriente permisible sería: 20A a 75°C, reduciendo su capacidad al 50%, debido a que cuando el número de conductores en el ducto o cable excede a 3, su capacidad se debe reducir de acuerdo con la tabla siguiente:

NÚMERO DE CONDUCTORES	PORCIENTO DE REDUCCIÓN
4 A 6	80
7 A 24	70
25 A 42	60
MÁS DE 43	50

NÚMERO DE CONDUCTORES QUE SE PUEDEN INSTALAR EN UN AERO-DUCTO				
TAMAÑO DEL CONDUCTOR	ÁREA EN cm^2 CONDUCTOR CON FORRO DE GOMA TIPOS R, RW, RP Y RH	NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES (DE UN SOLO TAMAÑO)		
		DUCTO DE 6.5 x 6.5 cm	DUCTO DE 10 x 10 cm	DUCTO DE 15 x 15 cm
14	0.200	*80	*206	*460
12	0.245	*65	*170	*375
10	0.290	*55	*140	*318
8 (SÓLIDO)	0.458	*35	*90	*201
6	0.839	19	*50	*110
4	1.032	15	*40	*89
2	1.355	11	30	*68
1	1.742	9	23	*52
0	1.999	8	20	*46
00	2.258	7	18	*40
000	2.645	6	15	*35
0000	3.096	5	13	*29
250 MCM	3.741	4	11	24
300 MCM	4.322	3	9	21
400 MCM	5.354	3	7	17
500 MCM	6.386	2	6	14

**** DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO DE OBRAS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS***

EL REGLAMENTO LIMITA A 30 EL NÚMERO DE CONDUCTORES QUE SE PUEDEN INSTALAR EN UN DUCTO, A NO SER QUE LOS QUE SEAN EN EXCESO DE 30 SE USEN PARA CIRCUITOS DE SEÑALES O DE CONTROL, ENTRE UN MOTOR Y SU ARRANCADOR EN LOS PERIODOS DE ARRANQUE.



APÉNDICE TABLAS

TABLA 2.4

DIMENSIONES EN LOS CONDUCTORES CON AISLAMIENTOS DE HULES O TERMOPLÁSTICOS												
CALIBRE AWG O KCM	TIPOS RFH-2, RH, RHH***, RHW***, SF-2		TIPOS TF, T, THW+, TW, RUH**, RUW**		TIPOS TFN, THHN, THWN		TIPOS **** FEP, FEPB, FEPW, TFE, PF, PFA, PFAH, FGF, PTF, Z, ZF, ZFF				TIPOS XHHW, ZW ++	
	DIÁMETRO APROX. PULG	ÁREA APROX. PULG	DIÁMETRO APROX. PULG	ÁREA APROX. PULG	DIÁMETRO APROX. PULG	ÁREA APROX. PULG	DIÁMETRO APROX. PULG		ÁREA APROX. PULG		DIÁMETRO APROX. PULG	ÁREA APROX. PULG
18	0.146	0.0167	0.106	0.0088	0.089	0.0064	0.081		0.0052		-	-
16	0.158	0.0196	0.118	0.0109	0.100	0.0079	0.092		0.0066		-	-
14	2/64 in. 0.171	0.0230	0.131	0.0135	0.105	0.0087	0.105	0.105	0.0087	0.0087	-	-
14	3/64 in. 0.204*	0.0327*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14			0.162 +	0.0206 +	-	-	-	-	-	-	0.129	0.0131
12	2/64 in. 0.188	0.0278	0.148	0.0172	0.122	0.0117	0.121	0.121	0.0115	0.0115	-	-
12	3/64 in. 0.221*	0.0384*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12			0.179 +	0.0251 +	-	-	-	-	-	-	0.146	0.0167
10	0.242	0.0460	0.168	0.0224	0.153	0.0184	0.142	0.142	0.0159	0.0159	-	-
10	-	-	0.199 +	0.0311 +	-	-	-	-	-	-	0.166	0.0216
8	0.328	0.0854	0.245	0.0471	0.218	0.0373	0.206	0.186	0.0333	0.0272	-	-
8	-	-	0.276 +	0.0598 +	-	-	-	-	-	-	0.241	0.0456
6	0.397	0.1238	0.323	0.0819	0.257	0.0519	0.244	0.302	0.0467	0.0716	0.282	0.0625
4	0.452	0.1605	0.372	0.1087	0.328	0.0845	0.292	0.350	0.0669	0.0962	0.328	0.0845
3	0.481	0.1817	0.401	0.1263	0.356	0.0995	0.320	0.378	0.0803	0.1122	0.356	0.0995
2	0.513	0.2067	0.433	0.1473	0.388	0.1182	0.352	0.410	0.0973	0.1316	0.388	0.1182
1	0.588	0.2715	0.508	0.2027	0.450	0.1590	0.420	-	0.1385	-	0.450	0.1590
0	0.629	0.3107	0.549	0.2367	0.491	0.1893	0.462	-	0.1676	-	0.491	0.1893
00	0.675	0.3578	0.595	0.2781	0.537	0.2265	0.498	-	0.1974	-	0.537	0.2265
000	0.727	0.4151	0.647	0.3288	0.588	0.2715	0.560	-	0.2463	-	0.588	0.2715
0000	0.785	0.4840	0.705	0.3904	0.646	0.3278	0.618	-	0.2999	-	0.646	0.3278
250	0.868	0.5917	0.788	0.4877	0.716	0.4026	-	-	-	-	0.716	0.4026
300	0.933	0.6837	0.483	0.5581	0.771	0.4669	-	-	-	-	0.771	0.4669
350	0.985	0.7620	0.895	0.6291	0.822	0.5307	-	-	-	-	0.822	0.5307
400	1.032	0.8365	0.942	0.6969	0.869	0.5931	-	-	-	-	0.869	0.5931
500	1.119	0.9834	1.029	0.8316	0.955	0.7163	-	-	-	-	0.955	0.7163
600	1.233	1.1940	1.143	1.0261	1.058	0.8792	-	-	-	-	1.073	0.9043
700	1.304	1.3355	1.214	1.1575	1.129	1.0011	-	-	-	-	1.145	1.0297
750	1.339	1.4082	1.249	1.2252	1.163	1.0623	-	-	-	-	1.180	1.0936
800	1.372	1.4784	1.282	1.2908	1.196	1.1234	-	-	-	-	1.210	1.1499
900	1.435	1.6173	1.345	1.4208	1.258	1.2449	-	-	-	-	1.270	1.2668
1000	1.494	1.7531	1.404	1.5482	1.317	1.3623	-	-	-	-	1.330	1.3893
1250	1.676	2.2062	1.577	1.9532	-	-	-	-	-	-	1.500	1.7672
1500	1.801	2.5475	1.702	2.2748	-	-	-	-	-	-	1.620	2.0162
1750	1.916	2.8895	1.817	2.5930	-	-	-	-	-	-	1.740	2.3799
2000	2.021	3.2079	1.922	2.9013	-	-	-	-	-	-	1.840	2.6590

* Dimensiones para los tipos RHH y RHW.
** Del No. 14 al No. 2
\+ Dimensiones del tipo THW en calibres del 14 al 8. El tipo THW del No. 6 y mayores tienen las mismas dimensiones que el tipo T.
*** Las dimensiones del tipo RHH y RHW sin cubierta exterior: son las mismas que las del tipo THW: del No. 18 al No. 6 sólidos: y del No. 8 en adelante, cableados.
**** Los valores mostrados para calibres del 1 al 0000 son para tipos TFE y Z solamente, los valores a mano derecha en las mismas columnas son para FEPB, Z, ZF y ZFF únicamente.
++ Del calibre 14 al No. 2.

TABLA 2.4.1

RESISTENCIA Y REACTANCIA DE CONDUCTORES			
CALIBRE AWG MCM	RESISTENCIA EN Ω/100 m A 60°C	REACTANCIA EN Ω/100 m	
		MÍNIMA	MÁXIMA
14	1.0	0.0153	0.015
12	0.623	0.0133	0.015
10	0.393		
8	0.246	0.0153	0.015
6	0.155	0.0133	0.015
4	0.097	0.0123	0.0166
3	0.076	0.0120	0.0163
2	0.616	0.0116	0.0160
1	0.0486	0.0116	0.0160
0	0.0386	0.0113	0.0160
00	0.0306	0.0106	0.0146
000	0.0243	0.0103	0.0146
0000	0.0193	0.0100	0.0150
250	0.0163	0.0100	0.0150
300	0.0136	0.0096	0.0150
350	0.1160	0.0096	0.0146
400	0.0102	0.0096	0.0143
450	0.0090	0.0093	0.0133
500	0.0080	0.0093	0.0123
550	0.0074	0.0093	0.0133
600	0.0068	0.0093	0.0133
750	0.0054	0.0093	0.0133
1000	0.0041	0.0093	0.0133

NOTAS RELATIVAS A LA TABLA ANTERIOR:

1. El factor de corrección por temperatura para la resistencia óhmica es de 0.34 por °C.

2. Para conductores en ducto de acero o con armaduras de acero, la resistencia aumenta en 25%, por lo tanto, multiplíquense los valores por 1.25.

3. Los valores de la reactancia mínima se aplican para conductores juntos dentro de un tubo conduit o ducto. Los valores de la reactancia máxima se aplican para conductores separados, en instalaciones aéreas, o en ménsulas en galerías de conductores.

4. Para 50 ciclos, los valores de la reactancia deben multiplicarse por 5/6.

TABLA 2.5

DIMENSIONES DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS DESNUDOS						
CALIBRE			SECCIÓN		DIÁMETRO	
A. K.	W. C.	G. M.	C.M.	mm^2	PULGS.	mm
	20		1022	0.5176	0.03196	0.812
	18		1624	0.8232	0.04030	1.024
	16		2583	1.3090	0.05082	1.291
	14		4107	2.0810	0.06408	1.628
	12		6530	3.3090	0.08081	2.053
	10		10380	5.2610	0.1019	2.588
	8		16510	8.3670	0.1285	3.264
	6		26250	13.3030	0.1620	4.115
	4		41740	21.1480	0.2043	5.189
	3		52630	26.6700	0.2294	5.827
	2		66370	33.6320	0.2576	6.543
	1		83690	42.4060	0.2893	7.348
	0		105500	53.4770	0.3249	8.252
	00		133100	67.4190	0.3648	9.266
	000		167800	85.0320	0.4096	10.403
	0000		211600	107.2250	0.4600	11.684
	250			126.644	0.575	14.605
	300			151.999	0.630	16.002
	350			177.354	0.681	17.297
	400			202.709	0.728	18.491
	500			253.354	0.814	20.675
	600			303.999	0.893	22.682
	700			354.708	0.964	24.685
	800			405.160	1.031	26.187
	750			379.837	0.998	25.349
	900			455.805	1.093	27.762
	1000			506.450	1.152	29.260
	1250			633.063	1.289	32.741
	1500			759.677	1.412	35.865
	1750			886.286	1.526	38.760
	2000			1012.901	1.631	41.427

KCM = ***Miles de circular.***

TABLA 2.6

NÚMERO DE CONDUCTORES TIPO TW, T, TWH, DF Y VINNANEL 900 V, RH, RUH, V QUE PUEDEN INSTALARSE DENTRO DE UN TUBO CONDUIT DE ACUERDO CON LOS FACTORES DE RELLENO NO REESTABLECIDOS												
CALIBRE	DIÁMETRO DEL TUBO CONDUIT											
A.W.G.	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{4}$"	1"	$1\frac{1}{4}$"	$1\frac{1}{2}$"	2"	$2\frac{1}{4}$"	3"	$3\frac{1}{2}$"	4"	5"	6"
M.C.M	13 mm	19 mm	25 mm	31 mm	38 mm	51 mm	64 mm	76 mm	89 mm	101 mm	127 mm	152 mm
18	13	24	39	68	92							
16	11	19	31	54	74							
14	9	13	25	44	60	99						
12	7	12	20	34	47	78						
10	5	9	15	26	36	60	85					
8	3	5	8	14	20	32	46	72				
6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62		
4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	46	63	
2	1	1	1	4	5	9	12	20	26	34	54	78
1	0	1	1	2	4	6	8	14	19	25	39	57
0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	21	33	45
00	0	1	1	1	3	4	6	10	14	18	28	41
000	0	0	1	1	1	4	4	9	12	15	24	35
0000	0	0	1	1	1	3	4	7	10	13	20	29
250				1	1	2	3	6	8	10	16	23
300				1	1	1	2	5	7	9	14	20

TABLA 2.6. A

CARACTERÍSTICAS DE ALAMBRES Y CABLES CON AISLAMIENTO DE CLORURO DE POLIVINILO TIPO TW										
CALIBRE MCM AWG	No. DE CONDUCTORES QUE PUEDEN INSTALARSE EN TUBO CONDUIT DE									
	12 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm	51 mm	64 mm	76 mm	89 mm	102 mm
ALAMBRE										
4	1	1	3	6	8	15	24			
6	1	2	4	7	10	19				
8	1	4	8	12	18					
10	3	8	14	23						
12	4	10	19							
4	6	14	25							
16	9	21								
18	12									
20	14									
22	17									
CABLE										
500					1	1	1	3	4	6
400				1	1	1	2	4	5	7
350				1	1	1	3	4	6	8
300				1	1	1	3	5	7	9
250				1	1	2	4	6	8	11
4/0			1	1	1	3	5	7	10	13
3/0			1	1	1	4	6	9	12	16
2/0			1	1	2	4	7	10	14	19
1/0		1	1	1	3	5	8	12	7	22
1		1	1	1	3	6	10	15	20	
2		1	1	3	5	9	14	20		
4	1	1	2	4	7	12	19			
6	1	1	4	6	9	16	26			
8	1	3	6	10	15	27				
10	3	7	12	19						
12	4	9	16	26						
14	5	12	21							
16	8	19								
18	11									
20	13									
No. DE CONDUCTORES		**1**	**2**	**3**	**MÁS DE**	**3**				
FACTOR DE RELLENO		**55%**		**30%**	**40%**	**40%**				

TABLA 2.7

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES DE COBRE, BASADA EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C								
CALIBRE	TIPO VF T.W. 'T' TWH 60°C				VINANEL 900 RH, 'RVH' V 75°C			
A.W.G.	1 a 3	4 a 6	6 a 9	1	1 a 3	4 a 6	6 a 9	1
K.C.M.	CONDUCTORES				CONDUCTORES			
	TUBO	TUBO	TUBO	AIRE	TUBO	TUBO	TUBO	AIRE
14	15	12	10	20	15	12	10	20
12	20	16	14	25	20	16	14	25
10	30	24	21	40	30	24	21	40
8	40	32	28	55	45	36	31	65
6	55	44	38	80	65	52	45	95
4	70	56	49	105	85	68	59	125
2	95	76	66	140	115	92	80	170
0	125	100	87	195	150	120	105	230
00	145	116	110	225	175	140	122	265
000	165	132	115	260	200	160	140	310
0000	195	156	132	300	230	184	161	360
250	215	172	150	340	255	204	178	405
300	240	192	168	375	285	228	199	445
350	260	208	182	420	310	248	217	505
400	280	224	196	455	335	268	234	545
500	320	256	224	515	380	304	266	680
600	355	284	248	575				
750	400	320	280	655				
1000	455	364	318	780				
1250	495	396	346	890				
1500	520	416	364	980				
1750	545	436	382	1070				
2000	560	448	392	1155				
TEMP °C	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE MAYOR DE 30°C							
40	0.82	0.82	0.82	0.82	0.88	0.88	0.88	0.88
45	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82	0.82	0.82	0.82
50	0.58	0.58	0.58	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75
55	0.41	0.41	0.41	0.41	0.67	0.67	0.67	0.67
60	----	----	----	----	0.58	0.58	0.58	0.58

TABLA 2.8

CANTIDAD DE CONDUCTORES EN TUBERÍA CONDUIT DE ACERO DE PARED GRUESA Y TIPO COMERCIAL																	
CALIBRE	VINANEL NYLON 'KH' RVH									VINANEL 900 Y TW 'T' TWH									
AWG y KCM	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm	2 1/2" 63 mm	3" 76 mm	4" 102 mm	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm	2 1/2" 63 mm	3" 76 mm	4" 102 mm
14	16	26	42							11	18	30						
12	12	20	31	53						9	14	23	39					
10	8	12	20	34	46					6	11	17	30	40				
8	4	7	11	20	27	44				3	6	9	16	21	34			
6	3	4	7	12	16	27	40			1	3	5	8	11	18	27		
4	1	2	4	7	10	16	25	38			1	3	6	8	14	20	32	
2		1	3	5	7	12	17	27	46		1	2	4	6	10	15	23	28
1/0			1	3	4	7	11	17	29			1	2	3	6	9	14	17
2/0			1	2	3	6	9	14	24				1	3	5	8	12	15
3/0				1	3	5	7	12	20				1	2	4	6	10	12
4/0				1	2	4	6	10	16				1	1	3	5	8	10
250				1	1	3	5	8	13					1	3	4	7	8
300					1	3	4	7	11					1	2	4	6	7
400						1	3	5	9						1	3	4	6
500						1	3	4	7						1	2	4	5

TABLA 2.9

CANTIDAD DE CONDUCTORES ADMISIBLES EN TUBERÍA CONDUIT DE ACERO DE PARED DELGADA TIPO COMERCIAL															
CALIBRE	VINANEL NYLON 'KH' RVH						VINANEL 900 TW 'T' TWH								
Y KCM	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm			
14	13	24	37				9	17	26						
12	9	18	27	49			7	13	20	36					
10	6	11	17	31	43		5	10	15	28	38				
8	3	6	10	18	25	40	2	5	8	24	20	32			
6	1	4	6	11	15	25	1	2	4	7	10	17			
4		1	4	7	9	15		1	3	5	8	13			
2		1	2	5	6	11		1	1	4	5	9			
1/0			1	3	4	5			1	2	3	6			
2/0			1	1	3	4				1	3	5			
3/0				1	3	4				1	1	4			
4/0				1	1	3				1	1	3			
250				1	1	2					1	2			
300					1	2					1	1			
400						1						1			
500						1						1			

TABLA 2.10

CANTIDAD DE CONDUCTORES ADMISIBLES EN TUBERÍA CONDUIT DE PVC RIGIDO TIPO PESADO																
CALIBRE	VINANEL NYLON 'KH' RVH									VINANEL 900 Y TW 'T' TWH									
AWG y KCM	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm	2 1/2" 63 mm	3" 76 mm	4" 102 mm	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm	2 1/2" 63 mm	3" 76 mm	4" 102 mm
14	17	29	49							12	21	34						
12	13	22	36	60						9	16	27	44					
10	8	14	23	38	50					7	12	20	34	44				
8	4	8	13	22	29	46				3	6	10	17	23	36			
6	3	5	8	13	18	28	41			1	3	5	9	12	19	28		
4	1	3	5	8	11	17	25	39		1	2	4	7	9	14	21	33	
2		1	3	6	8	12	18	28	48		1	3	5	6	10	15	24	41
1/0			1	3	5	7	11	17	30			1	3	4	6	9	15	25
2/0			1	3	4	6	9	14	25			1	2	3	5	8	12	21
3/0			1	2	3	5	8	12	21				1	3	4	7	10	18
4/0				1	2	4	6	10	17				1	1	4	5	9	15
250				1	1	3	5	8	14				1	1	3	4	7	12
300				1	1	3	4	7	12					1	2	4	6	10
400					1	1	3	5	9						1	3	5	8
500						1	3	4	8						1	2	4	7

NOTA: *Del calibre 6 en adelante se trata de cable.*

TABLA 2.11

CANTIDAD DE CONDUCTORES ADMISIBLES EN TUBERÍA CONDUIT DE PVC RÍGIDO TIPO LIGERO												
CALIBRE	VINANEL NYLON 'KH' RVH						VINANEL 900 Y TW 'T' TWH					
AWA ó KCM	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm	1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 52 mm
14	13	24	39				9	17	27			
12	10	18	29	49			7	13	21	36		
10	6	11	18	31	43		5	10	16	27	38	
8	3	6	10	18	25	41	2	5	8	14	19	32
6	1	4	6	11	15	25	1	2	4	7	10	17
4		1	4	7	9	15		1	3	5	8	13
2		1	2	5	6	11		1	1	4	5	9
1/0			1	3	4	7			1	2	3	6
2/0				1	3	5				1	3	5
3/0				1	3	4				1	1	4
4/0				1	1	4				1	1	3
250					1	3					1	2
300					1	2					1	1
400						1						1
500						1						1

NOTA: *Del calibre 6 en adelante se trata de cable.*

TABLA 2.12

NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES EN MEDIDAS COMERCIALES DE TUBERÍA CONDUIT														
DIÁMETRO DE LA TUBERÍA (PULGADAS)		$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	6
TIPO DE CONDUCTOR	CALIBRE CONDUCTOR AWG-KCM	13 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm	51 mm	63 mm	76 mm	89 mm	102 mm	114 mm	127 mm	152 mm
TW, T; RUH,	14	9	15	25	44	60	99	142						
RUW	12	7	12	19	35	47	78	111	171					
XHHW (14 hasta 8)	10	5	9	15	26	36	60	85	131	174				
	8	2	4	7	12	17	28	40	62	84	108			
RHW y RHH	14	6	10	16	29	40	65	93	143	192				
(sin cubierta	12	4	8	13	24	32	53	76	117	157				
exterior)	10	4	6	11	19	26	43	61	95	127	163			
THW	8	1	3	5	10	13	22	32	49	66	85	106	133	
TW,	6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62	78	97	141
T,	4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	47	58	73	106
THW	3	1	1	2	4	6	10	15	23	31	40	50	63	91
RUH (6 a 2)	2	1	1	2	4	5	9	13	20	27	34	43	54	78
RUW (6 a 2)	1		1	1	3	4	6	9	14	19	25	31	39	57
FEPB (6 a 2)	0		1	1	2	3	5	8	12	16	21	27	33	49
RHW	00		1	1	1	3	5	7	10	14	18	23	29	41
RHH (sin cubierta	000		1	1	1	2	4	6	9	12	15	19	24	35
exterior)	0000			1	1	1	3	5	7	10	13	16	20	29
	250			1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	23
	300			1	1	1	2	3	5	7	9	11	14	20
	350				1	1	1	3	4	6	8	10	12	18
	400				1	1	1	2	4	5	7	9	11	16
	500				1	1	1	1	3	4	6	7	9	14
	600					1	1	1	3	4	5	6	7	11
	700					1	1	1	2	3	4	5	7	10
	750					1	1	1	2	3	4	5	6	9
THWN,	14	13	24	39	69	94	154							
	12	10	18	29	51	70	114	164						
	10	6	11	18	32	44	73	104	160					
	8	3	5	9	16	22	36	51	79	106	136			
THHN	6	1	4	6	11	15	26	37	57	76	98	125	154	
FEP (14 a 12)	4	1	2	4	7	9	16	22	35	47	60	75	94	137
FEPB (14 a 3)	3	1	1	3	6	8	13	19	29	39	51	64	80	116
PFA (14 a 4/0)	2	1	1	3	5	7	11	16	25	33	43	54	67	97
PFAH (14 a 4/0)	1		1	1	3	5	8	12	18	25	32	40	50	72
Z (14 a 4/0)	0		1	1	3	4	7	10	15	21	27	33	42	61
XHHW (14 a 500 KCM)	00		1	1	2	3	6	8	13	17	22	28	35	51
	000		1	1	1	3	5	7	11	14	18	23	29	42
	0000		1	1	1	2	4	6	9	12	15	19	24	35
	250			1	1	1	3	4	7	10	12	16	20	28
	300			1	1	1	3	4	6	8	11	13	17	24
	350			1	1	1	2	3	5	7	9	12	15	21
	400				1	1	1	3	5	6	8	10	13	19
	500				1	1	1	2	4	5	7	9	11	16
	600				1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	700					1	1	1	3	4	5	6	8	11
	750					1	1	1	2	3	4	6	7	11
XHHW	6	1	3	5	9	13	21	30	47	63	81	102	128	185
	600				1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	700					1	1	1	3	4	5	6	7	11
	750					1	1	1	2	3	4	6	7	10
RHW	14	3	6	10	18	25	41	58	90	121	155			
	12	3	5	9	15	21	35	50	77	103	132			
	10	2	4	7	13	18	29	41	64	86	110	138		
	8	1	2	4	7	9	16	22	35	47	60	75	94	137
RHH (con cubierta	6	1	1	2	5	6	11	15	24	32	41	51	64	93
exterior)	4	1	1	1	3	5	8	12	18	24	31	39	50	72
	3	1	1	1	3	4	7	10	16	22	28	35	44	63
	2		1	1	3	4	6	9	14	19	24	31	38	56
	1		1	1	1	3	5	7	11	14	18	23	29	42
	0		1	1	1	2	4	6	9	12	16	20	25	37
	00			1	1	1	3	5	8	11	14	18	22	32
	000			1	1	1	3	4	7	9	12	15	19	28
	0000			1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	24
	250				1	1	1	3	5	6	8	11	13	19
	300				1	1	1	3	4	5	7	9	11	17
	350				1	1	1	2	4	5	6	8	10	15
	400				1	1	1	1	3	4	6	7	9	14
	500				1	1	1	1	3	4	5	6	8	11
	600					1	1	1	2	3	4	5	6	9
	700					1	1	1	1	3	3	4	6	8
	750						1	1	1	3	3	4	5	8

TABLA 2.13

CÁLCULO DE CONDUCTORES AISLADOS POR CAÍDA DE TENSIÓN DISTANCIA * EN METROS PARA UNA CAÍDA DE TENSIÓN MÁXIMA DE 3% CIRCUITOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS EN 220 VOLTS												
CALIBRE AWG ó KCM	3 AMP	6 AMP	15 AMP	20 AMP	25 AMP	35 AMP	50 AMP	70 AMP	80 AMP	90 AMP	100 AMP	125 AMP
14	147.2	73.6	29.9									
12	232.3	117.3	46.0	34.5								
10	370.3	186.3	73.6	55.2	43.7							
8	588.8	294.4	117.3	87.4	69.0	50.6						
6	936.1	469.2	188.6	140.3	112.7	80.5	62.1					
4	1488.1	745.2	296.7	223.1	179.4	126.5	89.7	64.4				
2	2369.0	1184.5	476.1	366.5	265.2	202.4	147.6	101.2	87.4			
1/0	3760.5	1886.0	752.1	565.8	450.8	322.0	225.4	161.0	140.3	126.5	112.7	89.7
2/0	4749.5	2375.9	949.9	713.0	570.4	407.1	285.2	202.4	177.1	158.7	142.6	112.7
3/0		2990.0	1200.6	897.0	717.6	512.9	368.8	257.6	225.4	200.1	179.4	142.6
4/0		3772.0	1508.8	1131.6	906.2	646.3	453.1	322.0	282.9	253.0	227.7	181.7
250			1787.1	1340.9	1071.8	765.9	533.6	381.8	333.5	296.7	266.8	213.9
300			2143.6	1610.0	1283.4	917.7	641.7	460.0	400.2	366.5	322.0	257.6
350				1876.8	1501.9	1069.5	752.1	533.6	466.9	418.6	374.9	299.0
400				2143.6	1715.8	1225.9	855.6	611.8	533.6	476.1	427.8	342.7
500					2143.6	1527.2	1071.8	765.9	655.5	593.4	533.6	427.8
600						1835.4	1283.4	917.7	802.7	713.0	641.7	512.9
700						2143.6	1501.9	1071.8	936.1	834.9	752.1	600.3
CALIBRE AWG ó KCM	150 AMP	175 AMP	225 AMP	250 AMP	275 AMP	300 AMP	325 AMP	400 AMP	450 AMP	500 AMP	525 AMP	
2/0	94.3											
3/0	119.6	103.5										
4/0	151.8	128.8	101.2									
250	179.4	151.8	119.6	105.8								
300	213.9	184	142.6	128.8	117.3							
350	248.4	213.9	165.6	149.5	135.7	124.2						
400	285.2	243.8	190.9	170.2	154.1	142.6	131.1					
500	356.5	305.9	236.9	213.9	195.5	179.4	165.6	133.4				
600	427.8	365.7	285.2	257.6	234.6	213.9	197.8	161.0	142.6			
700	499.1	427.8	333.5	299	273.7	248.4	230.0	188.6	165.6	149.5		
800	570.4	489.9	381.8	342.7	310.5	285.6	262.2	213.9	190.9	172.5	163.3	
1000	713.0	611.8	476.1	427.8	388.7	356.5	331.2	266.8	239.2	213.9	204.7	

* DISTANCIA MEDIDA DESDE EL PUNTO DE CONEXIÓN DEL ALIMENTADOR HASTA EL PUNTO DE CONEXIÓN DE LA CARGA.

LA TABLA ESTÁ CALCULADA CONSIDERANDO SÓLO LA CAÍDA DE TENSIÓN POR RESISTENCIA EN CONDUCTORES DE COBRE, AISLADOS TIPO RHW, THW ó THWN PARA 600 VOLTS Y 30°C DE TEMPERATURA AMBIENTE.

PARA OTRAS CONDICIONES APLICAR LOS SIGUIENTES FACTORES A LA TABLA.

EN CIRCUITOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS		PARA OTRAS CAÍDAS DE TENSIÓN PERMISIBLES	
TENSIÓN	MULTIPLIQUE POR:	CAÍDA DE TENSIÓN	MULTIPLIQUE POR:
440 V	2.0	1%	0.33
2300 V	10.435	2%	0.66
4160 V	19.30	3%	1.00
CIRCUITOS MONOFÁSICOS 120 V	0.5	4%	1.33
		5%	1.66

TABLA 2.14

CONSTANTES PARA EL CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN %				
CALIBRE AWG y KCM	CIRCUITOS MONOFÁSICOS A 127 V	CIRCUITOS MONOFÁSICOS A 220 V	CIRCUITOS TRIFÁSICOS A 220 V	CIRCUITOS TRIFÁSICOS A 440 V
14	0.01305	0.00754	0.00650	0.00326
12	0.00820	0.00474	0.00410	0.00205
10	0.00515	0.00298	0.00258	0.00129
8	0.00323	0.00187	0.00162	0.00081
6	0.00203	0.00117	0.00103	0.00051
4	0.00128	0.00074	0.00064	0.00032
2	0.00081	0.00047	0.00040	0.00020
1/0	0.00050	0.00029	0.00025	0.00013
2/0	0.00040	0.00023	0.00020	0.00010
3/0	0.00032	0.00018	0.00016	0.00008
4/0	0.00025	0.00015	0.00013	0.00006
250	0.00021	0.00012	0.00011	0.00005
300	0.00018	0.00010	0.00009	0.00004
400	0.00013	0.00008	0.00007	0.00003
500	0.00011	0.00006	0.00005	0.00002

1. Los valores de la tabla son aplicables a todos los tipos de conductores de baja tensión (VINANEL, NYLON, VINANEL 900, TW VULCANEL EP y VULCANEL XLP).

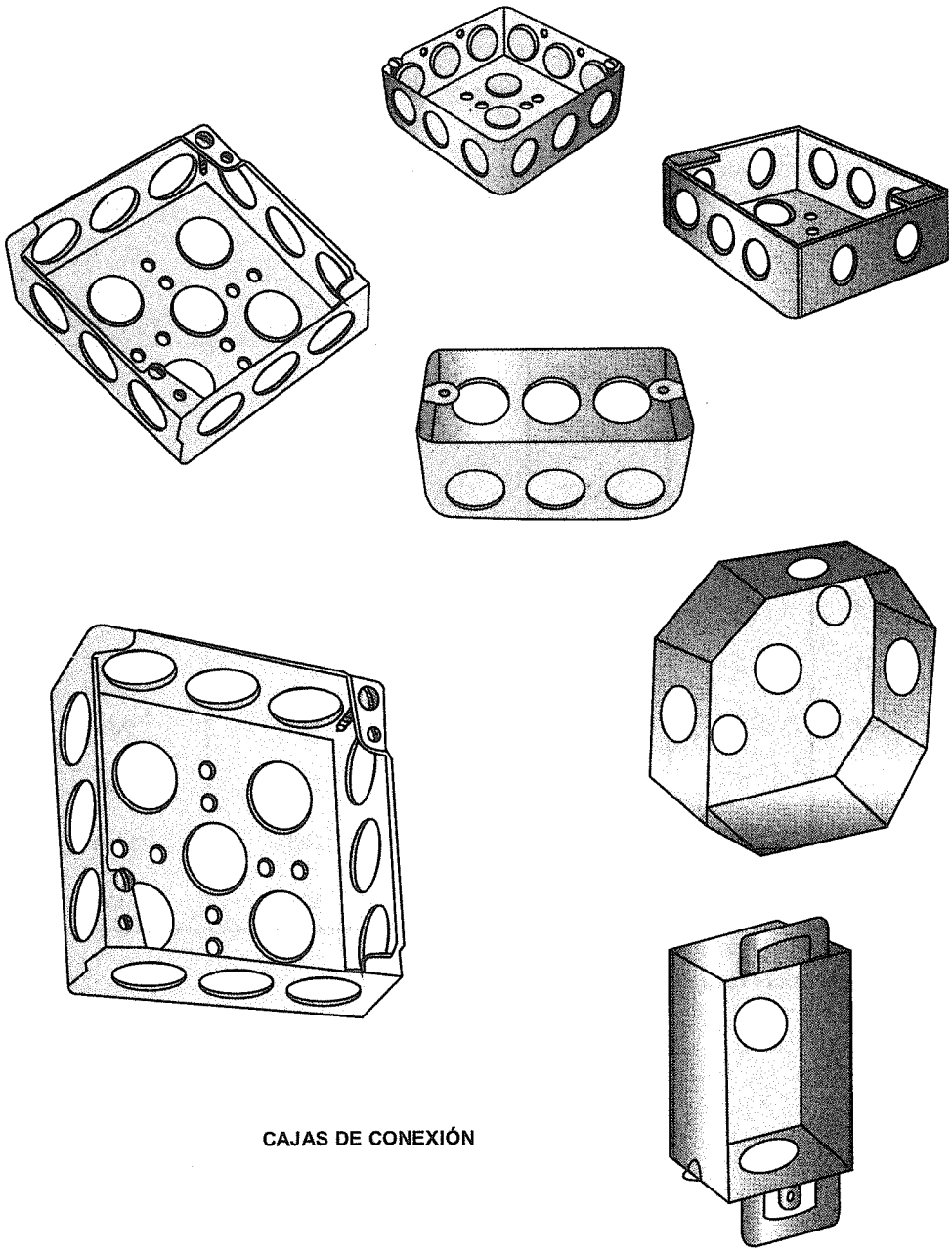
2. Dado que los valores anotados en la tabla solamente expresan las constantes, para obtener la caída de tensión en %, es necesario multiplicar los valores de la tabla por la longitud del circuito en metros, en un sólo sentido y por la corriente en amperes que circule por el mismo.

TABLA 2.15

DIMENSIONES DE TUBO CONDUIT Y ÁREA DISPONIBLE PARA LOS CONDUCTORES					
DIÁMETRO NOMINAL		DIÁMETRO INTERIOR (mm)	ÁREA INTERIOR TOTAL (mm^2)	ÁREA DISPONIBLE PARA CONDUCTORES (mm^2)	
mm	plg			40% (PARA 3 CONDUCTORES O MÁS)	30% (PARA 2 CONDUCTORES)
13	$\frac{1}{2}$	15.81*	196	78	59
19	$\frac{3}{4}$	21.30*	356	142	107
25	1	26.50*	552	221	166
32	$1\frac{1}{4}$	35.31*	979	392	294
38	$1\frac{1}{2}$	41.16*	1331	532	399
51	2	52.76*	2186	874	656
63	$2\frac{1}{2}$	62.71**	3088	1235	926
76	3	77.93**	4769	1908	1431
89	$3\frac{1}{2}$	90.12**	6378	2551	1913
102	4	102.26**	8213	3285	2464

**** Corresponde al tubo metálico tipo ligero.***

***** Corresponde al tubo metálico tipo pesado.***



CAJAS DE CONEXIÓN

TABLA 2.16

NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES EN CAJAS DE CONEXIÓN					
DIMENSIONES DE LAS CAJAS	VOLUMEN (plg^3)	MÁXIMO NÚMERO DE CONDUCTORES			
		No. 14	No. 12	No. 10	No. 8
$3\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{2}$ *octagonal*	10.9	5	4	4	3
$3\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ *octagonal*	11.9	5	5	4	3
$4 \times 1\frac{1}{2}$ *octagonal*	17.1	8	7	6	5
$4 \times 2\frac{1}{8}$ *octagonal*	23.6	11	10	9	7
$4 \times 1\frac{1}{2}$ *cuadrada*	22.6	11	10	9	7
$4 \times 2\frac{1}{8}$ *cuadrada*	31.9	15	14	12	10
$411/16 \times 1\frac{1}{2}$ *cuadrada*	32.2	16	14	12	10
$411/16 \times 2\frac{1}{8}$ *cuadrada*	46.4	23	20	18	15
$3 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$ *Dispositivo*	7.9	3	3	3	2
3 x 2 x 2 *Dispositivo*	10.7	5	4	4	3
$3 \times 2 \times 2\frac{1}{4}$ *Dispositivo*	11.3	5	5	4	3
$3 \times 2 \times 2\frac{1}{2}$ *Dispositivo*	13	6	5	5	4
$3 \times 2 \times 2\frac{3}{4}$ *Dispositivo*	14.6	7	6	5	4
$3 \times 2 \times 3\frac{1}{2}$ *Dispositivo*	18.3	9	8	7	6
$4 \times 2\frac{1}{8} \times 1\frac{1}{2}$ *Dispositivo*	11.1	5	4	4	3
$4 \times 2\frac{1}{8} \times 1\frac{7}{8}$ *Dispositivo*	13.9	6	6	5	4
$4 \times 2\frac{1}{8} \times 2\frac{1}{8}$ *Dispositivo*	15.6	7	6	6	5

TABLA 2.17

CANTIDAD DE CONDUCTORES ADMISIBLES EN DUCTOS DE LÁMINA					
Calibre AWG ó MCM	Sección transversal de conductores (mm^2)	Ductos de Lámina			
	1 Vinanel Nylon	2 Vinanel 900, TW, TWH, RHW	3 Dimensiones (CM)	4 Sección transversal total mm^2	5 30% de sección transversal
14	5.90	8.30	6 X 6	3600	1080
12	7.90	10.64			
10	12.30	13.99	10 X 10	10000	3000
8	21.10	26.70	15 X 15	22500	
6	34.20	49.26	**PARA USO DE ESTA TABLA**		
4	55.15	65.61	I		
2	77.00	89.42	Determinar cantidad tipo y calibre de conductores a canalizar.		
1/0	123.50	143.99	II		
2/0	147.60	169.72	Sumar sus secciones transversales de acuerdo con columnas 1 y 2.		
3/0	176.70	201.06	III		
4/0	211.20	239.98	Escoger ducto adecuado en columna 5.		
250	261.30	298.65			
300	302.60	343.07	NOTA:		
400	384.30	430.05	Se recomienda usar el 30% de la sección y 30 conductores máximo.		
500	463.00	514.72			

TABLA 2.18

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN DE CONDUCTORES										
ANTILLAMA 60 (TW) Y VINANEL ANTILLAMA 90										
CALIBRE AWG O MCM	ANTILLAMA 60 (TW) (60°C) 600V				VINANEL ANTILLAMA 90 (THW) (90°C 600V)					
	I AMPERES		DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL (Plg.) (1)	PESO kg/km (2)	I AMPERES				DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL (Plg.) (1)	PESO kg/km (2)
	CONDUIT 1 A 3 CONDUCTOR	AIRE LIBRE (CHAROLA) 1 CONDUCTOR			CONDUIT (1-3 COND)		AIRE LIBRE (CHAROLA) 1			
					75°C	90°C	75°C	90°C		
20	3	3	.088	9.3						
18	5	5	.098	12.9						
16	8	8	.107	18.4						
14	15	20	.1356	29.2	15	25	20	30	.1365	28.6
12	20	25	.1546	42.5	20	30	25	40	.1555	41.7
10	30	40	.1786	63	30	40	40	55	.1795	62.1
8	40	55	.240	105.3	45	50	65	70	.242	103.6
6	55	80	.309	170.4	65	70	95	100	.311	167.5
4	70	105	.357	252.9	85	90	125	135	.359	249.4
2	95	140	.417	380.9	115	120	170	180	.419	376.5
1/0	125	195	.537	606.3	150	155	230	245	.540	599.3
2/0	145	225	.583	747.1	175	185	265	285	.586	739.2
3/0	165	260	.634	922.5	200	210	310	330	.637	913.7
4/0	195	300	.692	1143.1	230	235	360	385	.695	1133.1
250					255	270	405	425	.769	1346.5
300					285	300	445	480	.824	1595.7
350					310	325	505	530	.875	1843.7
400					335	360	545	575	.922	2089.8
500					380	405	620	660	1.007	2580.4
600					420	455	690	740	1.117	3111.5
750					475	500	785	845	1.222	3844.4
1000					545	585	935	1000	1.376	5050.8

CABLE VULCANEL XLP, TIPO RHW-RHH, 600 VOLTS							
Calibre AWG O MCM	Diámetros		Peso Kg/Km	Capacidad de conducción de corriente (AMPERES)			
	Conductor	Exterior		Hasta 3 cables en ducto o directamente		En charolas y al aire libre	
	mm	mm		a 75°C	a 90°C	a 75°C	a 90°C
14	1.6	4.0	30	16	16	20	20
12	2.0	4.4	40	22	21	25	25
10	2.6	4.9	65	33	32	40	40
8	3.7	6.8	102	55	59	70	80
6	4.3	7.4	156	71	81	95	105
4	5.4	8.5	234	93	102	125	140
2	6.8	9.9	356	126	140	170	190
1/0	8.6	12.7	560	165	183	230	260
2/0	9.6	13.7	692	192	210	265	300
3/0	10.8	14.9	853	220	243	310	350
4/0	12.1	16.2	1068	253	280	360	405
250	13.3	18.2	1278	280	313	405	455
300	14.5	19.5	1514	313	345	455	505
400	16.7	21.7	2000	368	410	545	615
500	18.8	23.7	2462	418	464	620	700
750	23.2	28.9	3715	522	577	785	885
1000	26.9	32.6	4905	599	664	935	1055

TABLA 2.19

FACTOR DE CAÍDA DE TENSIÓN UNITARIA MILIVOLTS/AMPER-METRO (FC)						
CALIBRE AWG O MSM	MONOFÁSICO		BIFÁSICO		TRIFÁSICO	
	CONDUIT		CONDUIT		CONDUIT	
	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO
14	21.54	21.54	10.77	10.77	18.65	18.65
12	13.56	13.56	6.78	6.78	11.74	11.74
10	8.52	8.52	4.26	4.26	7.38	7.38
8	5.36	5.36	2.68	2.68	4.64	4.64
6	3.37	3.37	1.69	1.69	2.92	2.92
4	2.12	2.12	1.06	1.06	1.84	1.84
2	1.35	1.33	0.68	0.67	1.18	1.16
1/0	0.86	0.84	0.43	0.42	0.74	0.73
2/0	0.68	0.67	0.34	0.34	0.59	0.59
3/0	0.55	0.53	0.28	0.27	0.48	0.47
4/0	0.44	0.42	0.22	0.21	0.38	0.36
250	0.38	0.36	0.19	0.18	0.33	0.31
300	0.32	0.30	0.16	0.15	0.28	0.26
350	0.27	0.26	0.14	0.13	0.24	0.23
400	0.24	0.22	0.12	0.11	0.21	0.19
500	0.20	0.18	0.10	0.09	0.17	0.16
600	0.17	0.15	0.09	0.08	0.16	0.14
750	0.14	0.12	0.07	0.06	0.12	0.10
1000	0.12	0.09	0.06	0.05	0.10	0.09

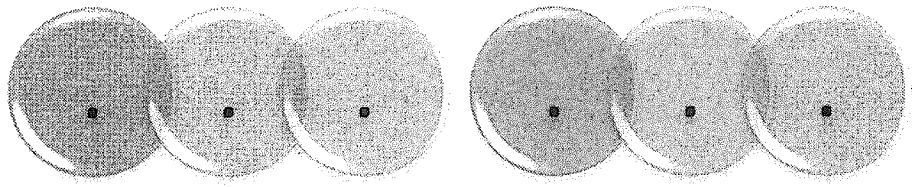
$$\% e = \frac{Fc \, x \, L \, x \, I}{10 \, x \, Vn}$$

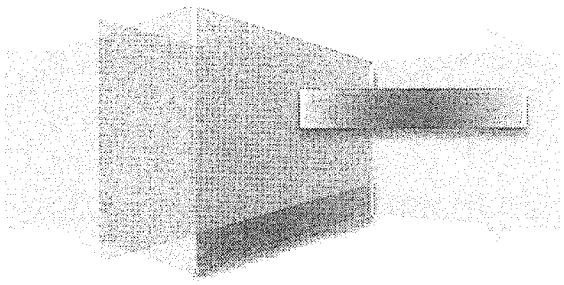
L= Longitud del circuito en metros.
Fc= Factor de caída de voltaje en volts.
I= Corriente en amperes.
%= Porciento de caída de voltaje.

NOTAS RELATIVAS A LAS TABLAS ANTERIORES

1. Las corrientes de los motores consideran la eficiencia de los mismos.

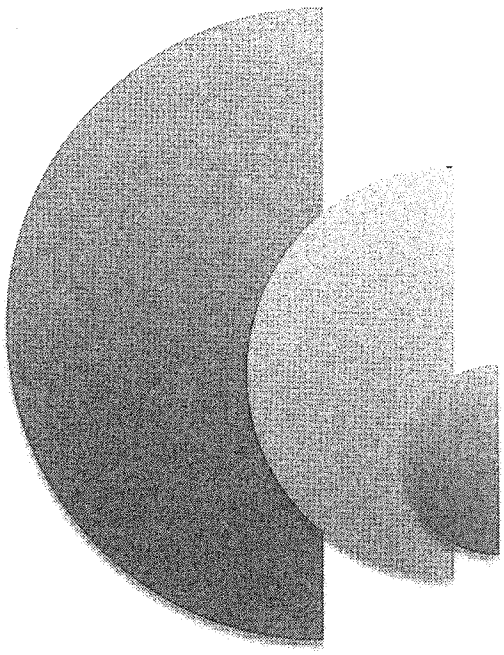
2. Se entra a la tabla con la corriente del motor y la longitud del circuito derivado, y en el cuerpo se encuentra el calibre del conductor.

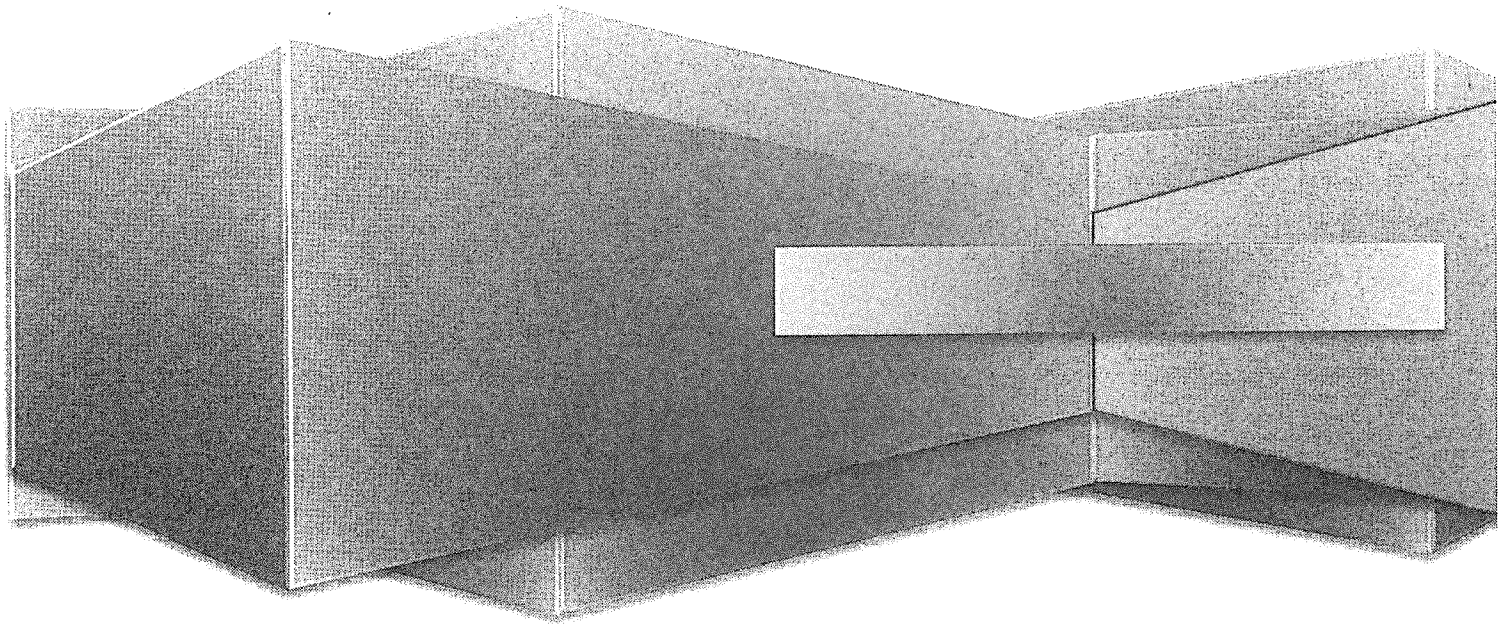




3

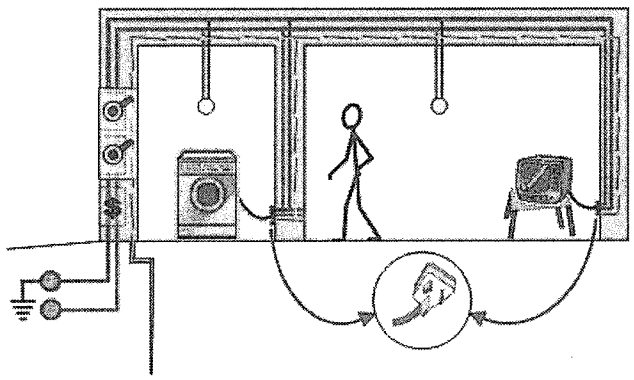
CÁLCULOS DE CIRCUITOS DERIVADOS Y ALIMENTADORES PARA ALUMBRADO Y MOTORES ELÉCTRICOS





CÁLCULOS DE CIRCUITOS DERIVADOS Y ALIMENTADORES PARA ALUMBRADO Y MOTORES ELÉCTRICOS

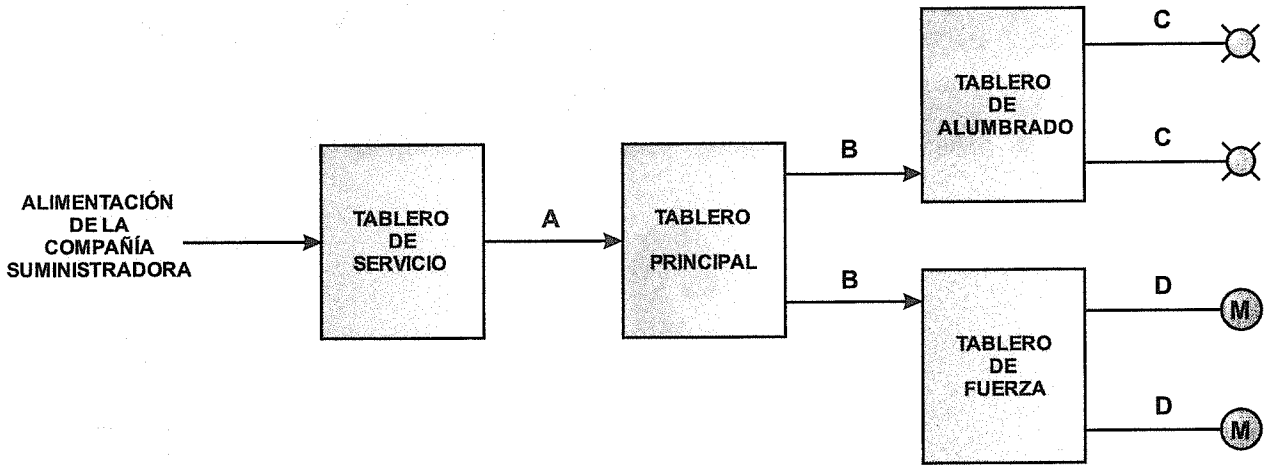
3



3.1 INTRODUCCIÓN

Las instalaciones eléctricas comerciales e industriales básicamente consisten de elementos para alimentar, controlar y proteger dos tipos de cargas, ***alumbrado y fuerza***. Los conceptos básicos para el cálculo de instalaciones eléctricas de alumbrado o cargas pequeñas de fuerza han sido tratados con suficiente detalle en el libro **"EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES"** del autor, por lo que en esta parte sólo se hará una breve mención de este tema, enfocando más hacia las instalaciones eléctricas de alumbrado en oficinas y comercios, para poner mayor atención a las instalaciones eléctricas de fuerza.

El concepto elemental de circuito derivado y alimentador en una instalación eléctrica se ha tratado en el Capítulo 2, donde por medio de un diagrama de bloques se hace mención a esta parte de las instalaciones eléctricas, un breve resumen se da en la figura siguiente.



De la figura anterior:

A. Representa a los conductores que llevan la potencia de la compañía suministradora al tablero principal.

B. Representa a los conductores que alimentan a los circuitos de alumbrado y fuerza, del tablero principal.

C. Son los **"CIRCUITOS DERIVADOS"** del tablero de alumbrado a las cargas de alumbrado.

D. Son los **"CIRCUITOS DERIVADOS"** del tablero de fuerza a las cargas de fuerza (motores).

La alimentación de alumbrado a edificios de departamentos, centros comerciales o edificios de oficinas se hace normalmente de un sistema trifásico, para lo cual se puede hacer uso de tableros de alumbrado que consisten básicamente de tres barras de cobre montadas en una caja metálica aislada, usando un neutro como referencia.

Estos tableros se denominan por lo general **"TABLEROS DE ALUMBRADO"**, aun cuando las ramas o circuitos que salen de este no sean siempre para alimentar alumbrado, ya que se pueden alimentar cargas pequeñas que se conectan en contactos.

El diagrama elemental de estos tableros de alumbrado trifásico es el que se muestra a continuación:

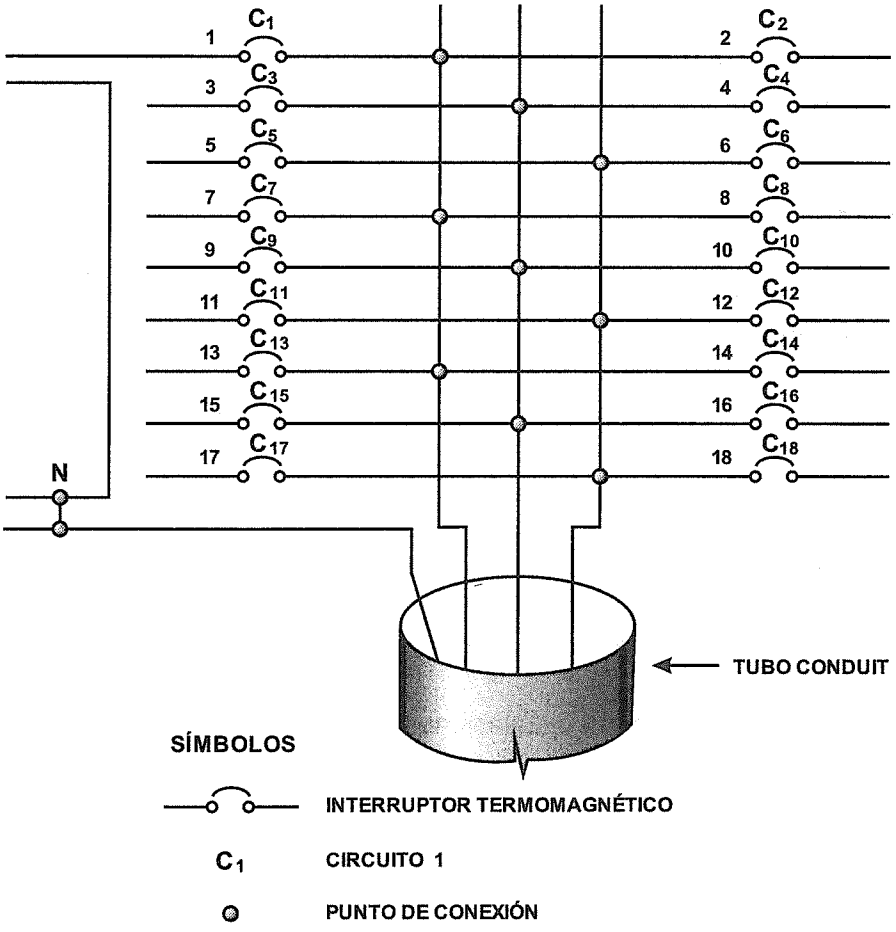


DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UN TABLERO DE ALUMBRADO

3.2 CIRCUITOS DERIVADOS

Existe una clasificación para los distintos tipos de circuitos derivados típicos y las reglas del *Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas (Normas Técnicas)* están orientadas hacia los métodos de cálculo de estos circuitos.

De acuerdo con las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (Sección 101) de México. Un circuito derivado se define como: *El conjunto de los conductores y demás elementos de cada uno de los circuitos que se extienden desde los últimos dispositivos de protección contra sobre corriente donde termina el circuito alimentador hacia las salidas de las cargas.*

La **"salida"** en una instalación eléctrica de utilización es la caja de conexiones de la cual se toma la alimentación para una o varias cargas eléctricas determinadas, tales como: las de luminarias, motores, contactos, etc.

3.2.1 APLICACIÓN.

Esta sección se aplica a los circuitos derivados que alimentan unidades de alumbrado, aparatos domésticos y comerciales o a combinaciones de estas cargas, en instalaciones de utilización de baja tensión.

3.2.2 CLASIFICACIÓN.

Los circuitos derivados se clasifican de acuerdo con la capacidad o ajuste de su dispositivo de protección contra sobrecorriente, el cual determina la capacidad nominal del circuito, aunque por alguna razón se usarán conductores de mayor capacidad.

Con relación a las Normas Técnicas para instalaciones eléctricas se deben aportar las siguientes recomendaciones.

3.2.3 IDENTIFICACIÓN DE CONDUCTORES O TERMINALES QUE SE CONECTAN A TIERRA.

General: Se recomienda que cuando los sistemas de canalización interiores tengan un conductor conectado a tierra, se identifique dicho conductor continuamente a todo lo largo del sistema con un color blanco o gris.

Conexiones a portalámparas: Cuando un conductor conectado a tierra alimente a un portalámparas, deberá conectarse al casquillo-roscado en el que se atornilla la lámpara. Esto no se aplica a casquillos roscados que sirvan como portafusibles.

Identificación de terminales: En todos los dispositivos provistos de terminales para conexión de conductores deberán marcarse claramente las terminales para indicar a qué conductor deben conectarse, salvo los casos en que sea indiferente o evidente donde debe conectarse cada una de ellas o que queden expresamente exceptuadas en las normas técnicas.

Manera de identificar las terminales: Se recomienda que la identificación de las terminales que deban conectarse a tierra se haga por medio de un baño de metal blanquecino, como níquel o zinc, o bien que las terminales o bornes sean de un material blanquecino.

3.2.4 CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS CIRCUITOS DERIVADOS.

Las disposiciones de este artículo deberán aplicarse a circuitos derivados de los conductores alimentadores, que abastezcan cargas de alumbrado o de aparatos domésticos o comerciales o a combinaciones de dichas cargas. Cuando se conecten motores, aparatos accionados por éstos u otras cargas especiales, deberán aplicarse las disposiciones que se establecen en los artículos referentes a las cargas de que se trata y las que les sean aplicables de este artículo.

Clasificación: Los circuitos derivados para cargas diversas indefinidas se clasifican, de acuerdo con su protección contra sobrecorriente como: de 15, 20, 30 y 50 amperes. Cuando la carga por conectarse sea conocida, podrán usarse circuitos de capacidad que correspondan a esa carga. Las cargas individuales mayores de 50 amperes deberán alimentarse por circuitos derivados individuales.

Circuitos derivados multifilares: Los circuitos derivados considerados en este artículo, pueden instalarse como circuitos multifilares. Se entiende por circuito multifilar el compuesto de dos o más conductores a diferente potencial entre si y de un conductor que tenga la misma diferencia de potencial con respecto a cada uno de los otros conductores, por ejemplo, un circuito de 3 fases y cuatro hilos.

Colores normales de identificación: Se sugiere que al instalar los conductores de circuitos derivados multifilares, queden marcados con los colores siguientes:

- **Circuitos trifilares:** Un negro, un blanco y un rojo.
- **Circuitos tetrafilares:** Un negro, un blanco, un rojo y un azul.
- **Circuitos pentafilares:** Un negro, un blanco, un rojo, un azul y un amarillo.

Todos los conductores del mismo color deberán conectarse al mismo conducto alimentador a todo lo largo de la instalación.

Voltaje: Los circuitos derivados que abastezcan portalámparas, aparatos o contactos de capacidad normal de 15 amperes o menos, deberán exceder de 150 volts a tierra, con las excepciones siguientes:

1. En establecimientos industriales el voltaje puede ser hasta de 300 volts a tierra, para circuitos derivados que abastezcan únicamente unidades de alumbrado que estén colocadas a más de 2.40 metros de altura sobre el piso y que no tengan interruptores como parte integrante de las unidades.

Circuitos derivados para distintas clases de cargas. Se recomienda que se instalen circuitos derivados separados para las cargas siguientes:

a) Alumbrado y aparatos pequeños, como: relojes, radios, etc.

b) Aparatos de más de 3 amperes, como: planchas, parrillas, refrigeradores, etc. Cargas individuales mayores de 50 amperes deben alimentarse por circuitos derivados individuales, de acuerdo con la sección para clasificación.

Cálculo de la carga: Para determinar la capacidad que deben tener los circuitos derivados, se considerarán las cargas por conectarse, con los mínimos siguientes:

a) Alumbrado y aparatos pequeños: Por cada metro cuadrado del área del piso, una carga no menor que la indicada en la tabla siguiente:

TABLA 3.1

CARGAS MÍNIMAS DE ALUMBRADO Y APARATOS PEQUEÑOS	
LUGAR	**CARGA RECOMENDADA EN WATTS POR METRO CUADRADO**
ANFITEATROS O AUDITORIOS	10
BANCOS	30
BODEGAS O ALMACENES	25
CASA PARA HABITACIÓN	20
CLUBES O CASINOS	20
EDIFICIOS INDUSTRIALES	20
EDIFICIOS DE OFICINAS	30
ESCUELAS	30
ESTACIONAMIENTOS COMERCIALES	5
HOSPITALES	20
HOTELES, INCLUYENDO CASA DE APARTAMENTOS SIN APARATOS ELÉCTRICOS PARA COCINAR	20
IGLESIAS	10
PELUQUERÍAS Y SALONES DE BELLEZA	30
RESTAURANTES	20
TIENDAS	30
APARADORES DE TIENDAS O COMERCIOS	60 Watts/metro

Al determinar la carga sobre la base de watts por metro cuadrado, el área del piso deberá calcularse con la superficie cubierta del edificio, apartamento o local de que se trate y el número de pisos, sin incluir pórticos, garajes anexos o casas habitación, ni otros lugares donde se necesite normalmente alumbrado.

b) **Aparatos de más de 3 amperes:** Por cada contacto destinado a conectar aparatos de más de 3 amperes, se considerará una carga no menor de 5 amperes. Cuando en un mismo cuarto se instalen varios contactos que no se usen simultáneamente, se podrá calcular una carga no menor de 5 amperes por cada tres contactos.

c) **Hilo neutro:** Cuando haya hilo neutro en el circuito derivado, la carga que se considere para el neutro no deberá ser menor que el desequilibrio máximo de la carga en el circuito.

3.2.5 CONDUCTOR DE CIRCUITOS DERIVADOS.

Los conductores de circuitos derivados se sujetarán a lo siguiente:

a) **Capacidad de conducción:** Serán de calibre suficiente para conducir la corriente del circuito derivado y deberán cumplir con las disposiciones de caída de voltaje y capacidad térmica.

b) **Sección mínima:** La sección de los conductores no deberá ser menor que la correspondiente al calibre número 14 para circuitos de alumbrado y aparatos pequeños, ni menor que la del número 12 para circuitos que alimenten aparatos de más de 3 amperes.

Los alambres y cordones pertenecientes a unidades de alumbrado o aparatos que se usen para conectarlos a las salidas de los circuitos derivados pueden ser de menor sección, siempre que su corriente permitida según sea suficiente para la carga de las unidades o aparatos, y que no sean de calibre más delgado que el:

- Número 18, cuando se conecten a circuitos derivados de 15 amperes.
- Número 16, cuando se conecten a circuitos derivados de 20 amperes.
- Número 14 cuando se conecten a circuitos de 30 amperes.
- Número 12 cuando se conecten a circuitos de 50 amperes.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE.

Cada conductor no conectado a tierra de un circuito derivado deberá protegerse contra corrientes excesivas por medio de dispositivos de protección contra sobrecorriente. La capacidad de estos dispositivos, cuando sean o no ajustables, deberá ser como sigue:

a) No deberá ser mayor que la corriente permitida para los conductores del circuito.

b) Si el circuito abastece únicamente a un solo aparato con capacidad de 10 amperes o más, la capacidad o ajuste del dispositivo contra sobrecorriente no deberá exceder del 150% de la capacidad del aparato.

c) Los alambres y cordones para circuitos derivados pueden considerarse protegidos por el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito derivado.

Dispositivos de salida.

Los dispositivos de salida de los circuitos derivados deberán cumplir con lo siguiente:

a) **Portalámparas:** Los portalámparas deberán tener una capacidad no menor que la carga por servir y se recomienda que cuando estén conectados a circuitos derivados con capacidad de 20 amperes o más, sean del tipo para servicio pesado.

b) **Contactos:** Los contactos deberán tener una capacidad no menor que la carga por servir y se recomienda que cuando estén conectados en circuitos derivados con dos o más salidas, tengan las siguientes capacidades:

Capacidad del circuito	Capacidad de los contactos
15 Amps	No mayor de 15 Amps
20	20
30	20 ó 30
50	50

Los contactos conectados a circuitos de más de 150 volts entre conductores, deberán ser de una construcción tal que, las clavijas usadas en circuitos de otros voltajes, en los mismos lugares, no pueden insertarse en ellos.

Conductores y alimentadores.

Calibre de los conductores alimentadores. Los conductores alimentadores no deberán ser de calibre más delgado que el que corresponda, de acuerdo a la carga por servir, y deberán cumplir con la fracción siguiente:

Caída de voltaje: La caída de voltaje desde la entrada de servicio hasta el último punto de la canalización correspondiente a la carga indicada en la tabla, no deberá ser mayor de 4% para cargas de alumbrado y 3% para cargas de motores eléctricos.

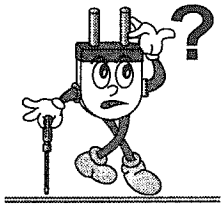
3.3 CIRCUITOS DERIVADOS PARA ALUMBRADO

Las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas permiten sólo el uso de circuitos derivados de 15 ó 20 amperes para alimentar unidades de alumbrado con portalámparas estándar. Los circuitos derivados mayores de 20 amperes se permiten sólo para alimentar unidades de alumbrado fijas con portalámparas de uso rudo. En otras palabras, los circuitos derivados de más de 20 amperes no se permiten para alimentar habitaciones unifamiliares o edificios de departamentos.

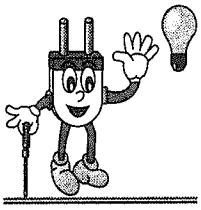
En la solución de cierto tipo de problemas en las instalaciones eléctricas, es necesario calcular el número de circuitos derivados que se requieren para alimentar una carga dada. El número de circuitos derivados está determinado por la carga y se calcula como:

$$No.\,de\ circuitos = \frac{carga\ total\ en\ watts}{Capacidad\ de\ cada\ circuito\ en\ watts}$$

Un circuito de 15 amperes a 127 volts tiene una capacidad de 15 x 127 = 1905 watts. Si el circuito es para 20 amperes, a 127 volts, su capacidad es 20 x 127 = 2540 watts.



EJEMPLO 3.1 Calcular el número de circuitos derivados de 20 amperes a 127 volts, para alimentar una carga total de alumbrado de 60 000 watts. Si las lámparas son de 150 watts, calcular el número de lámparas por circuito.



SOLUCIÓN Para circuitos derivados de 20 amperes a 127 volts, la capacidad en watts es de 2540.

El número de circuitos derivados es:

$$No.\,de\ circuitos\ derivados = \frac{carga\ total\ en\ watts}{capacidad/circuito\ en\ watts} = \frac{60{,}000}{2540}$$

No. de circuitos derivados = 23.62 ó 24 circuitos.

El número de lámparas por circuito es:

$$No.\,lámparas\ por\ circuito = \frac{Capacidad\ de\ carga\ circuito\ en\ watts}{Watts\ por\ lámpara}$$

$$= \frac{2540}{150}$$

$$= 16.93 \text{ ó } 17\ lámparas$$

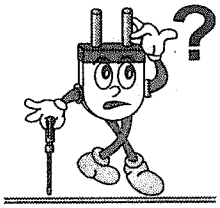
Como verificación se puede hacer:

$$La\ corriente\ por\ lámpara = \frac{150}{127} = 1.181\ amperes$$

$$No.\,de\ lámparas/circuito = \frac{corriente\ por\ circuito}{corriente/lámpara} = \frac{20}{1.181}$$

$$= 16.93 \text{ ó } 17\ lámparas$$

Para cargas específicas como salidas para lavadoras o aire acondicionado, 1.5 amperes por cada 50 centímetros, se usan circuitos de 15 ó 20 amperes.



EJEMPLO 3.2 Un pequeño edificio de departamentos tiene las siguientes cargas conectadas:

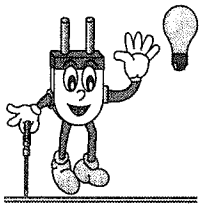
a) Una carga de 10 kW para alumbrado incandescente.

b) Una carga de 8 kW de alumbrado fluorescente que debe ser alimentada por circuitos de 30 amperes.

c) Una accesoria que tiene un aparador de 3.0 m.

d) 100 contactos dobles (dúplex) continuos.

Si las cargas se consideran continuas, calcular el número de circuitos derivados necesarios, suponiendo que se usan circuitos de 20 amperes, excepto para la carga de alumbrado fluorescente, el voltaje de alimentación es de 127 volts.



SOLUCIÓN

Para el alumbrado:

➡ Considerando un 25% por carga continua o futura a 20 A:

$$No.\,de\ circuitos = \frac{1.25\ x\ 10.000}{20\ x\ 127} = 4.92 \text{ ó } 5\ circuitos$$

➡ Para el alumbrado de aparadores (accesoria):

$$No.\,de\ circuitos = \frac{watts/m\ \ x\ longitud^{(m)}}{20\ x\ 127}$$

$$= \frac{650\ x\ 3}{20\ x\ 127} = 0.77 \text{ ó } 1\ circuito$$

Contactos:

$$No.\,de\ circuitos = \frac{1.25\ x\ 180\ \ watts/salida\ x\ 100}{20\ A\ x\ 127\ V}$$

$$= 8.85 \text{ ó } 9\ circuitos$$

➡ Lámparas fluorescentes alimentadas a 30 A:

$$No.\,de\ circuitos = \frac{1.25\ x\ 8000}{30\ x\ 127} = 2.62\ a\ 3\ circuitos$$

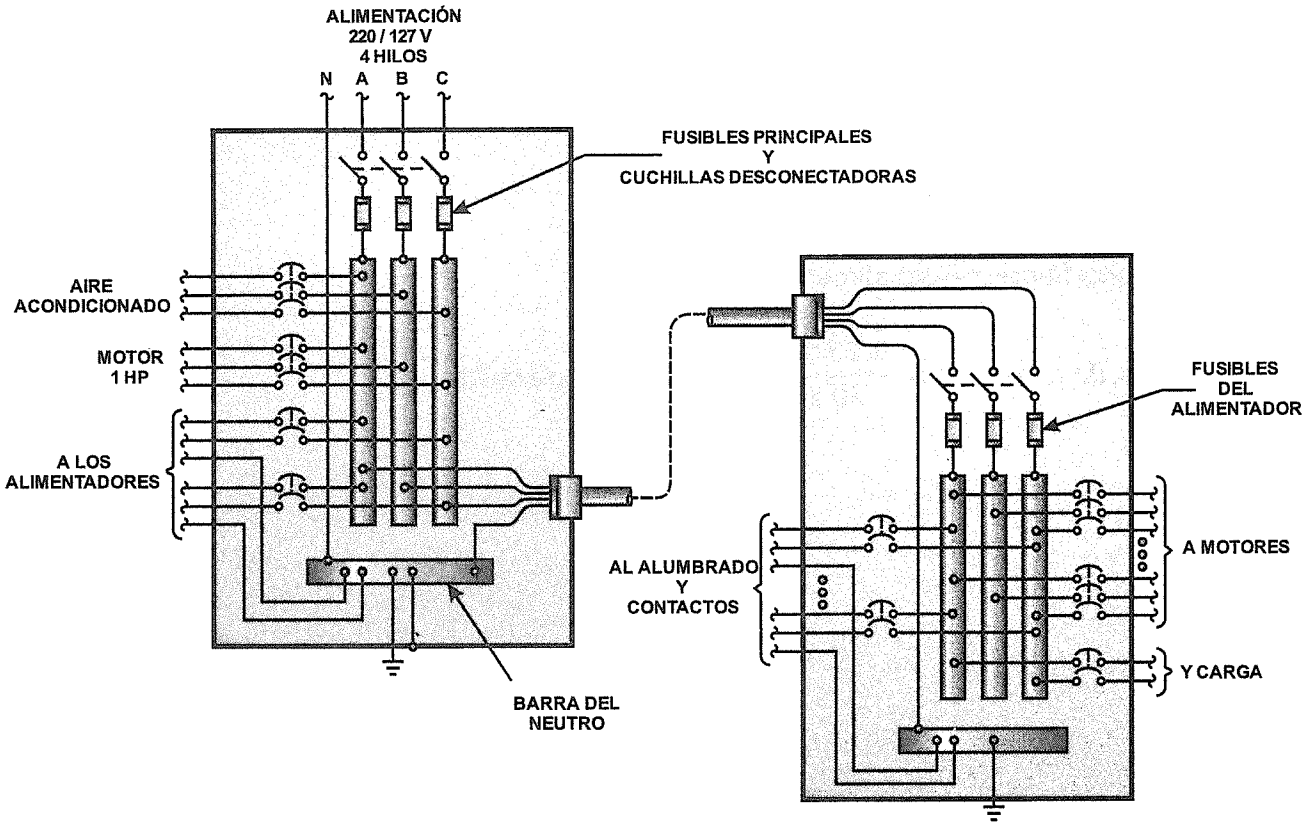
3.4 CAÍDA DE VOLTAJE PARA ALIMENTADORES DE ALUMBRADO

En la construcción de edificios habitacionales, de oficinas, o de áreas industriales, los tableros de alumbrado se localizan dentro de los muros o columnas, o en tableros generales cerrados, y pueden quedar en algunas ocasiones relativamente distantes de las cargas, debido a esto se debe considerar la máxima caída de voltaje permisible.

Si se toma en consideración que las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas limitan la caída de voltaje a un total de 5% por alimentador más el alambrado del circuito derivado y 3% máximo permitido por cada alimentador o circuito derivado, hasta alcanzar el total.

A menor longitud del conductor y a mayor sección del mismo, la caída de voltaje (IR) es menor, esto se refleja en menor costo de operación y los subsecuentes ahorros, debido a las menores pérdidas RI^2 en los conductores.

Por ejemplo, si en un circuito de 127 volts monofásicos, dimensionado para 15A, se conducen 12A continuos a plena carga (que es una suposición general), la práctica general es limitar la longitud de la trayectoria a unos 18 metros, para longitudes de trayectorias a las cargas más grandes, hasta unos 27 metros por ejemplo, con la misma carga el conductor se debe cambiar al No. 10.



SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

3.5 CIRCUITOS DERIVADOS PARA MOTORES

El cálculo del alumbrado para motores eléctricos, por lo general no se relaciona con la selección de los motores mismos. Los fabricantes de equipo motorizado (por ejemplo aire acondicionado, compresores, transformadores, ventiladores, etc.) especifican los tipos de motores y controles asociados que se requieren para una aplicación dada. Estos motores los seleccionan los ingenieros de aplicación de la compañía fabricante. Como medida general, para la selección de los motores eléctricos se deben tomar en consideración los siguientes factores:

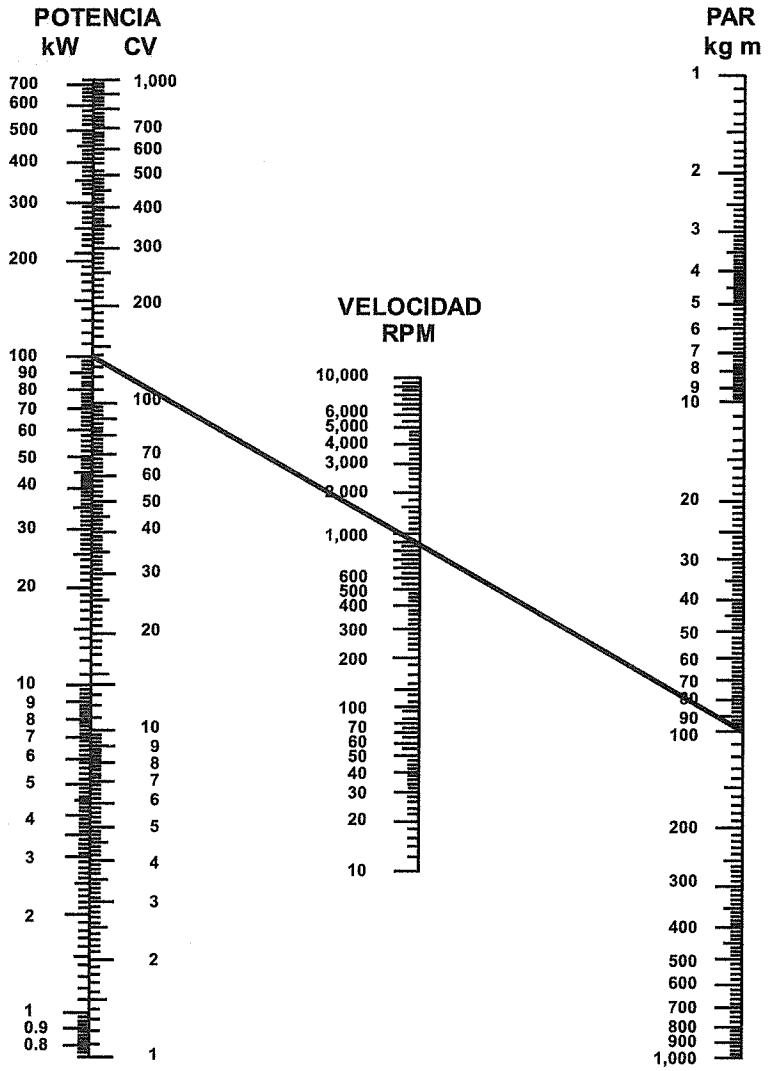
- Potencia en la entrada o la salida, expresada en HP o kilowatts.
- Características de la carga por accionar.
- Velocidad nominal en RPM.
- Tamaño de la carcaza.
- Clasificación por velocidades.
- Efecto del ciclo de trabajo.
- Temperatura ambiente.
- Elevación de temperatura en la máquina.
- Voltaje nominal.
- Tipo de carcaza y condiciones ambientales.
- Requerimientos de mantenimiento y accesibilidad.
- Frecuencia del sistema del cual se va a alimentar.
- Número de fases.

Algunos conceptos básicos de los factores anteriores se mencionan a continuación:

POTENCIA A LA SALIDA.

También se le designa como potencia en la flecha, y obviamente debe ser suficiente para accionar la carga que estará conectada a su eje. Este factor se complica ligeramente por el hecho de que un motor debe soportar sobrecargas por periodos breves. Por ejemplo, se puede tener el caso de que un motor con potencia nominal de 10 HP a 1750 RPM, con un ciclo continuo de operación a 50°C de elevación de temperatura, debe producir o entregar 15 HP a 1650 RPM pero no en forma continua, esto quiere decir que su devanado debe admitir un sobrecalentamiento de 10 a 15 minutos sin daño alguno, por lo que no se selecciona para el valor de potencia que debe entregar por corto tiempo.

Otra condición puede ser que el ciclo de trabajo sea tal que, la mayor parte del tiempo opere el motor con cargas bajas, entonces la potencia se debe seleccionar para la consideración de carga a la que el motor opere la mayor parte del tiempo, si se considera que a menor carga el motor es menos eficiente. En el nomograma siguiente, se da la relación entre el par requerido y la potencia que debe tener y la velocidad de operación.



NOMOGRAMA PARA OBTENER LA RELACIÓN ENTRE POTENCIA-VELOCIDAD Y PARA *EJEMPLO*: UN PAR DE 100 Kgm A LA VELOCIDAD DE 1000 RPM CORRESPONDE A 103 Kw.

Características de la carga por accionar.

Si una carga puede requerir de 10 HP a 1750 RPM en forma continua, puede tener otras características que dependen del tipo particular de la carga por accionar. Por ejemplo, un ventilador no requiere de un alto par de arranque, pero en cambio hay cargas que sí lo requieren, y entonces, dependiendo de su magnitud, se pueden usar motores monofásicos de corriente alterna del llamado tipo universal, o bien de arranque con capacitor, o también trifásicos con rotor devanado. Si en cambio, se tiene una carga que requiere de variación de velocidad dentro de un rango amplio, se puede pensar en otra solución, y lo mismo ocurrirá, si la velocidad es prácticamente constante. A este respecto, lo que se pretende hacer notar es que existe una amplia gama de motores eléctricos para distintas aplicaciones.

Velocidad nominal.

La velocidad de placa de un motor en RPM está dada para sus condiciones normales de operación, ya que a un motor eléctrico se le puede requerir que opere a cualquier velocidad desde el reposo hasta su velocidad nominal, o bien periódicamente operar con velocidades que varíen dentro de cierto rango; esto hace que la solución se pueda dar con distintos tipos de motores y elementos de control, por lo que constituye también un factor a considerar en su elección.

Tamaño de la carcaza.

El tamaño de las carcazas en los motores eléctricos se encuentra normalizado por la asociación de fabricantes eléctricos de los Estados Unidos *(NEMA)* y esta clasificación ha sido adoptada por la mayoría de los países que están dentro de su área de influencia comercial. Esa normalización se puede presumir como una serie de valores de diámetros de carcaza asociados a ciertas longitudes de las mismas y relacionados con la temperatura de operación y aspectos particulares. Dándose una designación comercial a cada tipo, por ejemplo, las designaciones que usan la **serie T** son los que operan con altas temperaturas y usan entonces materiales aislantes más resistentes a estas condiciones. Los de **clase A y B** son totalmente cerrados y enfriados por ventilador. La **letra S** significa con tamaño reducido de eje y existe también una clasificación con respecto al tipo de montaje.

En la tabla siguiente, se muestra esta clasificación general según las normas NEMA:

POTENCIA NOMINAL Y TAMAÑO DE CARCAZA SEGÚN NORMA NEMA PARA MOTORES JAULA DE ARDILLA									
POTENCIA EN EL EJE		VELOCIDAD SÍNCRONA							
H.P.	KW	3600		1800		1200		900	
		TAMAÑO DE CARCAZA							
0.5	0.375							182	H143T
0.75	0.56					182	H143T	184	H145T
1	0.75			182	H143T	184	H145T	213	182T
1.5	1.12	182	H143T	184	H145T	184	182T	213	184T
2	1.5	184	K145T	184	K145T	213	184T	215	213T
3	2.24	184	182T	213	182T	215	213T	254U	215T
5	3.75	213	184T	215	184T	254U	215T	256U	254T
7.5	5.6	215	213T	254U	213T	256U	254T	284U	256T
10	7.5	254U	215T	256U	215T	284U	256T	286U	284T
15	11.2	256U	254T	284U	254T	324U	284T	326U	286T
20	15	286U	256T	286U	256T	326U	286T	364U	324T
25	19	324U	284TS	324U	284T	364U	324T	365U	326T
30	22.4	326S	286TS	326U	286T	365U	326T	404U	364T
40	31.5	364US	324TS	364U	324T	404U	364T	405U	365T
50	37.5	365US	326TS	365US	326T	405U	365T	444U	404T
60	45	405US	364TS	405US	364TS	444U	404T	445U	405T
75	56	444US	365TS	444US	365TS	445U	405T		444T
100	75	445US	405TS	445US	405TS		444T		445T
125	90		444TS		444TS		445T		
150	112		445TS		445TS				

CLASIFICACIÓN POR VELOCIDAD.

Existe una clasificación por velocidad reconocida también por los fabricantes de motores eléctricos (NEMA) que se agrupa como sigue:

- ***Motores de velocidad constante.*** Que tienen una variación máxima del 20% de vacío a plena carga. Dentro de esta categoría se encuentra la mayoría de los motores de inducción.

- ***Motores de velocidad variable.*** El cambio de vacío a plena carga en la velocidad es mucho mayor del 20%, la mayoría de estos motores son los conocidos como del tipo universal.

- ***Motores de velocidad ajustable.*** Estos motores son los llamados de inducción con motor devanado.

- ***Motores de velocidad ajustable-variable.*** Son motores de inducción de rotor devanado con medios externos de control, como por ejemplo resistencia en el rotor.
- ***Motores de multivelocidad.***
- ***Motores reversibles.***
- ***Motores no reversibles.***
- ***Efecto del ciclo de trabajo.*** El ciclo de trabajo afecta en forma considerable al ciclo de operación de los motores, ya que éste puede ser continuo o alternativo, con carga aplicada en forma directa al eje o a través de mecanismos como: poleas o cajas de engranes reductores de velocidad; el par en el motor varia y puede hacer variar al voltaje de alimentación.
- ***Temperatura ambiente.*** Los motores de inducción pueden ser usados en ambientes poco comunes, como por ejemplo cercanos a hornos o equipos que operan con altas temperaturas, o bien sumergidos, como es el caso de los motores de bombas para pozo profundo. En ambos casos, la elevación de temperatura es distinta, y en consecuencia, se requiere otro tipo de motor o distinta aplicación de un cierto tipo de motor.
- ***Voltaje y corriente nominal.*** Dependiendo del voltaje y la corriente nominal, que son función de la potencia del motor, se requieren distintas características en la fuente de alimentación.
- ***Tipo de carcaza.*** El tipo de carcaza se selecciona según las condiciones de operación sean consideradas como normales o especiales, por ejemplo, sumergido en agua, a prueba de goteo, a prueba de polvo, en ambiente explosivo, etc.

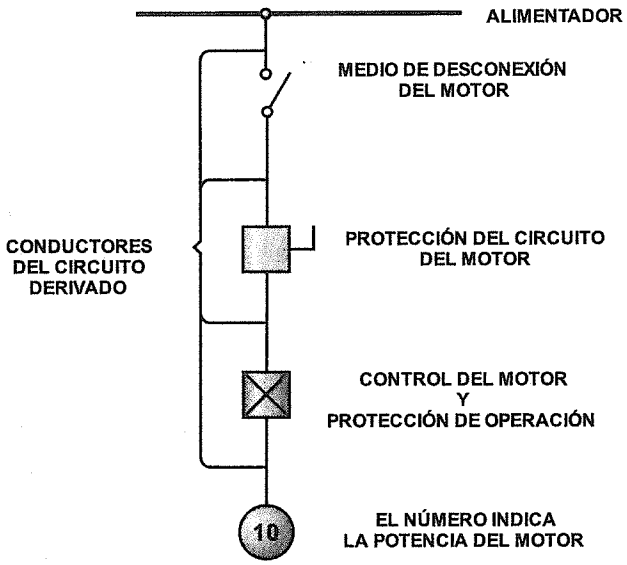
3.5.1 TAMAÑOS COMUNES DE MOTORES.

Los tamaños de motores se encuentran disponibles para los rangos de voltaje estándar de alimentación en corriente alterna, en México es a 60 HZ. Los factores como son la eficiencia y costo se consideran, de manera que en la práctica general los tamaños de los motores están siempre limitados:

- Para alimentación monofásica a 127 volts, el límite máximo práctico es de 2HP.
- Para alimentación trifásica a 220 volts o para alimentación trifásica a 220 volts, el límite es 200 HP.
- Para voltajes mayores es conveniente consultar los catálogos de fabricación.

3.5.2 EL CIRCUITO DERIVADO DE UN MOTOR EN GENERAL.

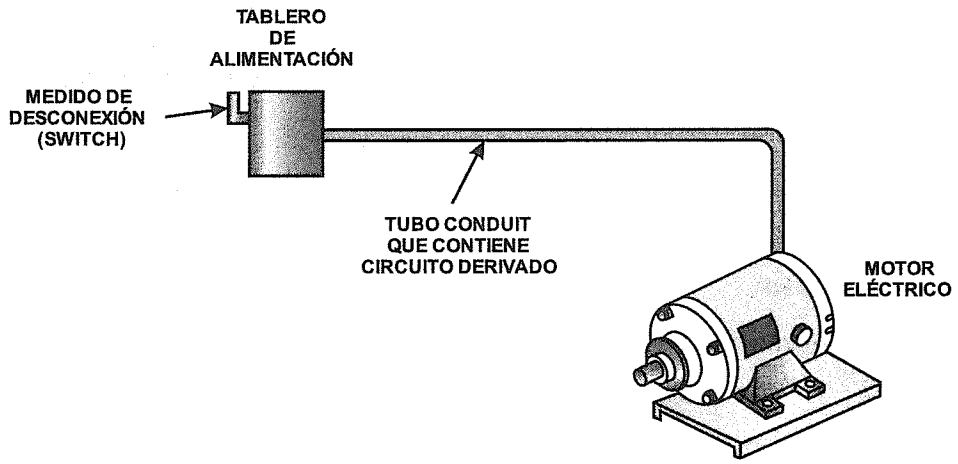
El diagrama general para el circuito derivado de los motores se muestra a continuación:



COMPONENTES DEL CIRCUITO DERIVADO DE UN MOTOR

Basándose en el diagrama general anterior, por cada circuito alimentador de un motor se requiere lo siguiente:

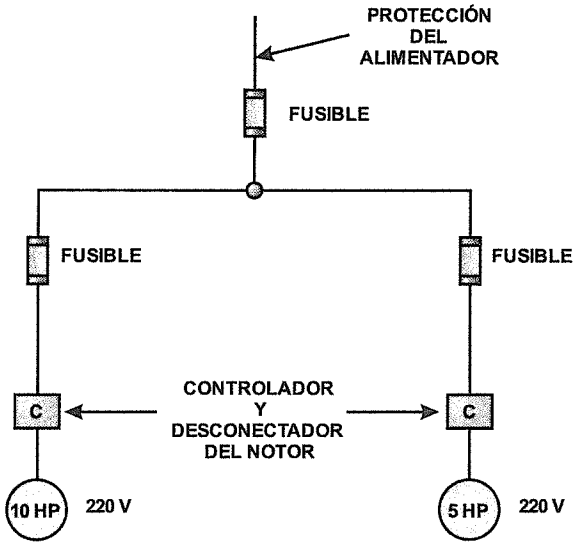
- Una fuente de alimentación (alimentador), un medio de desconexión de la fuente, el alambrado a los circuitos derivados y su ***protección,*** un elemento ***controlador*** para arrancar y parar al motor, y finalmente, una protección contra sobrecargas en el motor, que se requiere adicionalmente a la protección del circuito derivado.



INSTALACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO

Los datos de placa del motor deben tener:

- Nombre del fabricante y potencia en HP o kW.
- Voltaje nominal y corriente a plena carga.
- Frecuencia y número de fases.
- Letras de código.



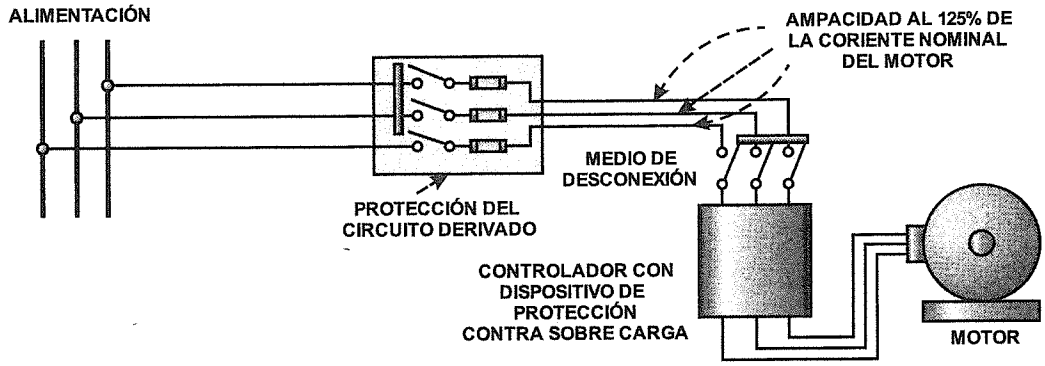
ALIMENTADOR PARA DOS MOTORES

Como se sabe, los motores fraccionarios y pequeños se arrancan directamente de la línea, pero los motores grandes, de algunos cientos y hasta miles de HP, requieren arranque indirecto de la línea, y en consecuencia, elementos de control más o menos complejos.

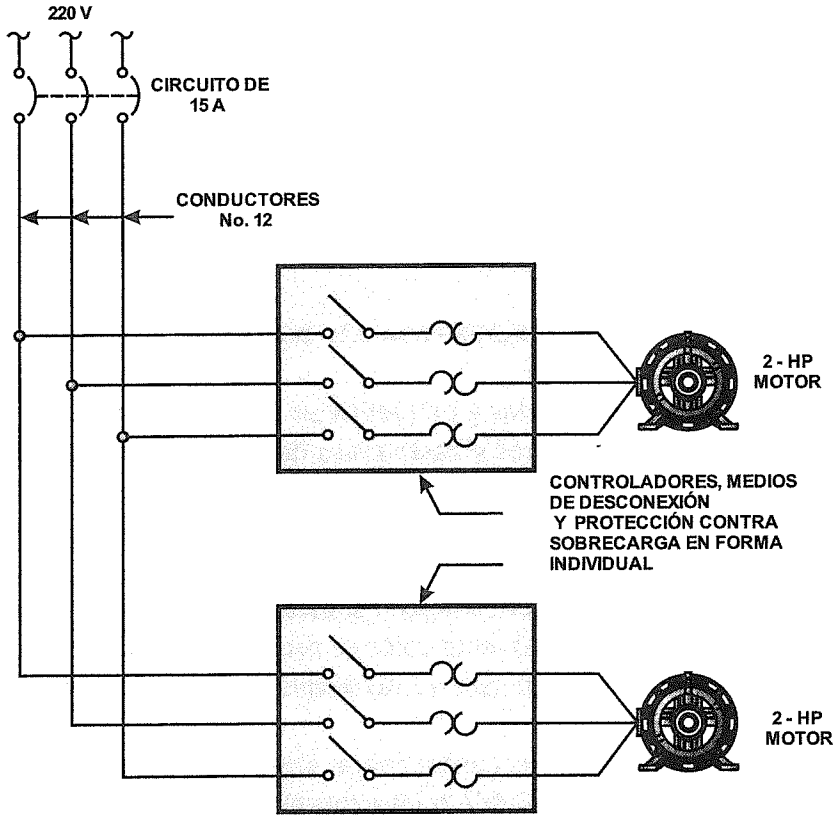
En general, los motores que se arrancan directamente de la línea tienen una corriente de arranque relativamente alta. Para algunos motores, esta corriente alcanza hasta 8 veces el valor de la corriente nominal (a plena carga), este valor se presenta cuando el motor parte de reposo hasta alcanza su velocidad nominal, en este punto decae al valor de corriente nominal.

Se requieren dos tipos de protecciones contra sobrecarga. Si el dispositivo de protección contra sobrecarga del circuito derivado es fusible o interruptor termomagnético, son suficientemente grandes y permiten el paso de las corrientes de arranque, y por lo tanto, pueden ser demasiado grandes y permitir que el motor se sobrecargue.

Para proteger al motor mismo, se requiere que se separe la protección contra sobrecorriente, de aquí se observa que se requieren los dos tipos de protección contra sobrecarga. El del alimentador y el del motor.



ELEMENTOS DE ALIMENTACIÓN A UN MOTOR ELÉCTRICO DE C.A.



DOS MOTORES ALIMENTADOS POR UN CIRCUITO DERIVADO SENCILLO

Protección contra cortocircuito del circuito derivado de un motor.

El diagrama general para el circuito derivado de motores muestra al elemento C, que constituye el elemento de protección contra sobrecorriente, que proporciona protección contra sobrecorrientes por cortocircuito, fallas a tierra, o bien sobrecargas súbitas. Este dispositivo de protección, esencialmente protege al alumbrado del circuito derivado, es decir, es básicamente una protección contra cortocircuito.

Por lo general, se usan fusibles o bien interruptores termomagnéticos instantáneos para interrumpir corrientes de falla a grandes corrientes de sobrecarga, de manera que si la corriente de arranque está dentro de su rango normal y no persiste, la protección del circuito derivado del motor permanece cerrada.

Protección contra sobrecarga en el motor.

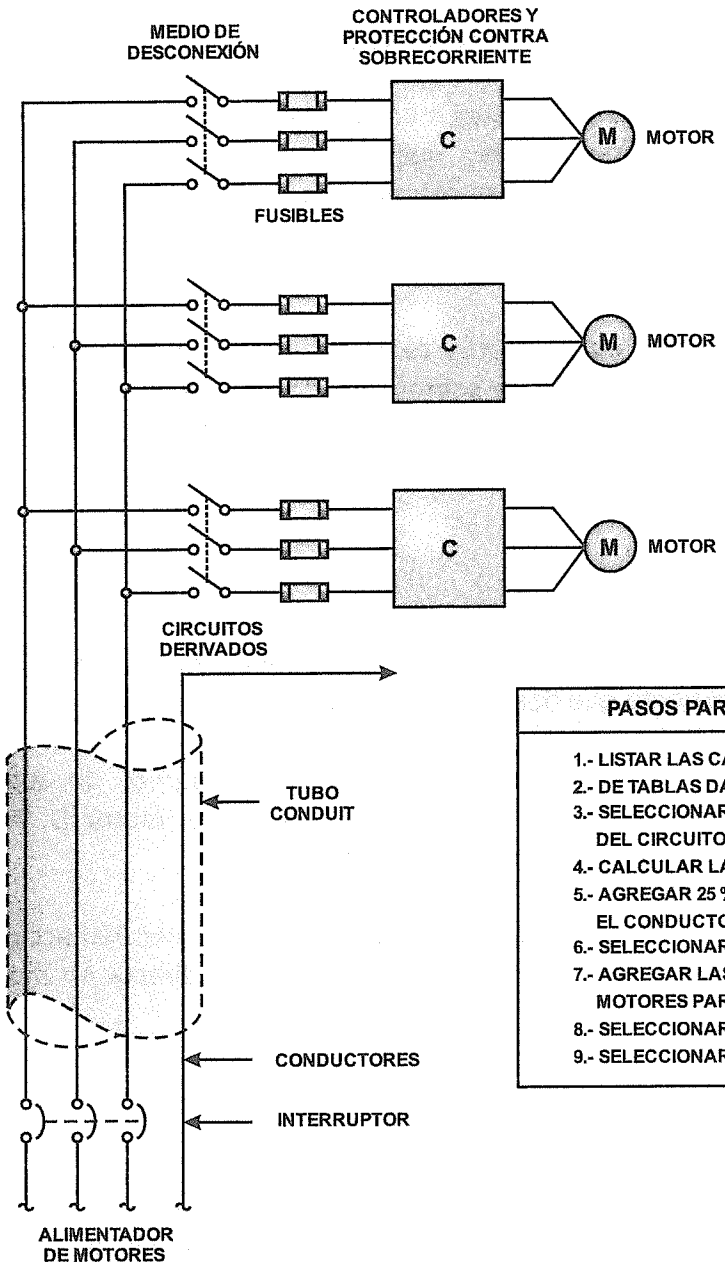
Cuando el motor se encuentra operando y la carga mecánica que acciona y está acoplada a su eje se incrementa o es excesiva, la corriente que demanda el motor también es excesiva.

En el diagrama de componentes del circuito derivado de un motor aparece un segundo elemento de protección en operación del motor junto con el control del motor D. A esta protección se le conoce como protección de sobrecarga o de sobrecorriente.

La corriente excesiva que demanda el motor hace actuar al dispositivo de protección accionado térmicamente (elemento térmico), que interrumpen el circuito en forma directa en motores pequeños o de potencia media.

Corrientes de arranque.

Los motores de gran potencia demandan de la línea de alimentación valores de corriente de arranque elevados. Las compañías suministradoras han encontrado que además de afectar el alumbrado (por bajo voltaje) en el área en donde se encuentran instalados, tales corrientes de arranque producen disturbios en el voltaje que afectan al equipo de otro usuario e inclusive sus propios aparatos eléctricos.



PASOS PARA CALCULAR EL ALÍMENTADOR

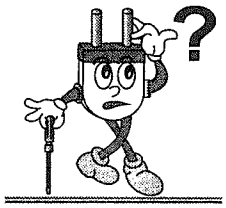
1.- LISTAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES.
2.- DE TABLAS DAR LAS CORRIENTES A PLENA CARGA.
3.- SELECCIONAR TIPO Y TAMAÑO DE LA PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO.
4.- CALCULAR LA CORRIENTE A PLENA CARGA.
5.- AGREGAR 25 % A LA CORRIENTE TOTAL Y CALCULAR EL CONDUCTOR.
6.- SELECCIONAR EL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN MAYOR.
7.- AGREGAR LAS CORRIENTES A PLENA CARGA DE OTROS MOTORES PARA CALCULAR LA PROTECCIÓN.
8.- SELECCIONAR DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.
9.- SELECCIONAR TUBO CONDUIT Y OTROS ELEMENTOS.

PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE ALIMENTADORES

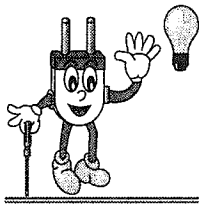
Debido a lo anterior, se deben limitar tales corrientes de arranque, y es así que los motores grandes se arrancan por medio de autotransformador o bien resistencias o reactores, que reducen el voltaje de arranque del motor.

3.5.3 EL CÁLCULO DE LOS ALIMENTADORES PARA MOTORES ELÉCTRICOS.

Cuando se alimenta a un motor en forma individual, la capacidad de conducción de corriente (ampacidad) de los conductores del circuito derivado debe ser al menos 125% de la corriente a plena carga o nominal del motor.



EJEMPLO 3.3 En la instalación eléctrica de un motor de inducción se usan conductores THW. Calcular el calibre de conductor requerido para el alimentador del motor de 3 HP, si se alimenta a 220 volts.



SOLUCIÓN Para un motor trifásico jaula de ardilla con par de arranque normal, la corriente a plena carga (de tablas) a 220 V y 3 HP es 10 amperes, el conductor se calcula para:

$$I = 1.25\, I_N = 1.25\, x\, 10 = 12.5\, A$$

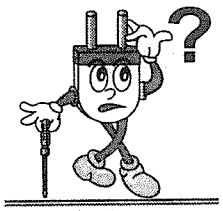
Consultando la tabla de ***Capacidad de Corriente para Conductores*** en el Capítulo 2, para tres conductores en tubo conduit con una corriente de 12.5 A, se requiere conductor THW del No. 14; sin embargo, el mínimo permisible es el No. 12 THW.

Cuando se alimenta más de un motor, la capacidad de corriente (ampacidad) del conductor es la suma de 1.25 veces la corriente a plena carga del motor mayor, más la suma de las corrientes a plena carga del resto de los motores.

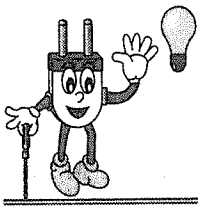
$$I_{TPC} = 1.25\, I_{MPC} + \sum I_{MPC}$$

DONDE:

$I_{T\,PC}$ = Corriente total a plena carga en amperes.
I_{MPC} = Corriente a plena carga del motor mayor en amperes.
$\sum I_{MPC}$ = Corriente a plena carga de otros motores en amperes.



EJEMPLO 3.4 Calcular el calibre del conductor THW requerido, si al motor de 3HP, 220 volts, trifásicos, del ejemplo anterior, se le agregan a su circuito derivado otro motor trifásico, similar de 2HP cada uno.



SOLUCIÓN El motor más grande los dos es el de 3HP, que como se determinó en el ejemplo 10 Amperes. Para el motor de 2HP volts, la corriente a plena carga es de 7.1 amperes. Por lo tanto, la corriente total es:

$$I_{TPC} = 1.25\, I_{MPC} + I_{MPC}$$
$$= 1.25\, x\, 10 + 7.1$$
$$= 19.6\, Amperes$$

Consultando la tabla de Conductores, para 3 conductores THW en tubo conduit, se requiere conductor No. 12 AWG.

3.5.4 MEDIOS DE DESCONEXIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR.

Los medios de desconexión del circuito derivado del motor están localizados lo más cerca posible a la alimentación *(Elemento B del diagrama general),* y por lo tanto, son capaces de desconectar al motor y controlar al alimentador, así como al alambrado del propio circuito derivado.

Cuando se usan desconectadores de navajas (switch), por lo general se hace con fusibles, de otra forma se usan interruptores termomagnéticos (circuito derivado un medio de desconexión y protección).

Por razones de seguridad, el elemento controlador debe estar siempre a la vista del medio desconectador, es decir, que un dispositivo y otro estén siempre a la vista, esto quiere decir que la distancia entre uno y otro no sea mayor de 15 metros.

Adicionalmente, se requiere que los medios de desconexión tengan claramente indicadas las posiciones de **"abierto"** y **"cerrado"**. Cuando los medios de desconexión son desconectadores de navajas, están relacionados con la potencia en HP del motor, mientras que si usa desconectador de navajas o interruptor termomagnético indistintamente, se dimensionan para un 115% de la corriente a plena carga continua del motor.

Por lo general, cada motor tiene un medio de desconexión individual, ya sea por medio de interruptor tipo navajas (switch) o por medio de interruptor termomagnético, y sólo excepcionalmente se permite el uso de estos dispositivos para grupos.

3.5.5 PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR.

El medio de protección del circuito derivado es común que sea un interruptor termomagnético, o bien fusibles instalados en la misma caja que las cuchillas desconectadoras.

El dispositivo de protección del circuito derivado, cualquiera que éste sea, está diseñado para desconectar al motor del circuito, en caso de cambios bruscos en la corriente que demanda, o bien corrientes de arranque excesivas, a este tipo de protección se le conoce frecuentemente como **"protección contra circuito"**.

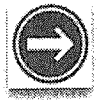
3.5.6 EL SIGNIFICADO DE LAS LETRAS DE CÓDIGO EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Las letras de código en los motores eléctricos, representan una medida de la corriente que demanda el arranque, o sea, lo que se dice a rotor bloqueado, que significa con velocidad inicial cero. Son consideradas como un elemento que interviene en la selección de la protección del motor.

Es común que las letras de código se expresen en unidades de kilo-volt amperes/caballo de potencia (KVA/HP). En consecuencia, si la potencia de un motor en HP y su letra de código se leen de sus datos de placa, se puede calcular en forma muy sencilla los KVA de arranque y la corriente máxima de arranque. Para un motor trifásico la potencia aparente en VA es:

$$V_A = 1.73\, V_L I_L$$

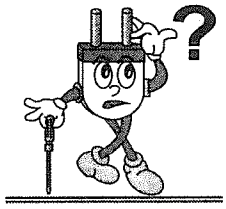
DONDE:



$\mathbf{V_A}$ = Potencia en volt-amperes.
$\mathbf{V_L}$ = Voltaje de fase a fase en volts.
$\mathbf{I_L}$ = Corriente de línea en amperes.

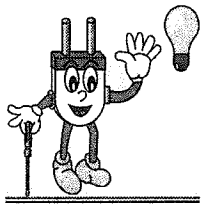
Para el propósito del cálculo de la capacidad o tipo de los dispositivos de protección, se considera lo siguiente:

- Más de 1HP,
- 1 HP o menos con arranque manual.
- 1 HP a menos con arranque automático.



EJEMPLO 3.5 Calcular para un motor trifásico de inducción de 5HP, 60 Hz, 220 volts con letra de código H.

a) La mínima y máxima corriente de arranque posible.
b) La corriente normal de operación a plena carga.
c) La máxima corriente de arranque, como una relación de la corriente normal.



SOLUCIÓN

a) De tablas, para la letra de código H el motor tiene de 6.3 a 7.09 KVA/HP, por lo tanto:

Los KVA mínimos que demanda son:

$$KVA\ mínimos = \frac{6.3\ KVA}{HP}\ x\ 5\ HP = 31.5$$

Los KVA máximos que demanda:

$$KVA\ máximos = \frac{7.09\ KVA}{HP}\ x\ 5\ HP = 35.45$$

Como se trata de un motor trifásico, entonces su potencia se puede expresar como:

$$P = \sqrt{3}\ x\ V\ x\ I_L \quad (VA)$$

De donde, para el caso de la mínima corriente de línea:

$$I_{MIN} = \frac{VA_{MIN}}{\sqrt{3}\ x\ V} = \frac{31.5\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 220} = 82.66\ A$$

$$I_{MAX} = \frac{VA_{MAX}}{\sqrt{3}\ x\ V} = \frac{35.45\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 220} = 93.03\ A$$

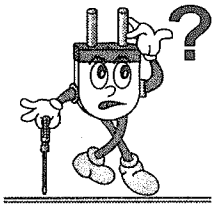
b) La corriente normal de operación a plena carga se obtiene de la tabla para ***Corriente a plena carga de motores.***

De manera que para 5 HP a 220 volts, la corriente es 15 A.

c) La máxima corriente de arranque, como una relación de la corriente nominal, es:

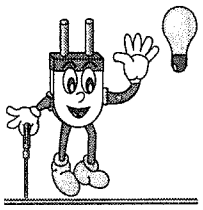
$$\frac{1\ MAX}{1\ NOM} = \frac{93.03}{15} = 6.202$$

Es decir, aproximadamente 6.2 veces mayor que la corriente de operación.



EJEMPLO 3.6 Calcular las características principales para los alimentadores de los motores trifásicos de inducción a 60 HZ, como datos principales se dan los siguientes:

- Motor de 5 HP, 220 volts, con letra de código A y corriente nominal de 15.9 A, jaula de ardilla.
- Motor de 25 HP, 440 volts, con una corriente nominal de 36 amperes.
- Motor de 30 HP, 440 volts. El motor tiene el rotor devanado.
- Motor de 50 HP, jaula de ardilla, 440 volts, con corriente a plena carga de 68A.



SOLUCIÓN Para el motor jaula de ardilla de 5 HP, 220 volts, con letra de código A, el circuito derivado se puede proteger por medio de un interruptor termomagnético de *1.5 x 15.9 = 23.85 Amperes*, debido al bajo valor que da su letra de código a rotor bloqueado.

El máximo ajuste del dispositivo de sobrecarga (elemento térmico) es: *1.15 x 15.9 = 18.29 A.*
Para el motor de 25 HP a 440 volts, como no se dan datos de letra de código, se puede suponer un factor de servicio de 1.2, con lo que el elemento de protección contra sobrecarga se puede ajustar a un valor:

1.25 x 36 = 45 A

Se puede usar un fusible de tiempo no retardado para proteger el circuito, cuyo valor es: *3 x 36 = 108 amperes.*

Para el motor de 30 HP a 440 volts con una elevación máxima de temperatura de 40°C, con rotor devanado, se hacen las siguientes consideraciones:

- Debido a que el motor tiene rotor devanado, se usa fusible de tiempo no retardado como dispositivo de protección del circuito derivado, el valor de este dispositivo no se puede ajustar a más del 150% de la corriente a plena carga, que en este caso, de tablas se sabe que es: 42 amperes, es decir, que el 150% es entonces: *1.5 x 42 = 63 A.*

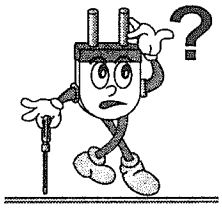
  En este caso probablemente sea recomendable usar un arrancador de 30 HP con medio de desconexión.

  En el caso del motor de 50 HP a 440 volts, como se trata de un motor jaula de ardilla, de tablas, la corriente a plena carga es 68 Amperes. Se debe usar un arrancador para 50 HP y el dispositivo de protección no se debe ajustar a un valor mayor de: *1.15 x 68 = 78.2 Amperes.*

Un resumen de los cálculos necesarios para los alimentadores de este grupo de motores se da a continuación en la tabla siguiente:

CÁLCULOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE ALGUNOS TIPOS DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

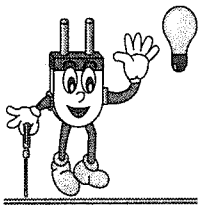
TIPO DE MOTOR A 60 HZ	TIPO DE DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO	CORRIENTE A PLENA CARGA	CAPACIDAD MÍNIMA DEL DESCONECTADOR	CAPACIDAD MÁXIMA DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	CAPACIDAD MÍNIMA PARA EL CÁLCULO DE CONDUCTORES	TIPO Y CALIBRE DEL CONDUCTOR T H W (COBRE)	TAMAÑO DEL CONTROLADOR	MÁXIMA CAPACIDAD DEL DISPOSITIVO DE SOBRECARGA
5 HP, LETRA DE CÓDIGO A, 220 VOLTS	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	15.9 A	• PARA 5 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: 1.15 x 15.9 = 18.29 A	1.5 x 15.9 = 23.85 A	1.25 x 15.9 = 19.87 A	No. 12 AWG	5 HP	1.15 x 15.9 = 18.29 A
25 HP, 440 VOLTS JAULA DE ARDILLA FACTOR DE SERVICIO FACTOR 2	FUSIBLES SIN RETARDO DE TIEMPO	36 A	• PARA 25 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: 1.15 x 36 = 41.4 A	3 x 36 = 108 A	1.25 x 36 = 45 A	No. 8 AWG	25 HP	1.25 x 36 = 45 A
30 HP, 440 VOLTS ROTOR DEVANADO CON ELEVACIÓN DE TEMPERATURA DE 40°C	FUSIBLE SIN RETARDO DE TIEMPO	42 A	• PARA 30 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: 1.15 x 42 = 48.3 A	1.5 x 42 = 63 A	1.25 x 42 = 52.5 A	No. 8 AWG	30 HP	1.25 x 42 = 52.5 A
50 HP, 440 VOLTS JAULA DE ARDILLA	FUSIBLE SIN RETARDO DE TIEMPO	68 A	• PARA 50 HP LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR ES: 1.15 x 68 = 78.2 A	3 x 68 = 204 A	1.25 x 68 = 85 A	No. 4 AWG	50 HP	1.15 x 68 = 78.2 A



EJEMPLO 3.7 Se tiene un motor trifásico de inducción de 5 HP, 220 volts, con letra de código H, se desea calcular:

a) La capacidad máxima de un fusible de tiempo retardado para la protección del circuito derivado.

b) La capacidad máxima que tendría un interruptor termomagnético de tiempo inverso, para proteger el circuito derivado.



SOLUCIÓN

a) La corriente máxima a plena carga se calculó en el Ejemplo 3.5, de acuerdo con la letra de código H, los KVA a rotor bloqueado varían de 6.3 a 7.09 KVA/HP, tomando el valor máximo.

$$KVA_{MÁXIMOS} = 7.09\ \frac{KVA}{HP}\ x\ 6\ HP = 35.45$$

La corriente máxima (correspondiente a esta potencia) es:

$$I_{MÁX} = \frac{VI_{MÁX}}{\sqrt{3}\ x\ V} = \frac{35.45\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 220} = 93.03\ A$$

De la tabla de capacidad máxima o ajuste de los dispositivos de protección, para letra de código H y corriente nominal de 15 A (de tabla), para uso de fusible con tiempo retardado, la capacidad máxima es 175% de la corriente de plena carga, es decir:

$$1.75\ x\ 15.9 = 27.83\ A$$

El fusible recomendado es entonces de 30 A.

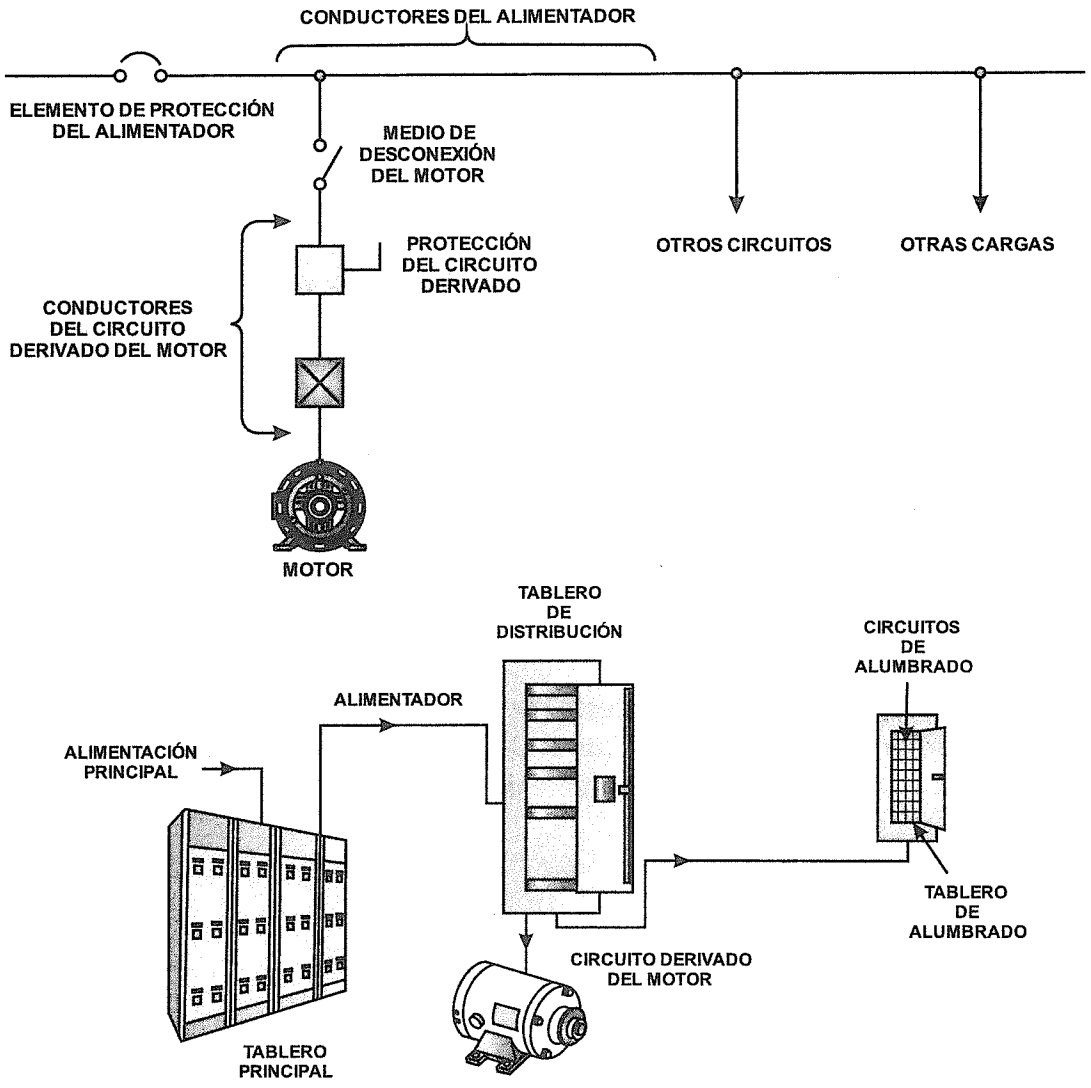
b) Si se usa interruptor termomagnético, la capacidad máxima de la tabla correspondiente es 250% la corriente plena carga, es decir:

$$2.5\ x\ 15.9 = 39.75\ Amp$$

Por lo que se puede usar un interruptor de 40 A.

3.6 CÁLCULO DE ALIMENTADORES PARA MOTORES

En el diagrama correspondiente al cálculo de los circuitos derivados, el alimentador alimenta al circuito derivado del motor y se protege por separado, de manera que para incluir al alimentador se debe usar el diagrama que se muestra a continuación:



CIRCUITOS DE ALUMBRADO Y FUERZA

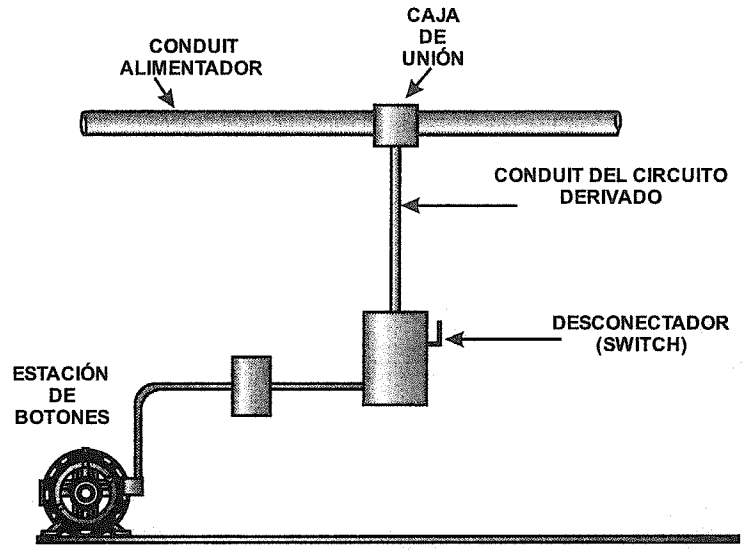
3.6.1 CÁLCULO DE LAS COMPONENTES DEL ALIMENTADOR.

El método de cálculo de las componentes del alimentador es, de hecho, el mismo que el usado para calcular las componentes del circuito derivado de un motor.

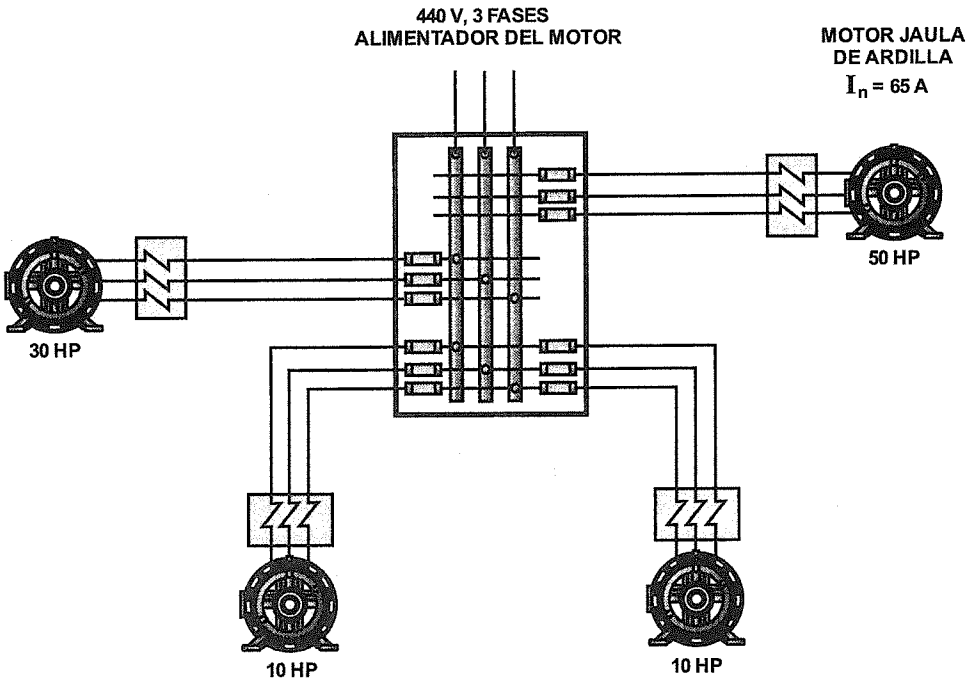
1. **La capacidad de conducción de corriente:** (Ampacidad) de los conductores del alimentador (E) se calcula con 1.25 veces la corriente a plena carga del motor de mayor capacidad más la suma de las corrientes a plena carga de los motores restantes. Cargas adicionales, o bien otros motores, se agregan a esta suma en forma directa. Cálculo

$$1\,A = 1.25\,I_{\,PCM\,MAYOR} + \sum \begin{matrix} I_{PC}\ otros\ motores \\ +1\ otras\ cargas \end{matrix}$$

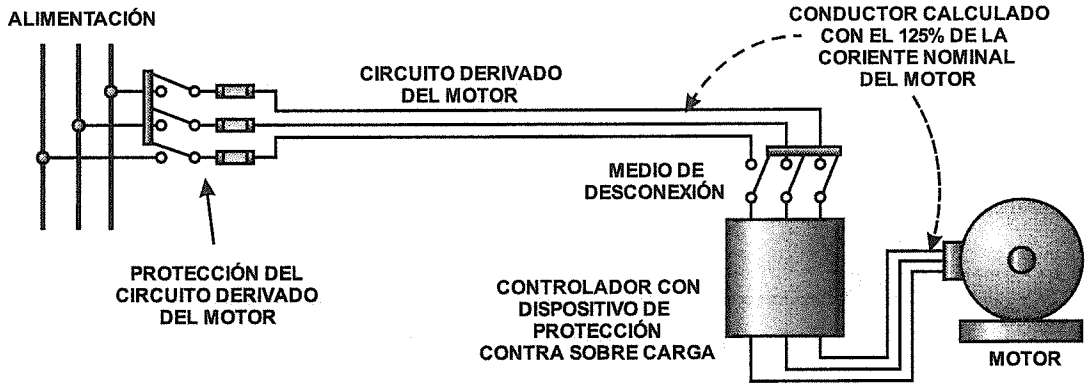
2. **El dispositivo de protección del alimentador:** (F) para protegerlo contra cortocircuito y fallas a tierra, se calcula agregando la suma de las cargas adicionales a la corriente máxima para el dispositivo de protección del motor contra cortocircuito o falla a tierra, que se obtiene de la tabla correspondiente, para el motor mayor.



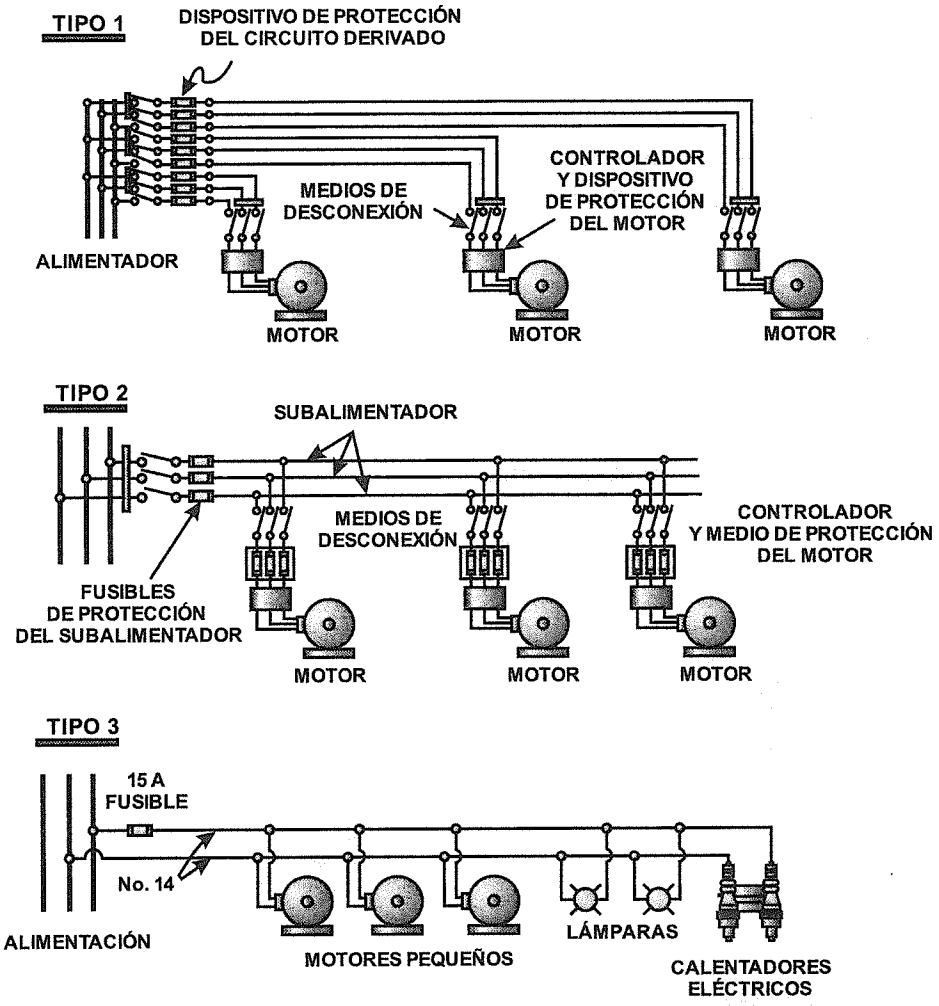
ESQUEMA TÍPICO DE ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR



LOS CONDUCTORES DEL CIRCUITO DERIVADO DE LOS MOTORES SE CALCULAN AL 125 % DE LA CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR



PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO DE UN MOTOR



DISTINTOS MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE CIRCUITOS DERIVADOS

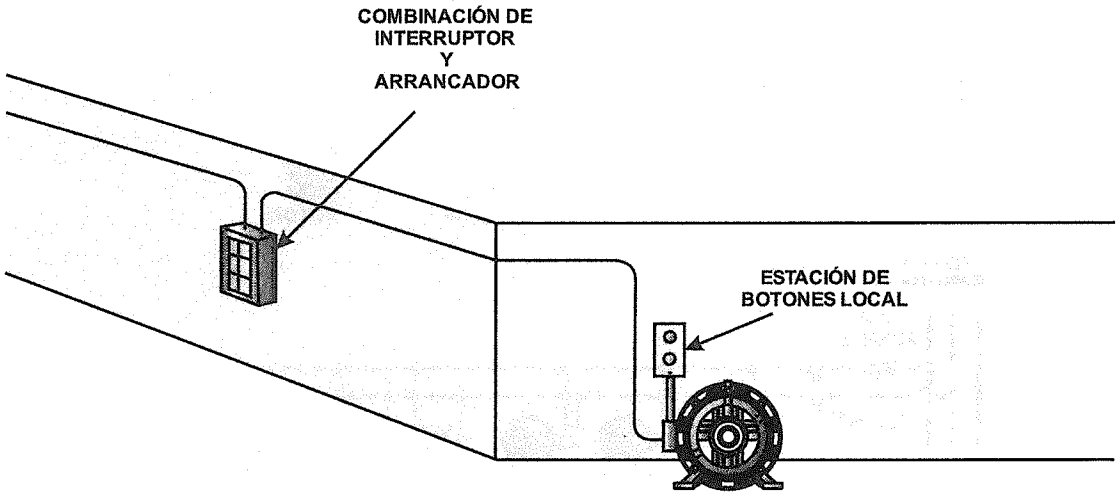
3. Cuando se consideren cargas adicionales para el futuro, se incluyen en los cálculos para determinar la capacidad apropiada de los alimentadores y los dispositivos de protección.

El circuito alimentador que alimenta la potencia desde el servicio hasta el circuito derivado de un motor, se puede realizar en distintas formas, de hecho, el diseñador debe seleccionar el arreglo que sea más fácilmente realizable, evaluando algunas consideraciones como: el costo, voltaje de alimentación, disponibilidad de espacio, forma de control de los motores, etc.

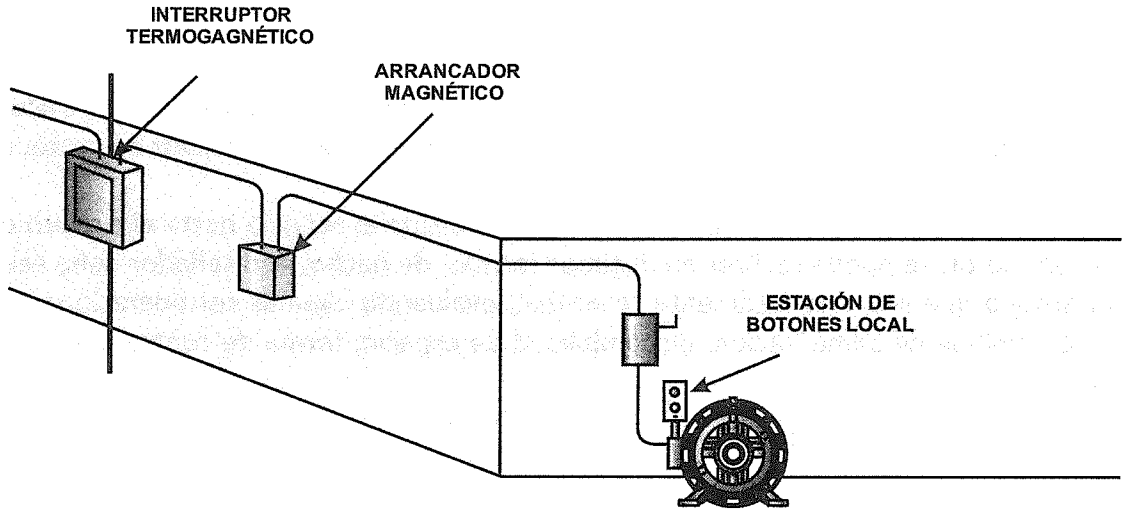
3.6.2 CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM).

Un centro de control de motores (CCM) es esencialmente un tablero que se usa en primer término para montar las componentes del alimentador de los motores y de sus circuitos derivados. Desde luego que no necesariamente todas las componentes se deben incluir en el centro de control, por ejemplo, la protección del alimentador se puede instalar en el tablero principal, o bien, otro ejemplo, la estación de botones se puede localizar en algún lugar más conveniente.

El número de secciones en un centro de control de motores depende del espacio que tiene cada una de sus componentes, de manera que si el diseñador sabe qué componentes se incluirán, se puede diseñar el centro de control de motores.



ARRANCADOR REMOTO Y LOCAL DE UN MOTOR



DESCONECTADOR MANUAL

El centro de control de motores ofrece las siguientes ventajas:

- Permite que los aparatos de control se alejen de lugares peligrosos.
- Permite centralizar el equipo en el lugar más apropiado.
- Facilita el mantenimiento y el costo de la instalación es menor.

Para diseñar el centro de control de motores se debe tener en consideración la siguiente información:

1. Elaborar una lista de los motores que estarán contenidos en el CCM, indicando para cada motor:
   - Potencia en HP o kW.
   - Voltaje de operación.
   - Corriente nominal a plena carga.
   - Forma de arranque (tensión plena a tensión reducida).
   - Si tiene movimiento reversible.
   - Lámparas de control e indicadoras.

2. Elaborar un diagrama unifilar simplificado de las conexiones de los motores, indicando la información principal referente a cada uno.

3. Tomando como referencia los tamaños normalizados para centros de control de motores, se puede hacer un arreglo preliminar de la disposición de sus componentes, de acuerdo con el diagrama unifilar y considerando ampliaciones futuras.

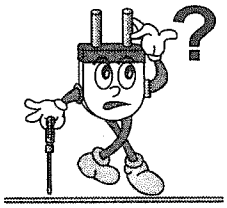
4. Las especificaciones principales para un centro de control de motores (CCM) son las siguientes:

   ⇨ **Características del gabinete y dimensiones principales.** Generalmente son del tipo auto soportado de frente muerto, para montaje en piso con puertas al frente para permitir el acceso al equipo.

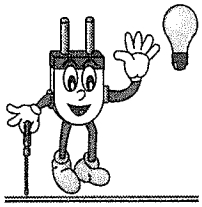
   ⇨ **Arrancadores.** Normalmente son del tipo magnético, con control remoto y/o local por medio de botones y elementos térmicos para protección de los motores.

   ⇨ **Interruptores.** Por lo general son del tipo termomagnético en caja moldeada de plástico, con operación manual y disparo automático, y que pueden ser accionados exteriormente por medio de palancas. Frecuentemente se instala para cada motor una combinación de interruptor y arrancador.

➡ **Barras de conexiones.** Cada centro de control de motores tiene sus barras alimentadoras, que normalmente son de cobre electrolítico. Estas barras se encuentran en la parte superior y las conexiones se hacen en la parte inferior.



EJEMPLO 3.8 Se tienen dos motores de inducción de 5 y 10 HP, que se alimentan de un circuito monofásico a 127 volts. Si se van a proteger por medio de fusibles de tiempo no retardado, calcular las características principales para el alimentador.



SOLUCIÓN Para calcular la capacidad de corriente (ampacidad) del conductor, se dan los valores de corriente a plena carga para estos motores (datos de tabla).

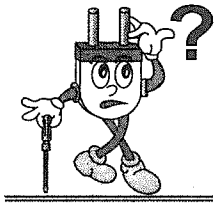
Para el motor monofásico de 5 HP a 127 volts. $I_{PC} = 51\ Amps.$
Para el motor de 10 HP a 127 volts. $I_{PC} = 91$ amperes

La corriente para calcular el calibre del alimentador es:

$$I_{AL} = 1.25\, I_{PC}\ motor\ mayor + \sum I_{PC}\ otros\ motores$$

$$I_{AL} = 1.25\ x\ 91 + 51 = 164.75\ Amp$$

De tablas de conductores, se pueden usar 2 conductores No. 3/0 tipo TW en tubo conduit de 51 mm de diámetro.



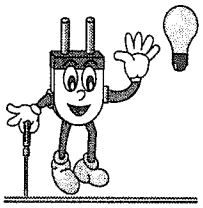
EJEMPLO 3.9 Calcular las características principales de los circuitos derivados y el alimentador para un centro de control de motores que alimentará los siguientes motores:

1 motor trifásico de inducción 25HP a 220 volts, tipo jaula de ardilla con letra de código G.
1 motor trifásico de inducción de 20 HP a 220 volts, tipo jaula de ardilla con letra de código C.

Se considera que se usarán interruptores termomagnéticos, elementos térmicos y conductores TWH. Se supone también que se trata de motores estándar con una elevación de temperatura no mayor de 40°C.

Determinar:

1. La protección del alimentador.
2. El conductor del alimentador.
3. La protección del circuito derivado de cada motor.
4. El conductor del circuito derivado de cada motor.
5. Los elementos térmicos de cada motor.
6. Las capacidades de los medios de desconexión de cada motor.



SOLUCIÓN

1. Para un motor de 25 HP a 220 volts, la corriente nominal es de 71 amperes, para motores de inducción con letra de código G y corriente de plena carga mayor de 30 A, se puede usar un factor de 2.5 veces la corriente nominal a plena carga, por lo que la protección del alimentador se calcula como:

   Protección del alimentador = 2.5 x I_{PC} motor mayor + $\sum I_{PC}$ *otros motores*

   Para el motor de 20 HP a 220 volts la corriente a plena carga es: 1_{PC} = 56 amperes

   Por lo tanto, la protección del alimentador se calcula como:

   Protección del alimentador = 2.5 x 71 + 56 = 233.5 amperes máximos

   Por lo tanto, se puede usar un interruptor termomagnético de 225 A.

2. **<u>Calibre del conductor del alimentador</u>**

   La capacidad de conducción de corriente del alimentador (ampacidad) es:

   $$I = 1.25\ I_{PC}\ motor\ mayor + \sum I_{PC}\ otros\ motores$$

   $$I = 1.25\ x\ 71\ + 56 = 144.75\ Amp$$

   Para conductor TWH de tabla 2.7 para 1 a 3 conductores en tubo conduit, se requieren 3 conductores No. 2/0 AWG.

3. **Protección del circuito derivado de cada motor**

a) $I = 2.5\ x\ I_{PC} = 2.5\ x\ 71 = 177.5\ Amp$

Por lo que se puede emplear interruptor termomagnético de 175 A.

b) Para el motor de 20HP a 220 volts con I_{PC} = 56 Amp. y letra de código C, se puede usar un factor de 2 x I_{PC}, por lo que:

$I = 2\ x\ I_{PC} = 2\ x\ 56 = 1112\ Amp$

Se puede emplear un interruptor termomagnético de 110 Amp.

4. **Conductores de los circuitos derivados**

a) Para un motor de 25 HP:

$I = 1.25\ x\ I_{PC} = 1.25\ x\ 71 = 88.75\ Amp$

Con conductor TWH (1 a 3 conductores en tubo conduit), se requieren 3 conductores No. 2 AWG.

b) Para el motor de 20 HP:

$I = 1.25\ I_{PC} = 1.25\ x\ 56 = 70\ A$

Con conductor TWH (1 a 3 conductores en tubo conduit), se requieren 3 conductores No. 4 AWG.

5. **Elementos térmicos**

Para motores estándar con elevación de temperatura no superior a 40°C la capacidad de los elementos térmicos es 1.25 I_{PC}.

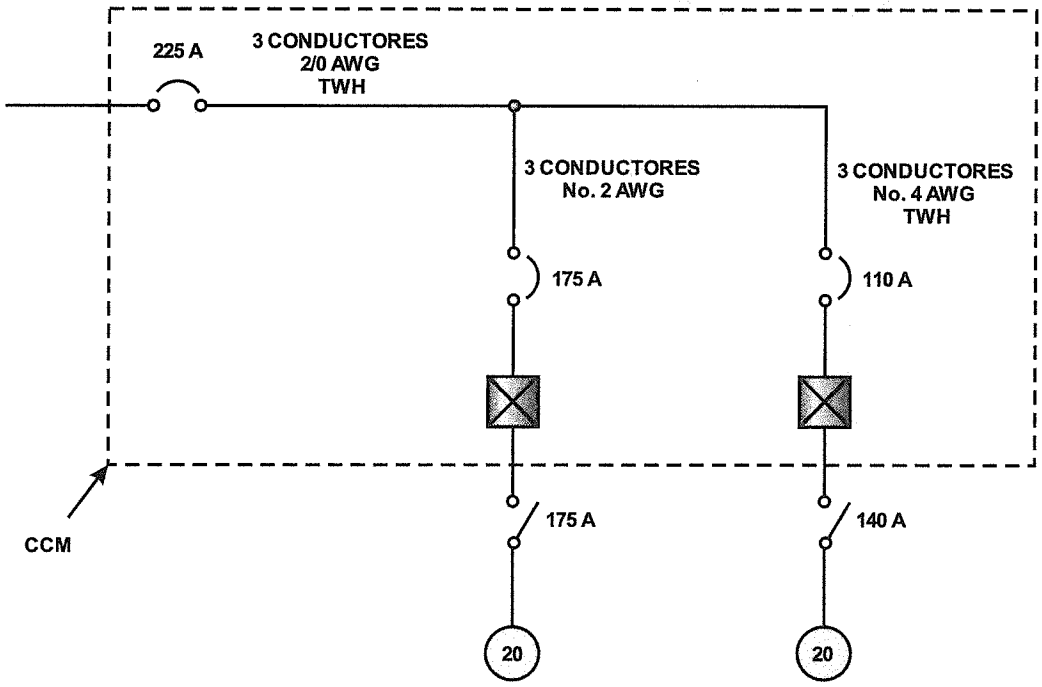
a) Para el motor de 25 HP a 220 volts con I_{PC} = 71 Amp

$I\ elem.térmico = 1.25\ x\ 71 = 88.75\ Amp$

b) Para el motor de 20 HP a 220 volts con I_{PC} = 56 Amp

$I\ elem.térmico = 1.25\ x\ 56 = 70\ Amp$

6. Dado que los motores no estarán a un lado del CCM, es necesario proporcionar un desconectador por separado, por lo que se deben usar desconectadores de 25 y 20 HP, o bien, interruptores termomagnéticos de 2.5 x I_{PC} para el motor de 25 HP, es decir: ***2.5 x 71 = 177.5 A (Amperes)*** y de 2.5 *x* I_{PC} para el motor de 20 HP o sea ***2.5 x 56 = 140 amperes.***



3.6.3 DATOS PARA EL DISEÑO DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.

Para dar la información más precisa para el diseño de un CCM, es conveniente tener una idea de los datos que se manejan para sus componentes, como es el caso de los arrancadores y los interruptores termomagnéticos , por mencionar dos de los más representativos, además de los elementos de control que se estudiarán más adelante.

Es el caso de información para arrancadores, normalmente se hace referencia a normas nacionales, aun cuando se deben satisfacer condiciones establecidas por Normas Internacionales como las de la *NMA (National Electrical Manufactures Asociation)* de Estados Unidos, donde se establecen las capacidades máximas que se dan a continuación:

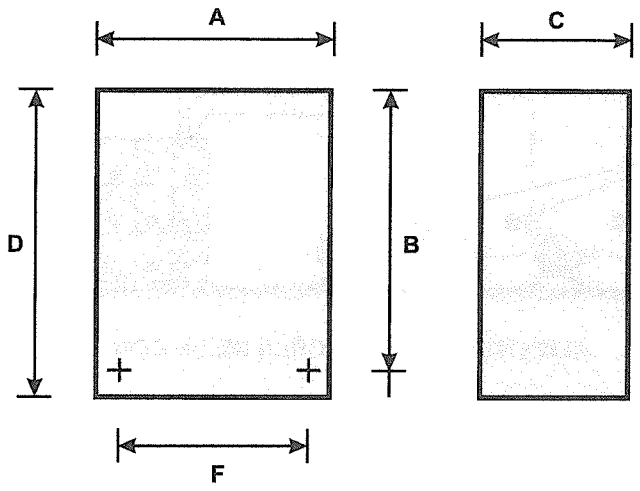
TABLA I
CAPACIDADES MÁXIMAS PARA ARRANCADORES A VOLTAJE PLENO Y PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA

TAMAÑO NEMA	CORRIENTE POR 8 HORAS (A)	HP MÁXIMOS PARA MOTORES-TRIFÁSICOS	
		220 V	440 V
		1 ½	2
00	15	3	5
0	25	7 ½	10
2	50	15	25
3	100	30	50
4	150	50	100
5	300	100	200

La tabla anterior es aplicable a motores trifásicos de inducción de una sola velocidad, con jaula de ardilla.

TABLA II
DIMENSIONES GENERALES DE ARRANCADORES A VOLTAJE PLENO Y PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA

TAMAÑO NEMA	CAPACIDAD PARA MÁXIMA POTENCIA	DIMENSIONES (CM)				
		ANCHO A	ALTO B	FONDO C	D	E
00	1 HP A 220 V	13	12	10	8	4
0	2 HP A 220 V	13	12	10	13	5
1	3 HP A 220 V	13	12	10	15	5
2	7/ HP A 220 V	16	17	14	17	5
3	50 HP A 440 V	22	25	17	22	7
4	75 HP A 440 V	22	25	17	25	10



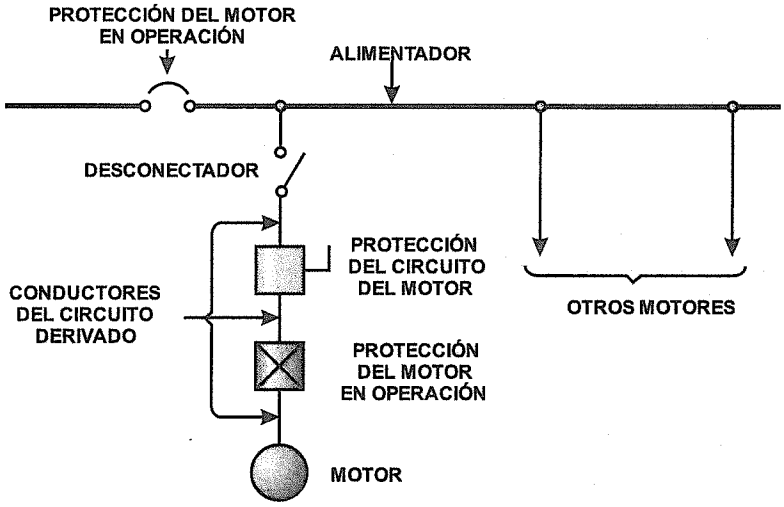
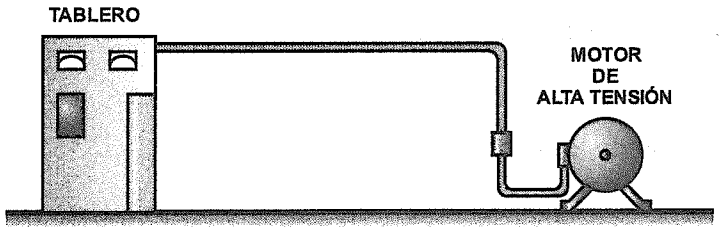
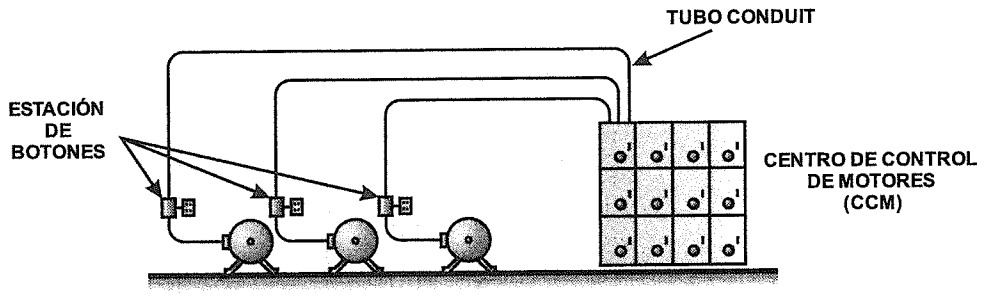


DIAGRAMA COMPLETO DEL CIRCUITO DE UN MOTOR



ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR EN ALTA TENSIÓN



ALIMENTACIÓN A MOTORES DE UN CCM

Como parte de los datos para el diseño de un CCM, se debe definir además:

1. La característica y voltaje de la fuente de alimentación.
2. El tipo de gabinete que se empleará en función del punto de instalación del mismo (características ambientales).
3. El número y calibre de los conductores alimentadores.
4. La forma de construcción de los gabinetes, es decir, estándar o respaldo contra respaldo.

La función de las cargas que se alimentarán, se elabora una lista de equipo específico a considerar en el CCM, como por ejemplo:

1. Tipo de arrancadores (reversibles, no reversibles, etc.), así como si se incluirán tableros de alumbrado.
2. Número de unidades requeridas.
3. Circuitos derivados y protección de los mismos.

Finalmente, para tener una idea del arreglo y dimensiones del CCM, se usan las tablas, como se han indicado y la que se muestran a continuación, para de esta manera determinar:

1. La altura de las unidades individuales.
2. El mejor agrupamiento de las unidades.
3. La mejor utilización de los espacios para cada unidad.

TABLA III
DATOS PARA COMBINACIÓN DE INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO Y ARRANCADOR *

TAMAÑO NEMA	POTENCIA MÁXIMA EN HP (TRIFÁSICO)		ALTURA DE LA UNIDAD (CM)	
TIPO	220 V	440 V	ARRANCADOR REVERSIBLE	ARRANCADOR NO REVERSIBLE
1	7 ½	10	30	48
2	15	25	30	61
3	20 30	40 50	15 30	76 107
4	50	100	30	122
5	100	200	45+	199+

* TODAS LAS UNIDADES SE PUEDEN ALOJAR EN UN ANCHO DE 50 CM.
+ SE REFIERE AL TIPO NO ENCHUFABLE.

TABLA IV
DATOS PARA INTERRUPTOR DE NAVAJAS CON FUSIBLES DE 3 POLOS E (INTERRUPTOR GENERAL O DERIVADO)*

CAPACIDAD EN AMPERES	PORTA FUSIBLE PARA AMPERES	ALTURA DE LA UNIDAD (CM)	
		220 V	600 V
30	30 60	30 30	30
60	60 100	38 38	38 38
100	100 200	54 61	54 61
200	200 400	61 99	61 105

* TODAS LAS UNIDADES SE ALOJAN EN 50 CM. DE ANCHO.

TABLA V
DATOS PARA COMBINACIÓN DE INTERRUPTOR DE FUSIBLES Y ARRANCADOR *

TAMAÑO NEMA	POTENCIA MÁXIMA TRIFÁSICA EN HP		PORTA FUSIBLE AMPERES	ALTURA DE LA UNIDAD (CM)	
	220 V	440 V		NO REVERSIBLE	REVERSIBLE
1	3	7 ½	30	31	45
	7 ½		60	31	45
		10	60	38	45
2	10	15	60	61	83
	15	25	100	61	83
3		30	100	83	122
		50	200	91	130
	30		200	83	122
	30		400	105	145
4		60	200	99	145
		100	400	130	175
	50		400	122	160

* TODAS LAS UNIDADES SE PUEDEN ALOJAR EN UN ANCHO DE 50 CM.

TABLA VI
INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS GENERALES O DERIVADOS DE 3 POLOS*

AMPERES CONTINUOS MÁXIMOS	MARCO	CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN AMPERES (VALOR EFICAZ)		ALTURA DE LA UNIDAD (CM)
100	FA	18 000	14 000	31
225	KA	25 000	22 000	45
400	LA	42 000	30 000	45
800	MA	42 000	30 000	53

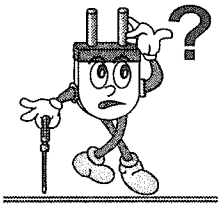
* TODAS LAS UNIDADES SE PUEDEN ALOJAR EN UN ANCHO DE 50 CM.

TABLA VII
DATOS PARA TABLEROS DE ALUMBRADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO *

NÚMERO DE CIRCUITOS DERIVADOS	ALTURA DE LA UNIDAD (CM)
8 – 12	46
14 – 20	53
22 – 30	61
32 – 42	76

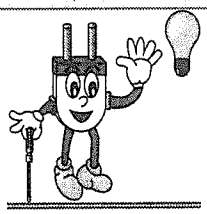
* TODAS LAS UNIDADES SE PUEDEN ALOJAR EN 50 CM DE ANCHO.

Con el objeto de facilitar la selección de las características principales de los elementos del circuito derivado para motores de inducción, basándose en los procedimientos descritos anteriormente, se elaboran tablas como la 3.9 al final de este capítulo.



EJEMPLO 3.10 En una instalación eléctrica industrial se instalarán los motores eléctricos de inducción que se indican a continuación. Con los datos indicados, se desea dar las características generales que se deben tener en el CCM, calculando las características principales para los alimentadores de los circuitos derivados y para el alimentador principal del CCM.

DATOS DE LOS MOTORES A INSTALAR							
NÚM	POTENCIA EN HP	LETRA DE CÓDIGO	VOLTAJE DE OPERACIÓN (VOLTS)	CORRIENTE A PLENA CARGA (AMPERES)	TIPO DE ARRANCADOR	TIPO DE MOVIMIENTO	LÁMPARA PILOTO LOCAL
1	3	A	220	10	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	SI
2	3	A	220	10	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	SI
3	2	A	220	7.1	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	SI
4	7½	C	220	23	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	SI
5	10	C	220	29	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	NO
6	15	G	220	44	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	SI
7	20	G	220	56	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	NO
8	25	G	220	71	TENSIÓN COMPLETA	NO REVERSIBLE	NO



SOLUCIÓN Con los datos anteriores, se puede proceder al cálculo de las características para los circuitos derivados y el alimentador. Considerando que se usarán interruptores termomagnéticos y conductores vinanel 900 para el motor de 3 HP a 220 volts con letra de código A, y que toma una corriente a plena carga de 10 amperes. Se puede calcular la protección del circuito derivado de acuerdo con la tabla 3.7 como:

$$I = 1.5\, I_{PC} = 1.5\, x\, 10 = 115\, Amperes$$

Se puede seleccionar interruptor termomagnético para 30 A. De acuerdo con la tabla 2.7, se puede usar conductores vinanel 900 calibre No. 12 AWG (tabla 2.7) en tubo conduit de 13 mm (1/2 plg), (Tabla 2.12). Para el motor de 2HP con corriente nominal de 7.1 A y letra de código A, la protección del circuito derivado usando interruptor termomagnético (de tiempo inverso) de tabla 3.7, se obtienen que la protección se calcula como:

$$I = 1.5\ x\ I_{PC} = 1.5\ x\ 7.1 = 10.65\ Amperes$$

Se puede usar interruptor termomagnético para 20 amperes, el circuito derivado tendrá 3 conductores Vinanel 900 calibre No. 12 AWG (tabla 2.7) en tubo conduit de 13 mm (2.12). Procediendo en la misma forma, se calculan las características de los demás circuitos derivados que se indican en la tabla siguiente:

MOTORES A 220 VOLTS						
MOTOR NO.	POTENCIA	CORRIENTE A PLENA CARGA "A"	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	ARRANCADOR NEMA	CIRCUITO DERIVADO	
					CONDUCTOR A W S	TUBO CONDUIT
1	3	10	30	0	3 No. 12	13 MM
2	3	10	30	0	3 No. 12	13 MM
3	2	7.1	20	00	3 No. 12	13 MM
4	7½	23	50	1	3 No. 10	19 MM
5	10	29	50	1	3 No. 10	19 MM
6	15	44	70	2	3 No. 8	19 MM
7	20	56	100	3	3 No. 6	25 MM
8	25	71	100	3	3 No. 4	32 MM

Para la protección del alimentador se puede hacer uso de:

$$I = 2.5\ I_{PC}\ motor\ mayor + \sum I_{PC}\ otros\ motores$$

En este caso el motor mayor es de 25 HP, con una corriente a plena carga de: I_{PC} = 71 amperes, por lo tanto:

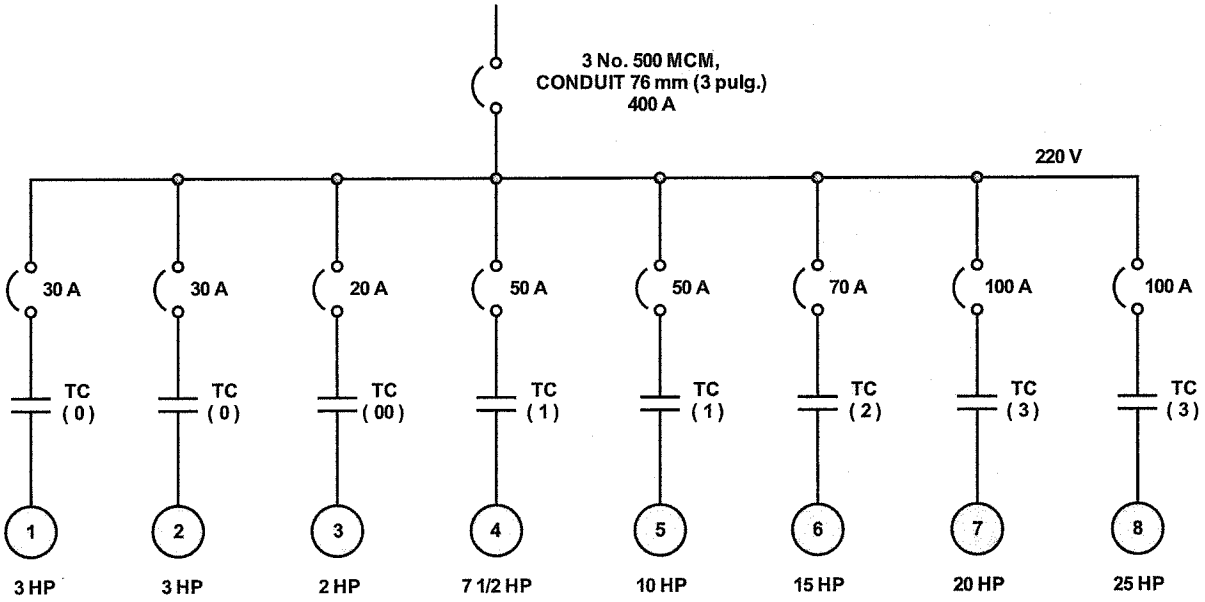
$$I = 2.7\ x\ 71 + (10 + 10 + 7 + 7.1 + 23 + 29 + 44 + 56)$$

$$I = 356.6\ Amperes$$

Se puede usar un interruptor termomagnético de 400 A.

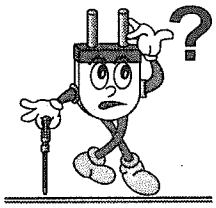
Para 3 conductores Vinanel 900 por los que circula una corriente de 356.6 amperes, se puede usar calibre AWG No. 500 mcm, conduit de 76 mm.

Un diagrama unifilar correspondiente en forma simplificada es el siguiente:



Un arreglo preliminar de los elementos del COM puede ser el siguiente:

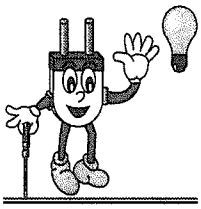
BARRAS			
INT 400 A 220 V	3 HP (1)	3 HP (2)	2 HP (3)
	7 / HP (4)	10 HP (5)	15 HP (6)
20 HP (7)	ESPACIO	ESPACIO	ESPACIO
25 HP (8)	ESPACIO	ESPACIO	ESPACIO
	CONEXIONES		



EJEMPLO 3.11 De un centro de control de motores se alimentan las siguientes cargas a 220 volts:

- Un motor de 15 HP, jaula de ardilla con letra de código A.
- Un motor de 20 HP, jaula de ardilla con letra de código F.
- Un motor de 25 HP, jaula de ardilla sin letra de código.
- Un motor síncrono de 25 HP sin letra de código y factor de potencia unitario, se considera conveniente estimar un 20% de reserva para incrementar el futuro la capacidad del COM, calcular.

a) Las corrientes individuales de los motores.
b) El tamaño de alimentador para el CCM.
c) La capacidad mínima para las barras del CCM.
d) La protección contra sobrecorriente del CCM.



SOLUCIÓN

a) Las corrientes individuales de los motores se obtienen de la tabla 3.4.

Para el motor de 15 HP y letra de código A.
11 = 44A

Para el motor de 20 HP, letra de código F.
12 = 56 A.

Para el motor de inducción de 25 HP sin letra de código.
13 = 71 A

Para el motor síncrono de 25 HP a factor de potencia unitario y sin letra de código.
14 = 54 A.

La suma de las corrientes a plena carga de los motores es:

$$I = 1.25\, I_{PC}\ motor\ mayor + \sum I_{PC}\ otros\ motores$$

b) El tamaño del alimentador para el CCM se calcula como:

$$I = 1.25\, I_{PC}\ motor\ mayor + \sum I_{PC}\ otros\ motores$$

El motor mayor es desde luego aquel que toma la corriente mayor, por lo tanto:

$$I = 1.25\ x\ 71 + \ (44 + 56 + 54) = 242.75\ A$$

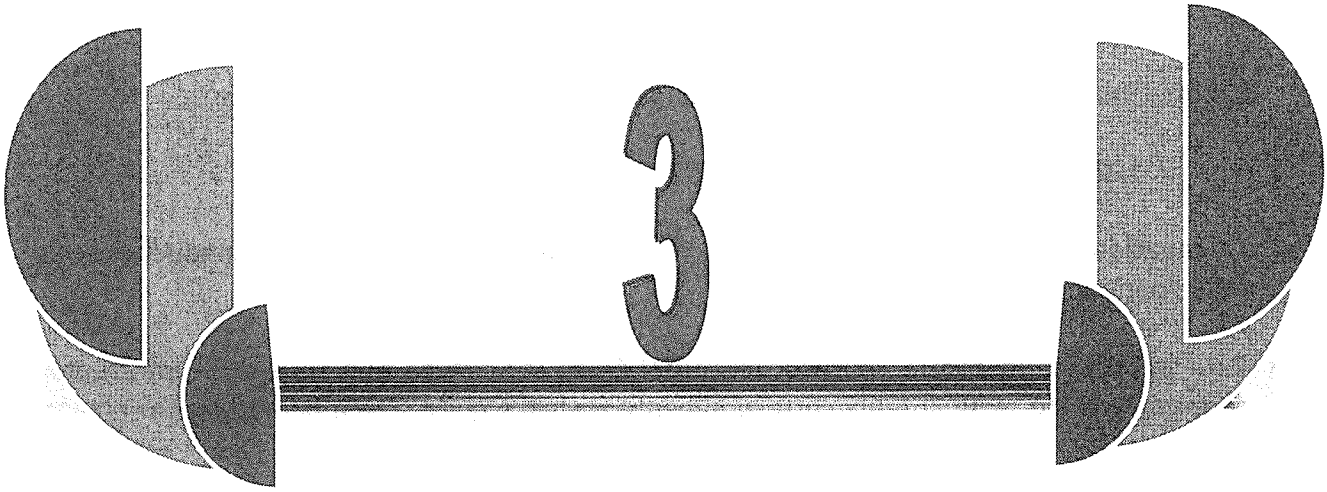
c) La capacidad de corriente de las barras, debe ser la misma que para los conductores; es decir, para una corriente de 287.75 A.

d) Para la protección contra sobrecorriente del CCM, supóngase que se usa un interruptor termomagnético, y de la tabla correspondiente (Tabla 3.7). Se aplica para el motor mayor, 250%, por lo que:

$$I = 2.5\, I_{PC}\ motor\ mayor + \sum I_{PC}\ otros\ motores$$

$$I = 2.5\ x\ 71 + \ (44 + 56 + 54) = 331.5\ A$$

Se puede usar un interruptor para 400 A.



3

APÉNDICE TABLAS

TABLA 3.1

NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES QUE PUEDEN ALOJARSE EN TUBO CONDUIT											
TIPO DE CONDUCTOR	CALIBRE DE CONDUCTOR AWG MCM	DIAMETRO NORMAL DE TUBO (mm)									
		13	19	25	32	38	51	63	76	89	102
T,TW Y THW	14*	9	16	25	45	61					
	14	8	14	22	39	54					
	12*	7	12	20	35	48	78				
	12	6	11	17	30	41	68				
	10*	5	10	15	27	37	61				
	10	4	8	13	23	32	52				
	8	2	4	7	13	17	28	40			
RHW Y RHH (SIN CUBIERTA EXTERIOR)	14*	6	10	16	29	40	65				
	14	5	9	15	26	36	59				
	12*	4	8	13	24	33	54				
	12	4	7	12	21	29	47				
	10*	4	7	11	19	26	43	61			
	10	3	6	9	17	23	38	53			
	8	1	3	5	10	13	22	32	49		
T, TW Y THW RHW Y RHH (SIN CUBIERTA EXTERIOR)	6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	
	4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	47
	2	1	1	2	4	5	9	13	20	27	34
	1/0	-	1	1	2	3	5	8	12	16	21
	2/0	-	1	1	1	3	5	7	10	14	18
	3/0	-	1	1	1	2	4	6	9	12	15
	4/0	-	-	1	1	1	3	5	7	10	13
	250	-	-	1	1	1	2	4	6	8	10
	300	-	-	-	1	1	2	3	5	7	9
	350	-	-	-	1	1	1	3	4	6	8
	400	-	-	-	1	1	1	2	4	5	7
	500	-	-	-	1	1	1	1	3	4	6

**** Alambres***

CONTINUACIÓN DE TABLA 3.1

NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES QUE PUEDEN ALOJARSE EN TUBO CONDUIT											
TIPO DE CONDUCTOR	CALIBRE DE CONDUCTOR AWG MCM	DIÁMETRO NORMAL DE TUBO (mm)									
		13	19	25	32	38	51	63	76	89	102
RHW Y RHH (Con cubierta exterior)	14*	3	6	10	18	25	41	58			
	14	3	6	9	17	23	38	53			
	12*	3	5	9	16	21	35	50			
	12	3	5	8	14	19	32	45			
	10*	2	4	7	13	18	29	41			
	10	2	4	6	12	16	26	37			
	8	1	2	4	7	9	16	22	35	47	
	6	1	1	2	5	7	11	15	24	32	41
	4	1	1	1	3	5	8	12	18	24	31
	2	-	1	1	3	4	7	9	14	19	24
	1/0	-	1	1	1	2	4	6	9	12	16
	2/0	-	-	1	1	2	3	5	8	11	14
	3/0	-	-	1	1	1	3	4	7	9	12
	4/0	-	-	1	1	1	2	4	6	8	10
	250	-	-	-	1	1	1	3	5	6	8
	300	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7
	350	-	-	-	1	1	1	2	4	5	6
	400	-	-	-	1	1	1	1	3	4	6
	500	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5

Alambre

CONTINUACIÓN DE TABLA 3.1

NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES QUE PUEDAN ALOJARSE EN TUBO CONDUIT											
TIPO DE CONDUCTOR	CALIBRE DE CONDUCTOR AWG MCM	DIÁMETRO NORMAL DE TUBO (mm)									
		13	19	25	32	38	51	63	76	89	102
THWN y THHN	14*	13	24	37	66						
	14	11	20	32	57						
	12*	19	18	28	49	67					
	12	8	15	23	42	57					
	10*	6	11	18	32	43	71				
	10	5	8	15	26	36	59				
	8	3	5	9	15	21	35	49			
	6	2	4	6	11	15	25	36	56		
	4	1	2	4	7	9	16	22	34	46	
	2	1	1	3	5	7	11	16	25	33	42
	1/0	-	1	1	3	4	7	10	15	20	26
	2/0	-	1	1	2	3	6	8	13	17	22
	3/0	-	1	1	1	3	5	7	11	14	18
	4/0	-	-	1	1	2	4	6	9	12	15
	250	-	-	1	1	1	3	4	7	10	12
	300	-	-	1	1	1	3	4	6	8	11
	350	-	-	-	1	1	2	3	5	7	9
	400	-	-	-	1	1	1	3	5	6	8
	500	-	-	-	1	1	1	2	4	5	7

Alambres

NOTA

- Esta tabla está basada en factores de relleno de 40% para 3 conductores o más, 30% para 2 conductores y 55% en el caso de un sólo conductor.
- Debe tenerse en cuenta que para más de 3 conductores en un tubo, la capacidad de corriente permisible en los mismos se ve reducida de acuerdo con los factores de corrección de la tabla.

TABLA 3.2

CORRIENTE A PLENA CARGA EN AMPERS, DE MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA			
C.P	TENSIÓN NOMINAL DE ARMADURA		
	120 V.	240 V.	500 V.
1/4	3.1	1.6	
1/3	4.1	2.0	
1/2	5.4	2.7	
3/4	7.6	3.8	
1	9.5	4.7	
1 1/2	13.2	6.6	
2	17.0	8.5	
3	25.0	12.2	
5	40.0	20.0	
7 1/2	58.0	29.0	13.6
10	76.0	38.0	18.0
15		55.0	27.0
20		72.0	34.0
25		89.0	43.0
30		106.0	51.0
40		140.0	67.0
50		173.0	83.0
60		206.0	99.0
75		255.0	123.0
100		341.0	164.0
125		425.0	205.0
150		506.0	246.0
200		675.0	330.0

Los valores dados en esta tabla son para motores funcionando a su velocidad normal.

CORRIENTES A PLENA CARGA EN AMPERES, DE MOTORES MONOFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA

Los siguientes valores de corriente a plena carga son para motores que funcionen a velocidades normales y con características de par también normales. Los motores de velocidad especialmente baja o de alto par motor pueden tener corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que varía con la velocidad; en estos casos, debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos.

TABLA 3.3

C.P	127 V.	220 V.
1/6	4.0	2.3
1/4	5.3	3.0
1/3	6.5	3.8
1/2	8.9	5.1
3/4	11.5	7.2
1	14.0	8.4
1 1/2	18.0	10.0
2	22.0	13.0
3	31.0	18.0
5	51.0	29.0
7 1/2	72.0	42.0
10	91.0	52.0

TABLA 3.4

CORRIENTE A PLENA CARGA DE MOTORES TRIFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA						
C.P	MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA Y ROTOR DEVANADO (AMPERES)			MOTOR SÍNCRONO, CON FACTOR DE POTENCIA UNITARIO (AMPERES)		
	220 V.	440 V.	2400 V.	220 V.	440 V.	2400 V.
1/2	2.1	1.0				
3/4	2.9	1.5				
1	3.8	1.9				
1 1/2	5.4	2.7				
2	7.1	3.6				
3	10.0	5.0				
5	15.9	7.9				
7 1/2	23.0	11.0				
10	29.0	15.0				
15	44.0	22.0				
20	56.0	28.0				
25	71.0	36.0		54	27	
30	84.0	42.0		65	33	
40	109.0	54.0		86	43	
50	136.0	68.0		108	54	
60	161.0	80.0	15	128	64	11
75	201.0	100.0	19	161	81	14
100	259.0	130.0	25	211	106	19
125	326.0	163.0	30	264	132	24
150	376.0	188.0	35	-	158	29
200	502.0	251.0	47	-	210	38

Estos valores de corriente a plena carga son para motores que funcionen a velocidades normales para transmisión por banda y con características de par, también normales. Los valores de velocidad especialmente baja o de alto par motor pueden tener corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que varia con la velocidad; en estos casos, debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos.

TABLA 3.5

LETRAS DE CLAVE PARA INDICAR LOS KVA POR C. P. DE LOS MOTORES CON ROTOR BLOQUEADO							
LETRA DE CLAVE	KVA POR C.P. CON ROTOR BLOQUEADO			LETRA DE CLAVE	KVA POR C.P. CON ROTOR BLOQUEADO		
A	0	-	3.14	L	9.0	-	9.99
B	3.15	-	3.54	M	10.0	-	11.19
C	3.55	-	3.99	N	11.2	-	12.49
D	4.0	-	4.49	P	12.5	-	13.99
E	4.5	-	4.99	R	14.0	-	15.99
F	5.0	-	5.59	S	16.0	-	17.99
G	5.6	-	6.29	T	18.0	-	19.99
H	6.3	-	7.09	U	20.0	-	22.39
J	7.1	-	7.99	V	22.4	-	y más
K	8.0	-	8.99				

NOTA 1 Los motores de velocidades múltiples deben marcarse con la letra de clave que indique los KVA por caballo de potencia caballo de potencia con rotor bloqueado para la velocidad más alta, excepto los motores de potencia constante, los cuales deben marcarse con letra de clave que dé el mayor número de KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado.

NOTA 2 Los motores de una sola velocidad que arranquen Estrella y trabajen en marcha normal en delta, deben identificarse con la letra de clave correspondiente a los KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado en la conexión estrella.

NOTA 3 Los motores de dos tensiones que tengan distintos KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado en las dos tensiones, deben identificarse con la letra de clave para la tensión que dé el mayor número de KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado.

NOTA 4 Los motores con alimentación para 50 y 60 Hertz deben identificarse con la letra de clave que designe los KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado a 60 Hertz.

NOTA 5 Los motores que arranquen con una parte del devanado, deben marcarse con la letra de clave que designe los KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado correspondientes a todo el devanado del motor.

TABLA 3.6

FACTORES PARA SELECCIONAR LOS CONDUCTORES PARA MOTORES QUE NO SEAN DE SERVICIO CONTINUO				
TIPO DE SERVICIO QUE REQUIERE LA CARGA	POR CIENTO DE LA CORRIENTE NOMINAL INDICADA EN LA PLACA DE DATOS. RÉGIMEN DE TRABAJO PARA EL CUAL FUE DISEÑADO EL MOTOR			
	5 MINUTOS	15 MINUTOS	30 Y 60 MINUTOS	CONTINUO
De corto tiempo: Accionamiento de válvulas, elevaciones o descenso de rodillos, etc.	110	120	150	
Intermitente: Ascensores y montacargas, maquinas-herramientas, bombas, puentes levadizos o giratorios, plataformas giratorias, etc. (Para soldadoras de arco, véase el artículo 518.12).	85	85	90	140
Periódico: Rodillos, máquinas para manipulación de minerales, etc.	85	90	95	140
Variable:	110	120	150	200

Cualquier aplicación de un motor se considera como de servicio continuo, a menos que la naturaleza de la máquina o aparato accionado sea tal que el motor no opere continuamente con carga bajo cualquier condición de uso.

TABLA 3.7

CAPACIDAD MÁXIMA O AJUSTE DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA PARA EL CIRCUITO DERIVADO DE MOTORES				
TIPO DE MOTOR	PORCIENTO DE LA CORRIENTE A PLENA CARGA			
	FUSIBLE SIN RETASO DE TIEMPO	ELEMENTO DUAL (FUSIBLE CON RETRASO)	INTERRUPTOR CON DISPARO INSTANTÁNEO	INTERRUPTOR DE TIEMPO INVERSO
Monofásico, todos los tipos sin letra de código.	300	175	700	250
Todos los motores monofásicos y polifásicos jaula de ardilla con arranque a voltaje pleno, o arranque por reactor o resistor.				
Sin letra de código	300	175	700	250
Letras de código F a V	300	175	700	250
Letras de código B a E	250	175	700	200
Letras de código A	150	150	700	150
Todos los motores de jaula de ardilla y síncronos con arranque por autotransformador no mayores de 30 amperes sin letra de código.	250	175	700	200
Mayores de 30 amperes sin letra de código sin letra de código.	200	175	700	200
Letras de código F a V	250	175	700	200
Letras de código B a E	200	175	700	200
Letras de código A	150	150	700	150
Jaula de ardilla con alta reactancia no mayores de 30 amperes sin letra de código.	250	175	700	250
Mayores de 30 amperes sin letra de código.	200	175	700	200
Rotor devenado sin letra de código.	150	150	250	150

TABLA 3.8

DATOS PARA ELEMENTOS TÉRMICOS (TABLA TÍPICA)				
CORRIENTE A PLENA CARGA (TABLA TÍPICA)			UNIDAD TÉRMICA NÚMERO	
2 T. U. 1 Ø	2 T. U. 2 Ø	3 T. U.		
0.37-0.39	0.37-0.39	0.30-0.31	AR	.45
0.40-0.42	0.40-0.42	0.32-0.34	AR	.49
0.43-0.46	0.43-0.46	0.35-0.37	AR	.54
0.47-0.50	0.47-0.50	0.38-0.41	AR	.59
0.51-0.54	0.51-0.54	0.42-0.45	AR	.65
0.55-0.59	0.55-0.59	0.46-0.49	AR	.71
0.60-0.65	0.60-0.65	0.50-0.54	AR	.78
0.66-0.71	0.66-0.71	0.55-0.56	AR	.86
0.72-0.78	0.72-0.78	0.57-0.62	AR	.95
0.79-0.86	0.79-0.86	0.63-0.68	AR	1.05
0.87-0.94	0.87-0.94	0.69-0.75	AR	1.15
0.95-1.04	0.95-1.04	0.76-0.82	AR	1.26
1.05-1.14	1.05-1.14	0.83-0.91	AR	1.39
1.15-1.25	1.15-1.25	0.92-1.00	AR	1.53
1.26-1.42	1.26-1.42	1.01-1.18	AR	1.68
1.43-1.62	1.43-1.62	1.19-1.30	AR	1.85
1.63-1.75	1.63-1.75	1.31-1.41	AR	2.04
1.76-1.91	1.76-1.91	1.42-1.53	AR	2.24
1.92-2.07	1.92-2.07	1.54-1.69	AR	2.46
2.08-2.25	2.08-2.25	1.70-1.79	AR	2.71
2.26-2.47	2.26-2.47	1.80-2.02	AR	2.98
2.48-2.73	2.48-2.73	2.03-2.19	AR	3.28
2.74-2.99	2.74-2.99	2.20-2.43	AR	3.62
3.00-3.31	3.00-3.31	2.44-2.81	AR	3.98
3.32-3.71	3.32-3.71	2.82-3.12	AR	4.37
3.72-4.15	3.72-4.15	3.13-4.47	AR	4.80
4.16-4.65	4.16-4.65	3.48-3.89	AR	5.30
4.66-5.11	4.66-5.11	3.90-4.30	AR	5.80
5.12-5.68	5.12-5.68	4.31-4.69	AR	6.40
5.69-6.24	5.69-6.24	4.70-5.19	AR	7.00
6.25-7.15	6.25-7.15	5.20-5.93	AR	7.70
7.16-7.84	7.16-7.84	5.94-6.45	AR	8.50
7.85-8.56	7.85-8.56	6.46-7.08	AR	9.30
8.57-9.40	8.57-9.40	7.09-7.71	AR	10.20
9.41-10.20	9.41-10.20	7.72-8.39	AR	11.20
10.30-10.70	10.30-10.70	8.40-8.64	AR	12.40
10.80-12.20	10.80-12.00	8.65-9.74	AR	13.60
12.30-14.10		9.75-11.00	AR	15.40
14.20-15.90		11.10-12.00	AR	17.60
16.00-18.00			AR	20.50
SELECCIÓN PARA TAMAÑO 1 ÚNICAMENTE				
	10.80-12.20		AR	13.60
	12.30-14.10		AR	15.40
	14.20-15.90	11.10-12.40	AR	17.60
16.00-18.10	16.00-18.10	12.50-13.90	AR	20.50
18.20-20.80	18.20-20.80	14.00-15.90	AR	23.00
20.90-23.60	20.90-23.60	16.00-17.70	AR	27.00
23.70-26.00	23.70-26.00	17.80-20.30	AR	30.00
		20.40-22.80	AR	35.00
		22.90-26.00	AR	40.00

TABLA 3.9

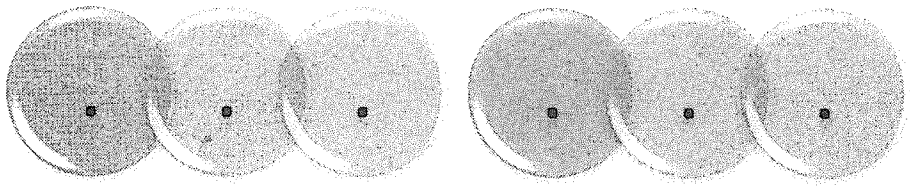
DATOS PARA MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN Y ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO								
CAPACIDAD MÁXIMA		CORRIENTE NORMAL A	INTERRUPTOR		ARRANCADOR TAMAÑO NEMA	CONDUCTOR TW (AWG o MCM)	DIÁM. TUBO CONDUIT	
H.P.	V	MPS	AMP	MARCO			m.m	Plg.
1/4	220	1	15	TE	00	3 N° 12	13	1/2
	-	-	-	-	-	-		
1/2	220	2	15	TE	00	3 N° 12	13	1/2
	-	-	-	-	-	-		
3/4	220	2.8	15	TE	00	3 N° 12	13	1/2
	-	-	-	-	-	-		
1	220	3.5	15	TE	00	3 N° 12	13	1/2
	440	1.8	15	TEF	00	3 N° 12	13	1/2
1 1/2	220	5	15	TE	00	3 N° 12	13	1/2
	440	2.5	15	TEF	00	3 N° 12	13	1/2
2	220	6.5	20	TE	00	3 N° 12	13	1/2
	440	3.3	15	TEF	00	3 N° 12	13	1/2
3	220	9	30	TE	0	3 N° 12	13	1/2
	440	4.5	15	TEF	0	3 N° 12	13	1/2
5	220	15	30	TE	1	3 N° 12	13	1/2
	440	7.5	20	TEF	0	3 N° 12	13	1/2
7 1/2	220	22	50	TE	1	3 N° 10	19	3/4
	440	11	20	TEF	1	3 N° 12	13	1/2
10	220	27	50	TE	2	3 N° 10	19	3/4
	440	14	30	TEF	1	3 N° 12	13	1/2
15	220	40	70	TE	2	3 N° 8	19	3/4
	440	20	30	TEF	2	3 N° 10	19	3/4
20	220	52	100	TE	3	3 N° 6	25	1
	440	26	50	TEF	2	3 N° 8	19	3/4
25	220	64	100	TE	3	3 N° 4	32	1 1/4
	440	32	50	TEF	2	3 N° 8	19	3/4
30	220	78	125	TFJ	3	3 N° 2	32	1 1/4
	440	39	70	TEF	3	3 N° 8	19	3/4
40	220	104	200	TFJ	4	3 N° 0	51	2
	440	52	100	TEF	3	3 N° 6	25	1
50	220	125	200	TFJ	4	3 N° 0	51	2
	440	63	100	TEF	3	3 N° 4	32	1 1/4
60	220	150	225	TFJ	5	3 N° 2/0	51	2
	440	75	125	TFJ	4	3 N° 2	32	1 1/4
75	220	185	300	TJJ	5	3 N° 4/0	64	2 1/2
	440	93	150	TFJ	4	3 N° 2	32	1 1/4
100	220	246	400	TJJ	5	3 N° 300 MCM	64	2 1/2
	440	123	200	TFJ	4	3 N° 0	51	2
125	220	310	400	TJJ	-	-	-	
	440	155	225	TFJ	5	3 N° 3/0	51	2
150	220	360	600	TKM	-	-	-	
	440	180	300	TJJ	5	3 N° 4/0	64	2 1/2
200	220	480	800	TKM	-	-	-	
	440	240	400	TJJ	5	3 N° 300 MCM	64	2 1/2

**** Para longitudes de conductor de hasta 60 m.***

TABLA 3.10

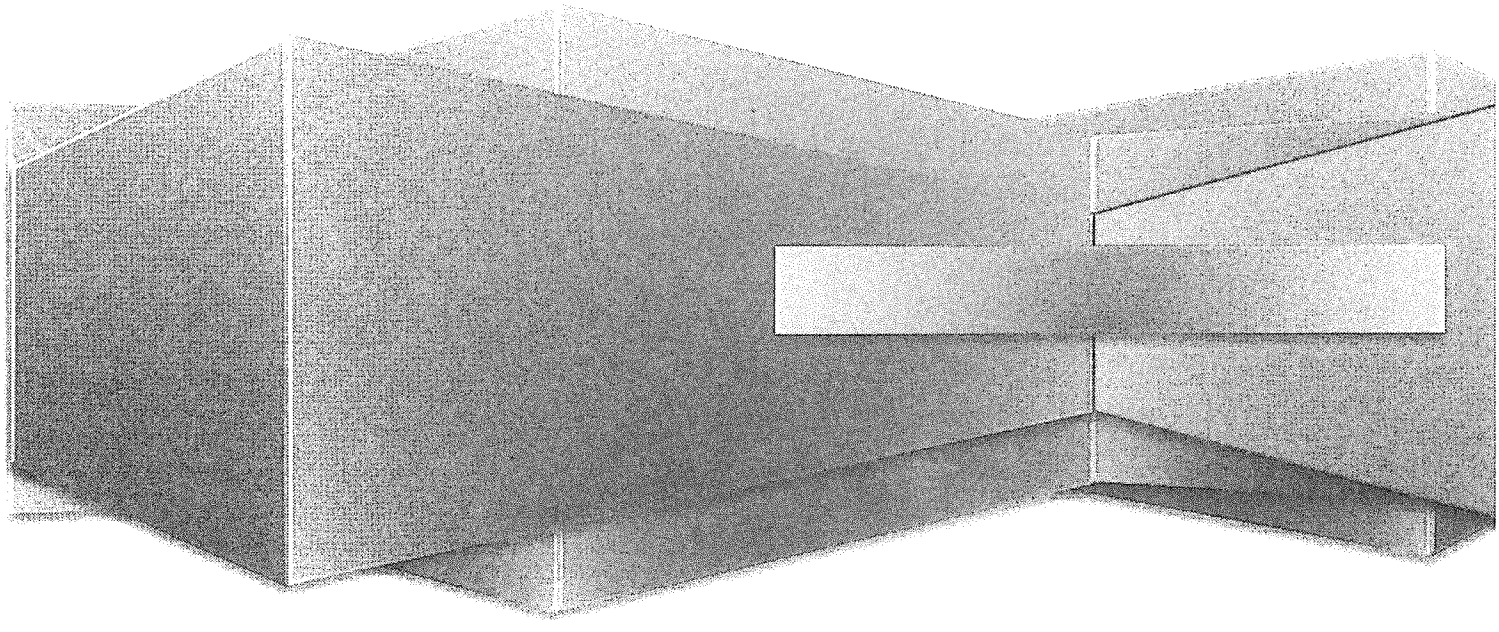
EFECTO DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJEY FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN												
CARACTERÍSTICA QUE VARÍA		PAR DE ARRANQUE EN MARCHA	VELOCIDAD SÍNCRONA	% DE DESLIZAMIENTO	VELOCIDAD A PLENA CARGA	EFICIENCIA A PLENA CARGA	FACTOR DE POTENCIA A PLENA CARGA	CORRIENTE DE PLENA CARGA	CORRIENTE CON ROTOR FRENADO	ELEVACIÓN DE TEMPERATURA A PLENA CARGA	CAPACIDAD MÁXIMA DE SOBRECARGA	RUIDO MAGNÉTICO EN VACÍO
Voltaje	120%	Aumenta 44%	No varía	Decrece 30%	Aumenta 1.5%	Aumenta Ligeramente	Disminuye 5 a 15 puntos	Decrece 11%	Aumenta 25%	Decrece 5 a 6°C	Aumenta 44%	Notable aumento
	110%	Aumenta 21%	No varía	Decrece 17%	Aumenta 1%	Aumenta $^1/_2$ a 1 punto	Disminuye 3 puntos	Decrece 7%	Aumenta 10 a 12%	Decrece 3 a 4°C	Aumenta 21%	Aumenta Ligeramente
	90%	Decrece 19%	No varía	Aumenta 23%	Decrece 1 $^1/_2$%	Disminuye 2 puntos	Aumenta 1 punto	Aumenta 11%	Decrece 10 a 12%	Aumenta 6 a 7°C	Decrece 19%	Decrece Ligeramente
Frecuencia	105%	Decrece 10%	Aumenta 5%	Prácticamente no varía	Aumenta 5%	Aumenta ligeramente	Aumenta ligeramente	Decrece ligeramente	Decrece 5 a 6%	Decrece ligeramente	Decrece ligeramente	Decrece ligramente
	95%	Aumenta 11%	Decrece 5%	Prácticamente no varía	Decrece 5%	Decrece ligeramente	Decrece ligeramente	Aumenta ligeramente	Aumenta ligeramente 5 a 6%	Aumenta ligeramente	Aumenta ligeramente	Aumenta ligeramente

Los motores estándar soportan correctamente su carga normal cuando la tensión es 10% menor que la especificada, y cuando la frecuencia es 5% mayor o menor que la especificada.



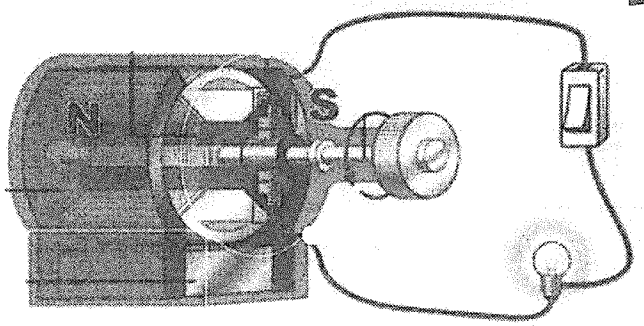
4

ELEMENTOS DE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA



ELEMENTOS DE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA

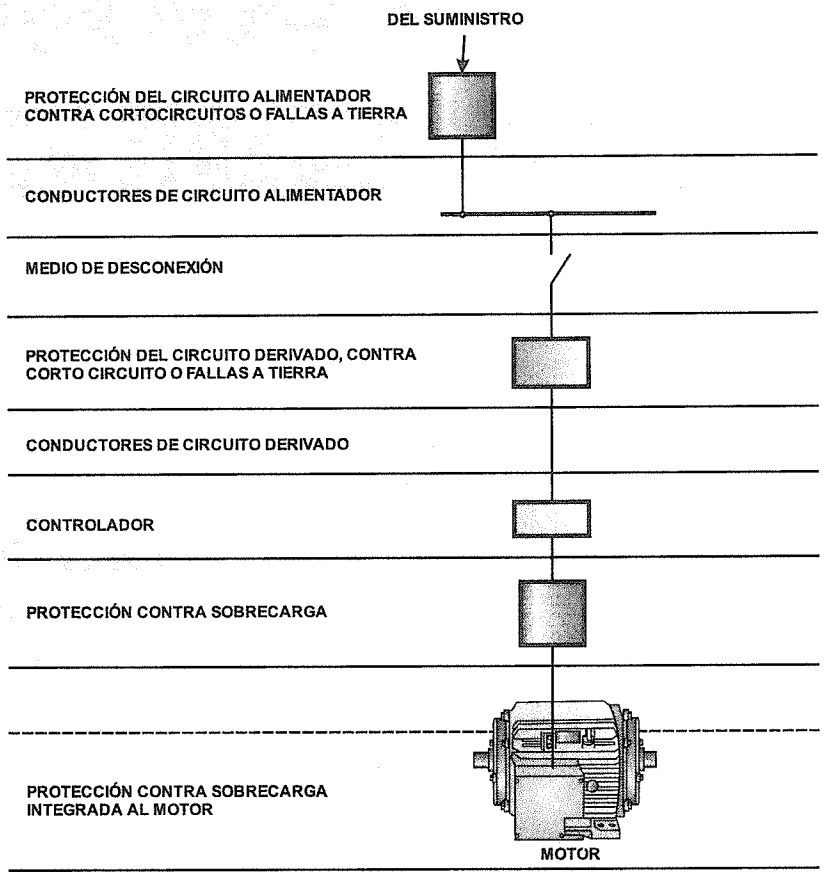
4



4.1 INTRODUCCIÓN

En todas las instalaciones eléctricas industriales en donde aparecen motores eléctricos, la instalación eléctrica de los mismos no sólo es llevar la energía hasta ellos, también requiere de medios de conexión y desconexión, así como el control de los mismos, dependiendo de la aplicación específica para la cual fueron seleccionados. De hecho, en el capítulo anterior, se han mencionado en forma breve algunos de esos elementos y su función desde el punto de vista de la instalación eléctrica del motor.

Estos elementos, en la forma que aparecen en las normas técnicas para instalaciones eléctricas, se muestran en la figura siguiente:



ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO DE UN MOTOR

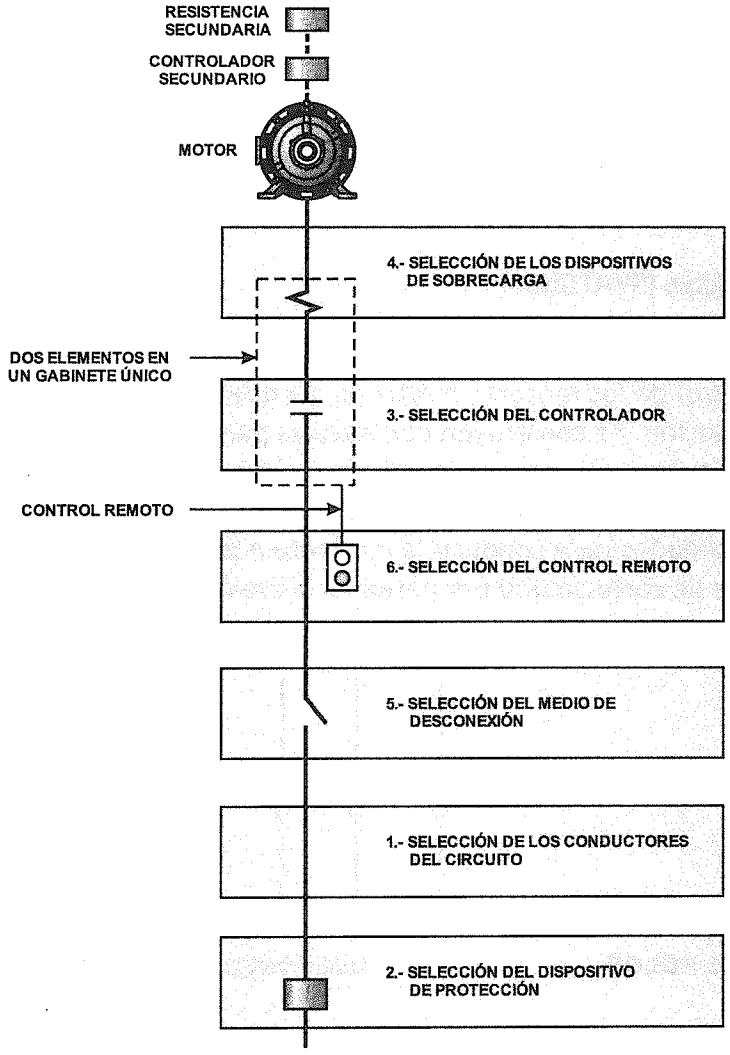
El concepto de control de motores eléctricos en su sentido más amplio comprende todos los métodos usados para el control del comportamiento de un sistema eléctrico. En el sentido que se pretende usar en este capítulo, está relacionado con el arranque, aceleración, reversa, deceleración y frenado de un motor y su carga.

Por otra parte, el control de motores eléctricos se ha asociado tradicionalmente con el estudio de los dispositivos eléctricos que intervienen para cumplir con las funciones descritas en el párrafo anterior; sin embargo, en la actualidad, el concepto de control de motores eléctricos no sólo se refiere a los dispositivos eléctricos convencionales, sino también a dispositivos electrónicos cuyo estudio se relaciona con la llamada electrónica de potencia, lo cual da un mayor grado de complejidad a los circuitos de control, por lo que su estudio requeriría de mayor detalle, no sólo en las componentes, también en la variedad de circuitos para distintas funciones que se presentan en las instalaciones industriales.

4.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

El controlador de un motor eléctrico es un dispositivo que se usa normalmente para arrancar un motor que va a desempeñar un comportamiento en una forma determinada en condiciones normales de operación, y para pararlo cuando así se requiera.

El controlador puede ser un simple desconectador para arrancar y parar el motor (switch), puede ser también una estación de botones para arrancar al motor en forma local o a control remoto, o puede ser un dispositivo que arranque al motor por pasos o invirtiendo su sentido de rotación, o bien haciendo uso de las señales de los elementos por controlar, como poder ser: temperatura, presión, nivel de un líquido o cualquier otro cambio físico que requiera arrancar o parar un motor, y que evidentemente le dan mayor grado de complejidad al circuito de control.



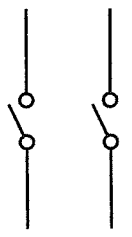
PASOS A SEGUIR EN EL CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL A UN MOTOR DE C.A.

Cada circuito de control, por simple o complejo que sea, está compuesto de un cierto número de componentes básicas conectadas entre sí para cumplir con un comportamiento determinado. El principio de operación de estos componentes es el mismo y su tamaño varía dependiendo del tamaño del motor que van a controlar. Aun cuando la variedad de componentes para los circuitos de control es amplia, los principales elementos eléctricos de control son los que a continuación se mencionan:

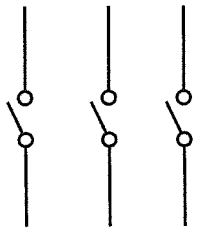
1) Desconectadores (switches).
2) Interruptores termomagnéticos.
3) Desconectadores (switches) tipo tambor.
4) Estación de botones.
5) Relevadores de control.
6) Contactores magnéticos.
7) Fusibles y relevadores.
8) Lámparas piloto.
9) Switch de nivel, límite y otros tipos.
10) Resistencias, reactores, autotransformadores, transformadores y capacitores.

1) DESCONECTADORES (SWITCHES).

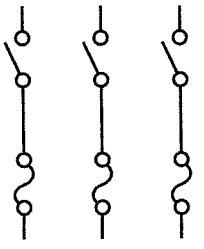
Los desconectadores también conocidos como switches, constituyen uno de los medios más elementales de control de los motores eléctricos, ya que conecta o desconecta a un motor de la fuente de alimentación. Se construyen con navajas para dos líneas (motores monofásicos) o tres líneas (motores trifásicos), las navajas abren o cierran simultáneamente por medio de un mecanismo. Por lo general, se encuentran alojados en una caja metálica y tienen un fusible por conductor. Están diseñados para conducir la corriente nominal por un tiempo indefinido y para soportar la corriente de cortocircuito por periodos breves de tiempo.



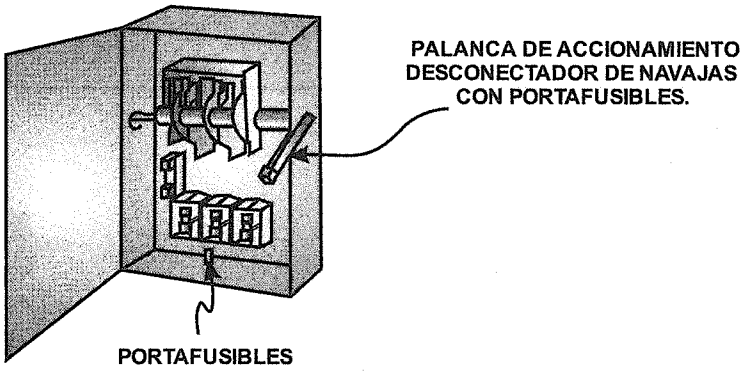
DESCONECTADOR DE 2 POLOS



DESCONECTADOR DE 3 POLOS



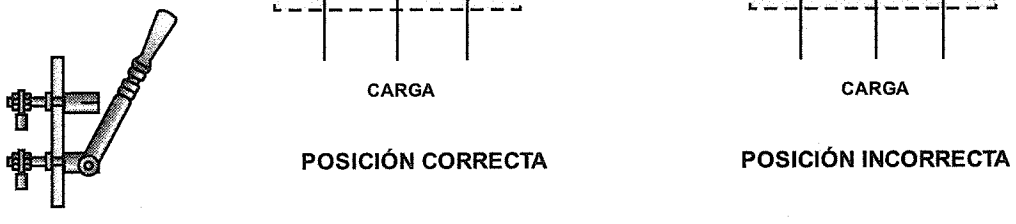
DESCONECTADOR CON FUSIBLE



2) INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS.

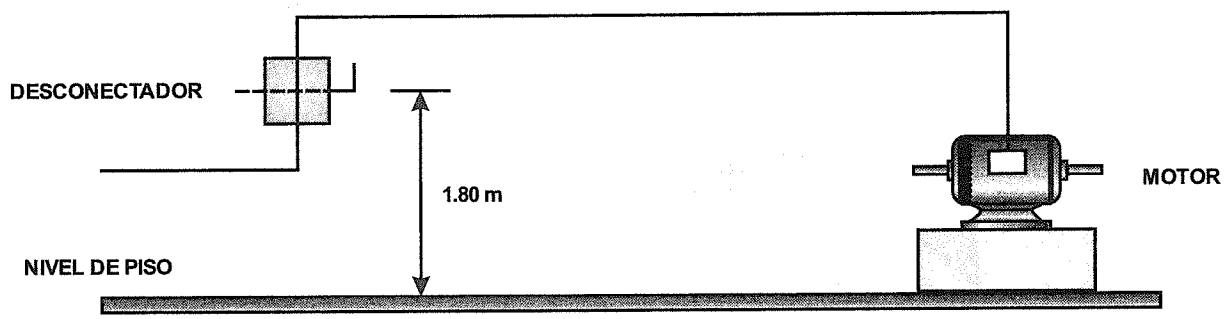
Un interruptor termomagnético manual permite abrir y cerrar un circuito, en forma análoga a las cuchillas desconectadoras (switch), excepto que en estos interruptores se puede abrir en forma automática cuando el valor de la corriente que circula por ellos excede a un cierto valor previamente fijado. Después de que estos interruptores abren (disparan) se deben restablecer en forma manual, tienen la ventaja sobre los desconectadores (switch) que no requieren del uso de fusibles.

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas establecen que las ventajas del desconectador estén colocadas o montadas en tal forma que cuando se abra, tienden a seguir el sentido de la gravedad, como se muestra en la figura siguiente:

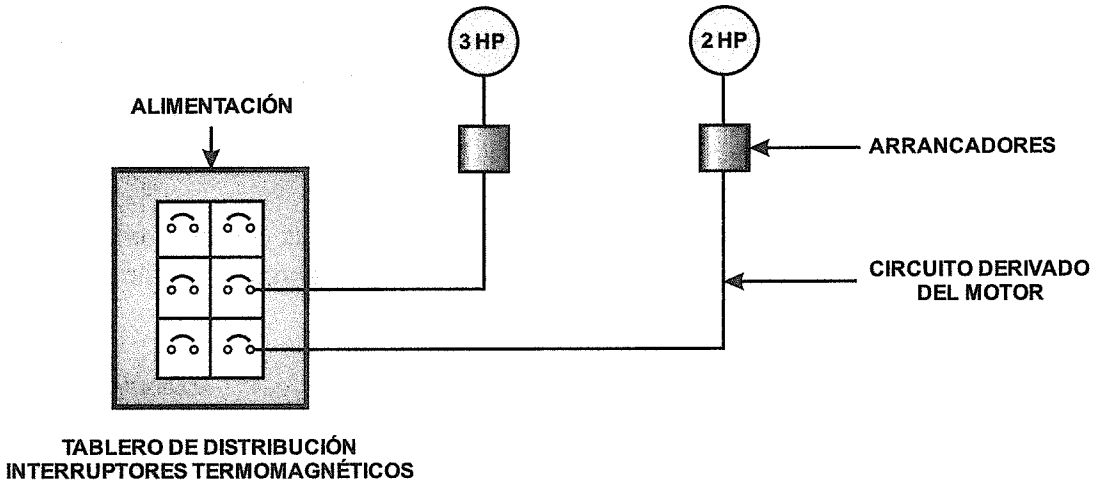


POSICIÓN CORRECTA DE LAS CUCHILLAS DESCONECTADORAS

La altura con respecto al nivel del suelo a que se debe montar la caja que contiene al desconectador, no debe ser inferior a 1.80 m.



La regla aplicada a los desconectadores es aplicable a los interruptores termomagnéticos en cuanto a la altura de instalación sobre el nivel del suelo, aun cuando éstos en muchas ocasiones van montados en tableros de fuerza en baja tensión.



3) DESCONECTADOR (SWITCH) TIPO TAMBOR.

Los desconectadores tipo tambor son dispositivos manuales que tienen un grupo de contactos fijos e igual número de contactos móviles. Estos contactos permiten obtener las posiciones de abierto y cerrado con una secuencia determinada por medio de una manija rotatoria. Se usan en motores de potencia pequeña o como dispositivos de control en motores con arrancadores magnéticos.

4) ESTACIONES DE BOTONES.

Una estación de botones es básicamente un desconectador (switch) que se activa por medio de la presión de los dedos, de manera que dos o más contactos cierran o abren cuando se quita la presión de los botones. Normalmente se usan resortes en los botones para regresarlos a su posición original después de ser presionados.

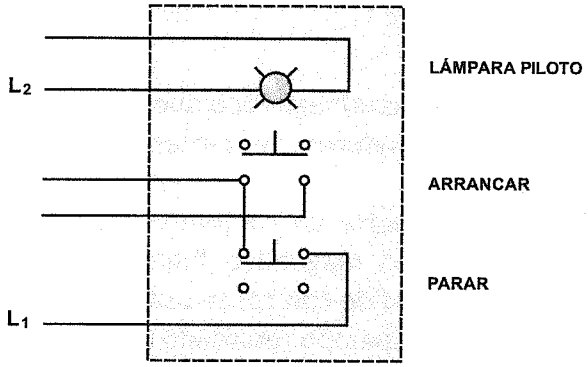


DIAGRAMA DE ALAMBRADO DE UNA ESTACIÓN DE BOTONES CON LÁMPARA PILOTO

En una instalación eléctrica se puede usar más de una estación de botones, de manea que se pueda controlar un motor desde tantos puntos como estaciones se tengan, y se pueden fabricar para uso normal o para uso pesado, cuando se usan con mucha frecuencia.

DATOS DE ESTACIONES DE BOTONES EN CAJA NEMA 1 DE USOS GENERALES

DESCRIPCIÓN	CONTACTOS	LEYENDA
UN BOTÓN	N.A.	ARRANCAR
	N.C.	PARAR
		PARAR (CON SEGURO)
DOS BOTONES	N.A. / N.C.	ARRANCAR - PARAR
		ARRANCAR - PARAR (CON SEGURO EN PARAR)
	N.A. / N.A.	SUBIR - BAJAR
		ADELANTE - REVERSA
TRES BOTONES	N.C. / N.C. / N.C.	SUBIR - BAJAR - PARAR
		ADELANTE - ATRÁS - PARAR
		RÁPIDO - LENTO - PARAR
DOS BOTONES CON LÁMPARA NEÓN	⊗ N.A. / N.C.	ARRANCAR - PARAR ROJA
DOS BOTONES CON DOS LÁMPARAS NEÓN	⊗ N.A. / N.C.	ARRANCAR - PARAR ROJA AMARILLA
DISPOSITIVO DE SEGURO (PARA BOTÓN PARAR)		

EN CAJA NEMA 4 - 5 A PRUEBA DE AGUA Y POLVO

DOS BOTONES	⊗ N.A. / N.C.	ARRANCAR - PARAR

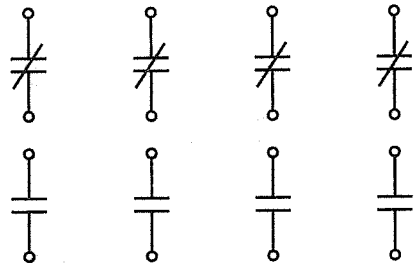
EN CAJA NEMA 7 - 9 A PRUEBA DE EXPLOSIÓN

DOS BOTONES	⊗	ARRANCAR - PARAR

5) RELEVADORES DE CONTROL.

Un relevador de control es un switch electromagnético que se emplea como dispositivo auxiliar en los circuitos de control de arrancadores de motores grandes o directamente como arrancadores en motores pequeños.
El relevador electromagnético abre y cierra un conjunto de contactos cuando su bobina se energiza. La bobina produce un campo magnético fuerte que atrae una armadura móvil accionando los contactos. Los relevadores de control se usan por lo general en circuitos de baja potencia y pueden incluir relevadores de tiempo retardado que cierran y abren sus contactos en intervalos de tiempo definidos.

La representación de los relevadores se hace por medio de símbolos convencionales, como se muestra a continuación:



RELEVADOR DE 4 CONTACTOS NORMALMENTE ABIERTOS Y 4 NORMALMENTE CERRADOS

6) RELEVADORES TÉRMICOS.

Un relevador térmico, también conocido como relevador de sobrecarga, es un dispositivo sensible a la temperatura cuyos contactos abren o cierran cuando la corriente del motor excede a un límite preestablecido. La corriente circula a través de un elemento de calentamiento pequeño que alcanza la temperatura del relevador. Los relevadores térmicos son dispositivos de retardo de tiempo en forma inherente, debido a que la temperatura no puede seguir en forma instantánea a los cambios de la corriente.

Existen relevadores del tipo aleación fusible que no se pueden graduar, pero que ofrecen una protección confiable contra sobrecarga. Estos fusibles existen en una gran variedad y son intercambiables, alojándose en el arrancador.

7) CONTACTORES MAGNÉTICOS.

Un contactor magnético es esencialmente un relevador de control grande que está diseñado para abrir y cerrar un circuito de potencia, posee un relevador de bobina que activa a un conjunto de contactos y se usan para controlar motores desde ½ HP hasta varios cientos de HP.

Poseen por lo general un sistema de extensión de arco eléctrico por soplo magnético, para evitar que se dañen los contactos por las repetidas operaciones de apertura y cierre a que se ven sujetos.

Existen también contactores que operan con corriente alterna, que están sostenidos mecánicamente. Estos son dispositivos electromecánicos que proporcionan un medio seguro y eficiente en los circuitos de interrupción.

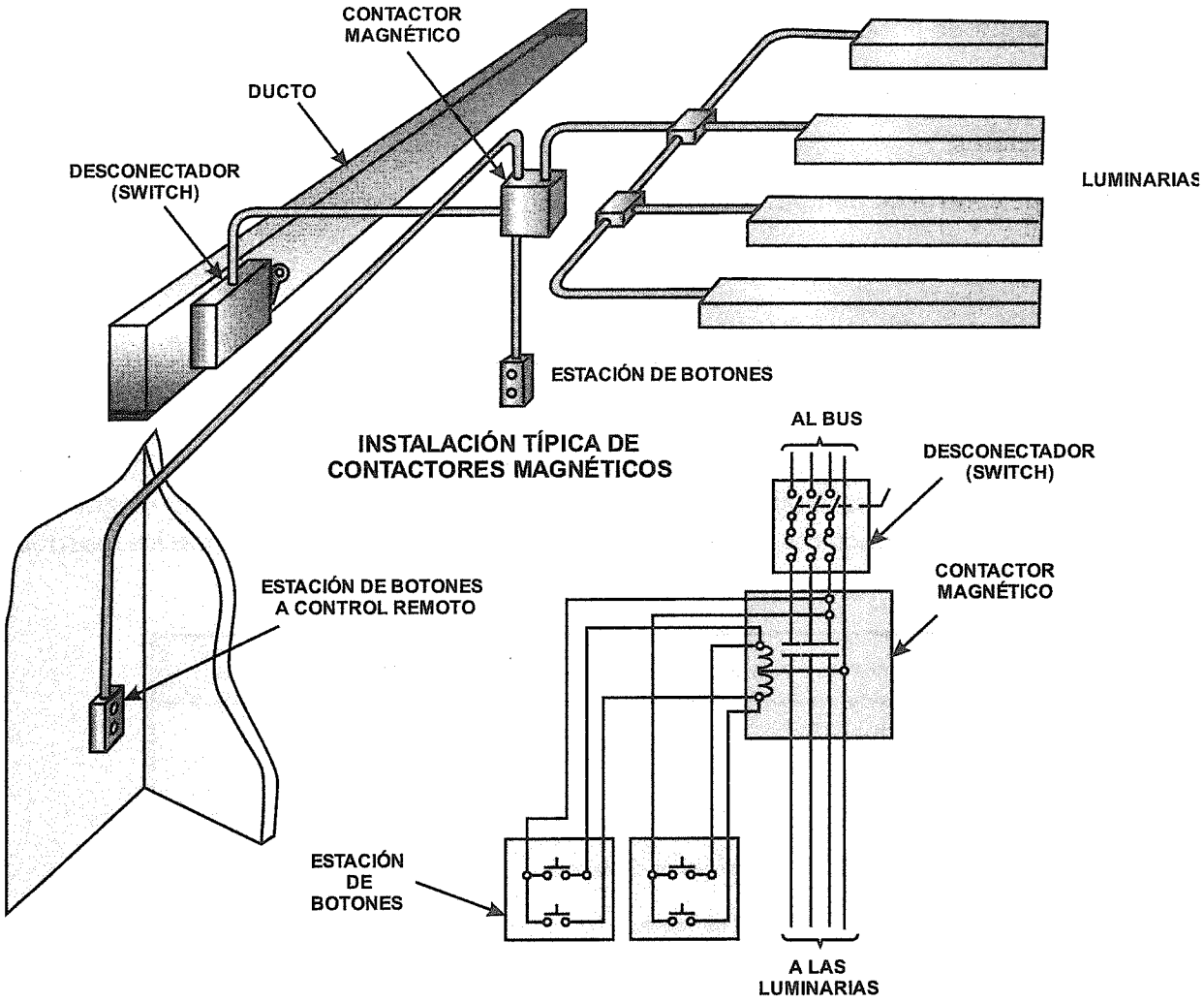


DIAGRAMA DE ALAMBRADO

8) LÁMPARAS PILOTO.

Las lámparas piloto se usan como elementos auxiliares de señalización para indicar posición de **"dentro"** o **"fuera"** de una componente remota en un sistema de control.

9) SWITCH LÍMITE Y SWITCH DE TIPO ESPECIAL.

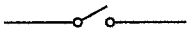
Un switch límite es un switch de baja potencia que tiene un dispositivo de contacto tipo grapa, cuya acción depende de la posición de un elemento mecánico, éste puede ser sensitivo a distintos tipos de señales, como son: la presión, la temperatura, el nivel de líquido, la dirección de rotación, etc.

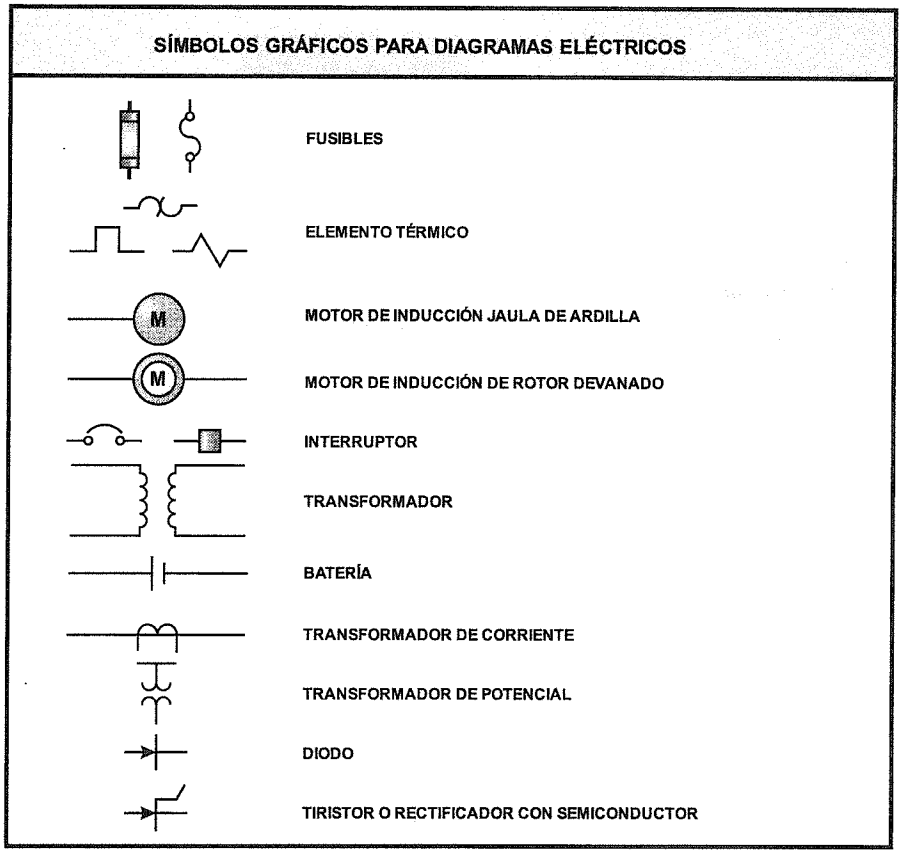
Algunos otros tipos de switch denominados especiales son:

- Interruptor de flotador.
- Interruptor de presión.
- Termostatos.
- Reloj de control de tiempo.
- Válvulas de solenoide.

4.3 DIAGRAMAS DE CONTROL

En las instalaciones eléctricas para motores de corriente alterna que cumplen con distintas funciones de control, para facilitar el diseño e instalación, se acostumbra elaborar diagramas de control, los cuales en algunos casos hacen uso de símbolos convencionales como los mostrados en la tabla siguiente:

SÍMBOLOS GRÁFICOS PARA DIAGRAMAS ELÉCTRICOS	
	CONDUCTORES QUE SE CRUZAN
	CONDUCTORES CONECTADOS
M	BOBINA DE OPERACIÓN
	CONTACTOR
	CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO
	CONTACTO NORMALMENTE CERRADO
	DESCONECTADOR
	ESTACIÓN DE BOTONES NORMALMENTE ABIERTA (CIERRE MOMENTÁNEO)
	ESTACIÓN DE BOTONES NORMALMENTE CERRADA (DE APERTURA MOMENTÁNEA)



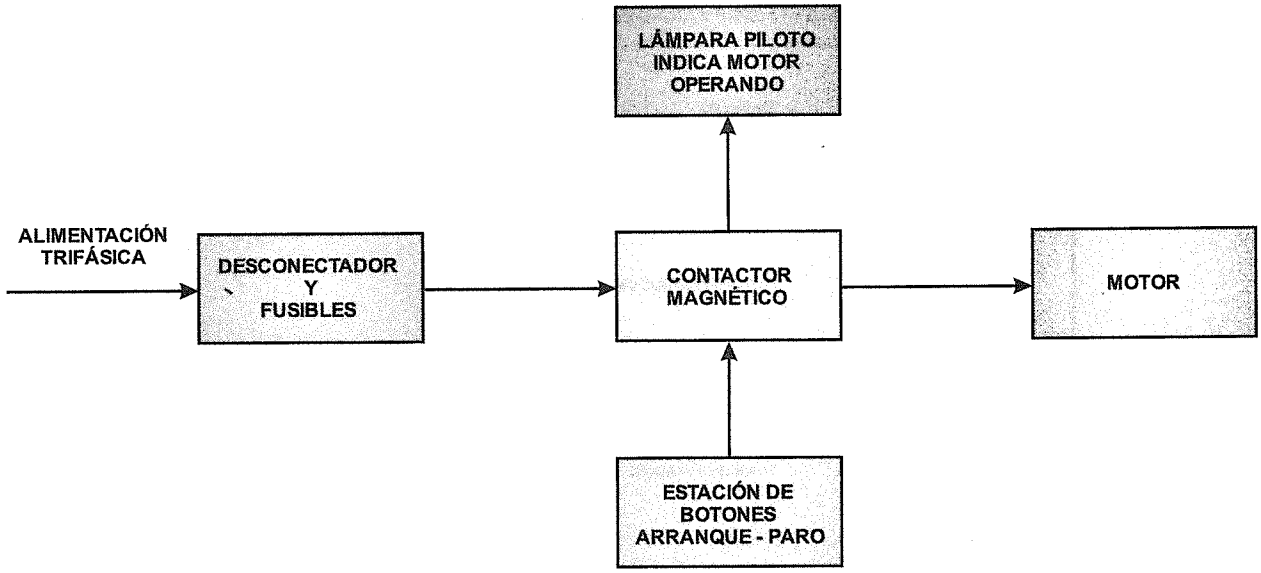
Un sistema de control se puede representar por cuatro tipos de diagramas, dependiendo del grado de detalle que se le quiera dar, éstos son los siguientes:

1. **DIAGRAMA DE BLOQUES.**
2. **DIAGRAMA UNIFILAR.**
3. **DIAGRAMA DE ALAMBRADO.**
4. **DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.**

DIAGRAMA DE BLOQUES.

Este diagrama está formado por un conjunto de rectángulos dentro de los cuales se describe en forma breve la función de cada uno de ellos. Los rectángulos se conectan por medio de flechas que indican la dirección de la circulación de corriente o flujo de potencia.

Como un ejemplo de elaboración de un diagrama de bloques, se muestra el que corresponde al arranque de un motor por medio de arrancador y estación de botones de arranque – paro.



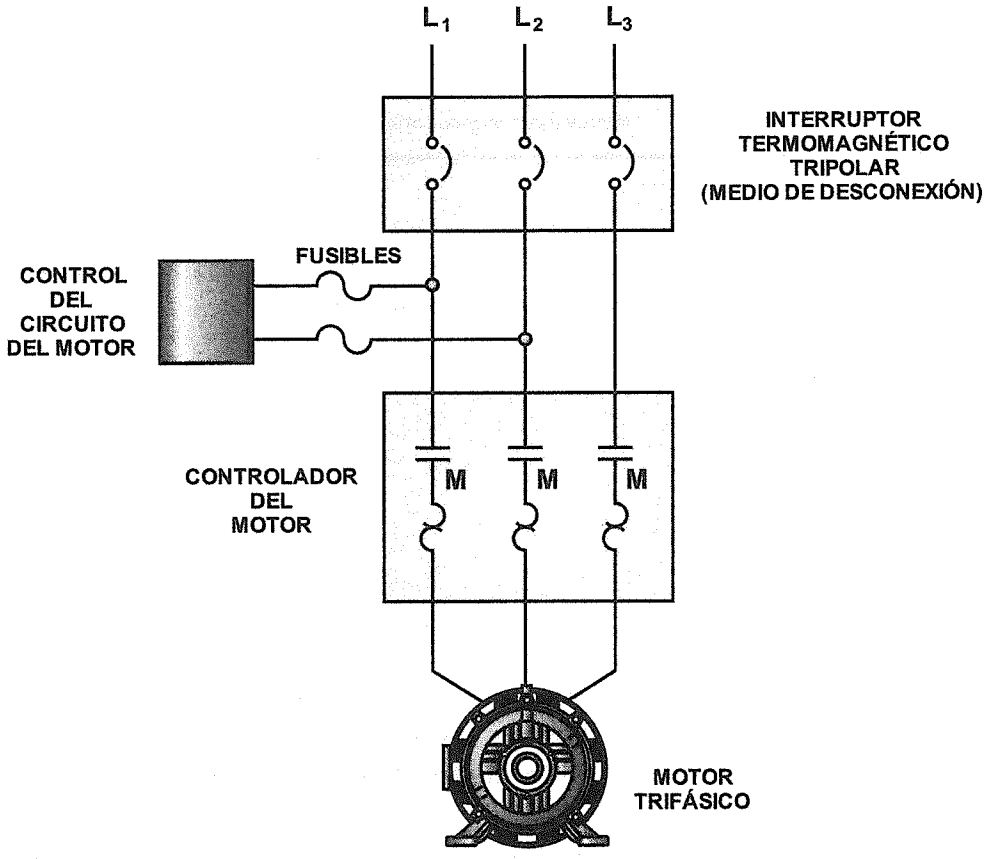
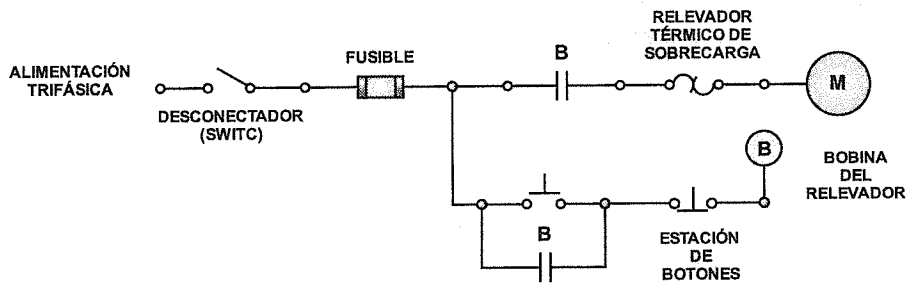


ILUSTRACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL DE UN MOTOR

DIAGRAMA UNIFILAR.

De hecho, el llamado diagrama unifilar ya ha sido usado en los capítulos precedentes, usando una simbología simplificada, ya que es similar a un diagrama de bloques, sólo que en lugar de representar a las componentes por un bloque con su descripción, se hace uso de los símbolos de cada componente.

Se espera que con el uso de símbolos se tenga una idea de sus componentes, de forma que se pueda obtener mayor información de un diagrama unifilar que de un diagrama de bloques. En el diagrama unifilar la línea usada puede representar dos o más conductores.



Un ejemplo de aplicación de estos diagramas unifilares a un diagrama esquemático, se da para el arranque de un motor de inducción tipo jaula de ardilla.

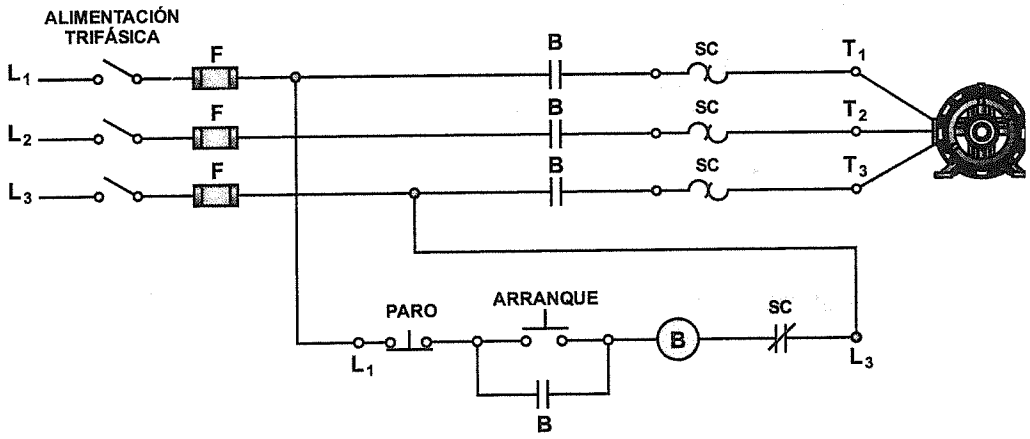


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

DIAGRAMA DE ALAMBRADO.

En un diagrama de alambrado se muestra la conexión entre las componentes de un circuito, tomando en consideración el número de conductores que usa y su color, si es necesario también se considera la posición física de las terminales. Este tipo de diagramas es muy útil para la instalación del equipo y mantenimiento, ya que se localizan con mayor facilidad las averías o fallas; por lo que se recomiendan en construcción.

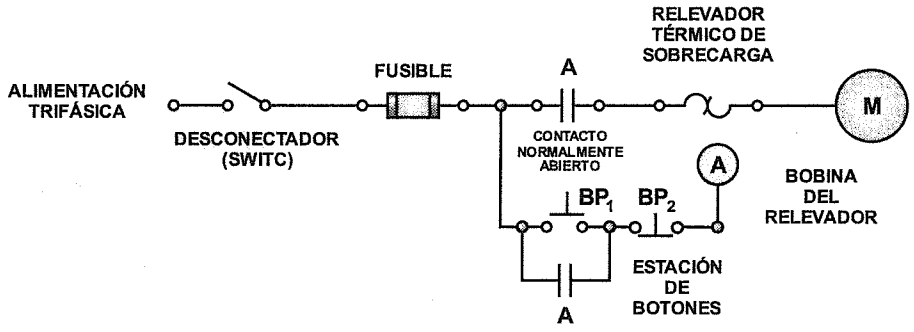


DIAGRAMA UNIFILAR DE UNA COMBINACIÓN DE ARRANCADOR

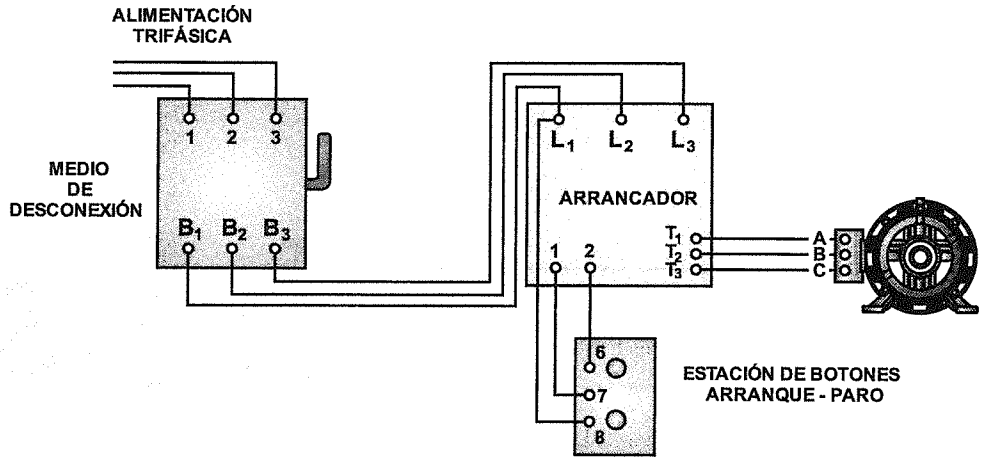


DIAGRAMA DE ALAMBRADO DE UNA COMBINACIÓN DE ARRANCADOR

Diagrama esquemático.

El diagrama esquemático es una variante entre el diagrama unifilar y el diagrama de alumbrado, ya que muestra todas las conexiones eléctricas entre las componentes, sin que se ponga interés en la localización física de las mismas o al arreglo de sus terminales. Con este tipo de diagramas se puede alambrar fácilmente, también es útil para analizar la forma de operación o localizar fallas en las instalaciones.

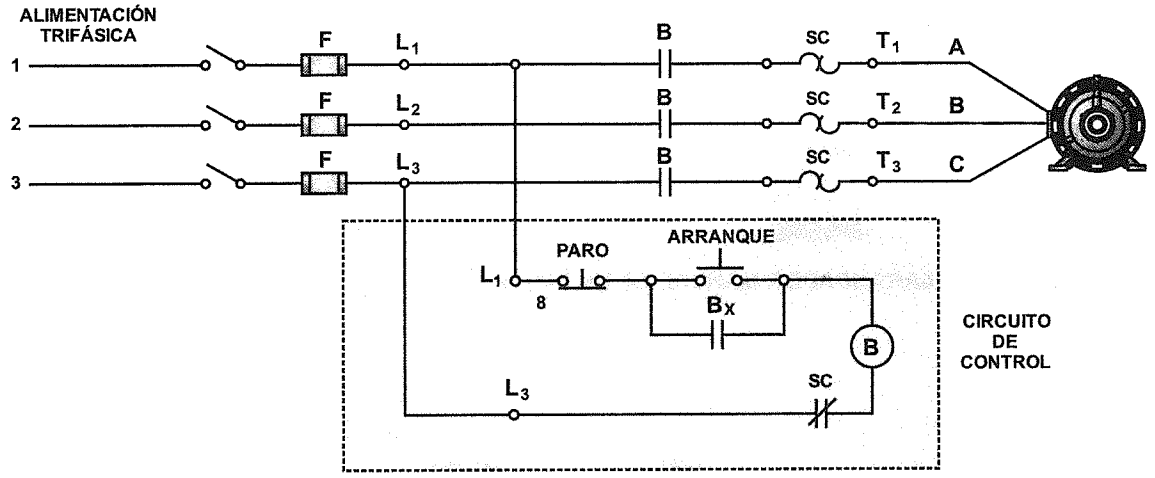


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

4.4 MÉTODOS DE ARRANQUE DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

En las distintas aplicaciones industriales que se tienen para los motores de corriente alterna, pueden aparecer motores trifásicos (del tipo jaula de ardilla o rotor devanado) o bien motores monofásicos, dependiendo de esto varía el método de arranque. También existen variantes para cada tipo de alimentación monofásica o trifásica, dependiendo de la potencia del motor por alimentar y de la función específica a desarrollar.

Uno de los métodos más sencillos de arranque es el llamado interruptor de acción rápida de **"cerrado" "abierto".** En este tipo de arrancador, el motor se conecta directamente a través de la línea durante el arranque, lo cual es válido para motores monofásicos pequeños, hasta de 1 HP, esto se puede lograr también con un simple desconectador de navajas, pero en este caso no se tiene protección contra sobrecarga.

El diagrama de un arrancador manual de un polo se muestra a continuación:

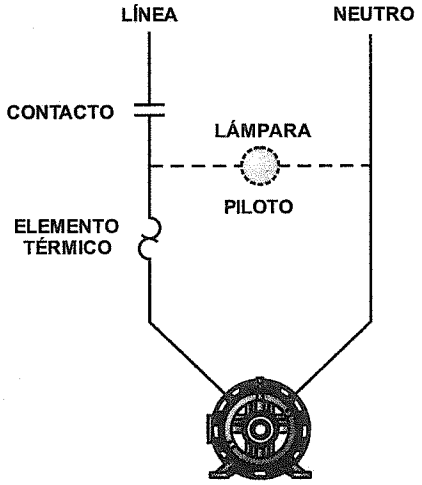
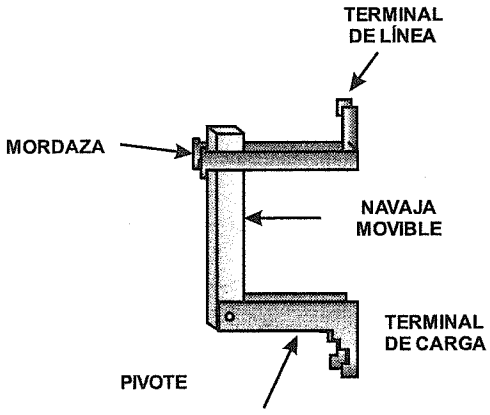


DIAGRAMA DE UN ARRANCADOR MANUAL DE UN POLO



1 POLO, 2 POLOS ó 3 POLOS

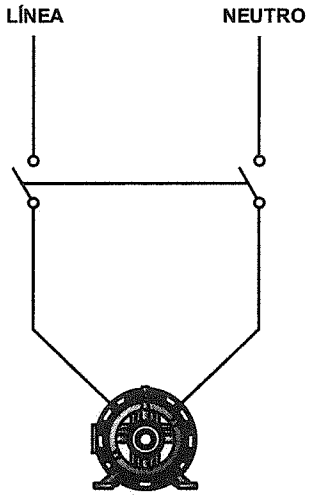
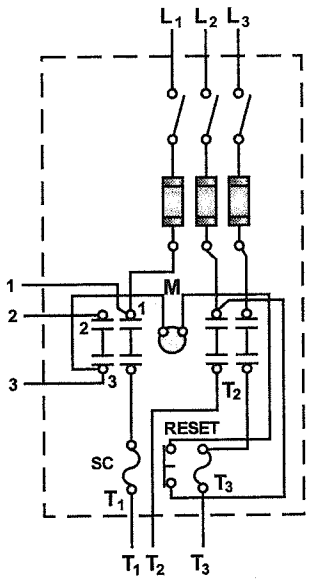
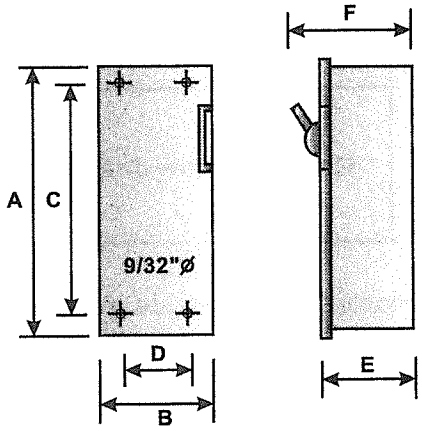


DIAGRAMA DE ARRANQUE CON CONEXIÓN DIRECTA A LA LÍNEA
POR MEDIO DE DESCONECTADOR DE NAVAJAS

MÉTODOS DE ARRANQUE PARA MOTORES DE C.A.					
MOTOR		MÉTODO DE ARRANQUE	TIPO DE ARRANCADOR	OPERACIÓN	VOLTAJE
TIPO	No. DE FASES				
INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA	MONOFÁSICO	A TENSIÓN PLENA	----------	MANUAL	BAJA TENSIÓN
				MAGNÉTICO	
	TRIFÁSICOS	A TENSIÓN PLENA	----------	MANUAL	BAJA TENSIÓN
				MAGNÉTICO	
			COMBINACIÓN CON INT. DE FUSIBLES	MAGNÉTICO	
			COMBINACIÓN CON INT. TERMOMAGNÉTICO		
			REVERSIBLE		
			---------		A.T. EN AIRE
		A TENSIÓN REDUCIDA	POR RESISTENCIA PRIMARIA	MAGNÉTICO	BAJA TENSIÓN
			AUTOTRANSFORMADOR	MANUAL	
			POR REACTOR	MAGNÉTICO	A.T. EN AIRE
		ESTRELLA DELTA	CAMBIO DE CONEXIONES DE LOS DEVANADOS DEL MOTOR	MAGNÉTICO	BAJA TENSIÓN
		DEVANADO BIPARTIDO			
		DOS VELOCIDADES			
ROTOR DEVANADO	TRIFÁSICO	CONTROL SECUNDARIO	POR RESISTENCIA PRIMARIA	MAGNÉTICO	A.T. EN AIRE
SÍNCRONO	TRIFÁSICO	A TENSIÓN PLENA	---------	MAGNÉTICO	A.T. EN AIRE





DIMENSIONES

APARATOS	A	B	C	D	E	F	PESO kg
TO y 1	75	27	68	19.7	17.5	26	17.1
T - 2	96.5	32.5	88.5	25	18.5	26.5	30.3

COMBINACIÓN DE ARRANCADOR E INTERRUPTOR

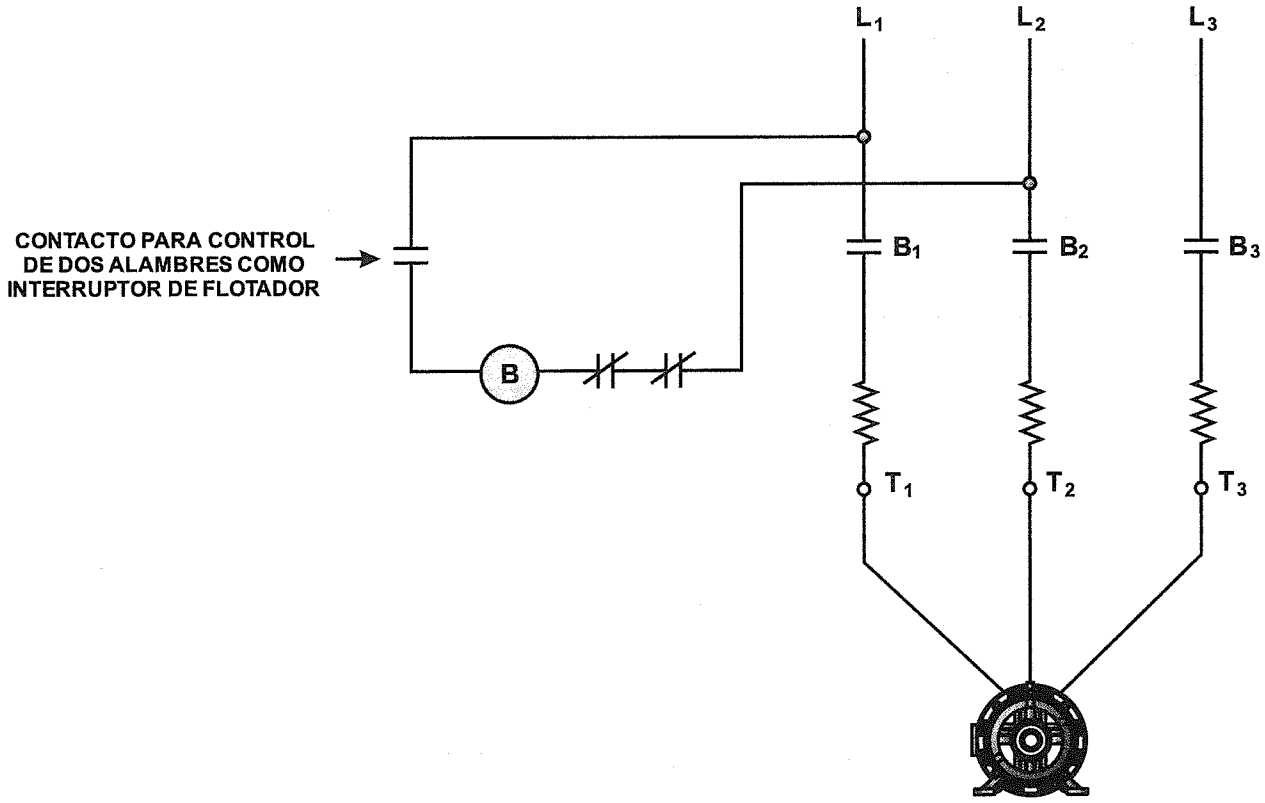
TABLA DE SELECCIÓN DE ARRANCADORES MAGNÉTICOS A TENSIÓN REDUCIDA C.A.	
CARACTERÍSTICA PREDOMINANTE	**TIPO DE ARRANCADOR (EN ORDEN RECOMENDABLE)**
Aceleración suave	a) Resistencia primaria b) Estrella-Delta c) Autotransformador d) Embobinado dividido
Alto par de arranque	a) Autotransformador b) Resistencia primaria c) Embobinado dividido
Bajo costo	a) Embobinado dividido b) Estrella-Delta c) Autotransformador d) Resistencia primaria
Conveniencia por frecuentes arranques	a) Resistencia primaria b) Autotransformador c) Estrella-Delta
Conveniencia por larga aceleración	a) Autotransformador b) Estrella-Delta c) Resistencia primaria
Para fáciles cargas de arranque	a) Embobinado dividido b) Estrella-Delta c) Resistencia primaria d) Autotransformador
Mínima corriente de línea	a) Autotransformador b) Estrella-Delta c) Embobinado dividido d) Resistencia primaria

En el caso de los motores trifásicos de inducción del tipo jaula de ardilla, se pueden arrancar conectándolos directamente al voltaje de la línea de alimentación, o bien aplicando voltaje reducido al estator. El método de arranque en este tipo de motores depende de varios factores, como son: el voltaje y capacidad de la línea de alimentación, así como el tipo de carga.

El arranque a voltaje pleno, es decir, conectando el motor directamente al circuito que lo alimenta. La principal desventaja de este método de arranque es que la corriente de arranque es elevada, de 5 a 6 veces la corriente a plena carga del motor, esta corriente de arranque produce caídas de voltaje significativas que pueden afectar a otras cargas conectadas al mismo alimentador y existen algunos dispositivos como las lámparas incandescentes, máquinas herramientas de alta precisión, etc., que son muy sensibles al cambio de voltaje. Otro aspecto a cuidar es el impacto mecánico que se puede producir en ciertas cargas accionadas por motores eléctricos cuando se presentan corrientes de arranque muy elevadas en éstos.

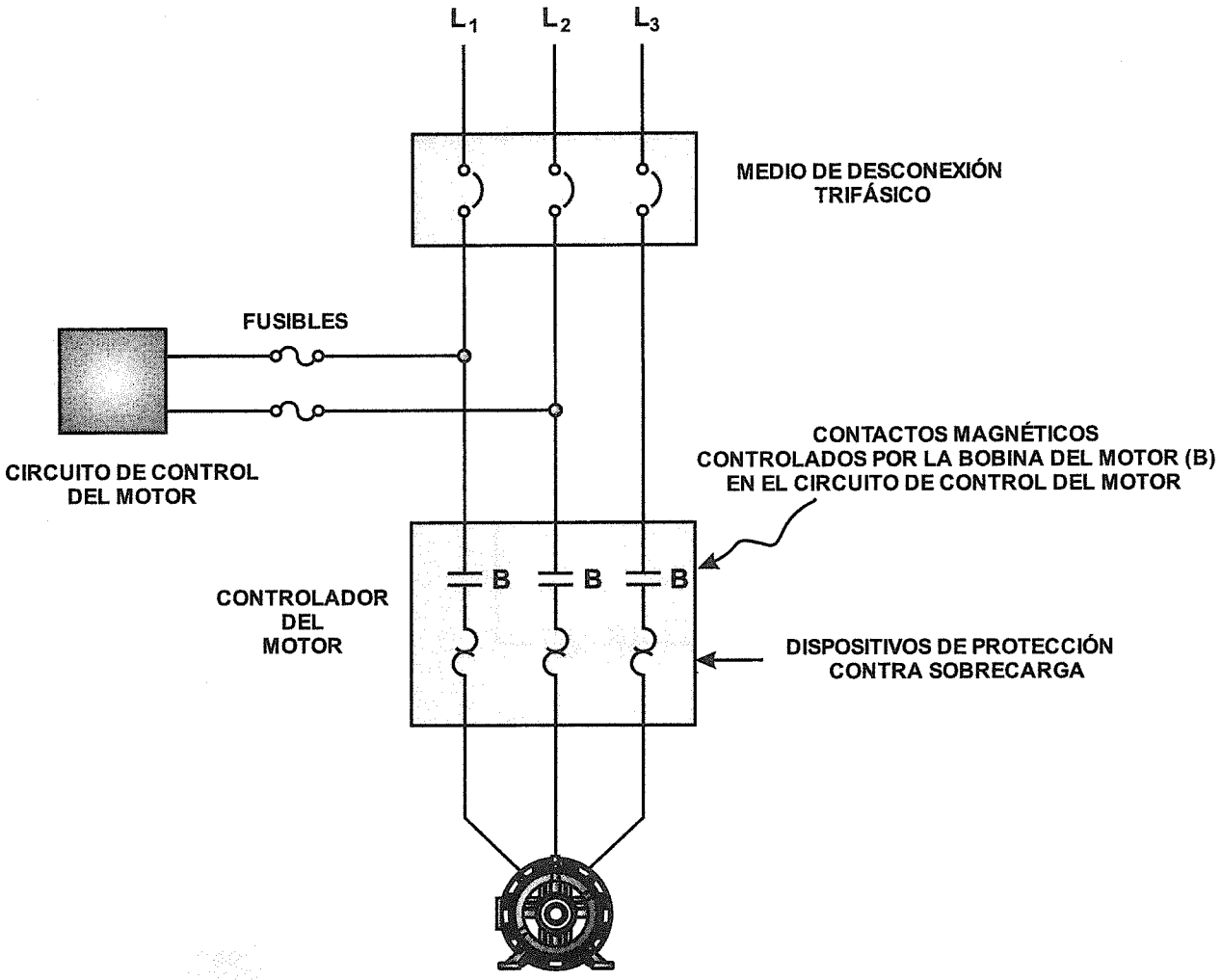
Tanto los fusibles como los interruptores termomagnéticos se deben calcular para poder conducir las corrientes de arranque durante el periodo de aceleración.

Los arrancadores a voltaje pleno para motores trifásicos pueden ser de distinto tipo, desde un simple desconectador de navajas, un interruptor de palanca, un interruptor de presión, un interruptor tipo flotador, un interruptor límite, un termostato, etc., y pueden ser de los llamados controles de dos o tres alambres, la mayoría de los mencionados anteriormente corresponden a los denominados controles de dos alambres, como se muestra en la figura:



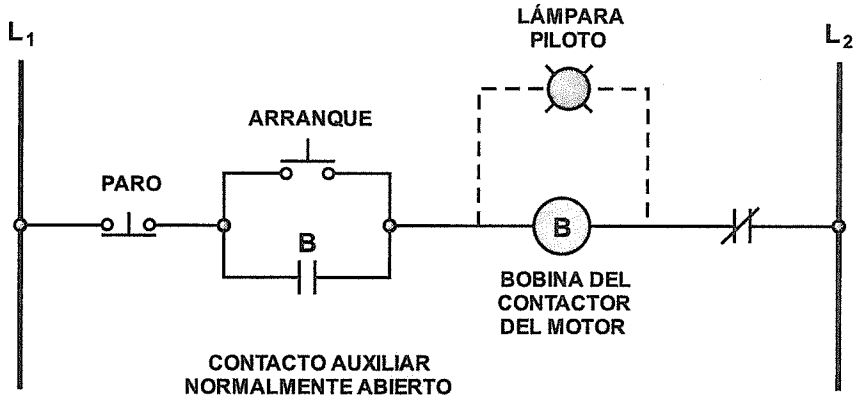
CIRCUITO DE CONTROL DE DOS ALAMBRES PARA MOTOR TRIFÁSICO CON ARRANQUE A VOLTAJE PLENO

El control de dos alambres o dos conductores es común en circuitos donde se usan motores trifásicos que no tienen gran potencia, como se mencionó anteriormente, el diagrama básico es el que se muestra a continuación:



CIRCUITO DEL MOTOR TRIFÁSICO

Algunos circuitos prácticos de control del motor trifásico pueden desempeñar muchas funciones, un circuito básico de control es el que se muestra a continuación:



CIRCUITO DEL CONTROL DEL MOTOR

Un circuito del motor trifásico se controla por la bobina del contactor magnético (B) en la figura correspondiente al circuito de control, ya que energizando la bobina se cierran los contactos del motor.

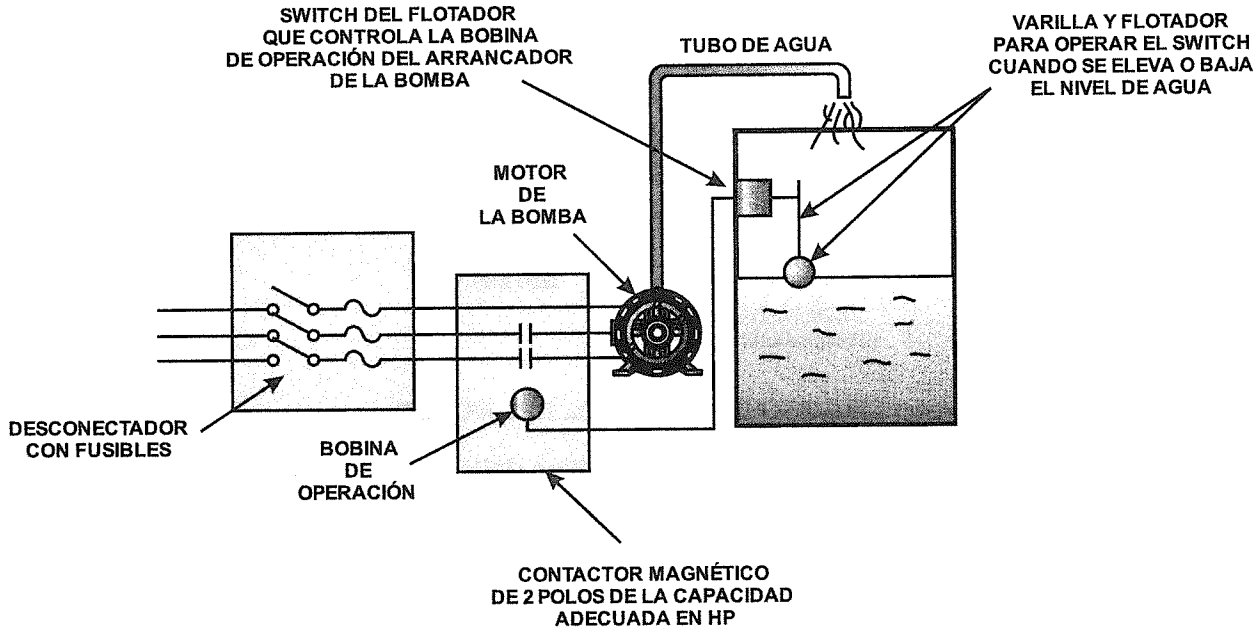
Cuando el botón de arranque se oprime y se desoprime, la corriente por L_1 y L_2 circula a través de la bobina del contactor del motor B, a través del botón de paro normalmente cerrado y los contactos de los relevadores de sobrecarga normalmente cerrados. La bobina energizada del contactor del motor cierra los contactos principales del motor y el motor **ARRANCA,** la bobina del motor (B) cierra simultáneamente el contacto auxiliar B, el cual se cierra a través del botón de arranque, de manera que el circuito permanece energizado.

El motor **PARA** únicamente con interrumpir momentáneamente el circuito de control, el cual desactiva la bobina (B) del contactor del motor y suelta los contactos B a través del botón de arranque. El motor se para y no vuelve a arrancar hasta que el botón de arranque se oprima y desoprima nuevamente.

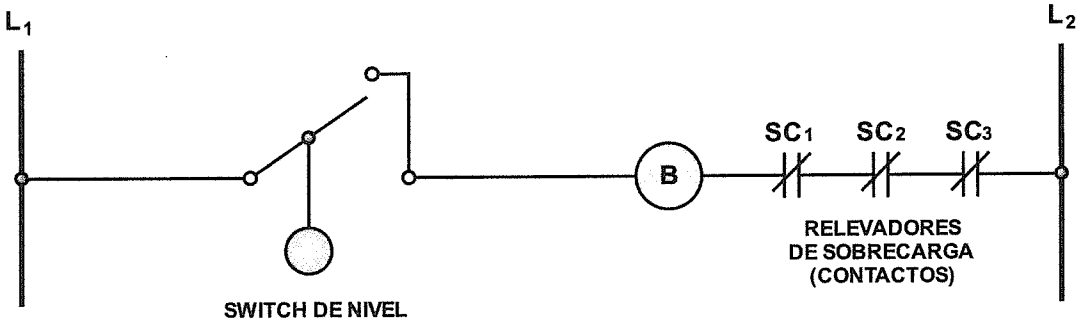
La operación del motor se puede lograr por cualquiera de las formas siguientes.

1. Desoprimiendo el botón de arranque.
2. Por sobrecarga del motor, con lo cual se sobrecalientan los elementos térmicos localizados en las líneas de alimentación del motor, y entonces abren al menos uno de los contactos normalmente cerrados, con lo que se deben interrumpir las tres fases.
3. Cuando el voltaje baja suficientemente, aunque sea momentáneamente, la bobina del conectador del motor suelta el bloqueo (interlock) del botón de arranque; el motor no puede arrancar otra vez, aun cuando el voltaje sea normal, hasta que se oprima otra vez el botón de arranque.

Una aplicación clásica del control por dos alambres es el del switch flotador o de nivel que se usa para el bombeo de agua en edificios, industrias y casas habitación. Este circuito está diseñado para operar en forma automática.



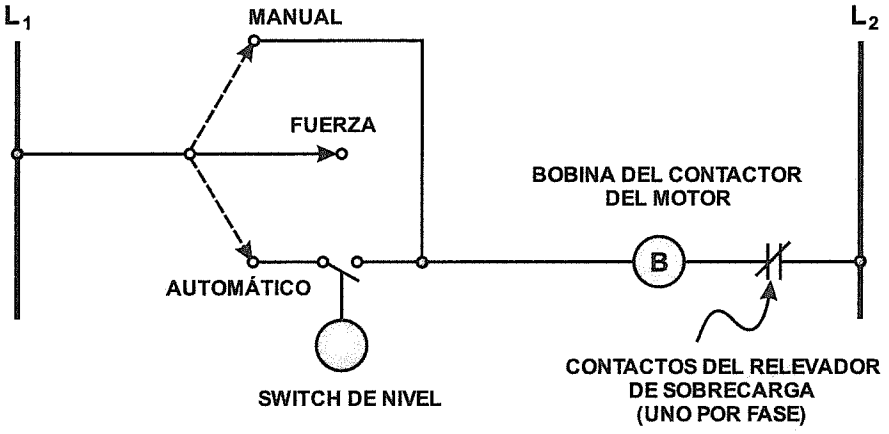
El circuito de control correspondiente se puede representar para operación en forma automática en la figura siguiente:



Cuando el nivel del agua se eleva, el switch del flotador cierra, completando el circuito a través de L_1 y L_2. La corriente a través de la bobina (B) cierra el contactor del motor y de esta manera arranca al mismo. Cuando el nivel de agua desciende, el switch flotador reabre el circuito y el motor para.

Una sobrecarga en el motor produce que la unidad térmica del relevador opere abriendo los contactos normalmente cerrados, los cuales también paran al motor. Las sobrecargas se restablecen normalmente en forma manual, de manera que permite verificar y corregir la causa de la sobrecarga.

Una variante del switch de nivel es el llamado el **"MANUAL – FUERA – AUTOMÁTICO"**, que es un selector que sostiene al contacto del switch.



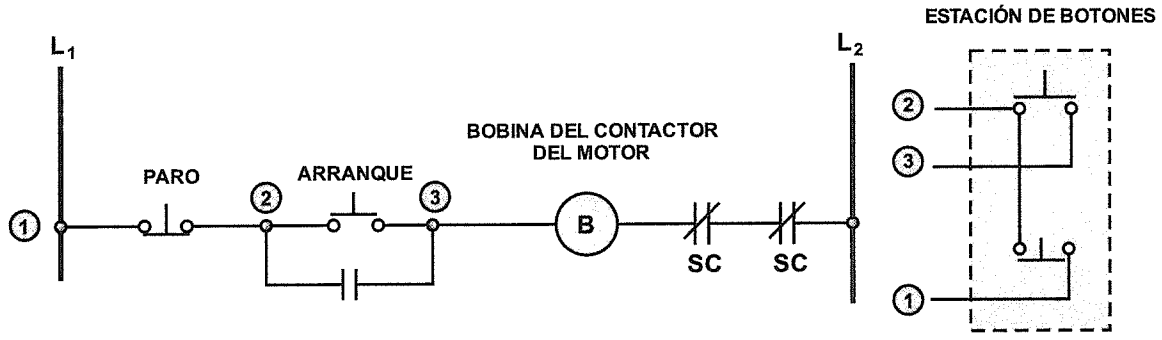
En la **posición de fuera**, el circuito entre L_1 y L_2 no está completo y el motor no opera. En la posición de automático, el circuito es el mismo que el descrito anteriormente.

En la **posición manual** el switch-flotador se puentea para poder probar el motor, o bien para que opere con control manual en forma independiente del switch-flotador.

CONTROLES DE TRES ALAMBRES.

Los controles de tres alambres o de tres conductores son específicamente cierto tipo de dispositivos como estaciones de botones del tipo **"arranque-paro"** y termostatos de doble acción.

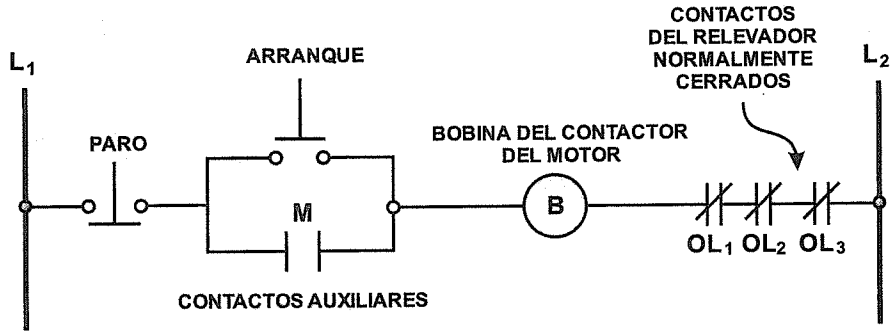
El circuito básico para este sistema de control es el que se muestra a continuación:



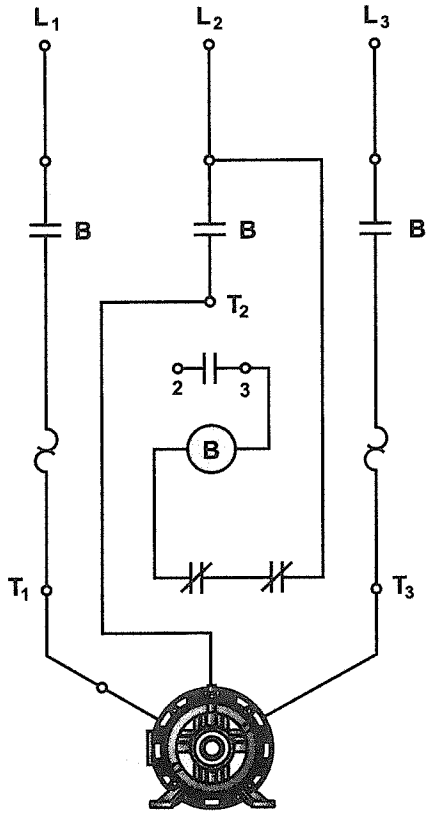
CIRCUITO BÁSICO DE CONTROL DE TRES ALAMBRES

Al oprimir el botón de arranque, el circuito se cierra a través de la bobina (B), y entonces se cierran los contactos B en el circuito del motor. Cuando se oprime el botón de parada, el circuito se abre, la bobina (B) pierde energía y se abren los contactos del motor, quedando desenergizado el circuito.

En la figura anterior, el diagrama de la estación de botones es una representación física de los elementos internos y sus conexiones con el arrancador en los puntos numerados. El diagrama de alambrado del arrancador se muestra a continuación, indicándose los puntos de referencia.



CIRCUITO TÍPICO DE UNA ESTACIÓN DE BOTONES



Arrancadores magnéticos de línea.

Los arrancadores descritos anteriormente corresponden al tipo magnético, cuyo uso es común cuando se tiene necesidad de controlar un motor desde un punto remoto. En la figura siguiente, se muestra un arrancador magnético típico y su correspondiente diagrama de conexiones. El arrancador tiene tres componentes principales: un contactor magnético, un relevador térmico y una estación de botones.

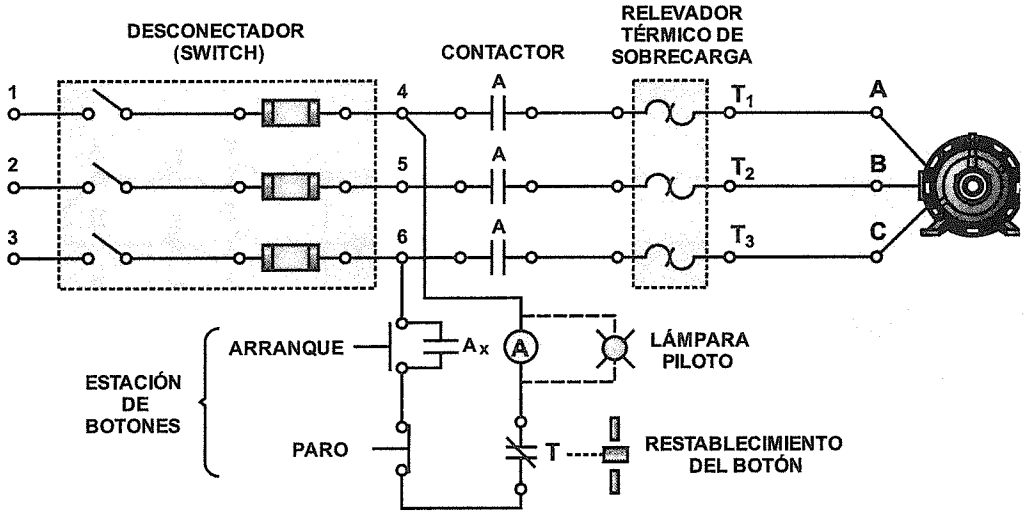


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN ARRANCADOR MAGNÉTICO

El contactor magnético (A).

Tiene tres contactos de uso rudo y un pequeño contacto auxiliar Ax. Los contactos A deben ser suficientemente grandes como para conducir la corriente de arranque y la corriente nominal de plena carga sin que se sobrecalienten. La bobina del relevador se puede representar como en la figura anterior por la letra (A), o bien por la letra (B). Tanto los contactos A como los auxiliares Ax permanecen cerrados mientras la bobina (A) está energizada.

El relevador térmico (T).

Protege al motor contra sobrecargas sostenidas (sc). El relevador tiene tres elementos térmicos individuales conectados uno por fase. Un contacto normalmente cerrado T forma parte también del conjunto relevador que abre cuando el relevador se calienta demasiado y permanece abierto hasta que el relevador se restablece manualmente.

La capacidad de este dispositivo de protección contrasobrecarga está asociada también al llamado **Factor de Servicio** que identifica la sobrecarga continua que un motor de una potencia dada puede soportar con seguridad. Por ejemplo, un motor de 10 HP puede operar con seguridad con 10 HP y tiene un factor de servicio de 1.0 como mínimo. Algunos motores de 10 HP pueden también impulsar con seguridad cargas de 11 ó 12 HP en forma continua, en este caso se tienen factores de servicio de 1.1 ó 1.2 respectivamente.

Los valores de factores de servicio se dan en tablas y están en función de las máquinas impulsadas.

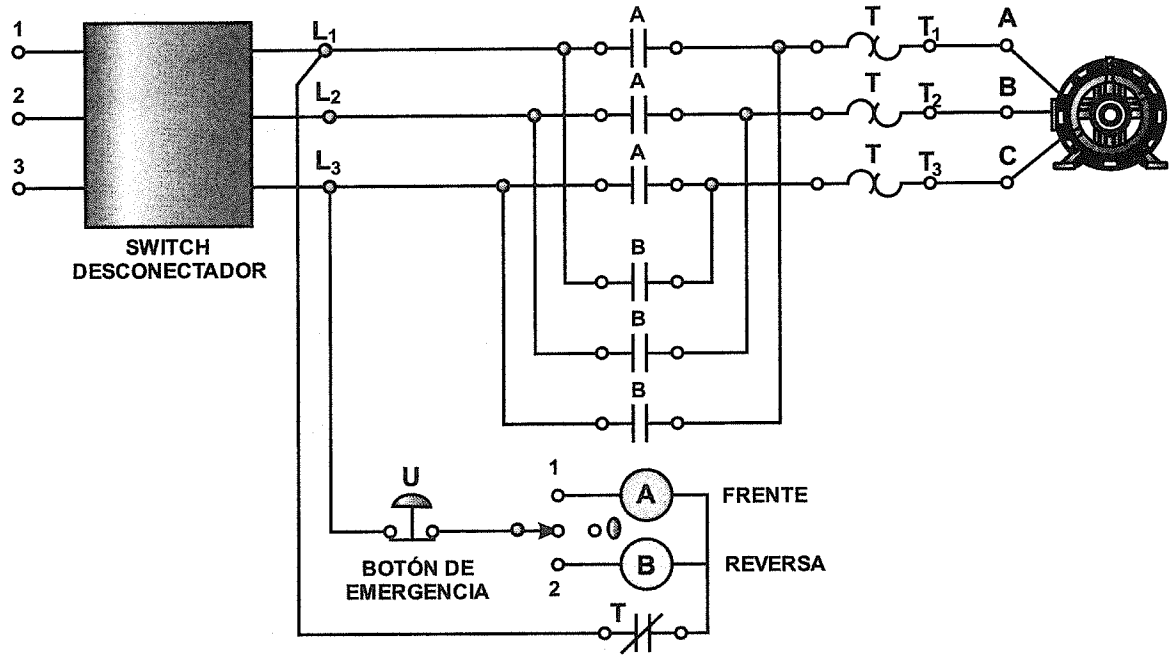


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLIFICADO DE UN ARRANCADOR MAGNÉTICO REVERSIBLE

TABLA 4.1

VALORES DE FACTORES DE SERVICIO		
MÁQUINAS IMPULSADAS	**MÁQUINAS IMPULSORAS**	
	MOTORES ELÉCTRICOS FASE DIVIDIDA C.A. JAULA DE ARDILLA, TORSIÓN. NORMAL Y SÍNCRONOS C.C. DEVANADOS HUNT MOTORES DE COMBUSTIÓN	MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS DEVANADOS SENÉ C.A. ALTO DESLIZAMIENTO O ALTO PAR DE ARRANQUE C.A. DE ROTOR DEVANADO C.C. INDUCCIÓN REPULSIÓN C.A. TIPO CAPACITOR C.C. DEVANADO COMPOUND
VENTILADORES HASTA 10 HP BOMBAS CENTRÍFUGAS AGITADORES PARA LÍQUIDOS COMPRESORES CENTRÍFUGOS TRANSPORTADORES	**1.1**	**1.2**
TRANSPORTADORES DE BANDA GENERADORES PRENSAS Y TROQUELADORAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS MÁQUINAS IMPRESORAS	**1.2**	**1.4**
MOLINOS DE MARTILLOS PULVERIZADORES COMPRESORES BOMBAS DE PISTÓN MÁQUINAS INDUSTRIALES MAQUINARIA TEXTIL MÁQUINAS LADRILLADORAS	**1.4**	**1.6**
TRITURADORES ROTATORIOS TRITURADORAS DE RODILLAS MOLINOS DE BOLAS ROLADORAS DE LÁMINA APAREJOS Y MALACATES	**1.6**	**1.8**

Por lo general los dispositivos de protección contra sobrecarga se ajustan al 125% de la corriente de placa a plena carga para factores de servicio de hasta 1.15. Si el motor se ve afectado en forma adversa en su arranque o en su operación, el dispositivo de sobrecarga se avanza gradualmente hasta un máximo de 140 porciento.

El dispositivo de protección contra sobrecarga se debe seleccionar para disparar o con una capacidad no mayor del siguiente porcentaje de la corriente a plena carga del motor.

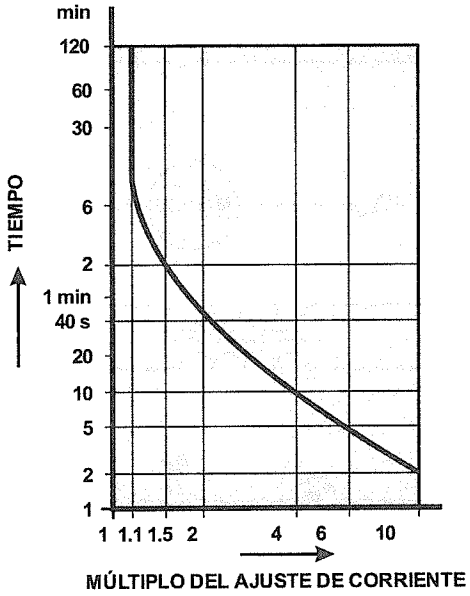
MOTORES CON FACTOR DE SERVICIO NO MENOR DE 1.15	125%
A 40°C	125%
PARA OTROS MOTORES	115%

Cuando el relevador de sobrecarga seleccionado, de acuerdo con las recomendaciones anteriores, no es suficiente para arrancar el motor o para conducir la carga, se pueden seleccionar los siguientes valores más altos de relevadores de sobrecarga, con la limitante de que no excedan los siguientes porcentajes de las corrientes a plena carga de los motores.

MOTORES CON FACTORES DE SERVICIO NO MENOR DE 1.15	140%
MOTORES CON ELEVACIÓN DE TEMPERATURA NO SUPERIOR A 40°C	140%
PARA OTROS MOTORES	130%

En el caso de los elementos térmicos, los fabricantes publican tablas de selección para consulta cuando se ordenan dispositivos de sobrecarga, estas tablas son como la 3.8 del capítulo anterior.

Cuando se usa relevador de sobrecarga, el ajuste de corriente del relevador se selecciona para proteger al motor contra sobrecargas sostenidas. En la figura anterior, el contacto T se abre después de un lapso de tiempo que depende de la magnitud de la corriente de sobrecarga. Esta relación de tiempo de disparo contra el valor de ajuste de la corriente de disparo se da en curvas como la siguiente:



CURVA TÍPICA DE UN RELEVADOR DE SOBRECARGA

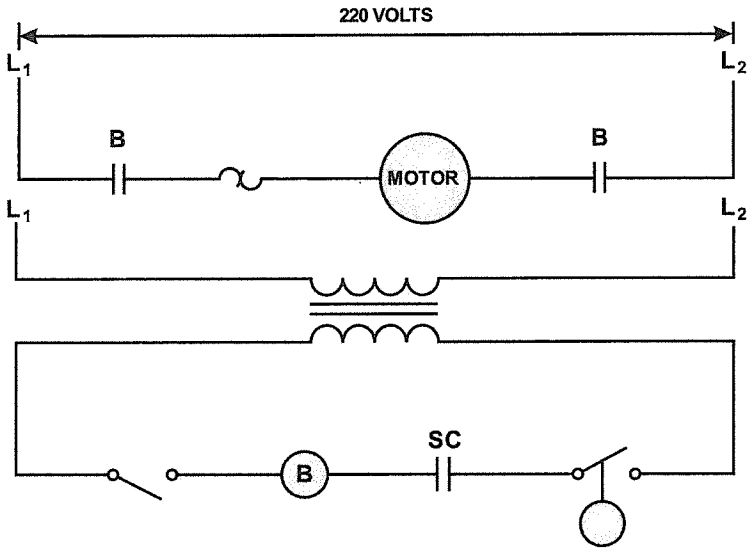
De la figura anterior, se puede observar que a corriente nominal (múltiplo 1), el relevador nunca dispara, pero a 2 veces el valor de la corriente nominal, el relevador dispara después de un intervalo de 40 segundos. El relevador térmico está normalmente provisto de un botón de restablecimiento para recerrar al contacto T, después de una sobrecarga. Para esto, es preferible esperar algunos minutos antes de presionar el botón de recierre, para permitir que se enfríe el relevador.

La estación de control.

Está compuesta por la estación de botones de arranque-paro, que puede estar localizada cerca o distante del motor y tener una lámpara piloto opcional.

Control separado.

En el arranque a voltaje pleno, algunas veces, los arrancadores están equipados con pequeños transformadores reductores para separar el circuito de potencia del circuito de control. Las conexiones para control no se hacen en L_1 y L_2, ya que se toman de una fuente separada independiente de la energía principal de alimentación al motor.



FORMA DE CONTROL SEPARADO

Un diagrama completo para control separado con un control de nivel, se muestra en la figura siguiente:

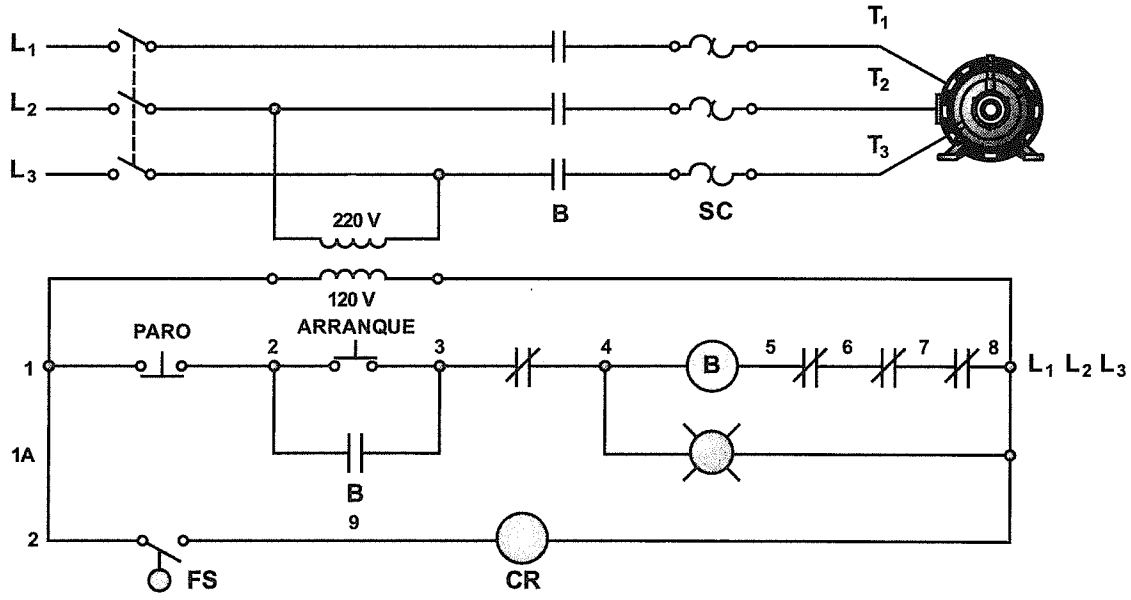
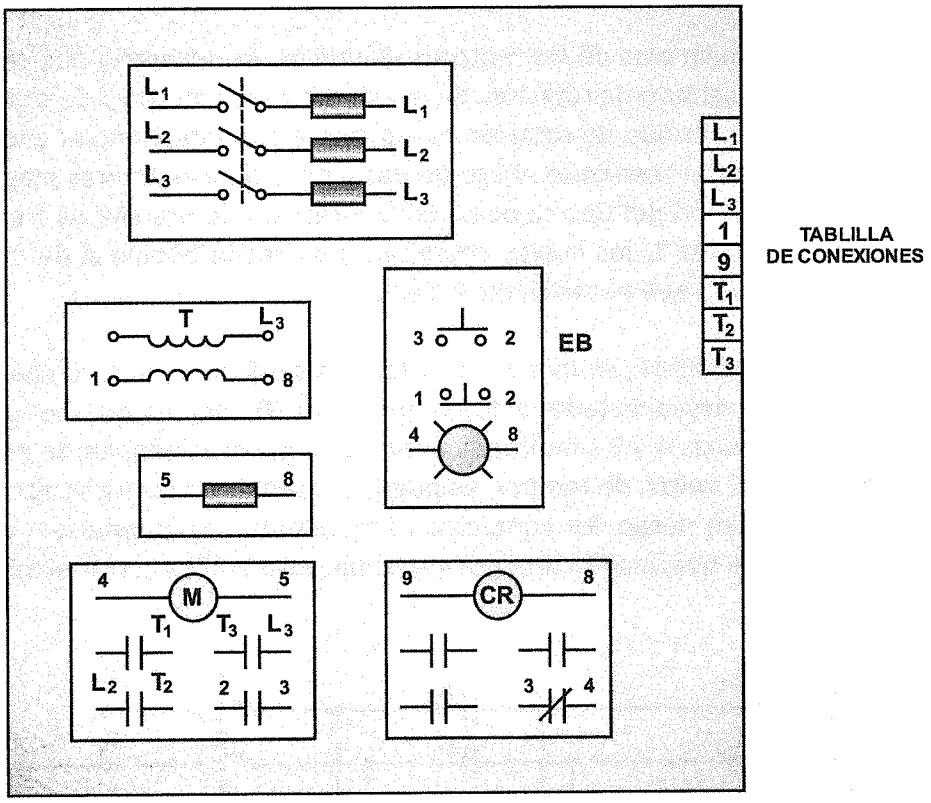


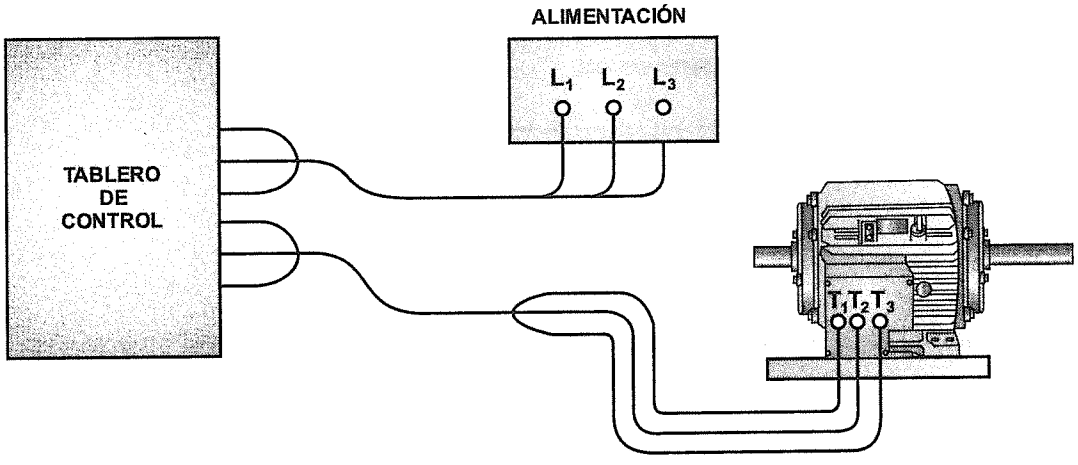
DIAGRAMA DE CONTROL SEPARADO

El correspondiente diagrama de disposición de equipo en el tablero se da a continuación:



TABLERO DE CONTROL

El diagrama de conexión entre las distintas componentes de arrancador se muestra a continuación:



CONTROL PARA INVERSIÓN DEL SENTIDO DE ROTACIÓN DEL MOTOR.

En algunas aplicaciones industriales de los motores eléctricos, es necesario que se disponga de la posibilidad de invertir el sentido de rotación. En el estudio de los motores de corriente alterna se sabe que para invertir el sentido de rotación es suficiente con intercambiar dos conductores de fase, lo cual se puede lograr mediante el uso de dos juegos de contactores magnéticos A y B y un switch manual de posición del tipo tambor. En la dirección de marcha de frente, el switch de tambor cierra los contactos 1, los cuales energizan a su vez la bobina A del relevador (ver figura siguiente), produciendo que el contactor A cierre.

Para invertir el sentido de rotación, se mueve el switch a la posición 2, para lo cual se tiene que pasar por la posición de desconectado o fuera (posición 0), por lo que es prácticamente imposible energizar las bobinas A y B simultáneamente. Cuando ocasionalmente no ocurre esto, por algún desperfecto en el switch de tambor, se puede presentar un cortocircuito que dañe los contactos. Para eliminar este riesgo, los contactos se montan en lados opuestos y se bloquean mecánicamente, de manera que sea físicamente imposible para ambos cerrar al mismo tiempo.

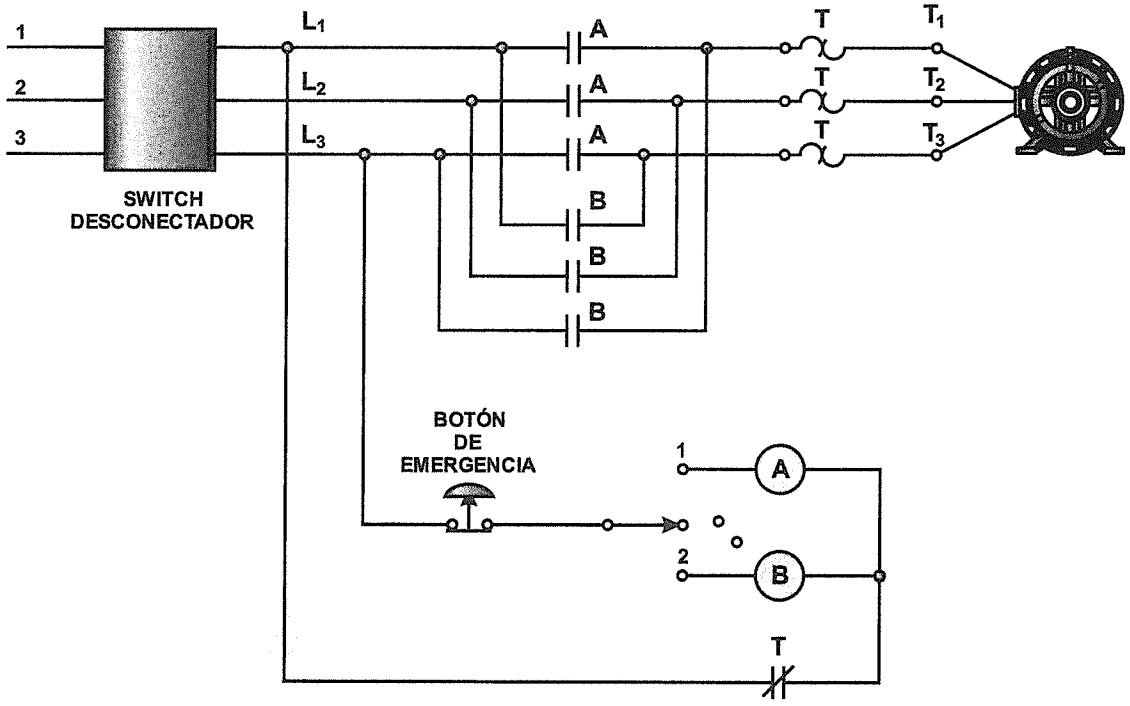
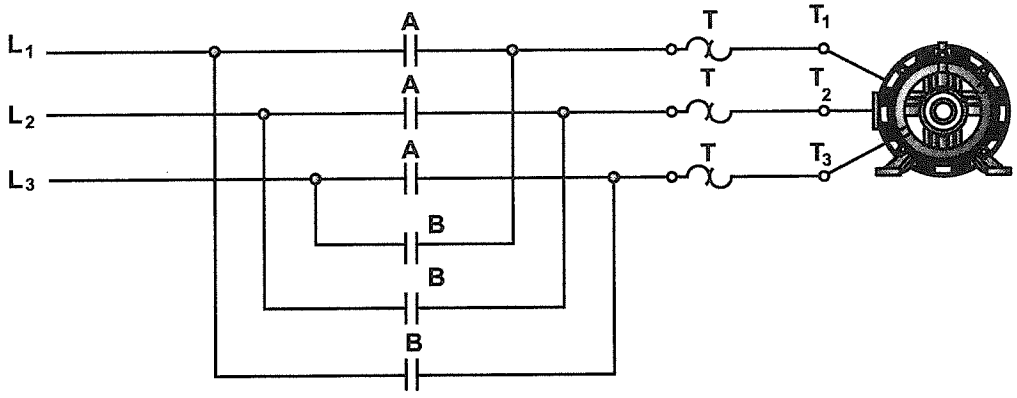
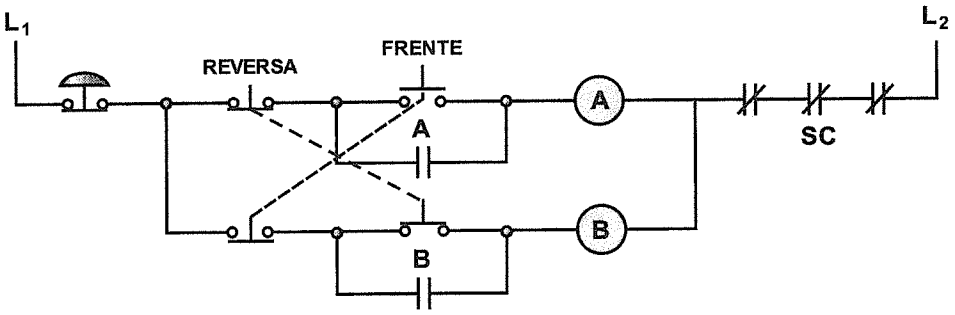


DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UN ARRANCADOR MAGNÉTICO CON INVERSIÓN DE SENTIDO DE ROTACIÓN

Una variante en el circuito de control para inversión en el sentido de rotación del motor, se muestra a continuación:



LADO PRIMARIO



LADO SECUNDARIO (CIRCUITO DE CONTROL)

CONTROL REVERSIBLE DE MOTORES DE INDUCCIÓN

CONTROL DE EMPUJE LIGERO.

En ciertas aplicaciones de los motores eléctricos para ajustar con precisión la posición, es necesario controlar un motor de manera que pueda arrancar y parar rápidamente para movimientos pequeños. Esto se conoce como una operación de **"empuje"** o de **"paso".** Un circuito de control de paso en su forma elemental se muestra en la figura siguiente. Para operación normal la bobina de arranque del motor (B) se energiza oprimiendo momentáneamente el botón de arranque. Los contactos se conservan en esta posición para mantener al motor en operación.

Insertando el botón de paso e empuje como se muestran en la figura, el motor se desenergiza antes de que se inicie la operación de empuje o paso. Esto ocurre cuando se oprime el botón de **"paso",** de manera que la circulación de corriente a la bobina se interrumpe, en seguida se hace el contacto en las terminales inferiores para volver a energizar la bobina. El tiempo de duración

de la operación se puede controlar en forma manual con el botón de paso, de manera que se pueda arrancar y parar rápidamente en sucesiones de presión del botón.

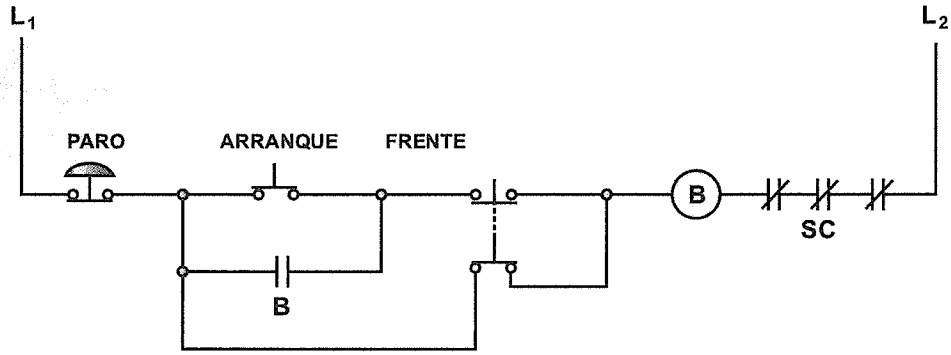


DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UN CIRCUITO DE CONTROL DE PASO

4.5 ARRANCADORES A VOLTAJE REDUCIDO

Algunas cargas industriales se deben arrancar en forma gradual, como es el caso de máquinas que procesan productos frágiles. En otras aplicaciones industriales, no se pueden conectar los motores directamente a la línea, debido a que la corriente de arranque es muy elevada; en este tipo de casos, el voltaje de arranque aplicado al motor se debe reducir, ya sea conectando resistencias (también reactancias) en serie con la línea de alimentación al motor, o bien empleando un autotransformador.

En el arranque a voltaje reducido se debe tener en consideración que:

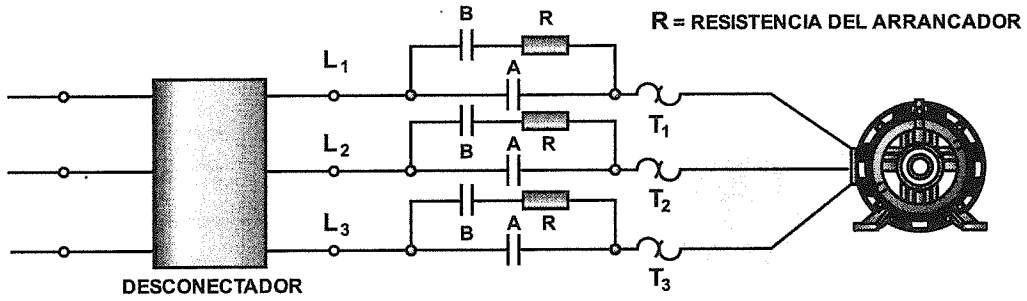
a) La corriente a rotor bloqueado es proporcional al voltaje, es decir, si se reduce el voltaje a la mitad, la corriente se reduce a la mitad.

b) El par a rotor bloqueado es proporcional al cuadrado del voltaje, es decir, si se reduce el voltaje a la mitad, el par se reduce a la cuarta parte.

4.5.1 ARRANQUE CON RESISTENCIA PRIMARIA.

Como se ha indicado antes, los motores eléctricos más grandes pueden tomar una corriente de arranque de 5 a 8 veces. La corriente de operación puede usar como una alternativa el arranque por medio de resistencias. Una de las variantes del arranque por resistencia es el llamado arranque con resistencia primaria, mediante el cual el lado primario (de alimentación) de un motor se controla por dos grupos de contactos localizados en cada conductor de entrada. El conjunto que se cerrará primero está en serie con las resistencias. La corriente de entrada debe

pasar a través de estas resistencias, de manera que se produce una caída de voltaje, reduciendo así el voltaje aplicado al motor, arrancando éste bajo carga con una velocidad reducida. Después de un tiempo predeterminado el otro conjunto de contactos cerrará, cortocircuitando y dejando fuera las resistencias, aplicando así voltaje pleno para acelerar el motor a plena velocidad.



VOLTAJE DE ARRANQUE EN CORTO CIRCUITO:

$$V_n - RI_a$$

CORRIENTE DE ARRANQUE EN CORTO CIRCUITO:

$$I_a = (V_a - V_n)\ T_a$$

PAR DE ARRANQUE:

$$T_a = (V_a - V_n)^2\ T_a$$

$\therefore$ V_a = VOLTAJE DE ARRANQUE

I_a = CORRIENTE DE ARRANQUE

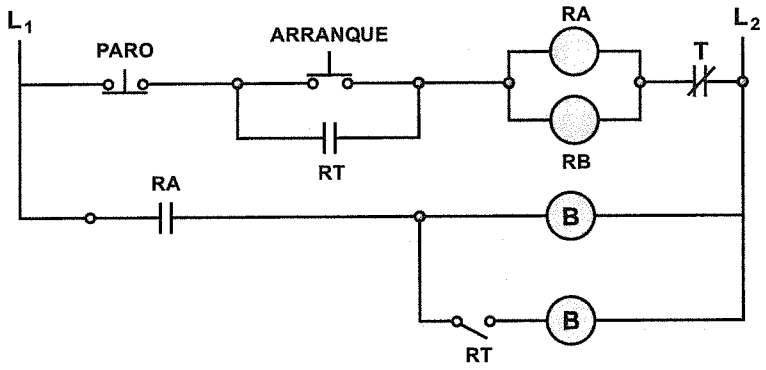


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLIFICADO DE UN ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO CON RESISTENCIAS PRIMARIAS Y CIRCUITO DE CONTROL

DONDE:

RA =Representa un pequeño relevador auxiliar que tiene dos contactos normalmente abiertos.

RT = Relevador de tiempo retardado que cierra el circuito de la bobina (B) después de un tiempo determinado.

A_1B = Son contactores magnéticos, con sus contactos asociados.

Un segundo método para variar la velocidad de un motor de inducción de rotor devanado se muestra en la figura siguiente, donde aparece el lado primario de un motor con control de tres velocidades. Se usan 6 resistencias y se alambran de tal manera que cuando los contactos del relevador de arranque del motor cierran, la corriente circula por las 6 resistencias para arrancar el motor a baja velocidad. Después de un tiempo predeterminado, los contactos 1A cierran para dejar fuera tres de las resistencias (poniéndolas en cortocircuito), esto incrementa la velocidad del motor. Si se desea una velocidad mayor, se cerrarán los contactos 2A para eliminar el efecto

de las otras tres resistencias, por medio del mismo procedimiento de conectar en cortocircuito a través de los contactos. El motor ahora opera a plena velocidad.

El motor puede nuevamente reducir su velocidad reabriendo cualquiera de los conjuntos de resistencias 1A ó 2A. Todas las resistencias y los contactos 1A y 2A con sus bobinas asociadas 1A y 2A son prealambrados como parte del arrancador del motor a tres velocidades.

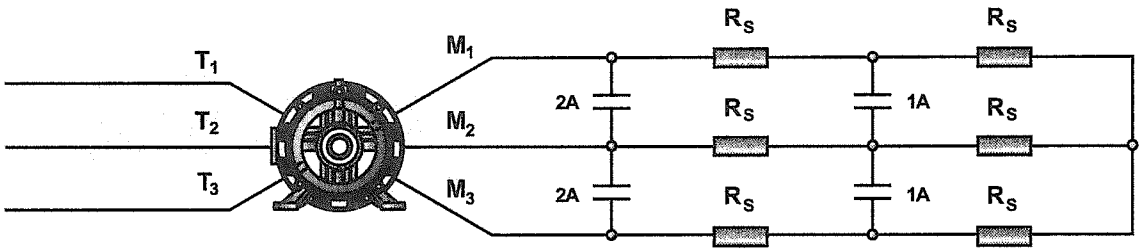
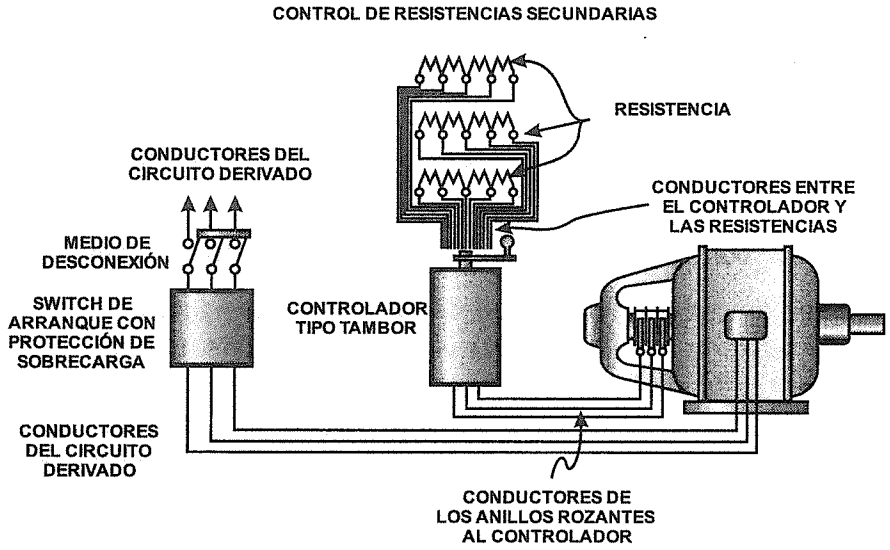


DIAGRAMA DE ARRANQUE DEL MOTOR CON RESISTENCIAS SECUNDARIAS

4.5.2 ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR.

Para un par dado, el arranque por autotransformador demanda una corriente de línea más baja que la que se obtiene con el arranque por resistencia primaria. La desventaja principal es que el costo de los autotransformadores es superior al obtenido con arranque por resistencia, y por otra parte, la transición del voltaje reducido del arranque al voltaje pleno no es suficientemente **"suave".**

Los autotransformadores tienen por lo general derivaciones (Taps) para dar voltajes de salida de 80, 65 y 50% del voltaje nominal. Los valores del par de arranque correspondientes son respectivamente 64, 42 y 25 % de la corriente a rotor bloqueado.



MOTOR DE C.A. DE ROTOR DEVANADO PARA CONTROL DE VELOCIDAD

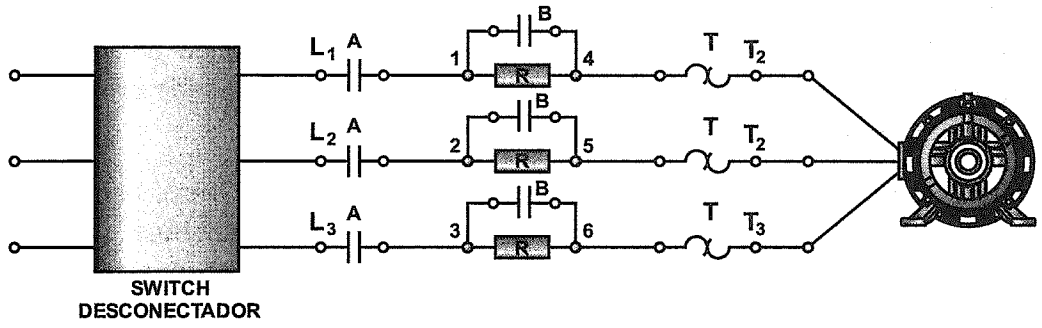
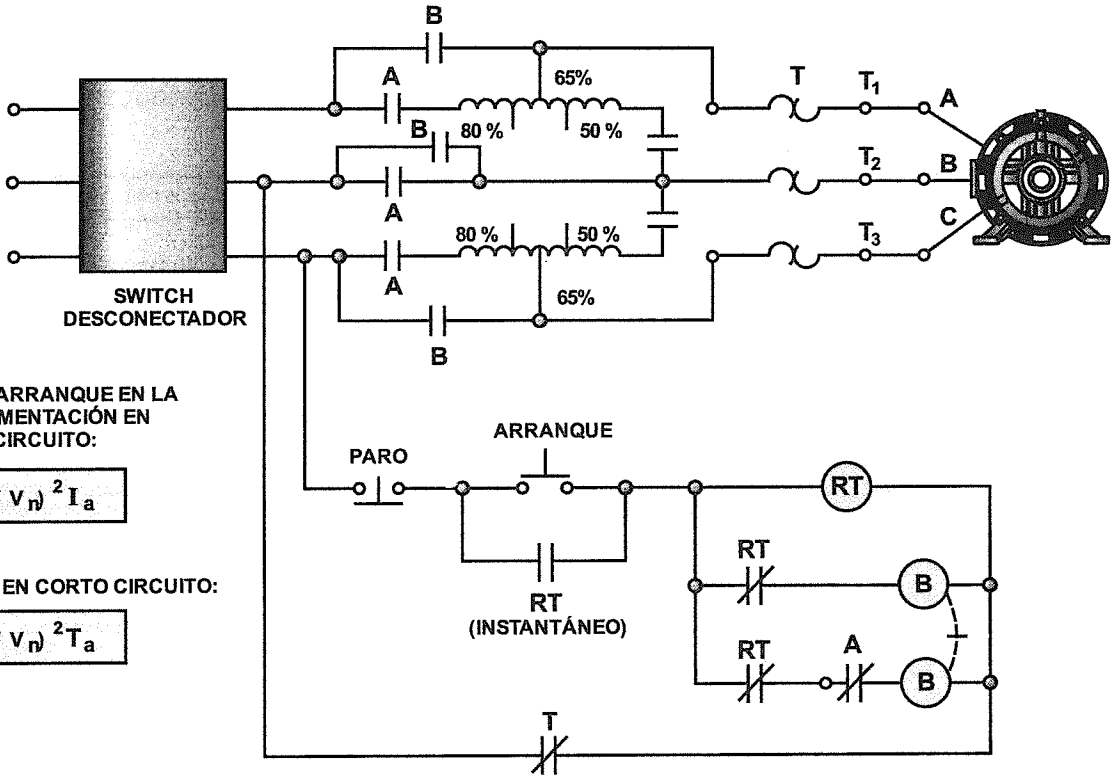


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLIFICADO DE LA SECCIÓN DE POTENCIA DE UN ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO CON RESISTENCIAS PRIMARIAS

En la figura siguiente, se muestra un arrancador sencillo que usa dos autotransformadores conectados en delta abierta, que tienen una derivada del 65%.



CORRIENTE DE ARRANQUE EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN EN CORTOCIRCUITO:

$$I'_a = (V_a / V_n)^2 I_a$$

PAR DE ARRANQUE EN CORTO CIRCUITO:

$$T'_a = (V_a / V_n)^2 T_a$$

ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR

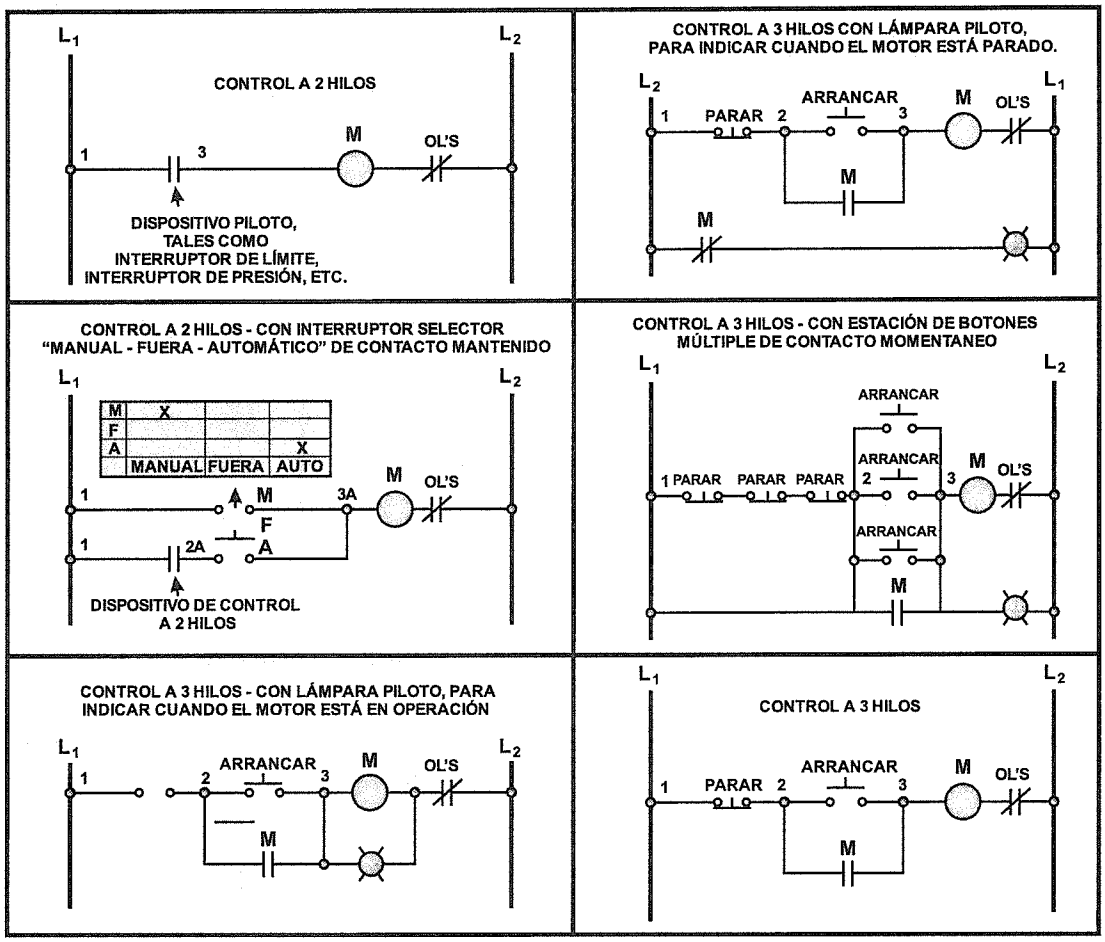
De la figura anterior, RT es un relevador de tiempo retardado que tiene tres contactos. El contacto en paralelo con el botón de arranque se cierra tan pronto como la bobina RT se energiza. Los otros dos contactos operan después de un cierto retraso, que depende del ajuste que se dé al relevador, los contactores A y B se bloquean mecánicamente para prevenir que se cierren simultáneamente.

El contactor A puede cerrar tan pronto como el botón de arranque se deje de presionar, esta operación excita al autotransformador y aparece un voltaje reducido en las terminales del motor. Algunos segundos después, los dos contactos RT que están en serie con las bobinas A y B respectivamente, abren y cierran.

El contactor A queda fuera seguido en forma casi inmediata por el cierre del contactor B, con esta acción se aplica voltaje pleno al motor y en forma simultánea se desconecta el autotransformador de la línea. En la transferencia del contactor A al contactor B, el motor se desconecta momentáneamente de la línea, esto crea un problema debido a que cuando el contactor B cierra se presenta un transitorio a través de la línea; este transitorio es severo para los contactos y produce un shock mecánico también.

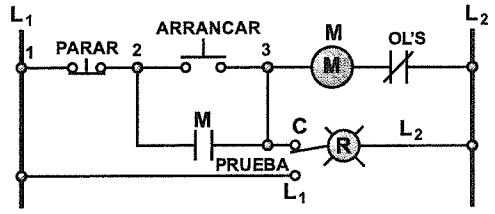
Cuando el motor alcanza el 90% de su velocidad síncrona, con resistencias de arranque se alcanza un par elevado, debido a que el voltaje terminal es entonces mayor que el 65%, que es el valor que existe en el momento del arranque.

Tanto en el caso de los arrancadores con autotransformador, como en el de los arrancadores con resistencias, debido a que estos elementos operan sólo por periodos cortos de tiempo, se puede obtener una reducción considerable en su tamaño.

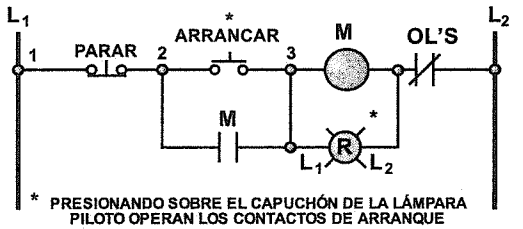


DIAGRAMAS ELEMENTALES PARA CIRCUITOS DE CONTROL

CONTROL A 3 HILOS CON LAMPARA PILOTO, "TIPO PRUEBA A PRESIÓN" PARA INDICAR CUANDO EL MOTOR ESTÁ EN OPERACIÓN

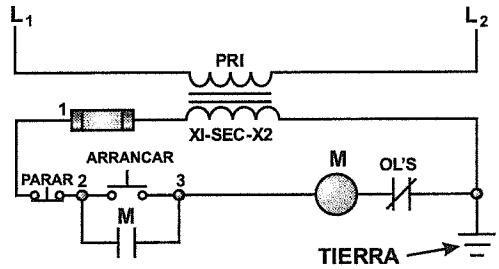


CONTROL A 3 HILOS CON "BOTÓN OPERADOR ILUMINADO", PARA INDICAR CUANDO EL MOTOR ESTÁ EN OPERACIÓN

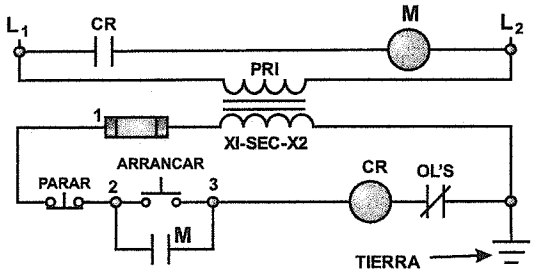


* PRESIONANDO SOBRE EL CAPUCHÓN DE LA LÁMPARA PILOTO OPERAN LOS CONTACTOS DE ARRANQUE

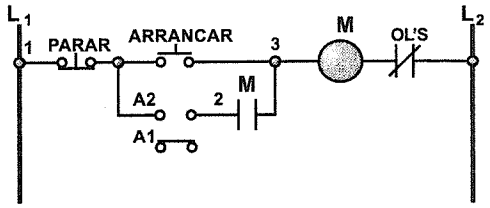
CONTROL A 3 HILOS CON TRANSFORMADOR DE CONTROL Y FUSIBLE SECUNDARIO



CONTROL A 3 HILOS CON TRANSFORMADOR DE CONTROL, FUSIBLE SECUNDARIO Y RELEVADOR DE CONTROL

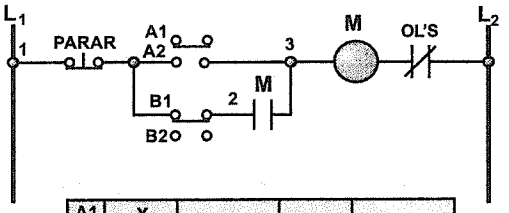


PULSACIÓN MOMENTÁNEA USANDO UN INTERRUPTOR SELECTOR EXITADO MEDIANTE EL BOTÓN DE ARRANCAR



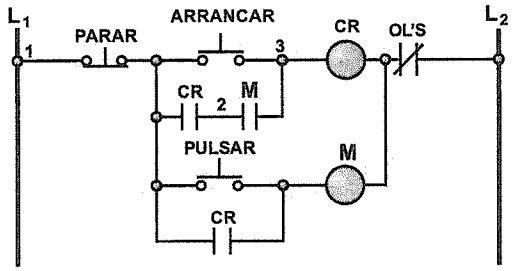
A1	X		
A2			X
	PULSAR		MARCHA

PULSACIÓN MOMENTÁNEA USANDO UN SELECTOR BOTÓN MOMENTÁNEO

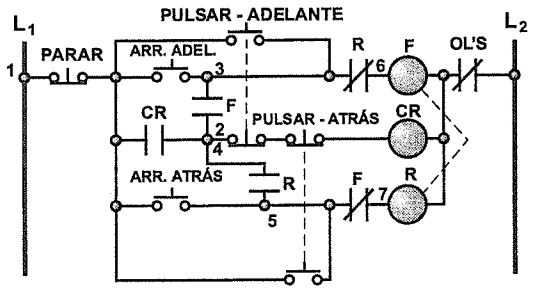


A1	X			
A2		X		X
B1	X	X		
B2				X
A2	LIBRE	OPRIMIDO	LIBRE	OPRIMIDO
	PULSAR		MARCHA	

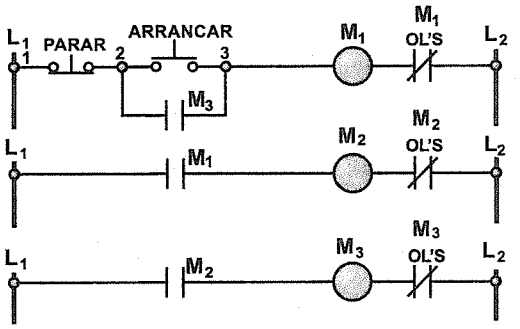
PULSACIÓN MOMENTÁNEA USANDO UN RELEVADOR DE CONTROL



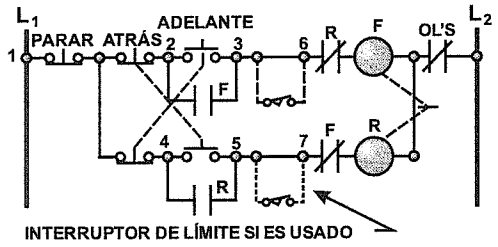
PULSACIÓN MOMENTÁNEA EN ARRANCADOR REVERSIBLE USANDO UN RELEVADOR DE CONTROL



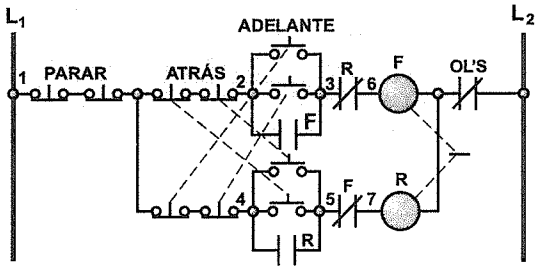
CONTROL A 3 HILOS - CON UNA ESTACIÓN DE BOTONES CONTROLANDO MÁS DE UN ARRANCADOR



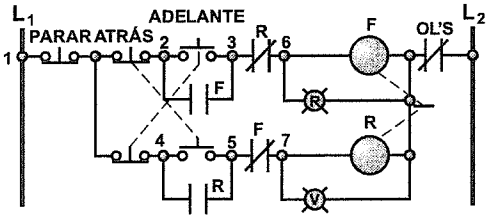
CONTROL A 3 HILOS - ARRANCADOR REVERSIBLE

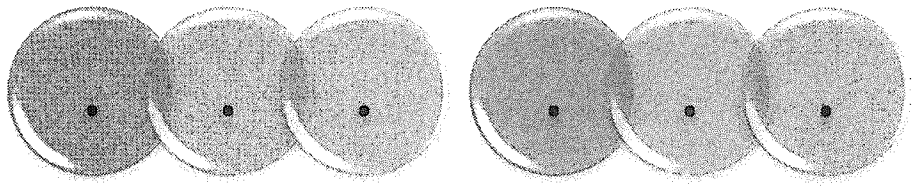


CONTROL A 3 HILOS - ARRANCADOR REVERSIBLE CON ESTACIÓN DE BOTONES MÚLTIPLE



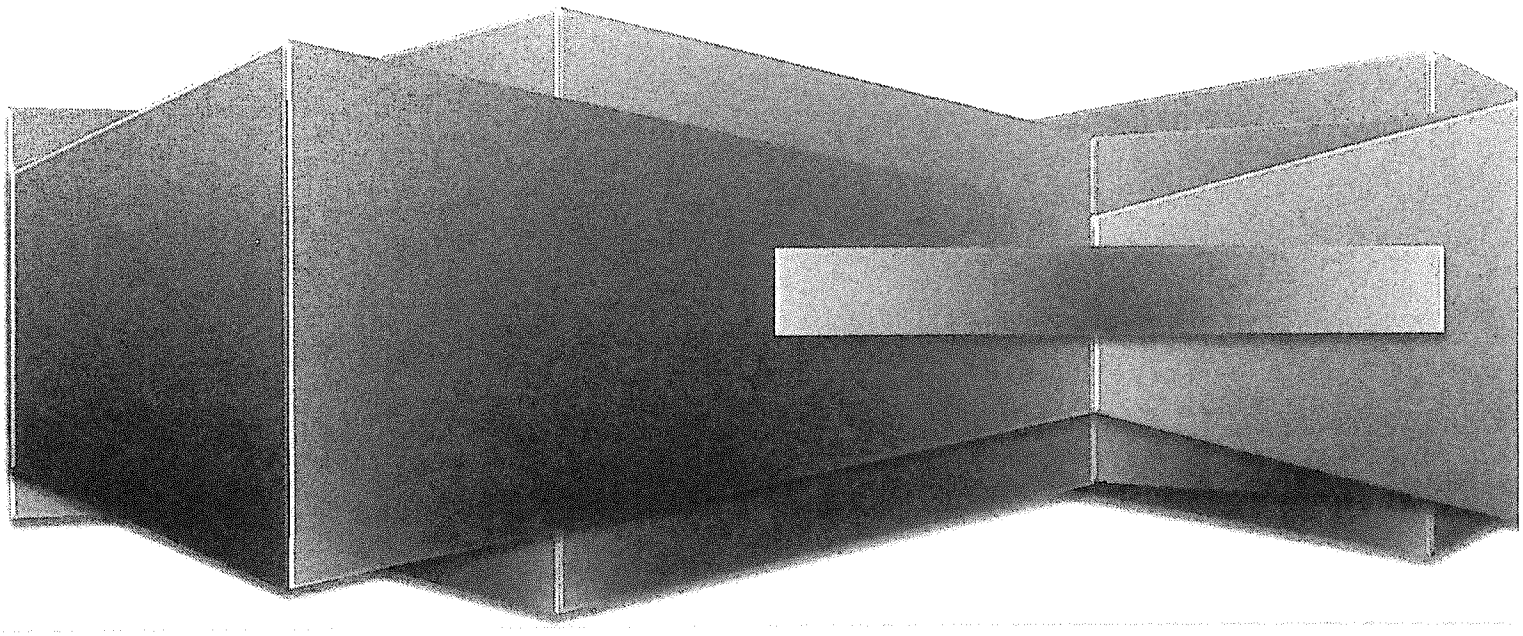
CONTROL A 3 HILOS - ARRANCADOR REVERSIBLE CON LÁMPARA PILOTO PARA INDICAR LA DIRECCIÓN DE OPERACIÓN DEL MOTOR





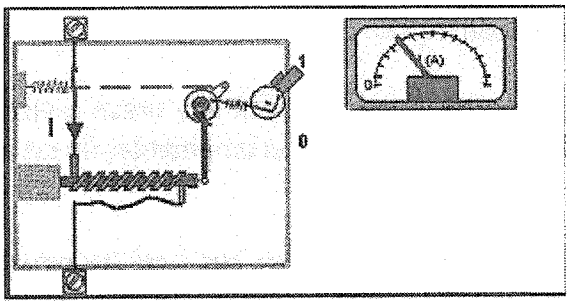
5

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES Y CORTOCIRCUITO



PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES Y CORTOCIRCUITO

5



5.1 INTRODUCCIÓN

En todas las instalaciones eléctricas, en forma invariable, tanto los equipos como los conductores eléctricos tienen un límite térmico dado principalmente por la naturaleza y tipo de materiales aislantes. Como se sabe, la corriente eléctrica produce las llamadas pérdidas por efecto Joule (RI^2) que se manifiestan en forma de calor. Debido a esto, en un conductor eléctrico, como su resistencia se calienta, es por esta razón que las normas técnicas para instalaciones eléctricas y el reglamento para obras e instalaciones eléctricas limitan la cantidad de corriente permisible en un conductor (ampacidad) a un valor en el que el calor se pueda disipar en forma segura, y es así como en las tablas de capacidad de conducción de corriente eléctrica de los conductores se asocia la sección o calibre del conductor con la corriente que pueden conducir en tubo conduit, para considerar el espacio o cantidad de aire disponible. También se considera la elevación de temperatura ambiente.

Como se mencionó, si un conductor que tiene una resistencia **R** conduce una corriente **I**, el calentamiento resultante es proporcional al $\mathbf{RI^2}$, de manera que si, por ejemplo, el conductor conduce una corriente del doble (2I) el calentamiento es $R\ (2I)^2 = 4RI^2$, es decir, se incrementa cuatro veces, esto significa que al aumentar la corriente en un conductor el calentamiento sube mucho más, debido a que crece con el cuadrado de la corriente.

El calentamiento como resultado de una corriente excesiva, causa que el aislamiento del conductor se degrade (deteriore) rápidamente, lo que conduce a una falla del aislamiento y al subsecuente cortocircuito de la línea a tierra o de línea a línea (entre conductores), también el calentamiento excesivo puede producir fuego e incendios cuando se encuentra cerca de material inflamable.

Por otra parte, las corrientes de cortocircuito pueden tener tal magnitud que producen explosiones en los tableros y grandes daños en equipo, con riesgo frecuente para el personal. Estos daños se pueden prevenir con una adecuada protección contra sobrecorrientes y cortocircuito.

Los fusibles e interruptores son los dispositivos que se usan normalmente para proteger las instalaciones y equipos contra sobrecorrientes y cortocircuito, operan básicamente abriendo (liberando) los circuitos en los que están conectados antes de que los valores de corriente excedan la corriente permisible en los conductores.

Antes de iniciar el estudio de cortocircuito, se hará una breve revisión de las características de los elementos de protección y sus aplicaciones recomendadas en las instalaciones eléctricas.

5.2 LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Entre los dispositivos de protección y control en las instalaciones se tienen aquellos que deben satisfacer las normas y recomendaciones dadas para las instalaciones y diseño de los circuitos, que en términos generales son los siguientes:

- Se debe proveer de circuitos separados para alumbrado general, para contactos y aplicaciones especiales.
- Las ramas de los circuitos con más de una salida, no deben tener una carga que exceda al 50% de la capacidad de conducción.
- Los ramales deben ser individuales por cada circuito, respetando los valores máximos de carga indicados en el capítulo 3.
- El tamaño menor de conductor en alumbrado no debe ser menor del No. 12 AWG:

- De acuerdo con la capacidad de carga de cada circuito, se deben instalar tableros de distribución con tantos circuitos como sea necesario.

Para cumplir con las disposiciones anteriores, se deben contar con los siguientes elementos:

1) INTERRUPTORES EN CAJA DE LÁMINA.

También conocidos como interruptores de seguridad, son interruptores de navaja con puerta y palanca exterior para la operación del interruptor y con fusibles integrados.

2) TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN.

Estos tableros también son conocidos como centros de carga, consisten de dos o más interruptores de navaja con palanca o con interruptores automáticos termomagnéticos. Estos interruptores se instalan cerca de los centros de carga, en lugares accesibles donde la apariencia del tablero no perjudique la decoración y resulte práctico.

3) FUSIBLES.

Los fusibles son elementos de protección que constan de un alambre o cinta de una aleación de plomo y estaño con un bajo punto de fusión, que se funde cuando se excede el límite para el cual fue diseñado, interrumpiendo el circuito. Se fabrican para operación en dos tipos:

FUSIBLES DE TAPÓN. Usados principalmente en casas habitación con capacidades de 10, 15, 20 y 30 amperes.

FUSIBLES TIPO CARTUCHO. Que a su vez pueden ser tipo casquillo para capacidades de 3 a 60 amperes y tipo navaja para capacidades de 75 a 600 amperes; estos fusibles son renovables, ya que si se funde el elemento fusible, puede ser reemplazado. De acuerdo con sus características eléctricas, los elementos fusibles pueden ser de tipo normal y de acción retardada. El tipo normal está formado por cinta o alambre, el de acción retardada tiene formas diversas para retardar el tiempo de fusión.

4) INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS.

Estos interruptores están diseñados para abrir el circuito en forma automática cuando ocurre una sobrecarga, accionado por una combinación de un elemento térmico y un elemento magnético.

El elemento térmico consta esencialmente de la unión de dos elementos metálicos de diferente coeficiente de dilatación, conocido también como par térmico, el cual al paso de la

corriente se calienta, y por lo tanto, se deforma, habiendo un cambio de posición que es aprovechado para accionar el mecanismo de disparo del interruptor. Operan desde el punto de vista de tiempo de apertura con curvas características de tiempo-corriente.

El elemento magnético consta de una bobina cuyo núcleo es movible y puede operar o disparar el mecanismo del interruptor. El circuito se abre en forma instantánea cuando ocurre una sobrecorriente, operan con sobrecargas con elementos térmicos y por sobrecorrientes con el elemento magnético para fallas.

5) INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS INSTANTÁNEOS.

Los interruptores termomagnéticos llamados instantáneos para uno de los dos tipos que se usan normalmente en las instalaciones eléctricas, son energizados por el circuito magnético, de las corrientes de sobrecarga o de cortocircuito y se usan normalmente como elementos de protección de los circuitos derivados de motores, ya que la protección contra sobrecarga del motor es el elemento térmico en un elevador, que se considera por separado.

Los interruptores termomagnéticos especiales se diseñan para soportar un 100% de la corriente nominal de carga y para disparar entre 101 y 120% de la corriente nominal de carga.

6) INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS DE TIEMPO INVERSO.

Un interruptor termomagnético de tiempo inverso, es el tipo de interruptor termomagnético equivalente al fusible de tiempo retardado, tiene un elemento magnético que responde en forma instantánea a las corrientes de cortocircuito severas o a valores excesivos de sobrecarga en el arranque. El elemento térmico proporciona protección para los circuitos derivados (a excepción de los circuitos derivados para motores grandes) cuando se presentan sobrecargas, esta protección la realiza por medio de dispositivos térmicamente activados, tal como ocurre con los elementos bimetálicos.

Para los circuitos derivados de motores, la protección contra sobrecarga se separa frecuentemente.

7) OTRAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS.

a) Las características principales de los interruptores de seguridad para servicio normal, de navaja para fusible tipo cartucho, tipo sencillo en caja de usos generales, son los siguientes:

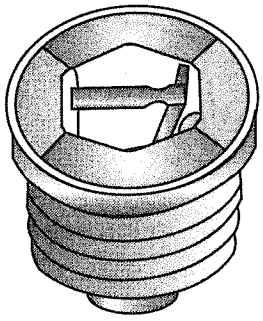
- Mecanismo rápido de desconexión para capacidades superiores a los 30 amperes.

- Tienen base de porcelana de 30 hasta 100 amperes, con base de pizarra.
- La manija puede ser asegurada en las posiciones de abierto y cerrado.

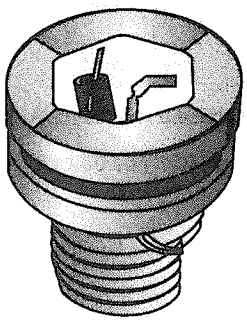
Se fabrican en 2 polos para 250 volts C.A. de 30 a 600 amperes, y en tres polos para 240 volts C.A. también de 30 a 600 amperes, en ambos casos, las capacidades comerciales son: 30, 60, 100, 200, 400 y 600 amperes.

Estos interruptores de seguridad se fabrican también para servicio pesado de navajas para fusibles tipo cartucho, tiro sencillo, para usos generales hasta 600 volts máximos en corriente alterna, con las características principales siguientes:

1. Puerta con seguro para evitar abrirlo en la posición de cerrado.
2. Mecanismo rápido de conexión y desconexión.
3. Supresión de arco.
4. Partes conductoras plateadas.

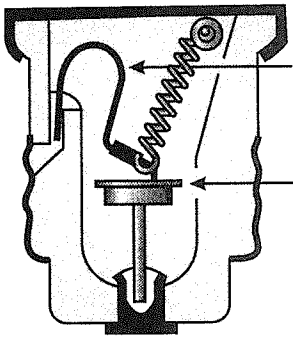


FUSIBLE DE TAPÓN

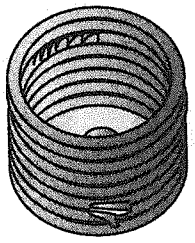


FUSIBLE DE TAPÓN
NO INTERCAMBIABLE

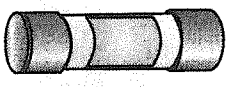
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRE CORRIENTES



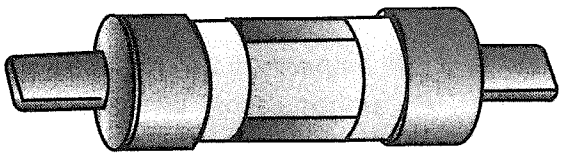
FUSIBLE CON
ELEMENTO DUAL



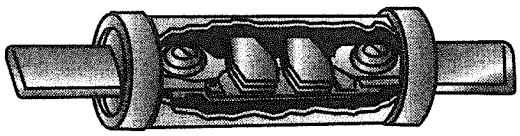
ADAPTADOR



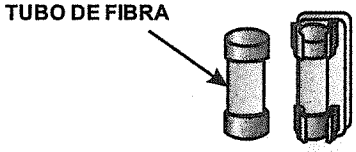
FUSIBLE DE CARTUCHO



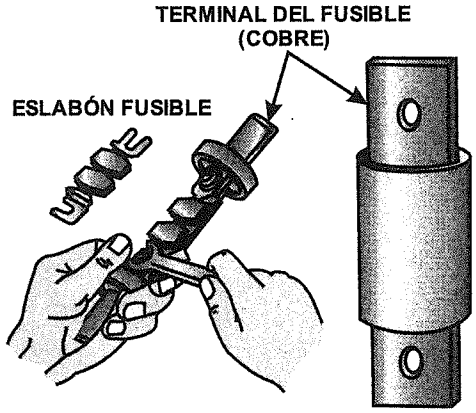
FUSIBLE DE CARTUCHO
TIPO NAVAJA



FUSIBLE DE CARTUCHO
TIPO NAVAJA CON
ELEMENTO RENOVABLE

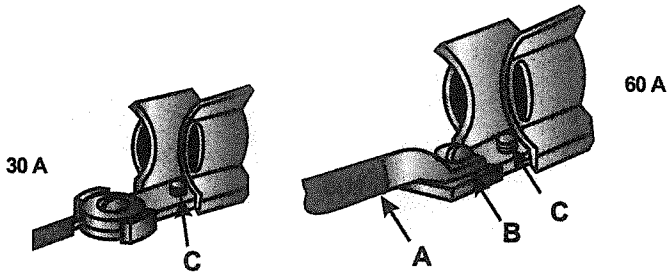


FUSIBLE NO RENOVABLE
Y
PORTA FUSIBLE



FUSIBLE RENOVABLE

FUSIBLE DE TAPÓN



BASES DE FUSIBLES

TABLA 5.1

DIMENSIONES Y CAPACIDADES DE FUSIBLES DE CARTUCHO RENOVABLES				
CAPACIDAD DE CORRIENTE EN AMPERES	FUSIBLES TIPO DE CASQUILLO			
	250 VOLTS		600 VOLTS	
	LARGO mm	DIÁMETRO mm	LARGO mm	DIÁMETRO mm
3, 5, 6, 10, 15 20, 25, 30	53	14	125	19
35, 40, 45, 50, 60	76	21	139	26
	FUSIBLES TIPO NAVAJA			
	250 VOLTS		600 VOLTS	
	LARGO mm	DIÁMETRO mm	LARGO mm	DIÁMETRO mm
75, 90, 100	151	30	200	35
125, 150,175, 200	181	42	244	47
225, 250, 300	219	56	295	65
500-600	263	67	340	76

Las capacidades comerciales para 600 volts C.A. son: 30, 60, 100, 200, 400 y 600 amperes.

b) Los interruptores termomagnéticos se fabrican según sus aplicaciones y capacidad para prestar servicio en:

- Tipo industrial.
- Centros de carga.
- Tableros de alumbrado.

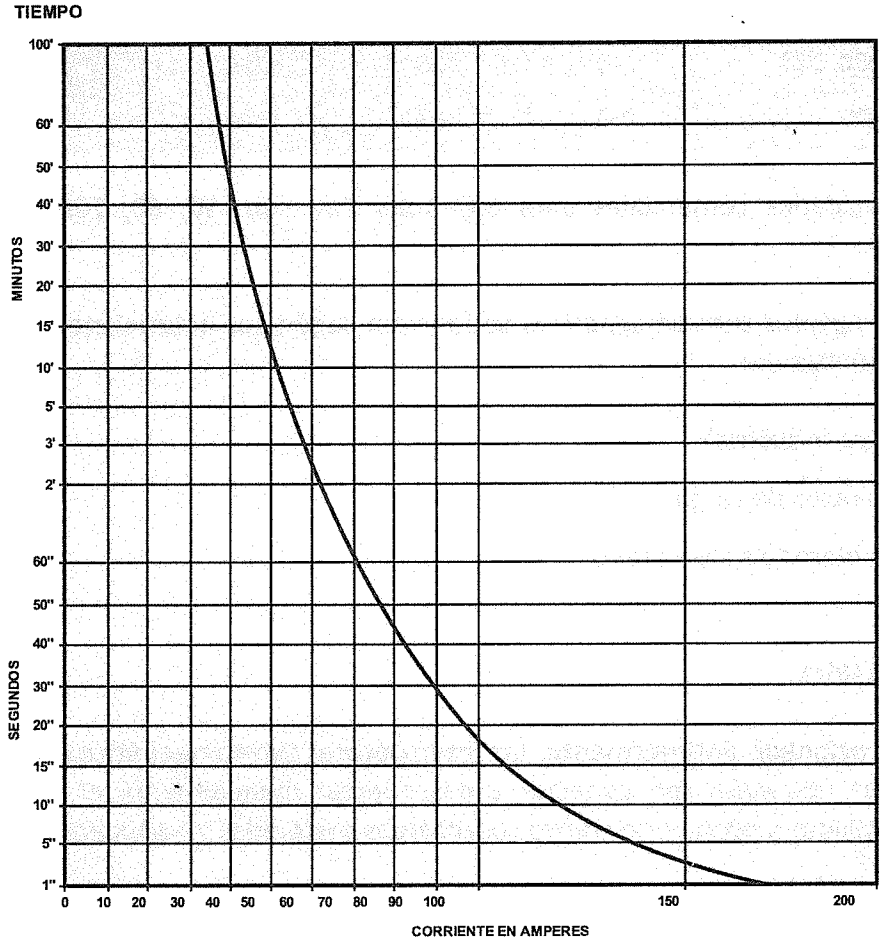
TIPO INDUSTRIAL.

Como se ha mencionado anteriormente, los interruptores termomagnéticos son elementos de protección cuyas funciones son conectar y desconectar manualmente el circuito al cual se encuentran instalados y protegerlo contra sobrecargas sostenidas y cortocircuito.

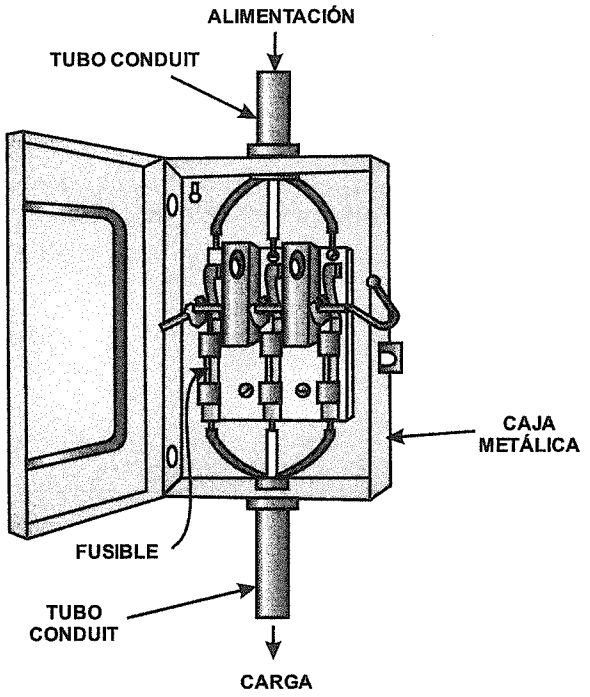
Se fabrican para distintas tensiones y capacidades de corriente, como se indica en la tabla siguiente:

TABLA 5.2

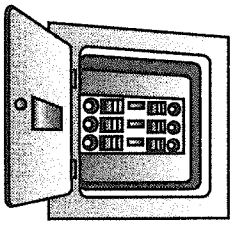
TENSIONES Y CAPACIDADES DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS		
TENSIÓN C.A./ TENSIÓN C.D.	**NO. DE POLOS**	**CORRIENTE EN AMPERES**
240 VOLTS C.A. 125/250 VOLTS C.D.	2	15, 20, 30, 40, 50, 70, 100
	3	15, 20, 30, 40, 50, 70, 100
480 VOLTS C.A. 250 VOLTS C.D.	3	15, 20, 30, 40, 50, 70, 100
600 VOLTS C.A. 250 VOLTS C.D.	2	15, 20, 30, 40, 50, 70
	3	15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 125, 150



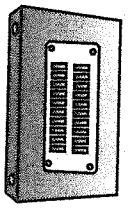
CURVA DE TIEMPO DE APERTURA DE UN FUSIBLE DE ACCIÓN RETARDADA DE 30 A, 600 V A UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 25 °C



DESCONECTADOR CON FUSIBLES (3 FASES)



TABLERO CON FUSIBLES E INTERRUPTORES DE PALANCA



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN

Para 600 volts C.A. en tres polos, dependiendo de la caja NEMA, se fabrican en capacidades de corriente hasta 225, 400 y 1000 amperes.

CENTROS DE CARGA.

Usados para distribución de corriente y protección de los circuitos de alumbrado en residencias, oficinas, comercios, edificios y pequeñas industrias, en los siguientes tipos:

TABLA 5.3

CARACTERÍSTICAS DE CENTROS DE CARGA		
120/240 VOLTS		
TIPO DE MONTAJE	NÚMERO DE CIRCUITOS	CAPACIDAD EN AMPERES
SOBREPONER / EMBUTIR	2	40
SOBREPONER / EMBUTIR	4	70
SOBREPONER / EMBUTIR	8	100

Trifásico, 4 hilos con neutro sólido 120/240 volts.

Para 12 circuitos: 100 amperes.
Para 20 circuitos: 100 amperes.
Para 30 circuitos: 100 amperes.

Monofásico 3 hilos con neutro sólido 120/40 volts.

Para 12 circuitos: 100 amperes.

Los interruptores termomagnéticos para estos centros de carga y tableros de alumbrado se fabrican en las siguientes capacidades.

TABLA 5.4

CARACTERÍSTICAS DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS PARA CENTROS DE CARGA		
VOLTS C. A.	NÚMERO DE POLOS	CAPACIDAD EN AMPERES
120	1	15, 20, 30, 40, 50
120/240	2	15,20,30,40,50,70,100
240	3	15, 20, 30, 50, 70

Estos interruptores bajo condiciones severas de cortocircuito o sobrecarga operan su protección magnética en 8/1000 de segundo.

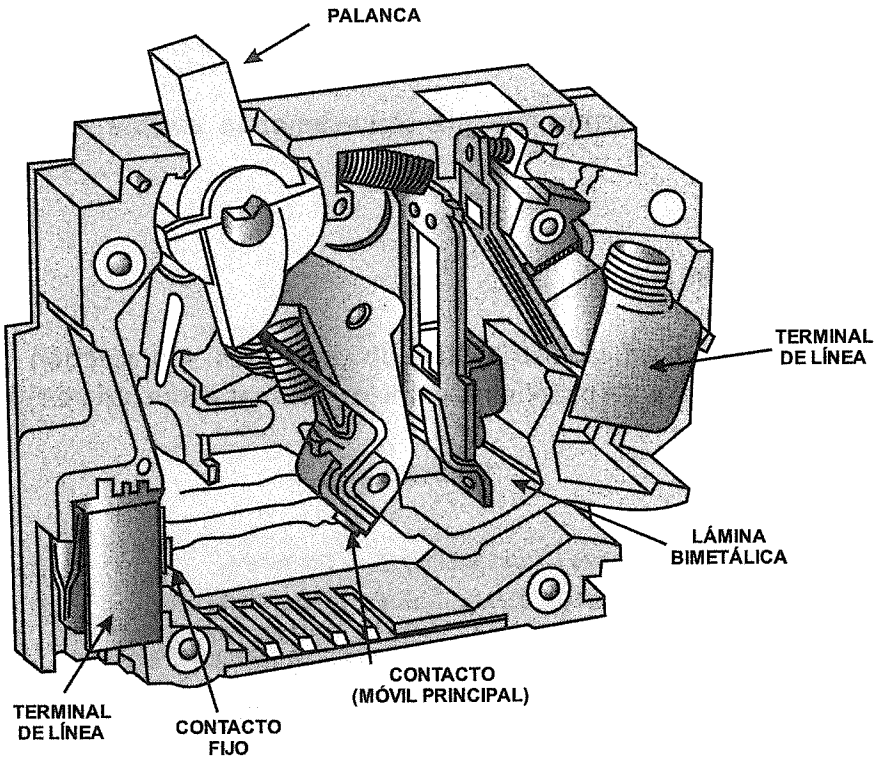
Bajo condiciones no severas y temporales de sobrecarga, se efectúa el disparo térmico al persistir la sobrecarga.

TABLEROS DE ALUMBRADO.

Estos tableros son usados para la distribución de corrientes y protección de circuitos de alumbrado y motores pequeños en hospitales, edificios, oficinas e industria en general.

TABLA 5.5.

DATOS PARA TABLERO DE ALUMBRADO MONOFÁSICOS, 2 FASE, 3 HILOS, 2 NEUTROS C.A.	
NÚMERO DE CIRCUITOS	CAPACIDAD EN AMPERES
14	100
20	100
30	200
42	200
CON INTERRUPTOR GENERAL DE DOS POLOS	
14	70
20	100
30	200
42	200



PARTES CONSTITUTIVAS DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

TABLA 5.6

DATOS PARA TABLERO DE ALUMBRADO TRIFÁSICOS, 3 FASE, 4 HILOS, NEUTROS C.A.	
NÚMERO DE CIRCUITOS	CAPACIDAD EN AMPERES
14	100
20	100
30	100
42	200
CON INTERRUPTOR GENERAL DE 3 POLOS	
14	50
20	100
30	100
42	200

Descripción de las aplicaciones NEMA para gabinetes:

NEMA 1: Usos generales

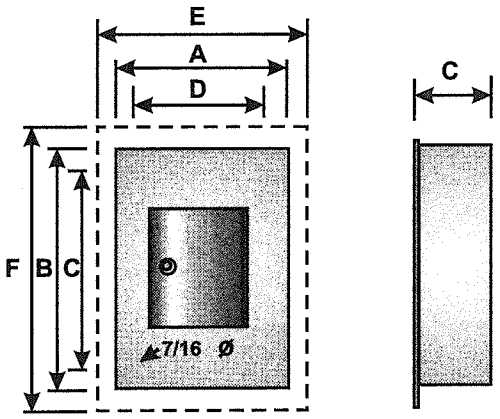
Servicio interior, condiciones atmosféricas normales, construido de lámina metálica.

NEMA 2: Prueba de goteo

Servicio interior, ofrece protección contra goteo de líquidos corrosivos, las entradas de conduit requieren de conectores especiales tipo glándula.

NEMA 3: Servicio intemperie

Servicio exterior, protección contra aire húmedo y polvo, resistente a la corrosión.

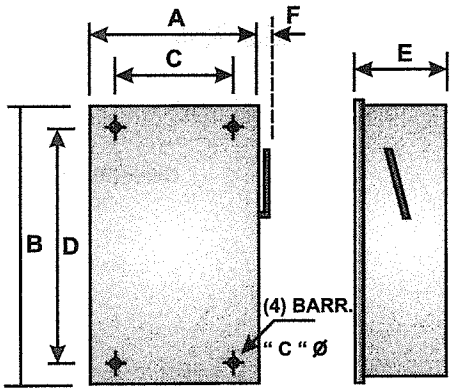


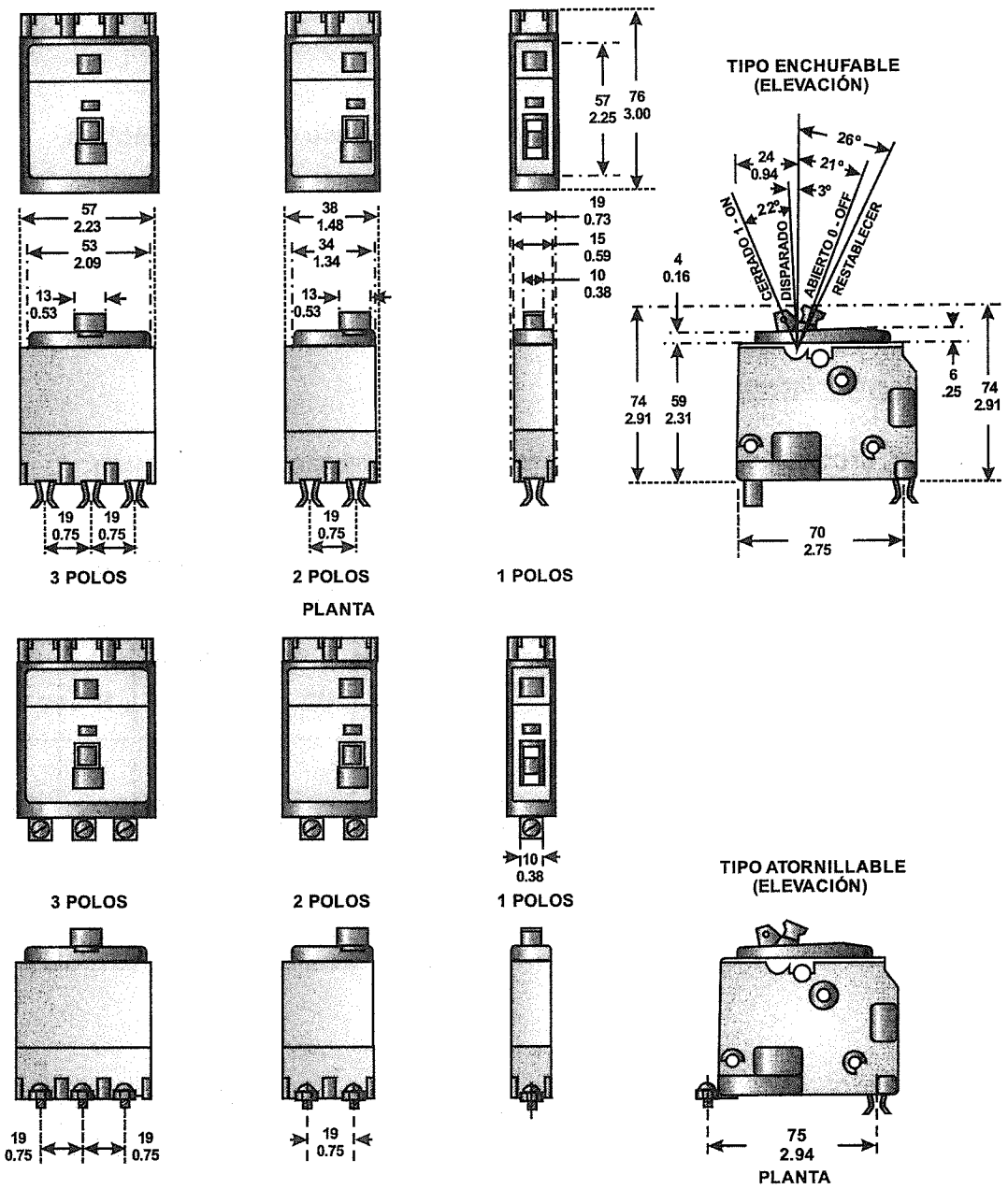
TABLEROS DE ALUMBRADO
DIMENSIONES (EN cm)

A	B	C	D	E	F	G	kgs
41	54.0	43.0	30.5	44.5	57.0	12.5	20.0
41	77.0	66.0	30.5	44.5	80.0	12.5	27.7
41	97.0	86.5	30.5	44.5	99.5	12.5	32.5
41	122.5	112.0	30.5	44.5	125.0	15.0	48.5

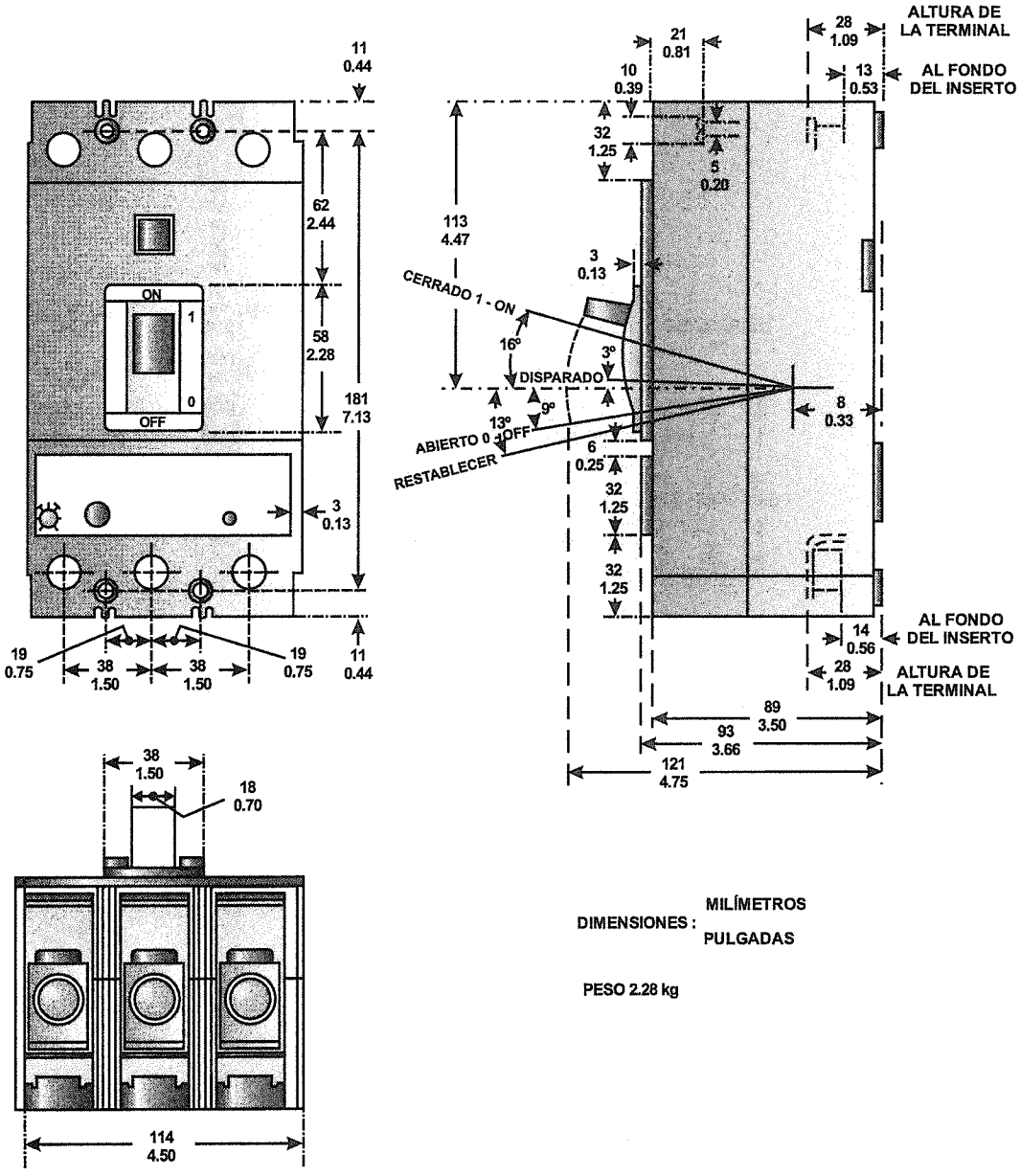
INTERRUPTORES DE SEGURIDAD (DESCONECTADOR) 3 POLOS, 600 VOLTS
DIMENSIONES (EN cm)

A	B	C	D	E	F	G	PESO kg	AMPERES
27.0	45.0	21.5	36.3	14		0.6	9.1	30
27.0	45.0	21.5	36.3	14		0.6	9.2	60
32.5	60.0	26.5	54.0	17		0.7	14.6	100
39.5	63.5	30.0	53.5	24	5.0	0.7	28.1	200
52.5	105.5	56.0	66.5	28		1.4	71.0	400
62.0	122.5	49.5	113.5	29		1.4	91.0	600





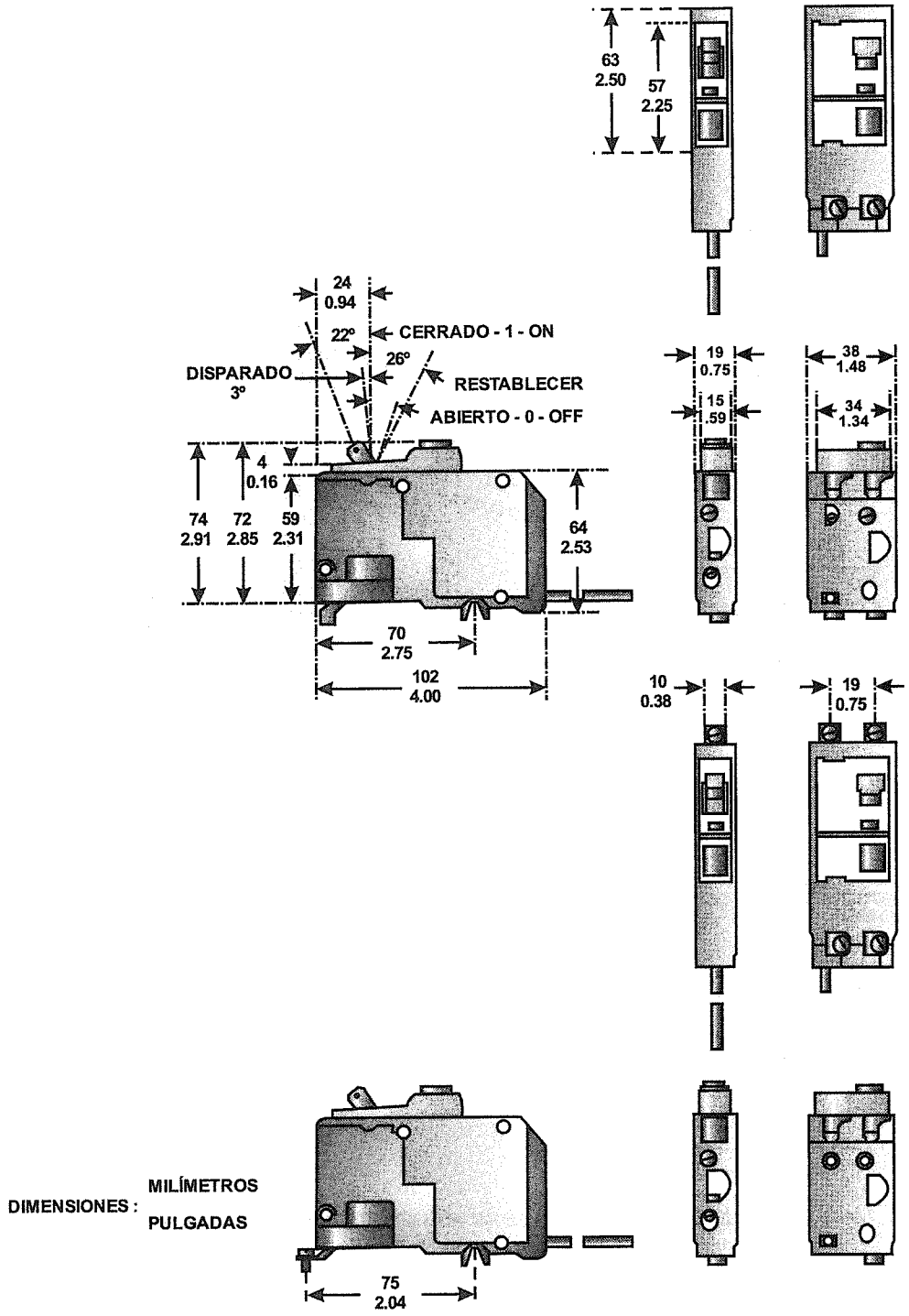
DIMENSIONES GENERALES DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS



DIMENSIONES : MILÍMETROS
PULGADAS

PESO 2.28 kg

DIMENSIONES GENERALES DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS



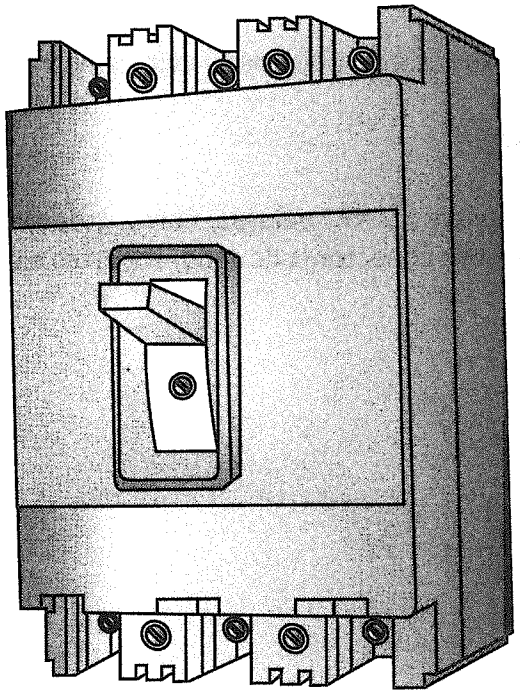
DIMENSIONES GENERALES DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS

SELECCIÓN

CAPACIDAD INTERRUPTIVA INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

CORRIENTE NOMINAL AMPERES	CAPACIDAD INTERRUPTIVA NOMINAL AMPERES RMC SIMÉTRICOS			
	TENSIÓN DE CORRIENTE ALTERNA 60 Hz			TENSIÓN DE C.D.
	240 V	280 V	600 V	250 V
100	19,000	14,000	14,000	10,000
100	65,000	25,000	18,000	10,000
225	25,000	22,000	22,000	10,000
225	65,000	35,000	25,000	10,000
400	42,000	30,000	22,000	10,000
400	65,000	35,000	25,000	10,000
1,000	42,000	30,000	22,000	14,000
1,000	65,000	50,000	25,000	14,000
2,000	65,000	50,000	42,000	---------
2,000	125,000	85,000	65,000	---------

AUTOMÁTICOS TENSIÓN MÁXIMA 600 V C.A., 60 Hz, 250 V C.D., CAPACIDAD INTERRUPTIVA NORMAL



Nema 3R: A prueba de lluvia

Servicio exterior a prueba de lluvia, resistente a la corrosión, requiere de conectores especiales tipo glándula.

Nema 4: A Prueba de agua y polvo

Servicio exterior, contra salpicaduras de agua y ahorro directo, construcción de lámina metálica o gabinete fundido, soportes exteriores de montaje.

Nema 5: A prueba de polvo

Servicio interior protección hermética contra polvo.

Nema 7: A prueba de gases explosivos

Servicio interior o exterior en atmósferas peligrosas por gases explosivos, gabinete fundido atornillable o roscado, requiere de conectores especiales, soportes exteriores de montaje.

Nema 9: A prueba de polvos explosivos

Servicio interior o exterior en atmósferas peligrosas, evita la entrada de polvos explosivos.

Nema 12: Servicio industrial

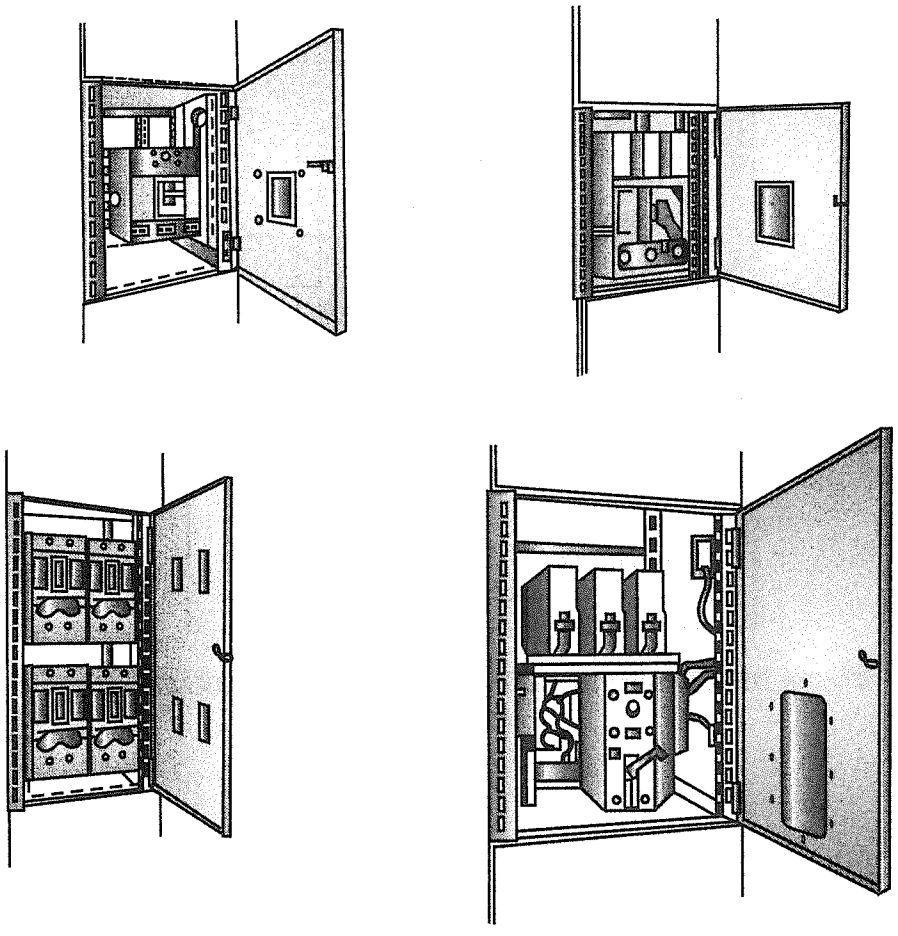
Servicio interior, protección contra polvos, pelusas, fibras, goteo, salpicaduras, insectos, aceite, líquidos refrigerantes, requiere de conectores de sello, soportes exteriores de montaje.

COMPARACIÓN ENTRE FUSIBLES E INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS

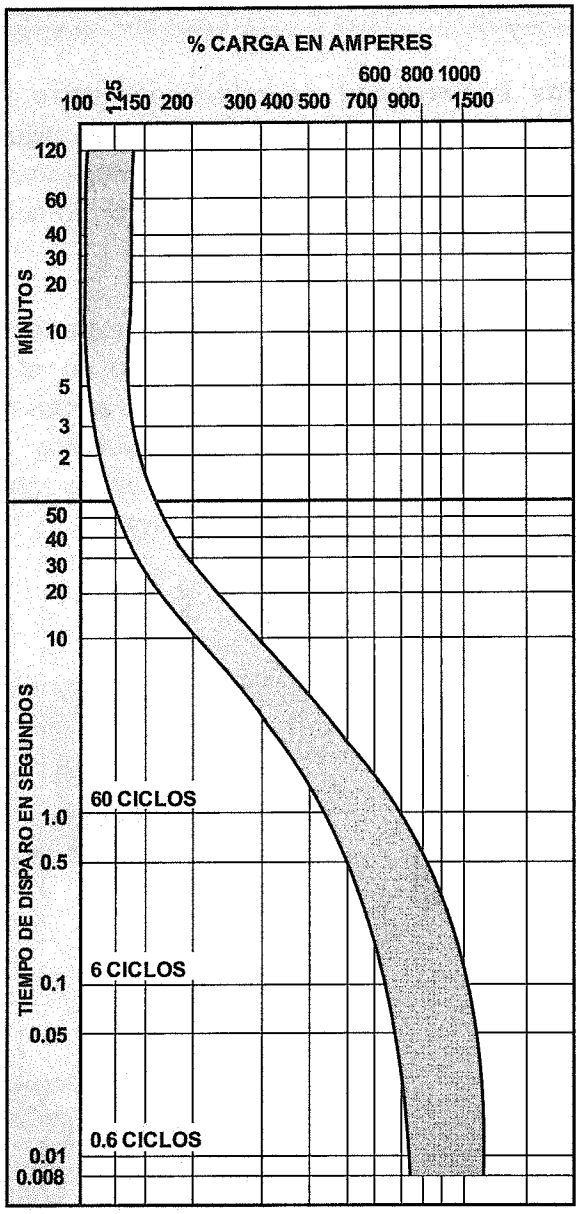
5.3

Frecuentemente se presenta la necesidad de seleccionar entre el uso de fusibles o de interruptores termomagnéticos, esta selección se debe basar en algunos puntos objetivos que estén al margen de la opinión de los fabricantes de estos productos, ya que como es natural cada fabricante trata de demostrar que su producto es mejor, lo cual puede influir de alguna manera en la decisión del proyectista.

La práctica de esto no se puede decir que sea uniforme, la experiencia en este caso juega un papel muy importante en la selección y avance continuo en el diseño de productos. A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas de ambos medios de protección, con el objeto de normar en cierta medida el criterio del proyectista, aun cuando es necesario recordar que cada instalación representa un problema diferente y, por otra parte, el valor de la corriente de cortocircuito puede influir también en esta decisión.



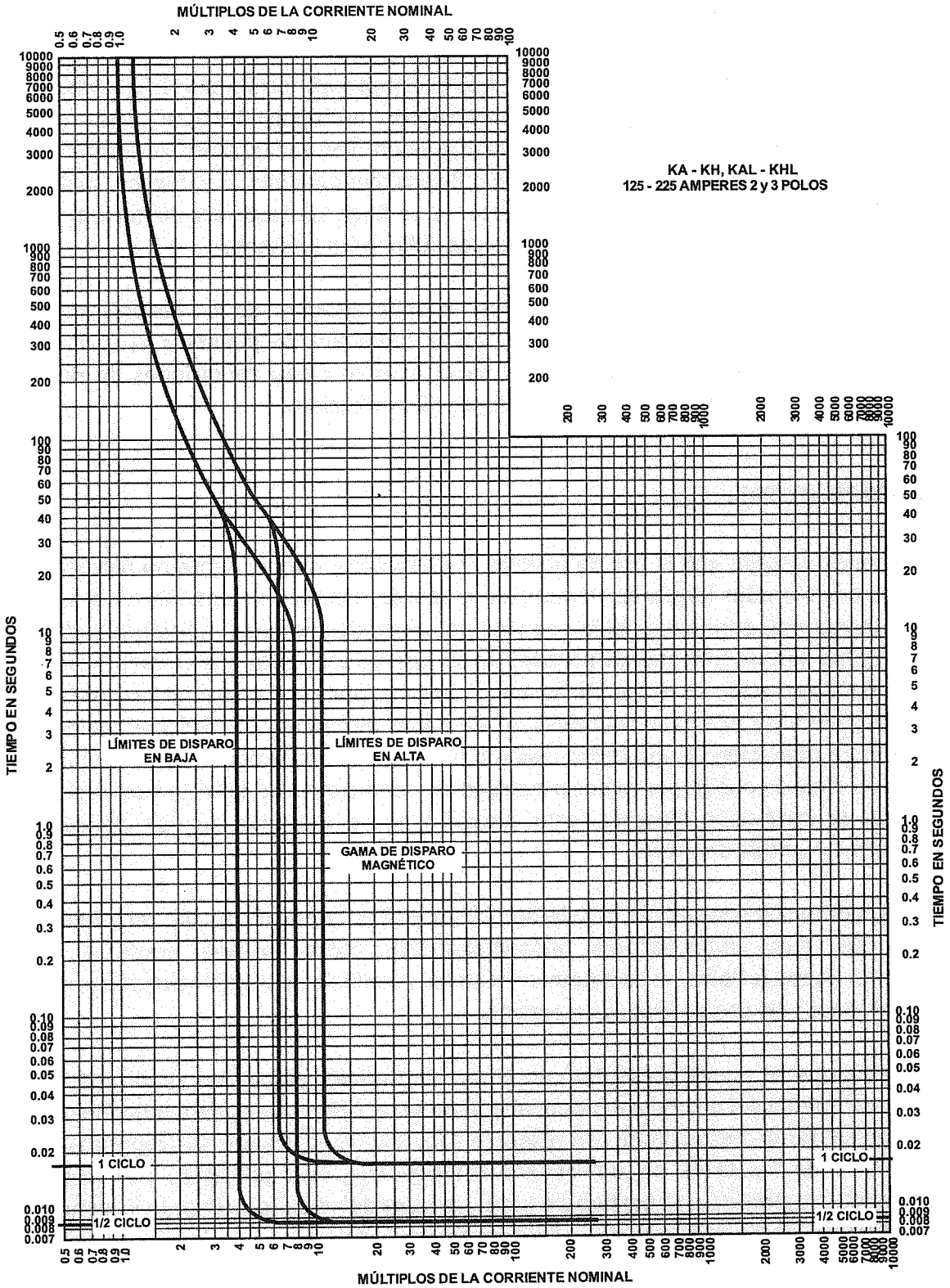
DISPOSICIÓN DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS EN UN TABLERO DE PROTECCIÓN



CURVA DE DISPARO DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS

CURVA DE DISPARO "CARACTERÍSTICAS"



5.3.1 CONVENIENCIA Y SEGURIDAD.

Desde el punto de vista de su utilización, los interruptores termomagnéticos resultan más convenientes que los fusibles, ya que un interruptor termomagnético se puede cerrar con facilidad sin ningún riesgo después de que ha disparado. Por el contrario, un fusible que se ha fundido se debe desatornillar o jalar con algún dispositivo para ello, y entonces, se debe tener cuidado de que cuando el circuito está abierto no se haga contacto accidental con las partes energizadas, este riesgo se puede decir que es pequeño, pero existente.

Por otra parte, cuando se funden los fusibles, se debe disponer de los fusibles de repuesto, cuando éstos no se tienen, se puede caer en la tentación de puentear el fusible, o bien sustituirlo por otro de mayor capacidad, en cuyo caso se crean condiciones de riesgo en la instalación, ya que no se cumple con las funciones de protección.

5.3.2 CONFIABILIDAD.

Por experiencia se sabe que el uso de fusibles es confiable y normalmente no requieren de ser cambiados por periodos largos de tiempo; sin embargo, también se observa de la experiencia que los interruptores termomagnéticos se ven más afectados por las condiciones ambientales y pueden llegar a ser un poco menos precisos en su operación, por lo que se recomienda que su mecanismo de operación se revise por lo menos una vez por año, lo cual no siempre ocurre, ya que por lo general se observan sólo después de haber disparado. Cuando por alguna razón el mecanismo de operación se encuentra oxidado o en mal estado, puede ocurrir que no opere y entonces un circuito puede permanecer cerrado en condiciones de falla, lo cual representa un riesgo para la instalación eléctrica, esta situación no se presenta con los fusibles, lo cual representa una ventaja de estos.

El calentamiento excesivo como resultado de un pobre contacto en las terminales, puede producir que tanto interruptores termomagnéticos como fusibles produzcan disparos accidentales. En los fusibles, el calentamiento en las terminales por contactos falsos se pueden evitar, por medio del uso de grapas de presión.

Un problema que se puede presentar con el uso de fusibles, es que los circuitos trifásicos se puedan ver sometidos a una falla denominada pérdida de fase, lo cual, dependiendo del diseño, puede representar una desventaja con respecto a los interruptores termomagnéticos. Una falla en cualquiera de las fases de un circuito trifásico que está protegido por interruptores termomagnéticos, produce la apertura de todas las fases del circuito, cortando la alimentación a la carga trifásica, ya sea de alumbrado o bien motores eléctricos.

Una falla en cualquiera de las fases de un circuito trifásico que está protegido por fusibles, desconecta únicamente la fase fallada, de manera que se continua alimentando potencia a las cargas de alumbrado a motores monofásicos conectados a las fases que permanecen energizadas, de manera que se mantiene un servicio aproximadamente 2/3 de la carga.

Sin embargo, en los motores trifásicos que están protegidos sólo por fusibles, al desconectarse únicamente la fase fallada, quedan sujetos a la operación en dos fases, si éstos continúan operando, pero con una corriente incrementada y desbalanceada circulando en dos fases que quedan energizadas, de manera que al menos una de estas fases energizadas demanda una corriente excesiva, y que el elemento térmico (si lo tiene) debe operar y desconectar al motor en tiempo breve.

Si la protección del motor no está seleccionada en forma correcta y la capacidad de los elementos térmicos no ha sido correctamente seleccionada, el motor continúa operando con sobrecorriente hasta que se quema, y esto llega a suceder.

5.3.3 EL COSTO Y LAS APLICACIONES GENERALES.

De hecho, un interruptor termomagnético combina la función de una cuchilla desconectadora con protección del circuito, en cambio un fusible necesita de un desconectador (switch) adicional para cumplir con la misma función, aun con esto, un fusible es más barato que el interruptor termomagnético.

La tendencia general es usar los interruptores termomagnéticos en la mayoría de los casos, tanto en las instalaciones para casas habitación, como en una gran variedad de instalaciones industriales.

5.4 LA PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES CONTRA EL CORTOCIRCUITO

El cálculo de las corrientes de cortocircuito representa un elemento fundamental en el proyecto de las instalaciones eléctricas industriales, ya sea para el dimensionamiento de los aparatos que se deben usar para interrumpir estas corrientes, o bien para el dimensionamiento de los partes auxiliares de las instalaciones, como por las barras de conexión, tableros, soportes, etc.

Lo que se expondrá a continuación sólo se refiere a los aspectos fundamentales de este tema y pierde interés práctico para el proyecto de instalaciones industriales, ya que el estudio de cortocircuito en sí constituye un tema muy amplio, que requiere de cierto detalle para la comprensión de todos los fenómenos asociados y las técnicas de análisis empleadas.

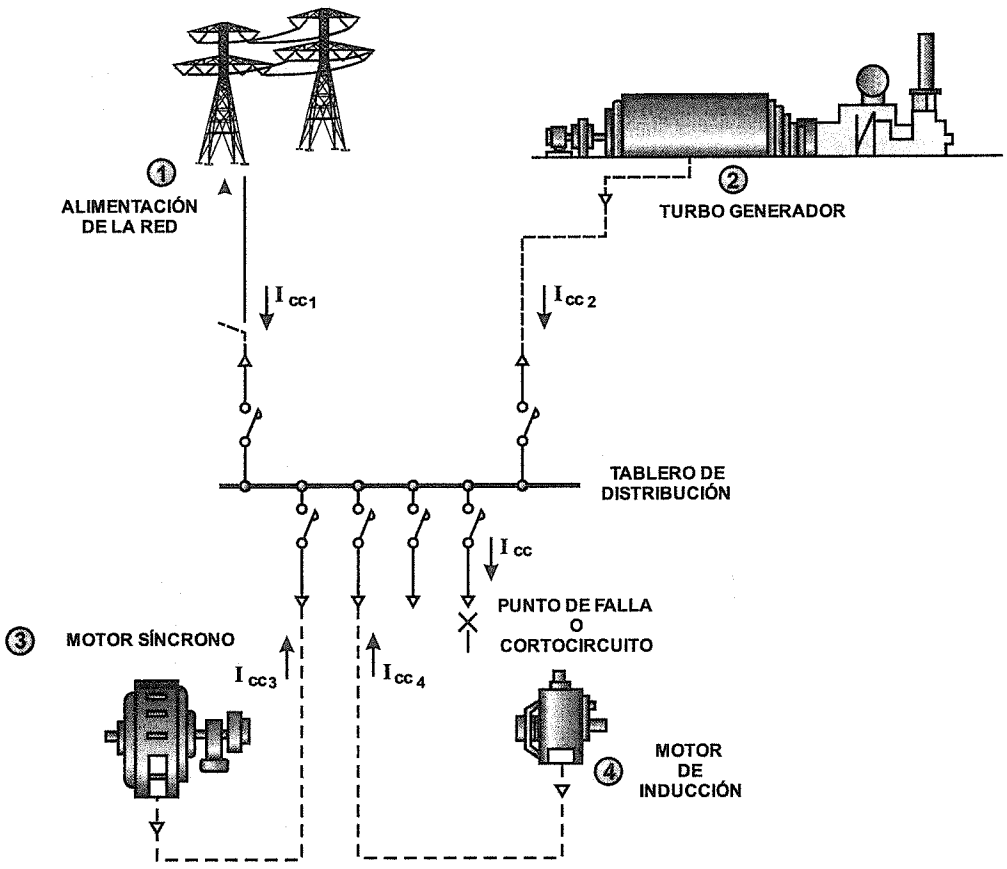
El cortocircuito, de hecho, puede ocurrir en cualquier parte de un sistema eléctrico, y en el caso de algunas instalaciones industriales de tamaño pequeño donde se usan como dispositivos de protección fusibles e interruptores termomagnéticos, éstos deben operar para abrir el circuito.

Si el circuito en el que se presenta la falla (cortocircuito) no se abre, se puede presentar daño, principalmente debido al calentamiento y altos esfuerzos en equipo eléctrico. Los resultados que finalmente se pueden tener de este tipo de fallas son:

- Equipo arruinado, incendios y posibles explosiones.

5.4.1 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO.

El estudio del cortocircuito en las instalaciones industriales tiene algunas variantes, dependiendo del tamaño y características eléctricas de la industria y de su instalación eléctrica en particular. En la siguiente figura, se representa un diagrama general de distribución de una instalación industrial.



ELEMENTOS QUE CONTRIBUYEN AL CORTOCIRCUITO

El cortocircuito se alimenta de las siguientes fuentes:

a) *Red de la compañía suministradora de energía eléctrica*

El valor de la corriente cortocircuito con que contribuye la red de alimentación a la instalación, depende de las características de la red misma. Esta corriente de cortocircuito de alimentación se expresa en kiloamperes, o bien se da el valor de la llamada capacidad interruptiva en MVA. En cualquier caso, para el proyectista de la instalación eléctrica, es un valor que proporciona la compañía suministradora, indicando a ésta el punto de la red eléctrica de donde se alimentará a la industria.

Por ejemplo, si se proporciona el valor de cortocircuito en una red de distribución de 13.8 kV a la que se conectará una industria como corriente, se puede decir I_{CC} = 10 KA por ejemplo. Por otra parte, si se proporciona como una capacidad interruptiva en MVA, a partir de este valor se puede calcular la corriente de cortocircuito. Si por ejemplo, la capacidad interruptiva es de 200 MVA, la corriente de cortocircuito correspondiente es:

$$I_{CC} = \frac{200\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 13..8} = 8367.4\ Amperes$$

b) *Turbogeneradores o fuente de generación propia*

En algunas industrias, está permitido (en condiciones especiales en México) que exista generación local, además de la fuente de alimentación que proporciona la red de la compañía suministradora. Sin entrar en los detalles del fenómeno, se pude decir que el generador entregará una corriente limitada sólo por su impedancia interna, y que es decreciente del instante del cortocircuito por un tiempo corto (transitorio) hasta su estabilización a un valor que no varía más con el tiempo (impedancia síncrona). La corriente de cortocircuito será por lo tanto elevada en el primer instante y decrecerá hasta un valor (corriente de cortocircuito permanente) que se mantendrá sin modificación en el tiempo, si no intervienen las protecciones.

c) *Motores síncronos*

Un motor síncrono se comportará en forma análoga a un generador síncrono, en lugar de absorber energía de la línea, se convertirá en un generador y alimentará a la instalación con una corriente decreciente con el tiempo, que dependerá de su impedancia interna, exactamente como ocurre con el generador síncrono.

d) *Motores de inducción*

También los motores de inducción que están conectados en la instalación eléctrica alimentarán a ésta con una corriente limitada por su impedancia interna, pero su contribución se reduce a cero en un tiempo muy breve. El valor de la corriente de cortocircuito en el punto de la instalación en el que se presenta la falla es la suma de las contribuciones de los elementos conectados a la misma y la red de alimentación, como se muestra en la figura siguiente:

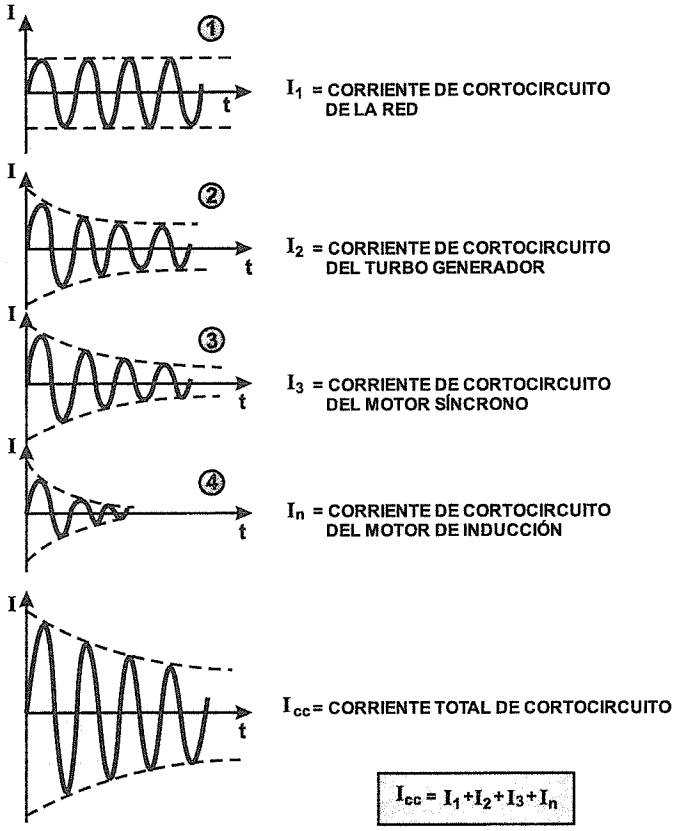


DIAGRAMA DE CORTOCIRCUITO DE LAS DISTINTAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Como se puede observar, al presentarse el cortocircuito en una instalación, se presentará una corriente de un valor muy elevado que se reducirá con el tiempo hasta llegar a un valor permanente, es decir, que la forma de la corriente de cortocircuito es por lo tanto:

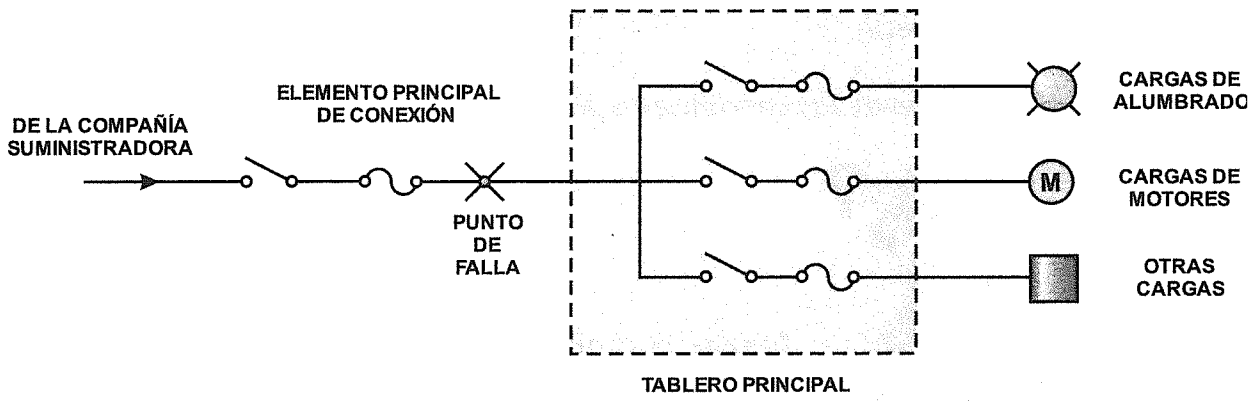
- Senoidal con un periodo dependiente de la frecuencia de la red de alimentación.
- Amortiguado con una constante de tiempo que depende de las características de la red de alimentación.
- Asimétrica, con una componente continua que depende del desfasamiento entre el voltaje y la corriente en el instante del cortocircuito.

5.4.2 MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

El cálculo de la corriente de cortocircuito se puede hacer por métodos matemáticos, muchos de los cuales van orientados hacia el uso de programas para computadoras digitales, o bien con microcomputadoras. Estos métodos de cálculo para un técnico que requiere más bien de información práctica, pueden resultar complicados, además de que por lo general requieren de mucha información.

Los estudios de cortocircuito con fines prácticos para instalaciones de tipo industrial, se pueden hacer por métodos aproximados que son bastante simples, desde luego que no son tan exactos como los métodos matemáticos, pero dan una idea de orden de magnitud de las corrientes de cortocircuito, que en la mayoría de los casos corresponden a valores conservadores, es decir, mayores que los esperados, pero que los hacen además de simples, suficientemente confiables para su uso, por lo que en este capítulo, este tipo de métodos es el que se usará.

En una instalación eléctrica, la máxima corriente de cortocircuito en la alimentación es el valor, que se puede tener para un cortocircuito en el punto principal de desconexión. En la figura siguiente, se muestra el diagrama unifilar simplificado para una instalación eléctrica, indicando el punto de falla en baja tensión.



CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO DE ALIMENTACIÓN

Para los fines de cálculos conservadores, se supone que la falla puede ser la más severa posible, es decir, la que produciría los daños más fuertes, considerando que se puntean los conductores con un elemento conductor sólido entre ellos. El valor de la corriente de cortocircuito disponible, se obtiene directamente de la compañía suministradora, ya que ésta debe proporcionar la información del máximo valor en amperes que circula de los transformadores y red de alimentación al punto de falla en la alimentación, este valor en algunas ocasiones puede ser muy elevado.

De los elementos que contribuyen a la corriente de cortocircuito, el turbogenerador o en general la generación local no se tiene en la mayoría de las instalaciones, de manera que las fuentes principales de alimentación son: *la red de alimentación y la carga local de motores que se tiene en la industria.*

Como se mencionó antes, un cortocircuito interrumpe el suministro de potencia a los motores y los éstos tienden a frenar y finalmente parar, sin embargo, debido a su inercia, el campo magnético giratorio del rotor hace que los motores actúen como generadores temporales y alimentan la corriente de cortocircuito hasta que paran, es decir:

$$I_{TCC} = I_{SCC} + I_{MCC}$$

DONDE:

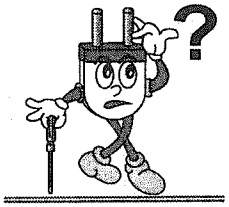
I_{TCC}= Corriente total de cortocircuito en el punto de falla.

I_{SCC}= Corriente de cortocircuito que alimenta la red o sistema de alimentación en baja tensión.

I_{MCC} = Corriente de cortocircuito con que contribuyen los motores.

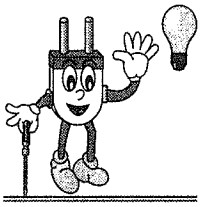
En la práctica, la contribución de los motores a la corriente de cortocircuito se toma aproximadamente como cinco veces la suma de las corrientes a plena carga de los motores, estén operando o no. Es decir:

$$I_{MCC} = 5\ x\ (suma\ de\ las\ corrientes\ a\ plena\ carga\ de\ todos\ los\ motores)$$



EJEMPLO 5.1 Calcular la corriente total de cortocircuito en el punto de conexión a una industria si la compañía suministradora informa que la corriente de cortocircuito que proporciona es de 20,000 A. En la industria se tienen instalados los motores trifásicos a 220 volts que se indican:

- 5 motores de 10 HP
- 3 motores de 20 HP
- 8 motores de 5 HP
- 3 motores de 40 HP
- 2 motores de 75 HP



SOLUCIÓN La corriente de la compañía suministradora es:

$$I_{SCC} = 20{,}000\ A$$

La contribución de los motores eléctricos se calcula a partir de las corrientes nominales de éstos: de la tabla de corrientes nominales de motores (capítulo 3) son:

Para los motores de 10 HP, I_N = 39 A
Para los motores de 20 HP, I_N = 56 A
Para los motores de 5 HP, I_N = 15.9 A
Para los motores de 40 HP, I_N = 109 A
Para los motores de 75 HP, I_N = 201 A

La corriente nominal total por grupo de motores es:

5 motores de 10 HP	5 x 29 =	145 A
3 motores de 20 HP	3 x 56 =	168 A
8 motores de 5 HP	8 x 15.9 =	128 A
3 motores de 40 HP	3 x 109 =	327 A
2 motores de 75 HP	2 x 201 =	402 A
	Corriente nominal TOTAL:	**1170 A**

La corriente de cortocircuito que suministran los motores de la falla es:

I_{MCC} = 5 x suma de corrientes nominales.
I_{MCC} = 5 x 1170 = 5850 A

La corriente total de cortocircuito es entonces:

$I_{TCC} = I_{SCC} - I_{MCC}$
I_{TCC} = 20 000 + 5850 = 25850 A

5.4.3 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN CUALQUIER PUNTO DE LA INSTALACIÓN (EN BAJA TENSIÓN)

Como se mencionó en párrafos anteriores, las compañías suministradoras, generalmente proporcionan el valor de la corriente de cortocircuito en el punto de alimentación de dos formas: ***como una corriente o como el valor de la capacidad interruptiva***, es decir, si la corriente de cortocircuito del sistema es: I_{CCS}, la capacidad interruptiva se expresa como:

$$I_{CCS} = \sqrt{3}\, V\, I_{CCS}$$

Siendo:

P_{CCS} la capacidad interruptiva.

Algunas veces la compañía suministradora proporciona la impedancia en el punto de alimentación. Esta impedancia es en forma compleja:

$$Z_x = R + J\, X$$

El valor de la corriente de cortocircuito que proporciona el sistema en el punto de alimentación se calcula entonces como:

$$I_{CCS} = \frac{V_S}{1.73\, Z_S}$$

DONDE:

Z_S = Impedancia del sistema hasta el punto de alimentación.
V_S = Voltaje del sistema.

En términos absolutos:

$$Z_S\sqrt{R^2 + X^2}$$

En muchos casos prácticos, la resistencia **R** es pequeña en comparación con la reactancia **X**, y sin mucho error se pueden despreciar, en particular cuando la reactancia es más de 10 veces el valor de la resistencia, con lo que:

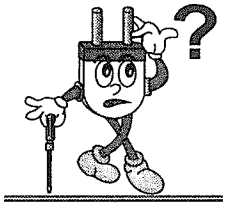
$Z_S = X_S$

La corriente total de cortocircuito es entonces:

$$I_{TCC} = \frac{V_S}{1.73\, Z_S} + I_{MCC}$$

Se puede observar que la corriente de cortocircuito que circula del punto de alimentación a la falla se reduce por las impedancias del equipo eléctrico en el circuito que está bajo análisis, estas impedancias pueden ser la de los interruptores, transformadores de instrumento, conductores, etc.

Se puede observar de la ecuación anterior, que a medida que aumenta la impedancia Z_S, la corriente de cortocircuito se reduce, y a medida que Z_S disminuye, la corriente de cortocircuito aumenta, por lo que este método básico de cálculo está siempre del lado conservador y el factor de seguridad se puede dar en función de las consideraciones para el estudio.



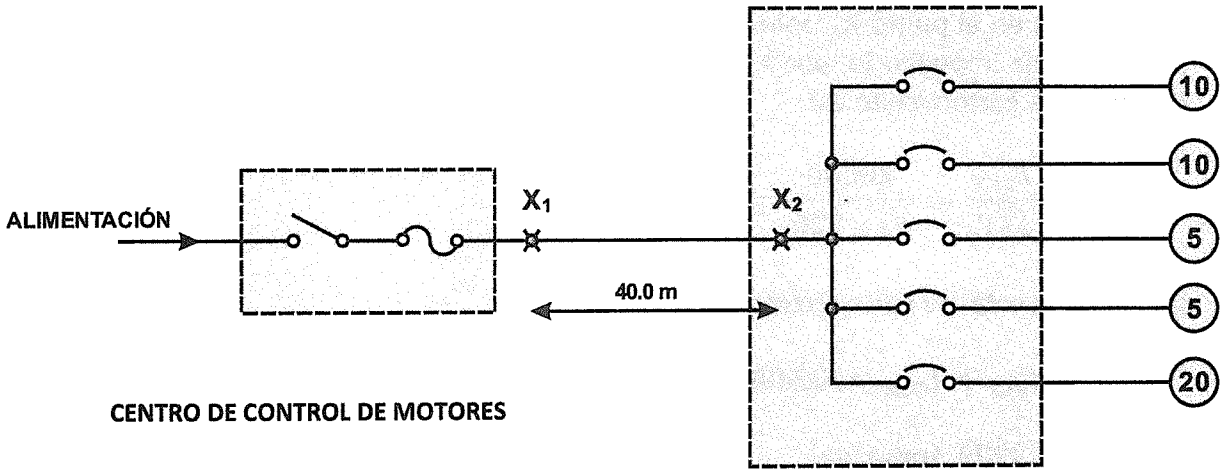
EJEMPLO 5.2 Supóngase que la compañía suministradora alimenta a una pequeña instalación industrial a 220/127 volts con alimentación trifásica de 4 hilos (tres fases y neutro). La potencia del cortocircuito en el punto de alimentación es de 20 MVA y se alimenta a un centro de control de motores que tiene los siguientes motores:

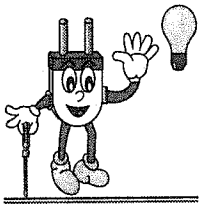
- 2 motores de 10 HP jaula de ardilla.
- 2 motores de 5 HP jaula de ardilla.
- 1 motor de 20 HP jaula de ardilla.

La distancia del punto de alimentación al centro de control de motores es de 40 m.

Calcular la corriente de cortocircuito en los puntos indicados.

CALCULAR LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN LOS PUNTOS INDICADOS :





SOLUCIÓN Las corrientes nominales para los motores trifásicos a 220 volts son:

- Motor de 10 HP – 29 A
- Motor de 5 HP - 15.9 A
- Motor de 20 HP - 56 A

Para calcular el calibre del alimentador al centro de control de motores, se procede como se indicó en el capítulo 3, es decir, se toma la suma de las corrientes nominales de los motores y el 1.25 de la corriente del motor mayor.

$$1 = 1.25\ x\ 56 + 2\ x\ 15.94 + 2\ x\ 29 = 159.8\ Amp$$

Para 3 conductores en tubo conduit, suponiendo que se usa conductor **Vinanel nylon** a una temperatura de 75°C para una corriente de 159.8 amperes, se requiere conductor calibre No. 1/0 en tubo conduit de 38 mm.

La corriente de cortocircuito que proporcionan los motores a la falla, se toma como 5 veces la suma de las corrientes nominales, es decir:

$$I_{CCM} = 5\ x\ (suma\ de\ las\ corrientes\ nominales)$$

$$I_{CCM} = 5\ x\ (2\ x\ 29 + 2\ x\ 15.9 + 56)$$

$$= 729\ Amperes$$

a) Para la falla en el punto $\mathbf{X_1}$, sólo se considera que la alimentación del sistema está limitada por su propia impedancia, por lo que para la potencia de cortocircuito dada a 220 volts, la corriente de cortocircuito es:

$$I_{CCS} = \frac{P_{CCS}}{\sqrt{3}\ V_S} = \frac{20000}{\sqrt{3}\ x\ 220} = 52.5\ kA$$

La corriente total de cortocircuito es:

$$I_{CCT} = I_{CCS} + I_{CCM} = 52500 + 729$$

$$I_{CCT} = 53229\ Amperes$$

Se puede efectuar el mismo cálculo considerando la impedancia equivalente del sistema, cuyo valor se calcula como:

$$Z_S = \frac{V_S^2}{P_{CC}\, x\, 1000}$$

DONDE:

$\mathbf{V_S}$ = Voltaje del sistema en volts
$\mathbf{P_{CC}}$ = Potencia de cortocircuito del sistema en KVA

En este ejemplo: P_{CC} = 20 MVA = 2000 KVA:

Por lo tanto:

$$Z_S = \frac{(220)^2}{20000\, x\, 1000} = 0.0024$$

De manera que la corriente total de cortocircuito en X_1 es:

$$I_{CCT} = \frac{V_S}{1.73\, Z_S} + I_{MCC}$$

$$I_{CCT} = \frac{220}{1.73\, x\, 0.0024} + 729$$

$$I_{CCT} = 53715.51\, A$$

b) Para la falla en el punto $\mathbf{X^2}$, se debe considerar la impedancia del conductor 1/0 del punto de alimentación al centro de control de motores y cuyo valor es de acuerdo a la Tabla 2.4.1. (capítulo 2) de 0.0130 a 0.0160 ohms/100 m, en forma conservadora se puede tomar el menor valor del rango, es decir: Z_C = 0.0130 ohms/100 m, para una distancia de 40 m se tiene ahora:

$$Z_C = \frac{0.0130\, x\, 40}{100} = 0.0052\, ohms$$

La impedancia del sistema más la del conductor es ahora:

$$Z_R = Z_S + Z_C = 0.0024 + 0.0052 = 0.0076\, ohms$$

La corriente total de cortocircuito es:

$$I_{CCT} = \frac{V_S}{1.73\, Z_T} + I_{MCC}$$

$$I_{CCT} = \frac{200}{1.73 + 0.0076} + 729$$

$$I_{CCT} = 17461.58\, A$$

5.4.4 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS MAYORES

En el proyecto de una instalación eléctrica industrial, el problema de cálculo de la corriente de cortocircuito se pone en los siguientes términos:

- En un punto de la instalación se debe instalar lo que se debe seleccionar con una capacidad de interrupción igual o superior al valor de la corriente de cortocircuito en ese punto de la instalación.

- En las conexiones eléctricas realizadas con barras rígidas sobre aisladores, se debe verificar que la resistencia mecánica de los aisladores soporte sea suficiente para resistir los esfuerzos electrodinámicos sobre las barras, como consecuencia de las corrientes de cortocircuito.

- En las líneas de alimentación con cable aislado, se debe verificar que las solicitaciones (esfuerzos) térmicas, como consecuencia de la circulación de la corriente de cortocircuito, no produzcan sobre temperaturas peligrosas para la integridad del aislamiento.

- En el primer caso, se considera que la corriente de cortocircuito sensibiliza o acciona a un relevador de sobrecorriente para que éste dé la orden al mecanismo de apertura del interruptor. El circuito se abre después de un tiempo, que despende de las características mecánicas del interruptor mismo.

- En el tiempo de envío de señal del relevador y de apertura por parte del interruptor, la corriente de cortocircuito se atenúa, de manera que en realidad el interruptor interrumpe una corriente reducida, con este valor de corriente se determina la capacidad o potencia interruptiva del interruptor.

- En el caso de los esfuerzos electrodinámicos de las corrientes de cortocircuito, se debe calcular el llamado valor cresta del primer ciclo o primera alternación, que constituirá el valor máximo de la corriente de cortocircuito. De este valor de corriente depende el valor máximo de los esfuerzos electrodinámicos entre conductores.

El valor de la corriente de cortocircuito en su concepto más elemental, como se indicó en el párrafo 5.4.2, se calcula como:

$$I_{CC} = \frac{V}{Z}$$

DONDE:

V = Voltaje de la instalación en el punto de cortocircuito.
Z = Impedancia del circuito más allá del punto de cortocircuito.

CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA.

De lo que se ha expuesto en los párrafos anteriores, se observa que para el cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica se debe conocer la impedancia equivalente del circuito, más allá del punto donde se calcula el valor del cortocircuito.

Como se indicó antes, en el estudio de cortocircuito intervienen distintos elementos como son: el generador, la red de alimentación, los motores, conductores, etc., que en el estudio se deben representar por sus impedancias, que se deben combinar entre sí, en serie y en paralelo, calculada la impedancia característica por medio de la simple aplicación de la Ley de Ohm $I_{CC}=V/Z$, se calcula la corriente de cortocircuito.

En esta parte se indica cómo calcular la impedancia de cada uno de los elementos.

a) Impedancia de la red de alimentación (Compañía Suministradora).

La información relacionada con las características de la red de alimentación en el punto de alimentación a la industria, se debe obtener de la propia compañía suministradora (La Comisión Federal de Electricidad).

La característica de la red se proporciona normalmente al usuario como un valor de potencia de cortocircuito (PCC) expresada en MVA (1MVA = 1kVA x 1000), el valor de la corriente de cortocircuito se obtendrá por lo tanto como:

$$I_{CC} = \frac{P_{CC}}{\sqrt{3}\,x\,V}$$

El valor de la impedancia del sistema (red de alimentación), se obtiene como:

$$Z_S = \frac{V^2}{P_{CC}} \quad (ohms)$$

b) Generadores y motores síncronos.

Por lo general, en los generadores síncronos la impedancia está constituida principalmente por la reactancia, ya que la resistencia se puede despreciar sin cometer un error apreciable, la relación entre la resistencia y la reactancia en la mayor parte de los casos está entre 0.02 y 0.4.

Los valores de reactancia están por lo general expresados en porciento. Para obtener el valor en ohms de la reactancia por fase, se puede hacer uso de la fórmula:

$$X'_D = X'_D\ (\%)\ V_{N\%}^2/(P_N\ x\ 100) \quad ohms/fase$$

DONDE:

V_N = Tensión nominal del generador (kV).
P_N = Potencia nominal de generador (MVA).
X'_D = Reactancia transitoria del generador ohms/fase.
$X'_{D\ (\%)}$ = Reactancia transitoria del generador en porciento.

Para los motores síncronos se tienen las mismas consideraciones que para los generadores.

En la tabla siguiente, se dan algunos valores aproximados de reactancias en porciento, sobre la base de la capacidad en kVA nominales.

TABLA 5.1
VALORES DE REACTANCIAS SUBTRANSITORIAS DE GENERADORES A LA BASE DE LAS KVA NOMINALES, EXPRESADAS EN PORCIENTO

GENERADOR DE POLOS SALIENTES	12 POLOS O MENOS	X''d = 18%
CON DEVANADOS DE AMORTIGUAMIENTO	14 POLOS O MÁS	X''d = 24%
GENERADOR DE POLOS SALIENTES SIN DEVANADOS DE AMORTIGUAMIENTO	12 POLOS O MENOS	X''d = 25%
	14 POLOS O MÁS	X''d = 35%
GENERADOR DE ROTOR CILÍNDRICO	625-9375 KVA 2 POLOS	X''d= 9%
	1250 KVA Y MAYORES 2 POLOS	X''d = 10%
	12500 KVA Y MAYORES 4 POLOS	X''d = 14%

X''D = REACTANCIA SUBTRANSITORIA

TABLA 5.2
VALORES APROXIMADOS DE REACTANCIAS PARA MOTORES DE C.A. A LA BASE DE LOS KVA NOMINALES, EXPRESADAS EN PORCIENTO

GRANDES MOTORES SÍNCRONOS INDIVIDUALES	6 POLOS 8 A 14 POLOS	X''d = 10%, X'd = 15% X''d = 15%, X'd = 24%
GRUPO DE MOTORES SÍNCRONOS, 600 VOLTS O MENOS MAYORES DE 600 VOLTS		X''d = 25%, X'd =33% X"d = 15%, x'd = 25%
GRANDES MOTORES DE INDUCCIÓN INDIVIDUALES		X''d = 25%
GRUPOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN, 600 VOLTS O MENOS MAYORES DE 600 VOLTS		X''d = 25% X"d = 20%

c) Motores de inducción.

En el caso de los motores de inducción, se puede despreciar la resistencia, de manera que la impedancia se puede tomar como la reactancia, la relación resistencia a reactancia (R/X) es del orden de 0.05 a 0.07.

La acción de los motores de inducción durante el cortocircuito se amortigua rápidamente, tanto que el valor de la corriente de cortocircuito permanente se puede considerar como cero.

La reactancia de cortocircuito de un motor de inducción se puede calcular de acuerdo con la fórmula:

$$X_M = \frac{V_N}{3\ x\ I_A} \quad también\ X_M\ \% = \frac{100\ I_N}{I_A}$$

DONDE:

$\mathbf{I_N}$ = Corriente nominal.
$\mathbf{X_M}$ = Reactancia subtransitoria (el mismo valor para la transitoria) del motor en (ohms/fase).
$\mathbf{V_N}$ = Voltaje nominal del motor de inducción.
$\mathbf{I_A}$ = Corriente de arranque del motor.

Normalmente para los motores en baja tensión la corriente de arranque se toma como de 4 a 7 veces la corriente nominal, los valores mayores se toman para los motores más pequeños.

En la Tabla 5.11 se dan los valores de reactancia para motores de inducción expresados en porciento a su base de potencia nominal.

d) Transformadores.

La impedancia de los transformadores se puede calcular considerando resistencia y reactancia, ya que no siempre en la práctica se puede despreciar la resistencia respecto a la reactancia. Esto es válido para transformadores con impedancias mayores del 6%. Los valores de resistencia y reactancia se pueden calcular de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$R_T = R_R \; x \; V_N^2/(100\, P_N)$$
$$X_T = X_S \; x \; V_N^2/(100\, P_N)$$

DONDE:

R_T = Resistencia equivalente de cortocircuito del transformador en ohms/fase.
X_T = Reactancia equivalente de cortocircuito del transformador en ohms/fase.
N_R = Porciento de caída de tensión por resistencia (resistencia en por ciento)
N_S = Porciento de caída de tensión por reactancia (reactancia en porciento).
$Z\%\ N_R^2 + N_S^2$ Caída de tensión por impedancia. (Impedancia en porciento).
V_N = Tensión nominal del transformador en kV.
P_N =Potencia nominal del transformador los valores típicos de impedancia de transformadores expresadas en porciento se dan en la tabla 5.III.

TABLA 5.3
VALORES DE IMPEDANCIAS DE TRANSFORMADORES EXPRESADAS EN PORCIENTO A LA BASE DE SU POTENCIA NOMINAL

TRIFÁSICOS CON TENSIÓN PRIMARIA DE 13.8 KV O MENOR Y TENSIÓN SECUNDARIA DE 600 VOLTS O MENOR		
DE 300 A 500 KVA		Z = 5 %
DE 750 A 2500 KVA		Z = 5.5 %
TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN		
POTENCIA EN KVA	**5 KVA O MENOS**	**5.1 A 15 KV**
3 A 5	Z = 2 %	Z = 2.3%
10 A 15	Z = 2 %	Z = 2.0 %
22 A 50	Z = 2.5 %	Z = 2.4 %
75 A 167	Z = 3.3 %	Z = 3.7 %
250 A 500	Z = 4.7 %	Z = 5.1 %

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS CON VOLTAJE SECUNDARIO MAYOR DE 2.4 KV Y POTENCIA MAYOR DE 500 KVA	
VOLTAJE PRIMARIO	
11 - 23 KV	Z = 5.5 %
34.5 KV	Z = 6.0 %
46 KV	Z = 6.5 %
69 KV	Z = 7.0 %
TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS CON VOLTAJE SECUNDARIO MAYOR DE 2.4 KV Y POTENCIA MAYOR DE 500 KVA	
VOLTAJE PRIMARIO	
2.2 A 2.5 KV	Z = 5.5 %
25.1 A 34.5 KV	Z = 6.0 %
34.6 A 46.0 KV	Z = 6.5 %
46.1 A 69.0 KV	Z = 7.0 %

e) Cables de potencia.

Los valores de resistencia y reactancia de los distintos tipos de cables se pueden obtener de los catálogos de los diferentes fabricantes, en este caso, a diferencia de las líneas aéreas conductores desnudos, la resistencia no se puede despreciar debido a que su valor es prevalente sobre la reactancia, para el cálculo de la impedancia.

La resistencia depende del material y de la sección de los conductores, y se calcula como:

$$R = \frac{\mathrm{P}\ell}{S}$$

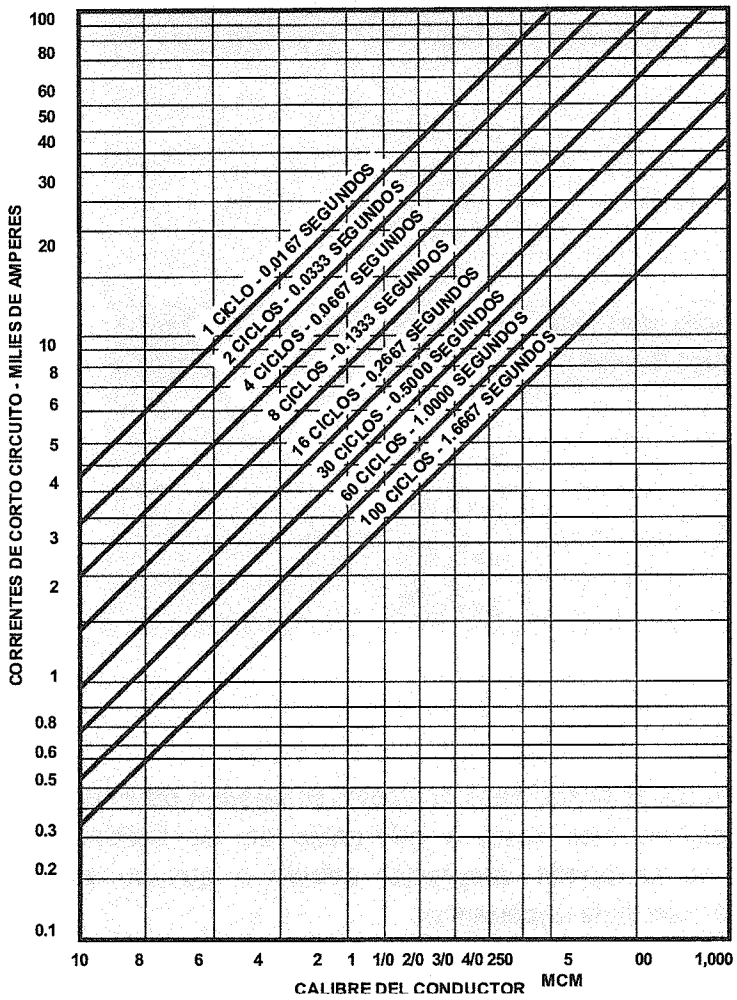
DONDE:

R = Resistencia del cable en ohms/fase.
P = Resistividad del material conductor en ohms mm^2/km.
S = Sección del conductor en mm^2

En el caso de los cables unipolares, la reactancia depende del espesor del aislamiento, de la presencia de armadura metálica y del sistema de instalación:

$$X = wL - (1/WC)$$

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES CON AISLAMIENTO A 90°C Y CONDUCTOR DE COBRE



CONDUCTOR DE COBRE
AISLAMIENTO TERMO PLÁSTICO (PVC)

CURVAS BASADAS SOBRE LA SIGUIENTE FÓRMULA :

$$\left[\frac{I}{A}\right] t = 0.0297 \log. \left[\frac{T_1 + 234}{T_2 + 234}\right]$$

DONDE :

I = CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO AMPERES
A = ÁREA DEL CONDUCTOR CIRCULAR MILÍMETROS
t = TIEMPO DE CORTO CIRCUITO - SEGUNDOS
T_1 = TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN - 90 °C
T_2 = TEMPERATURA MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO - 150 °C

DONDE:

X = Reactancia del cable en ohms/fase.
W = 2 x πx F = Frecuencia del sistema en Hertz (60 en México).
L = Inductancia en Henry.
C = Capacitancia en Farads.

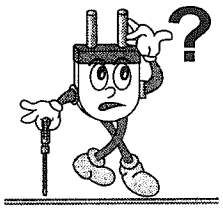
En la mayoría de los casos, la reactancia capacitiva es despreciable para los estudios de cortocircuito.

En una primera aproximación, y a reserva de obtener los valores de reactancia de tablas de características de cables, se puede tomar una reactancia de:

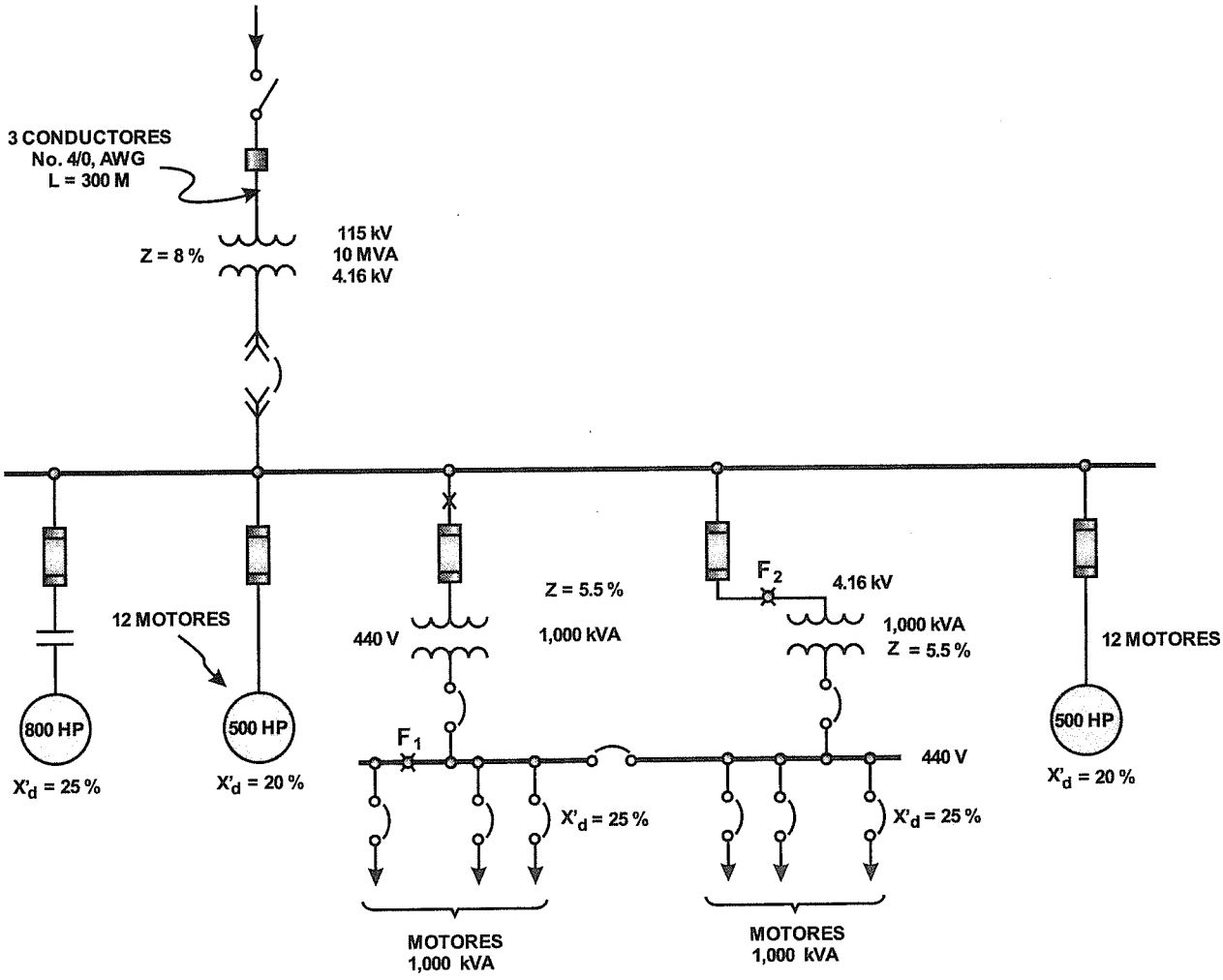
$$x = 0.1\ ohms/km$$

EJEMPLO DE CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO.

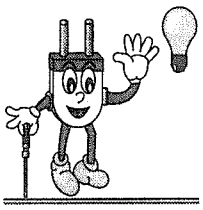
Un ejemplo numérico de cálculo de cortocircuito para una instalación industrial de medio y bajo voltaje, se puede usar para ilustrar el procedimiento en estos casos.



EJEMPLO 5.3 El diagrama unifilar de la instalación de una planta industrial que está alimentada por dos líneas de 115 kV con sus respectivos interruptores en aceite de 10 MVA de capacidad interruptiva y transformadores de 115/4.16 kV. Calcular las fallas en los puntos indicados. Si la capacidad de cortocircuito del sistema es de 4500 MVA:



Los centros de control de motores 1 y 2 agrupan motores trifásicos de inducción a 440 volts con una potencia global de 1000 KVA cada uno.



SOLUCIÓN Tomando como potencia base o de referencia, la capacidad interruptiva de los interruptores de cada línea de alimentación a 115 kV.

$$P\ base = 10{,}000\ KVA$$

Cálculo de los valores de reactancias para cada uno de los elementos.

Por la red de alimentación:

$$X_S = \frac{V^2}{P_{CC}};\ Z_S = \frac{(115)^2}{450000} = 0.00294\ ohms$$

Para los conductores (cables de 300 m de longitud), con conductor No. 4/0 AWG de la Tabla 2.4.1, se puede tomar un valor de reactancia de 0.010 ohms/100 m.

$$X_L = \frac{0.010}{100}\ X\ 300 = 0.03\ ohms$$

Para los transformadores de 20 MVA a 115/4.16 kV, con:

$$Z = 8\%\ ;\quad Z_T = \frac{8\ x\ (115)^2\ x\ 1000}{100\ x\ 10\ 000} = 105.8\ ohms$$

Para los motores de inducción de 800 HP, se puede considerar sin mucho error 800 HP = 800 kVA.

$$X'_D = \frac{25\ x\ (4.161)^2\ x\ 1000}{100\ x\ 800} = 5.408\ ohms$$

Para los motores de 500 HP, se puede hacer también 500 HP = 500 KVA.

$$X'_D = \frac{20\ x\ (4.16)^2\ x\ 1000}{100\ x\ 500} = 6.92\ ohms$$

Para los transformadores de 1000 KVA, $(4.16/0.44)^2$

Con Z = 5.5%

$$Z_T = \frac{Z\%\ V_N^2\ x\ 1000}{100\ x\ KVA_N} = \frac{5.5\ x\ (0.44)^2\ x\ 1000}{100\ x\ 1000}$$

$$Z_T = 0.0106\ ohms$$

Para los motores de inducción agrupados en los centros de control de motores 1 y 2, que operan a 440 volts con una potencia nominal de 1000 KVA:

$$X'_D = \frac{25\ (0.44)^2\ x\ 1000}{100\ x\ 1000} = 0.048\ ohms$$

Refiriendo las reactancias de los motores a 4.16 kV a la base de 0.44 kV.

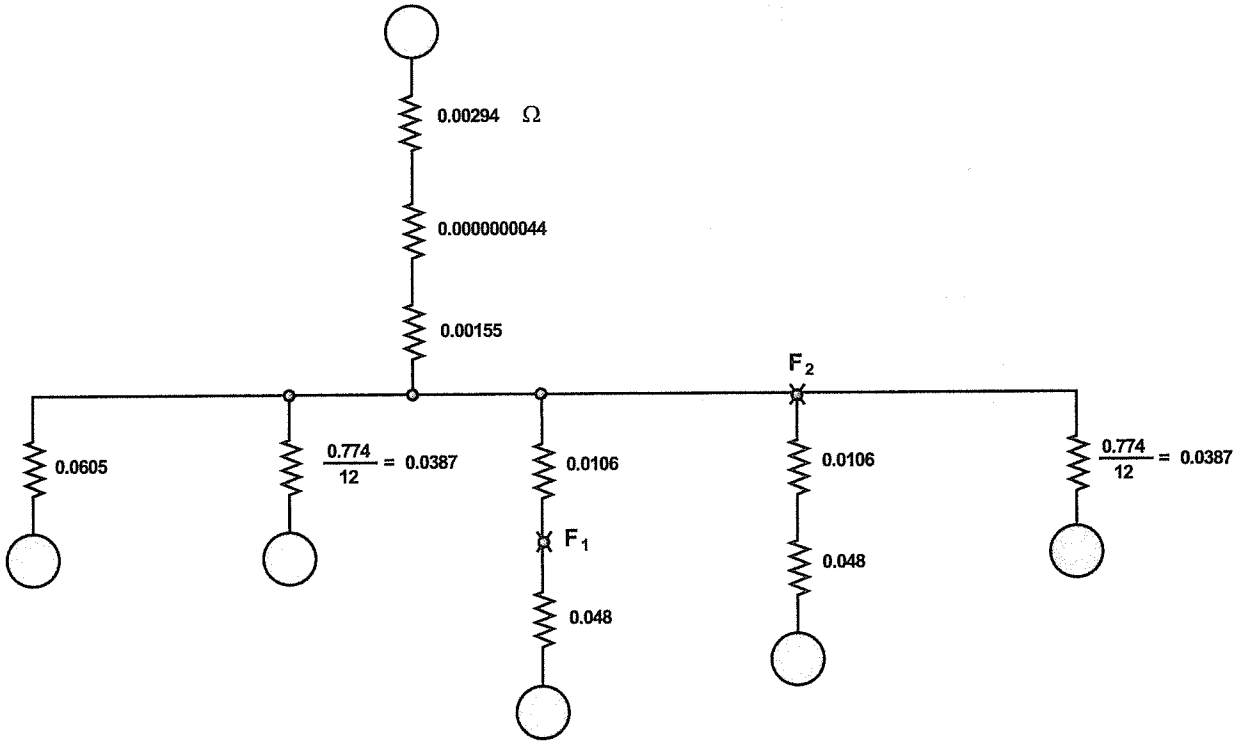
Para los motores de 400 HP:

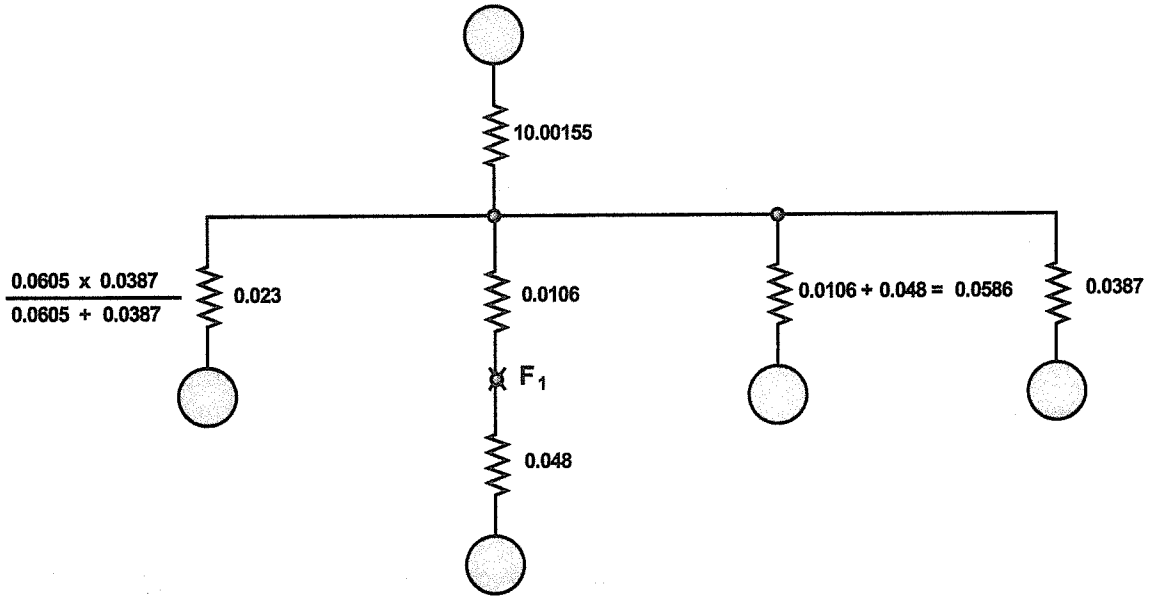
$$X'_D = 6.92\ \frac{(0.44)^2}{4.16} = 0.0774\ ohms$$

Para el motor de 800 HP:

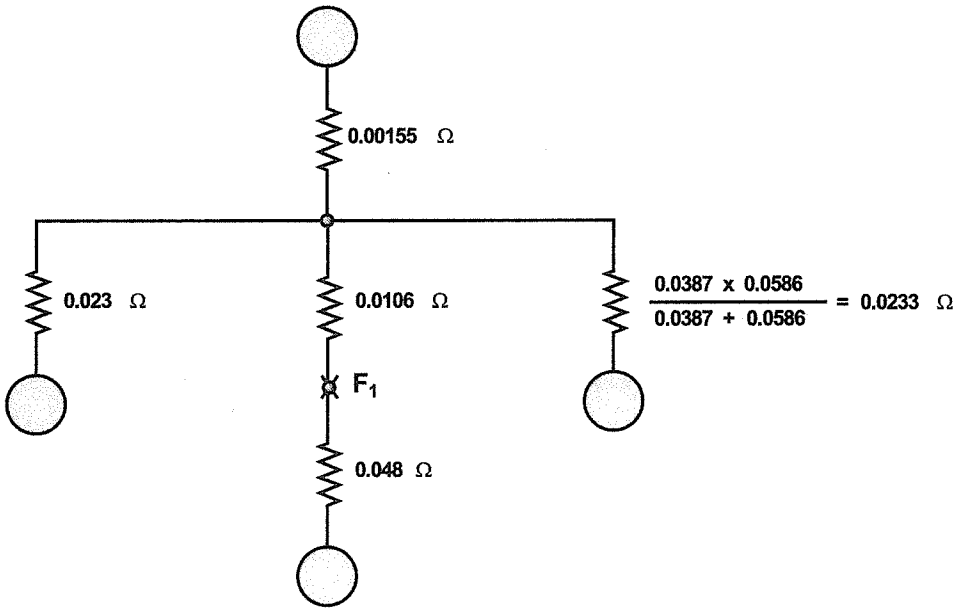
$$X'_D = 5.408\ x\ \frac{(0.44)^2}{4.16} = 0.0605\ ohms$$

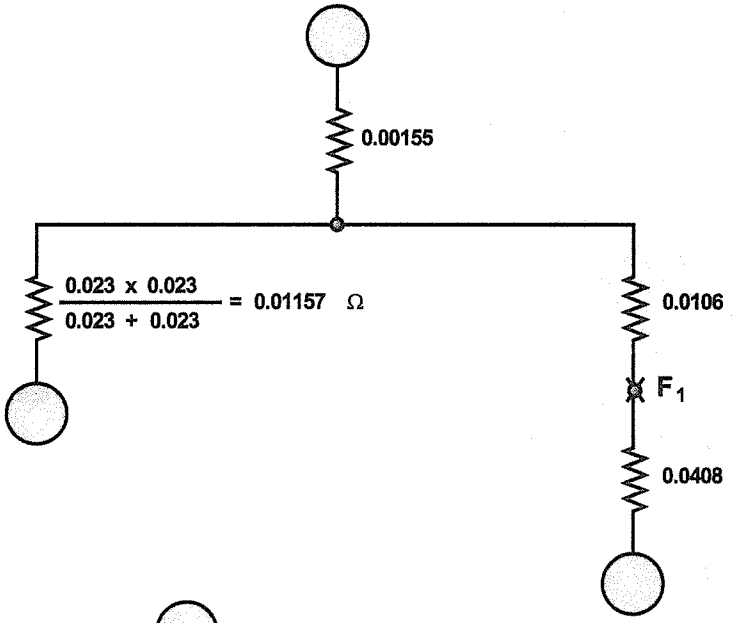
El diagrama de reactancia se forma sustituyendo cada elemento por su correspondiente reactancia y refiriendo a 0.44 kV los valores de la red, transformador y cable de potencia.

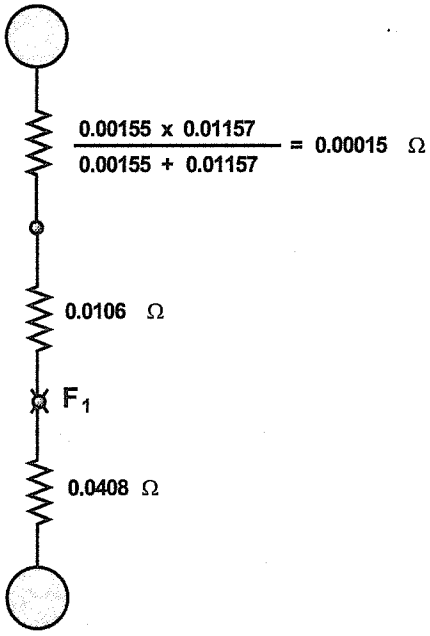


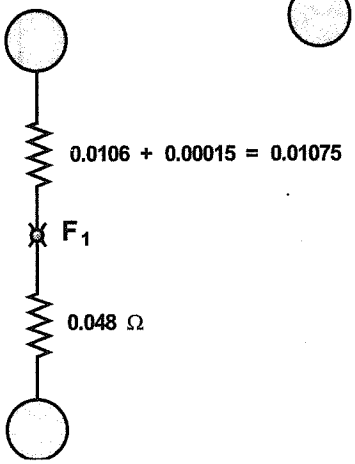


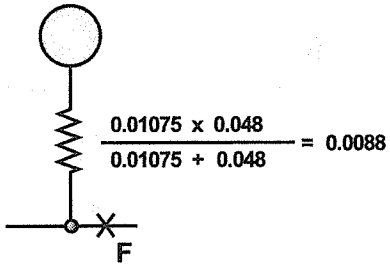
REDUCCIÓN AL PUNTO 1 DE FALLA




0.00155
0.023 x 0.023
0.023 + 0.023
= 0.01157 Ω
0.0106
F1
0.0408

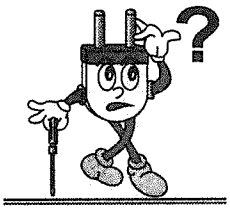

0.00155 x 0.01157
0.00155 + 0.01157
= 0.00015 Ω
0.0106 Ω
F1
0.0408 Ω


0.0106 + 0.00015 = 0.01075
F1
0.048 Ω

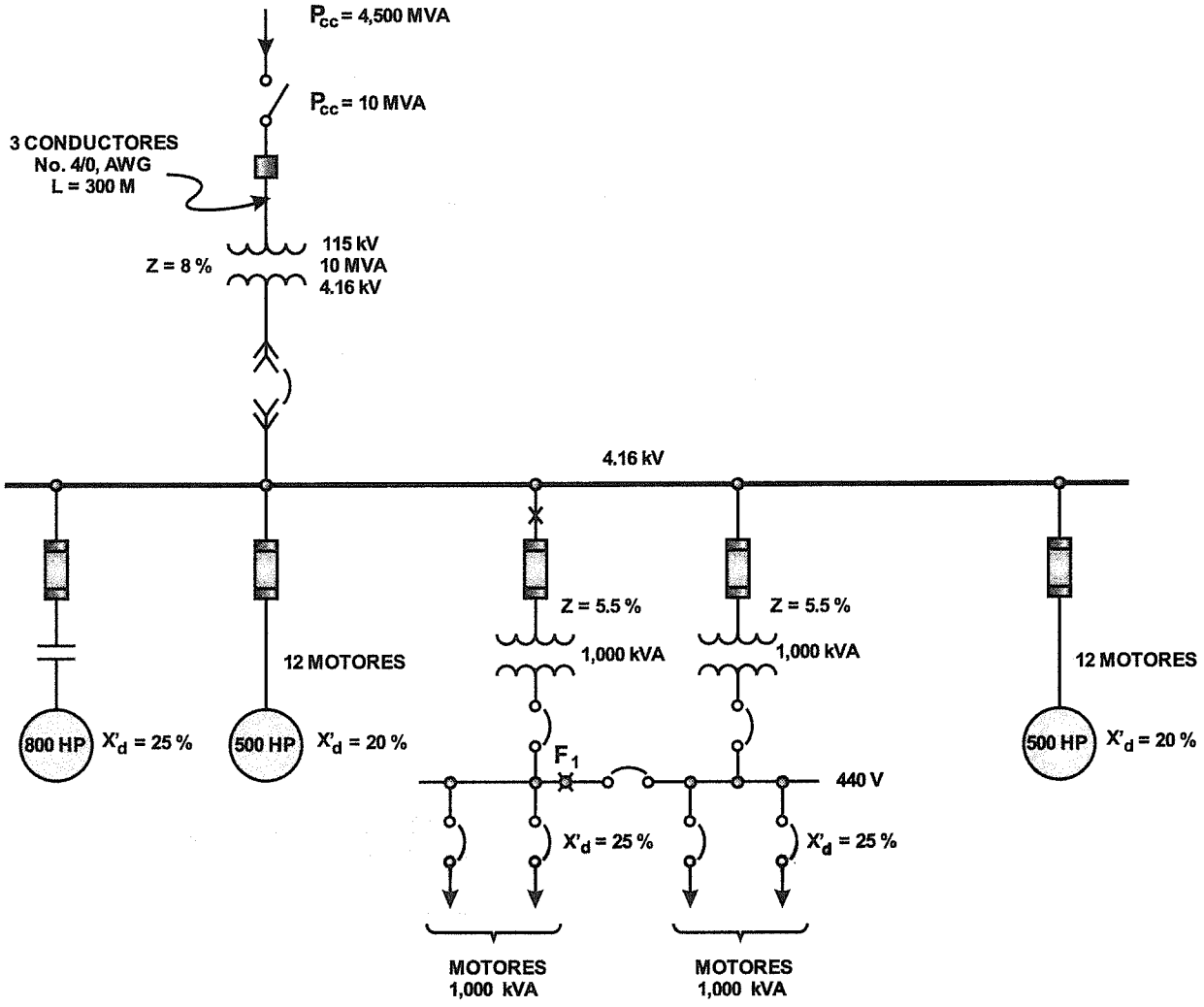

0.01075 x 0.048
0.01075 + 0.048
= 0.0088
F

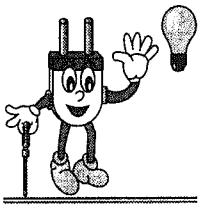
La corriente de cortocircuito, es entonces:

$$I_{CC} = \frac{kV}{\sqrt{3}\ .\ X_{TOT}} = \frac{0.44}{1.732\ x\ 0.0088} = 28.85\ kA$$



EJEMPLO 5.4 Resolver el cortocircuito para el ejemplo anterior, pero representado ahora las cantidades por unidad.





SOLUCIÓN Para resolver un problema de cortocircuito usando cantidades en por unidad en lugar de cantidades en ohms, como en el ejemplo anterior, ahora se usarán las fórmulas siguientes:

$$Reactancia\ en\ por\ unidad = \frac{Reactancia\ en\ porciento}{100}$$

$$Reactancia\ en\ por\ unidad = \frac{Ohms\ x\ kVa\ base}{1000\ x\ kV^2}$$

$$Reactancia\ en\ por\ unidad = Reactancia\ en\ por\ unidad\ x\ \frac{kVA\ base}{kVA\ nom}$$

$$Reactancia\ en\ por\ unidad = \frac{kVA\ base}{Potencia\ de\ cortocircuto\ en\ la\ alimentacion}$$

Usando estas fórmulas, se tienen los siguientes valores a la base de 10.000 kVA.

Reactancia de alimentación:

$$X_S = \frac{kVA\ base}{kVA\ cortocircuito} = \frac{10000}{4500000} = 0.0022\ por\ unidad$$

Transformador principal de 10 MVA. 115 / 4.16 kV, 8%:

$$X_T = \frac{8}{100}\frac{(10{,}000)}{10{,}000} = 0.08\ por\ unidad$$

Cable de potencia de 300 m de longitud No. 4/0 AWG de Tabla 2.4.1, la reactancia es 0.010 ohms/100 metros para 300 m de longitud es 0.010 x 3 = 0.03 ohms.

Expresando el valor en por unidad.

$$X_L = \frac{0.03\ x\ 10{,}000}{1000\ x\ (115)^2} = 0.000022\ por\ unidad$$

Para los transformadores de 1000 kVA que alimentan a los centros de control de motores de 4.16/0.440 kV.

$$Z = \frac{5.5}{100}\ x\ \frac{10{,}000}{1{,}000} = 0.55\ por\ unidad$$

Para cada uno de los motores de inducción de 500 HP a 4.16 kV con X'_D = 20%

$$X_M = \frac{20}{100}\ x\ \frac{10{,}000}{500} = 4\ por\ unidad$$

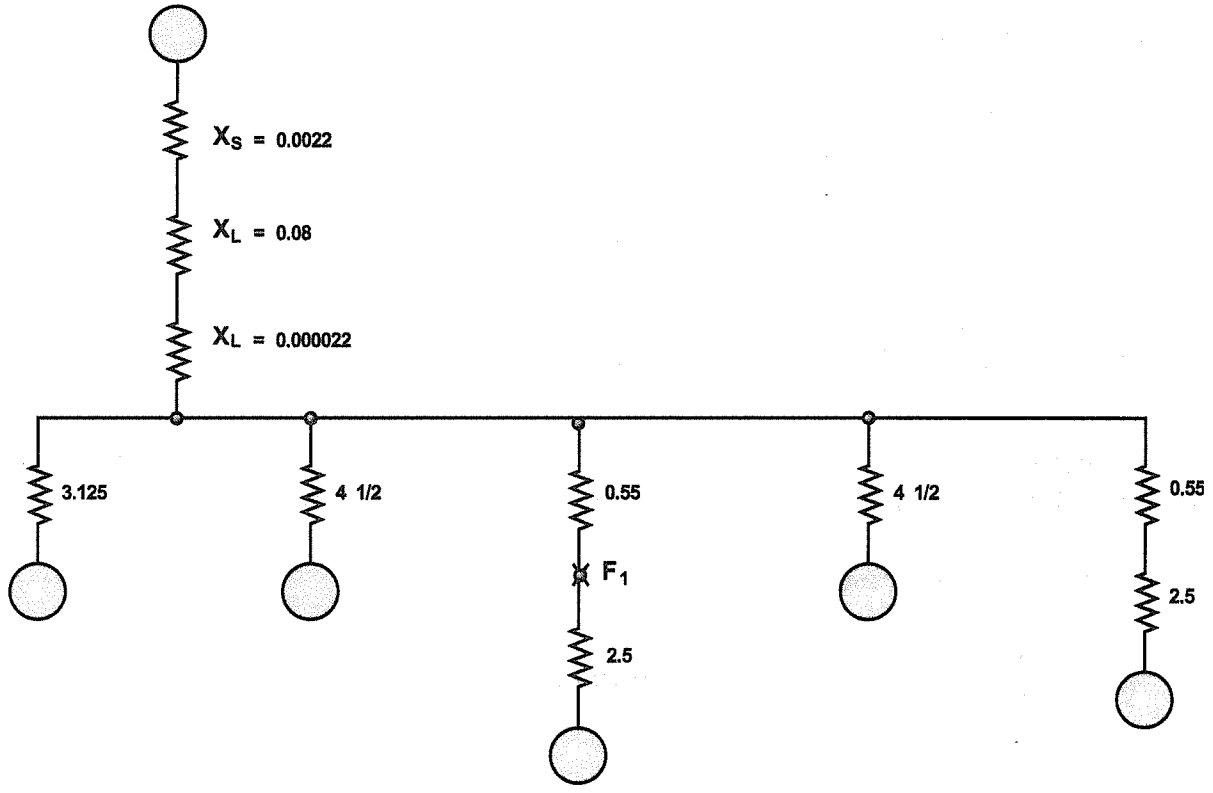
Para el motor de 800 HP a 4.16 kV con X'_D = 25%

$$X_M = \frac{25}{100}\ x\ \frac{10{,}000}{800} = 3.125\ por\ unidad$$

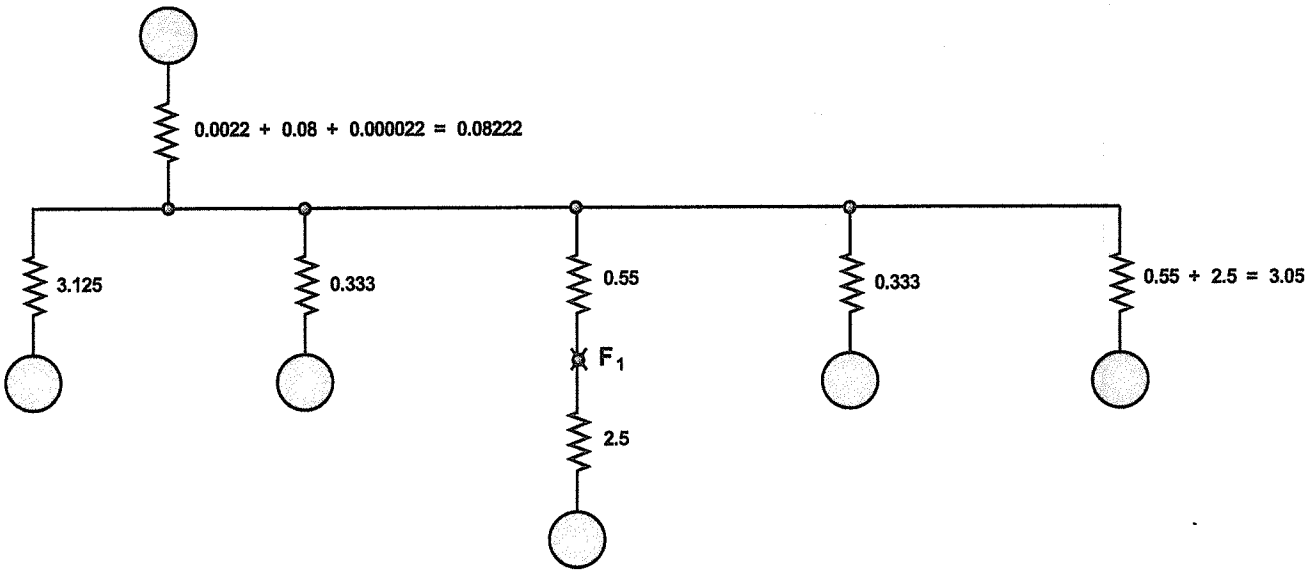
Para cada uno de los centros de control de motores con cargas agrupadas en 1000 kVA y X'_D 25%

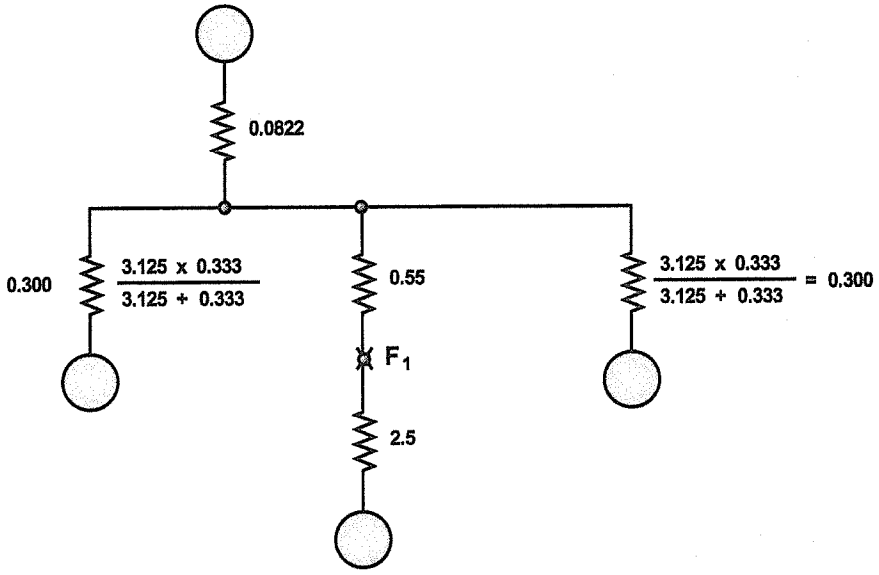
$$X_{CCM} = \frac{25}{100}\ x\ \frac{10{,}000}{1{,}000} = 2.5\ por\ unidad$$

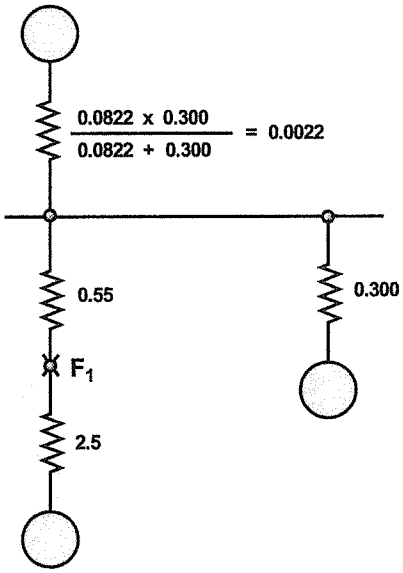
El diagrama de reactancias es ahora el siguiente:

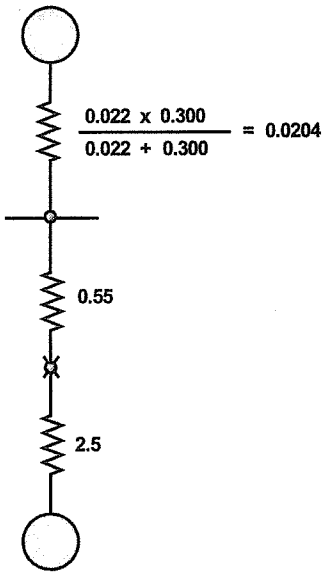


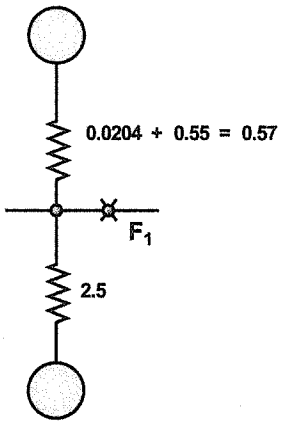
La reducción, se indica a continuación:

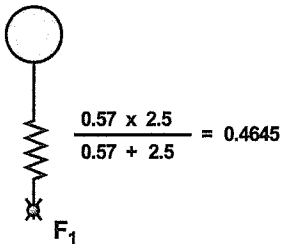










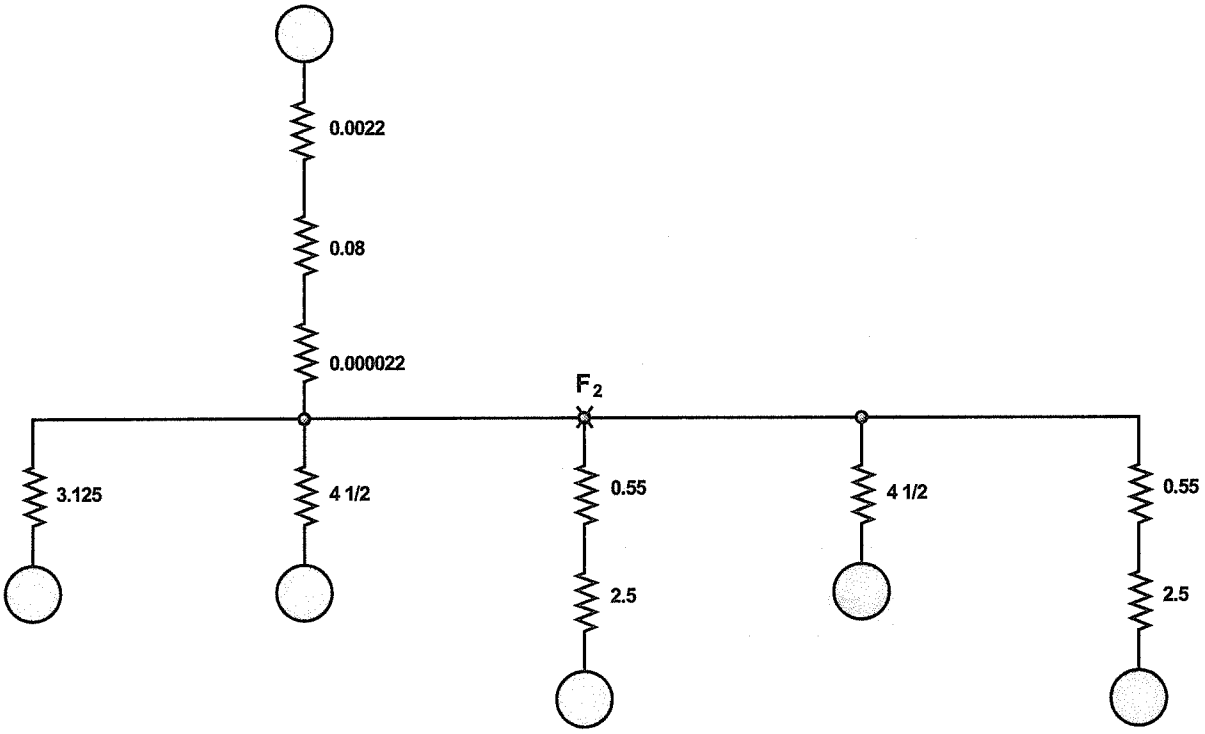


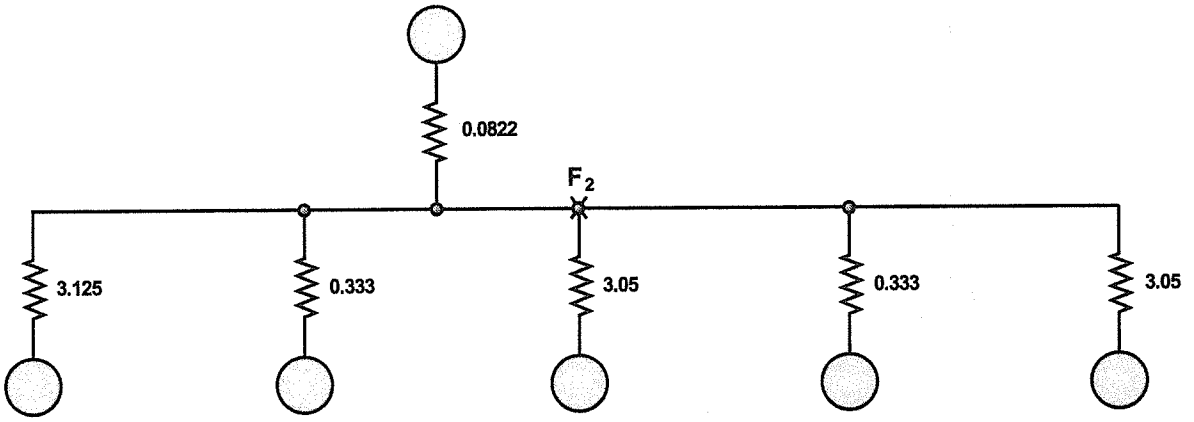
La corriente de cortocircuito, es ahora:

$$I_{CC} = \frac{kVA\ base}{1.732\ kV\ X_T} = \frac{10{,}000}{1.732\ x\ 0.44\ x\ 0.4645}$$

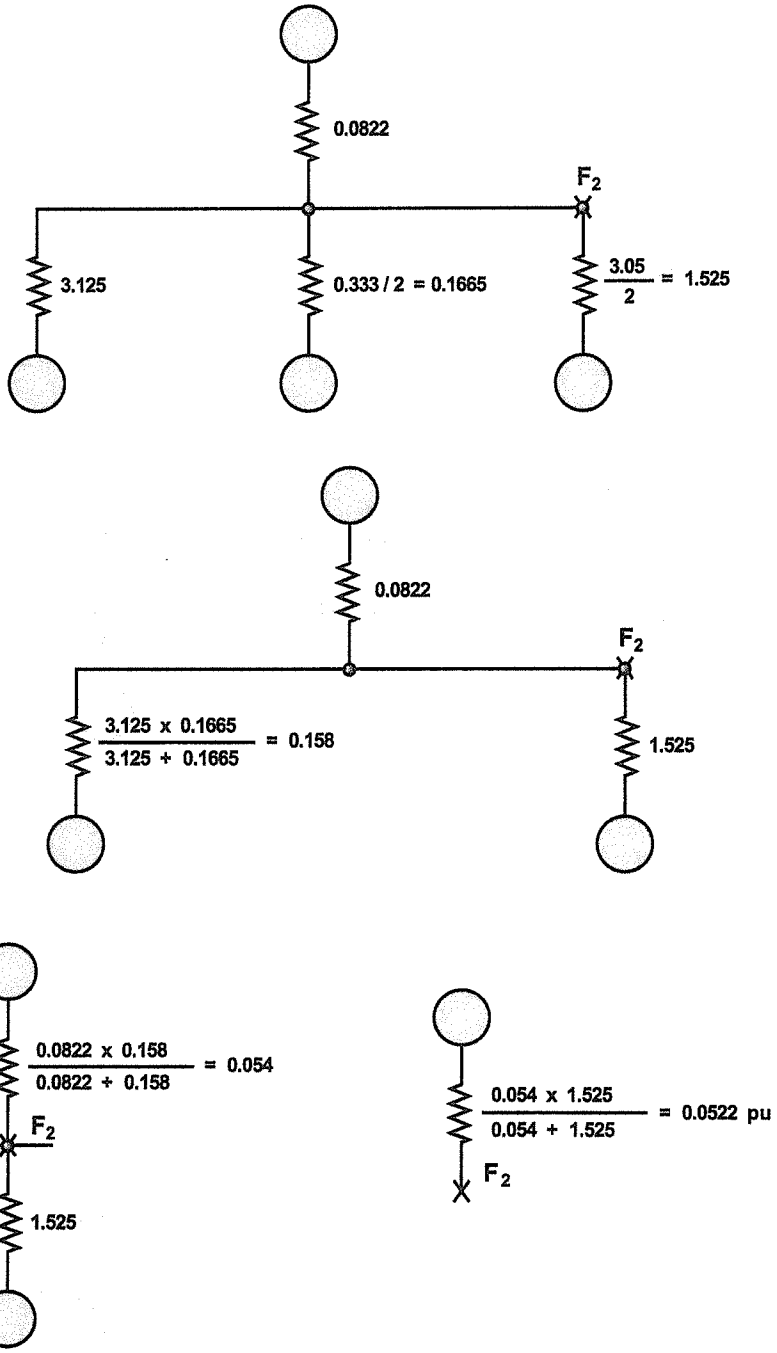
$$I_{CC} = 28248\ amperes$$

Para la falla indicada con F_2 en el primario del transformador que alimenta al centro de control de motores No. 1, el diagrama de reactancias es el mostrado en la figura:





La correspondiente reducción para esta falla, se indica a continuación:



La corriente de cortocircuito para la falla F_2, es:

$$I_{CC} = \frac{kVA\ base}{1.732\ x\ kV\ x\ X_{TOT}} = \frac{10{,}000}{1.732\ x\ 4.16\ x\ 0.0522} = 26587\ Amperes$$

5.4.5 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN PARA LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.

Una de las exigencias fundamentales de los circuitos eléctricos en cualquier tipo de instalación es la de interrumpir la continuidad eléctrica del circuito, con un elemento puede adoptar aspecto y características diferentes, según sea el tamaño y tipo de instalación.

En general, se debe establecer una distinción entre seccionar (desconectar) e interrumpir un circuito, a estas dos operaciones les corresponde dos tipos de aparatos distintos.

SECCIONAR: (Desconectar) un circuito significa, por lo general, abrirlo cuando no circula corriente por el mismo.

INTERRUMPIR: Un circuito significa abrir el mismo cuando circula corriente.

En otras palabras, se dice que un seccionador o cuchilla desconectadora está diseñada para abrir circuitos cuando se encuentran en vacío, mientras que los interruptores son aparatos diseñados para abrir un circuito con carga.

5.4.5.1 CUCHILLAS DESCONECTADORAS.

Una cuchilla desconectadora debe garantizar cuando está cerrada una buena continuidad del circuito, con resistencia de contacto muy pequeña para no introducir calentamientos anormales en las partes que constituyen el contacto propiamente. Cuando las cuchillas desconectadoras están abiertas, deben garantizar la perfecta apertura del circuito con el adecuado aislamiento entre las dos partes del circuito que permanecen separadas. La parte mecánica del medio de accionamiento, cuando debe asegurar un buen funcionamiento y seguridad en las maniobras.

En el campo de la distribución a baja tensión, las cuchillas desconectadoras son poco usadas, mientras que en el campo de la media tensión son bastante empleadas y, por lo general, acompañadas de fusibles que cumplen con la función de protección. También existen los llamados seccionadores bajo carga con fusible en serie.

5.4.5.2 INTERRUPTORES

La interrupción de un circuito por el que circula corriente presenta problemas muy importantes y complejos que no se tratarán en esta parte, ya que el objetivo es dar un panorama general de la función de los interruptores y los criterios de utilización, por lo que se abordarán algunas consideraciones generales sobre los fenómenos relacionados con la interrupción de un circuito y los medios empleados para la extinción del arco eléctrico, con particular énfasis a los interruptores empleados en las instalaciones industriales.

Los principales fenómenos que se presentan cuando un interruptor abre un circuito por el que circula corriente son los siguientes:

Calentamiento elevado: De los materiales que constituyen los contactos del interruptor durante la operación de levantamiento de la presión de un contacto sobre el otro, al inicio de la operación de apertura, en este caso los dos contactos que estaban unidos uno contra el otro cuando el interruptor estaba cerrado, disminuyen la presión entre ellos y comienza a alejarse. En forma simultánea a este hecho, aumenta la resistencia de contacto en forma gradual, de manera que se produce por efecto Joule un calentamiento excesivo en la extremidad de los contactos mismos. El calentamiento puede ser algunas veces tan intenso que produce la fusión o la vaporización de los materiales que están fabricados los contactos.

Emisión de electrones: De parte de los materiales que constituyen los contactos en la zona que se presenta súbitamente, un intenso calentamiento y la ionización del medio cuando los dos contactos se alejan. Si en la atmósfera comprendida entre las dos partes del contacto la tensión es suficientemente elevada, se presenta un arco eléctrico, el cual mantiene entre las dos partes del contacto la continuidad eléctrica, que no es más segura que la continuidad metálica que existe cuando el interruptor está cerrado.

El arco eléctrico desarrolla también una gran cantidad de calor y mantiene e incrementa la ionización de la atmósfera en la zona de los contactos.

De la descripción hecha anteriormente, se entiende la interrupción de un circuito y la relativa extinción del arco eléctrico que se produce, así como de los medios usados para éstos al corte de la corriente de falla, sin que se produzcan daños en los contactos o en el interior del interruptor.

En general, para interrumpir un circuito por el que circula una corriente muy elevada, se acostumbra multiplicar el número de contactos en paralelo y distribuir la interrupción sobre todos los contactos en serie entre sí, de manera que la tensión del arco se distribuya entre más contactos.

Los medios que se emplean para obtener estos resultados son los siguientes:

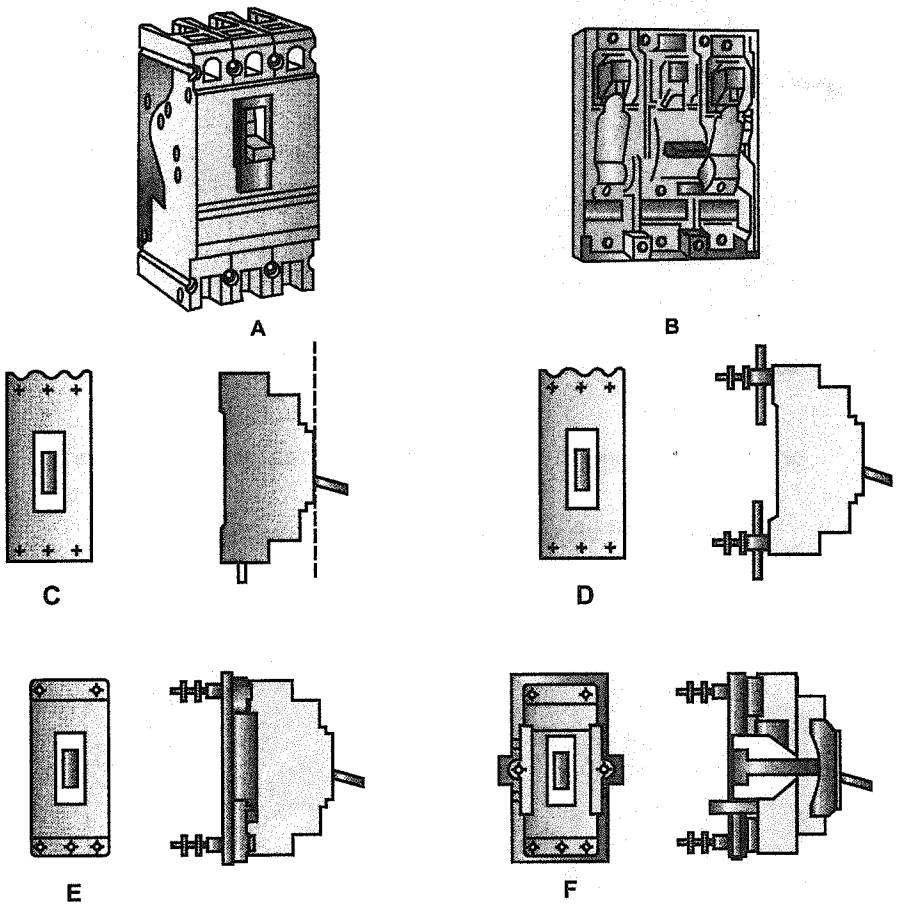
- Aplicación sobre la parte móvil del contacto que abandonará o se separa el contacto fijo, de una fuerza muy elevada, con el objeto de que la velocidad de la parte móvil del interruptor sea muy elevada y, entonces, el arco permanezca por un tiempo muy breve y se extinga rápidamente.

- Creación en la zona donde se forma el arco de un campo magnético creado por la corriente que circula por los conductores y que "sopla" el arco y lo fracciona, de manera tal que lo extingue.

- Enfriamiento de la zona en la cual se manifiesta el arco y que se atraviesa por un material de elevada rigidez dieléctrica y elevado poder de refrigeración (este material puede ser aceite).

- Interrupción del circuito en el interior de un medio que tiene una rigidez dieléctrica muy elevada, de manera que se opone a la formación del arco y facilitar su rápida extinción. Para este propósito se emplea aire comprimido, aceite, o bien hexafloruro de azufre.

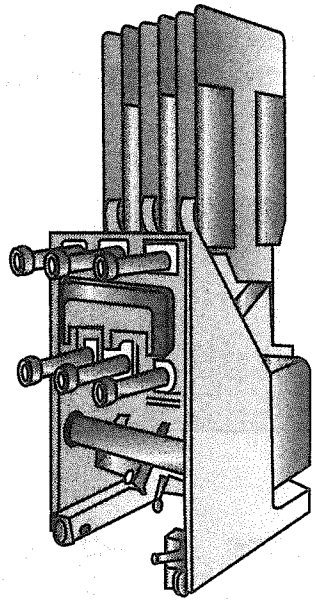
En el campo de la baja tensión, la mayor parte de los interruptores son en aire y dentro de esta categoría caen los denominados interruptores termomagnéticos, cuyo montaje se hace por lo general en tableros y con distintas características constructivas, como se muestra en la siguiente figura:



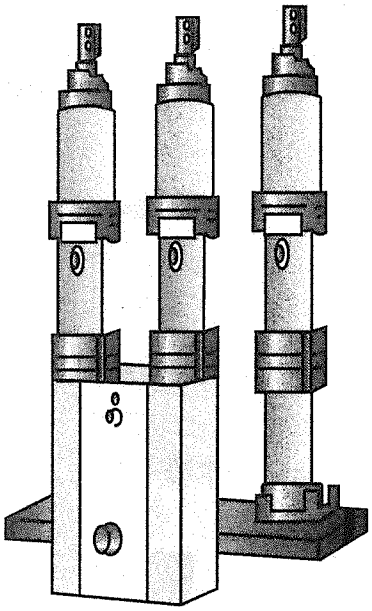
INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS EN AIRE PARA BAJA TENSIÓN

De la figura anterior:

a) Vista del interruptor.
b) Vista del interruptor sin cubierta.
c) Colocación del interruptor con inserción delantera.
d) Colocación del interruptor con inserción posterior.
e) Montaje con fijación posterior (a presión).
f) Interruptor con sistema de extracción desplegable.



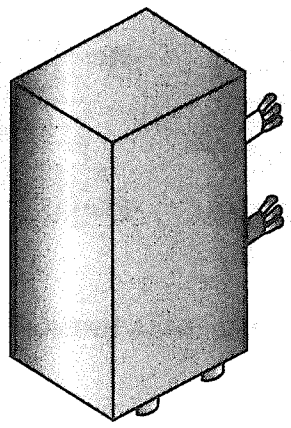
INTERRUPTOR EN AIRE

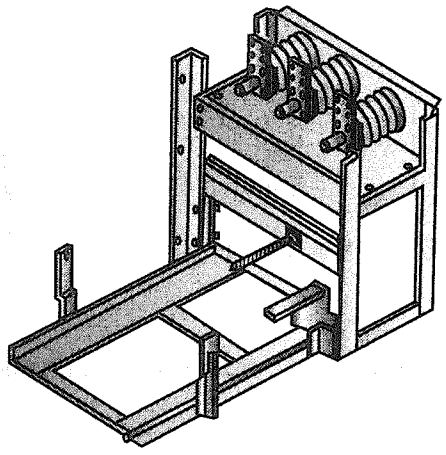


INTERRUPTOR EN PEQUEÑO VOLUMEN

INTERRUPTOR AUTOMÁTICOS PARA MEDIA TENSIÓN

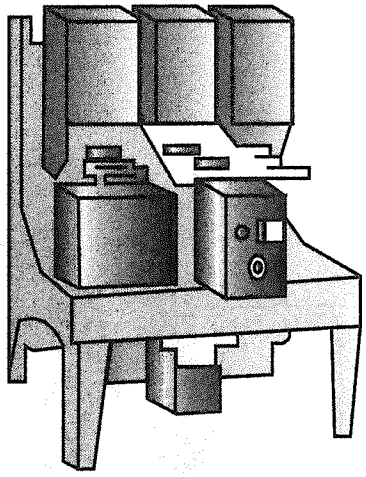
INTERRUPTOR



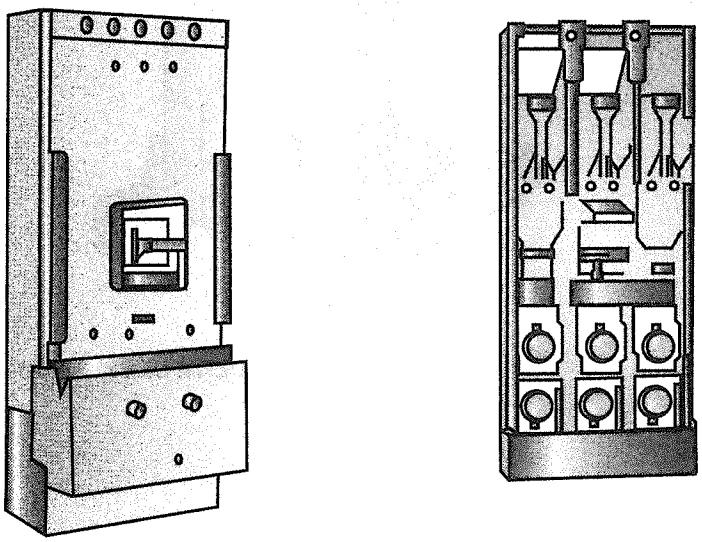


MECANISMO DE INTERRUPTOR ENCHUFABLE

Para obtener capacidades interruptivas más elevadas, se puede incluir en el propio interruptor fusibles de alta capacidad interruptiva; de manera que se puedan interrumpir corrientes de hasta 100 kA.

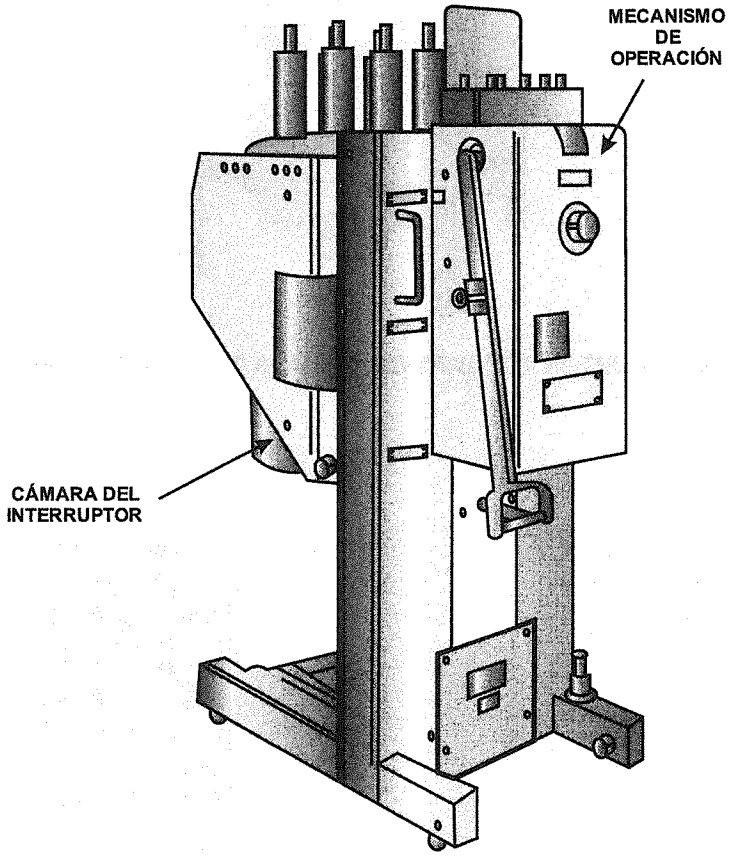


INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE BAJA TENSIÓN EN AIRE

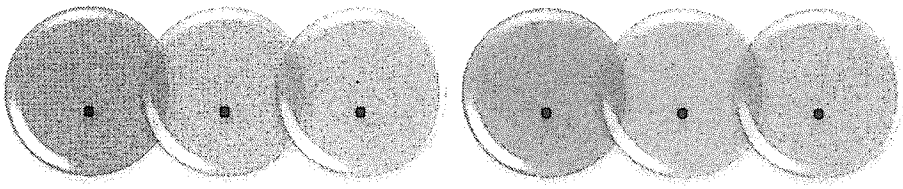


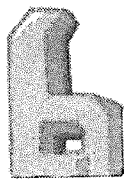
INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE BAJA TENSIÓN EN AIRE CON LIMITADOR DE CORRIENTE POR FUSIBLE INCORPORADO

En el campo de la media tensión, los interruptores más usados son los llamados **"INTERRUPTORES CON AIRE"**, con deionización magnética del arco, y también los interruptores en pequeño volumen de aceite. Más recientemente, se han incorporado los llamados **"INTERRUPTORES EN VACÍO"**



INTERRUPTOR EN ACEITE DESPLAZABLE

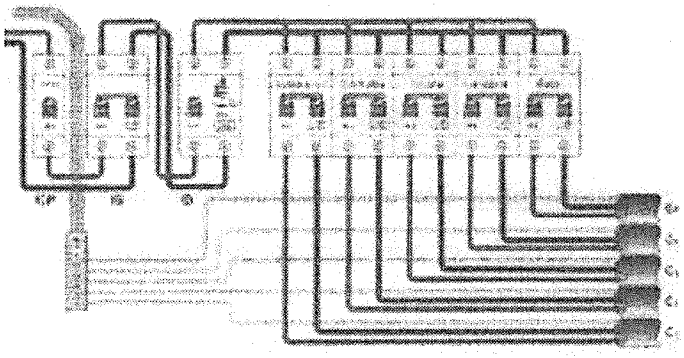




FUNDAMENTOS DE TABLEROS ELÉCTRICOS

FUNDAMENTOS DE TABLEROS ELÉCTRICOS

6



6.1 INTRODUCCIÓN

El término tablero es aplicable tanto a los llamados de pared, como a los tableros de piso, para los propósitos prácticos, ambos sirven para la misma función: ***recibir la energía eléctrica en forma concentrada y distribuirla por medio de conductores eléctricos***, por lo general, barras a las cargas de los circuitos derivados.

Los circuitos derivados se protegen individualmente de sobrecorrientes y cortocircuito por medio de fusibles o interruptores termomagnéticos montados en tableros, algunas veces juntos con los instrumentos de medición, tales como: vóltmetros, ampérmetros, medidores de demanda, etc.

Los tableros de pared y de piso difieren únicamente en su accesibilidad, los de pared como su nombre lo indica están diseñados para ser montados en pared o columna, de manera que son accesibles por el frente únicamente. Los tableros de piso están diseñados para ser instalados para montarse retirados de las paredes, de manera tal que son accesibles por el frente o por la parte trasera, necesitan entonces espacio libre para circulación, sujeción al piso y eventualmente bases de montaje especiales.

6.2 TABLEROS DE MANIOBRA, CONTROL Y DISTRIBUCIÓN

Por razones de operación y mantenimiento, se impone la necesidad de que cada usuario o grupo de usuarios, o simplemente parte de una instalación eléctrica, sea seccionable del conjunto del sistema eléctrico. El conjunto de los órganos o elementos que cumplen con estas funciones son los aparatos eléctricos, y debido a que éstos tienen siempre partes en tensión, se deben instalar en condiciones tales que impidan los contactos accidentales de las personas.

El sistema más empleado para encerrar los aparatos eléctricos en el campo de la baja y media tensión, es el montarlos dentro de tableros cerrados realizados con perfiles y láminas metálicas.

La técnica de realización de los tableros eléctricos ha evolucionado notablemente en los últimos tiempos, y se han desarrollado categorías de tableros eléctricos con características bien precisas, de las cuales las más importantes son:

- **Construcciones modulares:** Con dimensiones normalizadas.
- Los aparatos por usuario o por circuito se instalan de manera tal que quedan independientes.
- Las barras se protegen de forma tal que no sean accesibles.
- Se procura, en la media tensión, el uso de interruptores del tipo móvil (extraíbles).

Estos tableros se encuentran disponibles para cubrir las exigencias de una distribución normal de las instalaciones y de la protección, así como el control de motores (centros de control de motores) para la distribución de la potencia en baja tensión (centros de potencia), para la distribución en media tensión (metal clad).

6.2.1 CENTROS DE CONTROL DE MOTORES.

En el Capítulo 3 se han mencionado algunos conceptos relacionados con los llamados centros de control de motores (CCM), cuyo uso es recomendable cuando no existen razones particulares para que los motores de una instalación o de una zona se alimenten en forma centralizada, de esta manera un sólo operador puede controlar fácilmente todo un complejo, en los cuales se contienen los órganos de mando, de protección e instrumentación de medición.

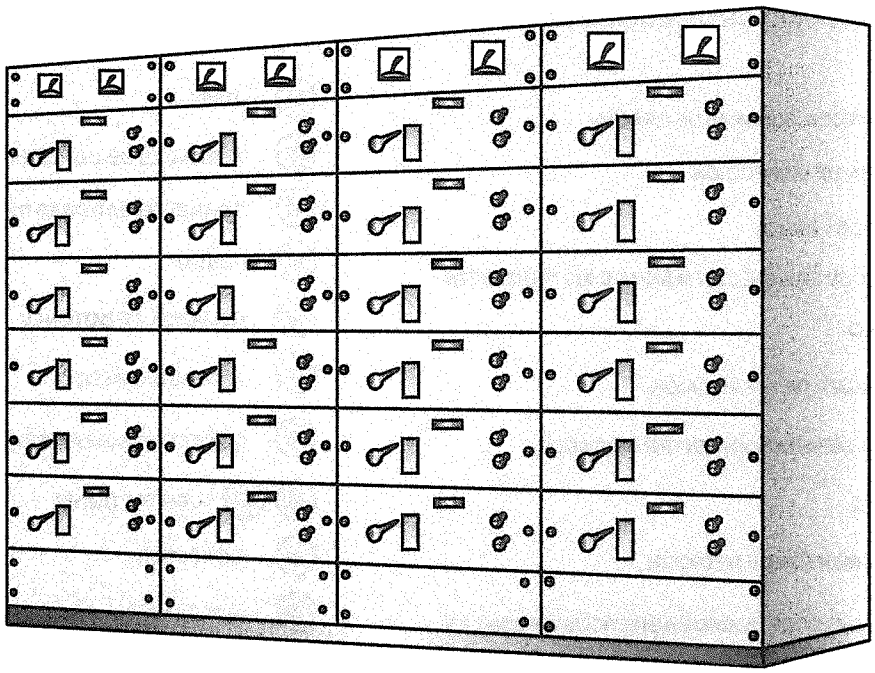
Las principales características de los tableros usados como centros de control de motores son:

- Estructura metálica normalizada, realizada de tal manera que sea fácilmente armada y modular. Cada módulo o comportamiento contiene un grupo de paneles en los que se alojan los aparatos de mando y control de los motores.

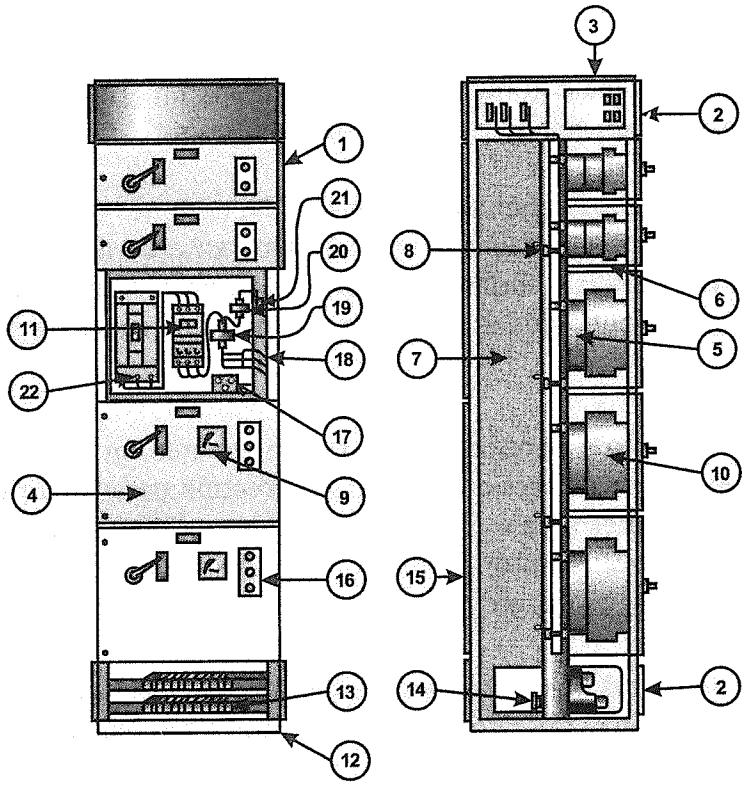
- Los paneles o módulos tienen por lo general dimensiones normalizadas, de manea que cada compartimento contenga un número entero de elementos, aunque de características distintas o fácilmente sustituibles, en caso necesario. Por seguridad, se recomienda que la puerta de estos compartimientos no se pueda abrir con el interruptor energizado.

- Cada compartimento o panel contiene, por lo general, un interruptor automático que constituye un órgano de seccionamiento y protección para la corriente de cortocircuito, estaciones de botones para el mando de motores, o bien, arrancadores con estaciones de botones a control remoto; eventualmente se tienen módulos con instrumentos de medición, lámparas, piloto, etc.

- Un sistema de barras generales de distribución, cuchillas o un interruptor general a la entrada y algunos otros aparatos de medición, como por ejemplo, watthorímetros.



VISTA DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)



DISPOSICIÓN DE EQUIPO EN UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)

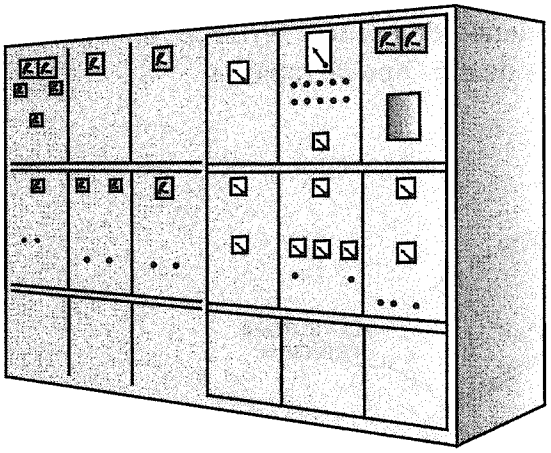
1. ESTRUCTURA SOPORTE DE LÁMINA
2. VENTANA DE INSPECCIÓN
3. TECHO DE LÁMINA
4. PUERTA DE FRENTE CON MANIJA E INSTRUMENTOS
5. MÓDULO
6. DIAFRAGMA DE SEPARCAIÓN
7. LÁMINA SEPARADORA ENTRE UNIDADES
8. BARRAS
9. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
10. INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS O FUSIBLES
11. PROTECCIÓN EN AIRE CON RELEVADOR TÉRMICO
12. BASE
13. TABLILLAS DE CONEXIONES
14. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO
15. FONDO
16. ESTACIÓN DE BOTONES
17. LÁMPARAS PILOTO
18. CONEXIONES (ALAMBRADO)
19. 20 CONTACTORES
21. CONECTOR
22. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO

Los tableros para centros de control de motores se fabrican con corriente nominal de las barras principales, por lo general no superiores a 1000 A y para corrientes de cortocircuito no mayores a 50 kA. Por su característica modular, los centros de control de motores pueden ser fácilmente ampliados.

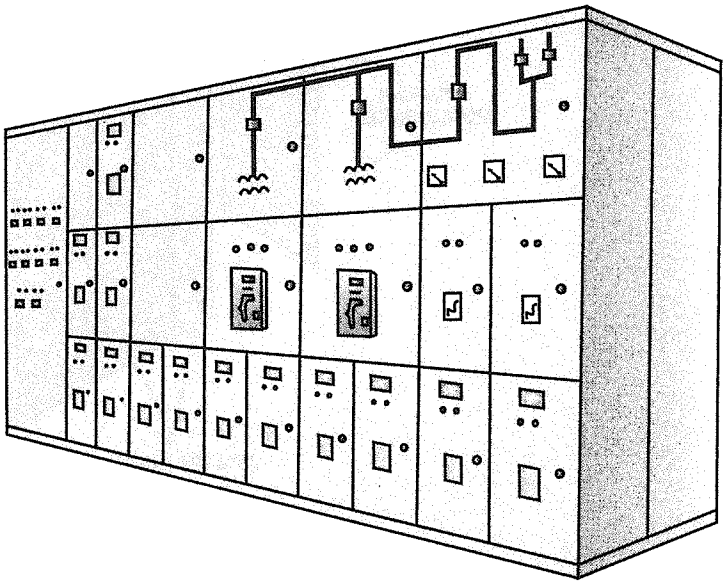
6.2.2 TABLEROS DE CONTROL DE POTENCIA (TABLEROS DE POTENCIA).

Los tableros de control de potencia reciben la potencia en baja tensión del transformador o de los transformadores, y la distribuyen a distintos alimentadores, o bien a centros de control de motores como los descritos en el párrafo anterior.

El correcto y eficiente funcionamiento es fundamental para la continuidad del servicio, sus características constructivas principales de estos tableros son su concentración constructiva, que es análoga a la de los centros de control de motores. En la figura siguiente, se muestra la forma constructiva de este tipo de tableros.



TABLERO DE POTENCIA



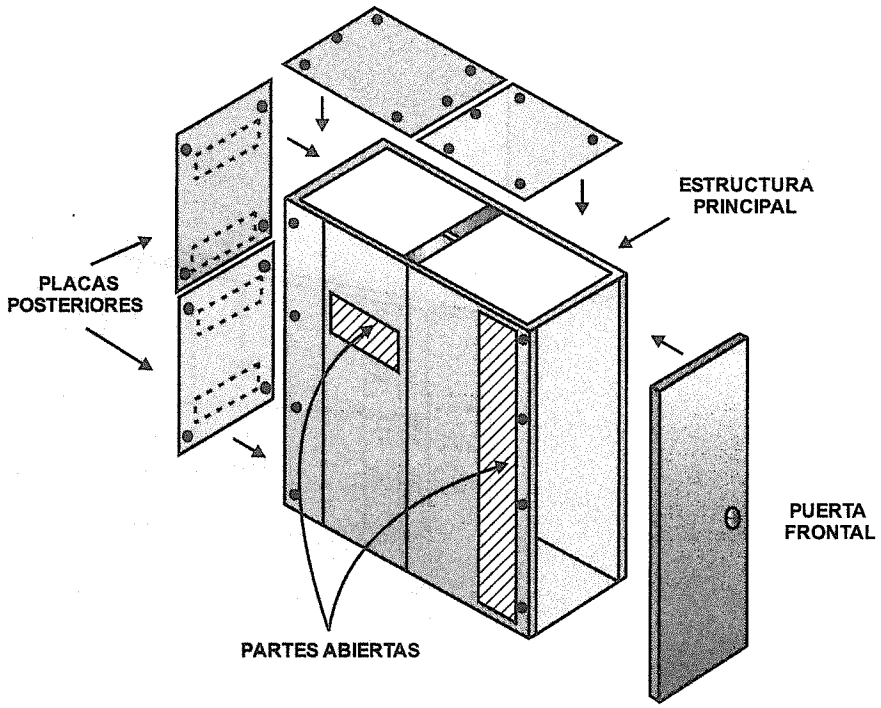
VISTA DE UN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓ

Con este tipo de tableros, por lo general se instalan interruptores del tipo termomagnético con control manual o eléctrico. La corriente nominal en las barras de estos tableros varía de 600 a 4000 A y el valor de la corriente de cortocircuito varía de 15 a 100 kA. En algunos gabinetes se pueden tener instrumentos de medición con ampérmetros, vóltmetros, contadores de energía, etc.

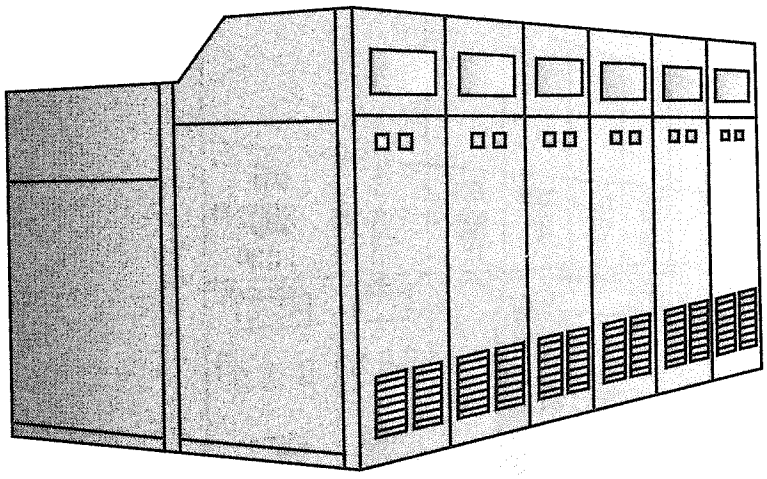
6.2.3 TABLEROS METAL CLAD.

También para los aparatos en media tensión se ha generalizado la práctica de montar los aparatos dentro de tableros. Esta práctica es extensiva a las llamadas **"SUBESTACIONES UNITARIAS"**, en donde se forma un ***"paquete"*** de tableros en los cuales se encuentran también los transformadores, es decir, se contiene en estas subestaciones los tableros de alta tensión y baja tensión.

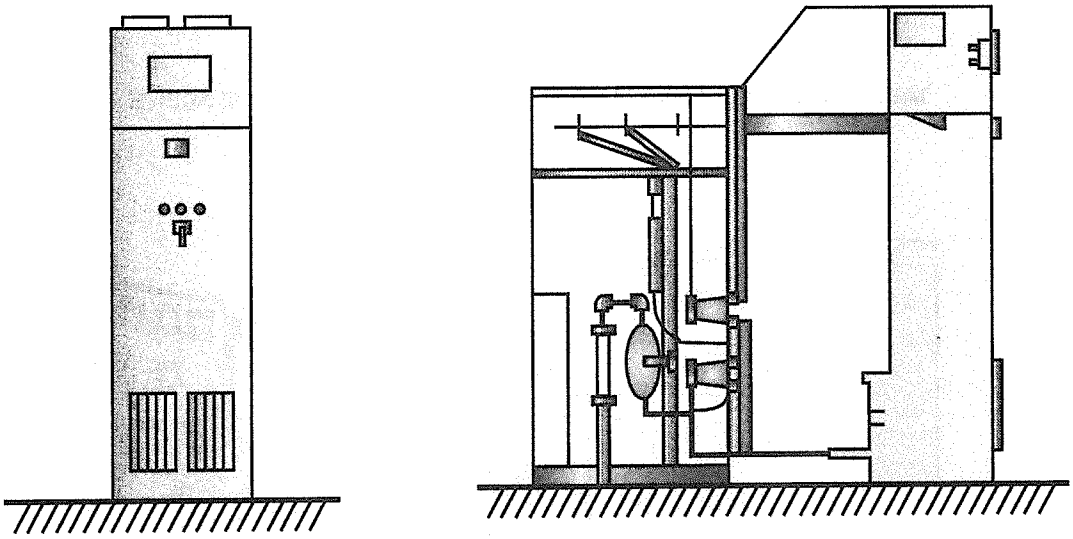
Los tableros **METAL CLAD** se construyen en forma análoga a los tableros de potencia, es decir, por medio de gabinetes o paneles, en donde se contiene a un aparato. Se emplean interruptores termomagnéticos, electromagnéticos, en pequeño volumen de aceite o en vacío. En las figuras siguientes, se muestran algunos aspectos constructivos de este tipo de tableros.



ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE UN TABLERO

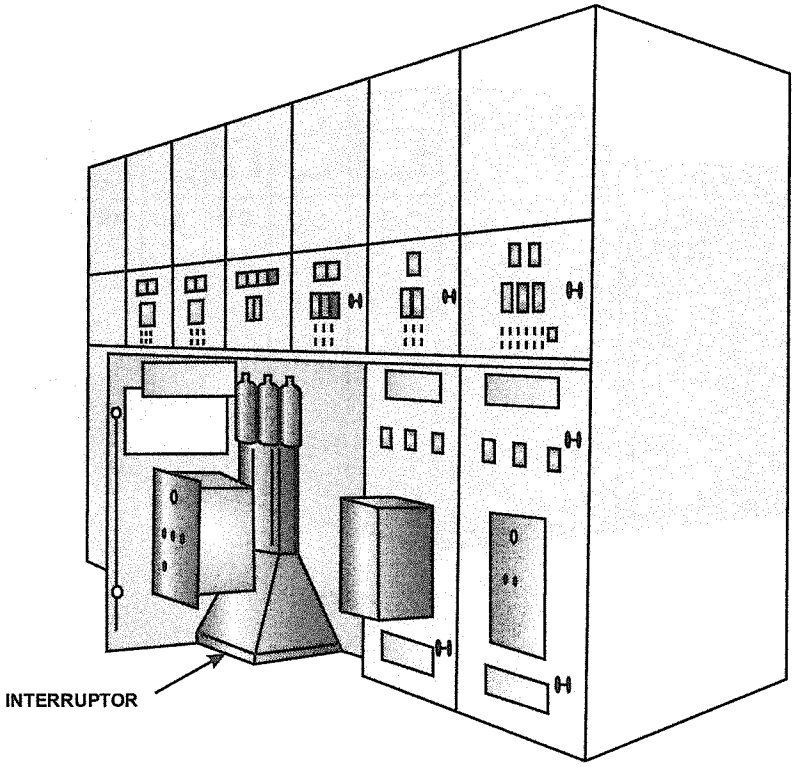


VISTA

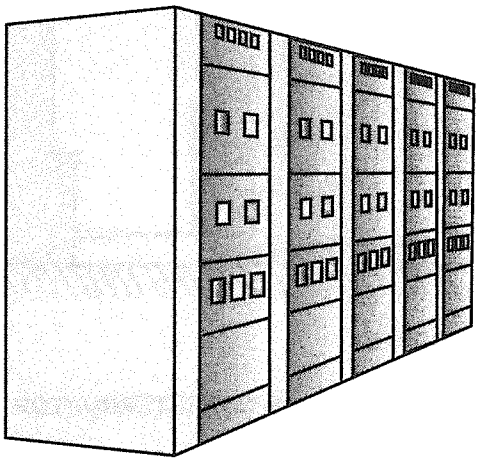


CORTE

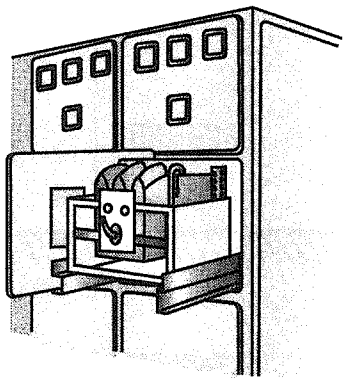
TABLERO METALCLAD PARA MEDIA TENSIÓN CON INTERRUPTOR



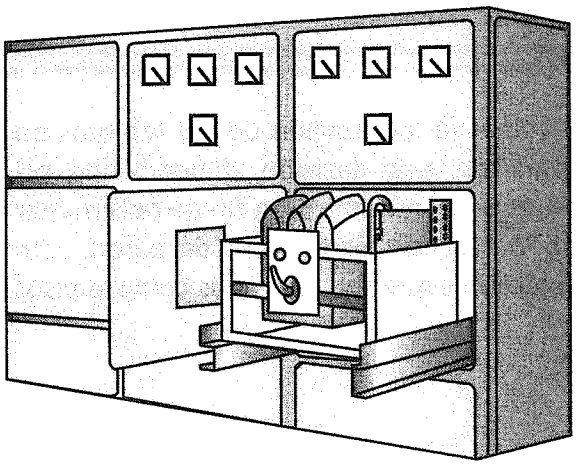
TABLERO METALCLAD MEDIA TENSIÓN CON INTERRUPTOR DE ACEITE



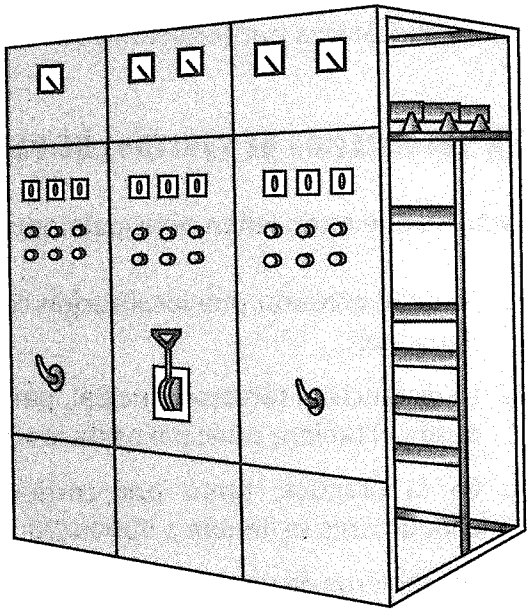
TABLERO ELÉCTRICO CON PANELES MODULARES



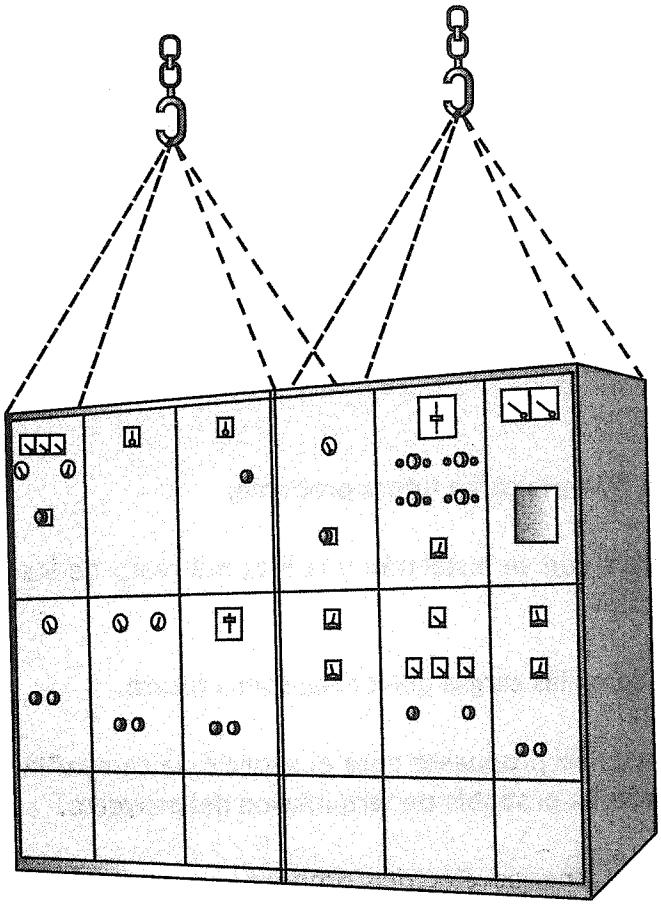
SECCIÓN DE UN TABLERO MOSTRANDO EL INTERRUPTOR



INTERRUPTOR MÓVIL EN TABLERO DE FUERZA



VISTA DE UN TABLERO



TABLERO ELÉCTRICO EN FASE DE MONTAJE

6.3 PROCEDIMIENTO PRELIMINAR PARA EL DISEÑO Y LOCALIZACIÓN DE TABLEROS DE PARED

El proyectista de una instalación eléctrica debe determinar la localización de los tableros de pared necesarios para las cargas eléctricas de la instalación, esta decisión, dependiendo del proyecto, requiere cooperación con los arquitectos e ingenieros mecánicos, a fin de determinar el lugar más conveniente de todo el equipo eléctrico, incluyendo los tableros de pared. Esto requiere por lo general de análisis, que conduzcan a soluciones que satisfagan los compromisos eléctricos, mecánicos y arquitectónicos.

6.3.1 LOCALIZACIÓN DE TABLEROS DE PARED.

Los factores que intervienen principalmente en la localización de los tableros de pared son:

1. Se debe procurar una localización central, para reducir la caída de voltaje en los circuitos derivados.
2. La distancia al tablero principal, para limitar la caída de voltaje total a un máximo de 4% desde el tablero principal hasta los puntos de utilización de los circuitos derivados.
3. En la práctica, tanto por corriente como por caída de voltaje, los tamaños de conductores se limitan a 500 MCM.
4. Los tableros de pared están limitados a 42 dispositivos de sobrecorriente.
5. Otro factor que afecta a la localización de los tableros, es el cumplimiento de los requerimientos de las Compañías Suministradoras de Energía Eléctrica, que básicamente son los siguientes:

   - Demanda total esperada en amperes o KVA y la carga futura probable.
   - El motor o motores de mayor capacidad que se instalarán y la lista del resto de los motores con sus características principales.
   - Una lista de las cargas conectadas, así como las cargas que se tendrán a futuro.
   - Un plano que indique un punto de conexión propuesto para el servicio, la compañía suministradora también requiere de la fecha probable de terminación del proyecto.

Por su parte, la Compañía suministradora de energía eléctrica proporciona al cliente o solicitante del servicio la siguiente información:

a) Aprobación del punto de alimentación sugerido, o bien una propuesta de puntos de alimentación convenientes, de acuerdo a la red de alimentación.

b) Aprobación de la carga conectada, y en caso de que la compañía suministradora no disponga de la capacidad para satisfacer el servicio, debe indicar el lapso de tiempo probable en que incrementará la capacidad de su red.

c) Una lista del equipo aprobado, que es necesario para que se conecte la instalación a la red y que debe ser suministrado e instalado por el cliente. Entre otros se consideran: la caja de entrada o alimentación, el montaje del equipo de medición, el tablero de medición, el alambrado y tubo conduit o canalización, etc. La compañía suministradora proporciona el equipo de medición, transformadores de potencial y de corriente.

d) La compañía suministradora proporciona también la corriente de cortocircuito en el punto de alimentación.

En el caso de ampliaciones, modificaciones o modernización de la instalación, la compañía suministradora debe ser informada con el objeto de realizar nuevamente los trámites arriba descritos.

6.3.2 RESTRICCIONES DE CARGA TOTAL DE LA COMPAÑÍA SUMINISTRADORA.

Si en algún caso, la Compañía suministradora encuentra que el servicio solicitado representa una carga grande, puede necesitar que su capacidad en la zona se incremente, lo cual puede significar posibles retrasos al usuario, de otra manera, éste debe de restringir su carga de tal forma que ésta puede ser cubierta por la compañía suministradora.

Por ejemplo, se puede limitar el servicio a una carga de 1500 KVA en un banco trifásico o tres transformadores monofásicos. La ecuación para la potencia trifásica es:

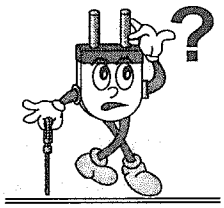
$$P = 1.732\, V_L\, I_L\, Cos\varphi$$

DONDE:

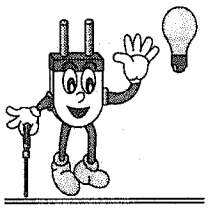
V_L = Voltaje de línea a línea en volts.
I_L = Corriente de línea en amperes.
Cosϕ= Factor de potencia.

De la ecuación anterior, la corriente de línea es:

$$I_L = \frac{P}{1.732\, V_L\, x\, Cos\varphi}$$



EJEMPLO 6.1 Cuál es la carga máxima a factor de potencia unitario que se puede alimentar de un transformador trifásico de 1500 KVA, 220/127 volts?



SOLUCIÓN La carga se refiere, en este caso, a la máxima corriente de línea, cuyo valor es:

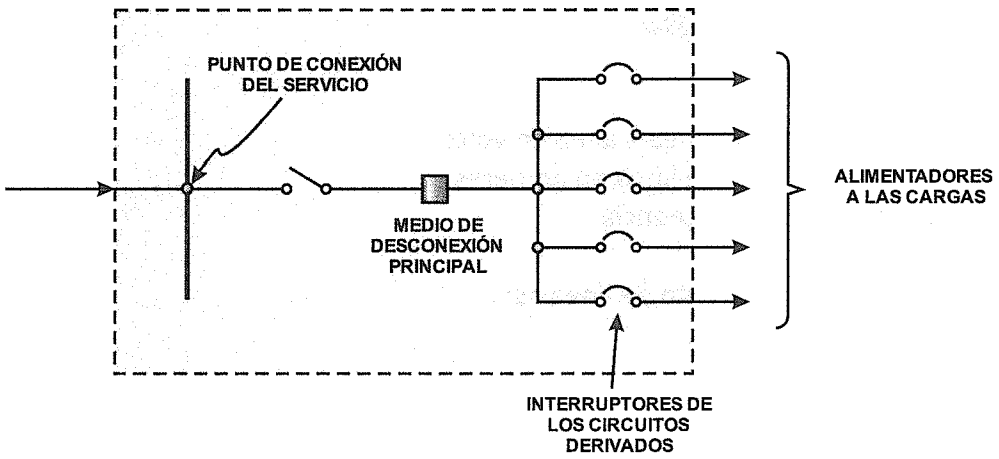
$$I_L = \frac{P}{1.7332\ V_L\ Cos\varphi} = \frac{1\,500\,000}{1.732\ x\ 220}$$

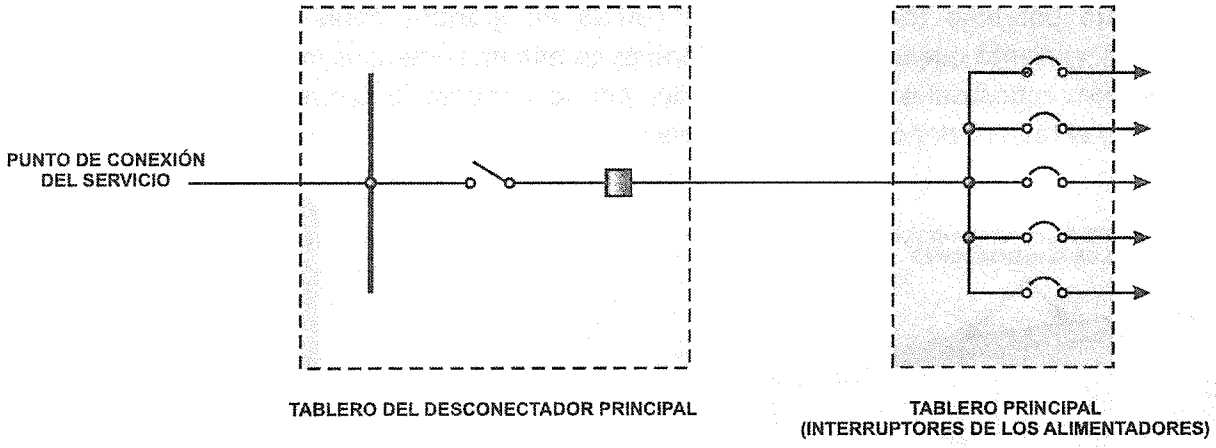
$$I_L = 3936.6\ Amperes$$

Por lo general, las compañías suministradoras limitan los servicios a un valor de carga dado del orden de 4000 A. Cuando se requiere alimentar un servicio con una carga mayor, entonces se necesita incrementar el número de servicios.

6.3.3 CONEXIÓN A LA ALIMENTACIÓN DEL SERVICIO.

Por cada entrada o alimentación de servicio (por ejemplo hasta 4000 A), la compañía suministradora proporciona los conductores o barras instalados en el punto de entrada señalado por el usuario. El cliente o usuario toma del punto de alimentación al desconectador o interruptor principal, ya sea por medio de conductores o barras, y de aquí al tablero de distribución, en éste se puede encontrar el desconectador o interruptor principal.





EQUIPO DE SERVICIO Y DESCONECTADOR PRINCIPAL EN UN MISMO TABLERO

6.3.4 FACTORES EN LA LOCALIZACIÓN DE TABLEROS DE PARED Y DE PISO.

La localización de los tableros de pared en un proyecto depende de muchos factores, ya que en general cada proyecto es diferente de otro y requiere, por lo tanto, de un tratamiento individual, esto hace que frecuentemente se presenten distintas alternativas de solución.

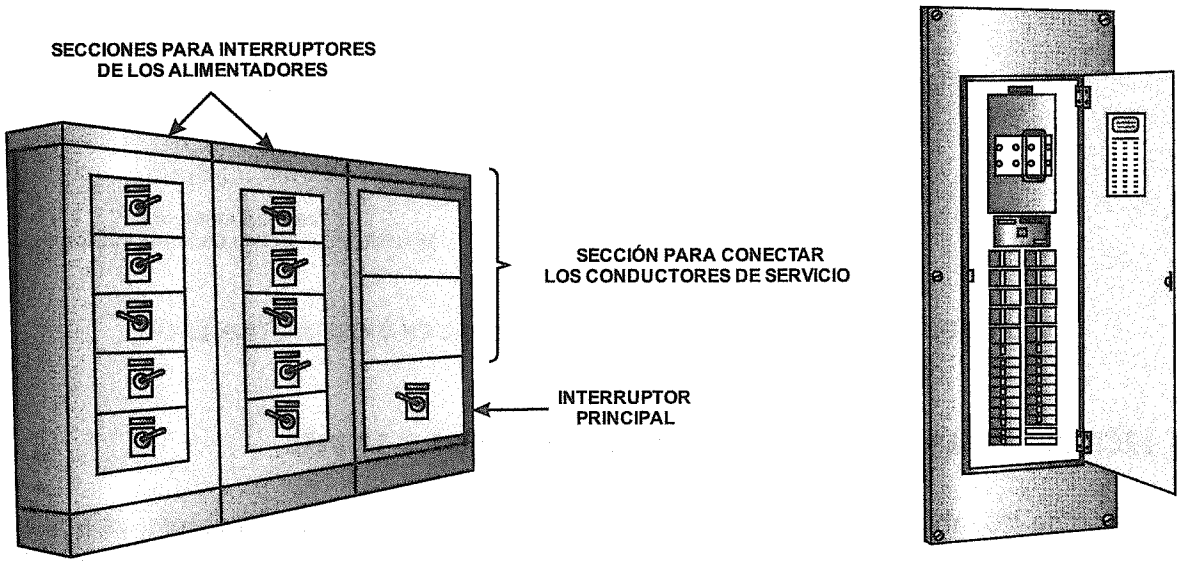
6.3.4.1 LOCALIZACIÓN DE TABLEROS DE PARED Y TABLEROS DE PISO.

Los tableros de pared, como su nombre lo indica, se montan por lo general en paredes y sirven para alimentar circuitos derivados locales. Un buen diseño trata de montar el tablero de pared en un punto cercano al centro de carga de los circuitos derivados. Otras posibles localizaciones dependen de las condiciones físicas del lugar de la instalación y puede requerir de montaje en paredes interiores, particiones, columnas, etc.

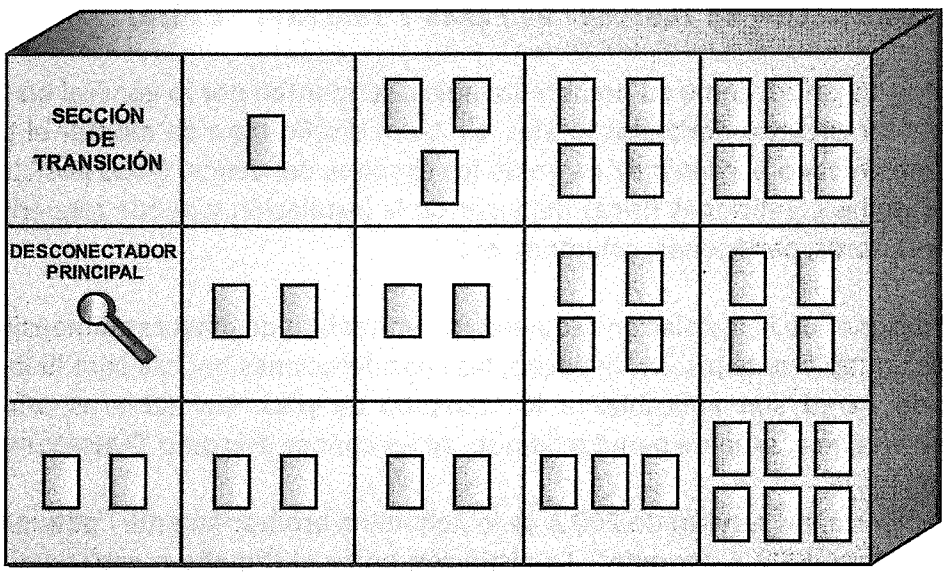
Si las condiciones de la instalación requieren de un tablero de mayores dimensiones, éste por lo general es un tablero de piso, y de hecho, las consideraciones hechas para la localización de los tableros de pared son aplicables a los tableros de piso. Los tableros principales de una instalación eléctrica, sean de pared o de piso, se les conoce así como **TABLEROS PRINCIPALES.**

Por conveniencia, un servicio de 200 A se le denomina arbitrariamente **"pequeño",** hasta 600 A **"medio"** y hasta 4000 A **"grande"**. La distinción entre el tamaño o capacidad de los servicios para las instalaciones eléctricas no está claramente definida, de manera que pueden existir traslapes, pero el principio de clasificarlas como se ha indicado, es adaptable a la mayoría de los servicios, sean del tipo residencial, industrial o comercial.

Un servicio pequeño (hasta 200 A) es común en grandes casas habitación o pequeños comercios, en tanto que un servicio mediano es común en comercios más o menos grandes o en instalaciones industriales pequeñas donde, por lo general, la corriente de cortocircuito es pequeña y el tablero principal resulta simple.

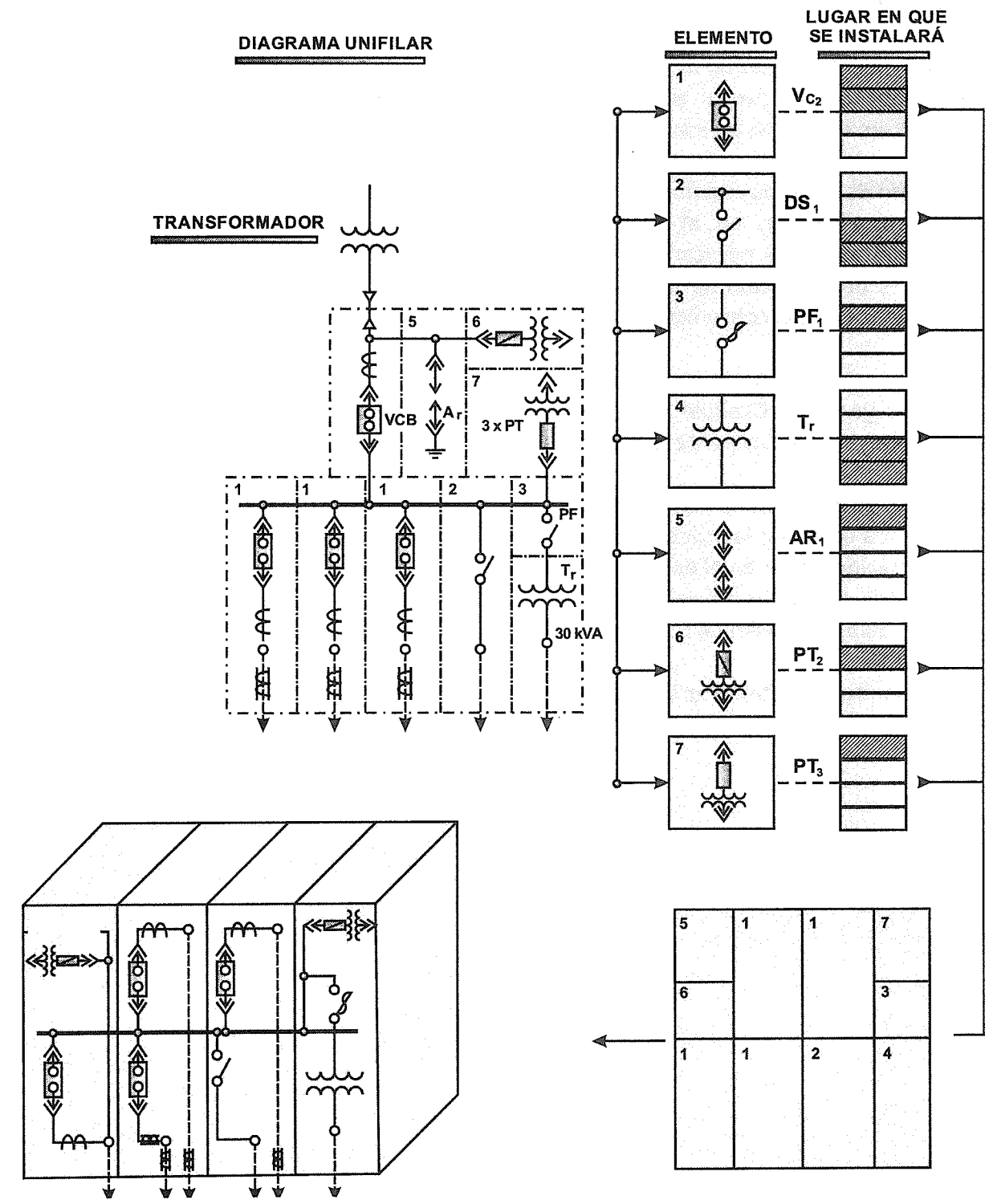


TABLERO TÍPICO PARA 440 VOLTS



TIPO DE CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO PRINCIPAL

ARREGLO DE LOS ELEMENTOS DE UN TABLERO DE POTENCIA



6.3.4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS TABLEROS PRINCIPALES DE GRAN TAMAÑO.

Los tableros principales de gran tamaño, se supone arbitrariamente que están entre 800 y 4000 A, difieren principalmente de los de pequeños tamaños en que requieren un mayor análisis en cuanto al estudio de cortocircuito se refiere. Por lo general, requieren también de un lugar independiente dentro del esquema de la instalación eléctrica y un montaje y base especiales, en el caso de las instalaciones comerciales e industriales, para tableros de piso.

En este tipo de tableros es común encontrar los instrumentos de medición en ciertas secciones, ya que en particular, en el campo de las mediciones eléctricas industriales, se tienen aplicaciones donde es necesario efectuar mediciones para controlar el funcionamiento y las condiciones de operación de las instalaciones, desde el punto de vista no solo técnico, sino también de la energía consumida.

Los instrumentos eléctricos son muy variados, algunos de sus principios elementales han sido planteados ya en el Capítulo I, su aplicación en cuanto al tamaño y características de las instalaciones, es prácticamente la misma.

Los instrumentos eléctricos que interesan en esta parte, son aquellos que se insertan en los tableros para controlar las condiciones de operación de las instalaciones. No es el propósito de esta publicación entrar en el detalle de la constitución y el principio de funcionamiento de estos instrumentos, tema que se debe tratar con suficiente detalle en los textos sobre mediciones eléctricas, aquí sólo se limitará al examen de algunos problemas prácticos de aplicación.

Desde el punto de vista del principio de operación de los instrumentos de medición, se puede hacer una clasificación general como la que se muestra en la tabla siguiente:

TABLA 6. I
CARACTERÍSTICAS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

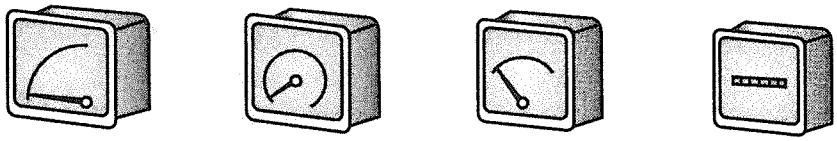
TIPO DE INSTRUMENTO	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	NOMBRE DEL INSTRUMENTO QUE OPERA	EMPLEO COMÚN
ELECTROMAGNÉTICOS	ACCIONES ENTRE CIRCUITOS POR CIRCULACIÓN DE CORRIENTE Y EFECTO MAGNÉTICO	■ AMPÉRMETRO ■ VÓLTMETRO ■ ÓHMETRO ■ FRECUENCÍMETRO	EN CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA
ELECTRODINÁMICOS	ACCIONES ENTRE CIRCUITOS POR LOS QUE CIRCULA CORRIENTE	■ AMPÉRMETRO ■ VÓLTMETRO ■ WÁTTMETRO ■ ÓHMETRO ■ FRECUENCÍMETRO	EN CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA
TÉRMICOS	EFECTOS TÉRMICOS DE CORRIENTES QUE CIRCULAN POR CIRCUITOS	■ AMPÉRMETRO ■ VÓLTMETRO ■ WÁTTMETRO	EN CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA, SON PARA VALORES MEDIOS
DE INDUCCIÓN	INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA	■ CONTADORES	SÓLO PARA CORRIENTE ALTERNA
DIGITALES	PULSOS DIGITALES OBTENIDOS DE LAS CANTIDADES REALES POR TRANSFORMACIÓN	■ AMPÉRMETROS ■ VÓLTMETROS ■ ÓHMETROS	PARA CORRIENTE CONTINUA Y PARA CORRIENTE ALTERNA

De los instrumentos indicados en la tabla anterior, son muy comunes los instrumentos electromagnéticos propiamente dichos, bajo cuyo principio se construyen ampérmetros y vóltmetros para corriente alterna. Los instrumentos electromagnéticos son imanes permanentes, con los cuales se diseñan ampérmetros y vóltmetros para corriente continua y los instrumentos dinámicos con los cuales se realizan por lo general los wáttmetros y los instrumentos de inducción. Dentro de esta categoría se encuentran comprendidos los contadores de energía, como son los watthorímetros.

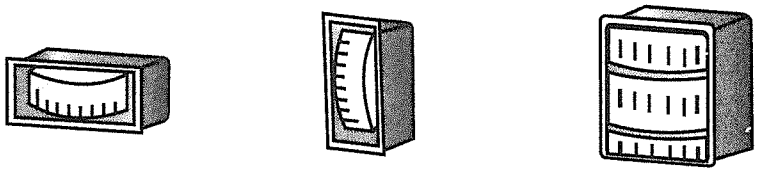
Según sea la cantidad o parámetro que se mide, los instrumentos adoptan un nombre que indica la cantidad que se mide, por lo que se usan ampérmetros para medir corriente (amperes), vóltmetros para medir voltaje (volts), óhmetros para medir potencia (watts), frecuencímetros para la medición de frecuencia (Hertz) y fasómetros para la medición del defasamiento, etc.

Según sea el tipo de indicación que proporcionen, se distinguen tres tipos de instrumentos:

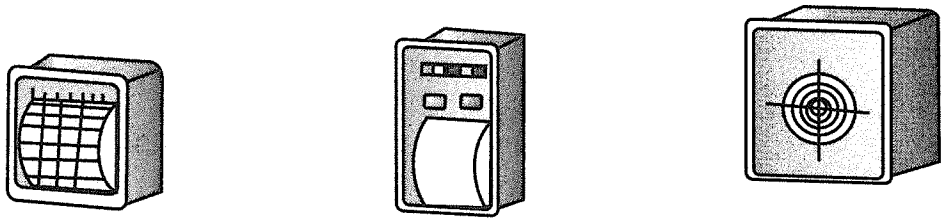
- Indicadores.
- Registradores.
- Integradores.



INSTRUMENTOS INDICADORES DE TIPO TABLERO CON VARIOS TIPOS DE ESCALA



INSTRUMENTOS INDICADORES DE TIPO TABLERO CON ESCALA DE PERFIL



DE ESCRITURA DIRECTA | CON INDICACIÓN POLAR | CON SERVOMOTOR

INSTRUMENTOS REGISTRADORES DEL TIPO TABLERO

DEL TIPO TABLERO | DEL TIPO PARED

INSTRUMENTOS INTEGRADORES
(CONTADORES DE ENERGÍA)

De la figura anterior, los instrumentos registradores proporcionan la indicación instantánea de la cantidad medida en su escala, para evitar errores en la medición, se recomienda que los valores medidos queden dentro del tercer medio de la escala.

Otros instrumentos indicadores escriben un diagrama de las variaciones en el tiempo de las cantidades medidas. En general, el rollo de papel constituye el elemento sobre el cual el diagrama se escribe, para lo cual, éstos giran por medio de rollos de papel o usando papel circular, sobre un eje de rotación. Dentro de la categoría de los instrumentos indicadores registradores, se tienen distintas clases, según sea el tipo de accionamiento del elemento sobre el cual se hace el registro de la medición.

En la realización de las mediciones del tipo industrial, es muy importante el uso de los llamados transformadores de instrumento, también conocidos como **TRANSFORMADORES REDUCTORES,** que se clasifican como:

- Transformadores de potencial (TP).
- Transformadores de corriente (TC).

Estos transformadores de instrumentos se emplean cuando los voltajes o las corrientes de los circuitos por medir son muy elevadas, o bien porque no sea seguro o cómodo conectar directamente al circuito los instrumentos de medición.

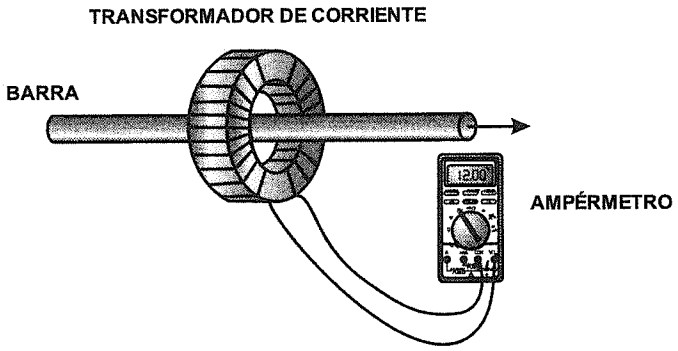
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

En el campo de las bajas tensiones o de los voltajes usados normalmente en las instalaciones industriales, principalmente se emplean los transformadores de corriente, estos transformadores están provistos de un circuito primario por el que circula la corriente que va a ser medida, y un circuito secundario por el que circula una corriente, que a una relación de transformación bien precisa, representa la corriente del primario.

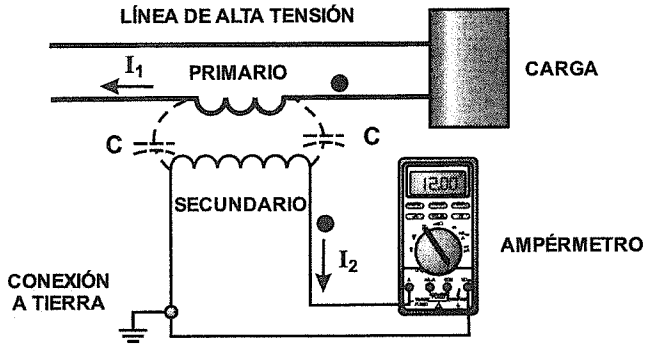
Normalmente las corrientes secundarias son de 5A y de 1A, a los cuales corresponden las corrientes primarias, por grande que sea su valor, la escala del ampérmetro proporciona la indicación de la corriente del primario a la relación apropiada.

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.

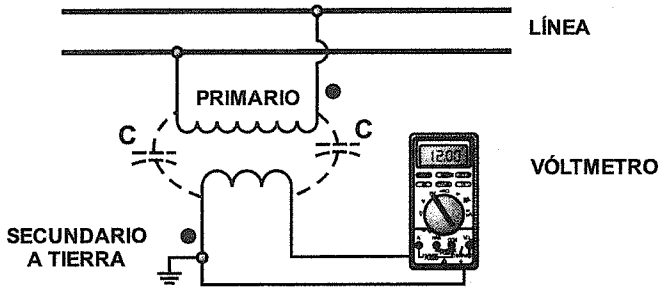
El uso de los transformadores de potencial resulta indispensable en el campo de la media y de la alta tensión, con el empleo de estos transformadores, además de obtener seguridad para el personal mediante el aislamiento de las partes en alta tensión, se reduce el valor de las tensiones a tierra.



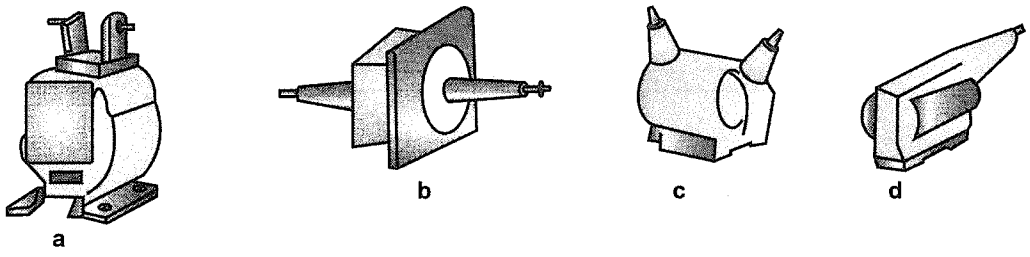
MEDICIÓN DE CORRIENTE CON TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO DONA



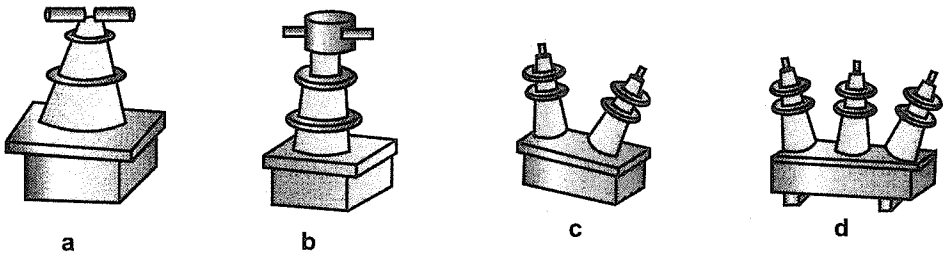
MEDICIÓN DE CORRIENTE CON TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE DOS DEVANADOS



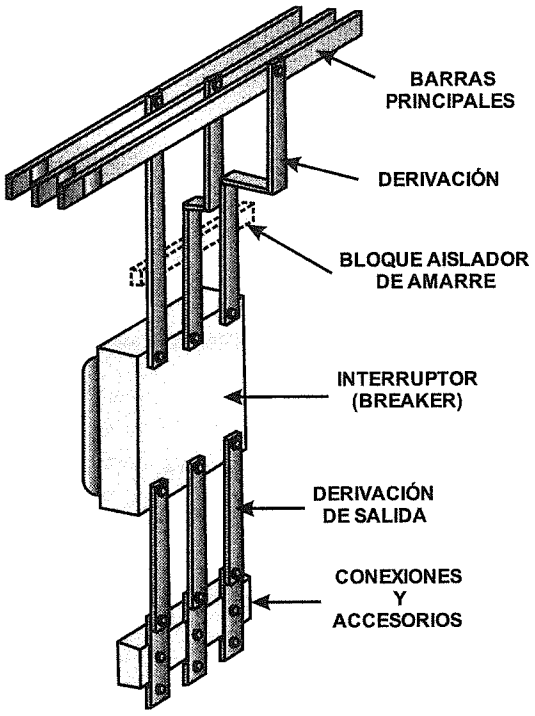
MEDICIÓN DE VOLTAJE CON UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL



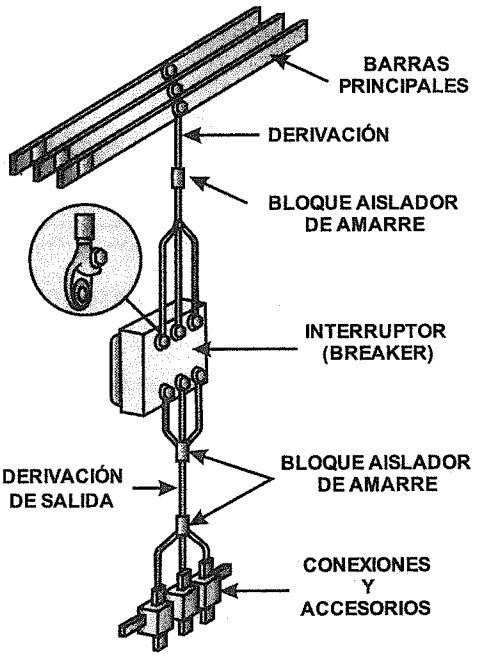
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA TABLERO (a, b) Y DE POTENCIAL (c, d)



TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (a, b) Y DE POTENCIAL EN ACEITE (c, d)

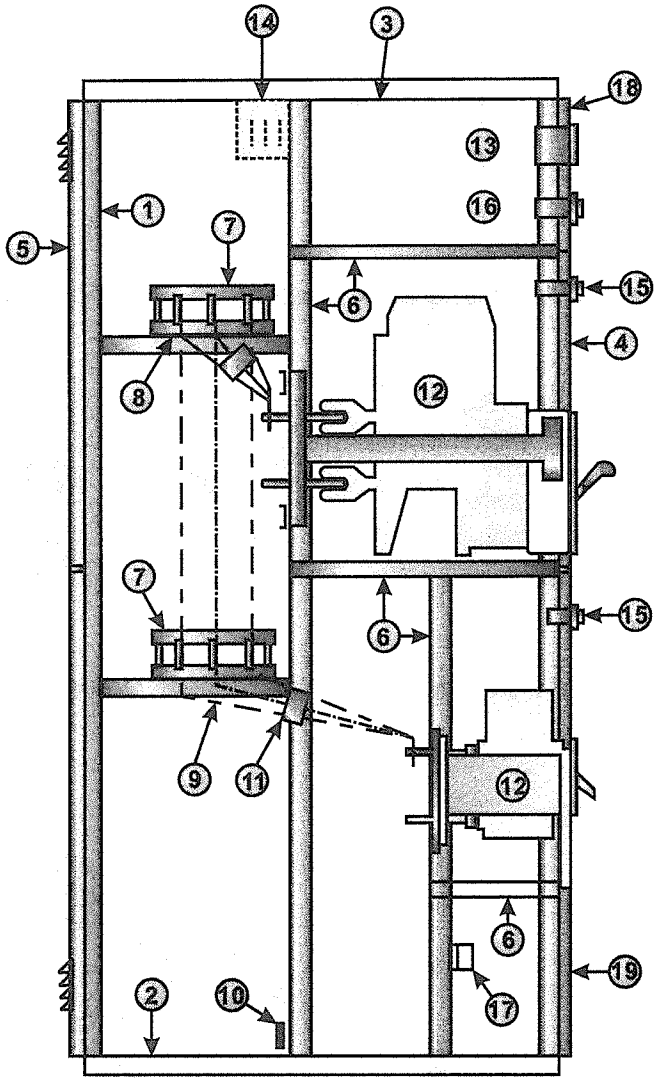


BARRAS DE COBRE DESNUDO



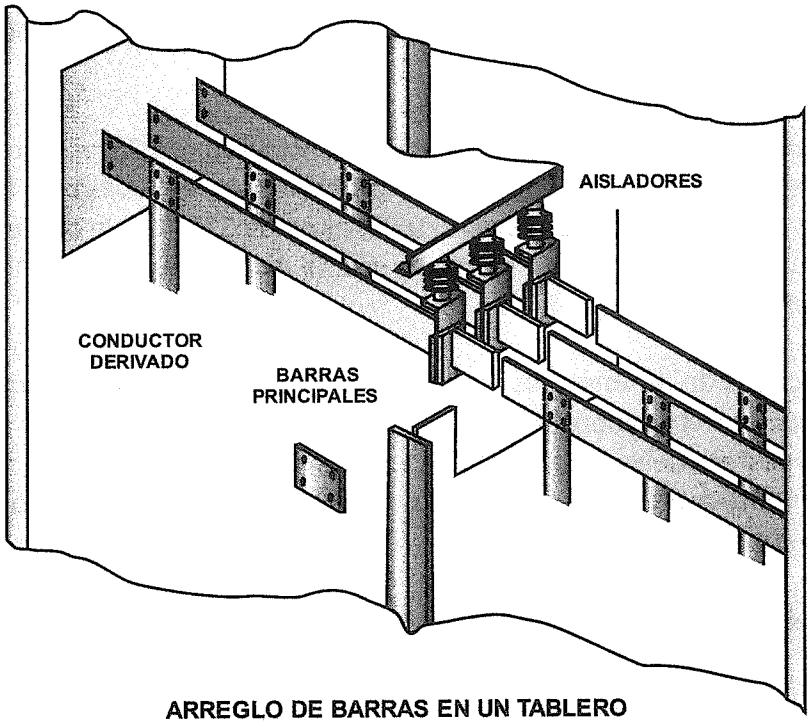
DERIVACIONES CON BARRA DE COBRE AISLAI

EJEMPLO DE ALIMENTACIÓN DE UN TABLERO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE BARRAS



DISPOSICIÓN DE LOS APARATOS Y DE LOS ACCESORIOS EN UN TABLERO DE POTENCIA

1. ESTRUCTURA SOPORTE DE CHAPA LAMINADA.
2. BASE DEL SOPORTE.
3. CUBIERTA SUPERIOR.
4. PUERTA DEL GABINETE DEL INTERIOR.
5. PUERTA DEL GABINETE DEL INTERIOR PARA CIRCULACIÓN DE AIRE.
6. DIAGRAMA DE LÁMINA QUE DELIMITA LOS GABINETES.
7. REGISTRO DE BARRAS.
8. SISTEMA DE BARRAS PRINCIPALES.
9. CONEXIONES PRINCIPALES.
10. BARRAS DE TIERRA .
11. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.
12. INTERRUPTOR DEL TIPO DESPLAZABLE.
13. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.
14. CONDUCTORES DE LOS CIRCUITOS DE SERVICIOS AUXILIARES.
15. SEÑALES LUMINOSAS.
16. CONMUTADORES.
17. CONEXIONES DE SERVICIOS AUXILIARES.
18. PUERTA DEL GABINETE DE INSTALACIÓN.
19. PUERTA DEL GABINETE DE CONEXIONES.



ARREGLO DE BARRAS EN UN TABLERO

Para la media tensión, los transformadores de instrumento se encuentran normalmente aislados con resinas sólidas, aunque también en este campo, como en el de la alta tensión, se usan transformadores con medio de enfriamiento aceite.

6.4 FACTORES ELÉCTRICOS EN EL DISEÑO DE LOS TABLEROS DE PARED Y DE PISO

En una instalación típica de tableros se requiere:

1. Determinar el número de circuitos derivados.
2. Localizar el lugar más conveniente para los tableros y centros de control de motores.
3. Localizar el lugar más conveniente para el tablero principal.
4. Calcular los alimentadores apropiados del tablero principal a los circuitos derivados de los otros tableros.

6.4.1 NÚMERO DE CIRCUITOS DERIVADOS A LOS TABLEROS.

Los métodos para el cálculo de los circuitos derivados se estudiarán en el Capítulo 3, en esta parte sólo se hará una breve revisión de los mismos con algunas particularidades propias de la alimentación de tableros.

Para todos los circuitos de alumbrado, las cargas se consideran continuas. El tamaño mínimo de los conductores alimentadores, la capacidad en las barras de los tableros y los dispositivos de protección contra sobrecorriente se basan en un mínimo de 125% de la corriente total de plena carga del tablero, para esto, es necesario hacer uso de las tablas de consumos estimados para cierto tipo de locales y cargas.

Para todos los circuitos de motores, los conductores se calculan de la misma forma que para el alumbrado, es decir, se considera el 125% de la corriente a plena carga para cada motor individual cuando se trata de más de un motor, el 125% se aplica al motor de mayor capacidad y se le suma la corriente a plena carga del resto de los motores. Por lo tanto, el conductor del alimentador de los motores se calcula como:

I TOTAL PLENA CARGA	= 1.25 *x* I PLENA CARGA MOTOR MAYOR	+ SUMA (I PLENA CARGA – OTROS MOTORES)

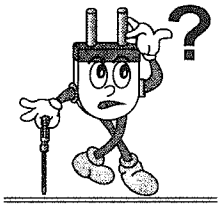
Para la protección del alimentador, la ecuación anterior se modifica sustituyendo el factor 1.25 para el motor mayor, por el que se obtenga de acuerdo a lo indicado en las tablas del Capítulo 3.

Cuando un tablero alimenta cargas de alumbrado y motores, su capacidad se determina sumando las cargas de alumbrado y motores para el cálculo de alimentador y de la protección del mismo.

Los factores de demanda se pueden usar de acuerdo a los valores listados en las normas técnicas para instalaciones eléctricas, si se incluye algún factor de demanda especialmente indicado para los motores, este se usa específicamente para el cálculo de los mismos, previniendo expansiones futuras en las instalaciones se debe dimensionar el tablero sobre esta base.

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, el número máximo permisible de dispositivos de protección contra sobrecorriente en un tablero está limitado a 42. Cuando se requieren más dispositivos, se deben instalar tableros adicionales, éstos se pueden localizar adyacentes y se puede usar el mismo alimentador.

Para circuitos derivados de tableros de motores, tales como los que alimentan a los centros de control de motores y para tableros que alimentan cargas combinadas de alumbrado y motores, la capacidad del alimentador y la protección del mismo se calcula en forma similar a la descrita anteriormente para motores, sólo se cambia el factor de protección del 125%.



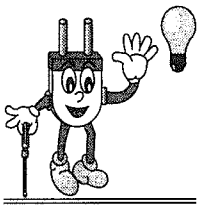
EJEMPLO 6.2 Se planea construir la nave de una escuela que tendrá 4 niveles con salones de clase, las dimensiones totales son 80 m x 40 m. La alimentación es a 220/127 volts y cada circuito se limita a 1000 watts. Si se supone una dispersión del 10% en la capacidad de los tableros.

a) Calcular el número mínimo de tableros.

b) Calcular el número de circuitos para tableros.

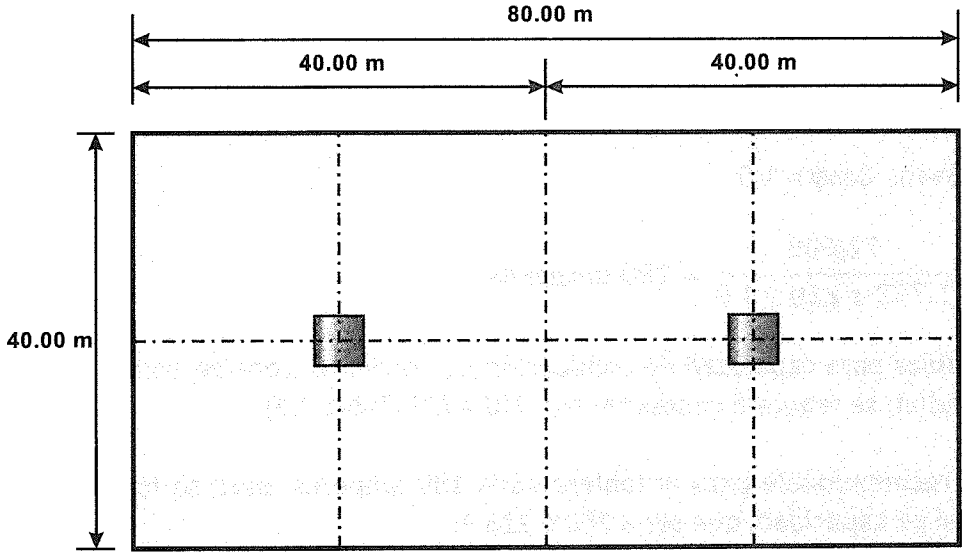
c) Calcular el tamaño mínimo permisible para el alimentador para cada piso, ignorando la caída de voltaje.

d) Encontrar la protección contra sobrecorriente requerida.



SOLUCIÓN

a) El área de cada piso es: 80 x 40 = 3200 m^2



Usando como carga de alumbrado en una escuela 20 watts/m^2, la carga general de alumbrado es:

3200 x 20 = 64,000 watts.

Estableciendo una carga de 1000 watts por circuito, el número de circuitos es:

$$No.circuitos = \frac{Carga\ total}{watts/circuito} = \frac{64{,}000}{1{,}000} = 64$$

Suponiendo un 10% de capacidad dispersa no considerada, se pueden agregar 7 circuitos adicionales, lo cual da un total de 72 (redondeando a un número par), dado que el número máximo de dispositivos de sobrecorriente por tablero es 42 y cada circuito de alumbrado requiere de un dispositivo de sobrecorriente, el número mínimo de tableros por piso debe ser 2.

b) Cada tablero tendrá un mínimo de 722 = 36 circuitos derivados, cada uno con una corriente de:

$$I = \frac{1000\ watts/circuito}{127} = 7.9\ amperes$$

c) Cálculo del alimentador:

Para 72 circuitos por piso, con 1000 watts por cada circuito, cada alimentador debe de conducir:

72 *x* 1000 = 72 000 watts.

La corriente si se considera factor de potencia unitario, se calcula como:

$$I = \frac{P}{1.732\ x\ V_L\ x\ Cos\varphi}$$

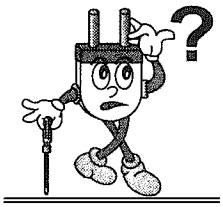
En este caso: Cosϕ = 1.0

$$I = \frac{72{,}000}{1.732\ x\ 220\ x\ 1.0} = 189\ amperes$$

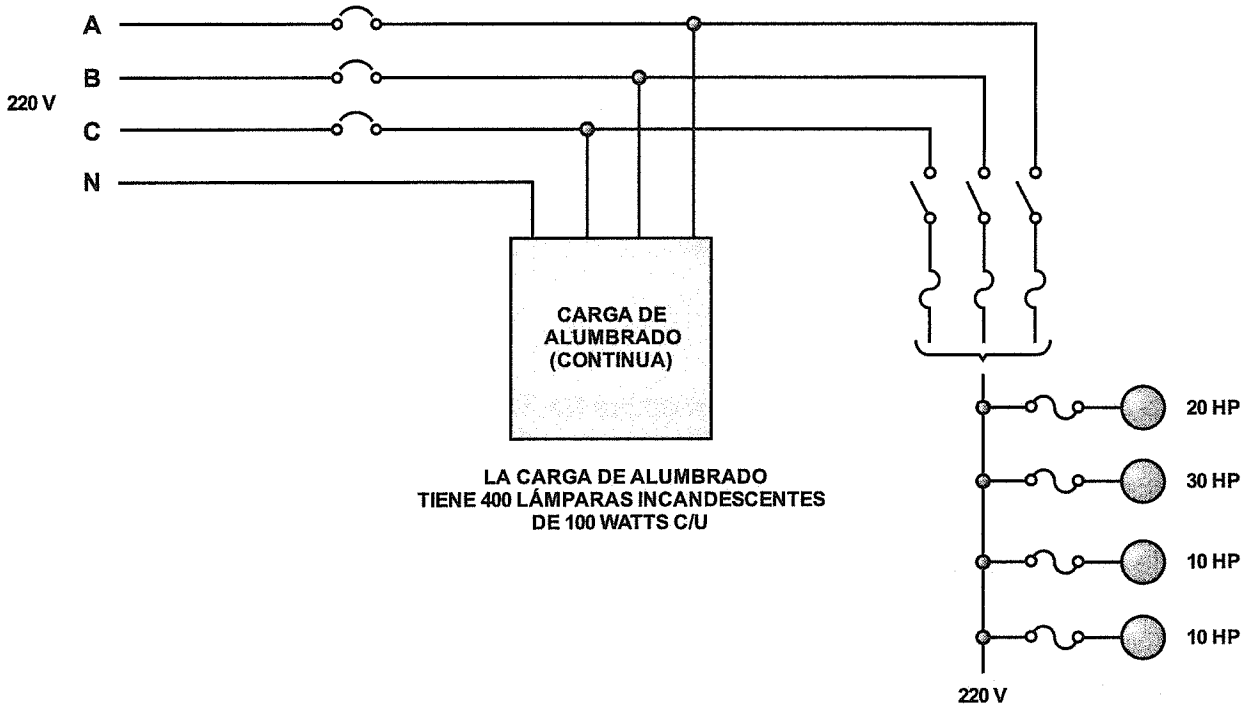
De las tablas para capacidad de conducción de corriente, considerando conductores TW en tubo conduit, se requiere conductor No. 4/0 AWG (Tabla 2.7)

El valor recomendable para el tablero sería 189 amperes, pero se toma el siguiente valor comercial en capacidad, que sería 200 ó 225 A.

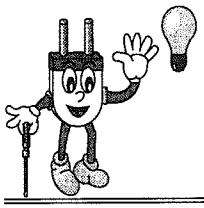
d) La capacidad del dispositivo de protección contra sobrecorriente es la misma que para el alimentador, por lo tanto, se puede usar fusible o interruptor termomagnético de 200 ó 225 A.



EJEMPLO 6.3 Calcular el tamaño del alimentador y la protección para una carga de alumbrado y de motores alimentados por un alimentador trifásico, como se muestra en la figura:



La carga de alumbrado tiene 400 lámparas incandescentes de 100 watts c/u.



SOLUCIÓN El alimentador para este circuito debe tener capacidad para alimentar los dos tipos de cargas, de manera que las cargas se calculan como sigue:

La corriente por el alumbrado es:

$$I = \frac{400\ x\ 100}{1.732\ x\ 220} = 105\ Amperes$$

Para los motores, se calcula la corriente a plena carga de cada motor, de la tabla correspondiente en el capítulo 3, (tabla 3.4)

Corriente a plena carga de motores a 220 volts.

30 HP I_{PC} = 84 AMP
20 HP I_{PC} = 56 AMP
10 HP I_{PC} = 29 AMP

La carga de los motores se calcula como:

$I = 1.25\ I_{PC}$ motor mayor + suma (I_{PC} otros motores)
$I = 1.25\ x\ 84 + 56 + 29 + 25 = 21.9$ Amperes

La carga total, incluyendo el alumbrado, es:

I_T =0 219 + 105 = 324 Amperes

Si se usa conductor tipo TW (60°C) se usará calibre No. 500 MCM:

En este caso, como se trata de un alimentador que alimenta a una carga combinada de alumbrado y motores, el dispositivo de protección debe tener una capacidad no mayor de la suma de la máxima corriente para la protección del alimentador del motor y del alumbrado como sigue:

1. ***Dispositivo de protección del alimentador del motor.***

   = Capacidad o ajuste del dispositivo de protección del circuito derivado de mayor capacidad de un motor del grupo que se está alimentando, más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores.

En este ejemplo, el motor de mayor capacidad, la corriente nominal es 84 A. La capacidad del elemento de protección es 100 A. La capacidad del dispositivo de protección del alimentador del motor es:

100 + 56 + 29 + 29 = 214 A

Es decir, que la capacidad del dispositivo de protección de acuerdo con los valores normalizados sería de 250 A, pero como este valor excede a la corriente de carga de los motores que se calculó antes, que es de 210 amperes, se selecciona entonces un dispositivo de protección de 200 A.

2. *Carga de alumbrado*

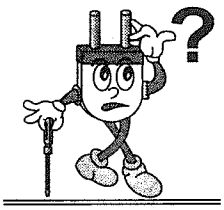
La carga de alumbrado es: 105 amperes.
La capacidad del interruptor para la carga combinada es:

105 + 214 = 319 Amperes

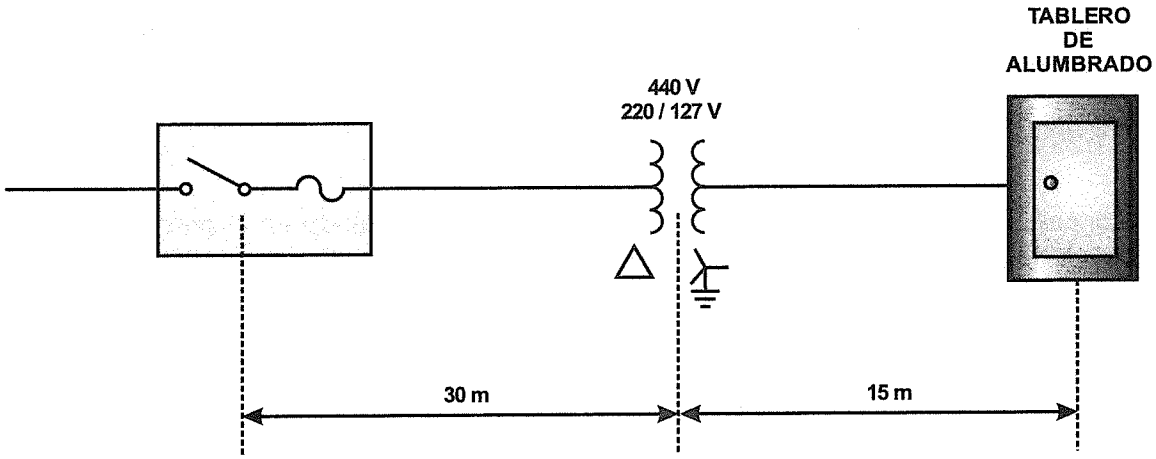
La capacidad del interruptor termomagnético más próximo que no excede a este valor es 300 Amperes.

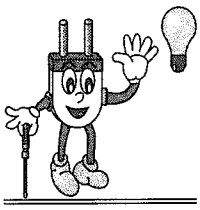
6.5 CIRCUITOS PARA TRANSFORMADORES

Como se ha estudiado antes, para ciertas aplicaciones en instalaciones comerciales e industriales, del tablero principal se tienen alimentadores o circuitos derivados que alimentan transformadores de capacidad relativamente pequeña para alimentar cargas de alumbrado o cargas particulares, estos transformadores frecuentemente tienen derivaciones (taps) para compensar el efecto de las caídas de voltaje, por lo general el tipo de enfriamiento es aire, es decir, son transformadores del tipo seco. En este caso, como en el de otros tipos de cargas, se requiere calcular la capacidad del alimentador y la de los elementos de protección.



EJEMPLO 6.4 El alimentador de un transformador trifásico tipo seco, lo alimenta a 440 volts, para reducir en el transformador alimenta a un tablero de alumbrado con una carga continua de 300 amperes por fase. Calcular el tamaño mínimo de los conductores y los dispositivos de protección.



SOLUCIÓN 

1. La capacidad en KVA para la carga de 30 A en el lado de la carga a 220/127 volts es:

$$P = 1.732\ V_L\ x\ I = 1.732\ x\ 220\ x\ 30 = 11431\ VA$$

Esta carga requiere un transformador de al menos 15 KVA, suponiendo que no se necesita uno mayor, debido a un posible crecimiento futuro de la carga, es decir, no se considera factor de crecimiento en la carga.

2. Considerando el uso eventual del capacidad total del transformador, la corriente primaria nominal será:

$$I_P = \frac{P}{1.732\ x\ V} = \frac{15\ 000}{1.732\ x\ 440} = 19.7\ Amperes$$

De acuerdo con la Tabla 2. 7, se requieren 3 conductores No. 12 AWG del tipo TW.

3. El dispositivo de protección contra sobrecorriente para el transformador no debe tener una capacidad nominal o ser ajustado a más del 125% de la corriente nominal primaria. Para este ejemplo es entonces:

$$1.25\ x\ 19.7 = 24.62\ Amperes$$

Es decir, que el dispositivo de protección contra sobrecorriente debe ser de 25 amperes y se debe instalar al final del alimentador, próximo a las terminales primarias del transformador.

4. Los conductores del circuito primario al transformador deben tener una capacidad nominal no inferior que el 125% de la corriente nominal del transformador, es decir:

$$1.25\ x\ 19.7 = 24.625\ Amperes$$

Entonces, en lugar del conductor calibre No. 12 AWG, calculado en el punto 2, de acuerdo con la Tabla 2.7, se requerirá al conductor tipo TW calibre No. 10 AWG.

5. La corriente nominal en el secundario del transformador de 15 KVA es:

$$I_S = \frac{P}{1.732\ x\ V} = \frac{15\ 000}{1.732\ x\ 220} = 39.36\ Amperes$$

La capacidad de conducción de corriente del secundario del transformador al tablero de alumbrado debe ser entonces de:

$$1.25\ x\ 39.36\ = 49.20\ Amperes$$

De acuerdo con la Tabla 2.7 se requieren conductores del tipo TW No. 6 AWG.

6.6 DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas, en su sección 405 establecen las siguientes disposiciones reglamentarias:

Aplicación.

Los requisitos de esta sección se aplican a los tableros integrales de piso y de pared usados para la distribución de circuitos de alumbrado y fuerza en instalaciones de utilización, así como los tableros de control de motores.

Arreglo de las barras colectoras y otros conductores.

a) Las barras colectoras y otros conductores de los tableros de piso y de pared, deben estar localizadas de manera que no estén expuestos a daño mecánico y fijados firmemente en su lugar.

b) La disposición de las barras y otros conductores debe ser tal que se evite el sobrecalentamiento, debido a efectos inductivos.

c) Las terminales para la conexión de los conductores de la carga deben colocarse, preferentemente de manera que no sea necesario pasar con dichos conductores a través o por detrás de las barras colectoras.

d) Se recomienda que la secuencia de fases en las barras colectoras sea A, B, C desde el frente hacia atrás del tablero o de izquierda a derecha, viendo el tablero de frente, según sea la colocación de las mismas barras.

Gabinetes.

Los gabinetes de los tableros de piso y de pared deben fabricarse de material resistente a la corrosión y no combustible.

TABLEROS DE PISO.

Tableros de piso con partes vivas descubiertas:

Los tableros de piso que tengan alguna parte viva descubierta deben estar ubicados en locales permanentes secos y ser accesibles sólo a personas idóneas.

En lugares mojados:

Los tableros de piso que se instalen en locales mojados a la intemperie deben ser "A prueba de intemperie", o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua al interior de sus gabinetes.

Ubicación con respecto a material fácilmente inflamable:

Los tableros de piso deben colocarse de manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de comunicar el fuego a materiales inflamables.

Separación entre el tablero y el techo:

Los tableros de piso que se instalen en locales con techos o plafones de materiales combustibles, deben estar separados un metro, como mínimo, de tales techos o plafones, a menos que se coloque una barrera de material incombustible entre éstos y los propios tableros, o que se trate de tableros totalmente cerrados, en cuyo caso la distancia puede ser menor.

Espacio libre alrededor de los tableros:

Debe dejarse espacio libre alrededor de los tableros de piso, para fines de operación y mantenimiento.

Protección de los circuitos para instrumentos:

Los instrumentos, lámparas indicadoras, transformadores de potencial y otros equipos con bobinas de potencial, deben alimentarse con circuitos que estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente no mayores de 15 amperes, excepto cuando la operación de estos dispositivos de sobrecorriente implique algún peligro en la operación de dichos equipos.

Conexión a tierra de los tableros de piso:

Los gabinetes de los tableros de piso deben conectarse a tierra.

Conexión a tierra de instrumentos, relevadores y transformadores para instrumentos en los tableros de piso:

Los instrumentos, relevadores y transformadores para instrumentos, instalados en los tableros de piso, deben conectarse a tierra.

TABLEROS DE PARED.

Número de dispositivos de sobrecorriente en un tablero de pared:

Un tablero de pared para circuitos derivados de alumbrado y aparatos, debe proveerse de medios físicos para impedir la instalación de un número mayor de dispositivos de sobrecorriente que el número para el cual fue diseñado y aprobado el propio tablero.

Estos tableros no deben contener más de 42 dispositivos de sobrecorriente para circuitos derivados de alumbrado y aparatos, además del dispositivo de protección general.

Para efectos de este artículo, un interruptor automático de dos polos se considerará como dos dispositivos de sobrecorriente y uno de tres polos como tres dispositivos de sobrecorriente.

En lugares húmedos o mojados:

Los tableros de pared que se instalen en lugares húmedos o mojados deben estar provistos de gabinetes adecuados para las condiciones existentes en cada caso, o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua a su interior.

Frente muerto:

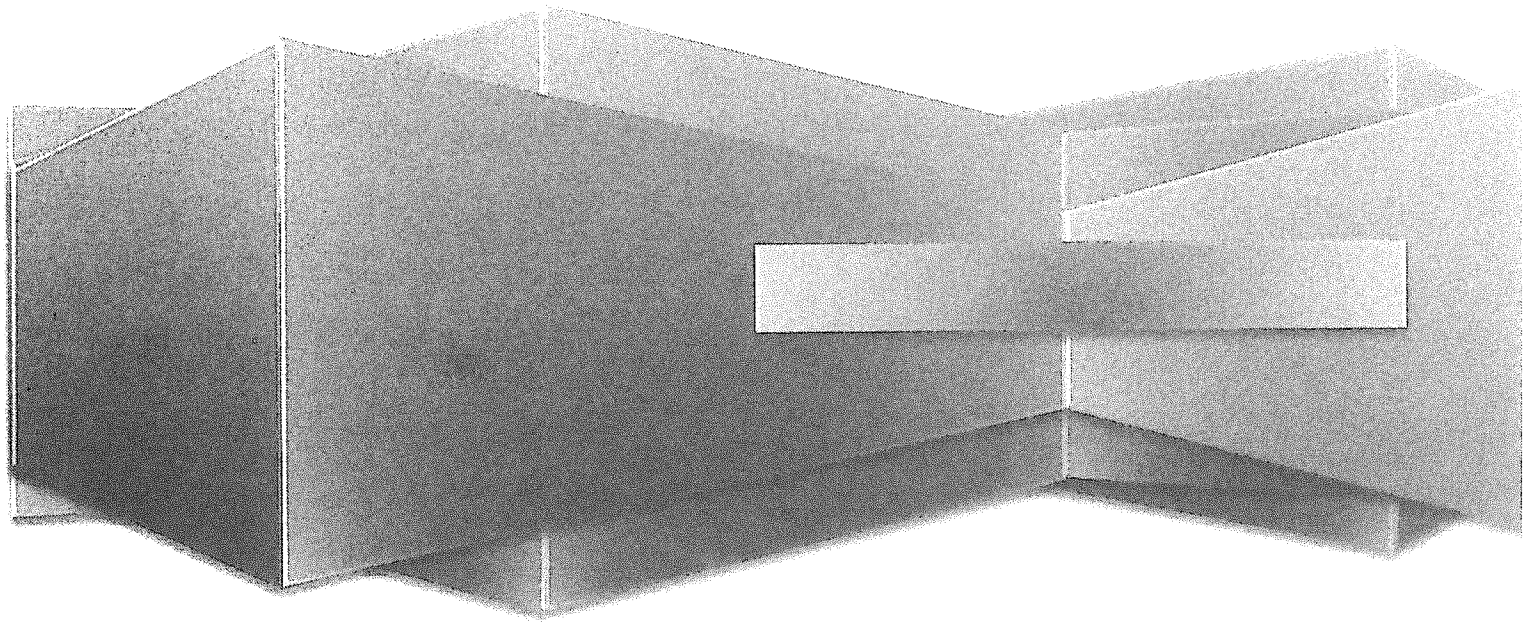
Los gabinetes de los tableros de pared deben ser de frente muerto, salvo el caso en que sean accesibles sólo a personas idóneas.

Conexión a tierra de los tableros de pared:

Los gabinetes de los tableros de pared deben conectarse a tierra.

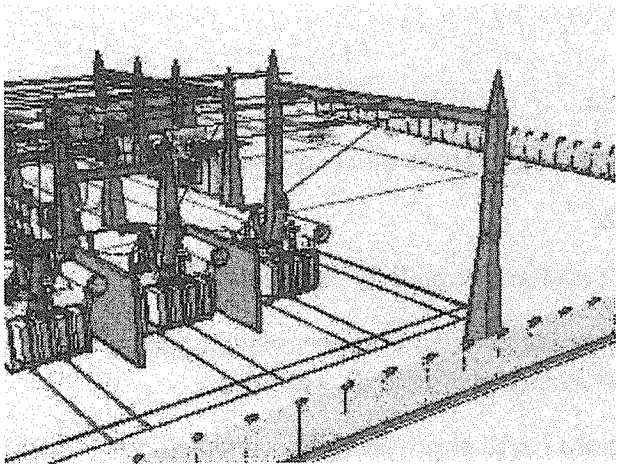
7

ELEMENTOS PARA EL PROYECTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES



ELEMENTOS PARA EL PROYECTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

7

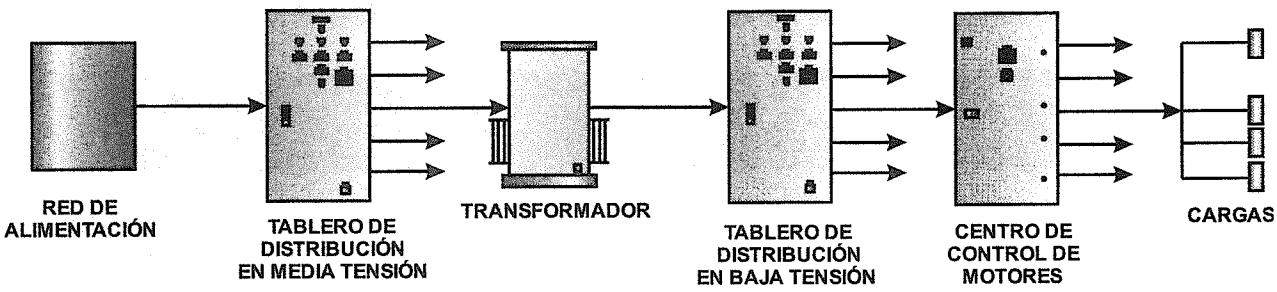


7.1 INTRODUCCIÓN

La parte inicial de un proyecto eléctrico es el establecimiento de las características generales del mismo, desde el punto de vista de sus componentes y de las funciones de éstas, para esto, se puede representar por medio de diagramas de bloque las partes fundamentales de la instalación, que se establecen a partir de los usuarios y llegan hasta el sistema de alimentación de la compañía suministradora de energía eléctrica.

El proyecto de las instalaciones eléctricas en una industria, comprende el dimensionamiento de todo el sistema, que resulta dimensionado cuando se determinan las características de los

elementos contenidos en cada uno de los bloques y las características de los elementos que unen a cada uno de estos bloques.



PROYECTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

ELEMENTOS EN EL PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA INDUSTRIAL.

Las cantidades principales que están en juego en el dimensionamiento de una instalación industrial, son las siguientes:

- Potencia.
- Voltaje y frecuencia.
- Corrientes nominales y corrientes de cortocircuito.
- Factor de potencia.
- Tipo de servicio y características de la demanda.

Algunas de estas cantidades están naturalmente relacionadas entre sí, como son por ejemplo: la potencia, el voltaje, la corriente y el factor de potencia.

Al proyectista que se orienta hacia el proyecto de instalaciones industriales, por lo general se le proporciona la potencia y la ubicación del usuario y el tipo de servicio, a partir de esta información calcula y suministra el resto de la información. Un procedimiento que se sigue para el proyecto de las instalaciones eléctricas del tipo industrial es el siguiente:

- Se determina la potencia total que demanda la instalación (potencia absorbida).
- Se calculan los coeficientes de simultaneidad y de utilización, y se determina la potencia a transmitir por cada alimentador en forma individual.
- Se selecciona el voltaje y sistema de distribución interna.
- Se reagrupan las cargas y se efectúa el dimensionamiento preliminar de la instalación (selección del esquema).
- Se verifican las corrientes de cortocircuito y el factor de potencia.

7.2 ELEMENTOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO ECONÓMICO DEL SISTEMA

Para el proyecto de una instalación industrial relativamente pequeña, donde sólo se requiere de una distribución interna a base de alimentadores para tableros de alumbrado o centros de control de motores, o bien para una instalación industrial de tamaño considerable donde se requiere de un sistema de distribución interno con varios niveles de tensión, los criterios generales de proyecto son aplicables y se refieren principalmente a la optimización de los costos, teniendo en consideración otras características, como son: la seguridad en el suministro de la energía (confiabilidad), funcionalidad etc.

Se puede decir, por lo que respecta a los sistemas eléctricos, que los problemas generales de la selección óptima, son análogos a los de otras instalaciones, sólo se presentan diferencias con las componentes individuales en la ejecución de las particularidades de cada tipo de instalación.

En los párrafos siguientes, se tratarán las principales cuestiones que son de interés para el dimensionamiento preliminar de una instalación eléctrica industrial.

La suma de las potencias instaladas en una industria son, por lo general, superior a la potencia total absorbida, debido a que no todas las cargas operan siempre en las condiciones nominales y algunas tienen un funcionamiento intermitente y discontinuo.

El problema consiste, por lo tanto, en la determinación de la potencia absorbida o demandada, conociendo la potencia instalada.

En la primera fase de un proyecto no se hace notar, pero el valor de la potencia absorbida, carga por carga, se estima en base a datos estadísticos que se obtienen de instalaciones análogas.

En la valoración de la potencia absorbida se introducen dos conceptos fundamentes:

El coeficiente de utilización: que se define como la relación entre la potencia absorbida en condiciones determinadas de operación y la potencia nominal de una carga.

El factor de simultaneidad: que se define como la relación entre la suma de la potencia de una carga en operación y la potencia total instalada de la carga.

La información de las potencias en operación de las máquinas pequeñas alimentadas en baja tensión, es difícil de obtener y requiere de un trabajo arduo y de conocimiento de las características de la instalación.

Se puede hacer una primera estimación sobre la base de la densidad media de carga, que se obtiene de instalaciones análogas anteriores, dividiendo la potencia demandada entre el área de la instalación. De esta manera, se recaba una densidad de carga en W/m^2, que pueden dar una idea aproximada del dimensionamiento general de la instalación. A manera de orientación, se dan los valores de densidades de carga para algunos tipos de industrias.

TABLA 7.1

DENSIDAD DE CARGA PARA ALGUNAS INDUSTRIAS	
TIPO DE INDUSTRIA	**DENSIDAD DE CARGA WATTS/m^2**
INDUSTRIA AZUCARERA	160
CANTERAS	125
FÁBRICAS TEXTILES	110
FÁBRICAS DE CIGARROS	100
FÁBRICAS DE APARATOS ELÉCTRICOS	90
TALLER DE MANTENIMIENTO MECÁNICO Y DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS	65
FÁBRICA DE LÁMPARAS ELÉCTRICAS	45
FÁBRICA DE PEQUEÑAS PARTES MECÁNICAS	30

TABLA 7.2

DATOS DE ENERGÍA CONSUMIDA PARA DISTINTOS TIPOS DE INDUSTRIA		
TIPO DE INDUSTRIA	**ENERGÍA KWH**	**UNIDAD DE PRODUCCIÓN**
AUTOMOTRIZ	1050	1 VEHÍCULO
LECHE, MANTEQUILLA, DERIVADOS DE LA LECHE	300	1 TONELADA
ACERO DE LINGOTE	220	1 TONELADA
ACERO LAMINADO	300-350	1 TONELADA
CARBÓN	25	1 TONELADA
ALAMBRE Y VARILLA DE CERO	11-25	1 TONELADA
OXÍGENO	0.7	1 m^3 DE OXÍGENO
AZÚCAR DE CAÑA	154	1 TONELADA
ZAPATOS	470	100 PARES
PAPEL	475	1 TONELADA
PULPA DE MADERA	335	1 TONELADA

TABLA 7.3

TABLA DE FACTORES DE SIMULTANEIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE SERVICIOS	
MOTORES	**COEFICIENTE DE SIMULTANEIDAD**
MÁQUINAS, HERRAMIENTAS, ELEVADORES, GRÚAS,	0.30
VENTILADORES, COMPRESORAS, BOMBAS	0.30 – 0.60
PROCESOS SEMICONTINUOS, CANTERAS, REFINERÍAS	0.60
PROCESOS CONTINUOS, INDUSTRIA TEXTIL	0.90
HORNOS ELÉCTRICOS	0.80
HORNOS ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN	0.80
HORNOS DE ARCO	1.0
INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN (ALUMBRADO)	
SOLDADORAS DE ARCO	0.30
SOLDADORAS DE RESISTENCIA	0.20

Naturalmente que los valores dados en las tablas anteriores son todos indicativos y pueden variar según sea el grado de automatización de lo industria por proyectar, y también de la diferencia en las tecnologías usadas para la fabricación de un mismo producto, por dos industrias distintas, por ejemplo.

Otro criterio de valoración que orienta en la determinación de la carga por alimentar, consiste en el cálculo directo que existe de la relación entre la energía absorbida y la cantidad del producto que se obtiene, este parámetro permite individualizar los coeficientes de consumo de potencia para cada unidad de producto fabricado, estos datos se dan para algunos productos en la Tabla 7.2.

En base a los valores estimados de la potencia que se demanda, se puede proceder al proyecto de la instalación, definiendo las características fundamentales.

La potencia máxima que demanda un grupo de cargas homogéneas, se obtiene multiplicando la suma de sus potencias nominales por el factor de simultaneidad y por el coeficiente de utilización, para tener en cuenta el hecho de que no todas las cargas están simultáneamente conectadas a la red de alimentación. Naturalmente que el factor de simultaneidad y el coeficiente de utilización son menores que la unidad. De hecho, la capacidad del transformador que alimenta las cargas conectadas se calcula como:

$$P_T = P_1 \, x \, FD \, x \, FS$$

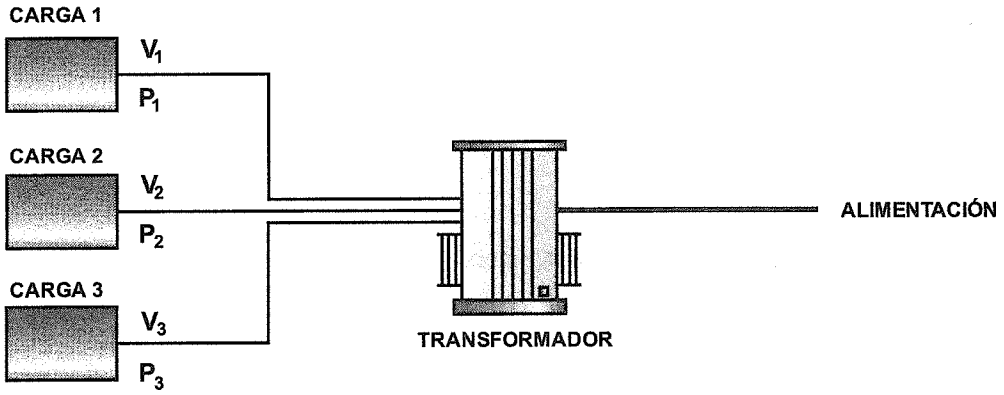
DONDE:

P_T = Capacidad del transformador (potencia).
P_1 = Carga o potencia instalada.
F_D = Factor demanda (coeficiente de utilización)
F_S = Coeficiente o factor de simultaneidad.

Dada la condición aleatoria para un cálculo preciso de los valores de los coeficientes de simultaneidad y de utilización (Factor de demanda), los dos coeficientes se integran en uno y se le denomina en general **FACTOR DE SIMULTANEIDAD,** entendiéndose por este el producto de los dos. Algunos valores de este factor de simultaneidad compuesto se dan en la Tabla 7.3.

En el dimensionamiento de la instalación, es decir, en la determinación de la capacidad del banco del transformador, se debe tomar en consideración que para periodos breves de tiempo, las máquinas y sus alimentadores pueden soportar sobrecargas que son tanto mayores cuanto menor es la duración de las mismas.

Por otra parte, el sistema se debe dimensionar de manera tal que, siempre se tenga la posibilidad de alimentar la instalación en correspondencia con la máxima demanda. El diagrama de bloque simplificado de las características generales de alimentación es el que se muestra a continuación:



V_1 , V_2 , V_3 , ..., VOLTAJES EN LAS CARGAS

P_1 , P_2 , P_3 , ..., POTENCIA NOMINAL INSTALADA POR CARGA O GRUPO DE CARGAS

7.2.1 SELECCIÓN DE LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN A LA INSTALACIÓN.

En la misma forma que existe un criterio general para determinar la capacidad del transformador de la subestación para un a industria, existen ciertas reglas generales relacionadas con los voltajes más convenientes a utilizar en la industria, ya sea para la alimentación de los motores eléctricos que accionan a los distintos componentes de un proceso.

A manera indicativa, en las Tablas siguientes, se dan algunos de estos valores:

TABLA 7.4

VALORES DE VOLTAJES RECOMENDABLES PARA MOTORES ELÉCTRICOS SEGÚN SU POTENCIA

POTENCIA DEL MOTOR (HP)	VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN (TRIFÁSICO)
0 – 75	220 V
75 – 250	440 V
250 – 1000	2300 V
300 – 4000	4160 V
MÁS DE 5000	13200 V

Con relación al voltaje general de alimentación a la instalación eléctrica en general, desde luego que está relacionado, como se indica en la Tabla 7.4, con el voltaje de alimentación a los

motores o en su caso a los centros de control de motores, pero también está relacionado con dos aspectos importantes:

- La tensión de distribución de la compañía suministradora.
- La carga por alimentar.

La Tabla 7.5 es indicativa de la selección recomendable del voltaje de alimentación a la instalación.

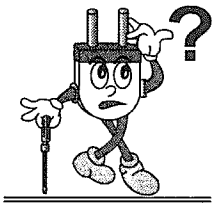
TABLA 7.5

VALORES DE TENSIONES DE ALIMENTACIÓN A UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	
CARGA EN KVA	**VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN (TRES FASES)**
0 – 75	220/127 V
0 – 300	220/127 V
300 – 750	440/254 V
750 – 1500	440/254 V
1500 – 3000	2440 V
1000 – 20000	4160 V
MÁS DE 10000	13.2 V

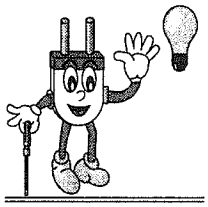
Los valores de carga que se traslapan con dos posibles voltajes de alimentación, están relacionados con la distancia a que se debe alimentar las cargas, en este caso, los centros de carga que la subestación principal, en donde es importante respetar los máximos valores permisibles de caída de voltaje (5% entre alimentador y circuitos derivados).

Para cálculos en una primera aproximación, se puede hacer uso de los valores reportados en las tablas anteriores, es decir, la carga eléctrica se puede determinar en función de la superficie construida de la obra, pasando posteriormente al cálculo particular de cargas, como se ha indicado en los Capítulos 2 y 3 para:

- Circuitos derivados.
- Salidas de alumbrado.
- Salidas de contactos.
- Alimentadores a conjuntos de cargas y centros de control de motores.



EJEMPLO 7.1 Estimar la carga y el voltaje de alimentación para una fábrica de aparatos electrónicos que tiene una superficie construida de 450 m^2.



SOLUCIÓN De la Tabla 7.1, para una fábrica de aparatos electrónicos, se puede tomar una densidad de carga de 90 watts/m^2, por lo que la carga conectada es:

$$P_1 = 90\ x\ 450 = 40\ 500\ watts$$

Es decir: P_1 = 40.5 kW

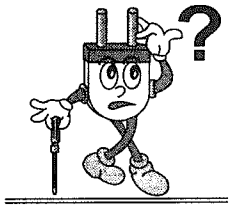
Considerando un factor de demanda y de simultaneidad combinado de 0.6, la capacidad del transformador debe ser:

$$P_T = P_I\ x\ F_S = 40.5\ x\ 0.6 = 24.3\ kW$$

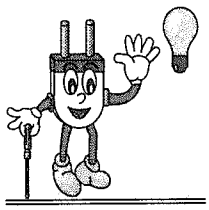
Estimando un factor de potencia de 0.85:

$$KVA = \frac{kW}{Cos\varphi} = \frac{24.3}{0.85} = 28.58$$

De acuerdo con la Tabla 7.3 y a reserva de verificar las características particulares de la carga, esta industria se puede alimentar a 220/127 volts.



EJEMPLO 7.2 Estimar la carga y el voltaje de alimentación que son recomendablés para alimentar las cargas de una industria azucarera (Ingenio) cuyas dimensiones se desconocen, pero se sabe que se deben producir 2000 toneladas de azúcar de caña, por turno de trabajo de 10 horas, y se sabe también que se tendrán motores eléctricos de 10 a 75 HP y de 75 a 250 HP.



SOLUCIÓN De la Tabla 7.2, para una industria azucarera, el consumo promedio por tonelada de azúcar producida es de 154 kWh, de manera que si por turno de 10 horas se producirán 200 toneladas, el consumo será entonces de:

$$P = \frac{154\ x\ 2000}{10} = 30800\ kW$$

Considerando un factor de demanda y utilización combinados de 0.6, la capacidad del transformador deberá de ser:

$$KVA = 30800\ x\ 0.6 = 18\,480$$

Para esta potencia, de la Tabla 7.5, se sabe que el voltaje de alimentación debe ser superior a 13.2 kV (posiblemente 69 ó 115 kV).

De acuerdo con la Tabla 7.4, los motores entre 10 y 75 HP se podrán alimentar a 220 V entre gases y los motores de 75 a 25 HP se alimentarán a 440 volts.

7.3 LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Del Ejemplo 7.2, se observa que la energía eléctrica que es necesario suministrar a una instalación eléctrica, ya sea industrial, comercial, o bien a edificios habitacionales, puede ser a voltajes de alimentación que son muy altos para las cargas, por ejemplo, alimentar a 13.2 kV resulta ser un voltaje demasiado alto para motores eléctricos de 20 Hp que se alimentan normalmente a 220 V, por este motivo, es necesario convertir o transformar los voltajes de alimentación a niveles adecuados utilizables directamente por las cargas dentro de sus rangos de alimentación.

Para esta transformación de la energía eléctrica de un nivel de voltaje a otro más adecuado, se usa un conjunto de equipos que no sólo transforman, también controlan y regulan la energía eléctrica, y que reciben el nombre de **"SUBESTACIÓN ELÉCTRICA"**.

Para el caso específico de las instalaciones industriales, dentro de la clasificación general de las subestaciones eléctricas, las subestaciones más usadas son las denominadas abiertas y las de tipo compacto.

Las llamadas subestaciones abiertas son de hecho las subestaciones principales en industrias en donde se manejan cargas considerables, en tanto que las compactas se usan en industrias menores, edificios de apartamentos y comercios principalmente, dadas sus características ofrecen algunas ventajas importantes, como son:

- Su costo relativamente bajo.
- Ocupan poco espacio, son fáciles de instalar, ampliar y relocalizar en un momento dado.
- Su construcción es totalmente blindada, por lo mismo son de frente muerto, proporcionado de esta manera mayor seguridad.

El diagrama unifilar simplificado de una subestación representa una forma de indicar los elementos que la constituyen y tienen la forma siguiente:

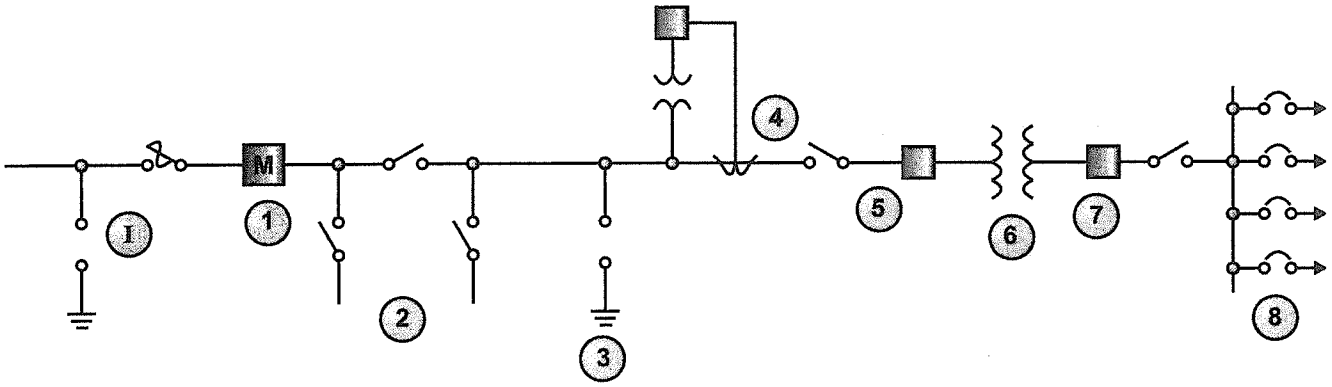


DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DE UNA SUBESTACIÓN

Del diagrama unifilar simplificado anterior, los principales elementos constituidos son los siguientes:

I. APARTARRAYOS Y CUCHILLA FUSIBLE

Este equipo es proporcionado por la compañía suministradora en el punto de alimentación, su ubicación depende del voltaje de alimentación de la carga, de la distancia a la red suministradora, etc. El apartarrayos tiene la función de proteger la instalación contra sobretensiones de origen atmosférico principalmente, la cuchilla fusible es un elemento de protección *(cuando se funde el fusible por la sobrecarga a cortocircuito)* y de desconexión. En algunas ocasiones se reemplaza por otro equipo como restauradores, dependiendo de la importancia de la red, nivel de falla, criterios de operación y protección, etc.

1. **Equipo de medición:**

El equipo de medición lo suministra e instala la compañía suministradora en el lado de alimentación para capacidades en la subestación de 500 KVA o mayores.

2. **Cuchillas de prueba:**

Generalmente estas cuchillas desconectadoras son de operación en grupo y sin carga, su propósito es permitir la conexión de equipos de medición portátiles, que permiten verificar al equipo instalado por la compañía suministradora.

3. **El apartarrayos:**

Sirven para proteger a la subestación y principalmente al transformador contra las sobretensiones de origen atmosférico.

4. **Cuchillas desconectadoras:**

Normalmente son de operación sin carga, sirven para conectar, desconectar o cambiar conexiones en instalación. Por lo general, se accionan después de que se ha operado al interruptor.

5. **Interruptor general:**

Este equipo es de seccionamiento de la operación, tiene funciones de desconexión con carga o con corrientes de cortocircuito, es decir, cumple con requisitos de control y protección del equipo de transformación, alimentadores y cargas en general.

6. **Transformador:**

Es el elemento principal de la subestación, ya que cumple con la función de reducir el voltaje de alimentación de la compañía suministradora a los voltajes de utilización de las cargas, constituyen junto con el interruptor general los elementos centrales de la subestación eléctrica.

Desde el punto de vista de su construcción, que normalmente está relacionado con su potencia *(capacidad)* los transformadores pueden ser:

- De tipo interior o intemperie.
- De montaje en poste o en piso.
- Por su enfriamiento:

- Tipo seco *(enfriamiento por aire)* A
- Enfriamiento por aceite y aire con circulación de aire forzado OA
- Enfriamiento por aceite y aire con circulación de aire forzado OA/FA
- Enfriamiento por aceite y aire con circulación de aceite forzado OA/FOA

Las principales características a especificar son las siguientes:

- Potencia o capacidad (kVA).
- Voltajes primario y secundario (relación de transformación).
- Número de fases y conexión primaria y secundaria (en caso de ser trifásicos).
- Frecuencia de operación (Hertz).
- Número y porciento de cada paso de las derivaciones, arriba y debajo de la tensión nominal, tipo de enfriamiento.
- Altura sobre el nivel del mar de operación del transformador.
- Tipo de servicio.
- Impedancia (en porciento).
- Sobreelevación de temperatura permitida (en ^{o}C)
- Condiciones especiales de servicio (ambientes corrosivos, ambientes explosivos, etc.)
- Accesorios.

De los renglones anteriores, vale la pena hacer algunos comentarios sobre los aspectos relevantes a considerar, por ejemplo:

a) <u>La capacidad del transformador</u>

Como se indicó antes, se calcula a partir del valor de la potencia instalada (P_I) y los factores de demanda (F_D) y utilización (F_U) o la combinación de ellos: (F_S)

$$\boxed{P_t = P_I \, x \, F_D \, x \, F_s}$$

Esta potencia se expresa normalmente en KVA y debe entregar por un tiempo especificado en condiciones de voltaje y frecuencia de diseño, sin exceder los límites de temperatura que

establece la norma, que para el caso de los transformadores en aceite la temperatura promedio de un devanado no debe exceder de 65°C sobre una temperatura promedio de 30°C y máxima de 40°C.

Cuando la temperatura ambiente promedio máxima excede a los valores indicados, pero sin ser mayor a la promedio de 30°C, y opera a una altura superior a 1000 m.s.n.m. para la cual se diseñan, como se sabe a altitudes superiores a la de diseño, el aire se enrarece y la capacidad de disipación de calor disminuye y por lo tanto su capacidad en un valor de aproximadamente 0.4% por cada 100 m. en exceso de los 1000 m. Se pueden operar también los transformadores a sus capacidades nominales a alturas superiores a los 1000 m.s.n.m. siempre que la temperatura ambiente promedio máxima no exceda de 3°C/1000 m por debajo de 30°C.

TABLA 7.6

CAMBIO DE LA CAPACIDAD NOMINAL DE TRANSFORMADORES POR VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y ALTITUD	
ALTURA EN OPERACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA (°C)
1000	30
2000	27
3000	24
4000	21

b) Impedancia

El valor de la impedancia es una de las características de **"placa"** de los transformadores, su valor se expresa en porciento y representa la caída de voltaje expresada en porciento para el circuito equivalente del transformador, este valor de impedancia permite:

- Calcular el valor de la regulación.
- Intervenir para el cálculo de las corrientes de cortocircuito.
- Analizar las condiciones de operación en paralelo con otro(s) transformador(es).

Algunos valores típicos de impedancias para transformadores usados en instalaciones industriales, se dan en la tabla siguiente:

TABLA 7.7

VALORES TÍPICOS DE IMPEDANCIAS EN TRANSFORMADORES		
VOLTAJE EN EL DEVANADO DE ALTO VOLTAJE (VOLTS)	VOLTAJE EN EL DEVANADO DE BAJO VOLTAJE (VOLTS)	
	2400 O MAYOR	480
2400 – 23000	5.5	5.7
23000 – 34500	6.0	6.2
44000	6.5	6.7
69000	7.0	---
115000	7.5	---

c) Conexión primaria y secundaria

Por lo general la alimentación se hace en conexión estrella con el neutro aterrizado.

d) Frecuencia de operación

En México la frecuencia es de 60 Hz.

e) Accesorios

Se deben especificar los accesorios especiales para el transformador, según sea su capacidad, estos accesorios pueden ser entre otros: termómetro indicador de la temperatura interior, cambiador de derivaciones, tanque conservador, indicador de nivel de aceite, ganchos de sujeción, posición de las gargantas *(para subestaciones unitarias)*, base para rolar caja para acoplamiento con tablero, etc.

7. Interruptor principal secundario

Este interruptor se encuentra en el tablero de baja tensión y es el que protege a los alimentadores o circuitos derivados (según sea el caso) de la instalación, puede ser un pequeño volumen de aceite, termomagnético, electromagnético o en vacío, según sea el tamaño de la instalación.

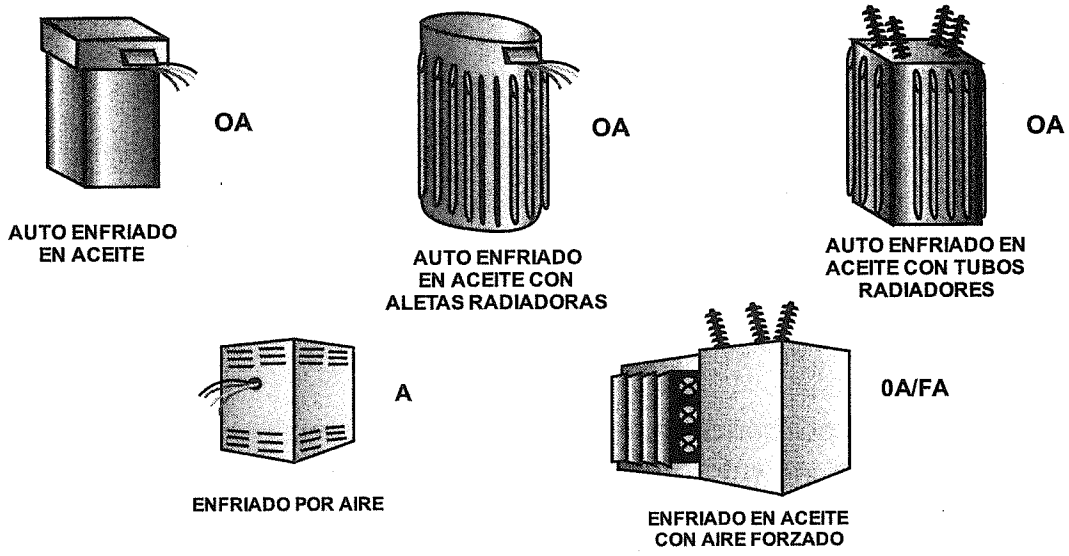
8. Interruptores principales de circuitos derivados y de alimentadores

Estos son los interruptores principales de centros de carga, centros de control de motores, motores circuitos de alumbrado, etc., por lo general, son termomagnéticos o electromagnéticos, según sea su capacidad.

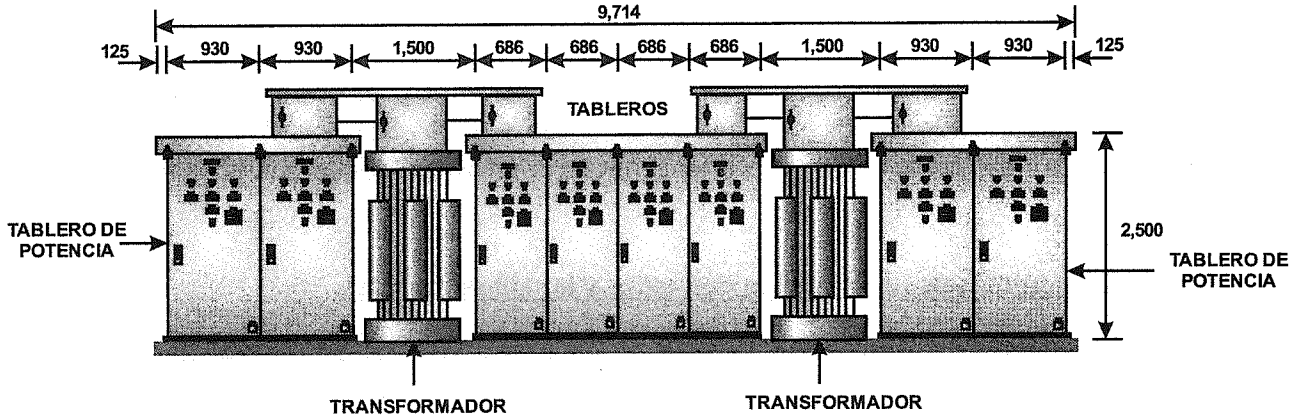
7.4 ESTIMACIÓN DEL ÁREA SERVIDA

Cuando se ha calculado la potencia de un transformador, por lo general se cae a valores normalizados de potencia, tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente para el transformador, ya que el valor calculado difícilmente corresponde a las capacidades de fabricación normales, por lo que se toman los valores inmediatos superiores al calculado, dado que económicamente no representa una gran diferencia. Es decir, se selecciona la potencia del transformador dentro de la franja óptima, en base a la densidad de carga media dentro del área en la que se encuentra dividida la instalación.

Las dimensiones de esta área son función de la caída de tensión considerada como aceptable, por ejemplo, se ha mencionado que 5% es el valor fijado por la Norma NOM-001-SENER (Normas Técnicas), para 440 V. La caída de voltaje es de 22 V.



TIPOS DE ENFRIAMIENTO EN TRANSFORMADORES



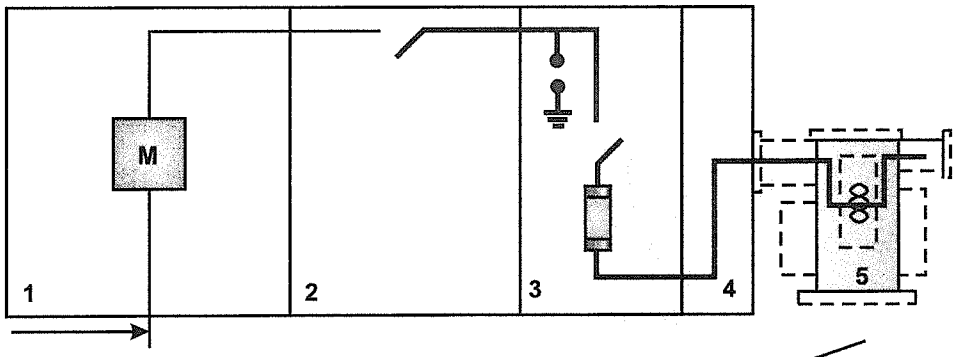
VISTA DE UNA SUBESTACIÓN UNITARIA

DIMENSIONES SUBESTACIÓN INTERIOR

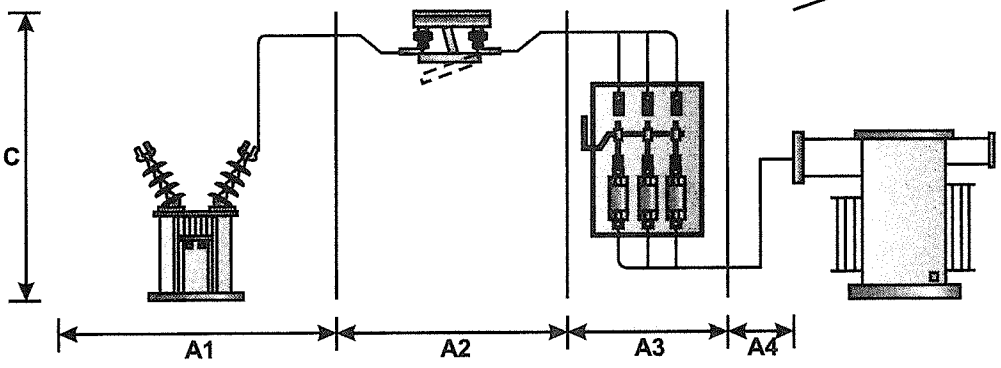
TENSIÓN	MEDICIÓN (mm)				CUCHILLAS PRUEBA (mm)				CORTO CIRCUITO (mm)				ACOPLADOS (mm)			
kV	A1	B	C	D	A2	B	C	D	A3	B	C	D	A4	B	C	D
7.5	1,000	1,200	2,100	250	700	1,200	2,100	180	1,000	1,200	2,100	325	300	1,200	2,100	150
15.0	1,000	1,200	2,100	250	700	1,200	2,100	180	1,000	1,200	2,100	325	300	1,200	2,100	175
23.0	2,000	2,000	2,600	325	700	200	2,600	230	1,200	200	2,600	425	550	2,000	2,600	200
34.5	1,800	200	300	425	1,000	2,000	3,000	490	1,650	2,000	3,000	550	800	2,000	3,000	260

SUBESTACIÓN COMPACTA CON CUCHILLAS DE PASO, 2 1/2 SECCIONES Y ACOPLAMIENTO A TRANSFORMADOR

1.- SECCIÓN DE MEDICIÓN
2.- SECCIÓN DE CUCHILLAS DESCONECTADORAS
3.- SECCIÓN DE CORTACIRCUITOS
4.- SECCIÓN DE ACOPLAMIENTO
5.- TRANSFORMADOR

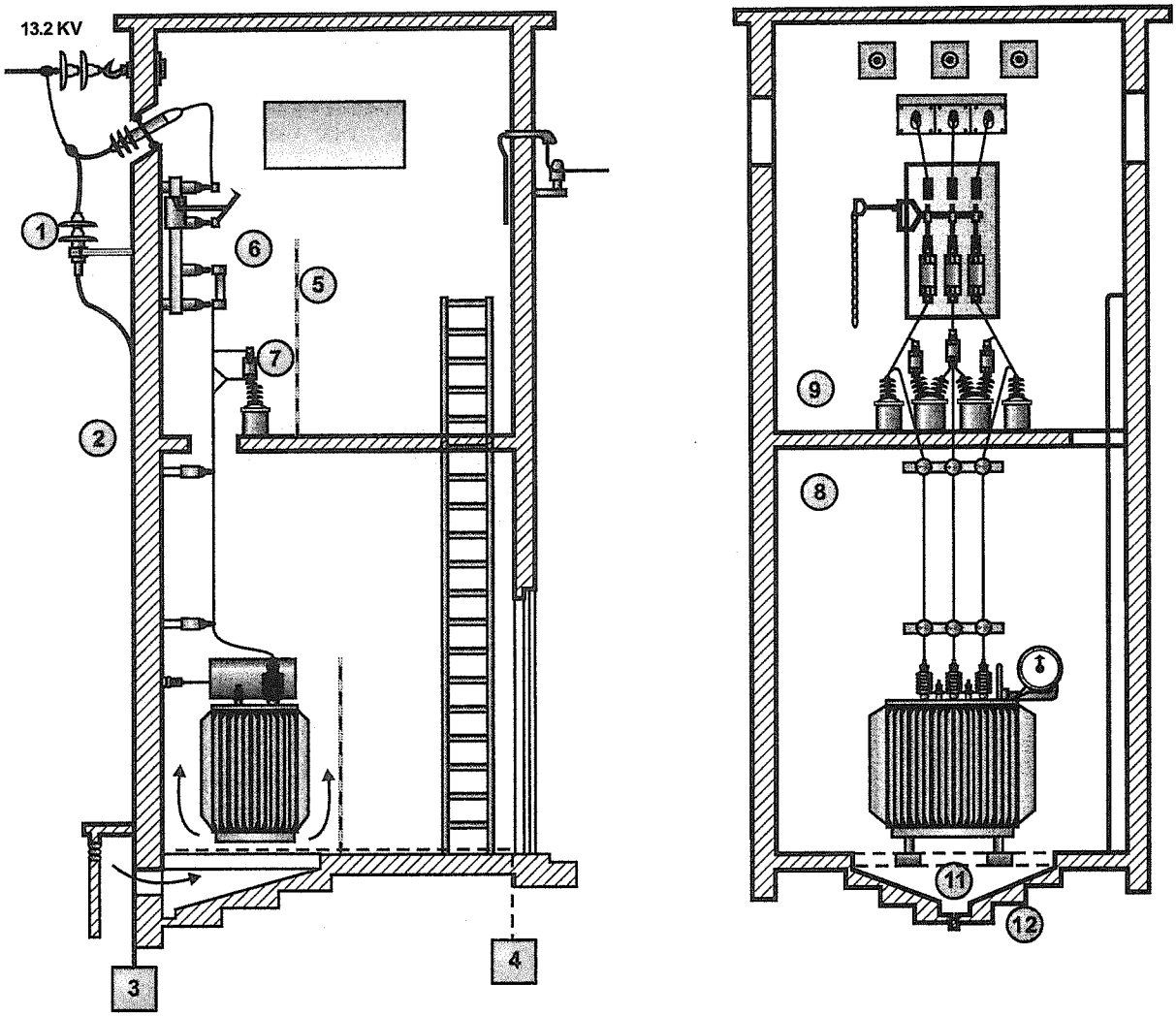


A.- 1-2-3-4 FRENTE
B.- FONDO
C.- ALTURA
D.- PESO



ARREGLO FÍSICO

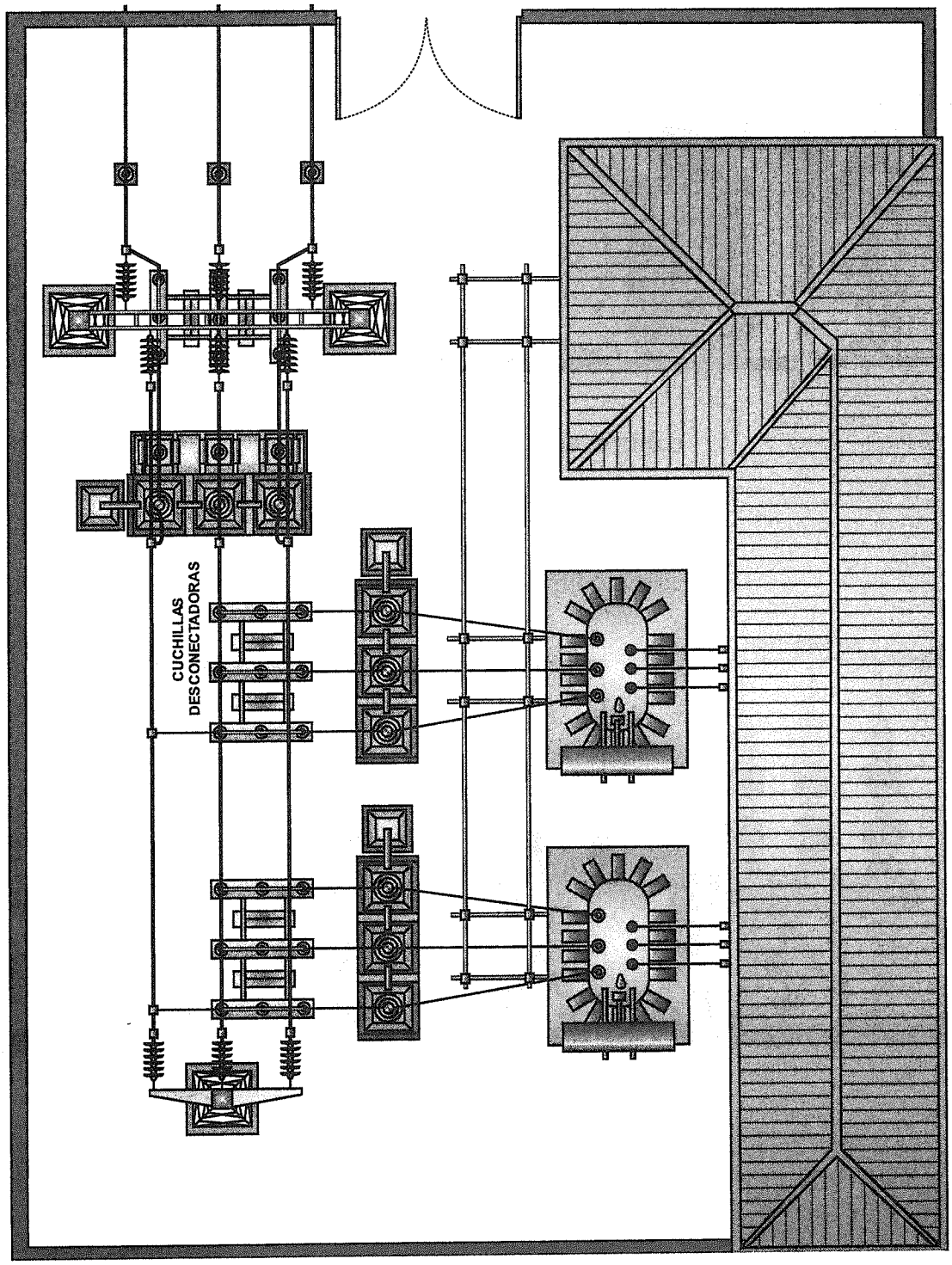
VISTA DE UNA SUBESTACIÓN TIPO INTERIOR
13.200 / 440 - 220 VOLTS, 250 KVA



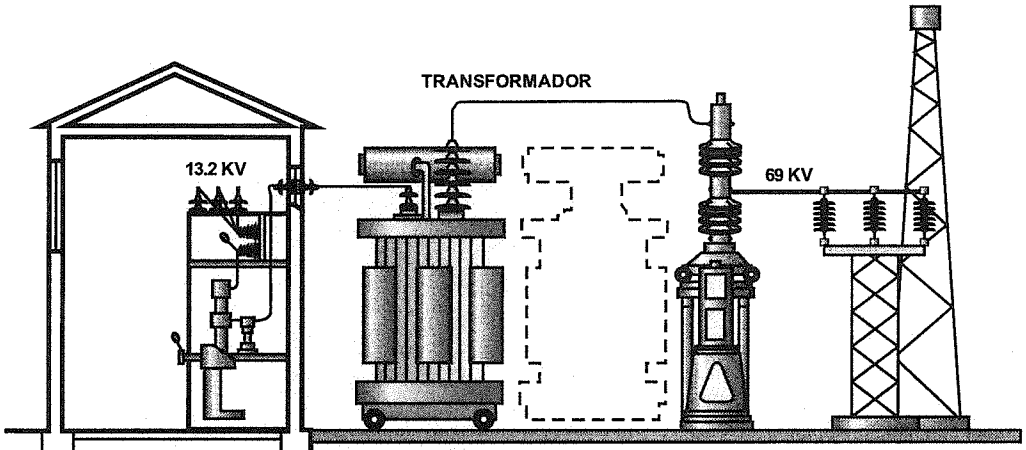
1. .- APARTARRAYOS.
2. .- CONDUCTOR DE TIERRA (SEC MÍNIMA 16mm ^{2}).
3. .- DISPERSOR (ELECTRODO) DEL APARTARRAYOS.
4. .- DISPERSOR (ELECTRODO) DE LA RED DE TIERRAS.
5. .- REJA DE PROTECCIÓN.
6. .- CUCHILLA DESCONECTADORA.
7. .- FUSIBLES.
8. .- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.
9. .- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.
10. .- TABLERO DE MEDICIÓN Y MANIOBRA.
11. .- DUCTO DE VENTILACIÓN.
12. .- DRENAJE PARA EL ACEITE.

PROYECTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

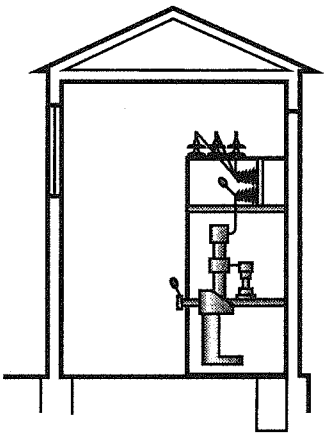
VISTA EN PLANTA DE UNA SUBESTACIÓN DE 69 / 13.2 kV PARA INDUSTRIAS MEDIAS



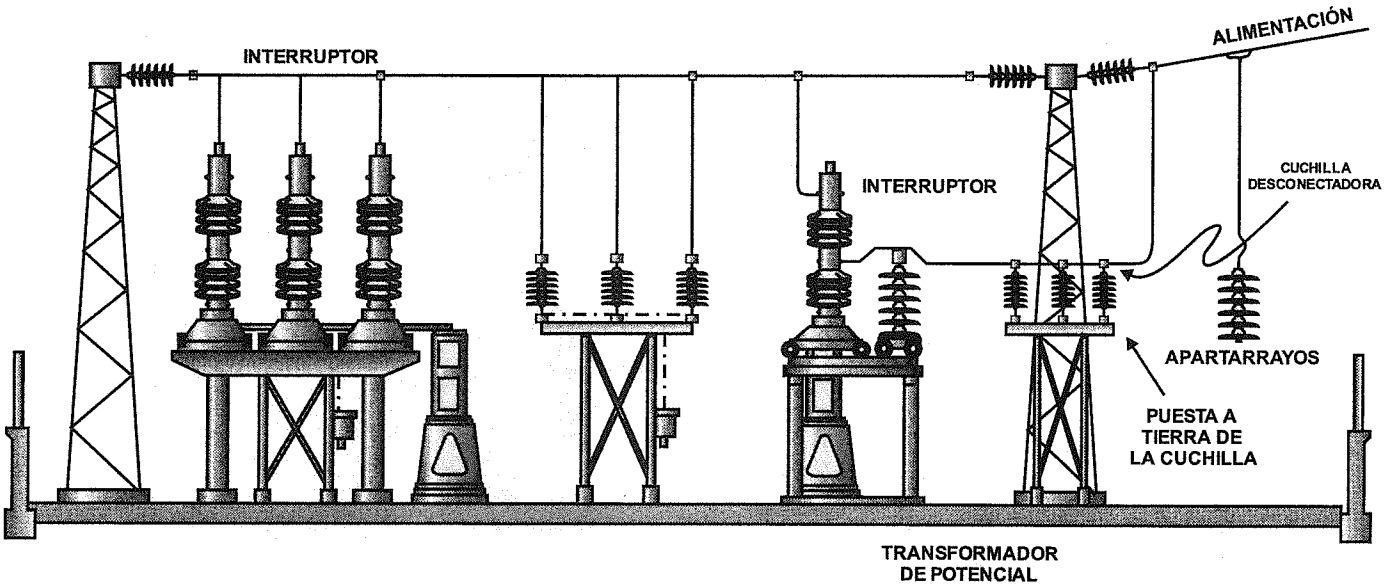
VISTA EN PLANTA DE UNA SUBESTACIÓN DE 69 / 13.2 kV PARA INDUSTRIA MEDIANA



CORTE B - B'



CORTE C - C'



CORTE A - A'

7.4.1 ESQUEMAS DE ALIMENTACIÓN.

Como se ha indicado antes, un sistema de alimentación de energía eléctrica está caracterizado principalmente por las siguientes partes:

a) Red de alimentación de la compañía suministradora, que puede ser aérea o subterránea.

b) Subestación para transformación del voltaje.

c) Sistema de distribución en baja tensión.

d) Tableros de control de las cargas.

e) Tableros de control de circuitos derivados.

Las funciones principales de cada uno de los elementos descritos antes son las siguientes:

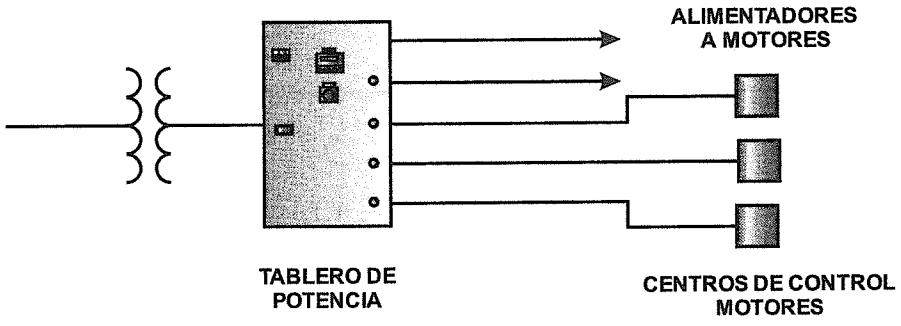
- La red de alimentación de la compañía suministradora alimenta la potencia requerida por la industria al nivel de voltaje usado, que normalmente no es el que necesitan los distintos tipos de cargas en la instalación.
- La subestación eléctrica es el conjunto de elementos encargados de transformar la energía eléctrica entregada en Alta Tensión o Media Tensión por la compañía suministradora, a los valores de tensión necesarios por las cargas de la instalación.
- Los centros de control de motores, tableros y centros de carga agrupan cargas a través de alimentadores y circuitos derivados, incluyendo los aparatos de protección de estos alimentadores, circuitos derivados y cargas.

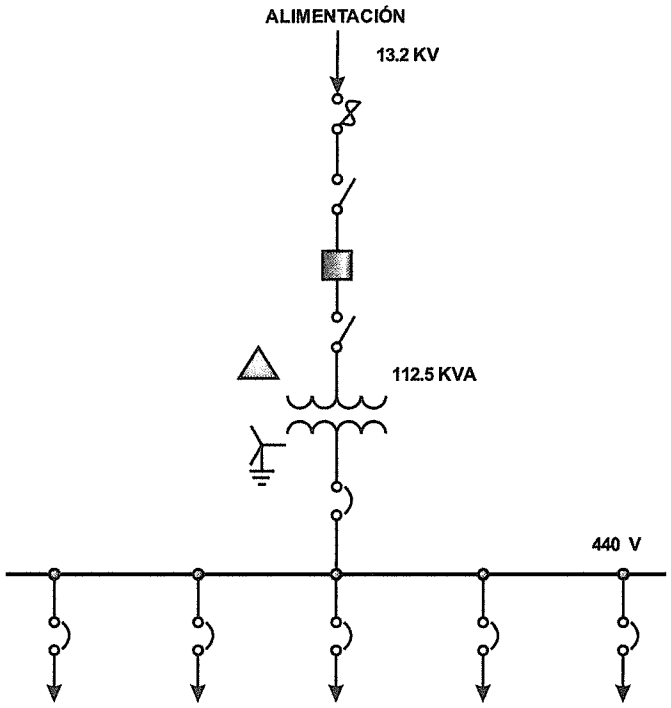
  El esquema de alimentación más simple es aquel que se conoce como **"radial"** y del cual se pueden derivar todos los esquemas usados para conectar las distintas partes de un sistema eléctrico.

  Los argumentos usados para proponer o justificar un determinado esquema de alimentación se basan, por lo general, en dos aspectos que se deben balancear.

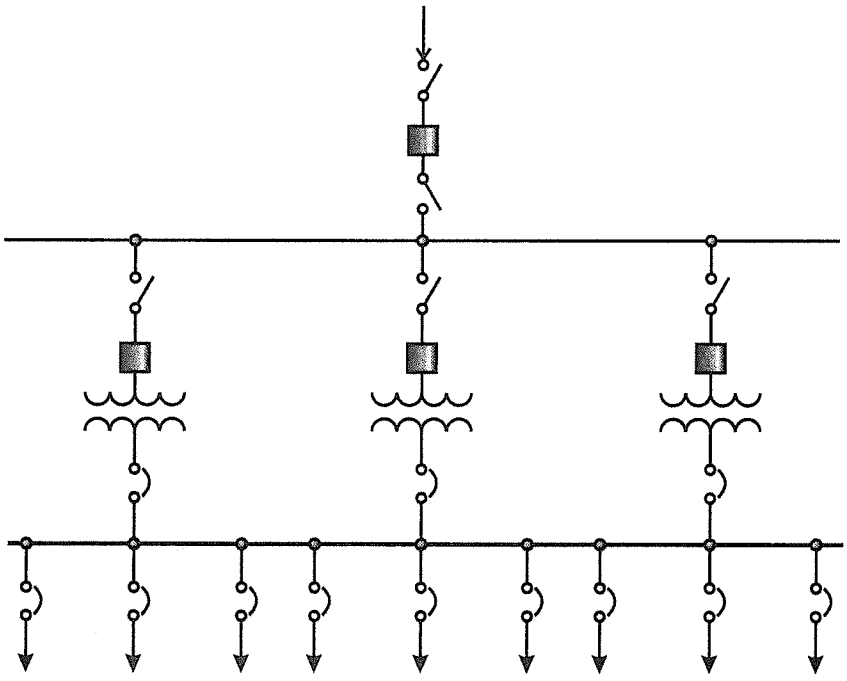
  La necesidad de una elevada confiabilidad (seguridad en el suministro de la energía) en la instalación.

  El costo de la instalación.





ALIMENTACIÓN RADIAL SENCILLA CON UNA SUBESTACIÓN



SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INDUSTRIAL CON VARIAS SUBESTACIONES

7.4.2 DISTRIBUCIÓN POR CENTRO DE CARGA.

Un criterio muy usado para la alimentación de cierto tipo de industrias es el de la distribución por centro de carga, cuyas características más sobresalientes son las siguientes.

- En instalaciones grandes, la potencia se puede distribuir a una tensión primaria de 2.4 kV a 13.2 kV hacia la subestación, que deben estar preferentemente cercana al centro de carga. Esta potencia se transforma a baja tensión y se transmite a las cargas por medio de alimentadores y/o circuitos derivados de la longitud más corta posible.

- Cuando en una cierta zona de la instalación, la potencia demandada por las cargas no se puede suministrar de un sólo transformador, por ejemplo, de una potencia hasta 1500 kVA, entonces se pueden instalar otras unidades de la misma potencia.

Concentrar la potencia de una instalación en un transformador de potencia relativamente grande, en un sólo punto de la instalación, puede tener una serie de desventajas como las que se mencionan a continuación:

- Altos valores de corrientes de cortocircuito.
- Mayores pérdidas a mayor manejo de corriente en los circuitos.
- Elevadas caídas de tensión para cargas distantes del transformador.
- Longitud excesiva de los conductores de baja tensión.
- Problemas para ampliaciones.

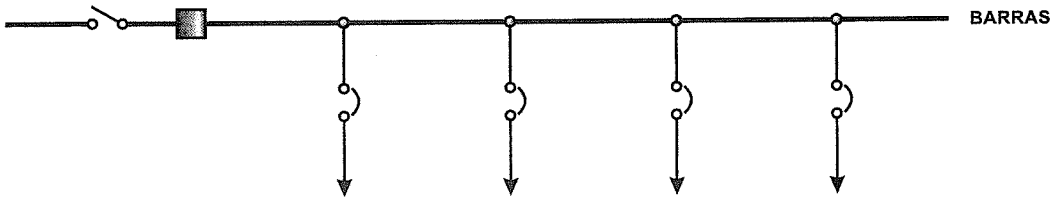
Usar el método de distribución por neutro de carga, es decir, no concentrar la carga, más bien distribuirla convenientemente en distintos centros, presenta las siguientes ventajas.

- Mayor continuidad de servicio, aún en el caso de falla, ya que se limita sólo a una zona de la instalación.
- Posibilidad de localizar e instalar fácilmente la subestación unitaria y prever ampliaciones futuras.
- Posibilidad de especificar subestaciones unitarias y centros de carga prefabricados.

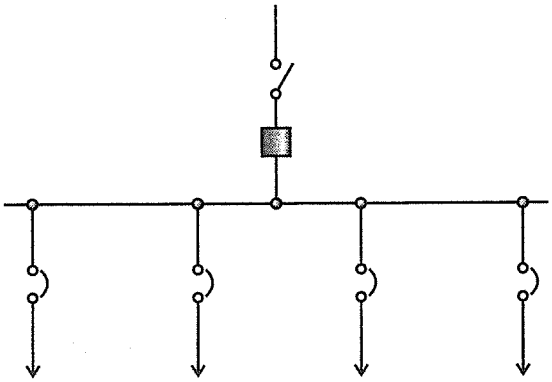
7.4.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN A LAS CARGAS.

Una vez que se ha estudiado la distribución general de la instalación, se pasa a examinar detalladamente las cargas concentradas en los llamados centros de carga.

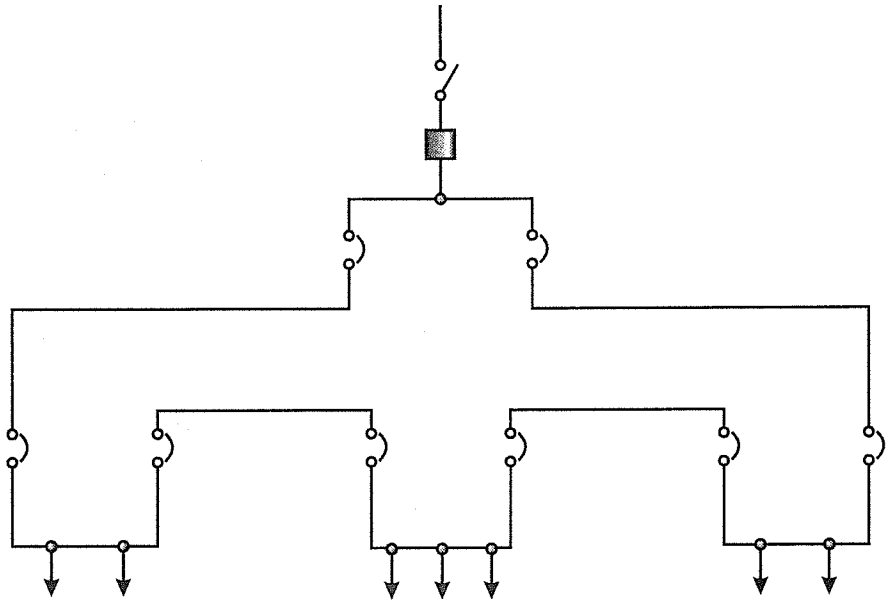
La selección de las posibles soluciones, depende de la doble exigencia, tanto eléctrica como tecnológica. En general, la distribución se puede hacer radial o en anillo.



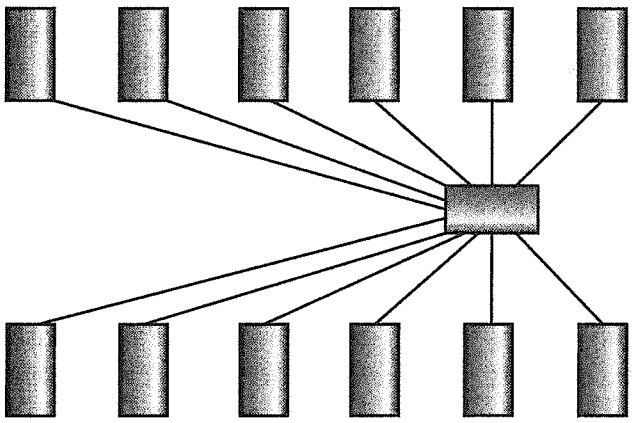
ALIMENTACIÓN AL EXTERIOR DE LA LÍNEA



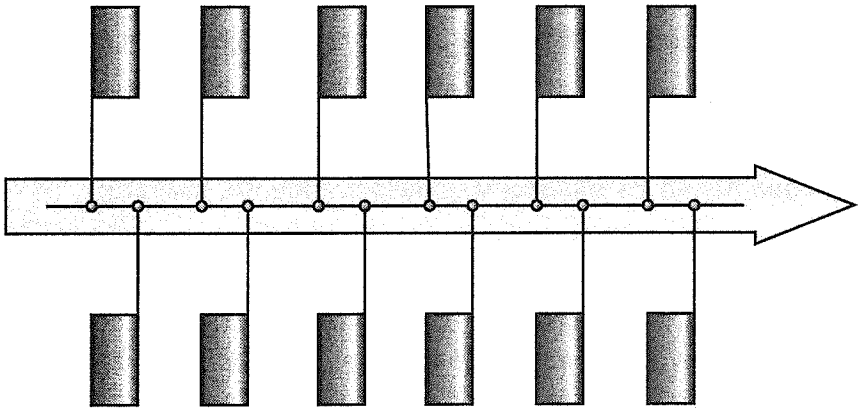
ALIMENTACIÓN AL CENTRO DE LA LÍNEA Y DERIVACIONES MÚLTIPLES



DISTRIBUCIÓN EN ANILLO



SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DESDE UN PUNTO
(SE ALIMENTAN LAS CARGAS EN FORMA RADIAL)



SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LINEAL
(USADO EN INDUSTRIAS, LABORATORIOS,
ALIMENTACIÓN A MÁQUINAS HERRAMIENTAS)

7.5 PLANTAS DE EMERGENCIA

Los sistemas de emergencia tienen la función de suministrar energía cuando falla el sistema principal de alimentación de energía eléctrica, y es importante que por el tipo de actividad o función que se desempeñe, no se interrumpa el servicio, es así como las plantas de emergencia son comunes en: hospitales, hoteles, teatros, cines, industrias de procesos continuos.

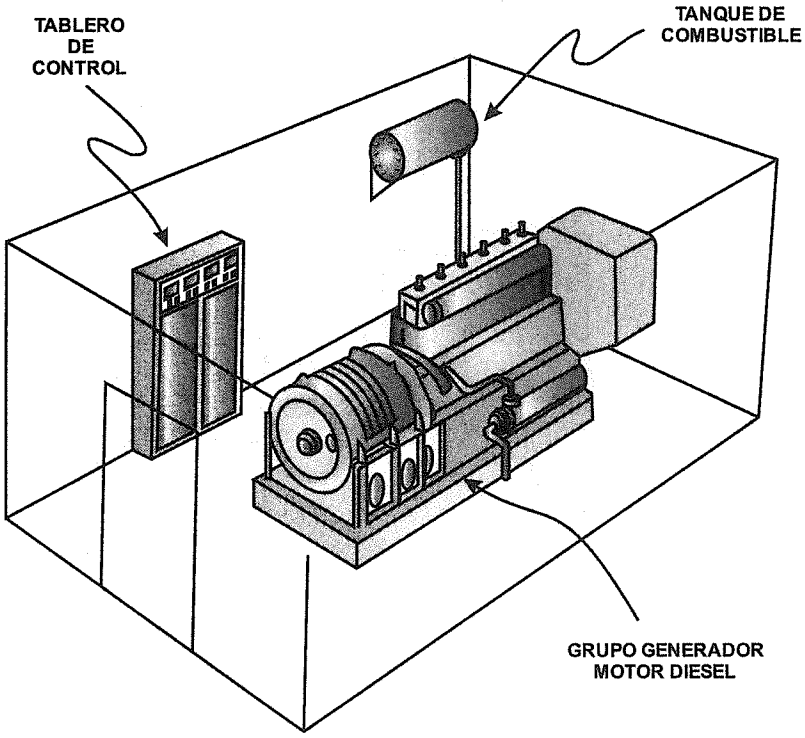
Debido a que la función principal de estas plantas de emergencia es suministrar la energía a las cargas consideradas como estrictamente de emergencia, y por lapsos de tiempo relativamente cortos, su capacidad queda comprendida entre 30 y 1000 kW, y por lo general, son accionadas por motor de combustión interna diésel, gasolina o gas. Para plantas de emergencia de alta capacidad, dentro de su rango, se prefiere el diésel como combustible, por ser relativamente económico, ser menos inflamable y tener un mayor poder calorífico que otros combustibles.

La planta de emergencia está constituida principalmente por un grupo motor–generador, el motor normalmente es de combustión interna, y sus características principales a especificar son las siguientes:

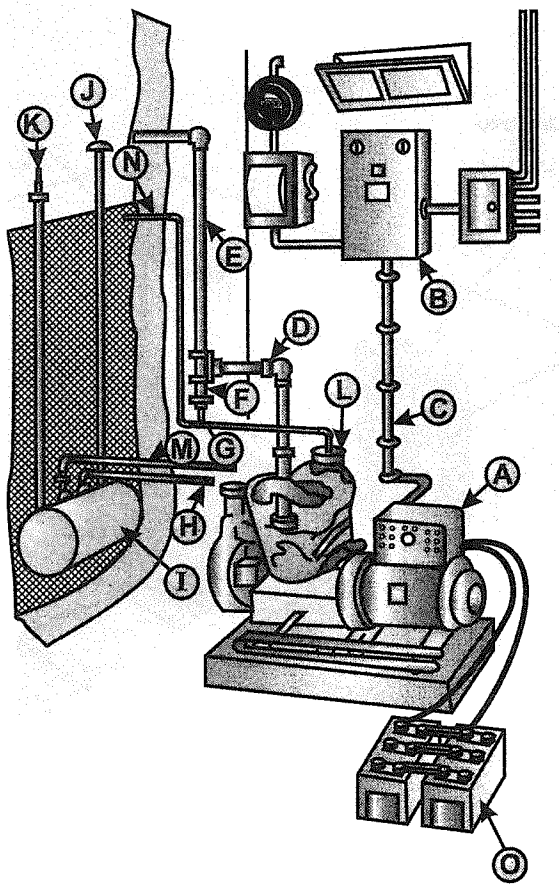
1. Potencia (en HP).
2. La velocidad, que dependiendo del número de polos del generador da la frecuencia, puede ser por ejemplo, de 1200 rpm a 1800 rpm, para generar a 60 Hz.
3. La cilindrada, que se refiere al volumen que admite cada cilindro cuando succiona aire, multiplicado por el número de cilindros de la máquina.
4. El diámetro que tienen los cilindros y su desplazamiento. (carrera)
5. Condiciones ambientales como: presión atmosférica, temperatura y humedad.

El tamaño del generador y el motor impulsor, se determina en función del valor de la carga, que se debe absorber durante una interrupción en el servicio normal, también el tipo de combustible para el motor impulsor queda determinado por la carga y las restricciones normativas en el lugar de la instalación, la localización del grupo motor-generador y algunos otros aspectos.

Por lo general, las plantas eléctricas de emergencia pueden ser para uso de hasta ocho horas con carga continua, y admitir en forma eventual sobrecargas por lapsos de ½ hora a 1 hora, siempre y cuando no excedan al 10 ó 20% de su capacidad. *Es importante recordar que la planta de emergencia, sólo debe de alimentar aquellos servicios que son indispensables, de* manera que para una instalación eléctrica en particular, se debe hacer un censo de aquellas cargas que se deben mantener en operación, cuando se interrumpe la alimentación de la compañía suministradora.



VISTA DE LOS ELEMENTOS DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA



ESQUEMA TÍPICO DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA DE GASOLINA

- (A) GRUPO MOTOR - GENERADOR.
- (B) TABLERO DE TRANSFERENCIA.
- (C) CONEXIÓN (FLEXIBLE) DEL GENERADOR AL TABLERO DE TRANSFERENCIA.
- (D) TUBERÍA DE ESCAPE DE HUMOS DEL MOTOR.
- (E) CHIMENEA DE ESCAPE AL SILENCIADOR.
- (F) TRAMPA DE CONDENSACIÓN.
- (G) VÁLVULA DE DRENAJE.
- (H) TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.
- (I) TANQUE DE COMBUSTIBLE (SUBTERRÁNEO).
- (J) CAPUCHÓN DE VENTILACIÓN DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE.
- (K) VÁLVULA DE LLENADO DEL TANQUE.
- (L) TANQUE DE RESERVA.
- (M) TUBERÍA DE RETORNO.
- (N) TUBO DE ALIVIO.
- (O) ACUMULADORES PARA EXCITACIÓN DEL GENERADOR.

TABLA 7.8

CAPACIDAD DE GENERADORES PARA PLANTAS DE EMERGENCIA (60 Hz)		
POTENCIA kW	CORRIENTE MÁXIMA EN AMPERES A Cosφ = 0.8	
	240 V	480 V
30	90	45
50	150	75
75	226	113
100	300	150
125	376	188
150	452	226
200	600	300
250	752	376
300	904	452
350	1 054	527
400	1 204	602
500	1 500	750
750	2 260	1 130
1 000	3 000	1 500

TABLA 7.9

ALGUNOS TAMAÑOS COMERCIALES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN, PARA GENERADORES EN PLANTAS DE EMERGENCIA (DIESEL)					
POTENCIA DEL GENERADOR (kW)	POTENCIA DEL MOTOR (HP)	VELOCIDAD (RPM)	PRESIÓN MEDIA EFECTIVA	CILINDRADA (LITROS) (kG/cm^2)	NÚMERO DE CILINDROS
75 *	112	1 800	7	8.1	4
100 *	155	1 800	6.4	12.17	6
125	202	1 800	8	12.17	6
150	235	1 800	10	12.17	8
200	315	1 800	10	16.2	8
250	505	1 800	17	14.6	6
350	660	1 800	17	19.5	8
400	790	1 200	18	32.2	8
600	1 190	1 200	18	48.3	12
900	1 570	1 200	18	64.5	16

** CON ASPIRACIÓN NATURAL, LAS QUE NO SE INDICAN SON CON TURBOCARGADO.*

7.5.1 COMBUSTIBLE PARA LAS PLANTAS DE EMERGENCIA.

En cualquier planta de emergencia, es necesario disponer del tanque de combustible, que permita generar a la potencia requerida durante un lapso de tiempo especificado; para esto, por lo general se usan dos tanques, uno se denomina **tanque de almacenamiento de combustible,** que se coloca fuera del área donde se instala la planta; normalmente se instala enterrado, y es de lámina negra (no debe ser galvanizado); el otro tanque se denomina tanque de diario o auxiliar, es de pequeña capacidad; también debe estar junto con los tubos y conexiones de hierro negro, ya que el diésel produce una reacción con el fierro galvanizado, que desprende partículas que pueden ensuciar al motor y provocar mala operación.

TABLA 7.10

DATOS DE CONSUMO Y TANQUE DIARIO DE COMBUSTIBLE			
POTENCIA DEL GENERADOR	POTENCIA DEL MOTOR EH HP	CONSUMO LITROS/HORA	VOLUMEN DEL TANQUE (LITROS)
75	112	14.6	200
100	155	21.0	200
125	202	26.5	200
150	235	31.0	200
200	315	41.0	200
250	505	69.0	500
350	660	100.0	500
400	790	114.0	500
600	1190	180.0	1000
900	1570	260	1000

El tamaño del tanque de combustible (gasolina o diésel), se determina por el mínimo de tiempo de operación en emergencia; considerando la carga mínima de servicio y la duración típica de una interrupción de servicio.

7.5.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

Las plantas de emergencia que usan como motor impulsor a los llamados motores diésel; pierden por radiación del calor aproximadamente la tercera parte del poder calorífico del combustible, este calor producido se tiene que disipar por medio de los sistemas de refrigeración, que básicamente es agua circulante, que se hace pasar alrededor de los cilindros. Esta agua se enfría de distintas formas, como por ejemplo:

a) Para plantas con potencias no mayores de 1000 kW, se usa radiador y ventilador incorporado al propio motor; como es el caso del enfriamiento de los motores de vehículos.

b) Para plantas de potencias mayores de 1000 kW, se pueden usar las llamadas torres de enfriamiento, o bien haciendo circular el agua hacia un río, cuando se tiene esta facilidad, cercana a la planta.

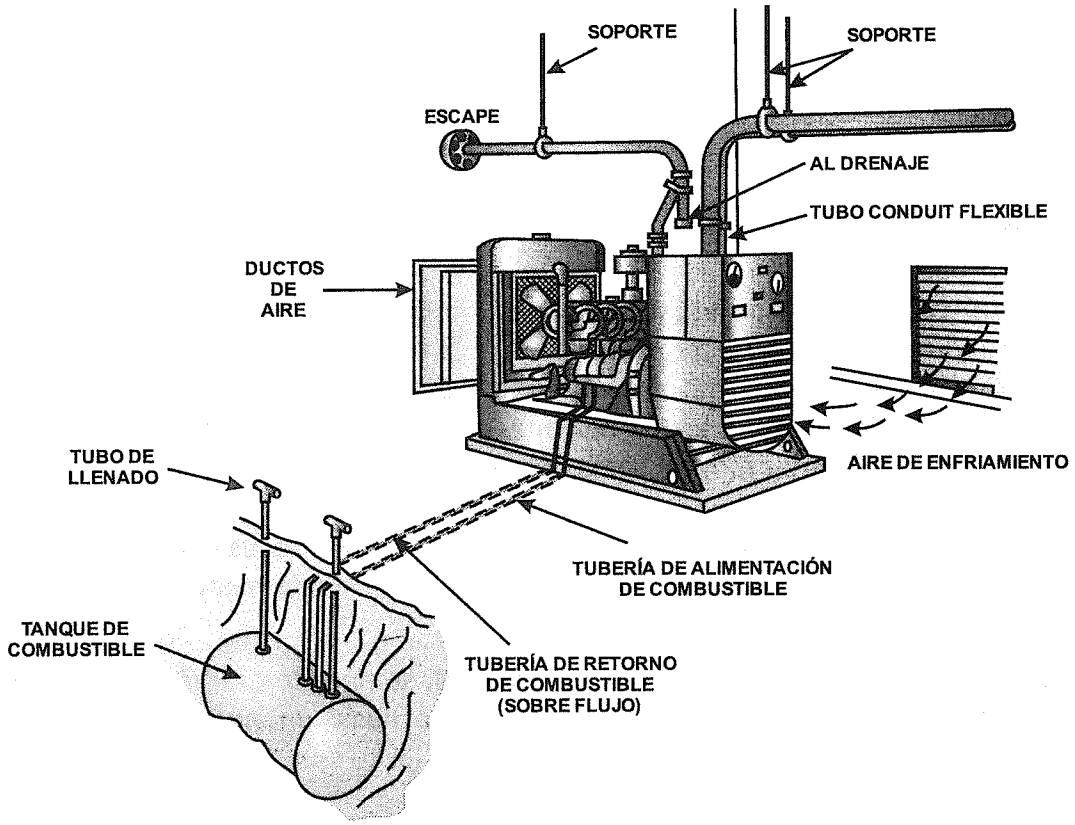
7.5.3 ESCAPE DE GASES Y SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Como se sabe, todas las llamadas máquinas de combustión interna, producen gases producto de la combustión, pero también es necesario para quemar el combustible proporcionar suficiente aire que lleve el oxígeno al combustible.

El aire que se inyecte al motor, debe estar exento de impurezas, ya que si tiene polvo o partículas corrosivas, se puede perjudicar. Esto significa que el local en donde se aloje la planta de emergencia debe estar provisto de una buena dotación de aire, por medio de ventanas y ductos amplios y filtros, cuando se considere necesario.

Por otra parte, aproximadamente del 15 al 25 % de la energía generada se transforma en calor, mismo que se debe extraer del local en donde está la planta, por lo que se necesita disponer de un sistema de ventilación apropiado, para esto se estima que la cantidad de aire necesario (en m^3/seg) para evacuar el calor de las pérdidas, se obtiene por un factor 0.166, multiplicado por la potencia de la panta expresada en kVA.

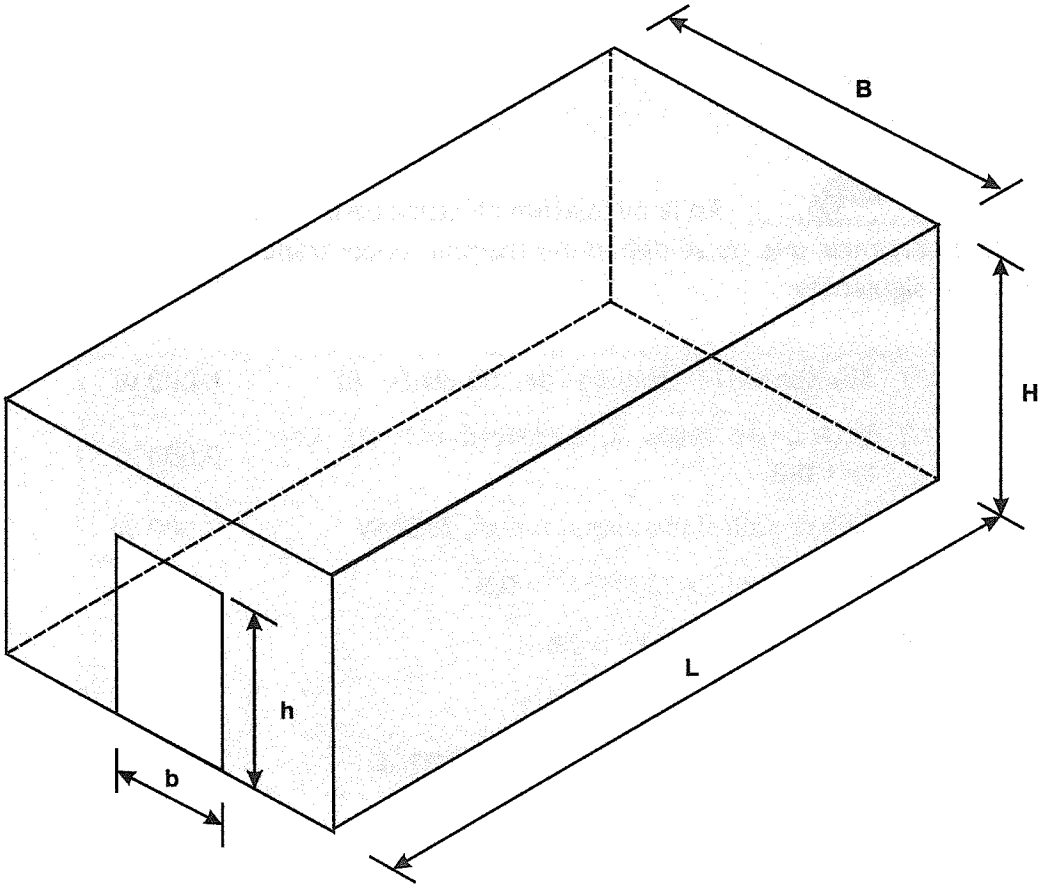
El aire necesario para la combustión del motor, se estima que es del orden de 5.5 a 6.8 m^3/kWH, se considera que es pequeño, en comparación con el necesario para la ventilación, y por lo mismo no se considera en los cálculos.



SISTEMA TÍPICO DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA

El escape de los gases de combustión, se debe llevar a la atmósfera en forma rápida y silenciosa, para esto se debe proveer a los motores de combustión de un escape apropiado con silenciador.

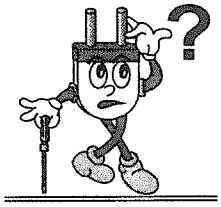
Como una medida orientativa de los tamaños de locales, para plantas de emergencia en función de su potencia, se dan los datos siguientes:



DIMENSIONES GENERALES DE LOCALES PARA PLANTAS ELÉCTRICAS				
DIMENSIONES GENERARLES (M)	POTENCIA DE LA PLANTA			
	20 – 60 KW	100 – 200 KW	250 – 550 KW	650 – 1500 KW
L	5.0	6.0	7.0	10.0
B	4.0	4.5	5.0	5.0
H	3.0	3.5	4.0	4.0
B	1.5	1.5	2.2	2.2
h	2.0	2.0	2.0	2.0

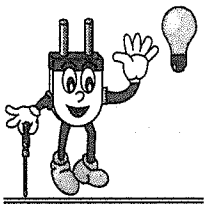
LOCALIZACIÓN Y MONTAJE DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA

Un buen servicio de una planta eléctrica, depende en parte de una buena localización en la proximidad del centro de carga eléctrica, con fácil forma de abastecimiento de combustible, buena ventilación e iluminación y un correcto montaje, lo que requiere de una cimentación apropiada.



EJEMPLO 7.3 En la instalación eléctrica de un hospital, se efectuó el censo de las cargas de emergencia que no se deben interrumpir, encontrándose en las distintas áreas de la instalación las siguientes:

1. Alumbrado 60 lámparas de 100 watts c/u	6,000 W
2. Equipo de rayos X, transformador 25 kVA FP = 0-8	2,000 W
3. Sala de quirófano alimentador , 2000 W	2,000 W
4. (2) motores J.A. 20 HP FP = 0.8	2,984 W
5. Motor J.A. 10 HP FP = 0.8	7,460 W
6. (2) Motor J. A.5 HP FP = 0.8	7,460 W
TOTAL:	**70,760**



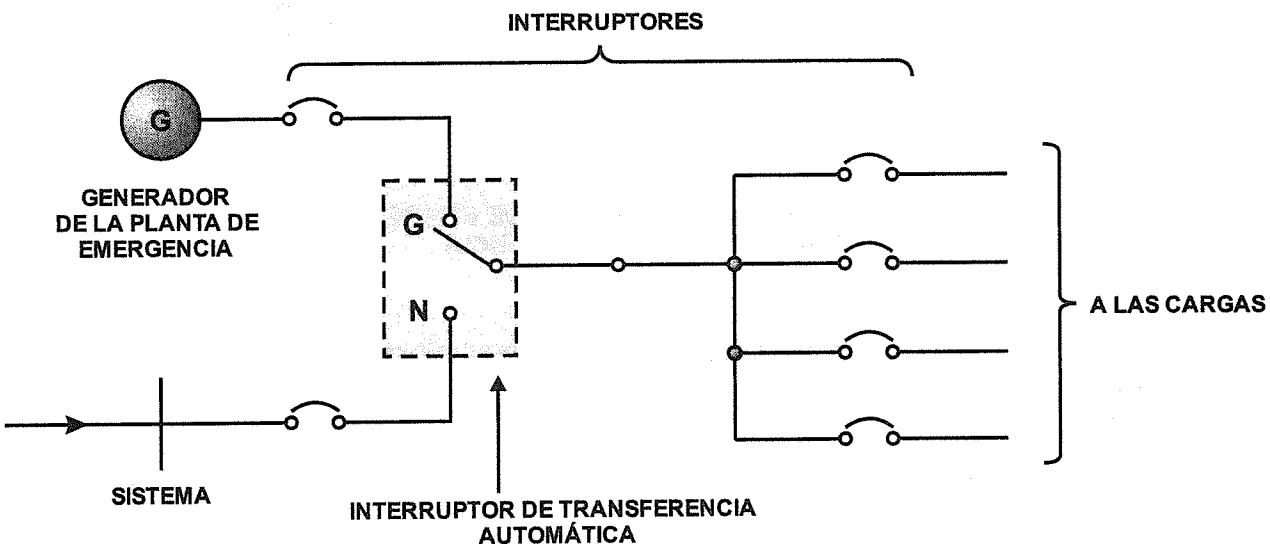
SOLUCIÓN De acuerdo con los datos de las cargas, se puede seleccionar de los datos de la Tabla 7.9, una planta de emergencia con generador de 75kW, accionado por motor de 112 HP, a 1800 RPM, para generar a 60 Hz.

La potencia de la planta, se debe especificar a la altura de operación correspondiente, y a la temperatura máxima ambiente, ya que los fabricantes garantizan sus datos de placa, a una altura hasta de 460 metros sobre el nivel del mar y 32°C de temperatura, lo que significa que se deben aplicar factores de corrección, datos en tablas o monogramas por los fabricantes de plantas, cuando el lugar de la instalación tenga condiciones distintas a las indicadas.

7.5.4 EL INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA.

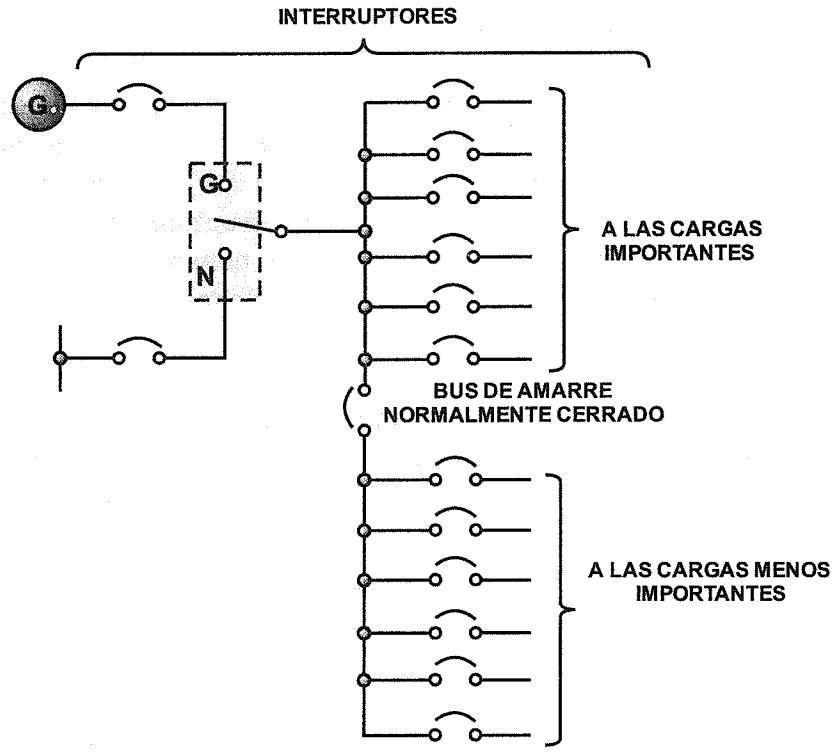
Cuando falla el servicio de alimentación de energía eléctrica de la compañía suministradora, la planta de emergencia puede entrar en forma manual o automática. Lo ideal es que sea en forma automática, para evitar interrupciones de servicio en caso de urgencia, como por ejemplo, en hospitales. Para esto, se usan los llamados interruptores (switch) de transferencia, que son trifásicos y se encuentran dentro de un gabinete y tienen la función de "transferir" la carga de la línea de alimentación de la compañía suministradora a la planta de emergencia, cuando falle el suministro de la compañía.

La capacidad del motor impulsor y del generador de la planta de emergencia, debe ser suficiente para absorber las cargas definidas como de emergencia, si se trata de transferir la carga total al generador, el diagrama de conexiones es como el mostrado en la figura siguiente:



G = TERMINALES DEL GENERADOR
N = TERMINALES DEL SERVICIO DE LA COMPAÑÍA SUMINISTRADORA

Cuando sólo se trata de transferir cargas esenciales al generador de la planta de emergencia, como por ejemplo: alumbrado, aire acondicionado, elevadores, centros de procesamiento de datos, etc., se usa una conexión como la mostrada en el siguiente diagrama:



ARREGLO BÁSICO DE GENERADOR DE EMERGENCIA Y SWITCH DE TRANSFERENCIA

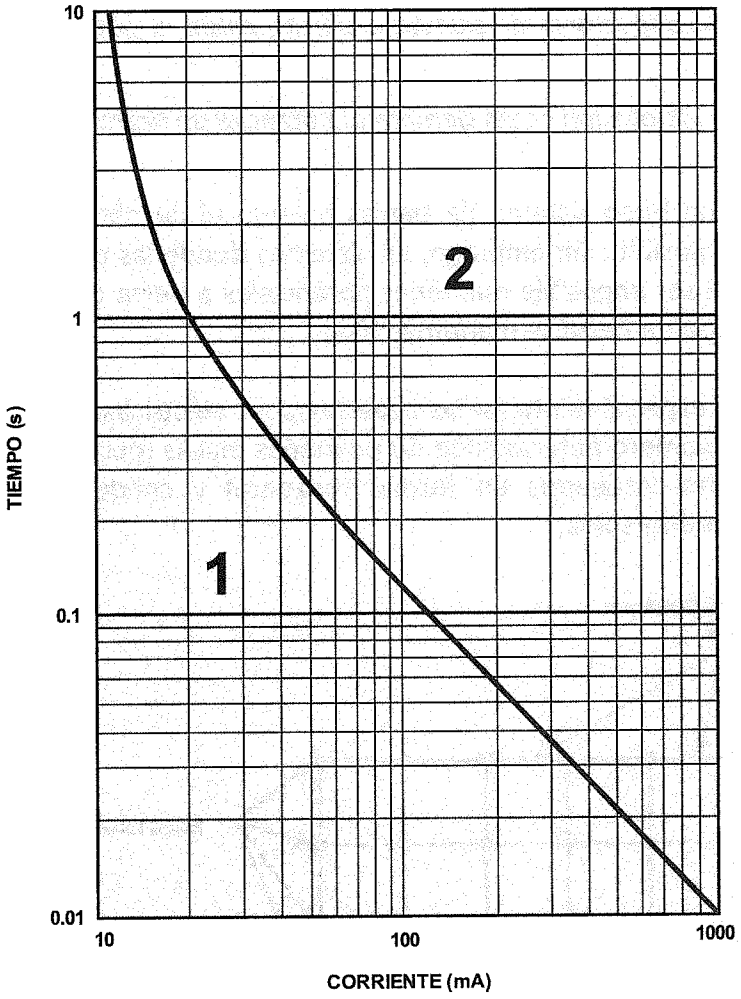
7.6 EL INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA

Los efectos de la electricidad sobre el cuerpo humano, dependen esencialmente de los siguientes factores:

- La intensidad de la corriente
- El tipo de corriente (continua, a la frecuencia industrial o de 60 Hz, o bien corrientes de alta frecuencia).
- La trayectoria seguida por la corriente en el cuerpo.
- Las condiciones del individuo, en el momento del contacto.

Como se puede observar, algunos de los factores mencionados no son de fácil valoración, por lo que no es posible establecer reglas rigurosas. Como medida orientativa, se pueden elaborar curvas de peligrosidad de la corriente, donde se relaciona el tiempo de contacto tolerable, en función de la corriente.

De estas curvas se observan las consecuencias de tener contacto con las partes extensión, ya que por ejemplo, corrientes mayores de 50 mA y tiempos correspondientes a la zona 2 de la gráfica, pueden tener consecuencias mortales para el hombre.



1.- ZONA PROBABLEMENTE NO PELIGROSA PARA LAS PERSONAS

2.- ZONA PELIGROSA

CURVA DE EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Es conveniente también, hacer notar que la resistencia eléctrica del cuerpo humano es muy variable (de algunos cientos hasta miles de ohms), por lo que los valores de tensión que aplicados al cuerpo humano se consideran peligrosos, se deben definir en forma conservadora. Las instalaciones de puesta a tierra y el ejemplo de protecciones adecuadas y coordinadas, constituyen el medio principal para limitar dicha tensión.

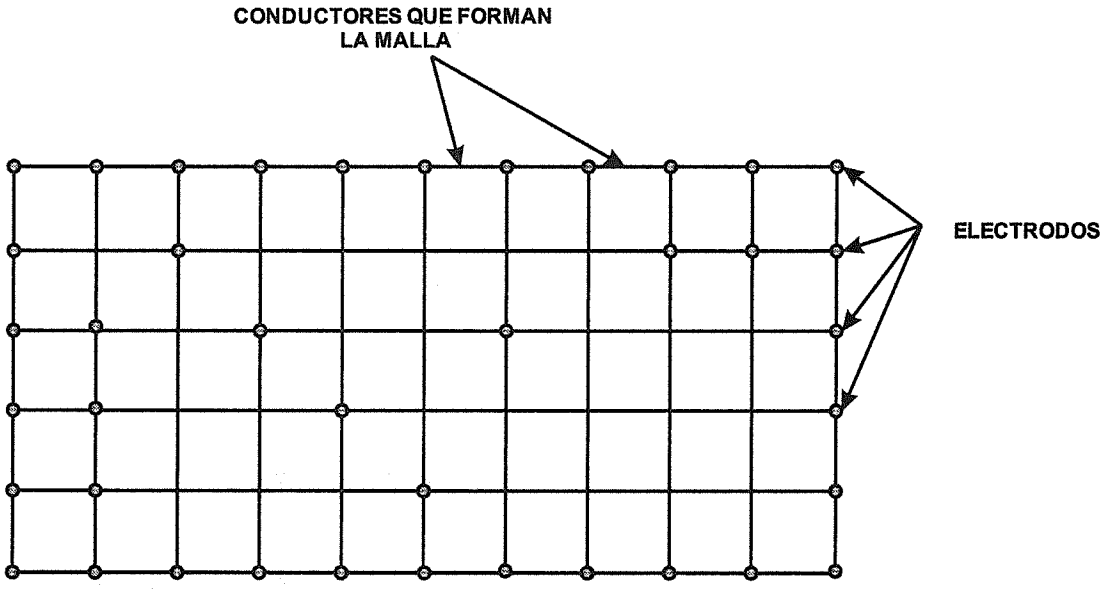
El objetivo de un sistema de tierras en una instalación eléctrica, es proporcionar una superficie debajo del suelo y alrededor de la instalación, que tenga un potencial tan uniforme como sea posible, y lo más próximo posible a cero, o al potencial absoluto de tierra, con vistas a asegurar que:

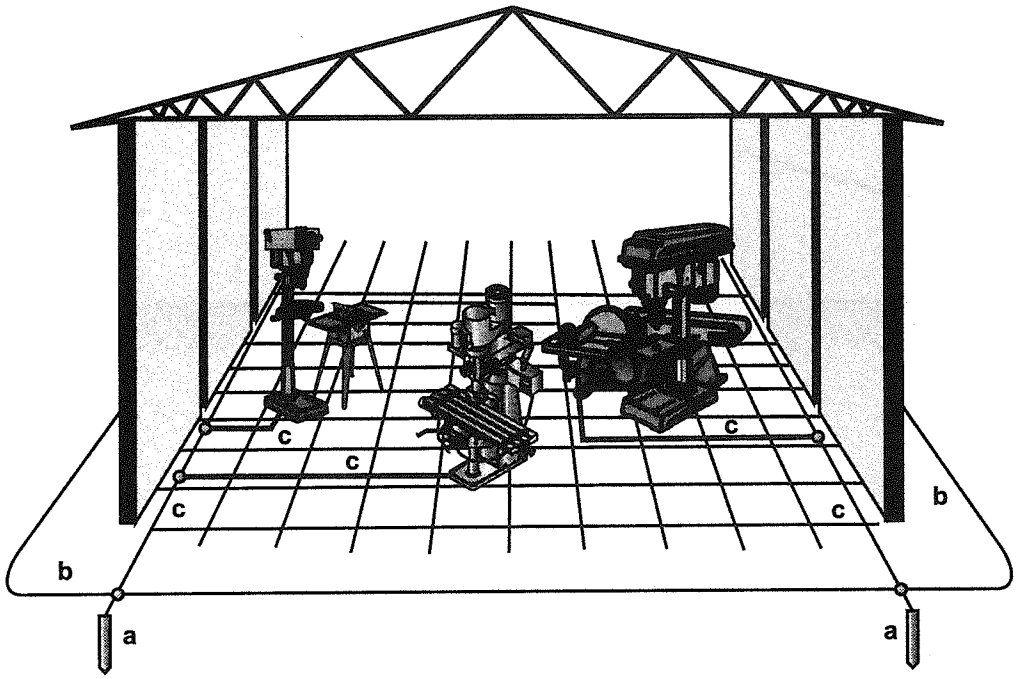
a) *Todas las partes de los aparatos (distintas de las partes vivas), que se conecten al sistema de tierras (a través de conductores de puesta a tierra), estén al potencial de tierra.*

b) *Los operadores y personal de la instalación estén siempre al potencial de tierra.*

Hasta recientemente, el concepto de un buen sistema de tierras ha sido el de obtener una resistencia de tierra tan baja como sea posible. Sin embargo, en sistemas donde las corrientes de falla son excesivamente altas, puede ser imposible mantener potenciales a tierra dentro de límites de seguridad, aunque la resistencia de tierra se mantenga baja.

En la actualidad, los sistemas de tierra, especialmente en las subestaciones eléctricas, adoptan la forma de una malla que contiene un número determinado de pequeñas mallas rectangulares o cuadradas, de conductores de tierra instalados en forma horizontal y conductores a electrodos (varillas), localizados a ciertos intervalos.





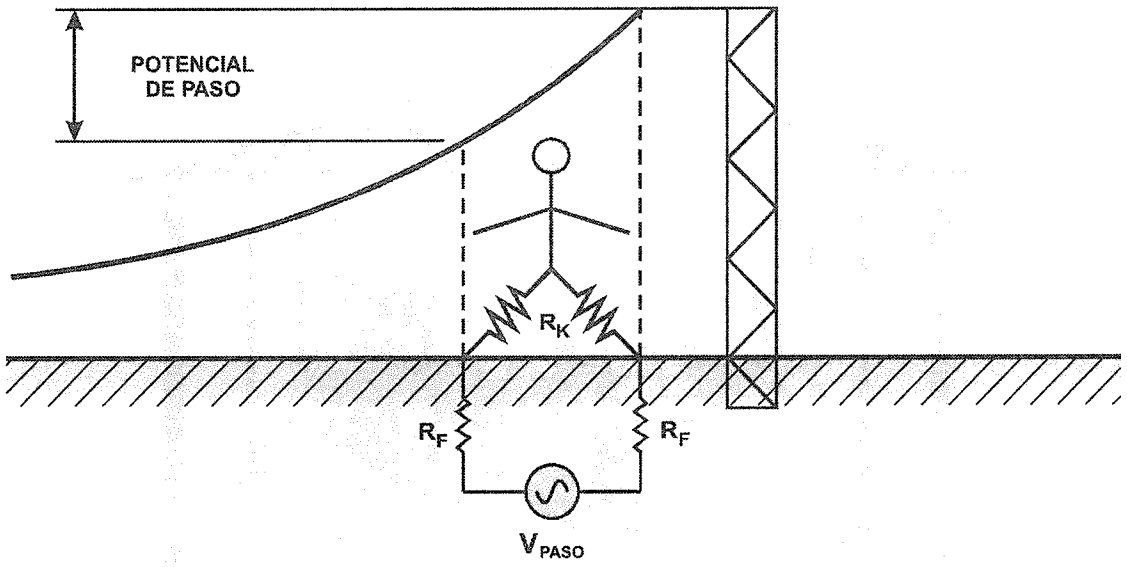
ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

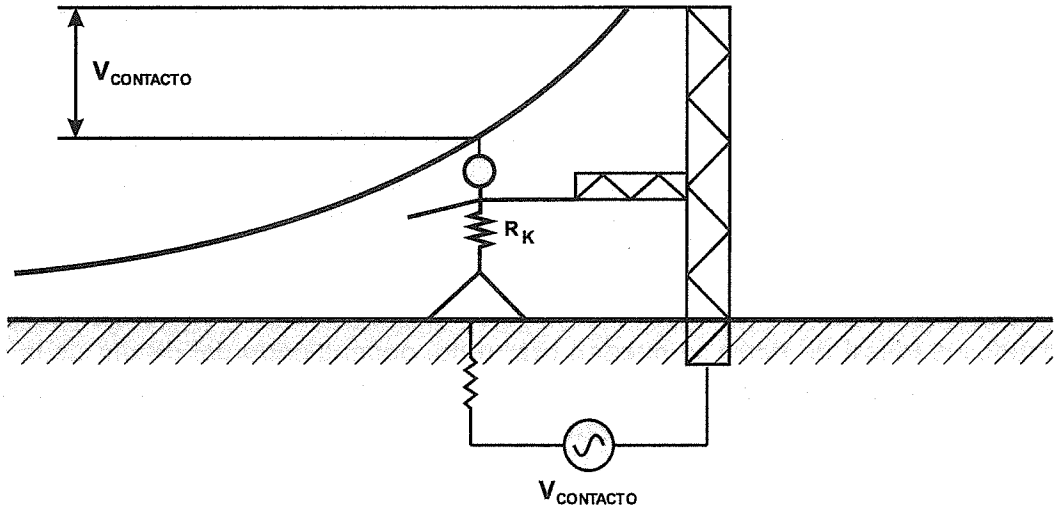
a.- DISPERSORES (ELECTRODOS DE VARILLA)
b.- CONEXIÓN ELÉCTRICA ENTRE DISPERSORES
c.- CONDUCTOR A TIERRA

Los electrodos (varillas) de tierra se pueden usar o no, dependiendo del diseño de la malla de tierra. Todas las estructuras metálicas y carcazas de equipo, incluyendo las rejas metálicas en las áreas de trabajo, se deben conectar por seguridad a la malla de tierra.

7.6.1 DEFINICIÓN DE LOS POTENCIALES DE PASO, DE CONTACTO Y DE TRANSFERENCIA

La circulación a tierra de las corrientes de falla, produce gradientes de voltaje sobre la superficie del suelo, en la vecindad de los sistemas de tierra. El voltaje que exista entre los dos pies de una persona parada sobre el suelo, se le conoce como **VOLTAJE DE PASO,** en tanto que el voltaje que existe entre la mano y ambos pies de una persona, se conoce como potencial o **VOLTAJE DE CONTACTO.**





El valor del voltaje de paso tolerable, es:

$$V_{paso} = (R_K + 2\,R_F)\;I_K\;volts$$

DONDE:

R_F =Resistencia a tierra de un pie en ohms, para fines prácticos se puede tomar:

$R_F = 3\ \rho s$; siendo $\boldsymbol{\rho s}$ la resistividad del suelo en ohms – metro.

R_K = Resistencia del cuerpo en ohms, se puede tomar como 1000 ohms.

I_K = Valor eficaz de la corriente que circula por el cuerpo expresada en amperes y se calcula como:

$$I_K = \frac{0.116}{\sqrt{T}}$$

T = Duración de la falla en segundos, y se toma generalmente menor de 3 segundos.

Para fallas permanentes sostenidas, se toma:

$$I_K = 0.009\,A$$

De lo anterior, para fallas con duración menor de 3 seg. :

$$V_{PASO} = (1000 + 6\,\rho\,s)\,x\,0.165/\sqrt{T}$$
$$V_{PASO} = (165 + \rho\,s)/\sqrt{T}\ \ (volts)$$

Para fallas sostenidas:

$$V_{PASO} = (1000 + 6\,\rho s)\,x\,0.0009$$

$$V_{PASO} = 9 + 0.054\,\rho s\ \ volts$$

Para una conexión a tierra segura para el contacto de paso, en condiciones de falla, el gradiente de potencial expresado en volts/metro sobre la superficie del suelo, no debe exceder a los valores calculados con las fórmulas anteriores.

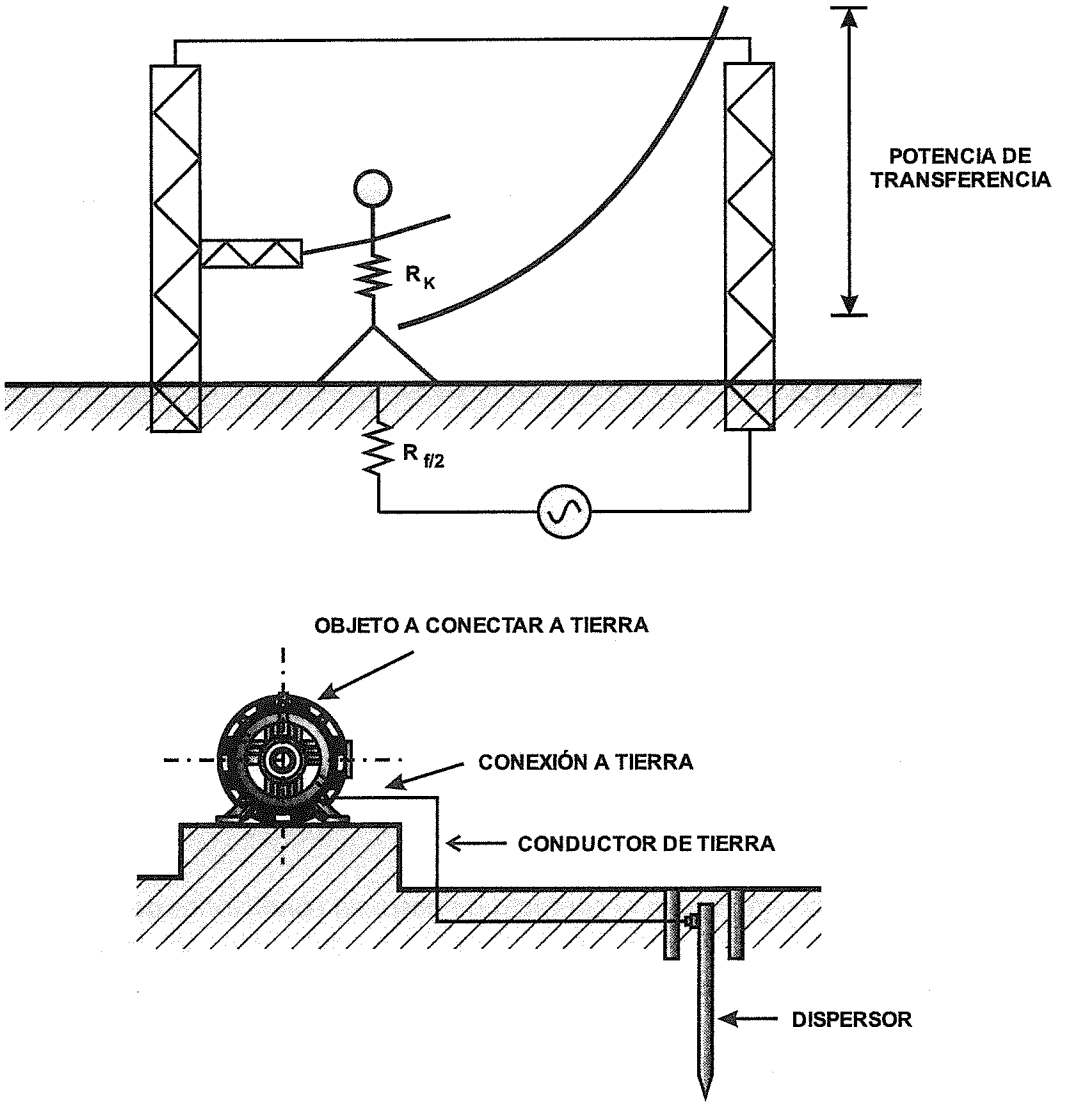
En forma semejante, el voltaje de contacto tolerable se calcula como:

$$V_{CONTACTO} = (R_K + R_F/2)\ \ I_K$$

Para fallas con duración menor de 3 segundos:

$$V_{CONTACTO} = (165 + 0.25\,\rho s)/\sqrt{T}\ \ volts$$

Si una empresa toca un conductor conectado a tierra, a una distancia mucho mayor que las dimensiones del sistema de tierra, el impacto de voltaje, puede esencialmente ser igual a la elevación total del voltaje del sistema de tierras, bajo condiciones de falla tal voltaje de contacto se le llama **POTENCIAL DE TRANSFERENCIA.**



ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE CONEXIÓN A TIERRA

La resistividad del suelo varía dentro de límites muy amplios, entre 1 y 10 000 ohm-metro. En el caso de las subestaciones eléctricas, es necesario obtener datos bastante aproximados de la resistividad del terreno y sus variaciones en el sitio de la instalación de la subestación. También la resistividad del terreno puede variar en forma considerable, dependiendo de la época del año en que se hagan las mediciones, por ejemplo, si se efectúan mediciones con terreno seco (por lo general en invierno), se obtienen valores altos de resistividad, y si en cambio se efectúan en verano con terreno húmedo, los valores resultan bajos, por lo que siempre que sea posible, los valores de resistividad se deben medir en época de **secas**, para obtener el máximo valor de la resistividad del suelo.

Cuando se trata de áreas considerables a cubrir por una instalación eléctrica, se deben efectuar mediciones en distintos puntos, y entonces la resistividad del terreno se puede tomar en forma aproximada como la media aritmética de las mediciones.

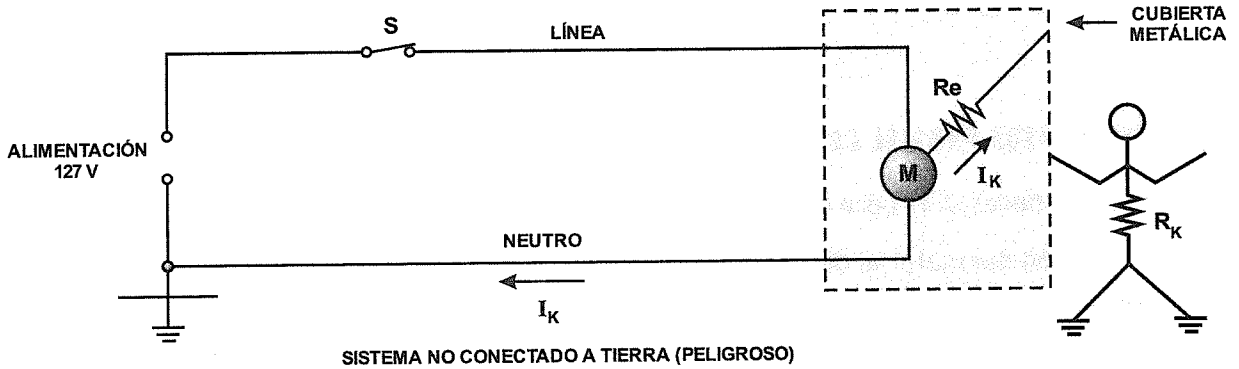
7.6.2 CONEXIÓN A TIERRA DEL EQUIPO.

Los usuarios de las instalaciones eléctricas, ya sean residenciales, industriales o comerciales, así como para otras instalaciones, como es el caso de hospitales, centros de cómputo, etc., están tocando constantemente el equipo eléctrico o los equipos que hacen uso de dispositivos eléctricos, como es el caso de las herramientas como taladros, soldadoras eléctricas, etc., y debido a que los voltajes y corrientes asociados con estos equipos pueden exceder los valores que el cuerpo humano es capaz de soportar, es necesario adoptar precauciones especiales para garantizar que el equipo tenga las condiciones de seguridad requeridas.

Para comprender los aspectos de la seguridad en las instalaciones eléctricas, se puede comenzar común sistema básico en baja tensión y monofásico a 127 volts. Consideremos un motor eléctrico que forma parte de un equipo, que está dentro de una cubierta metálica no conectada a tierra. El neutro se encuentra sólidamente conectado a tierra, en el punto de alimentación de la compañía suministradora.

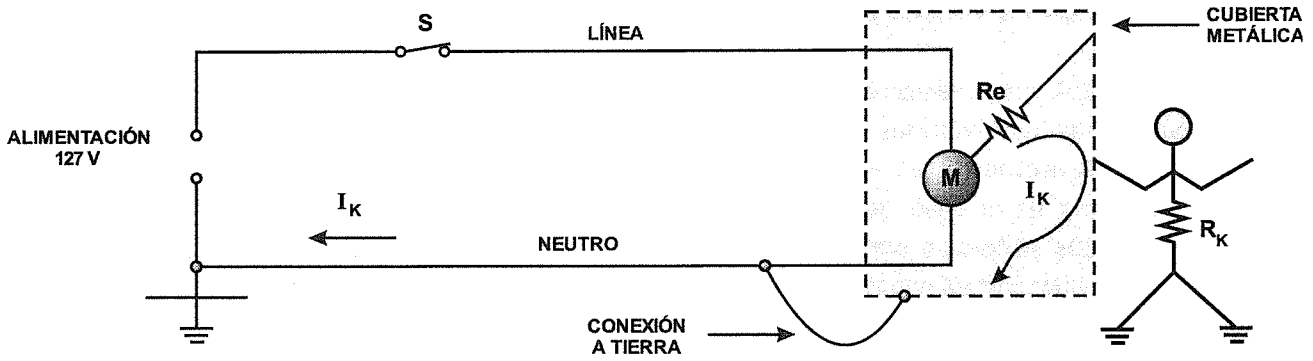
Si una persona toca la cubierta metálica, nada sucederá si la instalación está operando correctamente. Pero si por ejemplo, el aislamiento de los devanados falla, la resistencia R_E entre el motor y la cubierta metálica puede reducir su valor de varios megaohms a sólo algunos cientos de ohms o menos, de manera que una persona con una resistencia R_K, puede acompletar el circuito cerrando la trayectoria de la corriente.

Si el valor R_E es pequeño (lo cual puede suceder), la corriente I_K puede ser grande y resultar peligrosa.



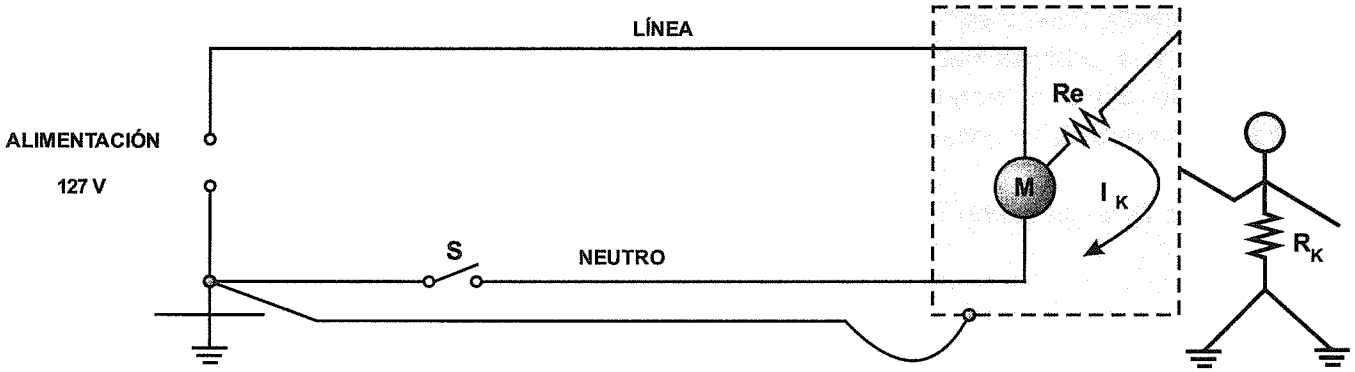
SISTEMA NO CONECTADO A TIERRA (PELIGROSO)

La situación potencialmente peligrosa, se puede remediar si se conecta a tierra la cubierta metálica; es decir, en este caso al neutro que se encuentra aterrizado, ahora la corriente I_K circulará del motor a través de la cubierta y regresará por el neutro, pero la cubierta permanece al potencial de tierra, y en consecuencia, la persona no sufre ningún efecto.



CONEXIÓN A TIERRA A TRAVÉS DEL NEUTRO

La solución anterior de conectar a tierra la cubierta a través del neutro, puede parecer segura, pero el problema es que el neutro puede quedar abierto, ya sea en forma accidental o debido a una falla en la instalación. Para evitar este problema, se acostumbra en algunas instalaciones eléctricas instalar un tercer conductor llamado **CONDUCTOR DE TIERRA**, localizado entre la cubierta y la tierra del sistema.



USO DE CABLE DE TIERRA

7.6.3 ELEMENTOS PARA EL CALCULÓ DE LA RED DE TIERRAS.

Los elementos necesarios para el cálculo de una red de tierras son:

- Selección del material de tierra.
- Determinación del tamaño del conductor de tierra.
- Arreglo preliminar de los conductores de tierra.
- Determinación de la longitud requerida, para el control del gradiente.
- Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

a) Selección del material de tierra

El conductor para el material de tierra debe cumplir con:

- Una alta conductividad, por lo cual se usa normalmente cobre.
- Un bajo índice de corrosión, por efecto del terreno.
- Un bajo índice de corrosión, debido a la acción galvánica.

El cobre es el material que mejor cumple con estos requisitos, por lo que se usa en la mayoría de los casos. En algunas ocasiones se puede usar conductor de acero para la red de tierras, este material tiene las siguientes ventajas sobre el cobre:

- Se encuentra disponible en el mercado.
- Puede ser en ciertos lugares más barato que el cobre.

Su principal desventaja es su corrosión en el terreno, que se da aproximadamente seis veces más rápido que en el caso del cobre. Para reducir este efecto, se usa acero galvanizado que retarda el efecto de la corrosión, pero que de cualquier manera es más acelerado que en el cobre.

b) Determinación del tamaño del conductor de tierra

En la selección del tamaño (calibre) del conductor usado en una malla de tierras, intervienen los siguientes factores:

- Que tenga estabilidad térmica en las corrientes de falla a tierra.
- Que sea mecánicamente resistente.
- Que tenga una duración de al menos 50 años sin rupturas en la red de tierras, debido a problemas de corrosión.
- Que tenga una conductividad adecuada, para no contribuir sustancialmente a los gradientes de potencial locales.

Desde el punto de vista de las consideraciones térmicas, el tamaño del conductor depende de los siguientes factores:

- El valor de la corriente de falla a tierra.
- El tiempo de interrupción de la falla.
- El material del conductor.

Estos efectos se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 7.11

CALIBRE DE CONDUCTORES PARA MALLA DE TIERRAS						
TIEMPO DE DURACIÓN DE LA FALLA (SEG)	TAMAÑO MÍNIMO DE CONDUCTOR EN CIRCULAR MIL POR AMPERE					
	UNIONES SOLDADAS			UNIONES ATORNILLADAS		
	COBRE	ACERO	ALUMINIO	COBRE	ACERO	ALUMINIO
30	50	120	91	64	143	123
3	16	38	29	21	46	39
1	9.5	22	17	12	27	23
0.5	6.5	16	12	8.5	19	16

1 CIRCULAR MIL = 0.0005067 mm^2

En subestaciones eléctricas, por razones mecánicas, es frecuente usar como calibre mínimo el 4/0 AWG (107.2 mm^2) de cobre.

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas (206.57), se recomienda que el calibre del conductor del electrodo de tierra, no sea menor que el que se indica a continuación, para conductores de cobre.

TABLA 7.12

CALIBRE DEL CONDUCTOR DE ELECTRODO DE TIERRA	
CALIBRE DEL CONDUCTOR MÁS GRANDE DE LA ACOMETIDA O DEL ALIMENTADOR GENERAL DE SERVICIO AWG O MCM (COBRE)	CALIBRE DEL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE TIERRA AWG O MCM (COBRE)
2 O MENOR	8
1/0	6
2/0 Ó 3/0	4
4/0 A 350 MCM	2
400 A 600 MCM	1/0
MAYOR DE 600 MCM A 1100 MCM	2/0
MÁS DE 1110 MCM	3/0

Con relación al calibre del conductor de puesta a tierra de equipos, las normas para instalaciones eléctricas establecen que no debe ser menor al indicado en la tabla siguiente:

TABLA 7.13

CALIBRE DE LOS CONDUCTORES PARA PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y CANALIZACIONES INTERIORES		
CAPACIDAD NOMINAL O AJUSTE DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE UBICADO ANTES DEL EQUIPO CONDUCTOR, ETC.	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA (AWG O MCM)	
NO MAYOR DE (AMPERES)	COBRE	ALUMINIO
15	14	12
20	14	12
30	12	10
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
400	4	2
600	2	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 MCM
1600	4/0	350 MCM
2000	250 MCM	400 MCM
2500	350 MCM	500 MCM
3000	400 MCM	600 MCM
4000	500 MCM	800 MCM
5000	700 MCM	1000 MCM
6000	800 MCM	1200 MCM

c) *Arreglo preliminar de los conductores de tierra*

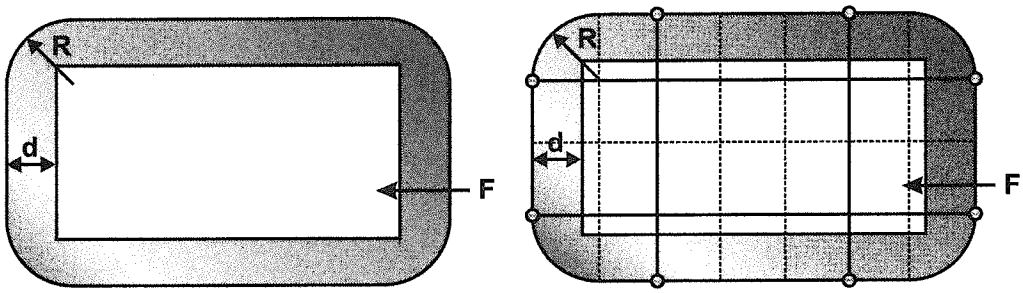
El arreglo preliminar de los conductores de tierra se decide sobre las siguientes bases: un conductor de tierra continuo debe rodear el área de la instalación, particularmente de la subestación eléctrica, para encerrar la mayor cantidad posible de terreno. Conductores de tierra adicionales se colocan en líneas paralelas, distribuidos uniformemente en forma de cuadrícula, con separaciones razonables.

Eventualmente se puede usar, en algunas áreas, placa de cobre en lugar de la malla cuadriculada; esto especialmente donde la magnitud de las corrientes de falla es elevada, o bien donde la resistividad del terreno es muy elevada, o también en salas donde se efectúan mediciones precisas y se requiere un buen blindaje con poca interferencia.

Las varillas o electrodos se consideran como un complemento de la malla de tierras y se deben distribuir de maneras uniformes, y cercanas a puntos donde se encuentra el equipo instalado. Una regla práctica para determinar el número mínimo de electrodos (varillas de tierra), indica que se debe dividir la corriente de falla entre 500, es decir:

$$\underset{de\ 10\ pies\ x\ 3/8}{N\acute{u}mero\ m\acute{i}nimo\ de\ varillas} = \frac{I\ fallas}{500}$$

Por ejemplo, para una corriente de falla de 5000 A, el número de varillas es: 5000/500 = 10.



a) DISPERSOR EN ANILLO **b) MALLA**

F - PREFABRICADO

R - RADIO (EL MÁS AMPLIO POSIBLE)

d - DISTANCIA 1m

O - ELECTRODOS (OPCIONAL)

d) Determinación de la longitud del conductor para el control del gradiente

Con el objeto de mantener los potenciales de paso y de contacto dentro del perímetro de la malla en sus valores de seguridad, se requiere cierta longitud mínima de conductor en la varilla de tierra.

La siguiente ecuación, permite calcular la longitud aproximada de los conductores de la malla, para mantener el potencial dentro de sus límites de seguridad:

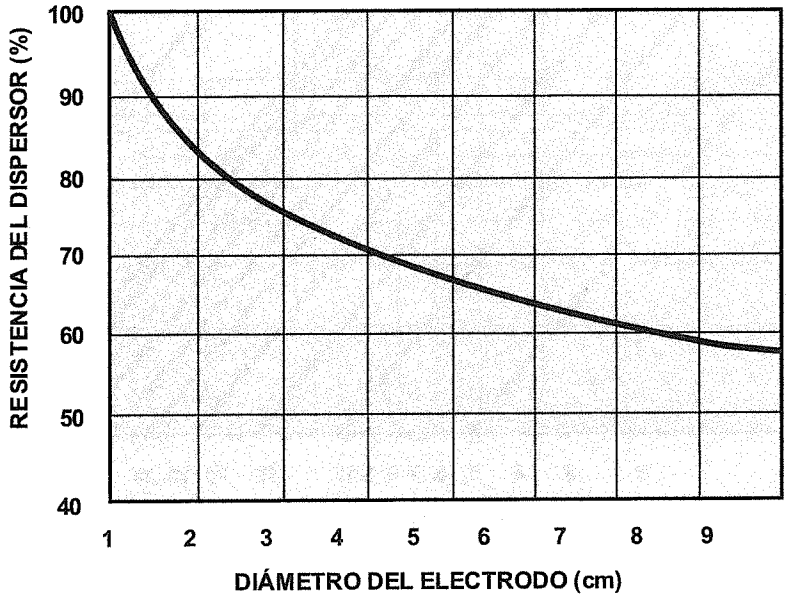
$$L = \frac{K_M\ K_1\ \rho\ I\ \sqrt{T}}{165 + 0.25\ \rho_S}\ metros$$

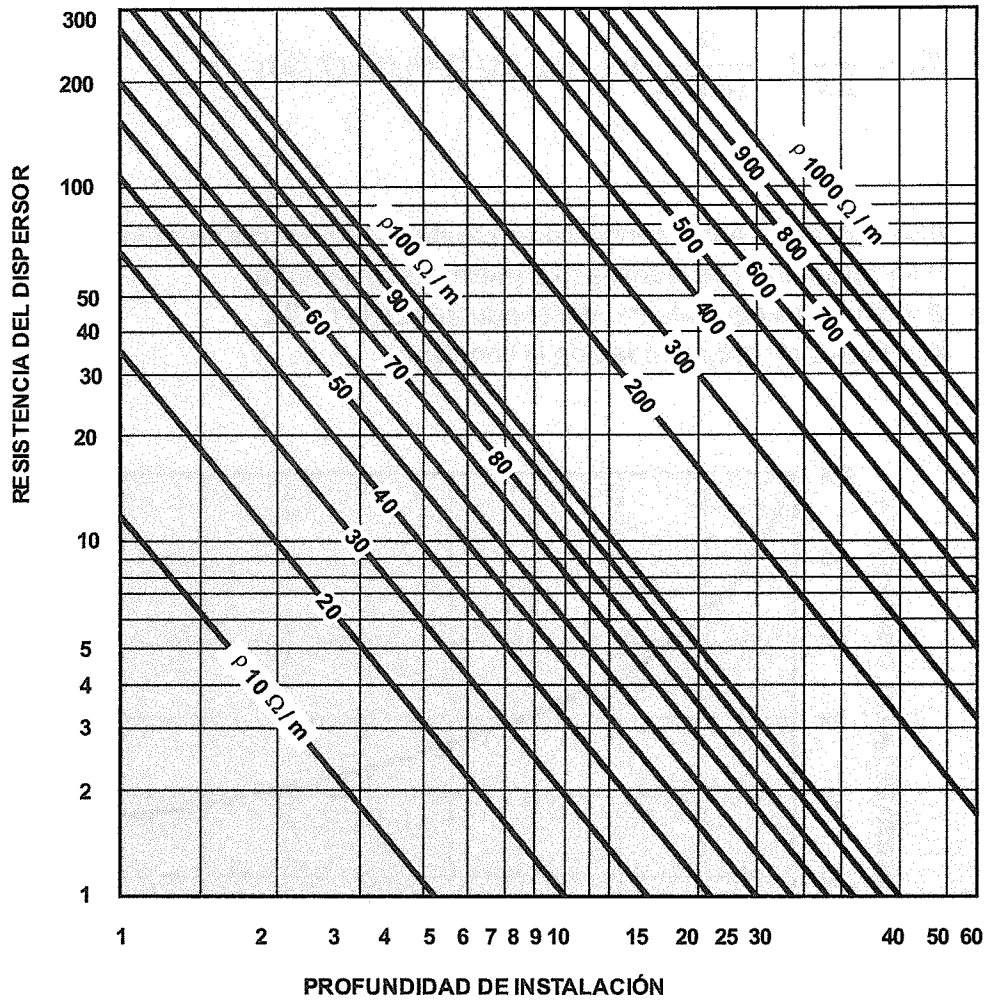
DONDE:

$$K_M = \frac{1}{2\,\pi}\, L_N\, \frac{D^2}{16\,H\,D} + \frac{1}{\pi}\, [L_N\,(3/4)\,(5/6)\,(7/8)]$$

DONDE:

D = Separación entre conductores paralelos (20 metros en promedio).
H = Profundidad de la malla (0.5 metros en promedio).
D = Diámetro equivalente del conductor de la malla.
$\mathbf{K_I}$ = Factor de irregularidad de la conexión.





GRÁFICA PARA EL CÁLCULO APROXIMADO DE LA RESISTENCIA DE UN DISPERSOR CILÍNDRICO DE 1 1/4" DE DIÁMETRO

Para prevenir el efecto de la no uniformidad de la distribución de la corriente de falla, a lo largo de la malla. El valor de este factor se obtiene de la expresión:

$$K_I = 0.65 + 0.172\ N$$

DONDE:

N = Número de conductores en paralelo de la malla, en una dirección.

ρ = Resistividad aparente del terreno en ohms-metro.

I = Corriente máxima de falla en amperes.

ρs = Resistividad del terreno debajo del punto donde se pisa, expresa en ohms-metro. (Se puede tener con fines conservadores, como 3000 ohms-metro).

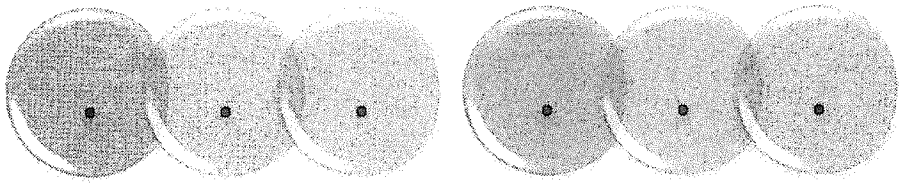
e) Cálculo de la resistencia del sistema de tierras

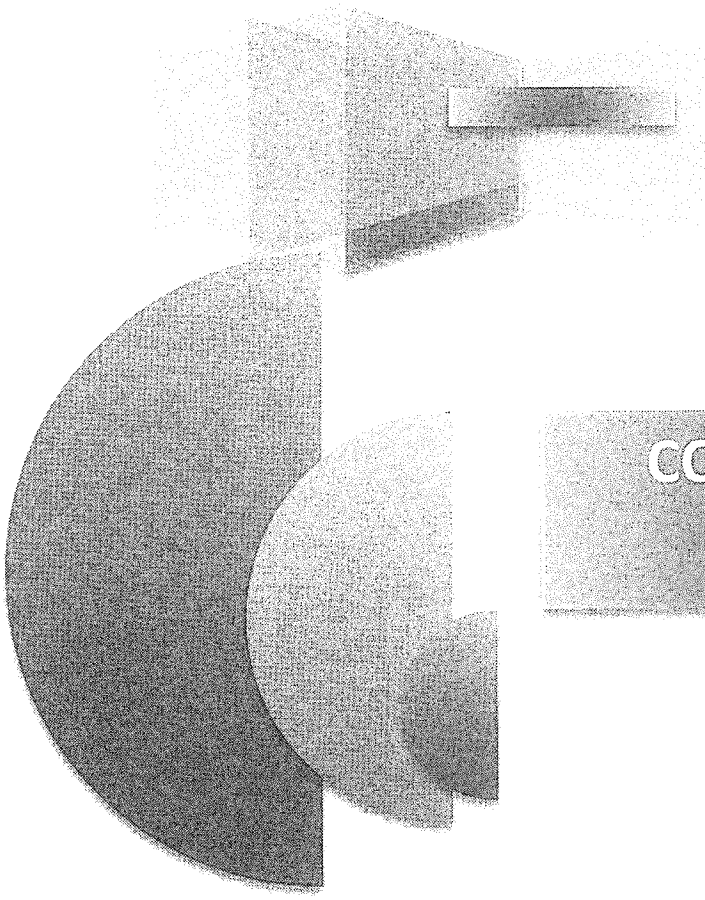
Para el cálculo del valor de esta resistencia, se puede usar la fórmula siguiente de Laurent.

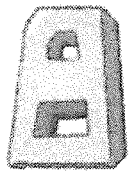
$$R = \frac{\rho}{4^R} + \frac{\rho}{L}$$

DONDE:

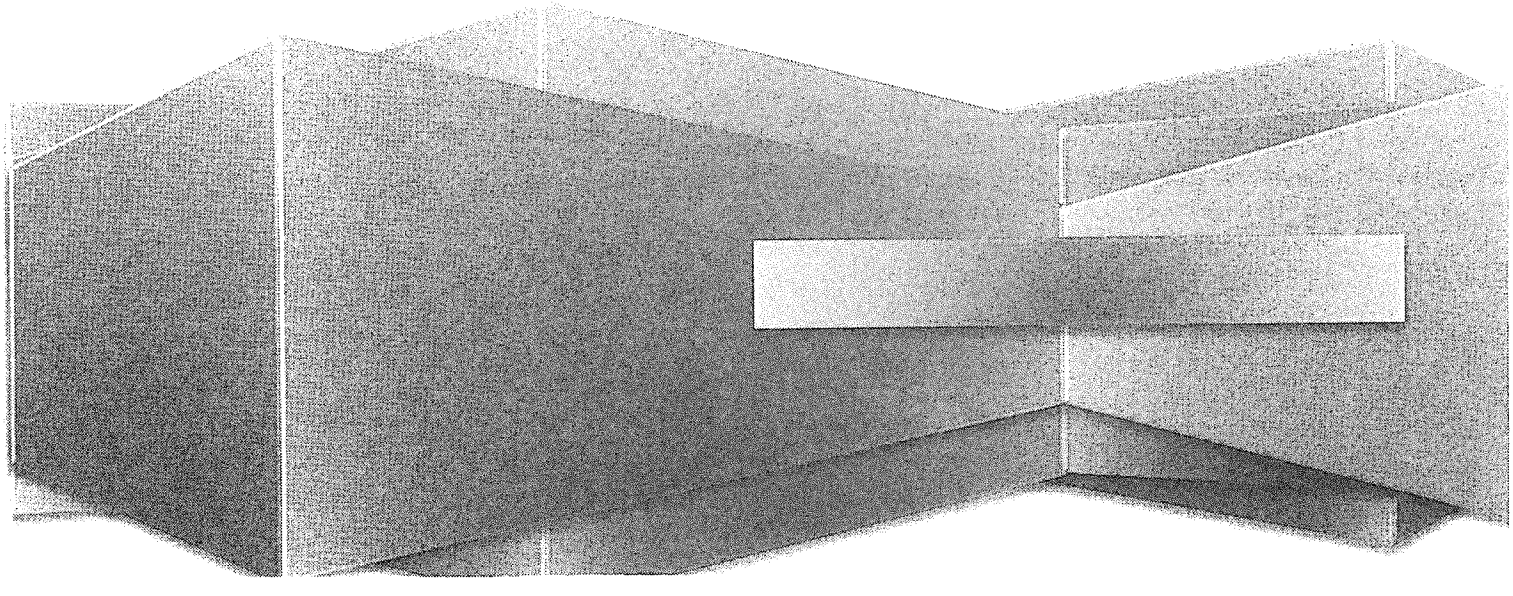
R = Radio equivalente de la subestación.
L = Longitud total del conductor de la malla en metros.
ρ = Resistividad del terreno en ohms-metro.





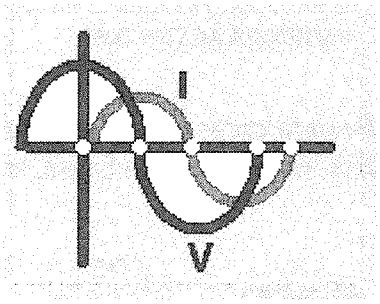


CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA



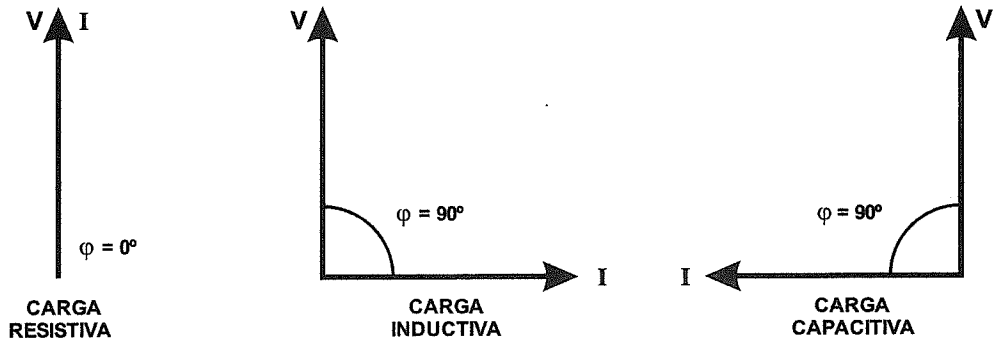
CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

8



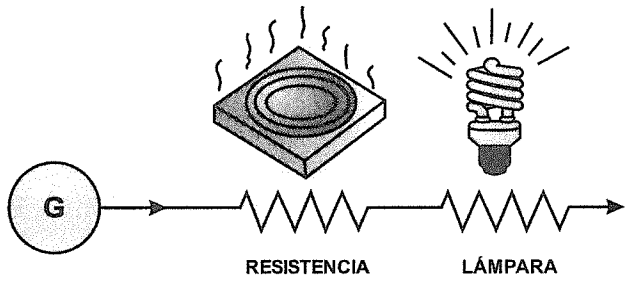
8.1 INTRODUCCIÓN

En los circuitos eléctricos, la corriente se encuentra en fase con el voltaje cuando está en presencia de resistores, en tanto que se atrasa cuando es inductiva (motores, transformadores) y se adelanta cuando la carga es capacitiva (capacitores).



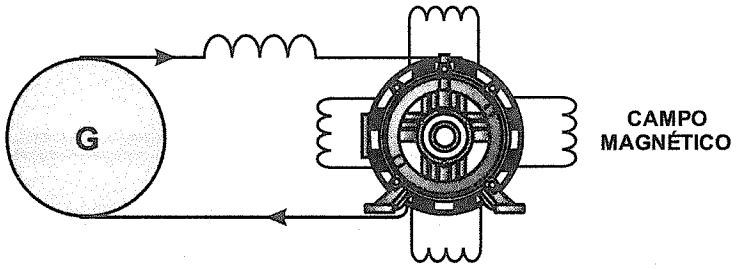
La mayoría de las cargas de las unidades consumidoras consumen energía reactiva-inductiva como: motores, transformadores, reactores para lámparas de descarga, hornos de inducción, entre otras. Las cargas inductivas necesitan de campo electromagnético para su funcionamiento, por esto su operación requiere de dos tipos de potencia:

La potencia activa: que efectivamente realiza trabajos generando calor, luz, movimiento, etc. Se mide en Watts (w) o Kilowatts (Kw).



POTENCIA ACTIVA (kW)

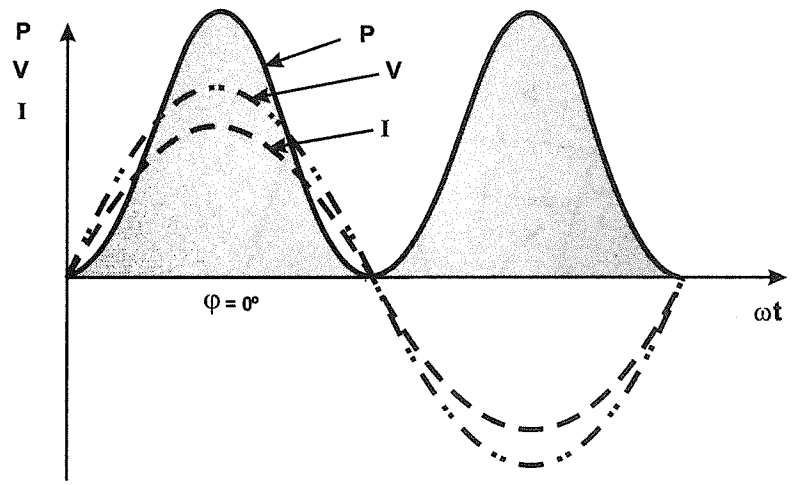
La potencia reactiva: Es la potencia para crear y mantener los campos electromagnéticos a las cargas inductivas, es medida en KVAR. En la siguiente figura, se muestra esta definición:



POTENCIA REACTIVA (kVar)

POTENCIA ACTIVA.

Con una carga puramente resistiva, sin componentes inductiva o capacitiva, tales como en un calentador eléctrico, las curvas de voltaje y corriente intersectan la coordenada cero en el mismo punto, y se dice que la corriente y voltaje están en fase. La potencia en la curva se calcula como el producto del valor momentáneo de voltaje (V) y el valor momentáneo de corriente (I).



CURVA DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA PARA UNA CARGA PURAMENTE RESISTIVA (φ = 0°)

La potencia ***activa o real*** se define como la componente de potencia que se convierte en otra forma (por ejemplo: calor, luz, potencia mecánica) y es registrada por el medidor.

Una carga puramente resistiva o carga óhmica se calcula multiplicando el valor efectivo del voltaje (V) por la corriente (I).

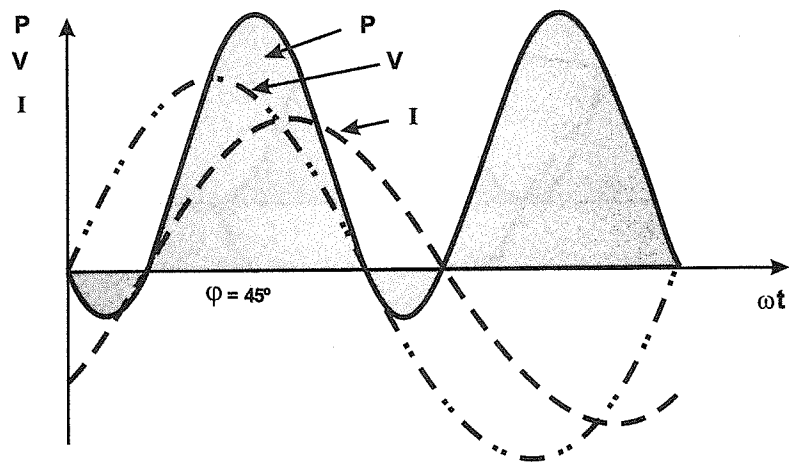
$$P = V \,.\, I$$

$$[w] = [V] \,.\, [A]$$

POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA.

En la práctica, no es usual encontrar cargas puramente resistivas, por lo tanto, también está presente una componente inductiva; esto aplica a todos los consumidores que hacen uso del campo magnético para hacer funcionar, por ejemplo, los motores eléctricos, transformadores y bobinas. Los convertidores de potencia requieren también corriente reactiva para propósitos de conmutación. La corriente usada para crear e invertir el campo magnético no se disipa, pero fluye de regreso como corriente reactiva entre el generador y el consumidor.

En la siguiente figura, se muestran las curvas de voltaje y corriente que no intersectan la coordenada cero en los mismos puntos, esto significa que ha ocurrido un desplazamiento de fase. Con cargas inductivas la corriente se atrasa detrás del voltaje, en tanto que las cargas capacitivas se adelantan al voltaje. Si se calculan ahora los voltajes momentáneos con la fórmula: (P = V . I), cuando uno de los factores es negativo, se obtiene un producto negativo.



CURVA DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA CON UNA CARGA RESISTIVA E INDUCTIVA (φ = 45°)

En este ejemplo, el desplazamiento de fase φ= 45º corresponde a un Cos φ = 0.707 inductivo.

En este caso, la potencia activa está dada por la fórmula: P = V . I Cos φ

POTENCIA REACTIVA.

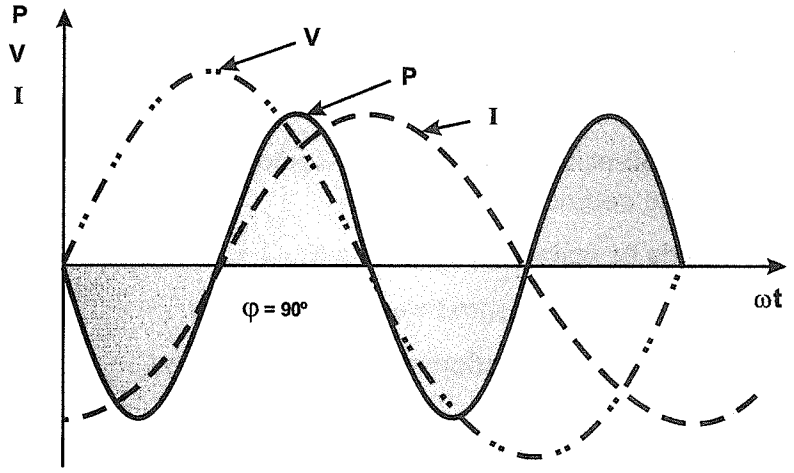
La potencia reactiva-inductiva ocurre en motores y transformadores cuando operan en vacío. Si las pérdidas en el cobre, hierro y donde las pérdidas por fricción y ventilación se ignoran con capacitores de potencia, se puede pensar en términos de potencia reactiva- capacitiva virtualmente pura, debido a que se despliegan pérdidas extremadamente bajas (menores del 0.05%).

Si las curvas de voltaje y corriente están defasadas 90º, una mitad de la curva de potencia cae en el área negativa. La potencia activa es, por lo tanto cero, debido a que las áreas positiva y negativa se cancelan una a otra.

La potencia reactiva se calcula como:

$$Q = V \, . \, I \, sen\varphi$$

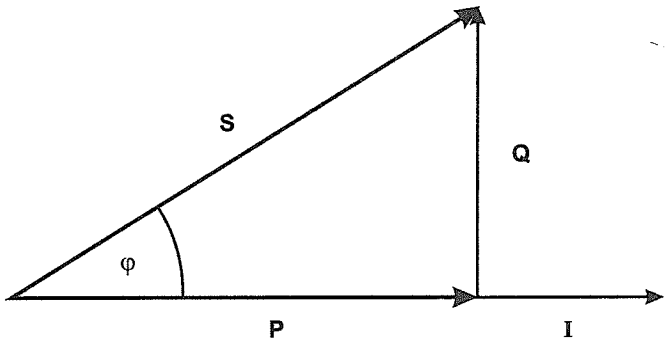
$$[VAR] = [Volt] \, [Ampere]$$



CURVA DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA CON CARGA PURAMENTE REACTIVA (φ = 90°)

POTENCIA APARENTE.

La potencia aparente es crítica para la capacidad de potencia de la red eléctrica. Los generadores, transformadores, interruptores, fusibles, conductores se deben de dimensionar adecuadamente para la potencia aparente que resulte en el sistema.



TRIÁNGULO DE POTENCIA

$$S = V \, . \, I$$

$$[VA] = [V]\,[A]$$

$$S = \sqrt{P^2 + \varphi^2}$$

¿Por qué se debe corregir el factor de potencia?

La corrección del factor de potencia en las instalaciones tiene varios objetivos, los más importantes son los siguientes:

1. Disminuir la penalización aplicada al consumo de energía por bajo factor de potencia (en su caso).
2. Disminuir la caída de voltaje en conductores.
3. Reducir las pérdidas en alimentadores y conductores.
4. Liberar capacidad en alimentadores y transformadores.

Con relación a la penalización que se aplica al consumo de energía, cuando el factor de potencia es menor que 0.90, el recargo se calcula con la expresión:

$$\%\, recargo = \ 3/5 \ x\left((90/Cos\varphi - 1)\right) x\, 100$$

Por ejemplo, para un factor de potencia de 0.70 el porcentaje de recargo se calcula como sigue:

$$\%\, recargo = \ 3/5 \ x\left((90/0.7 - 1)\right) x\, 100 = 76.54\ \%$$

Cuando el factor de potencia es mayor a 0.90, entonces se tiene una bonificación que se determina de acuerdo con la ecuación:

$$\%\, bonificación = \ {}^{1}/_{4} \ x\left(1 - (90/Cos\varphi)\right) \text{x}\ 100$$

Por ejemplo, para un factor de potencia de 100%:

$$\%\, bonificación = \ {}^{1}/_{4} \ x\left(1 - (90/100)\right) \text{x}\ 100$$

$$= 2.5\ \%$$

La reducción del recargo de potencia reactiva se aplica al importe a pagar, por los conceptos siguientes:

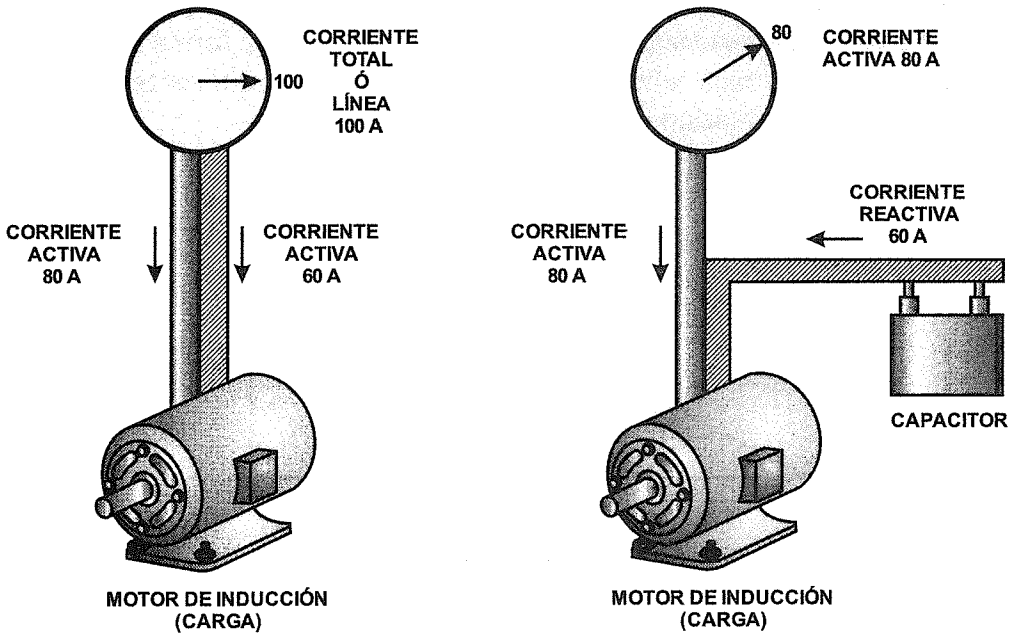
- Término de potencia (potencia contratada).
- Término de energía (energía consumida).

Se puede usar también como fórmula, para calcular el coeficiente de recargo, la siguiente:

$$Kr = \ (17/Cos^2\ \varphi) - 21$$

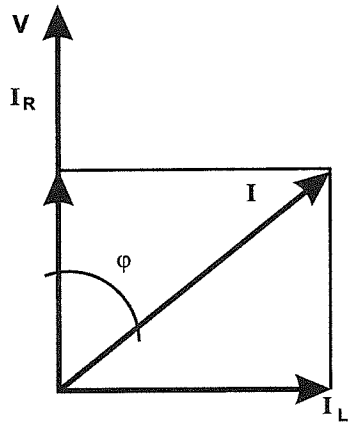
Algunos valores se dan en la tabla siguiente:

Cos φ	VALOR DE KR
1	-4%
0.95	-2.2%
0.90	0.0%
0.8	5.6%
0.6	26.2%
0.5	47.0%



LA ADICIÓN DEL CAPACITOR MEJORA EL FACTOR DE POTENCIA (FIGURA DE LA DERECHA)

Por ejemplo, la corriente total absorbida por un motor está determinada por la suma vectorial de:



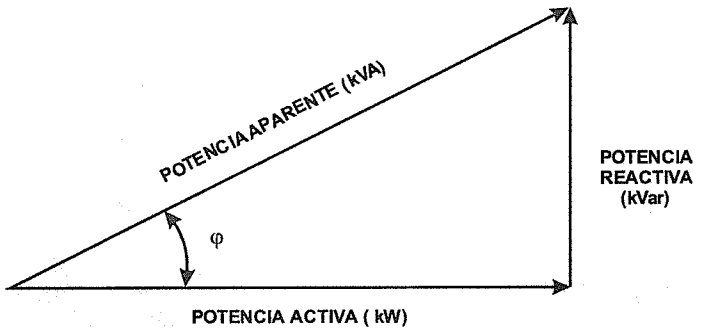
1. La corriente óhmica debida a la componente resistiva de la carga.
2. Corriente inductiva debida a la componente inductiva de la carga.

A estas corrientes se asocian las siguientes potencias:

1. *Potencia activa, asociada a la parte resistiva de la carga.*
2. *Potencia reactiva asociada a la parte inductiva de la carga.*

La potencia reactiva no produce trabajo mecánico y es una carga adicional para el proveedor.

El parámetro que define el consumo de potencia reactiva es el factor de potencia. Se define como el cociente de la potencia activa y la potencia aparente e indica la eficiencia del uso de la energía. Un ***alto factor de potencia*** indica una alta eficiencia, y en forma inversa, un ***bajo factor de potencia*** indica una baja eficiencia energética. Se usa frecuentemente un triángulo-rectángulo para indicar la relación entre estas cantidades.



TRIÁNGULO DE POTENCIA

$$FP = cos\varphi = \frac{Kw}{KVA} = \cos\left(\arctan\frac{KVAr}{Kw}\right)$$

CONSECUENCIAS Y CAUSAS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA

8.2

PÉRDIDAS EN LA INSTALACIÓN.

Las pérdidas de energía eléctrica ocurren en forma de calor y son proporcionales al cuadrado de la corriente total (I^2R). Como esta corriente crece con el exceso de energía reactiva, establece una relación entre el incremento de las pérdidas y el bajo factor de potencia, provocando el aumento del calentamiento de conductores y equipo.

CAÍDA DE TENSIÓN.

El aumento de corriente debido al exceso de energía reactiva, lleva a caídas de tensión acentuadas, pudiendo ocasionar la interrupción del suministro de energía eléctrica y la sobrecarga en ciertos elementos de la red. Este riesgo es sobre todo acentuado durante los periodos en los cuales la red es fuertemente solicitada. De esta manera, las caídas de tensión pueden provocar la disminución de la intensidad luminosa de las lámparas y aumento de la corriente en los motores.

SUBUTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA.

La energía reactiva a sobrecargar en una instalación eléctrica hace inviable su utilización plena, condicionando la instalación de nuevas cargas e inversiones que se podrían evitar, si el factor de potencia representa valores más altos. El **"espacio"** ocupado por la energía reactiva, se podría utilizar entonces para atender nuevas cargas.

Las inversiones en la ampliación de las instalaciones están relacionadas principalmente con los transformadores y conductores necesarios. El transformador a ser instalado debe atender la potencia total de los equipos utilizados, pero debido a la presencia de potencia reactiva, su capacidad se debe calcular con base en la potencia aparente de la instalación. En la tabla siguiente, se muestra la potencia total que debe tener un transformador, para atender una carga útil de 800 Kw para factores de potencia crecientes.

POTENCIA ÚTIL ABSORBIDA EN KW	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA DEL TRANSFORMADOR EN KVA
800	0.5	1600
	0.80	1000
	1.00	800

8.3 EL FACTOR DE POTENCIA

La potencia total de operación, denominada potencia aparente, se puede expresar en términos de las potencias activa y reactiva, como:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

El factor de potencia representa la siguiente relación entre potencia activa y aparente:

$$cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{Potencia\ activa}{Potencia\ aparente}$$

En correspondencia se puede hablar también de:

$$tan\varphi = \frac{Q}{P} = \frac{Potencia\ reactiva}{Potencia\ activa}$$

La corrección del factor de potencia significa que los capacitores *(o máquinas síncronas),* se usan para reducir la cantidad de potencia reactiva que alimenta a los consumidores industriales y comerciales, por lo tanto, se debe mejorar el factor de potencia a valores más altos.

DEMANDA DE POTENCIA REACTIVA.

Los motores de inducción requieren de potencia reactiva para mantener el campo magnético esencial para su operación, el promedio de potencia reactiva ***demandada por un motor asíncrono es aproximadamente 1 KVAr por 1 Kw de potencia activa.***

Los accionamientos a base de tiristores demandan corriente reactiva de la red y también ***generan armónicas, las cuales entre otras cosas tienden a sobrecargar los capacitores.*** Adicionalmente al equipo mencionado antes, los transformadores, los cables de potencia, las líneas de transmisión y varios dispositivos eléctricos requieren de potencia reactiva.

EJEMPLOS DE FACTORES DE POTENCIA TÍPICOS		
CARGA TIPO		FACTOR DE POTENCIA APROXIMADA
	A MEDIA CARGA	A PLENA CARGA
MOTOR DE INDUCCIÓN	<100 KW 0.6 250 KW	0.6 – 0.8 0.8 – 0.9
ACCIONAMIENTO CON TIRISTORES		0.7
LÁMPARAS INCANDESCENTES		1.0
LÁMPARAS DE ARCO DE MERCURIO		0.5
LÁMPARAS FLUORESCENTES (CÁTODO CALIENTE)		0.5 – 0.6
LÁMPARA DE TUBO DE NEÓN		0.4 – 0.5
HORNO DE INDUCCIÓN		0.2 – 0.6
HORNO DE ARCO		0.6 – 0.8
SOLDADURA DE ARCO EN C.A.		0.5 – 0.6

También, el costo de los sistemas de control y protección de los equipos se incrementa con el aumento de la energía reactiva, de la misma forma, para transportar la misma potencia activa sin un incremento en las pérdidas, se debe aumentar la sección en los conductores, en la medida que el factor de potencia disminuye.

8.4 VENTAJAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

MEJORÍA DE LA TENSIÓN.

Las desventajas de una tensión debajo de la nominal en cualquier sistema eléctrico son bastante conocidas. Los capacitores elevan los niveles de tensión, y esta mejoría de tensión se debe ver como una ventaja adicional del uso de capacitores.

La tensión en cualquier punto de un circuito eléctrico es igual a la tensión en la fuente de generación, menos la caída de tensión en cualquier punto de un circuito. Como normalmente se conoce la tensión en la fuente, el problema es calcular las caídas de tensión.

Para simplificar el cálculo de las caídas de tensión, se usa por lo general la formula siguiente:

$$\Delta V = RI\cos\varphi \pm XI\,sen\varphi$$

DONDE:

ΔV = Caída de tensión (V).
R = Resistencia (Ω).
I = Corriente en (A).
φ = Ángulo del factor potencia.
X = Reactancia.

Los valores de **AV, R, X** son por fase, la caída de tensión en resistencia trifásica se calcula como:

$$\Delta V.\sqrt{3}$$

Conocido el factor de potencia y la corriente total, los componentes de corriente se obtienen como:

$$1\ \text{Kw} = I\,.\cos\varphi$$

$$1\ KVAR = I\,.sen\,\varphi$$

De manera que:

$$1KVAR = corriente\ activa$$
$$1\ KVAR = corriente\ reactiva$$
$$V = R.I\ Kw \pm X.I_{KVAR}$$

Por esta expresión, se observa que es evidente que la corriente relativa a la potencia reactiva opera sólo en la reactancia. Como esta corriente es reducida por los capacitores, la caída de tensión total es entonces reducida de un valor igual a la corriente del capacitor y la reactancia del sistema para conocer la elevación de tensión ocasionada por los capacitores.

TRANSMISIÓN DE POTENCIA REACTIVA Y DISEÑO DE LA RED.

La corriente total en la red, es como una regla, el criterio básico para diseñar el sistema. En baja tensión en particular, la corriente térmica de la red es el factor crítico, mientras que en alta tensión otras consideraciones, tales como el cortocircuito, son también vitales.
Cuando se incluye compensación paralelo en el sistema, se transmite menos potencia reactiva, de aquí la componente de la corriente correspondiente **Iq** se reduce y consecuentemente reduce la corriente total **I**, la cual se expresa como:

$$I = \sqrt{I_P^2 + I_q^2}$$

DONDE:

I = Corriente que tiene el efecto de diseño a la red.
Ip = Componente de corriente activa causada por la potencia en la transmisión.
Iq= Componente de corriente reactiva causada por la potencia en la transmisión.

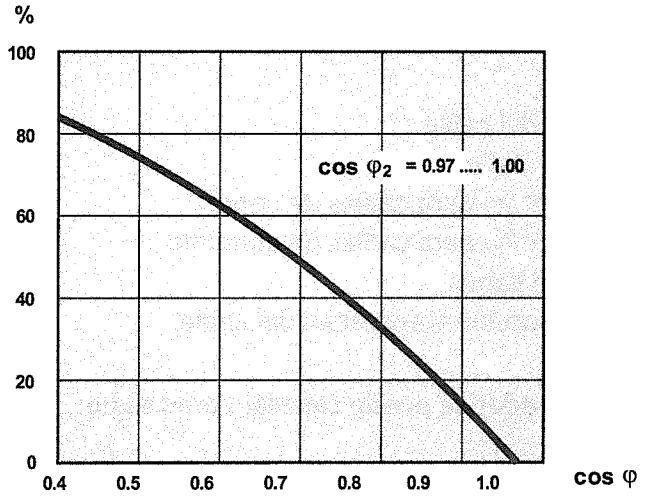
Reduciendo el flujo de corriente en una red nueva significa que transformadores de menor capacidad, conductores y cables se pueden usar.

En un sistema existente se puede transmitir más potencia activa ***(Ip aumenta)*** cuando se interrumpe la potencia reactancia de transmisión ***(Iq baja)*** y la carga total ***(I)*** permanece constante.

De esta forma, el reemplazo de los transformadores y cables, se puede posponer por algunos años o hasta el fin de su vida útil. La potencia que se puede transmitir a través de la misma red, se puede calcular como:

$$P_2 = P_1 \frac{cos\varphi_2}{cos\varphi_1}$$

P_1 = Capacidad de transmisión de potencia activa a factor de potencia $cos\varphi_1$
P_2 = Capacidad de transmisión de potencia activa a factor de potencia $cos\varphi_2$



PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN LA CORRIENTE DE DISEÑO DE UNA RED CUANDO SE MEJORA EL FACTOR DE POTENCIA (cos φ_2)

POTENCIA REACTIVA Y PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN.

La transmisión de potencia reactiva causa pérdidas de potencia activa en la resistencia de la red y pérdida de potencia reactiva en las reactancias, debido a esto, componentes como los cables de potencia y transformadores experimentan una elevación de temperatura y se tiene que pagar por las pérdidas.

PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA.

Las pérdidas de potencia activa en una red trifásica, se puede calcular con la fórmula:

$$P_h = 3\,x\,I^2\,x\,R = 3\,x\,I_P^2\,x\,R + 3\,x\,I_q^2\,x\,R$$

DONDE:

Ph = Pérdidas de potencia activa.
R = Resistencia por fase de la red de transmisión.

La ecuación anterior muestra que la pérdida de potencia generada por la componente de corriente reactiva **(Iq)** es independiente de la potencia en la transmisión y se puede examinar por separado.

$$P_{hq} = 3\,x\,I_q^2\,x\,R$$

Debe observarse especialmente que las pérdidas de potencia ocurren en proporción al cuadrado de Iq esto es, crece 4 veces si se considera un factor de potencia Cosφ = 0.7 para una carga de motor asíncrono; la mitad de las pérdidas en transmisión se deben a potencia reactiva.

La resistencia de los cables se puede calcular en forma aproximada de acuerdo con la fórmula:

$$R = \rho\frac{\ell}{A}$$

DONDE:

R = Resistencia del cable.
ρ = Resistividad del material.
= 0.020 Ω-mm^2/m para cables de cobre.
= 0.033 Ω-mm^2/m para cables de aluminio.
ℓ = Longitud del cable.
A = Área de la sección transversal del cable.

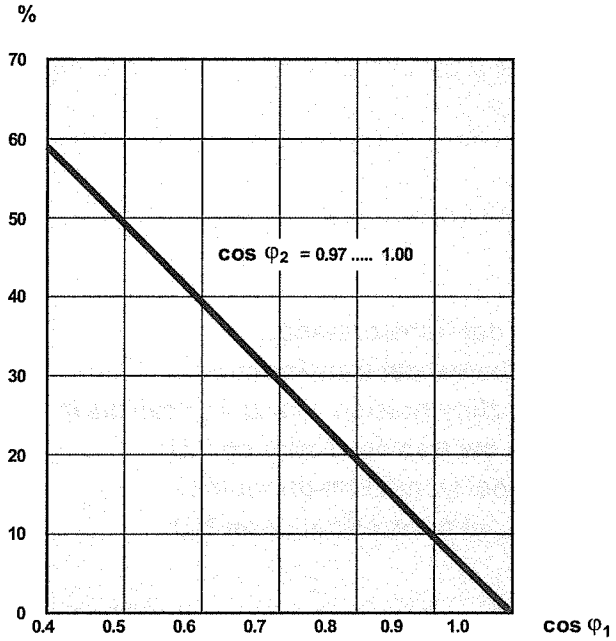
La resistencia de un transformador se puede calcular como sigue:

$$R = r_K\,x\,\frac{V^2}{S_N}$$

DONDE:

R =Resistencia del transformador.
S_n =Potencia nominal del transformador.
V = Tensión de alimentación, para la cual se calcula la resistencia.
r_K = Resistencia de cortocircuito.
P_1= Pérdidas a corriente nominal (dato de placa o de tablas).

Cuando se calculan las pérdidas, es recomendable examinar las distintas partes de la red, de esta manera las pérdidas correspondientes que aparecen en cables transformadores, etc., se pueden comparar y así detectar la principal fuente.



PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN LAS PÉRDIDAS TOTALES DE UNA RED CUANDO SE MEJORA EL FACTOR DE POTENCIA

PÉRDIDAS DE POTENCIA REACTIVA.

Las pérdidas causadas por la potencia reactiva de transmisión se pueden examinar por separado en la misma forma que las pérdidas de potencia activa, son también independientes de la transmisión de potencia activa.

Las pérdidas trifásicas de potencia reactiva, se pueden calcular a partir de la fórmula siguiente:

$$Q_{nq} = 3\,x\,I_q^2\,.\,X$$

DONDE:

Q_{hq} = Pérdidas de potencia reactiva debidas a la componente de corriente reactiva.
X = Reactancia de la red.

La reactancia de una línea aérea se calcula a partir de su inductancia como:

$$X = 2\,x\,\pi\,x\,f\,x\,L\,x\,\ell$$

DONDE:

X = Reactancia de la línea.
f = Frecuencia de la red.
L = Inductancia de la línea.
ℓ = Longitud de la línea.

La reactancia de las líneas aéreas está por lo general en el rango de 0.4 ohm/Km, que es un valor considerablemente mayor que los cables, en los cuales normalmente es insignificante.

La reactancia del transformador se calcula como:

$$X = X_K \, x \, \frac{V^2}{S_N}$$

DONDE:

$$X_k = \sqrt{Z_K^2 - r_k^2}$$

X = Reactancia del transformador.
$\mathbf{S_N}$ = Potencia nominal del transformador.
V = Tensión de alimentación a la cual se calcula la reactancia.
$\mathbf{Z_K}$ = Impedancia del transformador en P.U.
$\mathbf{X_k}$ = Reactancia del transformador en P.U.
$\mathbf{r_k}$ = Resistencia del transformador en P.U.

8.5 REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

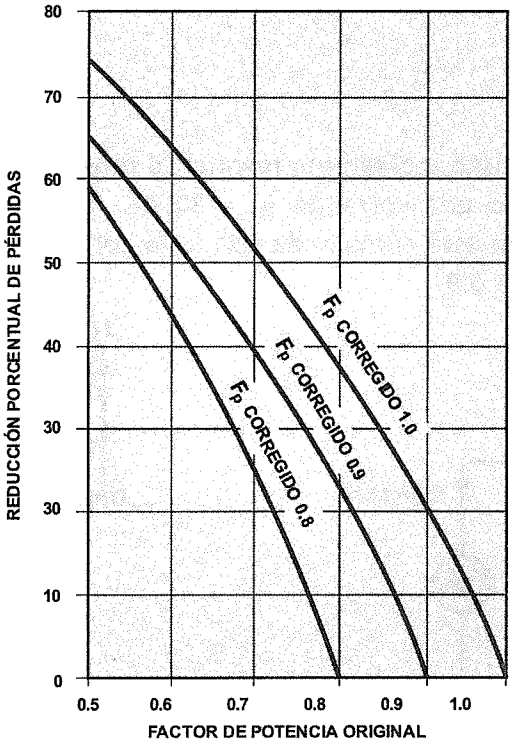
En la mayoría de los sistemas de distribución de energía eléctrica de las instalaciones industriales, las pérdidas RI^2 varían de 2.5 a 7.5% de los Kwh de la carga, dependiendo de las horas de trabajo a plena carga, el área de los conductores y la longitud de los alimentadores y circuitos de distribución.

Las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente, y como la corriente se reduce en razón directa de la mejoría del factor de potencia, las pérdidas son inversamente proporcionales al cuadrado del factor de potencia.

La reducción de pérdidas porcentual, se puede expresar como:

$$\frac{\%\,\Delta P}{P_1} = 100 \; - \; \frac{100\,.\,cos^2\varphi_1}{cos^2\varphi_2}$$

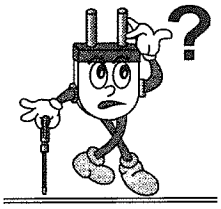
La siguiente figura está basada en la consideración de que la potencia original de la carga permanece constante. Si el factor de potencia fuera mejorado para liberar capacidad del sistema, y en vista de esto fuera conectada la carga máxima permisible, la corriente total es la misma, de modo que las pérdidas serán también las mismas. Entre tanto, la carga total en kW será mayor, y por lo tanto, la pérdida porcentual en el sistema será menor.



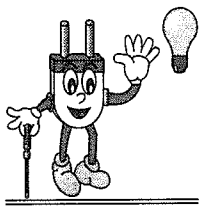
REDUCCIÓN PORCENTUAL DE PÉRDIDAS EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Algunas veces es útil conocer el porcentaje de las pérdidas, en función de la potencia aparente (S) y la potencia reactiva (φ) de la carga y de la potencia reactiva del capacitor (φc), es decir:

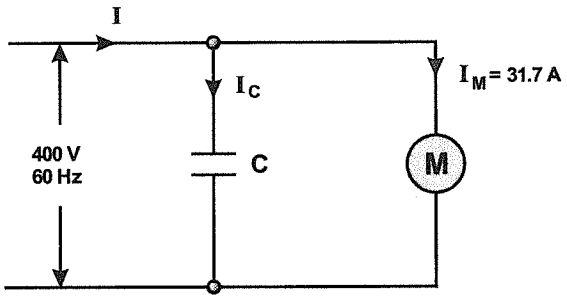
$$\% \frac{\Delta_P}{\rho_1} = 100 \frac{Q_C\,(2Q - Q_C)}{S^2}$$

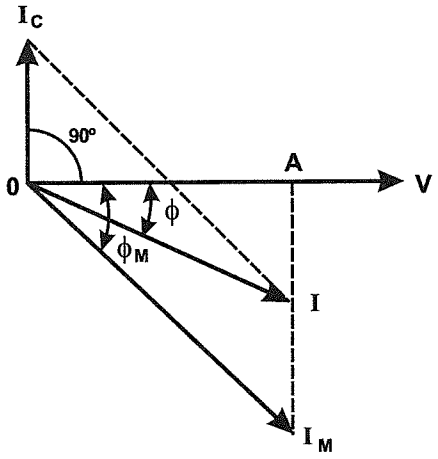


EJEMPLO 8.1 Un motor monofásico conectado a 400 V, 60 Hz toma 31.7A a factor de potencia 0.7 atrasado. Calcular la capacitancia necesaria que se debe conectar en paralelo para que el factor de potencia se eleve a 0.9.



SOLUCIÓN El circuito y diagrama fasorial se muestra en las siguientes figuras, donde el motor M está tomando una corriente I_M = 31.7A, la corriente I_C tomada por el capacitor debe ser tal que cuando esté combinada con I_M la corriente resultante I se atrase el voltaje un ángulo Ø donde: cos Ø = 0.9





Refiriéndose al diagrama fasorial de la figura anterior:

La componente activa de I_M:

$$I_M = I_M \cos Ø_M = 31.7 \times 0.7 = 22.19 \text{ A}$$

La componente activa de I:

$$I = I \cos Ø = I \times 0.9$$

Esta componente está representada por OA:

$$I = \frac{22.19}{0.9} = 24.65\ A$$

La componente reactiva de $I_M = I_M \operatorname{sen} Ø_M$

DONDE:

$$sen\phi_M = \sqrt{1 - cos^2\phi_m} = \sqrt{1 - (0.7)^2} = 0.714$$

Componente reactiva de $I_M = 31.7\ x\ 0.714 = 22.6A$

Componente reactiva de I = $Isen\emptyset = 24.65\sqrt{1-(0.9)^2} = 10.75A$

Del diagrama fasorial:

I_C = Componente reactiva I_M - Componente reactiva I

= 22.6 – 10.75

= 11.85 A

Pero:

$$I_c = \frac{V}{X_C} = V\ x\ 2\pi f c$$

También:

$$11.85 = 400\ x\ 2\pi\ x\ 66\ x\ C$$

$$C = 78.58\ x\ 10^{-6}\ F$$

$$C = 78.58\ \mu F$$

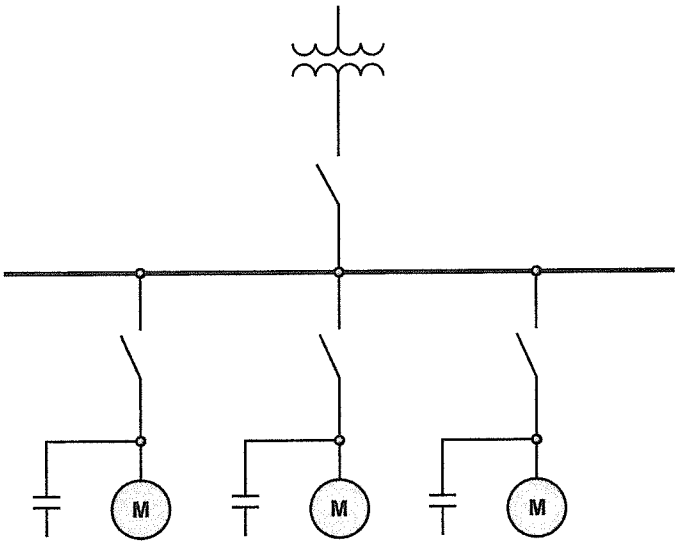
¿Cómo corregir el factor de potencia?

Instalando una batería o banco de capacitores es posible reducir la potencia reactiva absorbida por las cargas inductivas en el sistema, y en consecuencia, mejorar el factor de potencia.

Es deseable tener un factor de potencia un poco mayor 0.9 para prevenir pagar penalidad, el valor del cosφ debe ser tan cercano a la unidad como sea posible, para prevenir las corrientes atrasadas en el sistema eléctrico.

La selección del equipo correcto para la corrección del factor de potencia, depende del tipo de cargas y de la forma en cómo operen. La elección generalmente es entre dos métodos: ***Compensación central y compensación individual.***

La compensación individual requiere que la corrección del factor de potencia se instale en cada una de las cargas (por ejemplo, en las terminales de los motores).



COMPENSACIÓN INDIVIDUAL

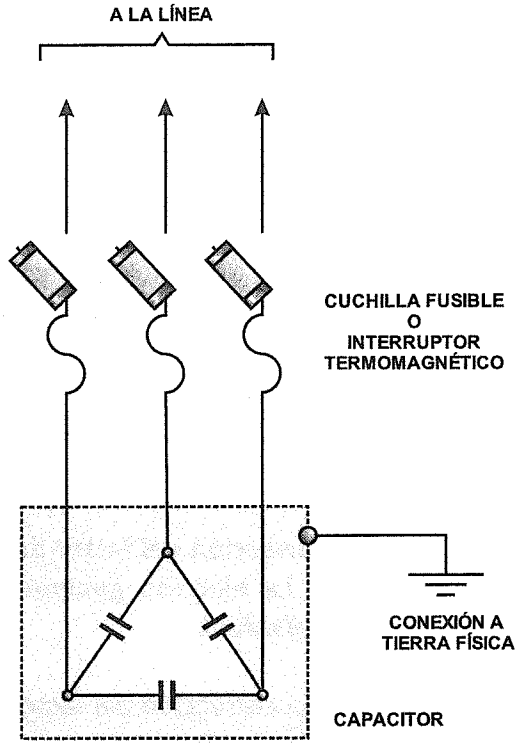
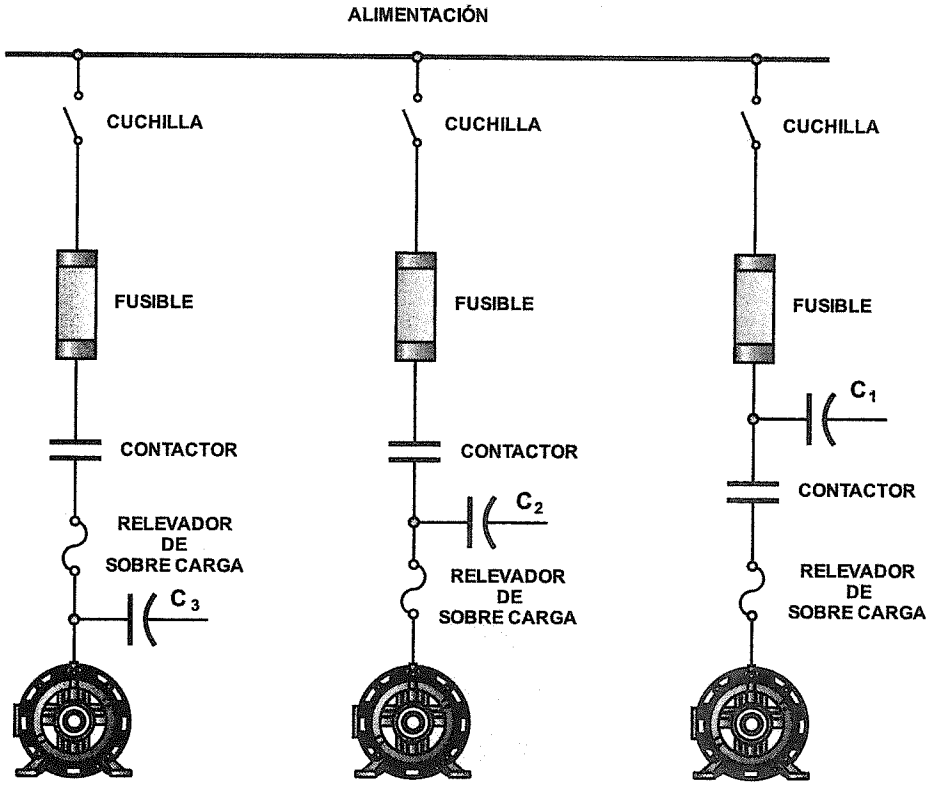
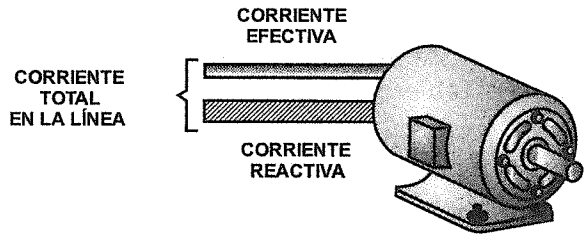


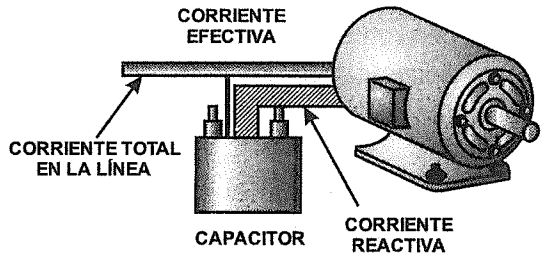
DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE UN CAPACITOR



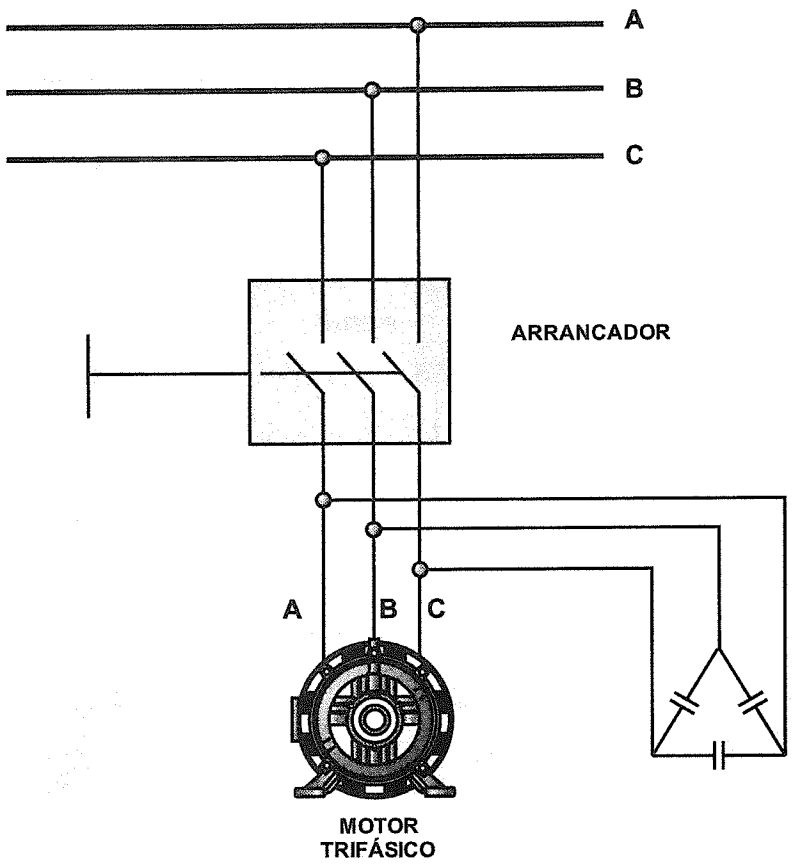
LOCALIZACIÓN DE CAPACITORES JUNTO AL MOTOR



MOTOR DE INDUCCIÓN, SIN COMPENSACIÓN



MOTOR DE INDUCCIÓN, FACTOR DE POTENCIA CORREGIDO

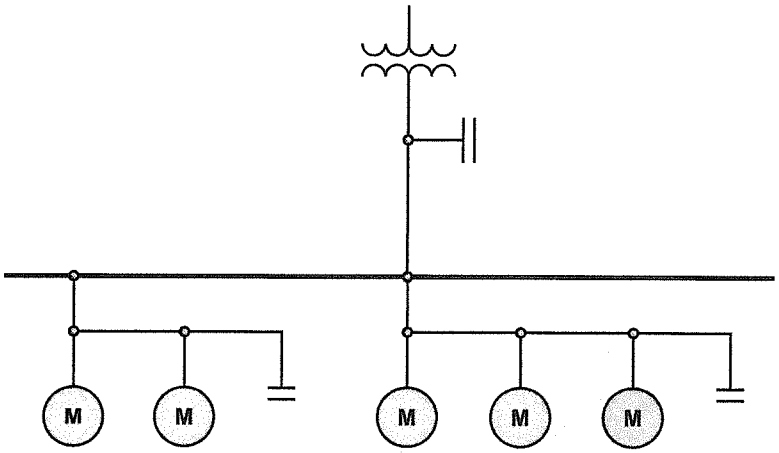


Compensación central: hay sólo un banco de capacitores sobre el sistema principal de distribución en la subestación o el tablero principal.

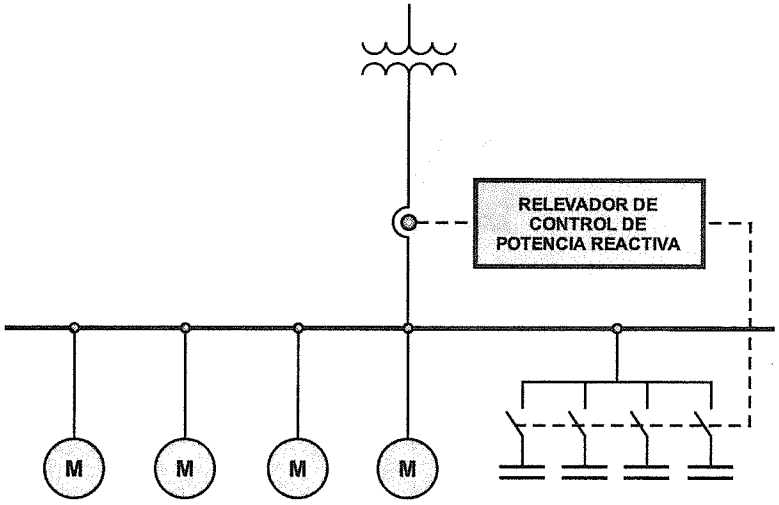
La forma como varía la carga cada día tiene una importancia fundamental en la selección del tipo de compensación más conveniente. En muchas instalaciones, no todos los usuarios operan simultáneamente, algunas cargas funcionan sólo unas pocas horas al día. Es evidente que la solución de compensación distribuida resulta costosa por el número elevado de condensadores que se debe instalar, y luego después de algún tiempo, estos condensadores quedan inutilizados al modificarse las características de la red.
La ***compensación distribuida*** es conveniente siempre que la mayor parte de la potencia reactiva requerida sea concentrada en pocas cargas de gran potencia, que trabajan durante muchas horas al día.

La ***compensación centralizada*** conviene en el caso de instalaciones con muchas cargas heterogéneas que trabajan en forma concentrada en algunas subestaciones, por largos periodos de tiempo.

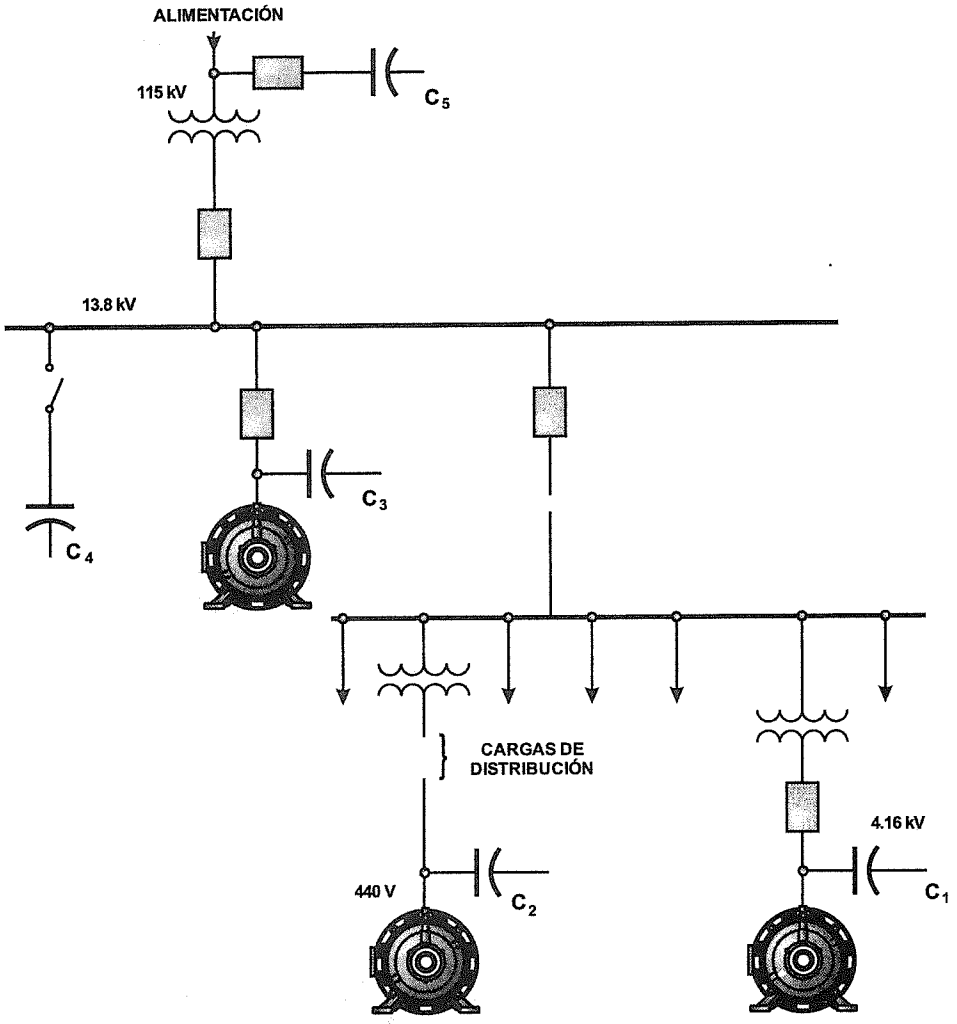
La compensación centralizada es la mejor para sistemas donde la carga fluctúa a lo largo del día. Si la absorción de potencia reactiva es muy variable, es recomendable el uso de regulación automática, fraccionando el banco de capacitores en más pasos. Se puede prever el uso de accionamiento manual cuando el banco de capacitores es accionado pocas veces al día.



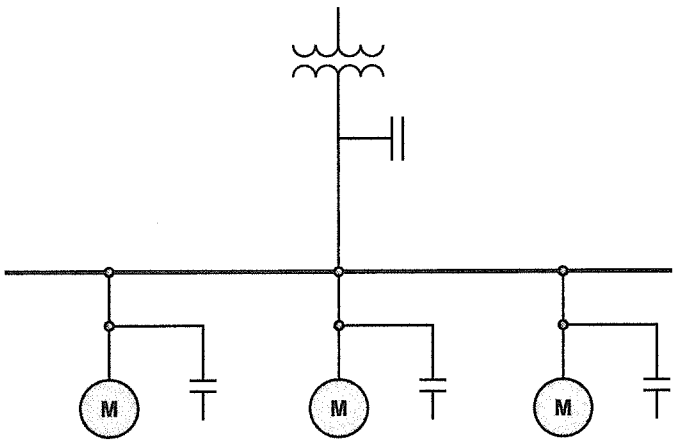
CORRECCIÓN POR GRUPO DEL FACTOR DE POTENCIA



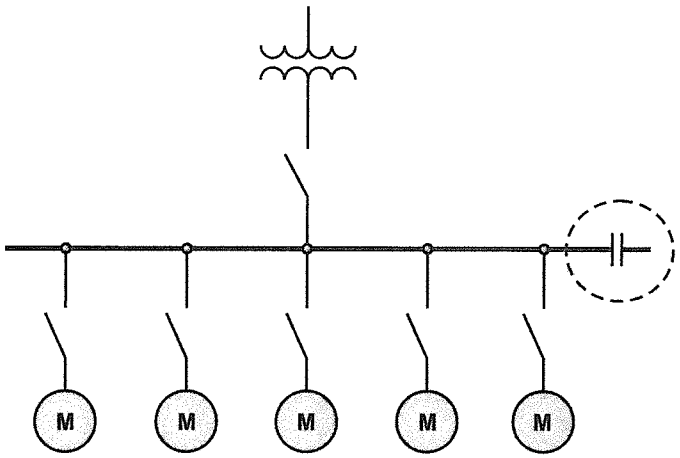
SISTEMA DE CORRECCIÓN CENTRALIZADO DEL FACTOR DE POTENCIA



OPCIONES DE LOCALIZACIÓN DE CAPACITORES



CORRECCIÓN INDIVIDUAL DEL FACTOR DE POTENCIA



COMPENSACIÓN CENTRALIZADA

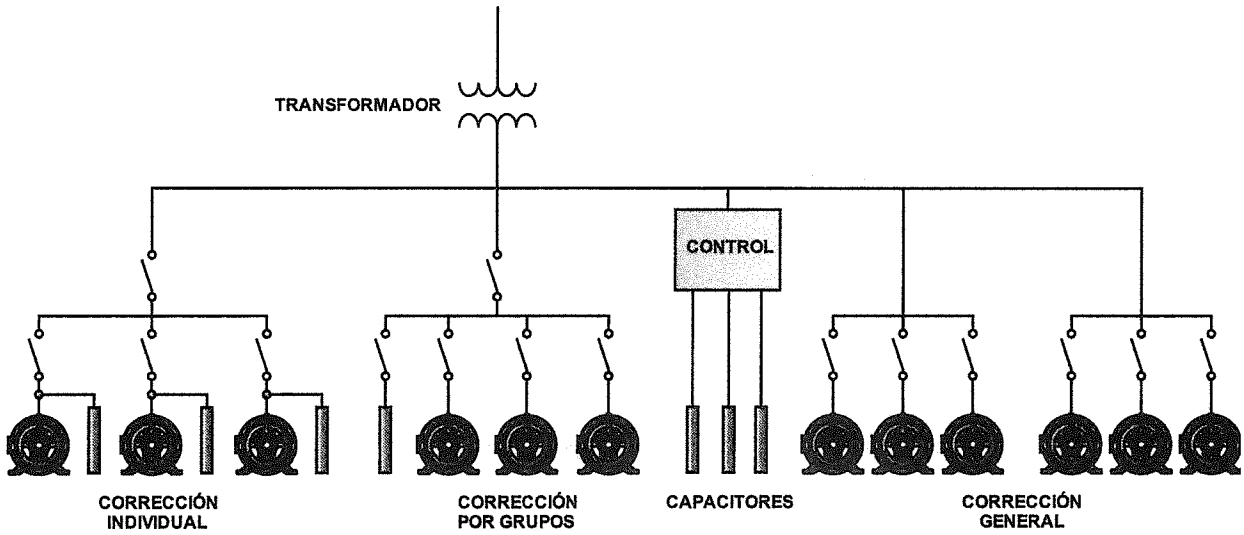
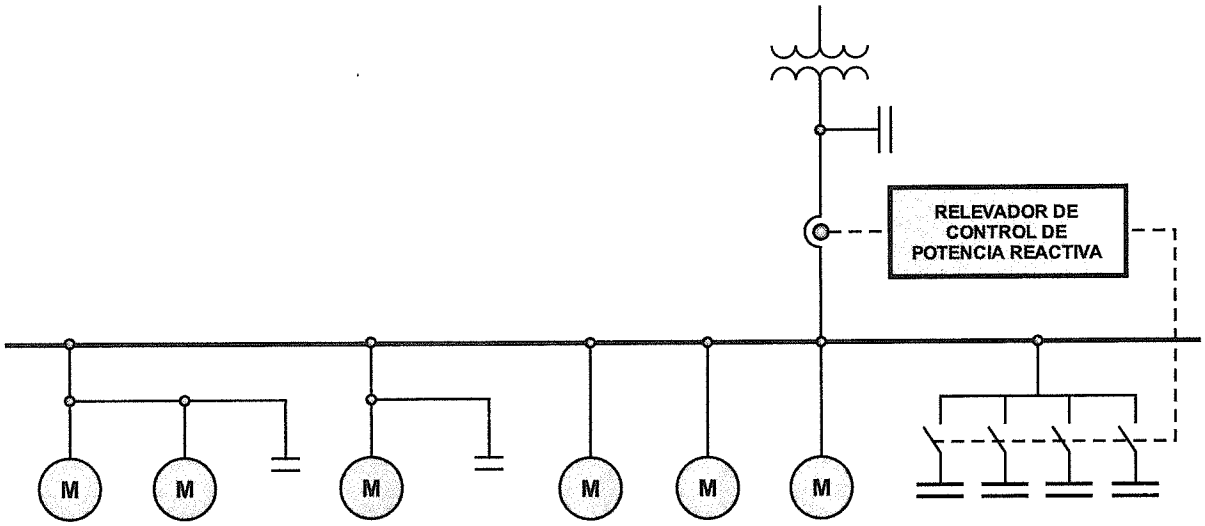
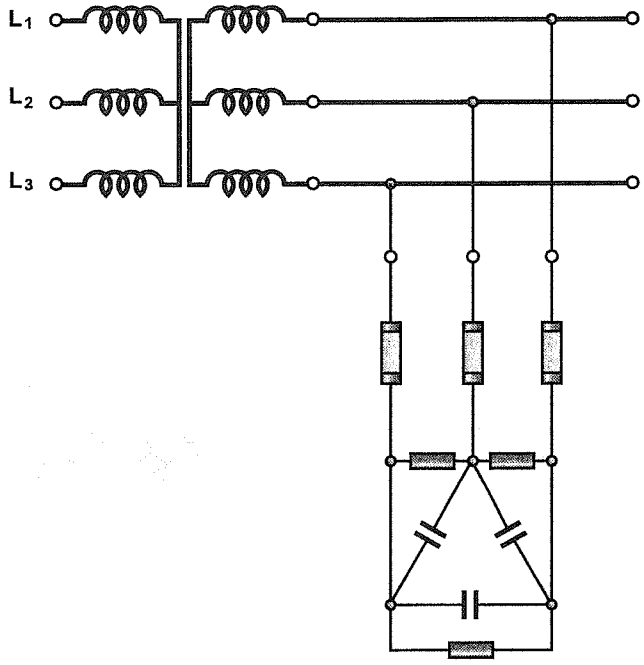


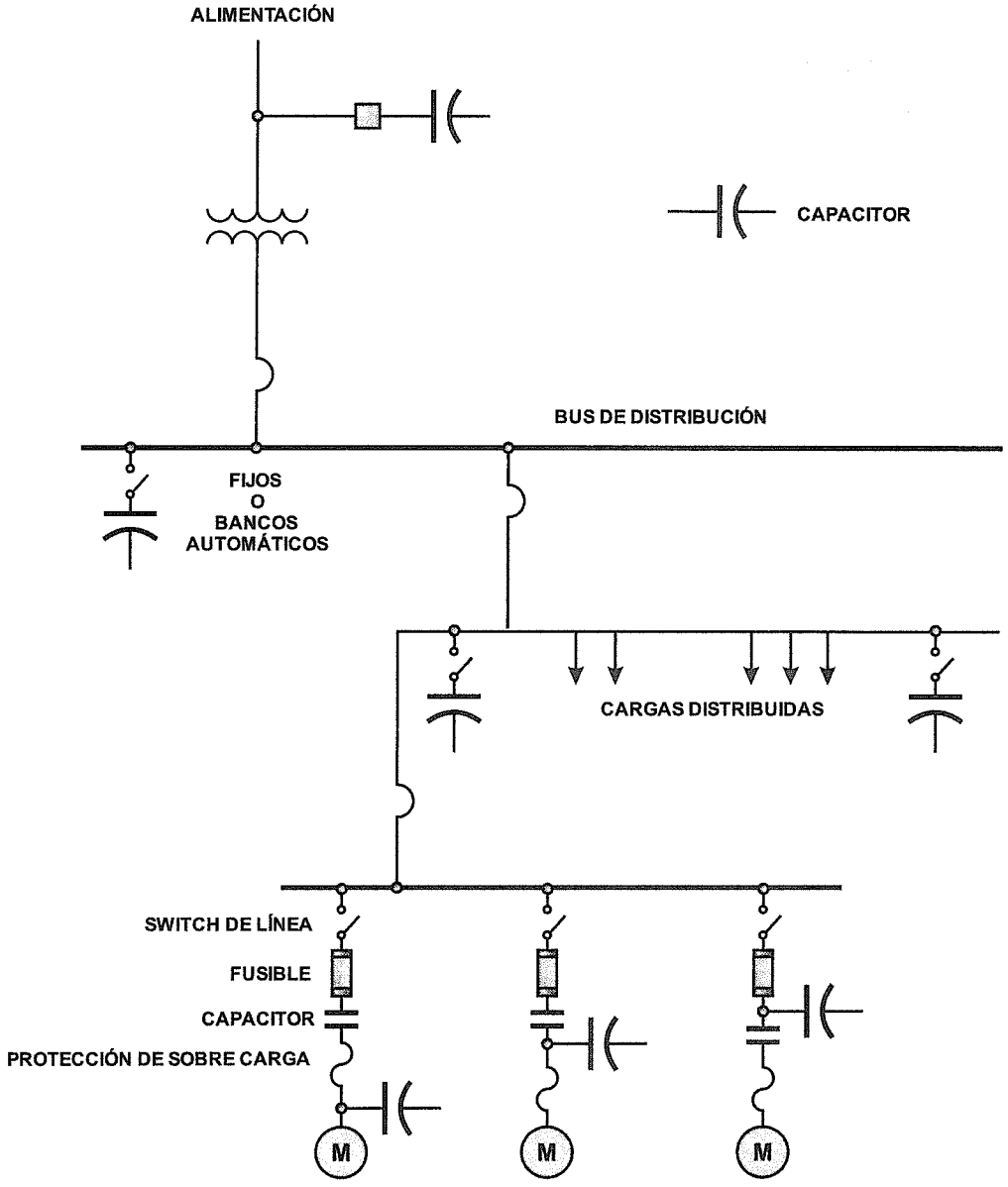
DIAGRAMA DE LOS TIPOS DE INSTALACIÓN DE CARGA



SISTEMA DE CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA HÍBRIDO



TRANSFORMADOR TÍPICO CON CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA PERMANENTE



OPCIONES DE COMPENSACIÓN EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

CÁLCULO DE COMPENSACIÓN.

La selección de la batería de condensadores a instalar en una instalación es directamente proporcional a:

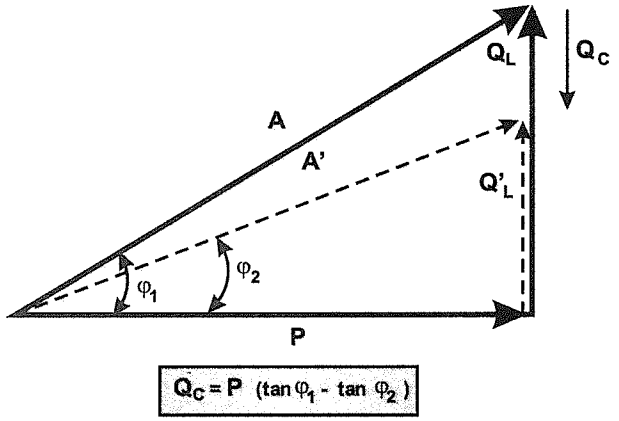
- *El factor de potencia cosφ_2, que se quiere obtener.*
- *El valor del factor de potencia cos φ_1*
- *La potencia activa instalada.*

De acuerdo con la ecuación:

$$Q_C = P \,.\, (tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

DONDE:

Q_C = Potencia reactiva capacitiva a instalar (KVAR).
ρ = Potencia activa instalada (KW).



Q_L, Q'_L = Potencia reactiva inductiva antes y después de la instalación del banco de capacitores.

DONDE:

Q_L, Q'_L = Potencia reactiva inductiva antes y después de la instalación del banco de capacitores.
A, A' = Potencia aparente y después de la corrección del factor de potencia.

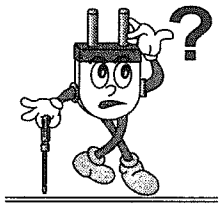
La fórmula:

$$Q_C = P\ (tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

Se puede escribir como:

$$Q_C = K\,P$$

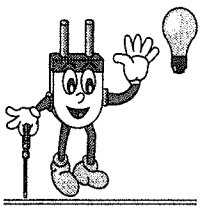
Donde el valor de la constante K se puede calcular de acuerdo con la tabla 8.1



EJEMPLO 8.2 Una alimentación monofásica suministra las cargas siguientes:

a) Una carga de alumbrado de 20 KW, cosϕ = 1.0
b) Carga de motores de inducción de 100 KW, cosϕ = 0.707 (-).
c) Carga de motor síncrono de 50 KW, cosϕ = 0-9 (+).

Calcular las potencias activa (KW) y reactiva (KVAR) entregadas por la alimentación monofásica y el factor de potencia a que trabaja.



SOLUCIÓN Usando los sufijos 1, 2 y 3 para designar las distintas cargas:

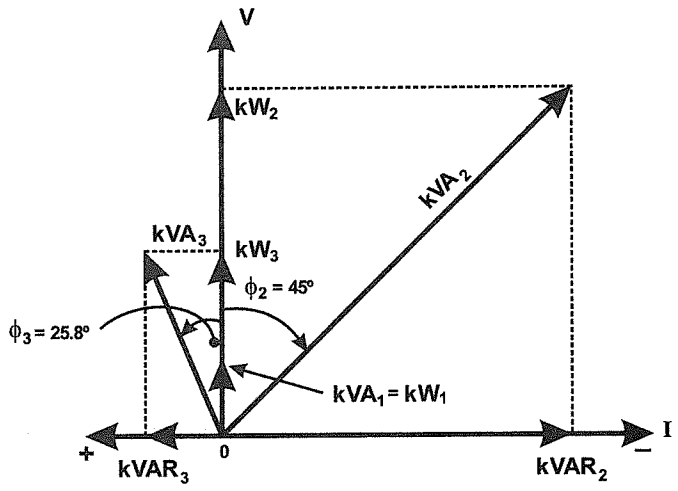
$$KVA_1 = \frac{KW_1}{cos\varphi_1} = \frac{20}{1} = 20\ KVA$$

$$KVA_2 = \frac{KW_2}{cos\varphi_2} = \frac{100}{0.707} = 141.4\ KVA$$

$$KVA_3 = \frac{KW_3}{cos\varphi_3} = \frac{50}{0.9} = 55.6\ KVA$$

Las cargas están representadas en la siguiente figura. Los valores de los KVA's no están en fase, para encontrar los KVA totales, se resuelve cada valor de los KVA_1, KVA_2, KVA_3 en sus componentes rectangulares KW y KVAR como se muestra en la siguiente figura.

Ahora se pueden combinar los valores totales de KW y KVAR para obtener los KVA.



$$KVA_1 = KVA_1 sen\varphi_1 = 20\ x\ 0 = 0$$

$$KVA_2 = KVA_2 sen\varphi_2 = 141.4\ x\ 0.707 = -100\ KVAR$$

$$KVA_3 = KVA_3 sen\varphi_3 = +55.6\ x\ 0.436 = +24.3\ KVAR$$

Obsérvese que $KVAR_2$ y $KVAR_3$ están en dirección opuesta; $KVAR_2$ atrasado, en tanto $KVAR_3$ adelantado a KVAR.

$$KW_{TOTAL} = 20 + 100 + 50 = 170\ KW$$

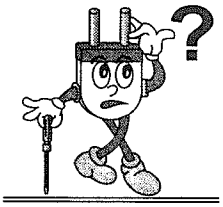
$$KVAR_{TOTAL} = 0\ - 100 + 24.3 = -75.7\ \text{KVAR}$$

$$KW_{TOTAL} = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2} = \sqrt{(170)^2 + (75.7)^2}$$

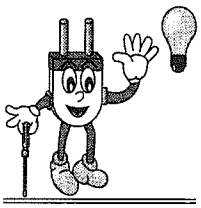
$$= 186\ KVA$$

El factor de potencia:

$$cos\varphi = \frac{Kw_{TOTAL}}{KVA_{TOTAL}} = \frac{170}{186} = 09.14\ atrasado$$



EJEMPLO 8.3 Se tiene un motor de inducción que en operación normal absorbe una potencia de 100 KW con un $\cos\phi = 0.75$ ($\tan\phi_1 = \tan(\cos^{-1} 0.75) = 0.88$), para pasar a un $\cos\phi = 0.93$, calcular el tamaño de la batería de condensadores.



SOLUCIÓN La potencia del banco:

$$Q_C = P\,(tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

$$tan\varphi_2 = \tan(cos^{-1}0.93) = 0.40$$

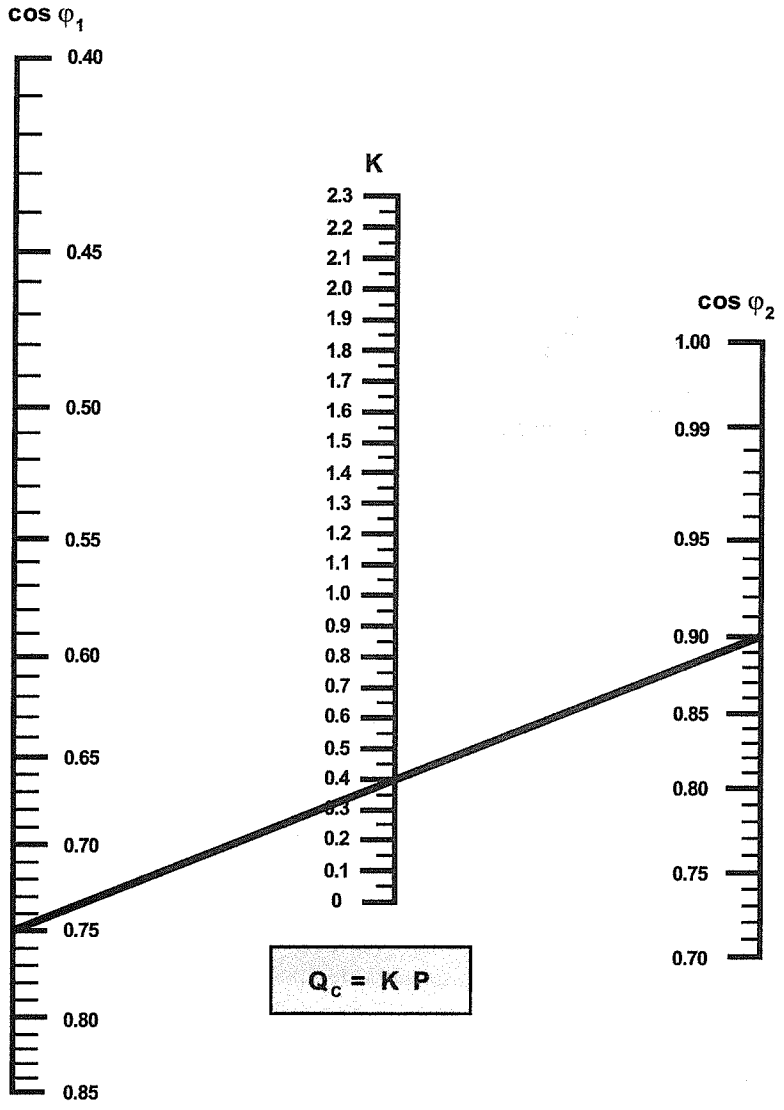
$$Q_C = 100\,(0.88 - 0.40) = 48\,KVAR$$

Tabla 8.1

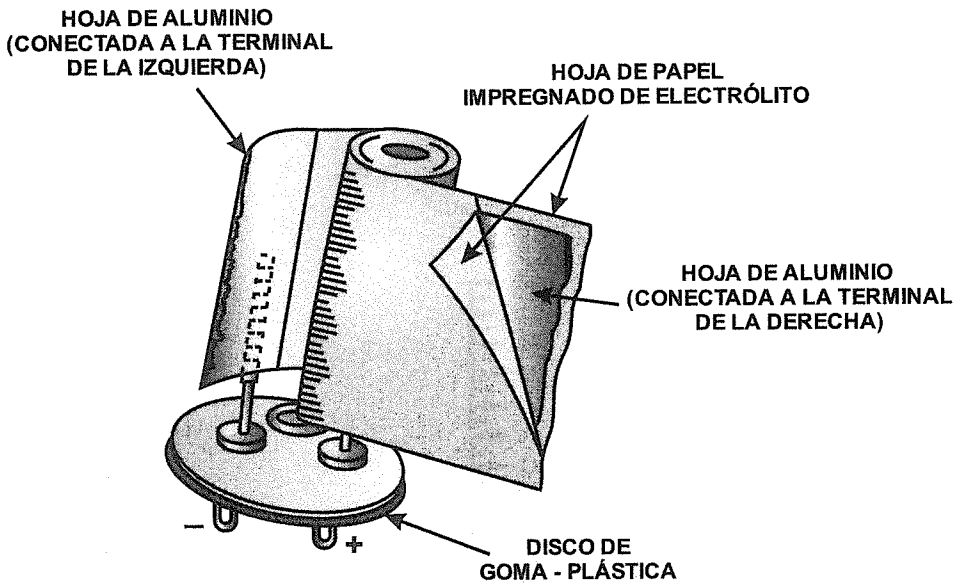
FACTOR k

k = 0.591

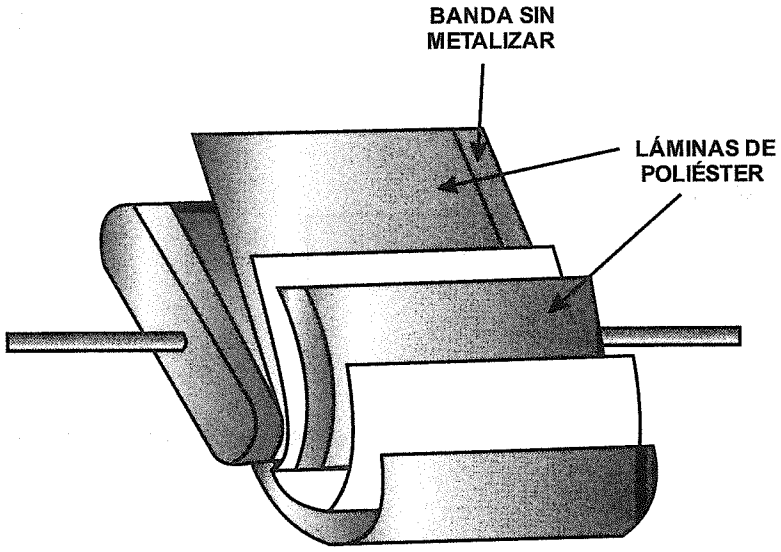
FACTOR DE POTENCIA INICIAL	FACTOR DE POTENCIA FINAL	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.40		1.541	1.668	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
0.41		1.474	1.605	1.742	1.769	1.798	1.831	1.860	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
0.42		1.413	1.544	1.681	1.769	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
0.43		1.356	1.487	1.624	1.709	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
0.44		1.290	1.421	1.558	1.651	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
0.45		1.230	1.360	1.501	1.585	1.561	1.592	1.626	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
0.46		1.179	1.309	1.446	1.532	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
0.47		1.130	1.260	1.397	1.473	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
0.48		1.076	1.206	1.343	1.425	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
0.49		1.030	1.160	1.297	1.370	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
0.50		0.982	1.112	1.248	1.326	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51		0.936	1.066	1.202	1.276	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
0.52		0.894	1.024	1.160	1.230	1.212	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
0.53		0.850	0.980	1.116	1.188	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
0.54		0.809	0.939	1.075	1.144	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
0.55		0.769	0.899	1.035	1.103	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
0.56		0.730	0.865	0.996	1.063	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
0.57		0.692	0.822	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
0.58		0.665	0.785	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
0.59		0.618	0.748	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
0.60		0.584	0.714	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
0.61		0.549	0.679	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62		0.515	0.645	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
0.63		0.483	0.613	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
0.64		0.450	0.580	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
0.65		0.419	0.549	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
0.66		0.388	0.518	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
0.67		0.358	0.488	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68		0.329	0.459	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
0.69		0.299	0.429	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
0.70		0.270	0.400	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.71		0.242	0.372	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.72		0.213	0.343	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.73		0.186	0.316	0.452	0.400	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.74		0.159	0.289	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.75		0.132	0.262	0.389	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.76		0.105	0.235	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.77		0.079	0.209	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.78		0.053	0.183	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.79		0.026	0.156	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.80			0.130	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.81			0.104	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.82			0.078	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.83			0.052	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.84			0.026	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.85				0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484



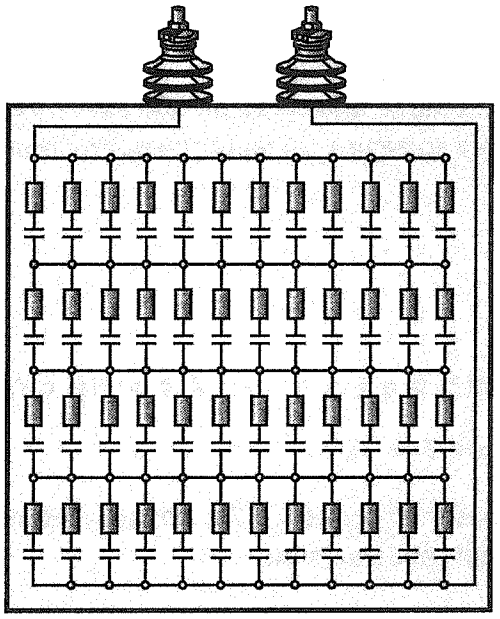
NOMOGRAMA PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA



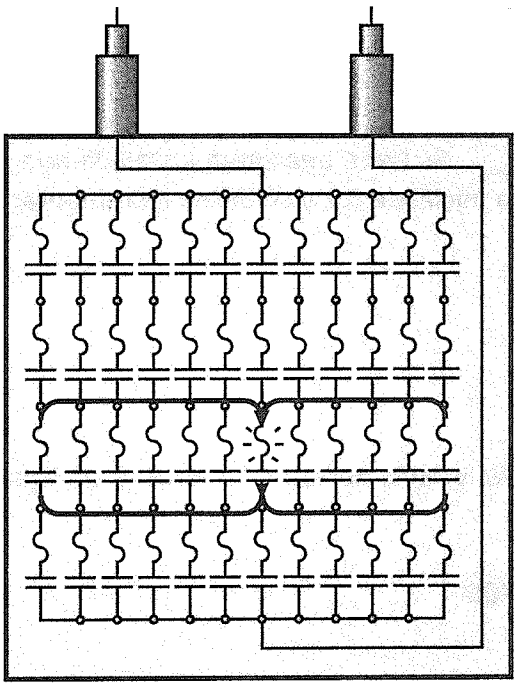
PARTES DE UN CAPACITOR



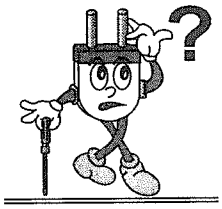
CAPACITOR DE POLIÉSTER TUBULAR



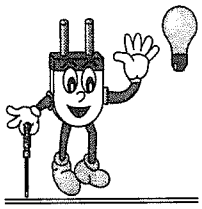
CAPACITOR CON FUSIBLES INTERNOS



CAPACITOR CON FUSIBLES INTERNOS



EJEMPLO 8.4 Se tiene una carga de 500 KVA trifásica que tiene un factor de potencia, cosϕ1 = 0.7 (-) y se desea corregir a un factor de potencia cosϕ2 = 0.9 (-).

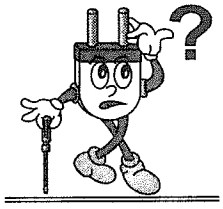


SOLUCIÓN La potencia activa demandada por las cargas es:

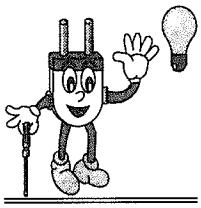
$$KW = KVAcos\varphi = 500\,x\,0.7 = 350$$

Usando la tabla anterior, para pasar de cosφ1 = 0.7 a cosφ2 = 0.9, en la intersección el factor K es 0.536, por lo tanto, los KVAR del capacitor son:

$$KVAR_C = 0.536\,x\,350 = 187.5 \cong 200\,KVAR$$



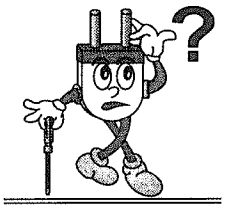
EJEMPLO 8.5 Se tiene una carga instalada que absorbe una potencia de 300 KW con un factor de potencia inicial de 0.7 y se desea incrementar hasta 0.92, calcular los KVAR necesarios.



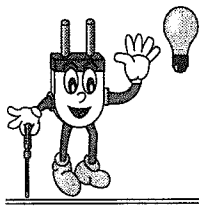
SOLUCIÓN De la tabla anterior, se encuentra que el valor de la constante K es: K = 0.591, por lo tanto:

$$Q_C = KP = 0.591\,x\,300$$

$$Q_C = 177\,KVAR$$



EJEMPLO 8.6 Un motor trifásico de inducción de 5 KW tiene un factor de potencia de 0.75 atrasado. Para elevar el factor de potencia a 0.90, se desea conectar un banco de capacitores en las terminales de alimentación. Calcular la capacidad de los capacitores conectados en cada fase.



SOLUCIÓN

La potencia del motor de: P = 5 KW.

Se supone una eficiencia: $\eta = 100\%$

El factor de potencia original es: $\cos\phi 1 = 0.75$ (-1)

El factor de potencia final es: $\cos\phi 2 = 0.9$ (-) v

$$\varphi_1 = cos^{-1}\,(0.75) = 41.41^0,\ tan\varphi_1 = tan(41.41)^0 = 0.8819$$

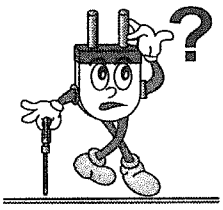
$$\varphi_2 = cos^{-1}\,(0.90) = 25.84^0,\ tan\varphi_2 = tan(25.84)^0 = 0.4843$$

Los KVAR requeridos por el capacitor son:

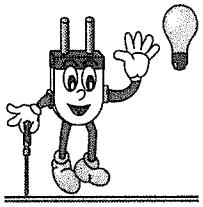
$$\begin{aligned} Q_C &= P\,(tan\varphi_1 - tan\varphi_2) \\ &= 5\,(0.8819 - 0.4843) \\ &= 1.99\ KVAR \end{aligned}$$

La potencia por fase es:

$$Q_{C/FASE} = \frac{1.99}{3} = 0.663\ KVAR$$



EJEMPLO 8.7 Un motor trifásico de inducción de 100 Hp, 400 volts, 60 Hz tiene un factor de potencia de 0.75 (-) atrasado, una eficiencia η=93%. Se conecta un banco de capacitores conectado en delta, se conecta a través de la fuente de suministro para alimentar sus terminales, para elevar el factor de potencia a 0.95 (-), cada una de las unidades capacitivas está construida de 4 capacitores similares de 110V. Calcular la capacitancia de cada capacitor.



SOLUCIÓN

El factor de potencia original, cosφ1 = 0.75(-).

El factor de potencia final, cosφ2 = 0.95(-).

Potencia de entrada al motor:

$$P = \frac{potencia\ de\ salida}{\eta} = \frac{74.6}{0.93} = 80\ Kw$$

$$\varphi_1 = cos^{-1}(0.75) = 41.41^{\circ}$$

$$tan\varphi_1 = tan(41.41) = 0.8819$$

$$\varphi_2 = cos^{-1}(0.95) = 18.19^{\circ}$$

$$tan\varphi_2 = tan(18.19^{\circ}) = 0.3288$$

Los KVAR requeridos para el capacitor se calculan como:

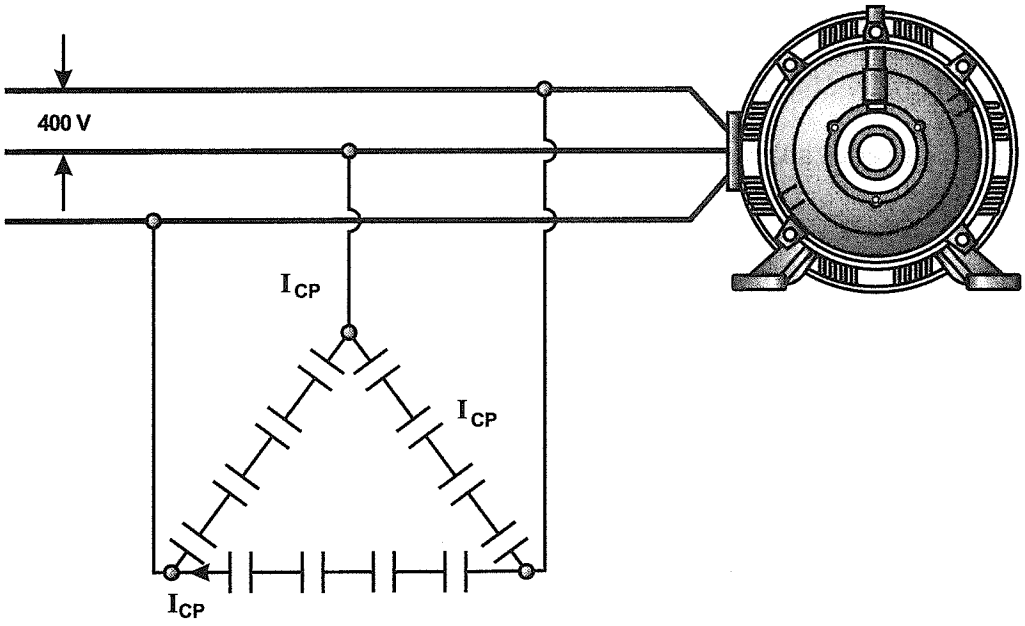
$$Q_C = P\,(tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

$$= 80\,(0.8819 - 0.3288)$$

$$= 44.25\ KVAR$$

El valor de potencia reactiva para cada fase es:

$$Q_C/F = \frac{Q_C}{3} = \frac{44.25}{3} = 14.75\ KAVR$$



Si se designa por C la capacitancia de los 4 capacitores en cada fase, la corriente por fase del capacitor es:

$$I_{CF} = V_F/X_C = 2\pi\, fc\, V_F$$

$$= 2\,\pi\, x\, 60\, x\, C\, x\, 400$$

$$I_{CF} = 150796\ C\ Amperes$$

Por otro lado:

$$KVAR/fase = \frac{V_F\, I_{CF}}{1000}$$

$$KVAR/fase = \frac{400\, x\, 150796\ C}{1000} = 60318\ C$$

Como:

$$Q_c/F = 14.75$$

Igualando:

$$14.75 = 60318\,C$$

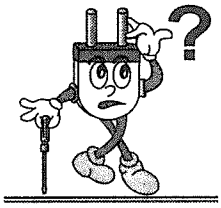
$$C = \frac{14.75}{60318} = 244.53\,x\,10^{-6}\,F$$

$$C = 244.53\,\mu F$$

La capacitancia de cada capacitor:

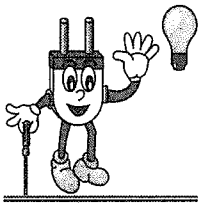
$= 4 \text{ x } 244.53$

$= 978.12\ \mu\text{F}$



EJEMPLO 8.8 Se tiene una planta industrial que demanda una potencia activa de 500 Kw a un factor de potencia de 0.76 atrasado. Calcular la potencia de los capacitores requeridos para elevar el factor de potencia a los siguientes valores:

- 0.8 atrasado
- 0.85 atrasado
- 0.95 atrasado
- Unitario



SOLUCIÓN

a) Por aplicación directa de la fórmula:

$$Q_C = P\left\{\left(\frac{1}{cos\varphi_1^2} - 1\right)^{1/2} - \left(\frac{1}{cos\varphi_2^2} - 1\right)^{1/2}\right\}$$

$$Q_C = 500\left\{\left(\frac{1}{(0.76)^2} - 1\right)^{1/2} - \left(\frac{1}{(0.8)^2} - 1\right)^{1/2}\right\}$$

$$Q_C = 52.58\,KVAR$$

Usando la tabla el factor K = 0.105:

$$KVAR = KP = 0.105\ x\ 500 = 52.5$$

b) De 0.76 atrasado a 0.85 atrasado:

$$Q_c = 500\left\{\left(\frac{1}{(0.76)^2} - 1\right)^{1/2} - \left(\frac{1}{(0.85)^2} - 1\right)^{1/2}\right\}$$

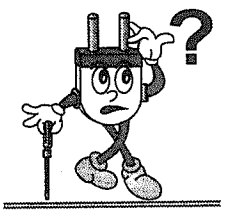
$$= 117.7\ KVAR$$

c) De 0.76 atrasado a 0.95 atrasado:

$$Q_C = 500\left\{\left(\frac{1}{(0.76)^2} - 1\right)^{1/2} - \left(\frac{1}{(0.95)}\right)^{1/2}\right\} = 260\ KVAR$$

d) De 0.76 atrasado a 1.0

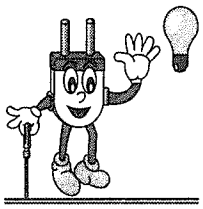
$$Q_C = 500\left\{\left(\frac{1}{(0.76)^2}\right)^{1/2} - \left(\frac{1}{(1)^2}\right)^{1/2}\right\} = 425\ KVAR$$



EJEMPLO 8.9 Calcular el banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia a un valor de 0.90, en una planta de bombeo, en donde un transformador de 500 KVA alimenta los siguientes motores:

- 3 motores de 100 HP, 4 polos, 440 volts, cosφ = 0.88
- 2 motores de 50 HP, 4 polos, 440 volts, cosφ = 0.89
- 4 motores de 3 HP, 4 polos, 440 volts, cosφ = 0.71

El transformador se alimenta a 13.8 kV, tres fases, la corriente de vacío demanda el 2% de los reactivos.



SOLUCIÓN Como los motores son distintos, se calculan los Kw y KVAR para cada motor, así como el transformador para determinar los valores totales de kV y KVAR.

Motores de 100 HP (3)

$$Kw = 0.746\ x\ 100\ x3 = 223.8$$

$$KVAR = 0.746\ x\ 100\ x\ 3\ tan(cos^{-1}(0.88)$$

$$KVAR = 120.79$$

Motores de 50 HP

$$Kw = 0.746\ x\ 50\ x\ 2 = 74.6$$

$$KVAR = 0.746\ x\ 5\ x\ 2\ tan\ (cos^{-1}\ 0.89)$$

$$KVAR = 19.11$$

Motores de 3 HP (4)

$$\text{Kw} = 4 \text{ x } 3 \text{ x } 0.746 = 8.96$$

$$Kw = 8.96$$

$$KVAR = 4\ x\ 3\ x\ 0.746\ x\ tan\ (cos^{-1}\ 0.71)$$

$$KVAR = 8.88$$

Para el transformador de 500 KVA

Los KVAR consumidos están determinados por la corriente de vacío, que en este caso es el 2% de la nominal, es decir:

$$KVAR_T = 0.02\ (500) = 10\ KVAR$$

Los valores de potencia activa y reactiva totales son:

$$Kw_T = Kw_{100} + Kw_{50} + KW_3 + KW_T$$

$$= 223.8 + 74.6 + 8.96$$

$$= 307.36$$

$$KVAR_T = KVAR_{100} + KVAR_{50} + KVAR_3 + KVAR_T$$

$$= 120.79 + 38.21 + 8.88 + 10$$

$$= 177.88$$

La potencia total aparente:

$$KVA_T = \sqrt{(Kw_T)^2 + (KVAR_T)^2}$$

$$= \sqrt{(307.36)^2 + (177.88)^2}$$

$$KVA_T = 355.12$$

El factor de potencia correspondiente es:

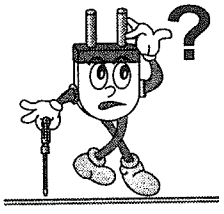
$$cos\varphi_T = \frac{Kw_T}{KVA_T} = \frac{307.36}{355.12} = 0.865$$

Los KVAR de los capacitores para corregir el factor de potencia a 0.9, se calculan como:

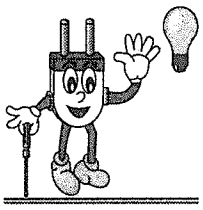
$$Q_C = Kw_T\,(tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

$$= 307.36(tan(cos^{-1}0.865) - tan(cos^{-1}0.9))$$

$$= 27.88\,KVAR$$



EJEMPLO 8.10 Supóngase que se desea incrementar de 0.8 a 0.93 el factor de potencia en una instalación trifásica (V_N = 440V), que demanda una potencia promedio de 300 Kw.



SOLUCIÓN La corriente absorbida debe ser:

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3}\, V_N\, cos\varphi_1} = \frac{300\ x\ 1000}{\sqrt{3}\ x\ 440\ x\ 0.8} = 492.07\ A$$

La potencia reactiva requerida por los capacitores es:

$$Q_C = P\ (tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

$$tan\varphi_1 = tan(cos^{-1}\ 0.8) = 0.75$$

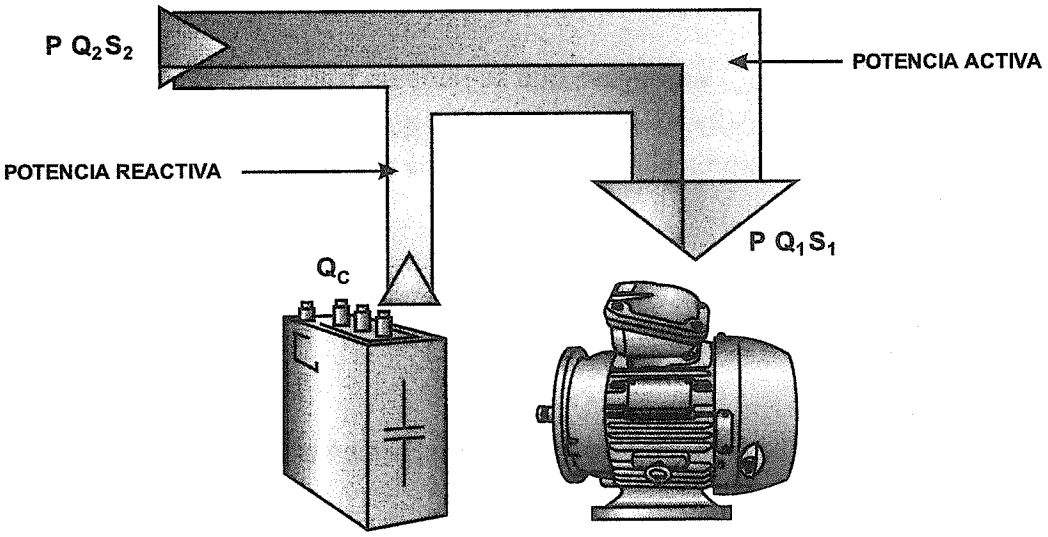
$$tan\varphi_2 = tan(cos^{-1}\ 0.93) = 0.395$$

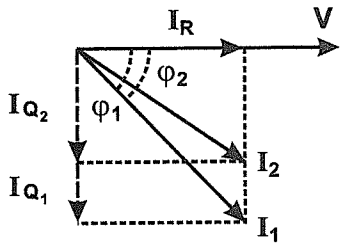
$$Q_C = 300\ (0.75 - 0.395) = 106.5\ KVAR$$

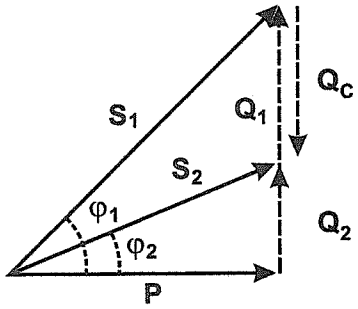
Debido al efecto de corrección del factor de potencia, la corriente absorbida es ahora:

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3}\, V_N\ x\ cos\varphi_2} = \frac{300{,}000}{\sqrt{3}\ x\ 440\ x\ 0.93} = 423.29\ A$$

Que es menor que la anterior.





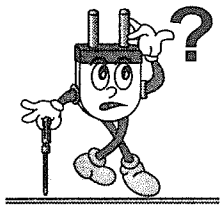


P = POTENCIA ACTIVA

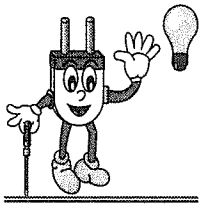
Q_1, φ_1 = POTENCIA REACTIVA Y EL DESPLAZAMIENTO DE FASES ANTES DE CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

Q_2, φ_2 = POTENCIA REACTIVA Y EL ÁNGULO DE DEFASAMIENTO DESPUÉS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Q_C = POTENCIA REACTIVA NECESARIA PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA



EJEMPLO 8.11 Supóngase que se tiene un transformador trifásico de 500 KVA, 13.8/0.480 kV en conexión delta/estrella aterrizada que alimenta a una carga a factor de potencia 0.7 atrasado. Si se cambia el factor de potencia a 0.90, calcular la potencia liberada en el transformador.



SOLUCIÓN Los KVA liberados por la mejoría en el factor de potencia son:

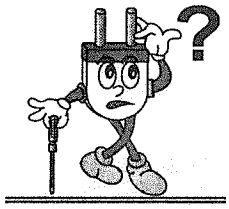
$$KVA_2 = KVA_1 \left(\frac{1}{cos\varphi_1} - \frac{1}{cos\varphi_2}\right)$$

$$= 500 \left(\frac{1}{0.7} - \frac{1}{0.9}\right)$$

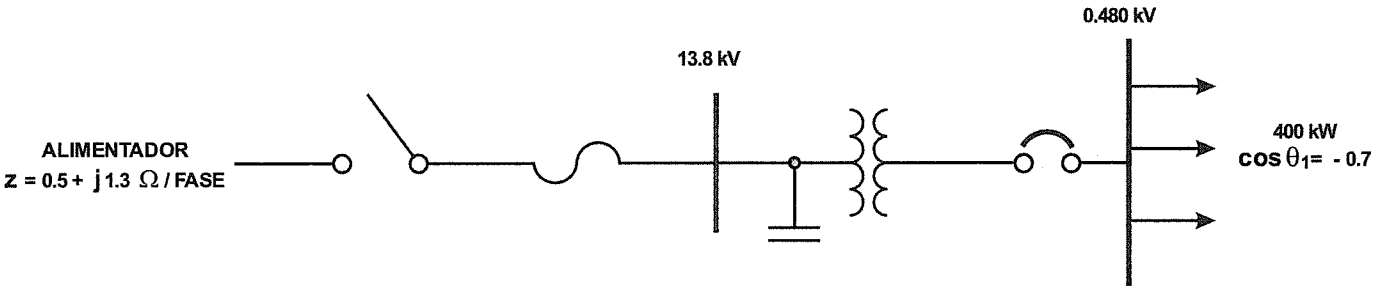
$$= 158.73$$

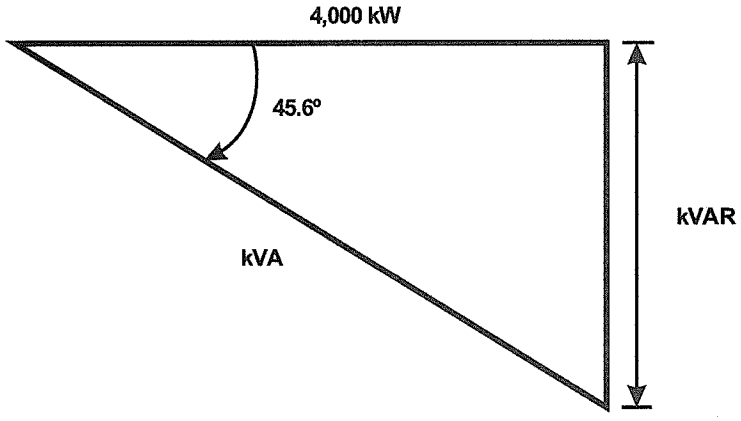
Es decir, el transformador opera con:

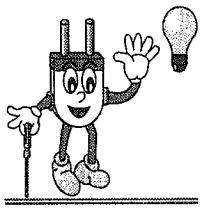
$$KVA_T = KVA - KVA_2 = 500 - 158.73 = 341.27$$



EJEMPLO 8.12 Se tiene una planta industrial que es alimentada por un alimentador de distribución de 13.8 kV y la carga es de 4000 Kw a un de factor de potencia de 0.70 atrasado, la impedancia del alimentador de distribución es de Z = 0.5 + j1.3Ω/Fase 0. Calcular el tamaño del banco de capacitores para mejorar el factor de potencia a 0.97 atrasado. Calcular también las medidas RI^2 en el alimentador antes y después de la adición del banco de capacitor.







SOLUCIÓN

$$\varphi_1 = cos^{-1} 0.7 = 45.6^{\circ}$$

$$cos\varphi_1 = \frac{Kw}{KVA}\ ;\ KVA = \frac{Kw}{cos\varphi_1} = \frac{4000}{0.7} = 5714.3$$

$$Q = KVAR = \sqrt{(KVA)^2 - (Kw)^2}$$

$$= \sqrt{(5714.3)^2 - (4000)^2}$$

$$Q = 4080\ KVAR$$

La corriente en el alimentador antes de conectar los capacitores es:

$$I_1 = \frac{5314.3}{\sqrt{3}\ x\ 13.8} = 222.33\ A$$

Las pérdidas por efecto joule (RI^2) en el alimentador son:

$$P_{1\varphi} = RI^2 = (0.5)\,(222.33)^2 = 24716.26\ w/fase$$

Las pérdidas trifásicas:

$$P_{3\varphi} = 3\ x\ 24.71626 = 74.15\ Kw$$

Para corregir el factor de potencia de 0.7 atrasado a 0.97 atrasado, se requiere de un banco de capacitores de:

$$Q = P\,(tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

$$\varphi_1 = ang\ cos(0.7) = 45.57\,°$$

$$\varphi_2 = ang\ cos(0.97) = 14.07°$$

$$Q = 4000\,(tan\,45.57° - tan\,14.07°)$$

$$Q = 307.8\ KVAR$$

La potencia reactiva por fase:

$$Q_{CAP} = \frac{3078}{3} = 1025\ KVAR$$

La potencia reactiva en la planta es:

$$Q_2 = 4080 - 3078 = 100\ ^2KVAR$$

Ahora la potencia aparente en la misma carga de 4000 Kw es:

$$S_2 = \sqrt{(4000)^2 + (1080)^2} = 4143\ KVA$$

La corriente correspondiente en el alimentador es:

$$I_2 = \frac{4143}{\sqrt{3}\ x\ 13.8} = 173.3\ A$$

Las pérdidas en fase del alimentador son:

$$P_{1\varphi} = RI^2 = (0.5)\,(173.3)^2 = 15023\ Watts$$

Las pérdidas trifásicas son:

$$P_{3\varphi} = 3RI^2 = 3\ x\ 15.023 = 45.07\ Kw$$

En estos resultados se puede elaborar la siguiente tabla comparativa:

$\cos\varphi_1$	I_1 (A)	P_{13} Ø (Kw)	$\cos\varphi_2$	I_2 (A)	P_{23} Ø (Kw)
0.7	722.33	74.15	0.97	173.33	45.07

REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS.

La pérdida de potencia en un conductor eléctrico depende de la resistencia del conductor mismo y del cuadrado de la corriente que circula a través de éste, debido a que con igual valor de potencia activa transmitida, entre más alto es el valor del cosφ, más bajo es el valor de la corriente, lo que quiere decir, que cuando el factor de potencia mejora, la potencia del lado del suministro aumenta. En un sistema trifásico, las pérdidas se expresan como sigue:

$$P = 3RI^2 = R\,\frac{(P^2+Q^2)}{V_N^2}$$

Dado que:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}\,V_N} = \frac{\sqrt{(P^2+Q^2)}}{\sqrt{3}\,V_N}\ ,\ 3I^2 = \frac{(P^2+Q^2)}{V_N^2}$$

DONDE:

I = Corriente que circula por el conductor.
R = Resistencia del conductor.
S = Potencia aparente requerida por la carga.
P = Potencia activa requerida por la carga.
Q = Potencia reactiva requerida por la carga.
V_N = Voltaje nominal de suministro.

La reducción de las pérdidas AP después de la corrección del factor de potencia está dada como:

$$\Delta P = P_1\left(1-\left(\frac{cos\varphi_1}{cos\varphi_2}\right)^2\right)$$

DONDE:

P_1 = Pérdidas antes de la corrección del factor de potencia.
$\cos\varphi_1$= Factor de potencia antes de la corrección.
$\cos\varphi_2$= Factor de potencia después de la corrección.

De la fórmula anterior, resulta que si se desea mejorar el factor de potencia del 0.7 a 0.9 se obtiene:

$$\Delta P = P_1\left(1-\left(\frac{cos\varphi_1}{cos\varphi_2}\right)^2\right) = P_1\left(1-\left(\frac{0.7}{0.9}\right)^2\right) = 0.395P_1$$

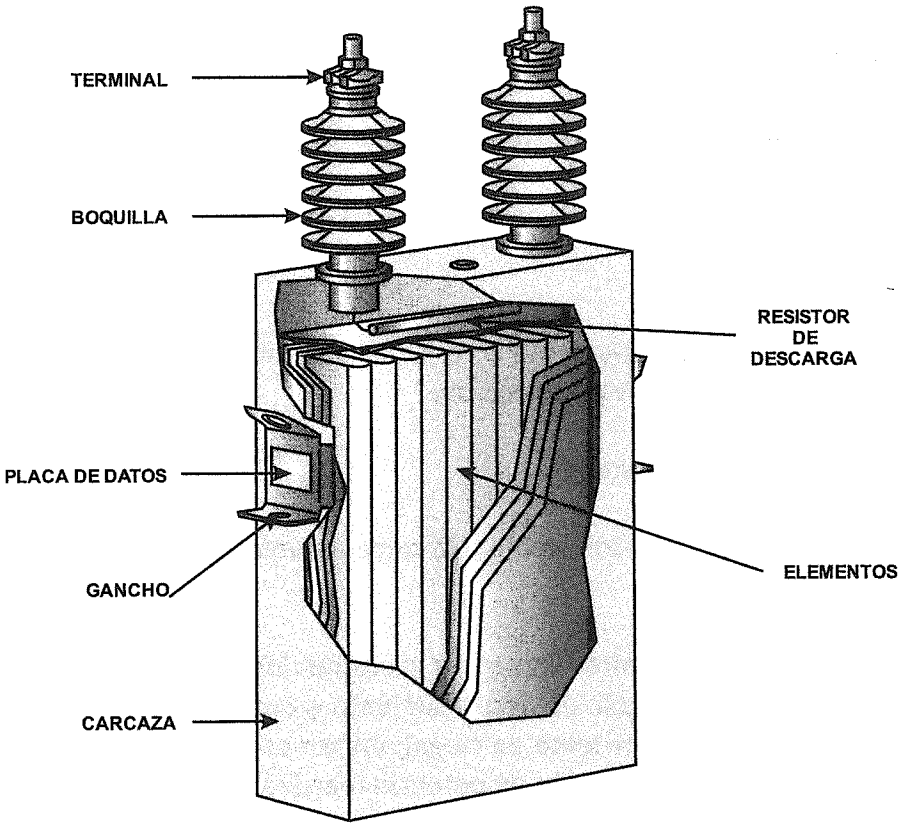
Es decir, se ahorra un 39.5%

En la tabla siguiente, se muestran los porcentajes de ahorro por mejora del factor de potencia para distintos valores.

	cos φ_1						
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
DEL cos φ_1 A 0.9	80.2	69.1	55.6	39.5	20.9	—	—
DEL cos φ_1 A 0.95	82.3	72.3	60.1	45.7	29.1	10.2	—

Un ejemplo de la mejora en las máquinas eléctricas se muestra en la tabla siguiente para transformadores, donde se observa cómo mejora la potencia entregada al mejorar el factor de potencia.

POTENCIA DEL TRANSFORMADOR (kVA)	POTENCIA DEL TRANSFORMADOR (kW)					
	cos φ					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
63	32	38	44	50	57	63
100	50	60	70	80	90	100
125	63	75	88	100	113	125
160	80	96	112	128	144	160
200	100	120	140	160	180	200
250	125	150	175	200	225	250
315	158	189	221	252	284	315
400	200	240	280	320	360	400
630	315	378	441	504	567	630
800	400	480	560	640	720	800
1,000	500	600	700	800	900	1,000
1,250	625	750	875	1,000	1,125	1,250



SECCIÓN DE UN CAPACITOR DE MEDIA TENSIÓN

POTENCIA DEL TRANSFORMADOR kVA	TRANSFORMADOR EN ACEITE kVAR	TRANSFORMADOR EN RESINA kVAR
10	1.0	1.5
20	2.0	1.7
50	4.0	2.0
75	5.0	2.5
100	5.0	2.5
160	7.0	4.0
200	7.5	5.0
250	8.0	7.5
315	10.0	7.5
400	12.5	8.0
500	15.0	10.0
630	17.5	12.5
800	20.0	15.0
1,000	25.0	17.5
1,250	30.0	20.0
1,600	35.0	22.0
2,000	40.0	25.0
2,500	50.0	35.0
3,150	60.0	50.0

CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN TRANSFORMADORES
(POTENCIA kVAR DEL CAPACITOR REQUERIDO)

REDUCCIÓN DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.

La caída de voltaje de fase a fase en un sistema trifásico, se puede expresar como sigue:

$$\Delta V = \sqrt{3}\,.\,I(Rcos\varphi + Xsen\varphi) = \frac{P}{V_N}\,(R + Xtan\varphi)$$

DONDE:

R y X: Son respectivamente la resistencia y la reactancia de la línea.
P = Potencia activa transmitida.
I = Corriente.
$\mathbf{V_N}$ = Tensión nominal.

Al mismo nivel de potencia activa transmitida, la caída de voltaje debe ser menor, el factor de potencia mayor.

Como se puede notar en las siguientes figuras, se muestran los diagramas de la caída de voltaje por fase ΔV, entre menor es el ángulo de desplazamiento φ entre el voltaje y la corriente (con la misma componente activa de la corriente de carga), menor es la variación del voltaje, más aún, si la variación es mínima no hay absorción de potencia reactiva (corriente en fase).

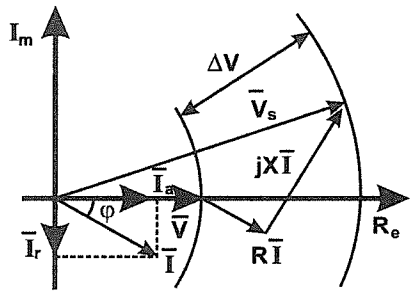


DIAGRAMA FASORIAL SIN CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

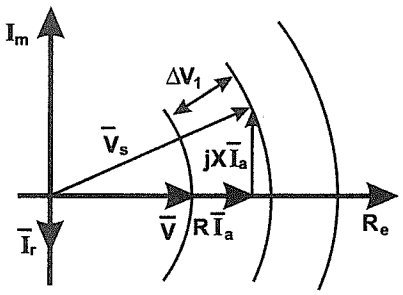
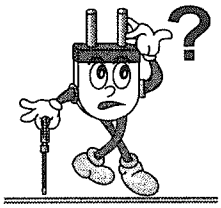
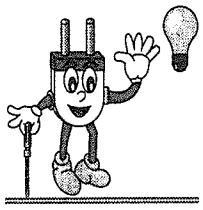


DIAGRAMA FASORIAL CON LA CORRECCIÓN DEL FACTOR TOTAL DE POTENCIA



EJEMPLO 8.13 Calcular el cambio en el voltaje del alimentador de 13.8 kV que alimenta una carga de 4000 Kw trifásica a factor de potencia 0.7 atrasado, cuando se cambia a factor de potencia 0.97 atrasado, la impedancia del alimentador es: Z = 0.5 + j1.3 Ω/fase.



SOLUCIÓN La potencia aparente con factor de potencia 0.7 atrasado es:

$$KVA = \frac{Kw}{cos\varphi_1} = \frac{4000}{0.7} = 5714.3$$

La corriente correspondiente es:

$$I_1 = \frac{5314.3}{\sqrt{3}\,x\,13.8} = 222.33\,A$$

La caída de voltaje correspondiente a esta corriente es:

$$\Delta V_1 = I_1\,|Z|$$

Donde la impedancia:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(0.5)^2 + (1.3)^2} = 1.39\Omega$$

$$\Delta V_1 = I_1|Z| = 222.33\,x\,1.39 = 309.66\,V$$

Con factor de potencia $cos\varphi_2$ = 0.97 el valor de la potencia es ahora:

$$KVA_2 = \frac{Kw_2}{cos\varphi_2} = \frac{4000}{0.97} = 4123.71$$

La corriente correspondiente es ahora:

$$I_2 = \frac{4123.71}{\sqrt{3}\,x\,13.8} = 172.52\,A$$

La caída de voltaje correspondiente:

$$\Delta V_2 = I_2 |Z| = 17252 \, x \, 1.39 = 239.80 \, volts$$

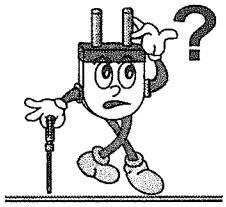
El porcentaje de variación en la caída de voltaje:

$$I - \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = 1.0 - \frac{239.80}{309.66}$$

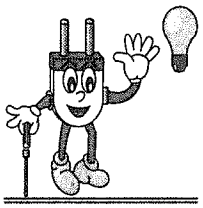
$$\% \, \Delta V = 0.2256 \, x \, 100 = 22.56\%$$

MEJOR UTILIZACIÓN DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS.

La corrección del factor de potencia lleva también hacia una mejor utilización de los conductores eléctricos y tiene ventajas para el dimensionamiento de cables. Como se mencionó previamente, a la misma potencia de salida, aumentando el factor de potencia disminuye la corriente y esta reducción puede ser tal que lleve a la selección de conductores con menor sección transversal.



EJEMPLO 8.14 Considérese una carga trifásica de 190 Kw que opera con cosφ = 0.7 a un voltaje de 440 V, calcular la corriente y sección del conductor, y también cuando el factor de potencia es 0.9 atrasado.



SOLUCIÓN

Con cosφ = 0.7

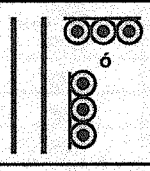
$$I = \frac{190 \, x \, 10^3}{\sqrt{3} \, x \, 440 \, x \, 0.7} = 356.15 \, A$$

Si se selecciona un conductor con aislamiento EPR el calibre corresponde a una sección de 120 mm^2.

Cuando el factor de potencia es cosφ2 = 0.9

$$I_2 = \frac{P_N}{\sqrt{3}\, V_N cos\varphi_2} = \frac{190\ x\ 10^3}{\sqrt{3}\ x\ 440\ x\ 0.9} = 277.01\ A$$

Que corresponde a una sección de 70 mm^2 para el mismo tipo de conductor, según la tabla siguiente:

S (mm^2)	 Cu	
	XLPE / EPR	PVC
	I_0(A)	
25	141	114
35	176	143
50	216	174
70	279	225
95	342	275
120	400	321
150	464	372
185	533	427
240	634	507
300	736	587
400	868	689
500	998	789
630	1,151	905

CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE I_0 EN CONDUCTORES DE COBRE EN CHAROLA PERFORADA

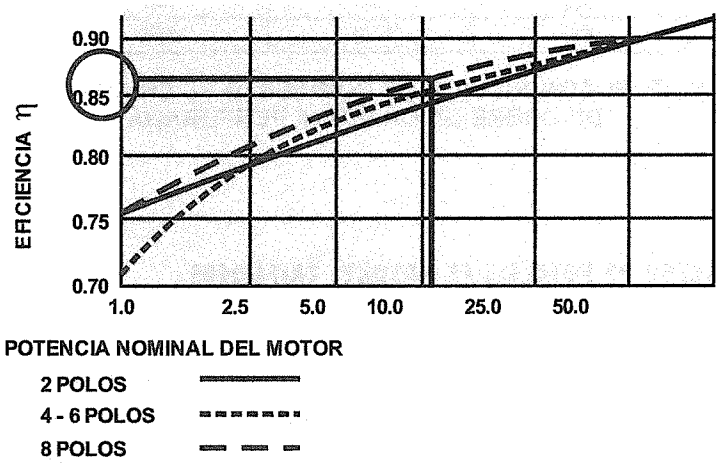
CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN MOTORES TRIFÁSICOS.

La corriente del factor de potencia en un motor de inducción o asíncrono no se puede hacer en forma tan precisa, debido a que el factor de potencia está altamente influenciado por las condiciones de carga. Como ejemplo, para un motor trifásico de 6 polos, 11 Kw de la tabla siguiente y el diagrama, el factor de potencia obtenido en condiciones normales es cosφm = 0.77 y su eficiencia a plena carga es ηm = 0.86.

TABLA 8.2

FACTOR DE POTENCIA DE ALGUNOS MOTORES

POTENCIA NOMINAL		NÚMERO DE POLOS			
kW	HP	2	4	6	8
1.1	1.5	0.85	0.79	0.75	0.75
1.5	2.0	0.85	0.79	0.75	0.75
2.2	3.0	0.85	0.79	0.75	0.75
3.0	4.0	0.86	0.80	0.75	0.75
4.0	5.5	0.86	0.82	0.76	0.76
5.5	7.5	0.87	0.85	0.76	0.76
7.5	10.0	0.88	0.85	0.76	0.76
11.0	15.0	0.88	0.85	0.77	0.80
1.5	20.0	0.88	0.85	0.80	0.80
18.5	25.0	0.88	0.85	0.82	0.81
22.0	30.0	0.88	0.85	0.83	0.82
30.0	40.0	0.88	0.86	0.84	0.83
45.0	60.0	0.89	0.87	0.86	0.84
55.0	75.0	0.89	0.88	0.87	0.85
75.0	100.0	0.89	0.88	0.88	0.86
90.0	125.0	0.89	0.88	0.88	0.86
		cos φ_n			

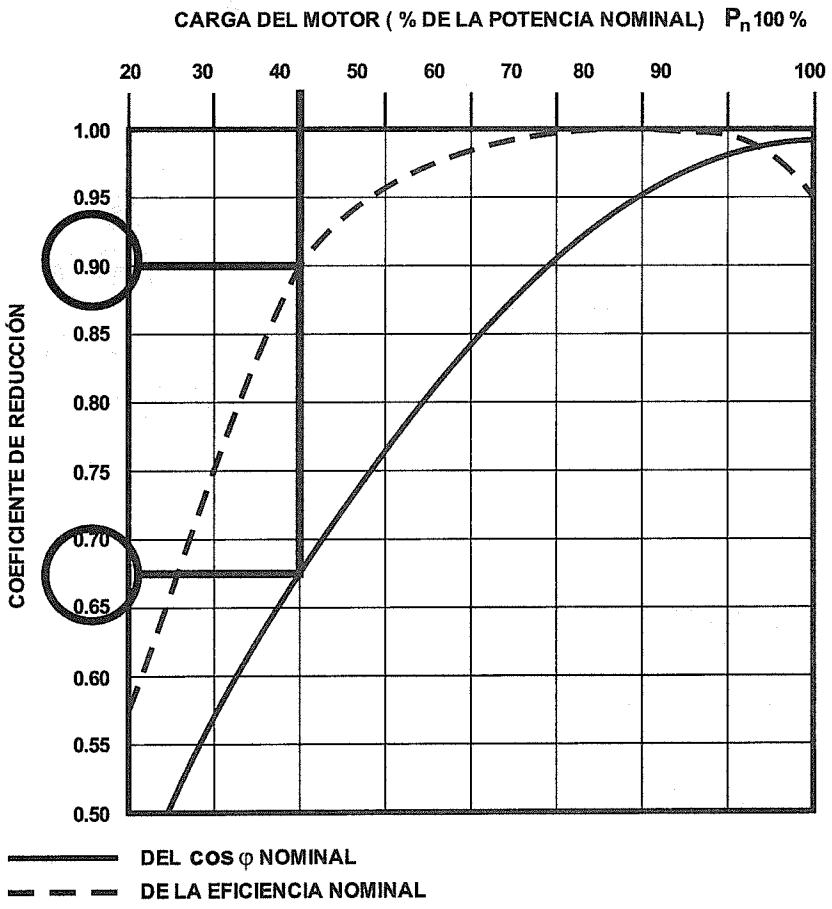


EFICIENCIA COMO FUNCIÓN DE LA POTENCIA

Si este motor opera ahora al 40% de la potencia nominal, del diagrama siguiente, el coeficiente de reducción se obtiene como:

$\cos\varphi = \cos\varphi m \cdot 0.67 = 0.52$

$\eta = \eta m \cdot 0.9 = 0.77$



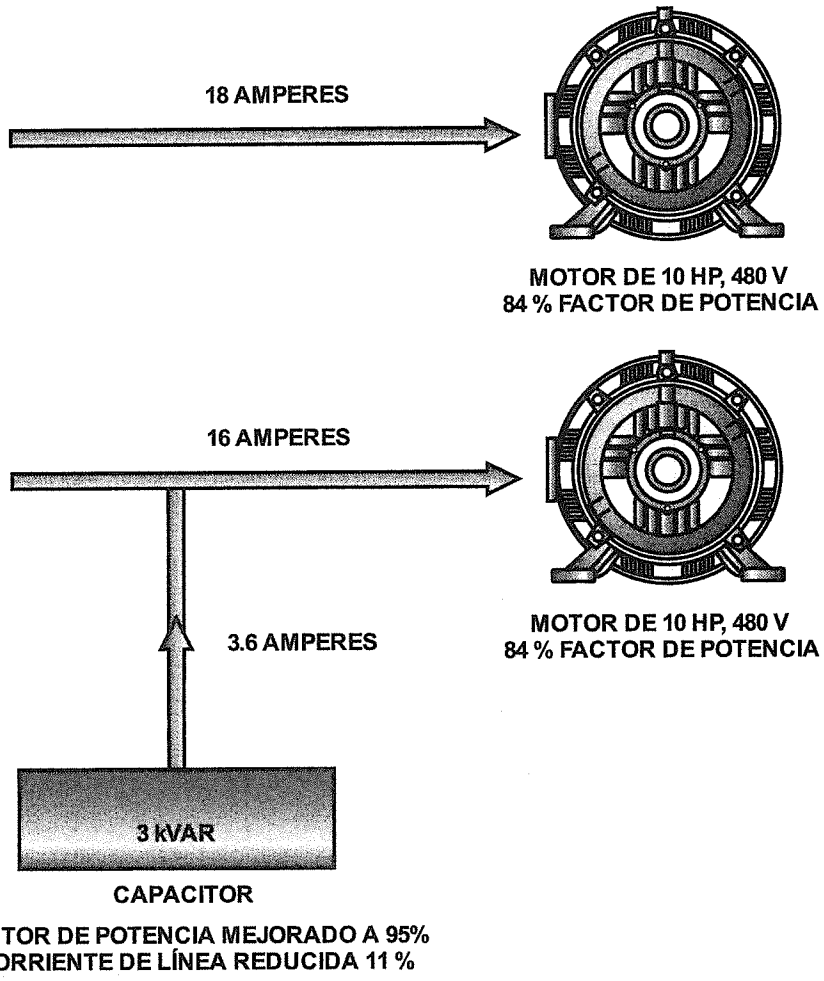
La potencia activa absorbida por la red es:

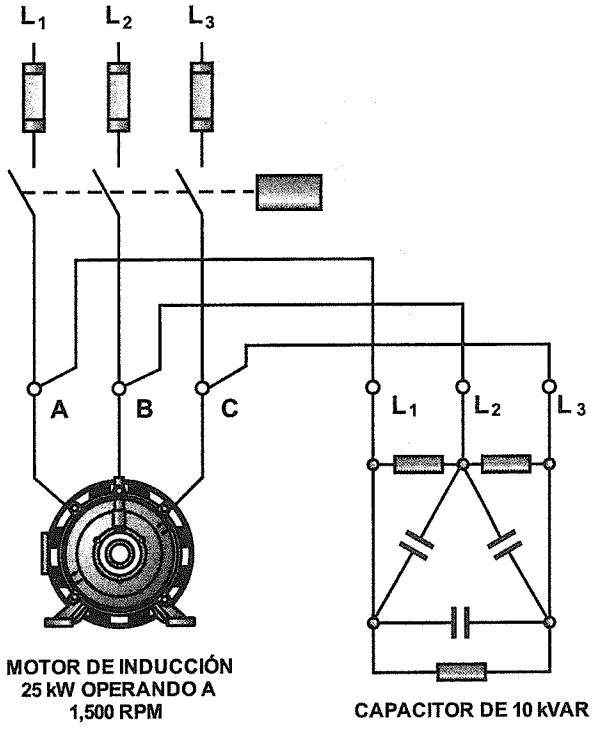
$$P_a = \frac{P_N}{\eta} = \frac{0.4\,P_N}{\eta} = \frac{0.4\,x\,11}{0.77} = 5.68\,Kw$$

Con K = 1.15, el valor de la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia a 0.90 es: (del nomograma o de la tabla).

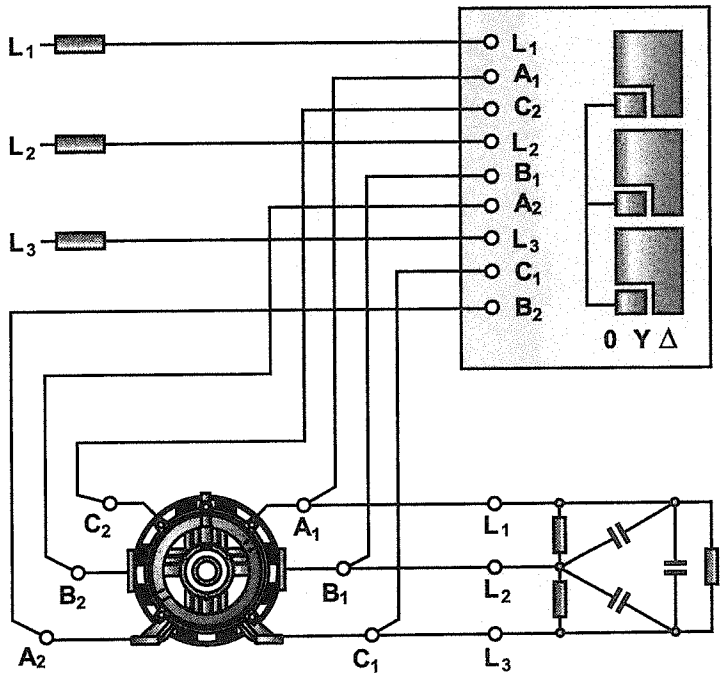
$$Q_C = KP = 1.15\,x\,5.68 = 6.53\,KVAR$$

Una ilustración de cómo la mejora en el factor de potencia se refleja como una reducción en la corriente que se demanda, se muestra en la siguiente figura:

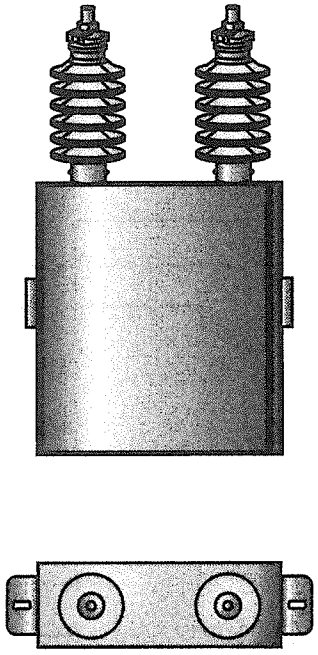




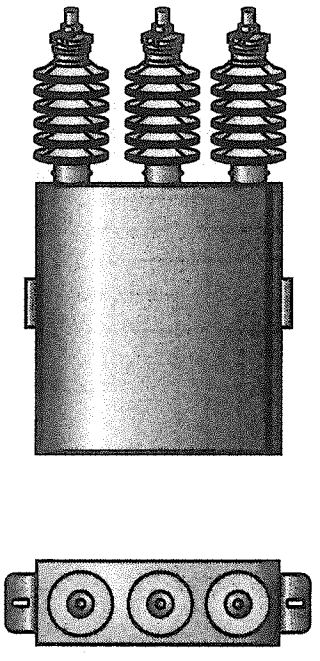
CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR CON CAPACITORES CONECTADOS EN FORMA PERMANENTE



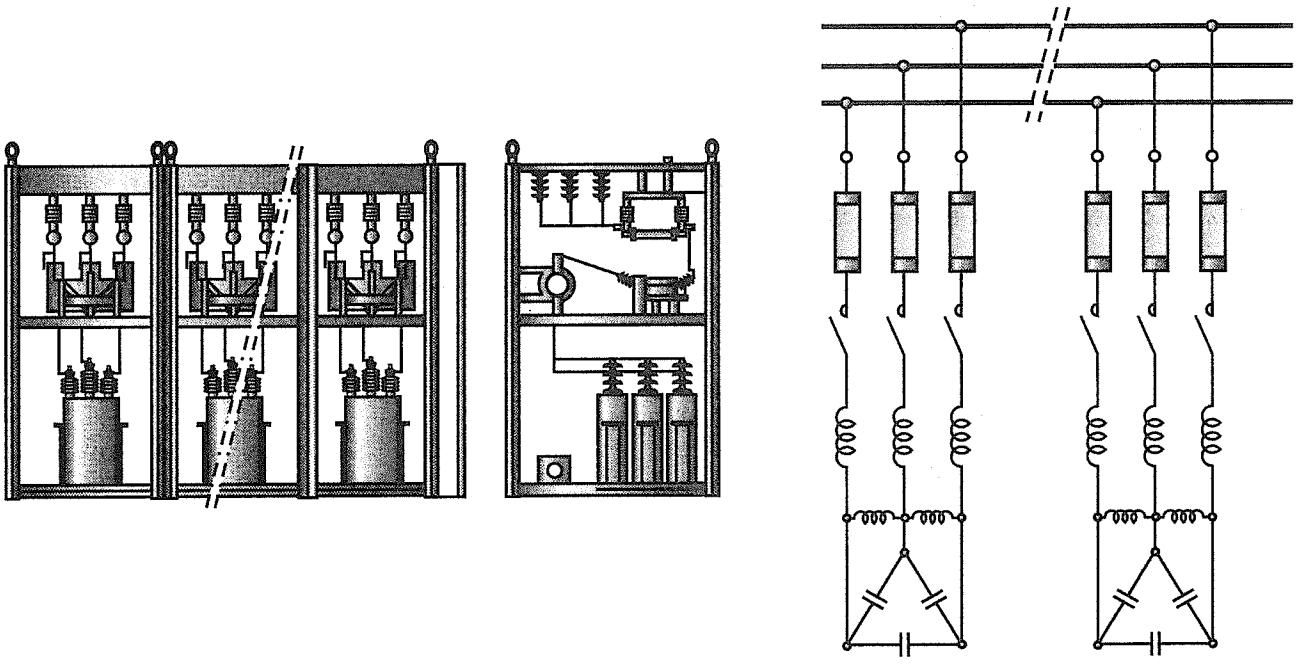
ARRANCADOR ESTRELLA - DELTA CON CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA INDIVIDUAL



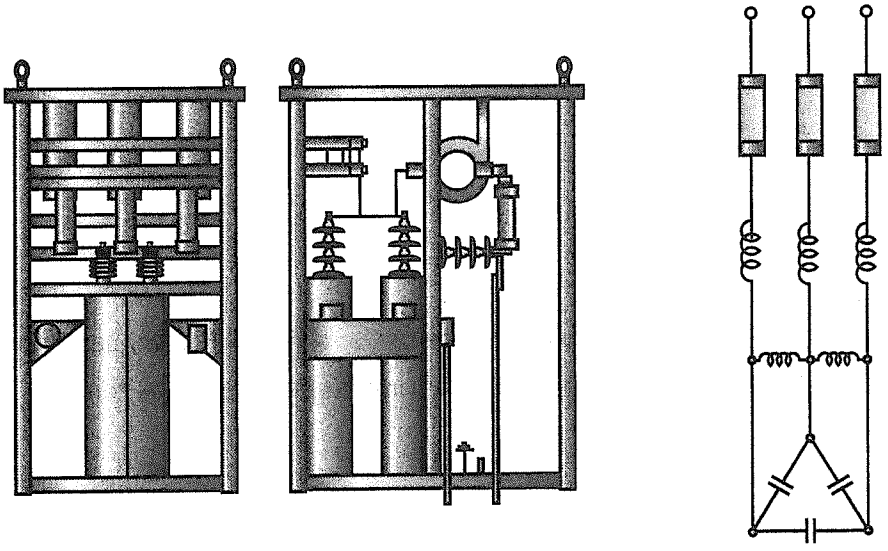
CAPACITOR MONOFÁSICO



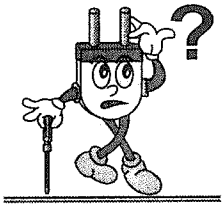
CAPACITOR TRIFÁSICO



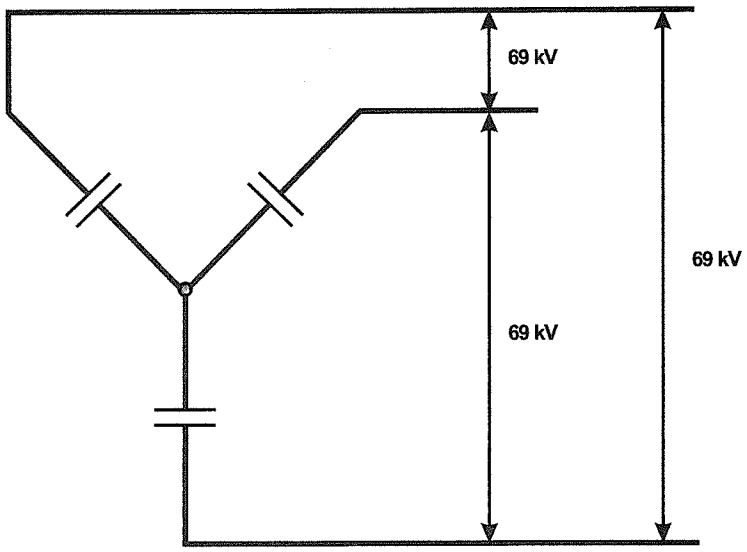
BANCOS DE CAPACITORES EN DELTA OPERANDO EN PARALELO CON REACTOR DE CHOQUE



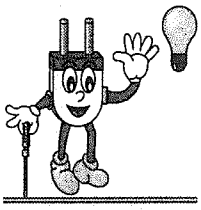
BANCOS DE CAPACITORES CON REACTOR DE CHOQUE



EJEMPLO 8.15 Supóngase que se tiene un banco de capacitores trifásico en conexión estrella con neutro flotante y con una capacidad total de 16.2 MVAR a 69 kW entre fases. Se desea calcular el número de juegos en serie y paralelo.



P = 16.2 MVAR



SOLUCIÓN La potencia por fase es: 16.4 = 5.4 MVAR, se supone que se usan unidades de 200 KVAR a 13280 volts, para formar una fase del banco se tendrá:

$$\frac{69000/\sqrt{3}}{13280} = 2.99 = 3$$

El número de unidades de 200 KVAR sería:

$$\frac{5400\ por\ fase}{200\ KVAR\ por\ unidad} = 27\ capacitores/fase$$

Es decir, cada fase 3 juegos en serie de 9 capacitores en paralelo:

$$KVAR/Fase = \frac{V_F I_{CP}}{1000}$$

$$= \frac{440\ x\ 165876\ C}{1000} = 72\ 985\ C$$

Igualando las ecuaciones para potencia:

$$14.75 = 72985\ C$$

$$C = 14.75/72985 = 2002.09\ x\ 10^6\ \mu Farad$$

La capacitancia de cada capacitor es:

$$C = 4\ x\ 202.09 = \ 808.36\ \mu F$$

Los capacitores ***no se deben conectar*** directamente a un motor cuando:

1. Se usan arrancadores de estado sólido.
2. El motor se sujeta a conexiones y desconexiones repetitivas.
3. Se usan motores de velocidad múltiple.
4. Se opera el motor en forma reversible.
5. El motor acciona una inercia muy grande.
6. Se arrancan los motores usando transición de circuito abierto.

TABLA 8.3

RENDIMIENTO DEL MOTOR A DISTINTAS CARGAS

RENDIMIENTO EN EL % A LA CARGA PARCIAL DE :			
1/2	3/4	4/4	5/4
DE LA CARGA NOMINAL			
93.5	95.0	95.0	94.5
92.5	94.0	94.0	93.5
91.5	93.0	93.0	92.5
91.0	92.0	92.0	91.5
90.0	91.0	91.0	90.0
89.0	90.0	90.0	89.0
88.0	89.0	89.0	88.0
87.0	88.0	88.0	87.0
86.0	87.0	87.0	86.0
85.0	86.0	86.0	85.0
84.0	85.0	85.0	83.5
83.0	84.0	84.0	82.5
82.0	83.0	83.0	81.5
81.0	82.0	82.0	80.5
80.0	81.0	81.0	79.5
79.0	80.0	80.0	78.5
77.0	79.5	79.0	77.5
75.5	78.5	78.0	76.5
74.0	77.5	77.0	75.0
73.0	76.0	76.0	74.0
72.0	75.0	75.0	73.0
71.0	74.0	74.0	72.0
70.0	73.0	73.0	71.0
68.0	72.0	72.0	70.0
67.0	71.0	71.0	69.0
66.0	70.0	70.0	68.0
65.0	69.0	69.0	67.0
64.0	67.5	68.0	66.0
62.0	66.5	67.0	65.0
61.0	65.0	66.0	64.0
60.0	64.0	65.0	63.0
59.0	63.0	64.0	62.0
57.0	62.0	63.0	61.0
56.0	60.5	62.0	60.5
55.0	59.5	61.0	59.5
54.0	58.5	60.0	58.5
53.0	58.0	59.0	57.0
52.0	57.0	58.0	56.0
51.0	55.0	57.0	55.0
49.0	54.0	56.0	54.0
47.0	52.0	55.0	53.0
46.0	51.0	54.0	52.0
45.0	50.0	53.0	51.0

TABLA 8.4

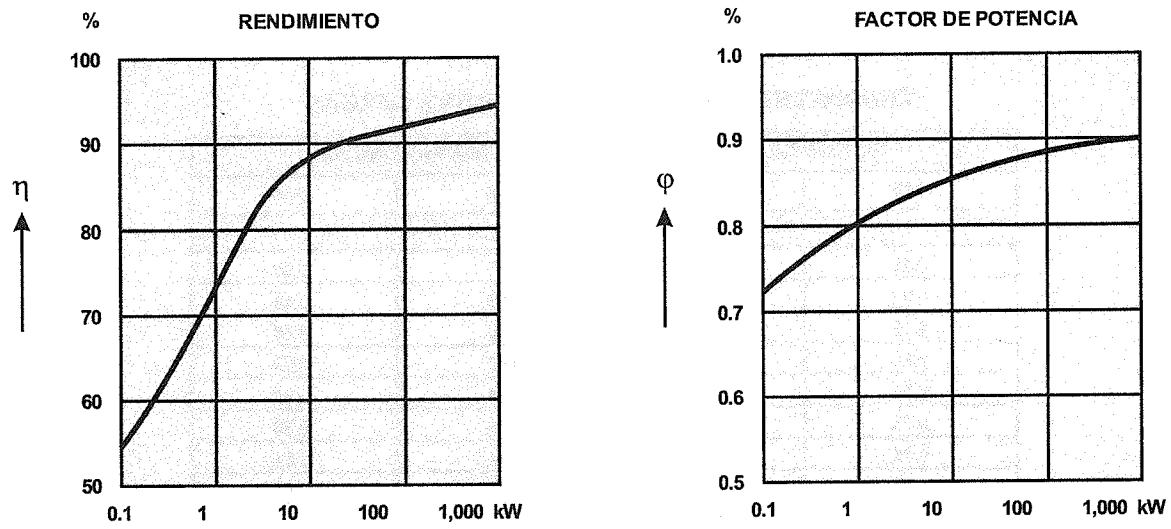
RENDIMIENTO DEL MOTOR A DISTINTAS CARGAS

FACTOR DE POTENCIA (cos φ) A LA CARGA PARCIAL DE :			
1/2	3/4	4/4	5/4
DE LA CARGA NOMINAL			
0.83	0.88	0.90	0.90
0.80	0.86	0.89	0.89
0.78	0.85	0.88	0.88
0.76	0.84	0.87	0.87
0.75	0.83	0.86	0.86
0.73	0.81	0.85	0.86
0.71	0.80	0.84	0.85
0.69	0.79	0.83	0.84
0.67	0.77	0.82	0.83
0.66	0.76	0.81	0.82
0.65	0.75	0.80	0.81
0.63	0.74	0.79	0.80
0.61	0.72	0.78	0.80
0.59	0.71	0.77	0.79
0.58	0.70	0.76	0.78
0.56	0.69	0.75	0.78
0.55	0.68	0.74	0.77
0.54	0.67	0.73	0.76
0.52	0.63	0.72	0.77
0.50	0.62	0.71	0.76

TABLA 8.5

CAPACIDAD DEL CONDENSADOR REQUERIDA POR MOTORES

POTENCIA DEL MOTOR (kW)	POTENCIA DEL CONDENSADOR (kVAR)
4.0 a 4.9	2.0
5.0 a 5.9	2.5
6.0 a 7.9	3.0
8.0 a 10.9	4.0
11.0 a 13.9	5.0
14.0 a 17.9	6.0
18.0 a 21.9	8.0
22.0 a 29.9	10.0
A PARTIR DE 30.0	35 % APROXIMADO DE LA POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR



RENDIMIENTO Y FACTOR DE POTENCIA EN MOTORES ELÉCTRICOS

RECOMENDACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS Y CONDUCTORES DEL CIRCUITO DEL CAPACITOR

Determinación de la capacitancia:

$$C = \frac{10^3 \, x \, KVAR}{2\pi \, f \, (KV)^2} \quad (\mu F)$$

Dimensionamiento de la cuchilla desconectadora

La potencia aparente es:

$$S = P + JQ$$

Si la potencia activa es cero:

$$P = 0 \, , \qquad S = jQ \qquad Q = \sqrt{3}\, VI \, sen\varphi$$

$$cos\varphi = 90° \qquad Q = \sqrt{3}\; VI$$

$$I_{CAP} = \frac{Q_{CAP}}{\sqrt{3}\, V}$$

$$Icuchilla \geq 1.65 \, x \; I_{CAP}$$

Dimensionamiento de los fusibles

$$I_{FVS} = (1.65\ a\ 1.80)\ I_{CAP}$$

Dimensionamiento del contactor

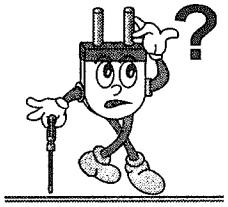
$$I_{contactor} \geq (1.35\ a\ 1.4)\ x\ I_{CAP}$$

Dimensionamiento de los conductores de alimentación

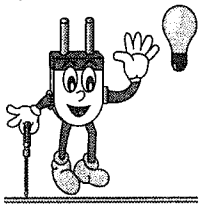
La corriente del circuito de alimentación del capacitor no debe ser inferior al 135% de la corriente nominal del mismo. La corriente de los conductores que conectan al capacitor a las terminales de los motores no debe ser inferior a 1/3 de la corriente del circuito del motor, en ningún caso menor que 135% de la corriente nominal del capacitor.

$$I_{CABLE} \geq (1.35\ a\ 1.40)\ x\ I_{CAP}$$

$I_{CABLE-CAP} \geq \frac{1}{3}\ x\ I_{CABLE\ MOTOR}$, siendo un mínimo de 1.35 I_{NCAP}.



EJEMPLO 8.16 Se tiene un grupo motor-bomba que tiene una potencia nominal de 1810 C.V. con un factor de potencia de 0.86 a 100% de la carga y una eficiencia del 95 al 100% de carga, que opera a 4.16 Kv trifásica con una corriente de magnetización de 52.8 A. Se desea corregir el factor de potencia a 0.95, calcular el banco de capacitores necesario, la capacitancia, los KVAR máximos y las características de los fusibles limitadores, si opera a 60 Hz.



SOLUCIÓN La potencia real absorbida por el motor a plena carga es:

$$Preal = \frac{0.736\ x\ CV}{n} = \frac{0.736\ x\ 1810}{0.95} = 1402.27\ Kw$$

La corriente nominal del motor a 4.16 Kv es:

$$I_N = \frac{Preal}{\sqrt{3}\ V\ x\ n\ x\ cos\varphi} = \frac{1402.27}{\sqrt{3}\ x\ 4.16\ x\ 0.95\ x\ 0.86}$$

$$I_N = 238.20\ A$$

Al factor de potencia 0.86:

$$cos\varphi_1 = 0.86\ ;\ \ \varphi_1 = 30.68°$$

$$tan\varphi_1 = 0.5933$$

Al factor de potencia deseado:

$$cos\varphi_2 = 0.95$$

$$\varphi_2 = cos^{-1}0.95 = 18.19°$$

$$tan\varphi_2 = 0.3286$$

La potencia requerida por el banco es entonces:

$$Q = KW\ (tan\varphi_1 - tan\varphi_2)$$

$$= 1402.27\ (0.5933 - 0.3286)$$

$$= 371\ KVAR$$

Determinación de la potencia máxima permisible

para instalación solidaria con el motor

$$Q_{MÁX} = \sqrt{3}\ V\ I_{MAGMOTOR}$$

Siendo $Q_{MÁX}$ la potencia máxima del banco de capacitores para que no ocurra sobretensión, se debe cumplir: $Q_{BANCO} \leq Q_{MÁX}$

$$Q_{MÁX} = \sqrt{3}\ x\ 4.16\ x\ 52.8 = 380.44\ KVAR$$

Dimensionamiento real del banco

Las potencias usuales de fabricación para las unidades capacitoras son: 30, 50, 100 y 120 KVAR. La capacitancia para el banco de 371 KVAR es:

$$C = \frac{10^3\ x\ KVAR}{2\pi f\ (KV)^2} = \frac{10^3\ x\ 371}{2\pi\ x\ 60\ x\ (4.16)^2} = 56.71\ \mu f$$

Determinación de la potencia del banco a su tensión nominal

De datos de catálogo, la tensión nominal de fabricación del capacitor más próxima es: 5.30 KV, por lo tanto, la potencia a esta tensión es:

$$KVAR = \frac{2\pi fc\ x\ (KV_C)^2}{10^3} = \frac{2\pi\ x\ 60\ x\ 56.71\ x\ (5.30)^2}{10^3}$$

$$KVAR = 600.54$$

Tomando un valor de 600 KVAR se puede formar un banco con 3 unidades de 200 KVAR, 3 x 200 KVAR a 5.30 Kv.

VERIFICACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA MÁXIMA PERMISIBLE REFERIDA A LA TENSIÓN DE 530 KV.

Capacitancia máxima del banco:

$$Cmáx_{(\mu F)=} \frac{10^3\ x\ 380}{2\pi\ x\ 60\ x\ (4.16)^2} = 58.25\mu F$$

Determinación de la potencia reactiva máxima a la tensión de 5.30 kV

$$KVARmáx = \frac{2\pi\ x\ 60\ x\ 58{,}25\ x\ (5.30)^2}{10^3} = 616.84\ KVAR$$

Como: KVARmáx >600 KVAR del banco no se deben presentar sobretensiones.

Dimensionamiento de los fusibles limitadores de corriente para protección

$$IN_{FUSIBLE} \geq K\ \frac{Q_{BANCO}}{\sqrt{3}\ x\ V} \quad ,tomando\ K = 1.8$$

$$IN_{FUSIBLE} \geq 1.8\ \frac{3.71}{\sqrt{3}\ X\ 4.16} \geq 92.68\ A$$

Se puede tomar un valor comercial de $I_{NFUSIBLE}$ = 100 A

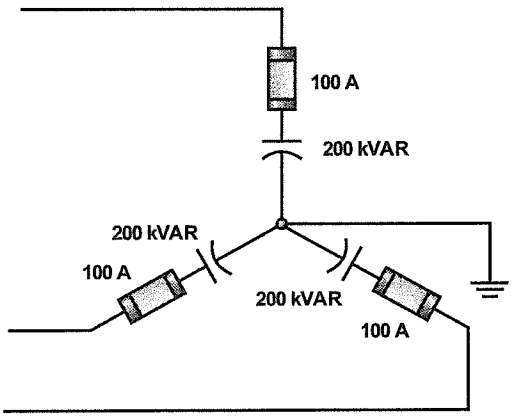


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

TABLA 8.6

CALIBRE DE CONDUCTORES, FUSIBLE E INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS RECOMENDADOS

POTENCIA kVAR	AMP. 220 V	AMP. 240 V	PROTECCIÓN TERMO	FUSIBLE MAGNÉTICO	AMP.
5	11.0	12.0	20	30	
10	22.0	24.0	40	60	
15	33.0	36.0	50	60	
20	44.0	48.0	70	100	
25	55.0	60.0	100	100	
30	66.0	72.0	125	150	
40	88.0	96.0	150	200	
50	110.0	120.0	175	200	
60	132.0	145.0	200	250	
	AMP. 440 V	AMP. 480 V			
10	11.0	12.0	20	30	
20	22.0	24.0	40	60	
30	33.0	36.0	50	60	
40	44.0	48.0	70	100	
50	55.0	60.0	100	100	
60	66.0	72.0	100	150	
70	77.0	84.0	150	150	
80	88.0	96.0	150	200	
100	110.0	120.0	175	200	
110	121.0	132.0	200	250	
120	132.0	145.0	200	250	
130	143.0	156.0	250	300	

TABLA 8.7

ALIMENTADOR FASES	TUBERÍA (mm)	CABLE CONEXIÓN A TIERRA
12	13	12
10	13	10
8	19	10
6	25	8
4	32	8
2	32	8
0	38	6
2/0	38	6
3/0	51	6
12	13	12
10	13	10
8	19	10
6	25	8
4	32	8
2	32	6
2	32	6
0	38	6
2/0	38	6
2/0	47	2
3/0	51	2
3/0	51	2

*** DIMENSIONADOS A UN MÍNIMO DE 165 % DE LA CORRIENTE NOMINAL, DE ACUERDO CON LAS NORMAS**

TABLA 8.8

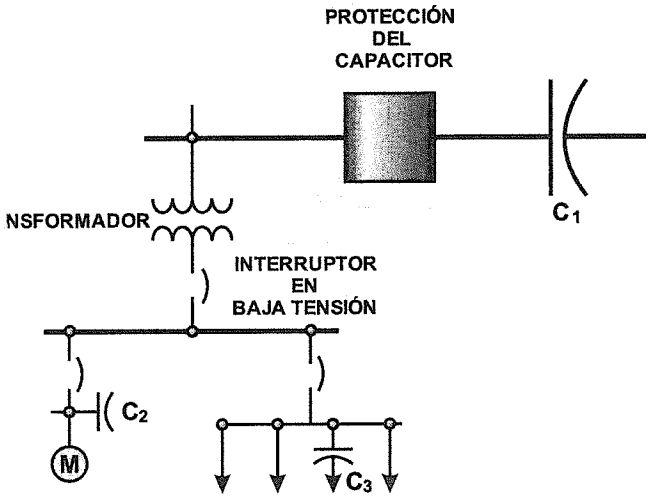
POTENCIA NOMINAL DEL TRANSFORMADOR (kVA)			POTENCIA DEL CAPACITOR (kVAR)
100	a	160	2.5
200	a	250	5.0
315	a	400	7.5
500	a	630	12.5
		800	15.0
		1,000	20.0
		1,250	25.0
		1,600	35.0
		2,000	40.0

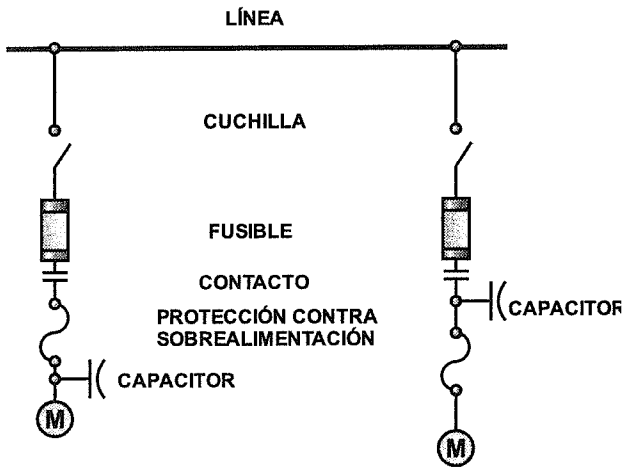
CAPACIDADES APROXIMADAS DE CAPACITORES PARA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE TRANSFORMADORES

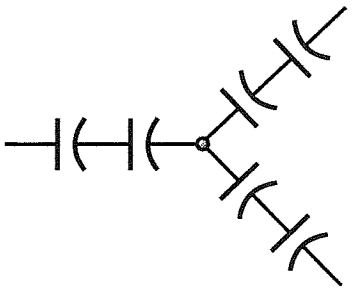
TABLA 8.9

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR (kW)			POTENCIA DEL CAPACITOR (kVAR)
1	a	1.9	0.5
2	a	2.9	1.0
3	a	3.9	1.5
4	a	4.9	2.0
5	a	5.9	2.5
6	a	7.9	3.0
8	a	10.9	4.0
11	a	13.9	5.0
14	a	17.9	6.0
18	a	21.9	7.5
22	a	29.9	10.0
30	a	39.9	APROXIMADAMENTE 40 % DE LA POTENCIA DEL MOTOR
40	a	ARRIBA	APROXIMADAMENTE 40 % DE LA POTENCIA DEL MOTOR

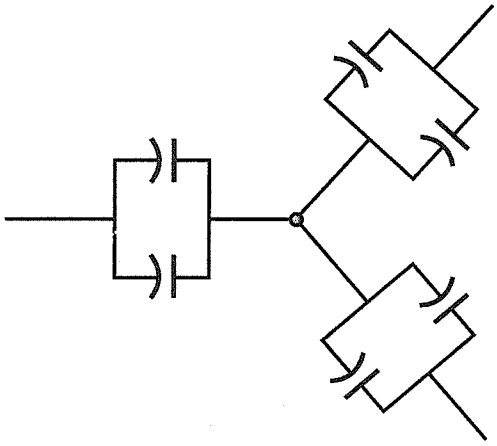
ES APROXIMADOS PARA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE MOTORES INDIVIDUALES



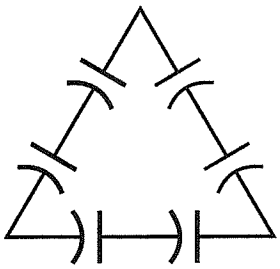




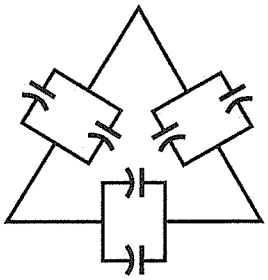
ESTRELLA EN SERIE



ESTRELLA EN PARALELO



DELTA - SERIE



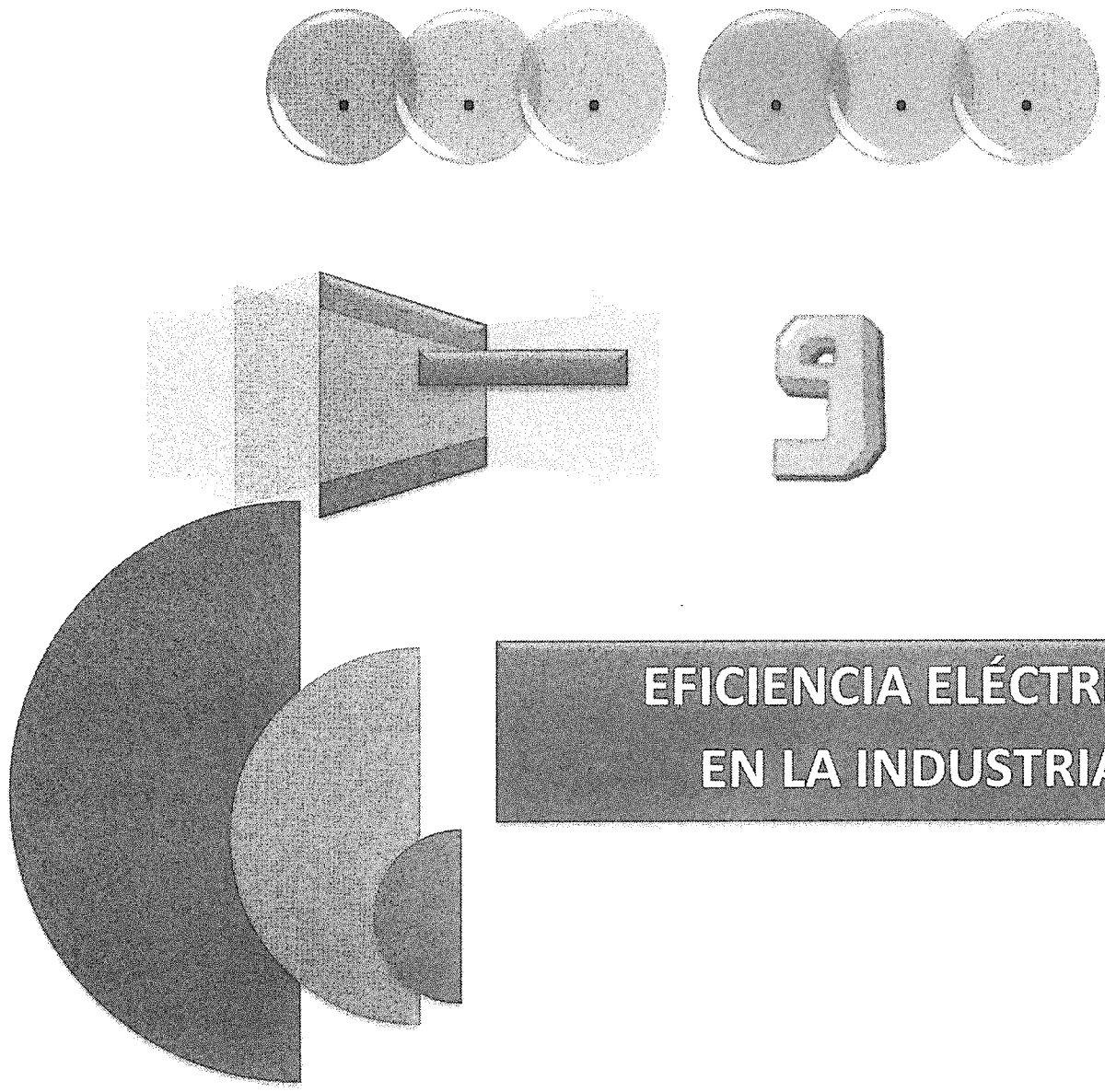
DELTA - PARALELO

TABLA 8.10

FACTOR k

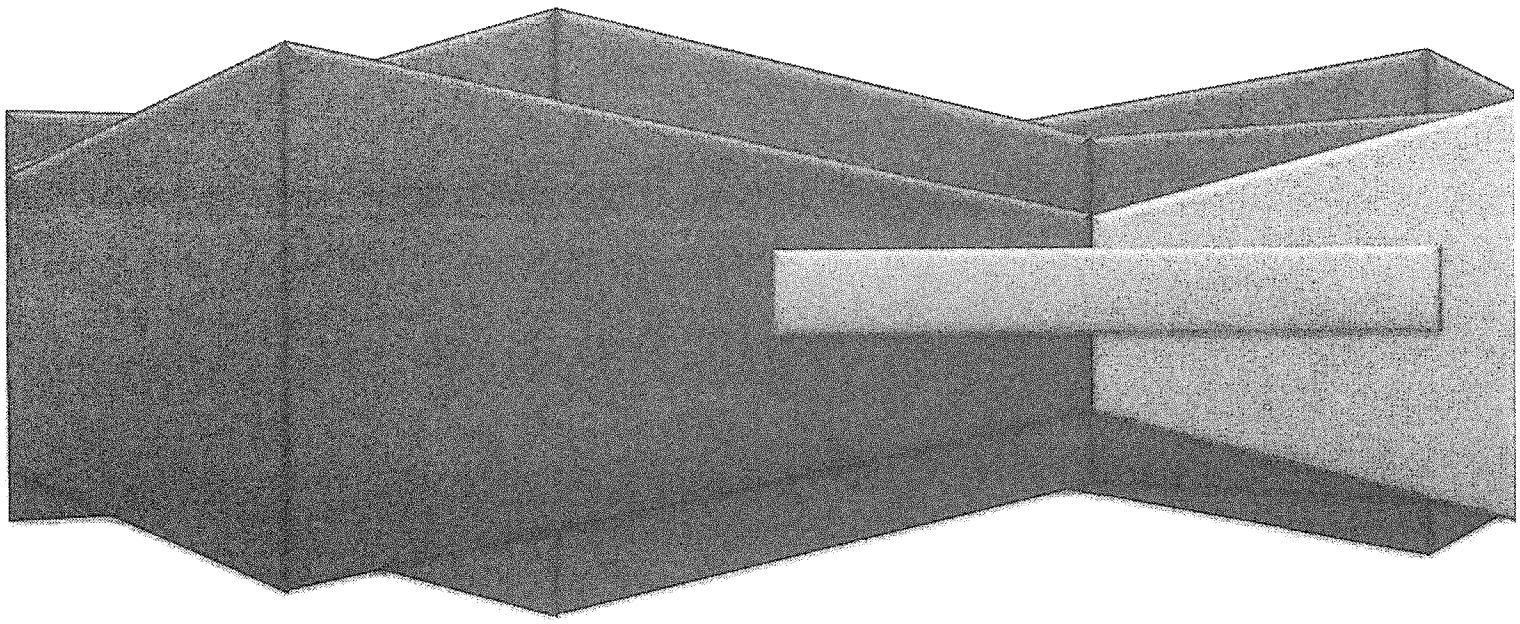
k = 0.591

FACTOR DE POTENCIA INICIAL	FACTOR DE POTENCIA FINAL	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.40		1.541	1.668	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
0.41		1.474	1.605	1.742	1.769	1.798	1.831	1.860	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
0.42		1.413	1.544	1.681	1.769	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
0.43		1.356	1.487	1.624	1.709	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
0.44		1.290	1.421	1.558	1.651	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
0.45		1.230	1.360	1.501	1.585	1.561	1.592	1.626	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
0.46		1.179	1.309	1.446	1.532	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
0.47		1.130	1.260	1.397	1.473	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
0.48		1.076	1.206	1.343	1.425	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
0.49		1.030	1.160	1.297	1.370	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
0.50		0.982	1.112	1.248	1.326	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51		0.936	1.066	1.202	1.276	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
0.52		0.894	1.024	1.160	1.230	1.212	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
0.53		0.850	0.980	1.116	1.188	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
0.54		0.809	0.939	1.075	1.144	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
0.55		0.769	0.899	1.035	1.103	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
0.56		0.730	0.865	0.996	1.063	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
0.57		0.692	0.822	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
0.58		0.665	0.785	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
0.59		0.618	0.748	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
0.60		0.584	0.714	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
0.61		0.549	0.679	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62		0.515	0.645	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
0.63		0.483	0.613	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
0.64		0.450	0.580	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
0.65		0.419	0.549	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
0.66		0.388	0.518	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
0.67		0.358	0.488	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68		0.329	0.459	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
0.69		0.299	0.429	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
0.70		0.270	0.400	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.71		0.242	0.372	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.72		0.213	0.343	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.73		0.186	0.316	0.452	0.400	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.74		0.159	0.289	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.75		0.132	0.262	0.389	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.76		0.105	0.235	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.77		0.079	0.209	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.78		0.053	0.183	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.79		0.026	0.156	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.80			0.130	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.81			0.104	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.82			0.078	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.83			0.052	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.84			0.026	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.85				0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484



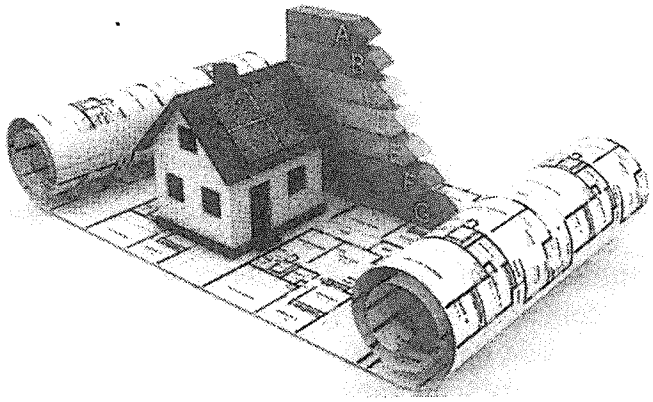
9

EFICIENCIA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA



EFICIENCIA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA

9



9.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como propósito orientar a los usuarios de energía eléctrica industriales a mejorar el rendimiento energético de sus instalaciones eléctricas y, por lo tanto, reducir sus gastos en consumo de la energía eléctrica, sin comprometer la seguridad y la calidad de sus productos o su capacidad de producción. La pregunta que puede surgir es: ***¿por qué mejorar el rendimiento energético de las instalaciones eléctricas?***

La respuesta es, porque los rendimientos energéticos de las instalaciones eléctricas proporcionan las siguientes ventajas:

➡ ***PARA LA INDUSTRIA***

- Mejora el aprovechamiento de las instalaciones y equipos eléctricos, y en consecuencia, una mejoría en la calidad del producto.
- Reduce el consumo energético y, en consecuencia, un aumento en la productividad sin afectar la seguridad.
- Reducción de los gastos de electricidad.

PARA LA SOCIEDAD EN GENERAL

- Reducción de las inversiones para la construcción de plantas eléctricas y redes eléctricas, con la consecuente reducción de los costos de electricidad.
- Reducción de los precios de productos y servicios.
- Mayor garantía de suministro de energía eléctrica y de atención a los nuevos consumidores en el futuro.

Algunos conceptos que se deben considerar para el estudio de la eficiencia eléctrica en la industria, son los siguientes:

DEMANDA EN KW

Es la media de las potencias eléctricas activas o reactivas, solicitadas al sistema eléctrico por la parte de carga instalada en operación en la unidad consumidora, durante un intervalo de tiempo especificado.

a) ***Demanda contratada.*** Es la demanda de potencia activa que debe tener disponible en forma obligada y continua la empresa suministradora en el punto de entrega, de acuerdo al valor y periodo de vigencia establecido en el contrato de suministro, y que debe ser íntegramente pagada durante el periodo de facturación, expresada en kilowatts (kW).

b) ***Demanda excedente.*** Cantidad de la demanda medida que excede al valor de la demanda contratada, se expresa en kilowatts (kW).

c) ***Demanda facturable.*** Valor de la demanda de potencia activa, identificada de acuerdo con los criterios establecidos y considerada para fines de facturación, con aplicación de la tarifa respectiva, expresada en kilowatts (kW).

d) ***Demanda media.*** Mayor demanda de potencia activa, verificada por medición integrada en intervalos de 15 (quince) minutos durante el periodo de facturación, expresada en kilowatts (kW).

CONSUMO KWH

El consumo de energía facturado y/o efectivamente medido en el periodo (puede ser mensual o bimestral).

TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Es el conjunto de tarifas aplicables a las componentes de consumo de energía eléctrica y/o demanda de potencia activa, de acuerdo con la modalidad de suministro.

SISTEMA TARIFARIO CONVENCIONAL

Estructura caracterizada por la aplicación de tarifas de consumo de energía eléctrica y/o demanda de potencia, independientemente de las horas de utilización del día y de los periodos del año.

SISTEMA TARIFARIO HORARIO - ESTACIONAL

Es una estructura caracterizada por la aplicación de tarifas diferenciales de consumo de energía eléctrica y de la demanda de potencia, de acuerdo con las horas de utilización del día y de los periodos del año, de acuerdo con las especificaciones siguientes:

a) ***Horario pico o de punta:*** Periodo definido por la empresa suministradora y compuesto por 3 (tres) horas diarias consecutivas, a excepción de sábados y domingos y días feriados nacionales, considerando las características de su sistema eléctrico.

b) ***Horario fuera de punta:*** Periodo compuesto por el conjunto de horas diarias consecutivas y complementarias de aquellas definidas en el horario de punta.

AJUSTE DE FACTOR DE POTENCIA

En los dos sistemas tarifarios, tanto convencionales como horario-estacionales, el ajuste se cobra cuando el factor de potencia de la unidad consumidora en el periodo de facturación es inferior a 0.90.

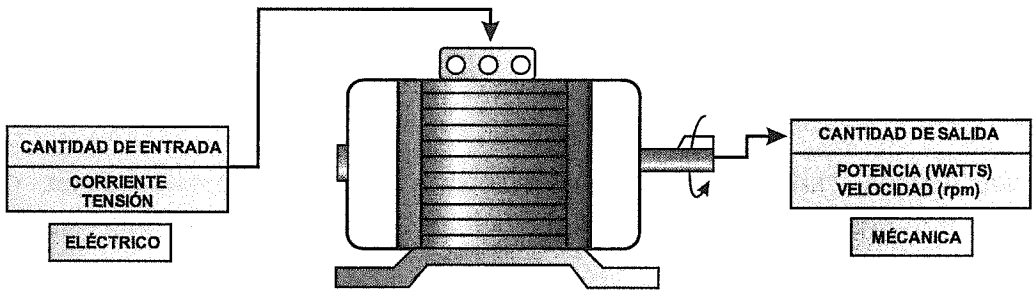
9.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES ELÉCTRICOS

TIPOS Y APLICACIONES

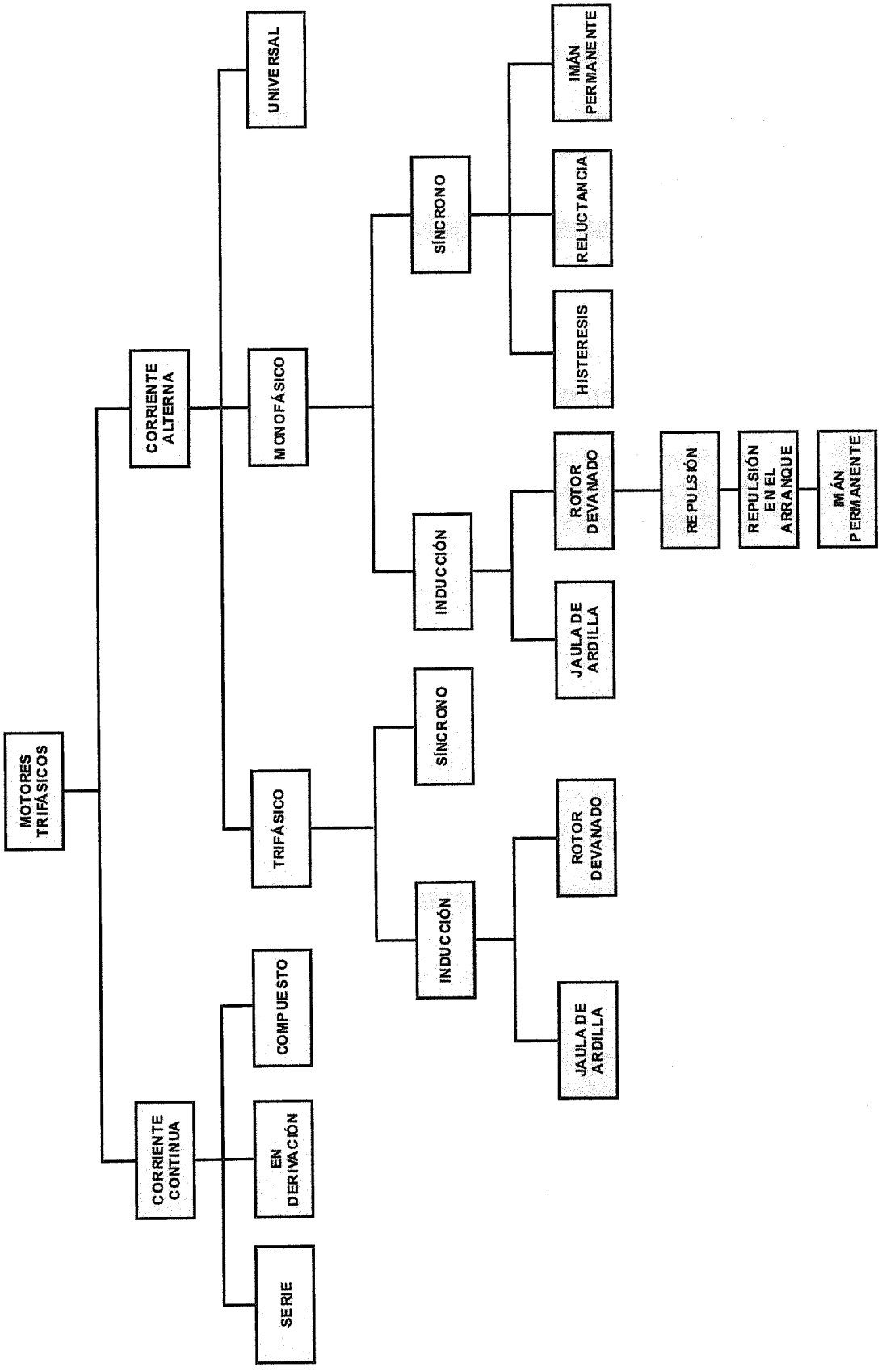
Los motores de inducción son máquinas eléctricas que han tenido la mayor aplicación en la industria y aparatos electrodomésticos. Son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica (a nivel mundial se estima que los motores consumen el 60% de la energía generada).

Los principales datos nominales que se especifican para un motor eléctrico son los siguientes:

DATOS	UNIDADES
POTENCIA	KW o HP
TENSIÓN DE OPERACIÓN	KV o V
FRECUENCIA	Hz
CORRIENTE NOMINAL	A
CORRIENTE DE ARRANQUE	A
FACTOR DE POTENCIA	cosφ
EFICIENCIA	%



CLASIFICACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS



9.2.1 CÁLCULO DE POTENCIAS PARA MOTORES.

En las aplicaciones de motores eléctricos, un aspecto importante es el cálculo correcto de la potencia para accionar una carga mecánica. A continuación, se indican algunos cálculos para aplicaciones específicas.

a) Potencia para el motor que acciona una bomba

$$P = Qd\,\frac{h}{\eta}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
Q = Gasto o caudal en m^3/s
d = Peso específico en N/dm^3
h = Altura de la elevación en m.
η = Rendimiento mecánico.

b) Potencia para elevación de agua

$$P = Q\,.\frac{h}{75\,\eta}$$

DONDE:

P = Potencia en C. V.
Q = Caudal o gasto en m^3/s.
h = Altura de la elevación en m.
η = Rendimiento mecánico.

c) Potencia de un motor para mecanismos de elevación

$$P = f\,.\frac{V}{1000\,\eta}$$

DONDE:

P = Potencia mínima del motor en kW.
F = Fuerza resistente a la marcha en N (F = m . g).
V= Velocidad en m/s.
η= Rendimiento mecánico.
g = Aceleración ($9.81\ m/s^2$).

d) Potencia de un motor para un mecanismo giratorio

$$P = M\,\frac{N}{9.55\,\eta}$$

DONDE:

P = Potencia mínima del motor en kW.
M = Par de giro o rotación en N_m.
η = Velocidad en revoluciones/min.

e) Potencia de un motor para el accionamiento de grúas con movimiento unilateral del carro

$$P = P_1 m_g + 2\,\frac{m_c + m_{car}}{\sum m}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
$\mathbf{P_1}$ = Potencia mínima necesaria en kW.
$\mathbf{m_g}$= Masa de la grúa en kg.
$\mathbf{m_C}$ = Masa del carro en Kg.
$\mathbf{m_{car}}$= Masa de la carga en Kg.

f) Potencia de un motor para ascensor

$$P = \frac{F}{2}\,\frac{V}{1000\,\eta}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
F = Fuerza en N.
V = Velocidad en m/s.
η = Rendimiento mecánico.

g) Potencia de un motor mecánico para translación

$$P = m_T\,.w\,\frac{V}{2\pi\,x\,955\,\eta}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
$\mathbf{m_T}$ = Peso total en N.
W = Resistencia de translación (0.007 para cojinetes de rodillo y 0.020 para cojinetes de fricción).
V = Velocidad de translación en m/min.
η = Rendimiento mecánico.

h) Potencia absorbida por un ventilador

$$P = Q\,.P_r\,\frac{9.81}{1000\,\eta}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
Q = Caudal o gasto en m^3/s.
$\mathbf{P_r}$ = Presión en mm de columna de agua.
η = Rendimiento mecánico.

i) Potencia necesaria para una máquina

$$P = M \frac{N}{9.55\,\eta_m} \; ; \; P = F \frac{V}{1000\,.\eta_m}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
M = Par de giro o rotación de la máquina en N_m.
N = Velocidad en revoluciones/min.
η_m = Rendimiento de la máquina.
F = Fuerza (peso, fricción) en N.

Potencia desarrollada por un motor trifásico.

$$P = \sqrt{3}\,VI\,cos\varphi\;x\;\frac{\eta}{1000}$$

DONDE:

P = Potencia en kW.
η= Rendimiento del motor a la potencia nominal.

Algunas equivalencias

1	CV =	736 W
1	HP =	746 W
1	kW =	1136 CV

9.3 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Por las grandes ventajas que tiene de ser alimentado por corriente alterna de la empresa suministradora, la mayoría de los equipos que requieren de un motor eléctrico emplean a los de corriente alterna, en forma preferente los trifásicos y los de pequeña potencia usan alimentación monofásica.

Los motores de corriente alterna pueden variar su velocidad y par, que entregan al equipo acoplado mecánicamente; para esto, se instalan con un regulador de velocidad que pueden ser **"variadores de frecuencia"** o **"convertidores de frecuencia variable"**, esto ha hecho que muchas de las aplicaciones típicas de los motores de corriente directa donde se requería variación de velocidad estén siendo reemplazadas por los motores de corriente alterna con sus accionamientos o drivers.

9.3.1 ASPECTOS BÁSICOS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Algunos aspectos relevantes a considerar en la aplicación de los motores eléctricos para el uso eficiente de la electricidad son los siguientes:

➡ *EFICIENCIA*

La eficiencia de un motor eléctrico es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Representa el concepto más importante desde el punto de vista de consumo de energía y del costo de operación del motor.

La eficiencia se puede calcular de las formas siguientes:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ mecánica\ de\ salida}{Potencia\ eléctrica\ de\ entrada}$$

También como:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ eléctrica\ entrada - pérdidas}{Potencia\ eléctrica\ de\ entrada}$$

En el caso teórico de que las pérdidas fueran cero, la eficiencia más alta de un motor es la unidad (1).

Generalmente los fabricantes de motores eléctricos investigan para generar innovaciones tecnológicas tendientes a reducir las pérdidas al máximo posible, usando mejores materiales y

también un proceso de mejora continua en la fabricación. Según la ***eficiencia,*** los motores eléctricos se pueden clasificar en tres tipos:

1. ***Motores de eficiencia estándar***

En estos motores la eficiencia no representa la cualidad principal, lo que se busca es su selección y funcionalidad, de hecho muchos de los motores usados antes del año 1990 son de este tipo.

2. ***Motores de alta eficiencia***

Estos motores aparecieron en el mercado en el año de 1990 con el propósito de ahorrar en el consumo de la energía eléctrica, por los altos precios que en ese entonces ya se tenían; porque se había creado ya la conciencia de un uso eficiente y racional de la energía.

3. ***Motores Premium***

En estos motores la innovación tecnológica ha logrado elevar más aún la eficiencia, para ello se ha logrado perfeccionar un proceso de manufactura, usando materiales de muy alta calidad, por lo que su costo también es elevado.

➡ ***PÉRDIDAS.***

En el caso de los motores eléctricos, la energía eléctrica que entra se convierte en energía mecánica que sale por medio del giro del rotor y las pérdidas eléctricas magnéticas y de fricción. Estas pérdidas en conjunto se manifiestan como calor.

Las pérdidas en un motor de corriente alterna son las siguientes:

- **Pérdidas eléctricas.**

Éstas están relacionadas con el régimen de trabajo del motor, que se expresa por medio del llamado **FACTOR DE CARGA**. Se presentan en los devanados del estator y del rotor, se reflejan como calentamiento por efecto Joule (RI^2).

De acuerdo con las especificaciones técnicas de cada fabricante, este tipo de pérdidas se pueden reducir haciendo que el diseño de la armadura disipe mejor el calor y también disminuyendo el espesor del aislamiento en el estator.
En el caso del rotor, las pérdidas se pueden disminuir incrementando el tamaño de las barras conductoras para bajar la resistencia, o bien reduciendo la corriente eléctrica.

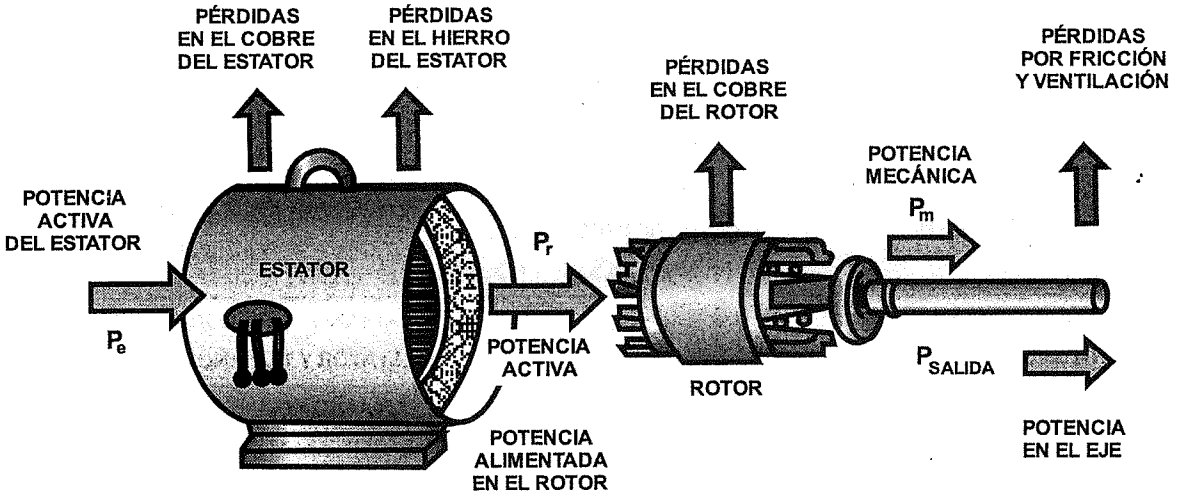
- **Pérdidas en el núcleo.**

Son independientes de la carga y representan la energía requerida para magnetizar el material del núcleo, por lo que se producen en el acero magnético del motor.

- **Pérdidas mecánicas.**

Éstas son de dos tipos: *pérdidas por fricción y pérdidas por ventilación*. La primera ocurre debido a la fricción entre el rotor y el estator y el rozamiento de las chumaceras del eje del motor. Por otro lado, las pérdidas por ventilación se deben a la fricción de las partes en movimiento del motor con el aire que está dentro de la carcaza.

Las pérdidas mecánicas se pueden reducir mejorando la selección de los cojinetes, usando baleros de mejor calidad, reduciendo el entrehierro, mejorando el movimiento del flujo de aire y usando ventiladores más eficientes.



9.4 FACTOR DE CARGA

Se llama factor de carga a un índice que indica qué porcentaje de la capacidad del motor está siendo utilizada.

Los fabricantes de motores eléctricos reportan en sus manuales técnicos la eficiencia del motor en porcentajes del 100, 75, 50 y 25% del factor de carga. Un ejemplo de la manera en cómo se reporta, se muestra en la tabla siguiente. La mayoría de los motores eléctricos tienen su mayor

eficiencia al 75% del factor de carga, por esto se seleccionan para que trabajen a este porcentaje de carga.

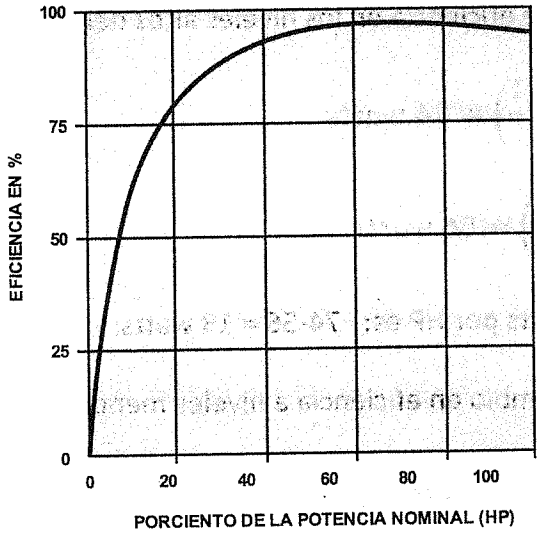
VALORES DE EFICIENCIA SEGÚN EL PORCENTAJE DE FACTOR DE CARGA

POTENCIA DEL MOTOR (HP)	FACTOR DE CARGA			
	25%	50%	75%	100%
1	39	59	69	72
2	41	61	73	74
3	48	64	75	77
5	51	67	78	78
10 -	55	69	79	79
15	56	70	81	80
20	63	77	85	83
25	68	85	89	87

COMPONENTES DE LAS PÉRDIDAS EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS		
TIPO DE PÉRDIDA	PORCENTAJE TÍPICO DE PÉRDIDAS EN MOTORES DE 4 POLOS	FACTORES QUE AFECTAN LAS PÉRDIDAS
PÉRDIDAS EN EL DEVANADO DEL ESTATOR	35 A 40	TAMAÑO DEL CONDUCTOR DEL ESTATOR Y TAMAÑO
PÉRDIDAS EN EL DEVANADO DEL ROTOR	15 A 20	TAMAÑO DEL CONDUCTOR DEL ROTOR Y MATERIAL
PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO DEL ESTATOR	15 A 20	TIPO Y CANTIDAD DEL MATERIAL MAGNÉTICO
PÉRDIDAS DISPERSAS POR CARGA	10 A 15	MÉTODOS DE DISEÑO
PÉRDIDAS POR FRICCIÓN Y VENTILACIÓN	5 A 10	SELECCIÓN/DISEÑO DE VENTILADORES Y CHUMACERAS

Para cualquier máquina (incluyendo motor eléctrico), la eficiencia alcanza su máximo valor cuando las **pérdidas dependientes de la carga** son iguales a **las pérdidas independientes de la carga.** En todos los demás puntos, la eficiencia cae debajo de este valor máximo.

La cosa más importante a recordar acerca de la relación de eficiencia y carga es que la eficiencia varía sólo ligeramente sobre un amplio rango de salida. Esto es porque en los motores de inducción de diseño normal, la igualdad de las pérdidas dependientes de la carga e independientes de la carga ocurre entre el 60 y 85% de carga (típicamente alrededor del 75%), de aquí que la máxima eficiencia usualmente ocurre en este punto, en lugar que a potencia nominal. Se puede observar en la siguiente curva de eficiencia contra carga que es **ligeramente plana.**



CURVA TÍPICA DE EFICIENCIA vs CARGA PARA MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

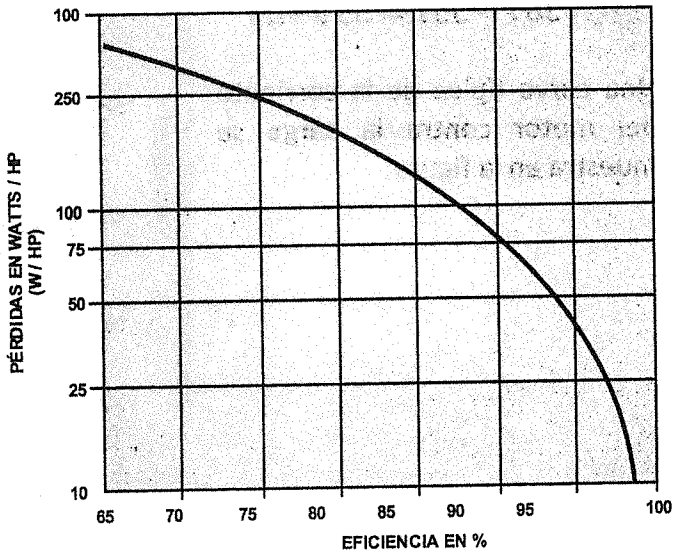
El análisis de los costos de operación del equipo conciernen por sí mismos, más con el uso real de potencia que con los valores de eficiencia, de modo que relacionando los costos reales (w) con la eficiencia (η) es muy útil. De aquí la fórmula:

$$W = Potencia\ de\ salida\ x\ \left(\frac{100-\eta}{\eta}\right)$$

DONDE:

W = Pérdidas en watts.
Potencia de salida en watts.
η = Eficiencia en por ciento.

A cualquier valor de eficiencia es fácil calcular las pérdidas correspondientes en watts, tales cálculos dan lugar a una curva como la siguiente:



EFICIENCIA vs PÉRDIDAS EN WATTS

Para un motor o cualquier valor de carga se multiplican los watts de esta curva por los HP del motor, para obtener las pérdidas totales del motor.

Esta curva también muestra que entre más alta la eficiencia del motor, se tienen menos beneficios.

Por simplicidad, consideremos un motor de 1 HP que tiene dos cambios de eficiencia diferentes, primero un cambio de eficiencia en los niveles altos del 91 al 93%.

$$W = 746\ x\ 1\ x\ \left(\frac{100-91}{91}\right) = 74\ watts$$

$$W = 746\ x\ 1\ \left(\frac{100-93}{93}\right) = 56\ watts$$

El cambio, en las pérdidas en watts por HP es: 74-56 = 18 watts.

Ahora se puede considerar un cambio en eficiencia a niveles menores, de 66 a 68%.

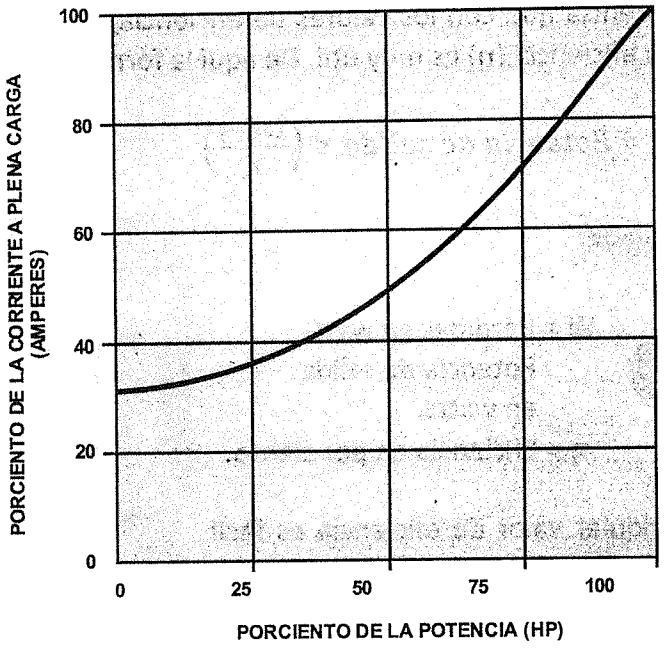
$$W = 746\ x\ 1\ x \left(\frac{100-66}{66}\right) = 384\ watts$$

$$W = 746\ x\ 1\ x\ \left(\frac{100-68}{68}\right) = 351\ watts$$

El cambio en las pérdidas en watts por HP es:

$$384 - 351 = 33\ watts$$

Una curva típica de la corriente del motor contra la carga se muestra en la figura:



CURVA TÍPICA DE CORRIENTE DEL MOTOR vs CARGA

9.5 VENTAJAS DE LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA (PREMIUM)

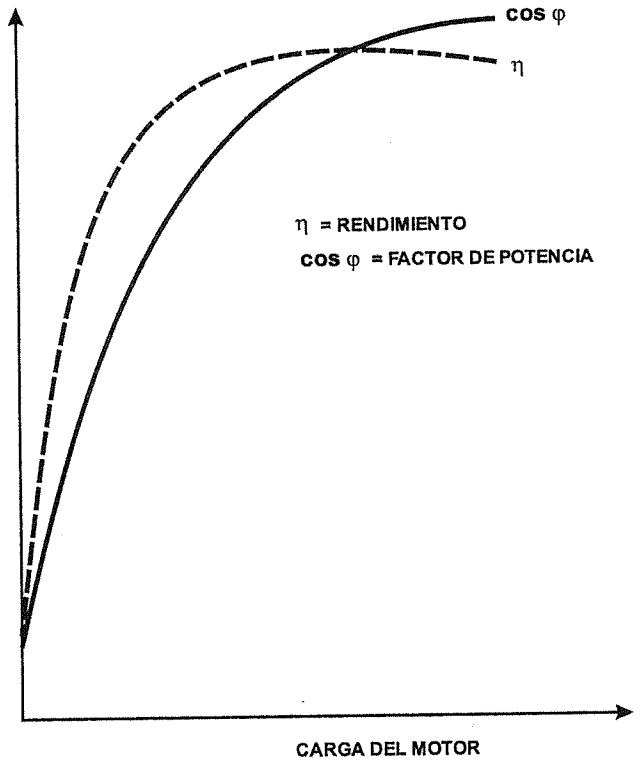
➡ Son normalmente más robustos y mejor construidos que los motores estándar, lo que se traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.

➡ Al tener una eficiencia mayor, se disminuyen los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a una carga cercana a la potencia nominal.

LIMITACIONES DE LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.

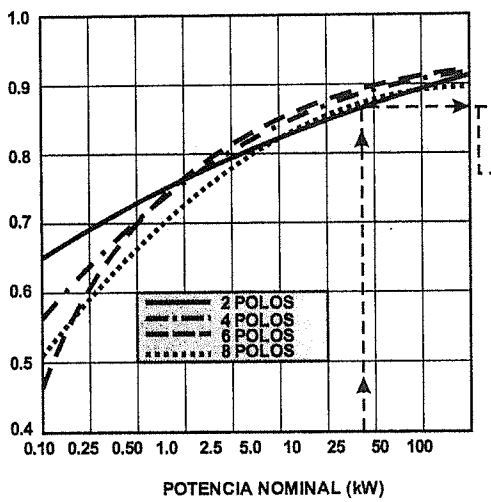
- Como operan a una velocidad mayor que los motores estándares, pueden ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas. Este hecho debe valorarse en cada situación.
- En el momento de arranque pueden ser menores que los motores estándares, cuestión que resulta necesario analizar detalladamente en cada aplicación.
- La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red en el momento de arranque.
- La corriente transitoria en el arranque se incrementa debido a un mayor valor de la relación X/R. Esta corriente puede afectar el disparo instantáneo del interruptor del motor, por lo que hay que buscar un compromiso entre la coordinación del interruptor y los disparos del arranque.
- El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar en el intervalo de 15 a 40 HP.

Bajo cualquier carga, el motor presenta pérdidas fijas, como las de fierro y las debidas a fricción y ventilación. Además de las pérdidas fijas, hay pérdidas variables con la carga del motor, como las pérdidas en el cobre que crecen con el cuadrado de la corriente de carga, siendo así que, con pequeñas cargas con relación a su potencia nominal, la eficiencia del motor es baja; cuando la carga del motor aumenta, la eficiencia se eleva.

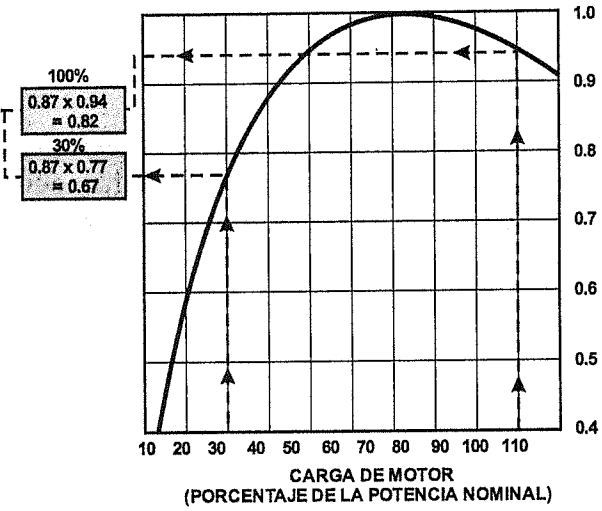


RENDIMIENTO Y FACTOR DE POTENCIA EN FUNCIÓN DE LA CARGA DEL MOTOR

Para motores de inducción trifásicos de hasta 100 kW, que se encuentran en el mercado de acuerdo a las gráficas siguientes, se puede concluir que:

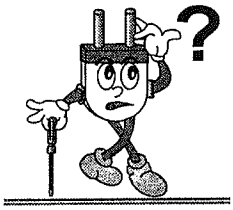


RENDIMIENTO MÁXIMO DE UN MOTOR EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA NOMINAL



COEFICIENTE MULTIPLICADOR DEL RENDIMIENTO MÁXIMO EN FUNCIÓN DE LA CARGA

- El rendimiento máximo es más elevado entre mayor es la potencia en las terminales del motor.
- El rendimiento máximo para una misma potencia varía con el número de polos de los motores.
- El rendimiento máximo de un motor ocurre en forma común cuando su carga es igual al 75% de su potencia nominal.
- Cuando un motor opera con más del 50% de su potencia nominal, el rendimiento es mucho más próximo de su rendimiento máximo.
- Cuando un motor opera con menos del 50% de su potencia, su rendimiento cae en forma acentuada.



EJEMPLO 9.1 Un motor trifásico de inducción de 2 polos con una potencia nominal de 50 kW a 220 V acciona en régimen permanente a una carga de 15 kW, de acuerdo a la gráfica anterior de rendimiento máximo de un motor en función de la potencia nominal, se puede observar que el rendimiento máximo de un motor es igual a 0.90.

Como trabaja con 15 kW (un poco menos del 30% de su potencia nominal), para calcular su rendimiento de operación se debe multiplicar el rendimiento máximo por el coeficiente multiplicador del rendimiento máximo en función de la carga de la gráfica anterior, que es 0.77, es decir:

$$\eta_o = \eta_{máx}\, x\, 0.77$$

$$\eta_o = 0.90\, x\, 0.77 = 0.69$$

La potencia demandada de la red en las condiciones de operación es:

$$P_a = P/\eta_o = 15/0.69$$

$$P_a = 21.7\ kW$$

Las pérdidas del motor son:

$$P_e = P_a - P = 21.7 - 15$$

$$P_e = 6.7\ kW$$

9.6 RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Cuando se considera la posibilidad de compra de un motor nuevo, se debe evaluar económicamente la rentabilidad de pagar un costo adicional por adquirir un motor de alta eficiencia frente al ahorro obtenido por un menor consumo energético. Generalmente se considera que 2 a 3 años es un periodo aceptable de retorno de la inversión adicional. Luego de realizar un análisis económico, se recomienda la compra de motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

- En los motores entre 10 y 75 HP, cuando operan 2500 horas anuales o más.
- En los motores de potencia menor a 10 HP o mayor a 75 HP, cuando operan 4500 horas o más.
- Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
- Cuando se aplican conjuntamente con variadores electrónicos de frecuencia (Variable Frequency Drives) para accionar bombas y ventiladores.

REDUCIR LA CARGA MECÁNICA SOBRE EL MOTOR.

Cuando se analiza la eficiencia de un sistema accionado por un motor, un tema fundamental es si la carga que el motor mueve puede ser reducida o incluso si la operación de la carga aun es necesaria dentro del proceso productivo. Sirve de muy poco optimizar el motor y sus controles, si la carga accionada y su proceso son eficientes. Las recomendaciones para reducir la carga sobre el motor son:

a) *Recomendaciones para ahorrar energía en bombas y ventiladores.*

Las bombas y los ventiladores constituyen más del 55% de las cargas usadas con motores de inducción, por lo tanto, lograr que éstas operen con la mayor eficiencia posible, representa una buena opción para el ahorro de la energía. Se recomiendan las siguientes acciones:

- Seleccionar una bomba eficiente que opere muy cerca de su presión y flujo de diseño nominal.
- Si la bomba opera muy por debajo de su carga nominal, instalar un impulsor más pequeño o redimensionar el que existe.
- Reducir el número de codos agudos en la tubería.
- Usar tuberías de baja fricción y cambiar las tuberías viejas.

- Realizar periódicamente el mantenimiento a las bombas, sin mantenimiento la eficiencia puede caer un 10% respecto al valor de eficiencia nominal.
- Seleccionar ventiladores eficientes.
- Realizar un mantenimiento periódico de los ventiladores, por ejemplo, limpie regularmente las aspas y mantenga los filtros limpios para reducir las caídas de presión.
- Instalar un control para activar el ventilador, sólo cuando sea necesario.
- Si es posible, reducir la velocidad, variando los diámetros de las poleas.

b) ***Recomendaciones para ahorrar energía en el uso de sistemas de transmisión mecánica.***

Luego de asegurar la operación eficiente de la carga, es importante analizar los sistemas de transmisión. Éstos permiten transmitir el par del motor a las cargas o equipos (bombas, compresores, etc.), ya sea cambiando o no la velocidad que entrega el motor, lo que se logra mediante acoplamientos al eje de engranajes, poleas. En la selección del sistema de transmisión, ***es importante conocer las características de cada sistema*** para realizar una adecuada selección. Las siguientes recomendaciones son útiles:

- **Acoplamiento directo**. Asegurar un correcto acoplamiento entre el motor y la carga, es recomendable usar la tecnología láser.
- **Correas o bandas.** Se recomienda usar bandas en V y de preferencia bandas en V dentadas; de ser posible usar bandas sincrónicas. También se recomienda hacer el alineamiento usando tecnología láser.
- **Reductores.** Es importante seleccionar adecuadamente el tipo de reductor (heliocoidal, cónicos, cilíndrico y tornillo sin fin) de acuerdo a la potencia y a la relación de velocidades. Por ejemplo, los reductores tipo sin fin permiten reducciones elevadas pero con una eficiencia menor que los otros tipos de reductores. Es importante considerar que la eficiencia del reductor cae bruscamente cuando estas transmisiones trabajan con una carga menor al 50% de la carga nominal.
- **Cadenas.** No tienen deslizamiento y se recomiendan para transmitir elevadas cargas que pueden llegar hasta los miles de HP, la eficiencia puede alcanzar un 98%, pero el desgaste le hacer perder eficiencia.

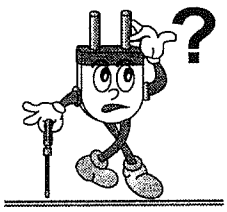
La eficiencia de la transmisión mecánica de potencia depende de la unión o agarre entre polea y correa o bandas, la cual a su vez depende del coeficiente de fricción y la tensión en la banda. En el caso de bandas cubiertas de hule o de acero, de las que hay disponibles en el mercado, el coeficiente de fricción es tan bajo como 0.2, usando bandas tipo V se mejora hasta 0.55.

Más recientemente se han introducido bandas de cuero cromadas con las que este coeficiente llega a 0.70. La eficiencia de las bandas V es generalmente del 90 al 95%, en tanto que las planas del 95 al 98%.

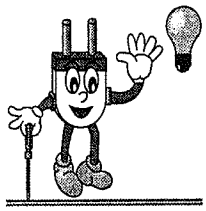
PÉRDIDAS EN BANDAS V		
SERIE NO.	HP DEL MOTOR	PÉRDIDAS %
1	2	8 – 15
2	3	7 – 13
3	4	6 – 12
4	6	5.5 – 10
5	8	5 – 9
6	10	4.5 – 8.2
7	20	3.5 – 7.0
8	30	3.2 – 6.0
9	40	3.0 – 5.5
10	60	2.8 – 5.0
11	80	2.5 – 4.5
12	100	2.5 – 4.5

En general, se aplican las siguientes reglas para el uso de motores de alta eficiencia:

1. Para la compra de un motor para una nueva aplicación, el periodo de retorno de la inversión en la diferencia de precios, debe ser del orden de 1 año, dependiendo de la capacidad, precio, horas de operación y tarifa.



EJEMPLO 9.2 Estimar el ahorro de cambiar un motor de 7.5 kW con eficiencia de 85%, por otro de alta eficiencia con una eficiencia del 88%.



SOLUCIÓN

$$Ahorro\ de\ potencia = HP\left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2}\right)$$

$$= 7.5\left(\frac{1}{0.85} - \frac{1}{0.88}\right)$$

$$= 0.3\ kW$$

1. Suponiendo 6000 horas de operación al año:

$$Energía\ ahorrada = 0.3\ x\ 6000 = 1800\ \frac{kW - h}{año}$$

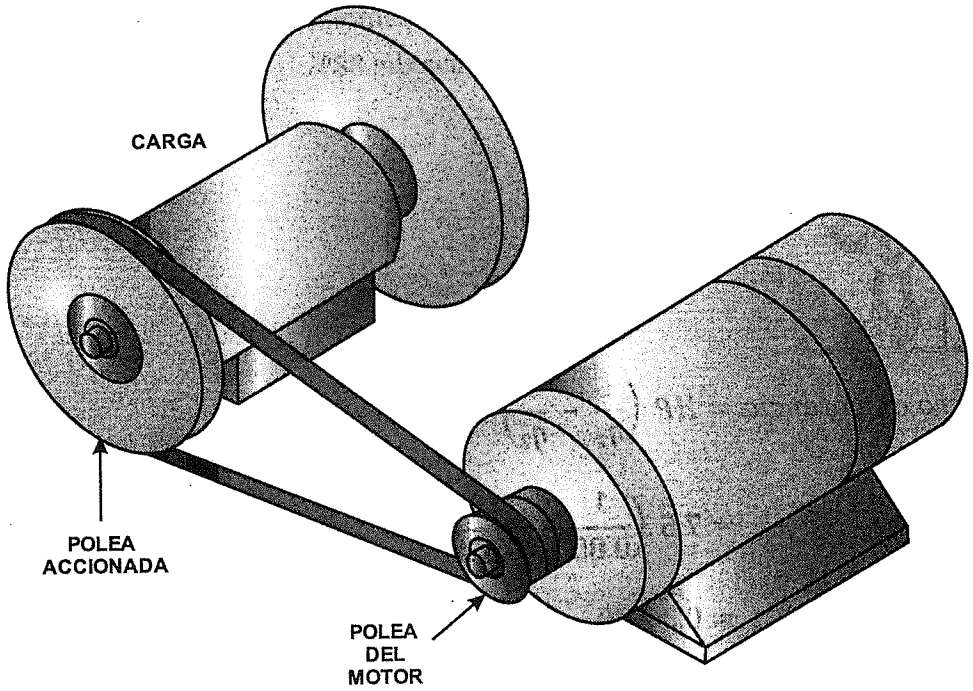
Esta energía, multiplicada por la tarifa correspondiente, permite obtener el ahorro.

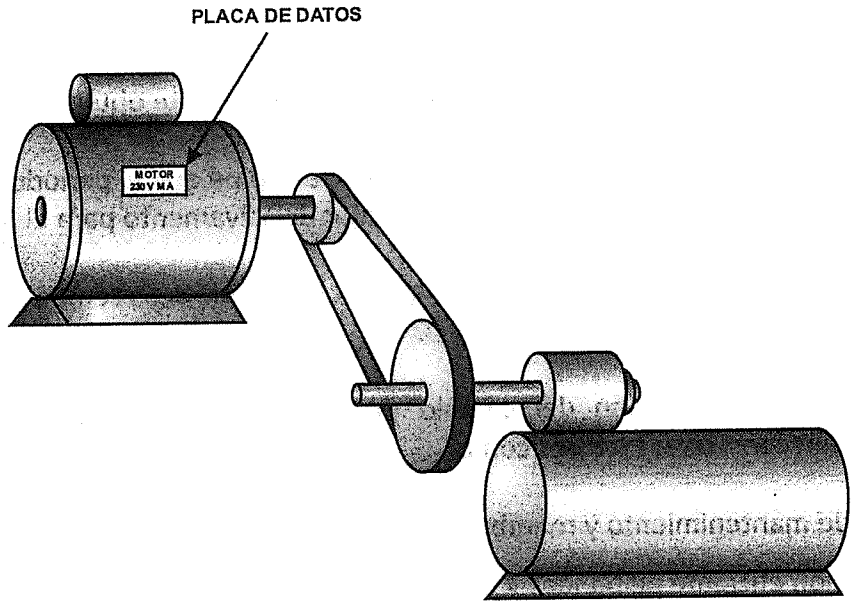
2. Para reemplazar un motor existente en operación, se estima que el periodo de retorno debe ser de 1 a 2 años, después de considerar algún valor de salvamento para el motor existente.

3. Para reemplazar un motor que se ha quemado y que podría ser reembobinado, el periodo de retorno es de alrededor de 1.0 a 1.5 años.

Adicionalmente, para la decisión del cambio de motores estándar por motores de alta eficiencia, se deben considerar factores como:

- El costo de mantenimiento y reembobinado.
- La aplicación eficiente de bandas y poleas.
- El uso correcto de chumaceras.





MOTOR USANDO UNA POLEA DE ACCIONAMIENTO A UNA CARGA

9.7 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Un proyecto adecuado y un buen plan de operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas pueden representar una economía significativa de energía, así como garantizar buenas condiciones para el funcionamiento y seguridad de los equipos, y continuidad de la producción en un proceso determinado.

DEFINICIÓN DE LA POTENCIA DE LAS SUBESTACIONES INDUSTRIALES

El concepto de ahorro de la energía eléctrica en las instalaciones eléctricas se da desde el proyecto mismo, en este caso se considera la determinación de la potencia de las subestaciones eléctricas para la industria.

SUBESTACIONES DE PEQUEÑO TAMAÑO

Considérese que en una industria se alimentan de una subestación las siguientes cargas:

- 12 Motores de 10 HP alimentados de un centro de control de motores (CCM1) a 220 V, tres fases.
- 10 Motores de 30 HP y 5 motores de 50 HP alimentados a la misma tensión del CCM2.
- El tablero general de alumbrado que alimenta el sistema de alumbrado de la industria que está constituido por: 150 lámparas fluorescentes de 40W, 52 lámparas incandescentes de 100 W.

Se desea:

- Calcular las demandas de los CCM1, CCM2, tablero general de alumbrado (TDL) tablero de fuerza (TDF) y tablero general de fuerza (TGF), estas demandas son necesarias para el transformador de la subestación. Por facilidad, se supone que todos los motores tienen un factor de potencia de 0.85. Se considera la potencia de los motores en HP, de manera que las demandas en KVA son:

POTENCIA DE LOS MOTORES

$$S_{10\,HP} = \frac{10\ x\ 0.746}{0.85} = 8.77\ kVA$$

$$S_{30\,HP} = \frac{30\ x\ 0.746}{0.85} = 26.32\ KVA$$

$$S_{50\,HP} = \frac{50\ x\ 0.746}{0.85} = 43.88\ KVA$$

DEMANDA DE LOS TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN

Centro de control de motores 1 (CCM1)

$$D_{CCM1} = N_{10\,HP}\ x\ S_{10\,HP}\ x\ F_S$$

DONDE:

N = Número de motores.
F_S = Factor de simultaneidad (0.65).

$$D_{CCM1} = 12\ x\ 8.77\ x\ 0.65 = 68.406\ KVA$$

Centro de control de motores 2 (CCm_2):

$$D_{CCm2} = (N_{30\,HP}\ x\ S_{30\,HP}\ x\ F_S) + (N_{50\,HP}\ x\ S_{50\,HP}\ x\ F_S)$$

$$= (10\ x\ 26.32\ x\ 0.65) + (5\ x\ 43.88\ x\ 0.7)$$

$$= 324.66\ KVA$$

TABLERO DE ALUMBRADO (TDL)

Considerando que el reactor de las lámparas de 40 W tiene pérdidas de 20 W, la demanda debe ser la potencia de las lámparas más las pérdidas.

$$D_{TDL} = 150\ x\ (40 + 20) + 52\ x\ 100 = 14.2\ KVA$$

EL TABLERO GENERAL DE FUERZA (TGF)

$$DTGF = DCCM_1 + DCCM_2 + DTDL$$

$$= 68.406 + 324.66 + 14.2$$

$$DTGF = 407.26\ KVA$$

POTENCIA DEL TRANSFORMADOR

El valor de potencia más próxima normalizado es 500 KVA.

- Cálculo del factor de demanda:

$$Potencia\ instalada = \frac{(12\ x\ 10 + 10\ x\ 30 + 5\ x\ 50)\ x\ 0.746}{0.85} + 14.2$$

$$= 602.22\ KVA$$

El factor de demanda es:

$$FD = \frac{407.26}{602.22} = 0.676$$

FACTORES DE SIMULTANEIDAD DE ALGUNOS EQUIPOS

EQUIPO	NÚMERO DE EQUIPOS							
	2	4	5	8	10	15	20	50
MOTORES: 3/4 A 2.5 HP	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60	0.55	0.50	0.40
MOTORES: 3 A 1.5 HP	0.85	0.80	0.75	0.75	0.70	0.65	0.55	0.45
MOTORES: 20 A 40 HP	0.80	0.80	0.80	0.75	0.65	0.60	0.60	0.50
MAYORES DE 40 HP	0.90	0.80	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60
RECTIFICADORES	0.90	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	0.70
SOLDADORES	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30
HORNOS RESISTIVOS	1.0	1.0	---	---	---	---	---	---
HORNOS DE INDUCCIÓN	1.0	1.0	---	---	---	---	---	---

9.8 SUBESTACIONES INDUSTRIALES GRANDES

Para aquellas subestaciones industriales de tamaños grandes (5 MVA o mayores) se hacen algunas consideraciones especiales a partir de los cálculos, es decir:

$$Factor\ de\ carga\ (FC) = \frac{Carga\ del\ transformador}{Potencia\ nominal\ del\ transformador}$$

El valor máximo de FC = $FC_{MÁX}$ = 150%

Para el cálculo se hacen las siguientes consideraciones:

FC = 100% ;

$$Factor\ de\ seguridad = 1.25\ x\ carga$$

Para este ejemplo, la carga es:

$$2\ motores\ de\ 355\ kW, cos\varphi = 0.90\ ;\ \frac{355}{0.90} = 788.88\ KVA$$

$$1\ motor\ de\ 710\ kW, cos\varphi = 0.90\ ;\ \frac{710}{0.90} = 788.88\ KVA$$

$$1\ motor\ de\ 1500\ kW, cos\varphi = 0.90\ ;\ \frac{1500}{0.90} = 1666.66\ KVA$$

Arranque del motor de 1500 kW:

$$= 5\ x\ 1666.66 = \ 8333.33$$

$$carga\ total = 11577.75\ KVA$$

Si se estima una potencia en el transformador de 10,000 KVA, entonces:

$$FC = 11577.75/10.000 = 115.77\%$$

Para un factor de seguridad del 25%:

$$Carga = 1.25\ x\ 11577.75 = 14472.18\ KVA$$

$$FC = 14472.18/10000 = 144.72$$

9.9 PÉRDIDAS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Las principales pérdidas que se presentan en los circuitos eléctricos son de ***tres tipos***:

a) Pérdidas por efecto Joule:

Éstas son provocadas por el paso de la corriente eléctrica a través de los conductores, produciendo su calentamiento. Estas pérdidas, de hecho, aparecen en todas las componentes del circuito: transformadores, conductores, motores, lámparas, tableros, etc. Son las más significativas y varían con el cuadrado de la corriente eléctrica (RI^2).

b) Pérdidas por Histéresis:

Estas pérdidas que se producen en los circuitos magnéticos, son provocadas por el magnetismo remanente del fierro y se manifiestan en todos los circuitos magnéticos sometidos a campos producidos por corriente alterna, como es el caso de los transformadores, motores, reactores, etc.

c) **Pérdidas por corrientes de Foucault:**

Estas pérdidas se originan por las corrientes parásitas inducidas y son significativas en los circuitos magnéticos de mayor tamaño y en los conductores de mayor sección.

➡ **ENERGÍA ACTIVA Y ENERGÍA REACTIVA**

Como se sabe, todos los equipos que funcionan con corriente alterna y que tienen un circuito magnético (transformadores, motores, reactores, etc.), absorben dos tipos de energía: **ACTIVA y REACTIVA.**

- La **ENERGÍA ACTIVA** es la que produce trabajo, tal es el caso de la rotación del eje de un motor.
- La **ENERGÍA REACTIVA** es aquella que no produce trabajo efectivo, pero que es necesaria para producir el flujo magnético necesario para el funcionamiento de transformadores, motores, etc.

A cada una de estas energías corresponde una corriente también denominadas activa y reactiva. Estas dos corrientes se suman vectorialmente para formar una corriente aparente, esta corriente recorre los diversos conductores del circuito produciendo su calentamiento y pérdidas por efecto Joule (RI^2).

El factor de potencia (F_P), como se sabe, se puede calcular como la relación de la corriente activa (I_A) con la corriente aparente (I_{AP}):

$$FP = \frac{I_A}{I_{AP}} = \frac{Kw}{KVA}$$

9.10 TRANSFORMADORES

Como se ha estudiado antes, los transformadores son equipos estáticos que transmiten energía eléctrica de un circuito para otro, variando los valores de corriente y tensión. Casi en todas las instalaciones industriales tienen transformadores.
En estos equipos, en el proceso de transferencia de energía se presentan pérdidas que dependen de la construcción del transformador y de su régimen de funcionamiento.

Las pérdidas son de dos tipos: en **VACÍO** *(en el fierro o núcleo)* y con **CARGA** *(en el cobre).*

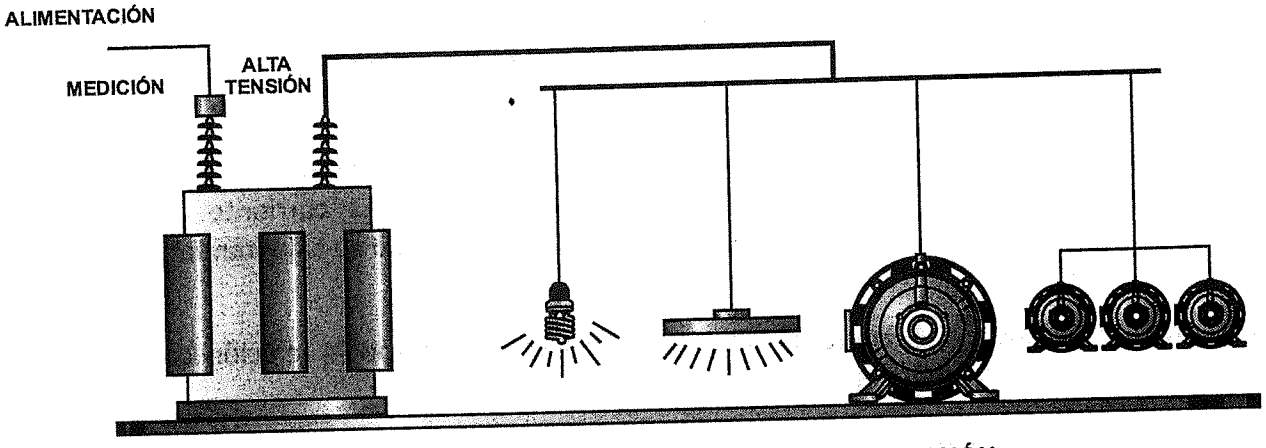
- Las **PÉRDIDAS EN VACÍO** corresponden a las ocurridas en el circuito magnético por histéresis y corrientes de Foucault.

- Las **PÉRDIDAS CON CARGA** son provocadas por efecto Joule, produciendo calentamiento.

El rendimiento o eficiencia de los transformadores es elevado en general, especialmente en equipos de buena calidad.

El total de las pérdidas puede parecer despreciable cuando se compara con su potencia nominal, pero se vuelve significativo cuando se compara con el consumo total de la instalación, dado que estos equipos permanecen en funcionamiento prácticamente todo el tiempo.

A pesar de que el transformador es proyectado para operar adecuadamente en condiciones de carga nominal, y mientras mayor es la carga del transformador mayor será el calentamiento de los equipos, produciendo una reducción en su vida útil, se recomienda utilizarlos con carga en la franja de 30 a 80% de su potencia nominal.



ALIMENTACIÓN DE CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN

PÉRDIDAS EN UN TRANSFORMADOR

Como en cualquier tipo de máquinas, el transformador presenta pérdidas que son pequeñas con relación a su potencia nominal. Estas pérdidas, como se ha mencionado, se pueden clasificar en: ***pérdidas en el núcleo magnético, pérdidas en el fierro y pérdidas en los devanados o pérdidas en el cobre.***

PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO.

Las pérdidas en el núcleo se presentan en el momento que el transformador se conecta a la red eléctrica y son debidas a las características magnéticas de los materiales empleados para su fabricación. Se caracterizan por ser prácticamente **no variables** con la carga demandada al transformador.

Esas pérdidas dependen de los materiales utilizados para su fabricación, principalmente de las laminaciones de acero al silicio. Los transformadores más modernos presentan menores pérdidas, debido al desarrollo tecnológico en la fabricación de laminaciones de acero y más recientemente con la aplicación de núcleos de acero amorfo.

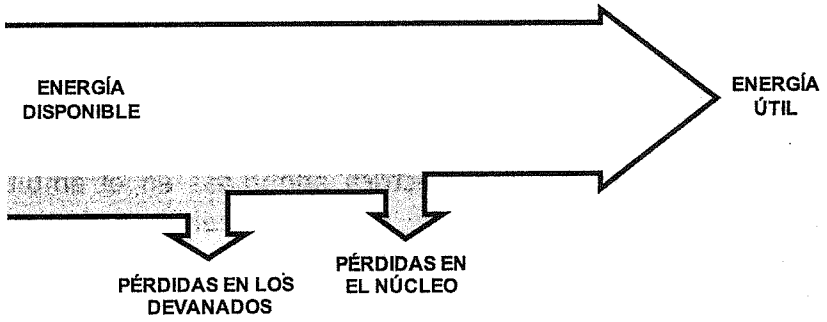
PÉRDIDAS EN LOS DEVANADOS .

Los devanados de los transformadores están hechos de materiales de elevada conductividad, principalmente de cobre y un poco menos común de aluminio. Al circular la corriente eléctrica por un conductor se presentan pérdidas, llamadas pérdidas óhmicas o pérdidas por efecto Joule, que se caracterizan por variar con la resistencia del conductor y con el cuadrado de la corriente eléctrica que circula por éste.

Como en un transformador la resistencia de sus devanados es prácticamente constante, se puede afirmar que las pérdidas en los devanados varían con el cuadrado de la corriente de carga, es decir:

$$Pérdidas\ en\ el\ devanado = RI^2\ carga$$

En los transformadores modernos, las pérdidas en los devanados a plena carga, es decir, cuando se está solicitando del transformador su potencia nominal, son en valor medio tres veces las pérdidas en el núcleo.



PÉRDIDA DE ENERGÍA EN TRANSFORMADOR

VALORES TÍPICOS DE PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES		
POTENCIA kVA	PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO (W)	PÉRDIDAS TOTALES (W)
15	120	60
30	200	770
45	260	1040
75	390	1530
112.5	520	2070
150	640	2550
225	900	3600
300	1120	4480
500	1350	6700
750	1500	13500
1000	1900	16500
1500	2500	25000
2000	3900	25100
3000	4900	31700

REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES.

De acuerdo a lo mencionado, las pérdidas en el devanado de un transformador están dadas por el producto de la resistencia por el cuadrado de la corriente de carga. Como la resistencia eléctrica del devanado prácticamente no varía con la carga del transformador, la reducción de las pérdidas se obtienen a través de medidas de conservación de la energía en las corrientes de cargas alimentadas por el transformador, como es la elevación del factor de potencia y la distribución adecuada de las cargas entre los transformadores cuando existen más de uno en la industria. En el caso de las pérdidas en el núcleo, éstas sólo desaparecen cuando el transformador es desconectado de la red eléctrica.

REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA.

Las medidas de conservación de energía eléctrica adoptadas en el ámbito de la empresa resultan como una menor demanda de potencia, y consecuentemente menor corriente de carga a ser alimentada por el transformador, y mientras menor es la corriente, menores son las pérdidas en los devanados del equipo.

REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LOS DEVANADOS POR LA ELEVACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

Una acción técnicamente fácil y que requiere de inversiones bajas para reducir las pérdidas en los devanados de un transformador, es la elevación del factor de potencia, con lo cual el conjunto de las cargas alimentadas por el transformador opera. La elevación del factor de potencia reduce la componente inductiva de corriente, con lo cual se reduce el valor de la corriente de carga.

Esta reducción de las pérdidas del transformador por la elevación del factor de potencia con las que las cargas eléctricas alimentadas operan, está dada por la expresión:

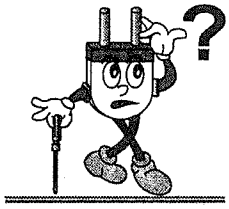
$$\Delta P = 1 - \left(\frac{cos\varphi_1}{cos\varphi_2}\right)^2$$

DONDE:

ΔP = Reducción de pérdidas.
cosφ1 = Factor de potencia antes de la corrección.
cosφ2 = Factor de potencia después de la corrección.

REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LOS DEVANADOS POR LA REDISTRIBUCIÓN DE LAS CARGAS ENTRE LOS TRANSFORMADORES.

Cuando en una industria se dispone de más de un transformador, se puede obtener una reducción de las pérdidas con una adecuada redistribución de las cargas eléctricas entre los transformadores, de tal forma que los que operan con carga elevada puedan reducir su corriente, en tanto que los otros con carga baja reciban parte de la carga.



EJEMPLO 9.3 Supóngase que una industria tiene dos transformadores idénticos con una distribución de carga tal que, uno opera a plena carga y el otro con el 50% de su capacidad.

Con estas condiciones de operación, las pérdidas en los devanados son:

$$P_1 = R\ x\ In^2 \qquad (al\ 100\%\ de\ carga)$$

$$P_2 = R\ x\ (0.5\ x\ In^2) \qquad (al\ 50\%\ de\ carga)$$

Las pérdidas totales de los dos transformadores:

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = R\ x\ In^2 + R\ (0.5\ x\ In)^2$$

$$P = 1.25\ x\ R\ x\ In^2$$

DONDE:

R = Resistencia equivalente de los devanados de cada transformador.
In = Corriente nominal de cada uno de los transformadores.

Si se hiciera una redistribución de cargas, de tal suerte que cada transformador opere con el 75% de su potencia nominal, las pérdidas totales serán:

$$P_1 = R\ x\ (0.75\ x\ In)^2 + R\ x\ (0.75\ x\ In)^2$$

$$P_1 = 1.125\ x\ R\ x\ In^2$$

La relación de las pérdidas en las dos condiciones es:

$$\frac{P_1}{P} = \frac{1.125\ x\ R\ x\ I^2n}{1.25\ x\ R\ In^2} = 0.90$$

Es decir que, de la redistribución de las cargas entre los dos transformadores se obtiene una reducción del 10% de las pérdidas globales de los transformadores.

REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR.

Como las pérdidas en el núcleo son prácticamente independientes de la carga en el transformador, éstas ocurren cuando están operando en vacío. De esta forma, una de las maneras de reducir las pérdidas es desconectar el transformador cuando no alimenta ninguna carga.

Siendo así, las industrias que no operan el turno nocturno y en fines de semanas reducirán sus consumos de energía eléctrica, si se desconectan sus transformadores.

9.11 CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN

Los principales desarrollos de tecnología de conductores y cables no aportarán economías de energía sin una mejora en los aislamientos. Los materiales actualmente utilizados pueden soportar por tiempo prolongado temperaturas mayores, elevando la capacidad de conducción de corriente de los conductores.

Entre tanto, las pérdidas por efecto Joule crecen debido al aumento de la resistividad debida a la elevación de temperatura de los conductores.

Para cada instalación se debe calcular la sección óptima y más económica de los conductores, considerando los distintos parámetros como: el costo de capital y el precio de la energía. Este análisis se hace fácil cuando se trata del proyecto de nuevas instalaciones, pero se dificulta para instalaciones existentes.

La selección del calibre o sección de los conductores en función del ducto en que están contenidos se ha estudiado en capítulos anteriores, y está basado en la aplicación de las normas técnicas para instalaciones eléctricas.

Usar conductores mal dimensionados equivale a efectuar desperdicios importantes de energía y eventualmente a comprometer la seguridad de la instalación. Las normas para instalaciones eléctricas normalmente conducen a la determinación de las secciones mínimas que deben ser utilizadas, tales normas no restringen la utilización de secciones de conductores mayores a los valores mínimos, ya que cuanto mayor es la sección es menor resistencia, y por lo tanto, menores pérdidas por efecto Joule.

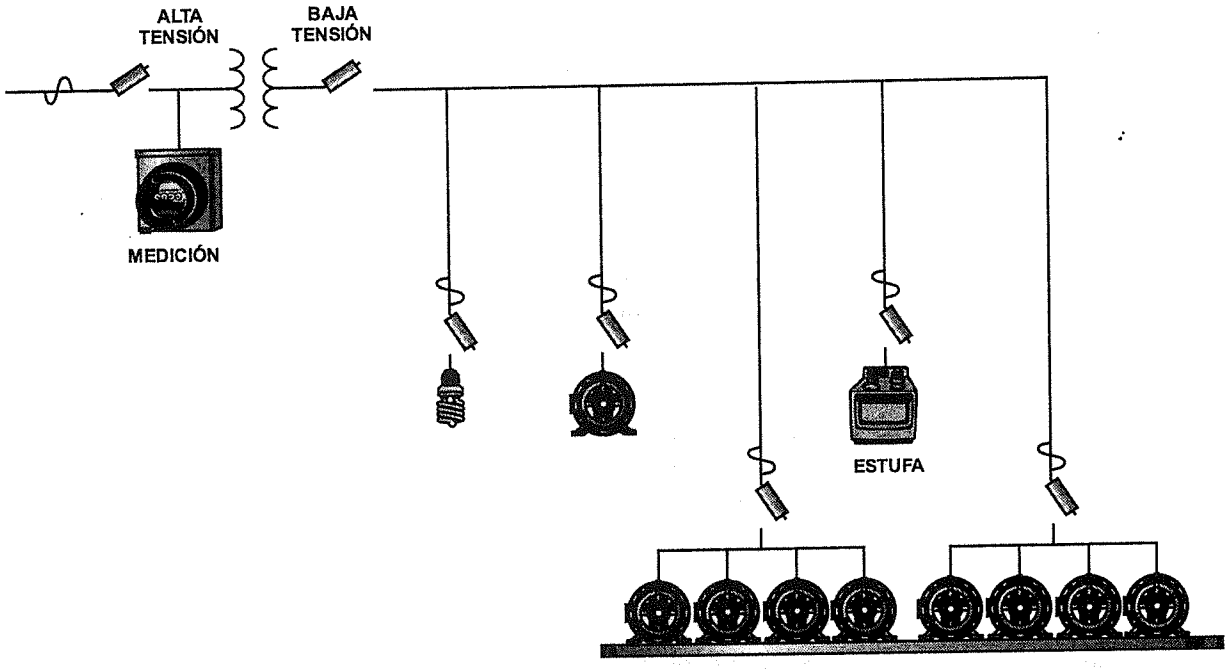
El transporte de corrientes elevadas en baja tensión resulta costoso, ya sea en función de mayores secciones de conductores (en cobre o aluminio) o también por las pérdidas de energía debidas al efecto Joule. Se pueden reducir simultáneamente estos dos costos implantando subestaciones eléctricas en las proximidades de los centros de carga de las instalaciones.

Esta política conduce a un aumento en el número de transformadores existentes y exige la implantación de una red interna de alta tensión para alimentarlos de esta manera. Los circuitos largos de distribución más cargados se sustituyen por cables de alta tensión con secciones menores, con pérdidas significativamente menores.

Los sistemas eléctricos de distribución de energía de una instalación industrial pueden presentar distintos arreglos, cuyas configuraciones se definen en función de:

- La confiabilidad deseada en el suministro de energía eléctrica.
- La regulación de tensión adecuada a las necesidades de las cargas eléctricas.
- La flexibilidad de operación del sistema.
- La facilidad para la adición de nuevas cargas.
- De las inversiones necesarias para su implantación.

Los ***sistemas de distribución de energía eléctrica radiales*** son los usados en las instalaciones eléctricas industriales, principalmente las de pequeño y mediano tamaño, por ser el sistema más simple y de menor costo. En la mayoría de los casos, particularmente en las industrias de tamaño medio, los transformadores de media a baja tensión se encuentran instalados en un local único, como regla, generalmente próximo a la entrada de la alimentación de la compañía suministradora, lo que requiere de largos circuitos de distribución en baja tensión, que ocasionan pérdidas importantes y también aumentan el costo de la instalación. En la siguiente figura se muestra este sistema:

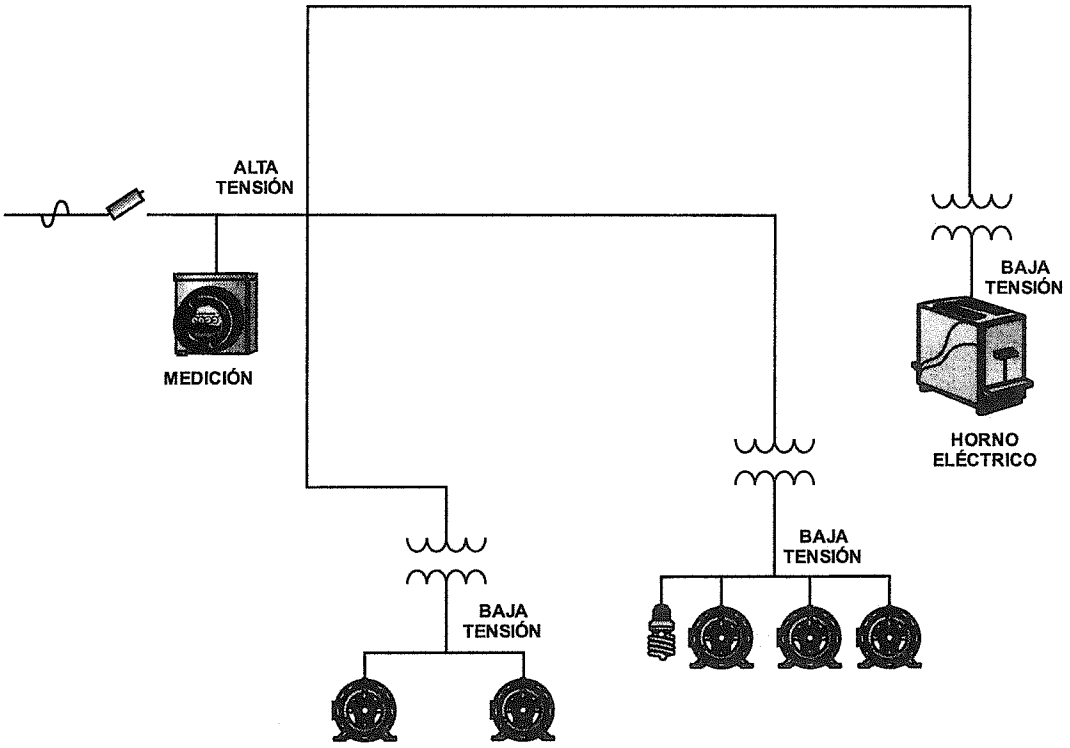


INSTALACIÓN ELÉCTRICA CON TRANSFORMADOR EN LA ENTRADA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

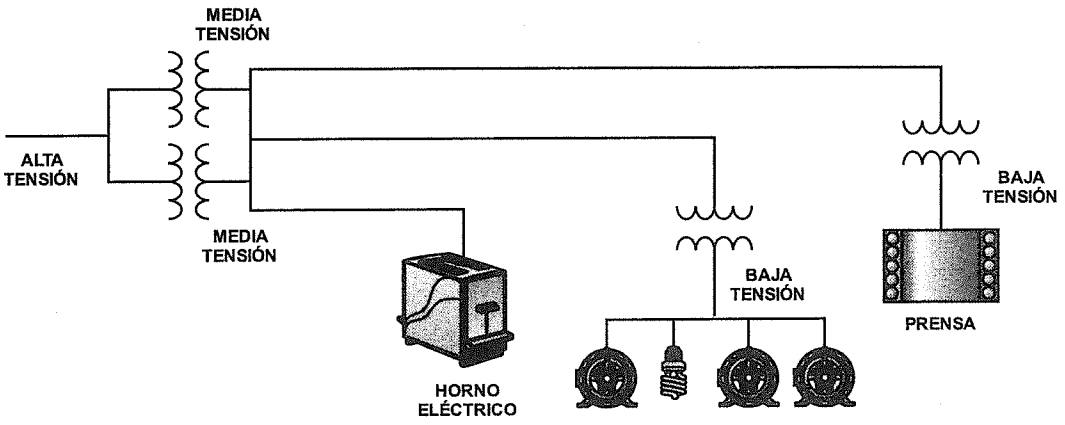
Los sistemas radiales bien proyectados, en términos de la reducción de las caídas de tensión y de pérdidas de energía, son aquellos en los que los transformadores son instalados próximos a los centros de carga, como se muestra en la siguiente figura. En este tipo de arreglos, los

circuitos de baja tensión son de menor longitud, teniendo en consecuencia menores caídas de tensión y reducciones significativas de pérdidas de energía en los circuitos.

En las instalaciones de mayor tamaño que requieren de mayor confiabilidad y de mayor flexibilidad operativa, se utilizan arreglos de sistemas de distribución con transformadores conectados en paralelo, tales sistemas requieren de mayores inversiones y también presentan niveles de cortocircuito más elevados.



CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN CON TRANSFORMADORES DISTRIBUIDOS PRÓXIMOS A LOS CENTROS DE CARGA



CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN EN INSTALACIONES DE GRAN TAMAÑO

En cualquier arreglo, un sistema de distribución está constituido de transformadores, interruptores, cuchillas desconectadoras, fusibles, cuchillas fusible, contactores, barras, cables conductores y conectores, todos estos elementos presentan resistencias eléctricas.

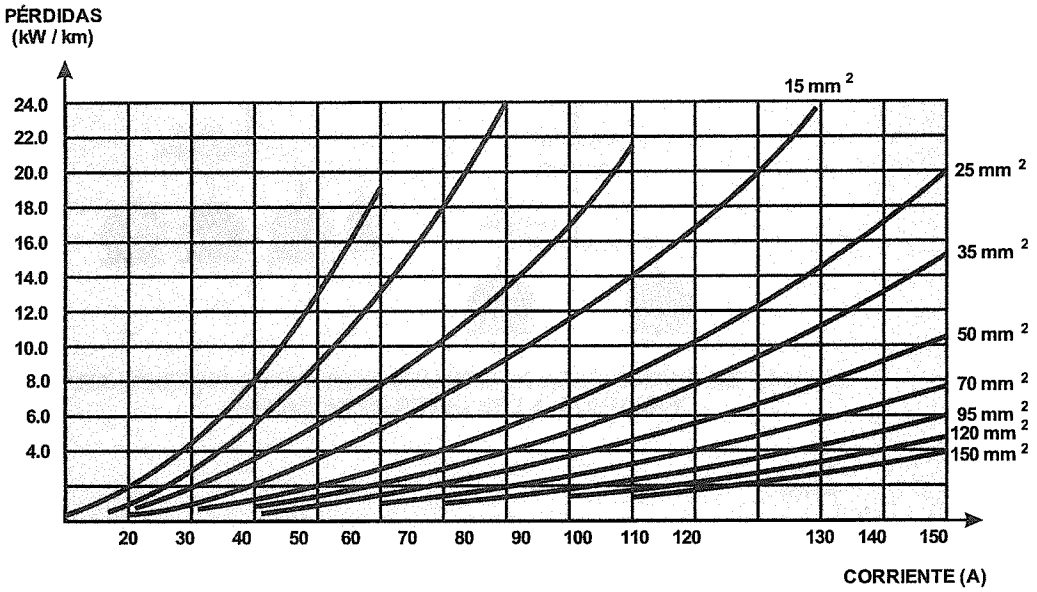
Al circular la corriente eléctrica por tales resistencias se disipa una potencia eléctrica en forma de calor, que son las pérdidas por efecto Joule, éstas, como se sabe, se calculan con la expresión:

$$P = R\ x\ I^2$$

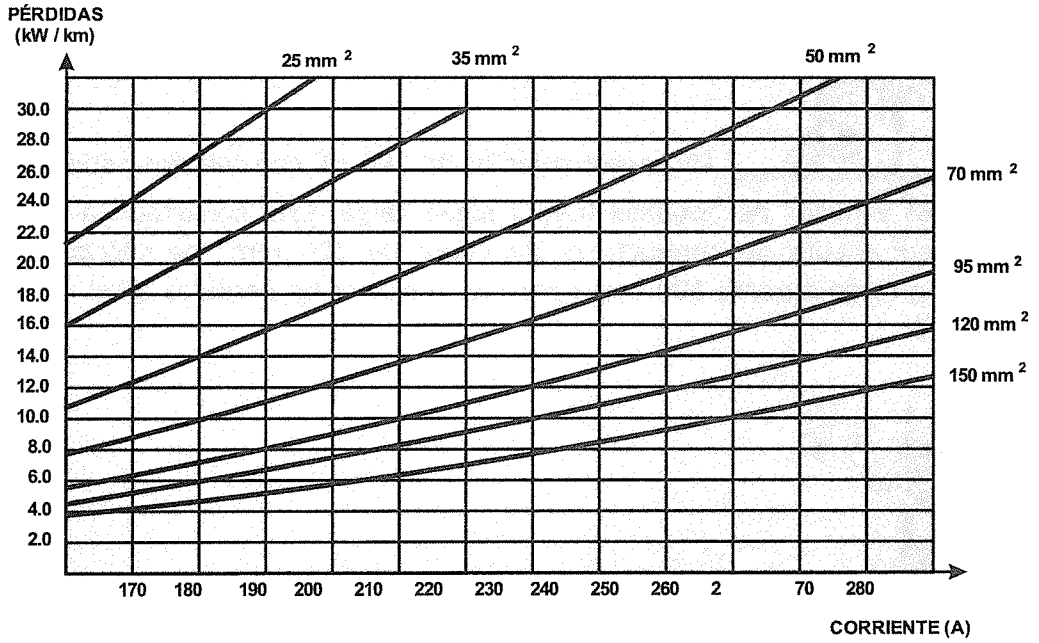
DONDE:

R = Resistencia eléctrica del elemento.
I = Corriente eléctrica que circula.

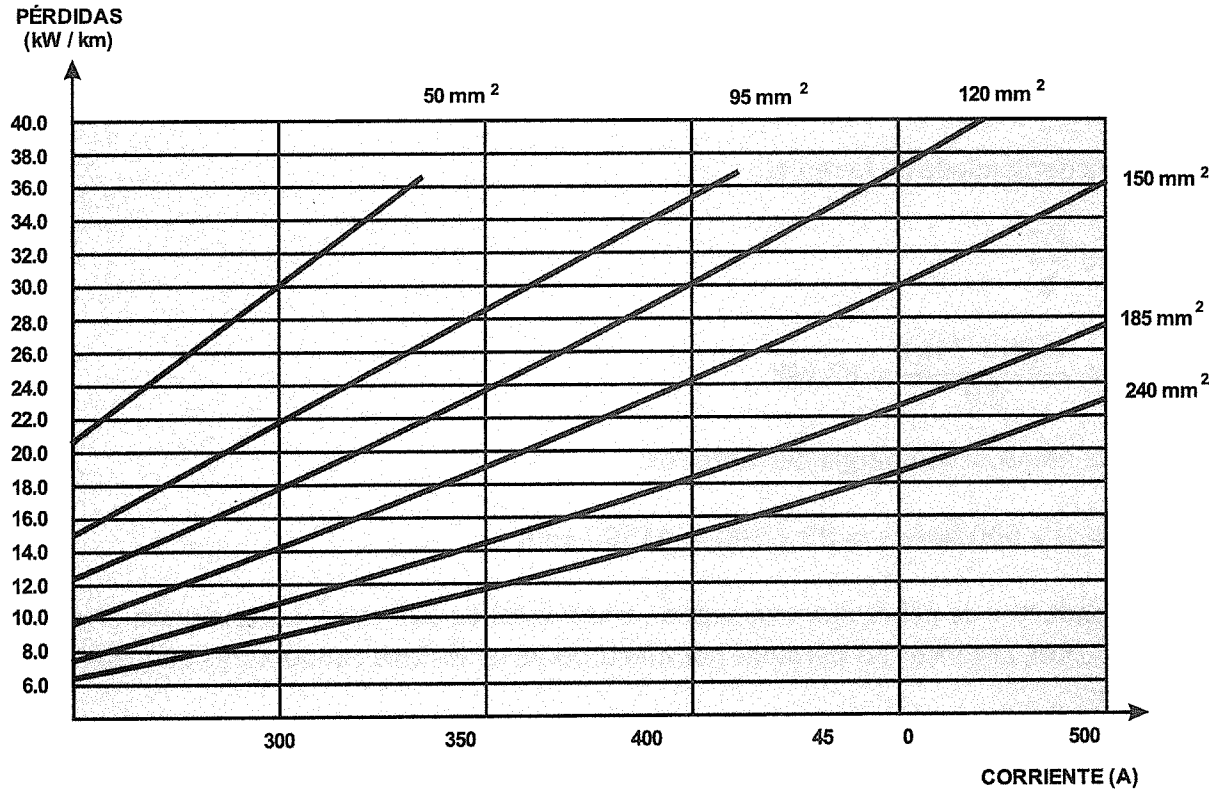
De esta forma, como en cualquier sistema de distribución de energía eléctrica, se tienen pérdidas que pueden alcanzar valores elevados, aumentando el consumo de energía eléctrica.

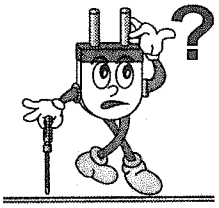


PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES POR EFECTO JOULE (kw/km)

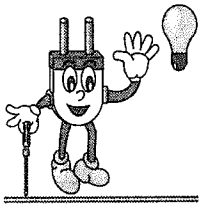


PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES POR EFECTO JOULE (kw/km)





EJEMPLO 9.4 Un motor trifásico de 100 HP con tensión nominal de 220 V, eficiencia de 90% y factor de potencia 0.80 a plena carga, está conectado a 120 m de un transformador por medio de conductores de cobre de 120 mm^2 de sección transversal, operando a plena carga durante 500 horas por mes. Calcular las pérdidas en el conductor que alimenta al motor.



SOLUCIÓN La corriente demandada por el motor es:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ x\ V\ x\ cos\varphi}$$

$$I = \frac{100\ x\ 746}{\sqrt{3}\ x\ 220\ x\ 0.8}$$

$$I = 244\ A$$

La potencia demandada de la red es:

$$P = \frac{Pn}{\eta}$$

$$P = \frac{(100\ x\ 746)}{0.9} = 83\ kW$$

El consumo mensual de energía del motor es:

$$C = P\ x\ 500\ horas = 83\ x\ 500 = 41500\ kwh$$

Para un conductor de cobre con una sección transversal de 120 mm^2, la resistencia eléctrica es de 0.164 Ω/Km, entonces las pérdidas por efecto Joule en los tres conductores que alimentan el motor son:

$$P = 3\ x\ R\ x\ I^2 = 3\ x\ (0.12\ x\ 0.164)\ x\ 244^2$$

$$P = 3.5\ kw$$

Las pérdidas mensuales de energía en los conductores son:

$$Pm = 3.5\ x\ 500 = 1750\ kW$$

En este caso, las pérdidas por efecto Joule en los conductores representan 4.2% de la energía consumida por el motor.

Se puede notar, por el ejemplo, que las pérdidas de energía en los conductores pueden llegar a valores considerables, y por lo tanto, deben ser analizadas cuidadosamente en cualquier programa de conservación de energía eléctrica en una industria.

Usando las gráficas anteriores, la correspondiente a 280 A y pérdidas hasta 30 kw/km:

$$P = 10.5\ x\ 0.120\ x\ 3 = 3.7\ kW$$

Las pérdidas mensuales son:

$$Pm = 3.7\ x\ 500 = 1850\ kwh$$

REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS ÓHMICAS (RI^2) EN CONDUCTORES.

De la ecuación que permite calcular las pérdidas por efecto Joule, se observa que para reducirlas, se debe actuar sobre las resistencias de los conductores y sobre las corrientes que por éstas circulan.

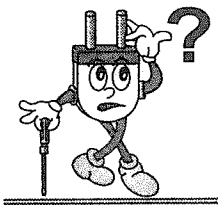
- ***Acción sobre las resistencias de los conductores.***

Para reducir la resistencia eléctrica de un conductor, se tienen las siguientes recomendaciones.

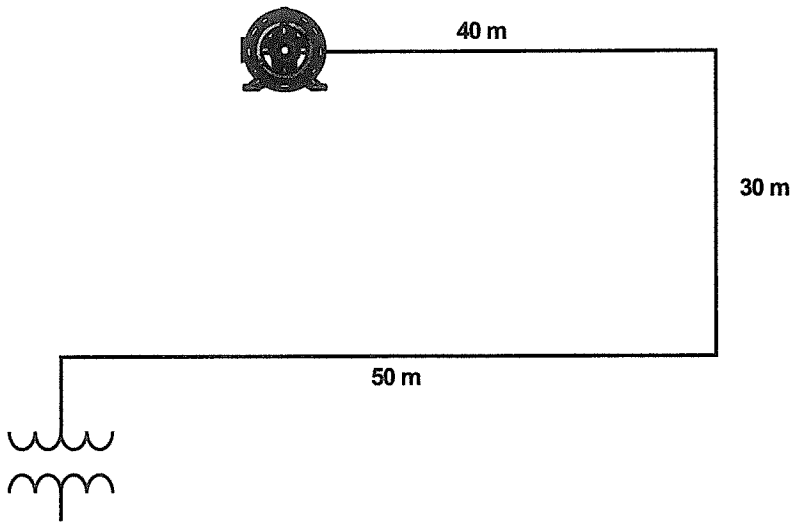
- ***Usar materiales de baja resistividad:*** los materiales empleados en conductores instalados en una industria son de cobre y más raramente de aluminio, que son metales de baja resistividad.

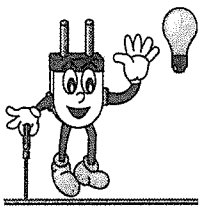
- ***Usar conductores de mayores secciones transversales:*** El uso de conductores de mayores secciones transversales, tienen limitaciones económicas, ya que su aplicación puede encarecer la instalación.
  De manera que se deben usar conductores recomendados por las normas técnicas, tratando de evitar los que tienen secciones transversales inferiores a aquellas recomendadas.

- ***Reducir la longitud de los conductores***: La reducción de los conductores usados, principalmente en baja tensión, es la forma más adecuada de minimizar las pérdidas por efecto Joule, mediante la reducción de la resistencia eléctrica. Esto se puede lograr a partir de una revisión de los circuitos de alimentación, reduciendo su longitud lo más posible.



EJEMPLO 9.5 Un motor trifásico de 100 HP, 220 V, está operando a plena carga con un rendimiento igual a 0.85 y factor de potencia igual a 0.87, está alimentado de un transformador de 13800/220 V por medio de conductores de cobre de sección transversal 120 mm^2, como se muestra en la siguiente figura. Calcular las pérdidas en estas condiciones:





SOLUCIÓN La corriente de carga del motor es:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, x\, V\, x \cos\varphi}$$

$$I = \frac{100\, x\, 746}{\sqrt{3}\, x\, 220\, x\, 0.8} = 225\, A$$

Para el conductor de 120 mm^2 de sección transversal, la resistencia es 0.164 Ω/km, la longitud total del conductor es:

$$\ell = 40 + 30 + 50 = 120\ m$$

La resistencia total de los conductores es:

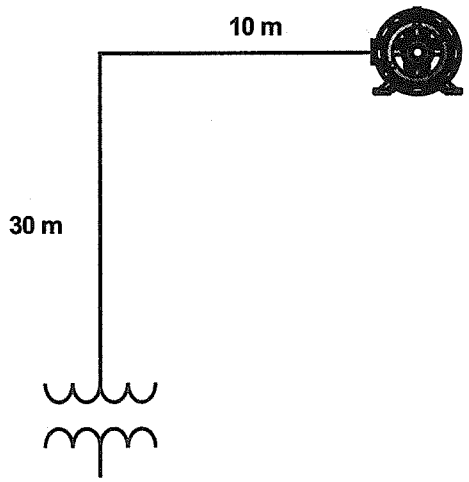
$$R = 0.164\ x\ \frac{120}{1000} = 0.0197\Omega$$

Las pérdidas totales en los conductores son:

$$P = 3RI^2 = 3\ x\ 0.0197\ x\ (225)^2$$

$$= 2.991\ kw$$

Si la alimentación del motor se hiciera por otra trayectoria, como se muestra en la figura:



La longitud total del conductor es ahora:

$$\ell = 10 + 30 = 40\ m$$

El valor de la resistencia es:

$$R = 0.164\ x\ \frac{40}{1000} = 0.00656\ \Omega$$

La corriente de carga es la misma y las pérdidas son:

$$P = \ 3RI^2 = 3\ x\ 0.00656\ x\ (225)^2$$

$$P = 0.996\ kw$$

Es decir, la reducción es de:

$$\Delta P = \ P_1 - P_2 = 2.991 - \ 0.996 = 1.995\ kw$$

O sea el:

66.7%

ACCIONES SOBRE LAS CORRIENTES DE CARGA QUE CIRCULAN POR LOS CONDUCTORES.

Por el hecho de que la potencia disipada en un conductor es directamente proporcional al cuadrado de la corriente de carga, las acciones sobre esta cantidad son las que conducen a los mejores resultados referentes a la reducción de pérdidas en sistemas de distribución. Algunas acciones son las siguientes:

- ***Reducción de corriente eléctrica por medio de medidas de conservación de la energía.***

  Toda medida de conservación de la energía en una carga eléctrica resulta en la reducción de la potencia solicitada, de la energía consumida, y consecuentemente de la corriente de carga. La reducción de la corriente de carga proporcionará la disminución de las pérdidas en los conductores alimentadores.

- ***Reducción de las pérdidas por la elevación del factor de potencia.***

  La corriente eléctrica es una cantidad vectorial y cuando alimenta cargas inductivas, tales como motores eléctricos, presenta una componente activa que produce trabajo y una componente reactiva que posibilita la magnetización de los equipos electromagnéticos para que puedan funcionar. La suma vectorial de las corrientes activa y reactiva determina la corriente de carga, como se mencionó antes, la relación entre la corriente activa y la corriente de carga se le llama ***factor de potencia.***

De esta forma, mientras mayor sea el factor de potencia, menor será la corriente de carga que circula por los conductores, y por lo tanto, las pérdidas serán menores.

La reducción de las pérdidas en función de la modificación del factor de potencia, se puede calcular fácilmente por la expresión:

$$Red.pérd = 1 - \left(\frac{cos\varphi_1}{cos\varphi_2}\right)^2$$

$cos\varphi_1$ = Factor de potencia actual.
$cos\varphi_2$ = Factor de potencia deseado.

La operación de una carga inductiva con factor de potencia elevado se consigue de las siguientes formas:

- Selección adecuada de la carga eléctrica, es decir, de su potencia de operación, que debe ser más próxima a su potencia nominal.

- Una carga inductiva no debe operar sobrecargada, es decir, su potencia de operación debe estar próxima a la potencia de plena carga.

- Se debe evitar operar una carga inductiva en vacío (sin carga), siempre que sea posible, debiendo ser desconectada de la red en esas condiciones:

  - Instalación de capacitores junto a las cargas inductivas para compensar la corriente inductiva, y de esta manera elevar su factor de potencia:

- Redistribución de las cargas eléctricas por los distintos conductores.

- Reducción de pérdidas por la elevación del nivel de tensión en el sistema de distribución.

Entre mayor nivel de tensión en una carga eléctrica de una potencia dada, menor es la corriente demandada, y entre menor es la corriente, menores serán las pérdidas en el conductor que alimenta la carga, ya que éstas varían con el cuadrado de la corriente.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.**
   Parte 1. 1981. Dirección General de Normas SPFI.

2. **National Electrical Code (NEC-1981).**

3. **Design and Instalation of High Voltage Electrical Systems.**
   J.F. Mc Portland.
   Ed. Mc. Graw Hill

4. **Making Electrical Calculations.**
   J.F. Mc Portland.
   Electrical Construction and Maintenance.
   Ed. Mc. Graw Hill.

5. **Electrical Equipment Manual, Third Edition.**
   J.F. Mc Portland, W. J. Novak.
   Ed. Mc. Graw Hill

6. **Electrical Systems for Power and Light.**
   J.F. Mc Partland,
   Ed. Mc. Graw Hill

7. **Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales.**
   G. Enríquez Harper.
   Ed. Limusa.

8. **Schemario Impianti Electtrici.**
   G. Biasutti.
   Ed . Hoepli.

9. **Elettrotecnica Pratica, Vol. 4.**
   E. Sesto, A. Bossi.
   Ed. Delfino Milano

10. **Electrical Power Technology.**
    T. Wildi.
    John Wiley

11. **Manual Eléctrico Conelec. 1980.**

12. **National Electrical Code Hand Book 17th. Edition.**
J.F. Mc Partland,
Ed. Mc Graw Hill.

13. **A Guide to the National Electrical Code.**
T.L. Harman, C.H. Allen.
Ed. Prentice Hall

14. **Switgear Manual.**
Brown Boveri

15. **Electrical Wiring and Design. A Practical Aproach.**
William Starr.
Ed. John Wiley.

16. **Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants.**
Lazar.
Ed. Mc Graw Hill.

17. **IL Servizio Elettrico.**
C. Clerici – E. Raimondi
Ed. Franco Angeli.

18. **Catálogos de Fabricantes.**
Cutler Hammer, Square D.
General Electric.

19. **Equipos Eléctricos Modernos.**
J. Garduño Fernández
Ed. CECSA

20. **Memorias de los Ciclos de Conferencias sobre Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión.**
Condumex.. 1983.

21. **Industrial Electrical Design Projects.**
Donald D. Voisinet.

LA EDICIÓN, COMPOSICIÓN, DISEÑO E IMPRESIÓN DE ESTA OBRA FUERON
REALIZADOS BAJO LA SUPERVISIÓN DE GRUPO NORIEGA EDITORES
BALDERAS 95, COL. CENTRO. CDMX, MÉXICO, C.P. 06040
13417600015ENERO201807DP9233IE

Obras afines:

MANUAL DE SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES Y COMERCIALES

Enríquez, Gilberto

Los sistemas eléctricos industriales y comerciales representan un área muy importante de la utilización de la energía eléctrica, por lo que su estudio es de interés para las personas que analizan los aspectos de iluminación, circuitos eléctricos y los conceptos más importantes de los motores eléctricos, así como el control de los mismos; en esta obra también se estudia, tanto para sistemas industriales como comerciales, lo relacionado con la instalación y la protección de motores eléctricos para distintas aplicaciones. El libro está escrito con un lenguaje sencillo e incluye ejemplos prácticos y convenientemente ilustrados.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012 INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN)

Estévez, Ángel

Esta obra es de gran utilidad para todos los involucrados en el diseño, la construcción, la verificación, el mantenimiento y la puesta en marcha de una instalación eléctrica, ya sea residencial, comercial, industrial o de cualquier índole, para que una vez terminada, sea segura para los usuarios.

Para facilitar el uso y la consulta de la NOM-001-SEDE-2012 se adicionaron índices alfabéticos por definición, tablas, figuras y general; y además de marcar en el margen superior de las páginas la numeración correspondiente a la sección de la Norma en esa página, se marcó también la separación de cada capítulo.

Como una herramienta adicional, se anexan separadores de secciones, que el usuario debe colocar y ordenar en la obra de acuerdo con sus propias experiencias de uso.

LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GENERACIÓN, TRANSMISIÓN, TRANSFORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Enríquez, Gilberto

Este libro aborda de manera integral los temas de la generación, la transmisión y la distribución de la energía eléctrica con un enfoque moderno. Incluye gran número de ilustraciones y problemas resueltos para la mejor comprensión de los mismos. Además, permite estudiar los temas en forma autónoma sin perder la relación conceptual, lo que asegura el enfoque práctico y didáctico de la obra.

Esta segunda edición de *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales* es una actualización de la versión original y se amplió con los capítulos: Corrección del factor de potencia, Armónicas en las instalaciones eléctricas industriales y Eficiencia energética en sistemas industriales, lo que la hace más útil para las personas, técnicos e ingenieros que estudian y trabajan en el tema de las instalaciones eléctricas industriales.

ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA
ISBN 978-607-05-0722-9
9 786070 507229

GRUPO NORIEGAEDITORES
limusa@noriegaeditores.com
www.noriega.com.mx
noriegaeditores @noriegaeditores