



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

*LAS INSTALACIONES ELECTRICAS
EN LA EDIFICACION*

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
L U I S D I A Z G U T I E R R E Z

DIRECTOR DE TESIS: ING. RAFAEL ABURTO VALDES



CD. UNIVERSITARIA, D. F.

OCTUBRE 1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

III.5.2 Materiales aislantes

III.5.3 Mantenimiento

III.5.4 Medio ambiente

III.6 Factores de calidad de servicio.

III.6.1 Continuidad de servicio

III.6.2 Regulación del voltaje

III.6.3 Control de frecuencia

**CAPITULO IV. CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR UNA
INSTALACION ELECTRICA**

28

IV.1 Seguridad.

IV.1.1 Aspectos relevantes de la legislación
eléctrica.

IV.2 Eficiencia

IV.3 Economía

IV.4 Flexibilidad

IV.5 Accesibilidad

**CAPITULO V. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA INSTALACION
ELECTRICA**

33

V.1 Acometida

V.2 Equipo de medición

V.3 Interruptores

V.3.1 Interruptor general

V.3.2 Interruptor derivado

V.3.3 Interruptor termomagnético

- V.4 Arrancador
- V.5 Transformador
- V.6 Tableros
 - V.6.1 Tablero general
 - V.6.2 Tablero de distribución o derivado
- V.7 Motores
- V.8 Estaciones o puntos de control
- V.9 Salidas para alumbrado y contactos
- V.10 Plantas de emergencia
- V.11 Tierra y neutro
- V.12 Interconexión
- V.13 Clasificación NEMA
- V.14 Simbología

**CAPITULO VI. DETERMINACION DE LA CARGA DE UNA
INSTALACION ELECTRICA**

51

- VI.1 Carga de alumbrado.
- VI.2 Carga instalada.
- VI.3 Factor de demanda.
- VI.4 Demanda máxima en circuitos alimentadores.
- VI.5 Factores de demanda para instalaciones en edificios.
- VI.6 Carga de transformadores.
- VI.7 Carga de alimentadores para motores.
- VI.8 Carga en plantas de emergencia.

- VII.1 Descripción de conductores.
 - VII.1.1 Definición
 - VII.1.2 Materiales
 - VII.1.3 Configuración física
 - VII.1.4 Clasificación del tamaño de los conductores.
- VII.2 Descripción del aislamiento de los conductores.
- VII.3 Uso y aplicación de conductores.
- VII.4 Criterio para el cálculo de conductores.
- VII.5 Efecto Joule.
- VII.6 Calibre mínimo permitido.
- VII.7 Ejemplo de cálculos de conductores.

CAPITULO VIII. MEDIOS DE SOPORTE Y PROTECCION DE
LOS CONDUCTORES

- VIII.1 Medios de canalización.
- VIII.2 Características generales de las canalizaciones.
- VIII.3 Instalación visible sobre aisladores.
- VIII.4 Canalización con tubería conduit.
- VIII.5 Tubería conduit metálica.
 - VIII.5.1 Tubo conduit metálico de acero pesado
 - VIII.5.2 Tubo conduit metálico de pared delgada
 - VIII.5.3 Tubo metálico flexible
- VIII.6 Tubería conduit no metálica
 - VIII.6.1 Tubo de polietileno

- VIII.6.2 Tubo rígido de PVC
- VIII.7 Condiciones de diseño para tubería conduit.
- VIII.8 Cajas de conexiones.
- VIII.9 Canalización a base de ductos metálicos.
 - VIII.9.1 Ductos metálicos con tapa
 - VIII.9.2 Electroducto
- VIII.10 Charolas para cables.
- VIII.11 Cálculo de canalizaciones cerradas

CAPITULO IX. FALLAS ELECTRICAS Y MEDIOS DE PROTECCION 120

- IX.1 Voltajes peligrosos.
- IX.2 Cortocircuito.
- IX.3 Sobrecargas.
- IX.4 Uso inadecuado de la energía eléctrica.
- IX.5 Inversión de la Secuencia de fases.
- IX.6 Medidas de seguridad.
 - IX.6.1 Conexión a tierra
 - IX.6.2 Sistema de pararrayos
 - IX.6.3 Distancia mínima de seguridad
- IX.7 Dispositivos de protección.
 - IX.7.1 Características de un sistema de protección
 - IX.7.2 Calibración
 - IX.7.3 Fusibles
 - IX.7.4 Interruptores termomagnéticos
 - IX.7.5 Relevadores térmicos o bimetales
 - IX.7.6 Relevadores electromagnéticos

IX.7.7 Relevadores de presión súbita

IX.7.8 Interruptores de potencia

**CAPITULO X. SISTEMA DE DISTRIBUCION Y SELECCION
DE PROTECCIONES**

155

- X.1 Definiciones.**
- X.2 Colores de identificación de conductores.**
- X.3 Circuitos derivados**
 - X.3.1 Clasificación**
 - X.3.2 Voltaje en circuitos derivados**
 - X.3.3 Circuitos derivados para distintas clases de carga**
 - X.3.4 Conductores de circuitos derivados**
 - X.3.5 Tableros de circuitos derivados**
- X.4 Circuitos alimentadores.**
 - X.4.1 Caída de tensión**
 - X.4.2 Cálculo de la carga en un circuito alimentador**
 - X.4.3 Carga del conductor neutro**
 - X.4.4 Derivaciones**
- X.5 Circuito de fuerza.**
 - X.5.1 Elementos integrantes**
 - X.5.2 Motores individuales**
 - X.5.3 Grupos de motores**
 - X.5.4 Carga mixta**
 - X.5.5 Protección contra sobrecarga de los motores**

- X.5.6 Protección contra cortocircuito de motores
- X.5.7 Varios motores y otras cargas en un circuito derivado
- X.5.8 Ejemplo de cálculos de un circuito de fuerza
- X.6 Centros de distribución (tableros).
- X.7 Condiciones que debe cumplir un sistema de distribución.
- X.8 Descripción del sistema de distribución.

CAPITULO XI. SISTEMA DE TIERRAS

228

- XI.1 Valores obligados.
- XI.2 Calibre del conductor del electrodo de tierra.
- XI.3 Calibre del conductor de puesta a tierra.
- XI.4 Tratamiento del suelo.
- XI.5 Resistividad del suelo y resistencia de una varilla.
- XI.6 Efecto del contenido de humedad en la resistividad del suelo.
- XI.7 Efecto de la temperatura en la resistencia del suelo.

CAPITULO XII. SUBESTACIONES

236

- XII.1 Definiciones de subestación.
- XII.2 Relación entre las subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generadoras.
- XII.3 Clasificación de las subestaciones eléctricas.

- XII.4 Elementos que constituyen una subestación.
- XII.5 Subestaciones compactas.
- XII.6 Componentes de una subestación.
- XII.7 Clasificación general de subestaciones compactas normalizadas.
- XII.8 Selección de tensiones.
- XII.9 Cálculo simplificado de corto circuito.

CONCLUSIONES. 251

BIBLIOGRAFIA. 254

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

El desarrollo de diferentes formas de energía permitió un salto cualitativo invaluable en el progreso de la humanidad. Así prácticamente todas las actividades del hombre en la época moderna, están asociados de manera directa o indirecta, al consumo de energía.

La actividad profesional del ingeniero civil se encuentra vinculada en forma ineludible al proyecto, construcción y operación de instalaciones eléctricas, e inclusive, podemos afirmar que no existe obra civil que no requiera de una instalación eléctrica, por pequeña que ésta sea.

Por otra parte, el diario avance de los procesos constructivos en edificación y el desarrollo tecnológico en la construcción de instalaciones eléctricas, hace necesaria una coordinación total entre ambos procesos constructivos, con el fin de lograr la funcionalidad deseada para la correcta operación del edificio en su conjunto.

En la construcción de un edificio se requiere de una participación multiprofesional (diseño, cálculo estructural, construcción, etc...) y sin duda alguna de un profesional responsable del proyecto y construcción de la instalación eléctrica.

Por lo antes expuesto, podemos afirmar que todo ingeniero civil y constructor en general debe poseer, cuando menos, los conocimientos básicos sobre instalaciones eléctricas, que le lleven a la resolución acer

tada de los problemas que se plantean para la correcta coordinación entre el proceso constructivo de la obra civil y el proceso de construcción de la instalación eléctrica, además que le permita en un momento dado decidir sobre las condiciones, características y operación de las instalaciones eléctricas involucradas en la obra civil que se trate.

En relación a las instalaciones eléctricas de los edificios, debemos entender que los elementos de dichas instalaciones han de ser planeados correctamente y con el cuidado necesario, mediante una estrecha colaboración entre arquitectos, ingenieros, electricistas y el constructor para posteriormente obtener la aprobación de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, y así estar en posibilidades de contratar el suministro de Energía Eléctrica.

La construcción de edificios cada vez más grandes y por lo tanto, con necesidades de una instalación eléctrica mayor, obliga a tener que contratar para éstos el servicio de energía eléctrica en alta tensión y por lo tanto al manejo de subestaciones en los mismos. El peligro que implica la operación de instalaciones eléctricas en alta tensión y tomando en cuenta los riesgos que esto conlleva, nos permite tener idea de lo importante que es el obtener los conocimientos necesarios para la construcción de las instalaciones eléctricas de este tipo.

Las principales fallas que se originan en las instalaciones eléctricas de los edificios se deben en ocasiones a la poca importancia que se le da al proyecto eléctrico, ya que al no considerar en éste aspectos

tan importantes como las características del medio en que se opera el equipo, naturaleza de las cargas, el tipo de servicios al que se destinará, etc., obliga a tomar en la etapa constructiva soluciones que no son las más idóneas desde el punto de vista de seguridad, funcionalidad y economía.

El costo del sistema eléctrico en la construcción de un edificio, representa del 2 al 10% de la inversión total, sin embargo una falla en la instalación puede originar una conflagración capaz de destruir el inmueble e inclusive ocasionar la pérdida de vidas humanas.

El material de consulta existente en el área de instalaciones eléctricas en la mayoría de los casos enmarca únicamente una área específica de éstas y con un enfoque técnico para ingenieros electricistas mientras que en otros se trata el tema tan superficialmente que es imposible conceptualizar las instalaciones eléctricas de los edificios en su conjunto, esto hace que resulte muy difícil para un ingeniero civil, arquitecto o constructor el estudio y comprensión de este tópico en particular.

Con este marco de referencia y tomando en cuenta que el estudio de instalaciones eléctricas por su relación directa en la edificación, no sólo es necesario sino imprescindible para el ingeniero civil y los constructores en general, se consideró conveniente desarrollar un trabajo que proporcionara a éstos, los conocimientos básicos para entender, proyectar y construir las instalaciones eléctricas de edificios y que los familiarizara con el lenguaje técnico de los ingenieros electricistas y con

los trámites necesarios para contratar el Servicio de Energía Eléctrica.

Desde luego no debe considerarse que este trabajo constituye un manual de especificaciones para proyecto y construcción de las instalaciones eléctricas de edificios; tampoco se tiene la idea de resolver todos los problemas que se presenten en esta materia. La solución de problemas específicos requiere la intervención del ingeniero o técnico responsable del proyecto y construcción de las instalaciones y en su caso de la autoridad competente.

CAPITULO II

PRINCIPIOS GENERALES

En esta tesis, inminentemente práctica dentro del terreno de las instalaciones, se tendrá que tratar aunque someramente, algo de la teoría aplicada a dichas instalaciones, pero ese terreno se abordará en forma tal que sea fácilmente accesible, pues no es deseable que se conozcan los fines desconociendo los medios; así pues, veremos a continuación los siguientes conceptos:

11.1 Electricidad

Los hombres de ciencia creen ahora que toda la materia está constituida principalmente por dos clases de partículas extremadamente pequeñas llamadas electrones y protones. Los electrones son partículas cargadas negativamente y los protones son partículas cargadas positivamente. Las partículas con cargas contrarias (+ y -) se atraen, y las que tienen cargas iguales (+ y +) ó (- y -) se repelen. Cada elemento químico tal como el cobre, el estaño, el hierro, el hidrógeno y el nitrógeno, se componen de átomos constituidos por partículas de estas dos clases. El átomo de hidrógeno por ejemplo, está formado por un núcleo de 1 protón alrededor del cual gira un electrón. Los átomos de otros elementos como el cobre tienen diversas combinaciones de protones y de electrones íntimamente unidos formando una partícula llamada el núcleo positivo, alrededor del cual gira un determinado número de electrones negativos llamados electrones planetarios. Las moléculas son grupos de

átomos íntimamente unidos. Los electrones planetarios más distantes del núcleo son atraídos hacia él en algunas clases de átomos bastante débilmente. Los elementos compuestos por estas clases de átomos contienen, por lo tanto, muchos electrones que no están ligados a un átomo determinado sino que se mueven continuamente de un átomo a otro. Estos electrones se llaman electrones libres. Aunque el número de electrones libres sólo constituye una pequeña parte del número total de electrones que están presentes en la materia, son todavía muy numerosos; un centímetro cúbico de cobre, por ejemplo, contiene unos 10^{21} electrones libres. El movimiento de estos electrones, es lo que constituye una corriente eléctrica en un conductor sólido, este movimiento puede ser originado por la acción de un campo magnético externo o por las reacciones químicas de una batería.

II.2 Unidad de intensidad de la corriente. El amperio.

Cuando una corriente eléctrica circula por un alambre, cierto número de electrones pasa a través de una determinada sección del conductor en 1 segundo de tiempo. La unidad práctica para medir la intensidad de esta corriente es el amperio. Un amperio equivale al paso de 6.251×10^{18} electrones por una sección del conductor en 1 segundo. En las casas para habitación y en las casas para oficinas, con servicio a 127 volts en una lámpara con corriente de 100 watts pasan por el filamento unos 0.787 amperios; por el motor de ventilador de mesa para oficina pasa 1 amperio, aproximadamente.

La letra que se utiliza para identificar la corriente es la letra I .

II.3 Unidad de Potencial eléctrico. El volt.

Los electrones libres se ven obligados a moverse a lo largo de un material conductor tal como un alambre, cuando en un extremo existe una carga positiva más elevada que en el otro. En las pilas secas ordinarias, o en una batería de acumuladores, la acción química obliga a las cargas positivas (+) a reunirse en el borne positivo y los electrones o cargas negativas (-) a reunirse en el borne negativo. Si los bornes de la batería no están conectados con nada hay una cierta tendencia a circular, entre las partículas electrificadas concentradas en el polo positivo y el negativo. Diferencia de potencial, tensión o voltaje son los nombres con los que se designa esta fuerza electromotriz (f.e.m.) que existe entre los dos bornes. El símbolo para el voltaje es la letra E . Si se cierra con un alambre el circuito entre los dos bornes, circulará una corriente eléctrica. El sentido de esta corriente se fija arbitrariamente según se ha convenido, desde el polo positivo al negativo. Se llama voltímetro al aparato que indica la tensión entre dos puntos.

La letra V se usa para representar la tensión o voltaje en las terminales de un generador o de una batería, o entre dos puntos de un circuito, cuando pasa la corriente. Parte de la f.e.m. se emplea en vencer la resistencia interna del generador o batería que suministra la corriente; esta pérdida interna de tensión será la diferencia entre E y V ,

siendo E mayor que V.

II.4 Unidad de resistencia. El ohm.

Siempre que se produce una corriente de electrones libres, éstos deberán necesariamente seguir un camino tortuoso a través de la nube de estructuras atómicas y moleculares del material conductor. Los conductores, como el cobre, el aluminio, el oro y los metales, permiten un paso relativamente franco a la corriente eléctrica. Los aislantes como el vidrio, la mica, el caucho, el barniz y los aceites se oponen prácticamente a dicho paso. Los conductores y los aislantes quedan por lo tanto definidos por su resistencia relativa al paso de los electrones. Aún en los metales existen notables diferencias entre sus respectivas resistencias eléctricas. La resistividad o resistencia específica de una sustancia se mide por el número de ohms por milímetro cuadrado de sección y metro de longitud. Se designa por la letra griega ρ

El ohm internacional se define diciendo que es la resistencia que permite a una diferencia de potencial de 1 volt, producir una corriente de un ampere. Una columna de mercurio puro, a 0 °C, de 106.30 cm. - de longitud, de sección transversal uniforme, y con un peso de 14.4521 gramos, tiene exactamente la resistencia de un ohm (ohm internacional). La resistencia de prácticamente todos los conductores varía ligeramente con la temperatura. El coeficiente de temperatura de la resistencia, para cualquier material conductor, es la variación de su resistencia por

grado de aumento de su temperatura. Su símbolo es la letra griega α . En la tabla 2.1 figuran los coeficientes medios de la temperatura. La fórmula que relaciona las resistencias a diferentes temperaturas es:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

donde:

R_0 = Resistencia a 0 °C y R_t = Resistencia a una temperatura mayor t

Tabla 2.1 Resistencias específicas aproximadas y coeficientes de temperatura de varios metales y soluciones.

Metales a 0° C			Soluciones químicas a 18° C			
	Ohmios por m y mm ²	Coef. medio de temperatura *		Ohmios por m y mm ²		Coef. medio de temperatura **
				Solución al 5%	Solución al 10%	
Aluminio..	0,0262	0,0042	Acido nítrico (HNO ₃)	0,0389	0,0218	0,015
Cobre.....	0,0158	0,0039	Acido clorhídrico (HCl)	0,0236	0,0159	0,016
Oro.....	0,0219	0,0037	Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0,0479	0,0255	0,012
Hierro....	0,1120	0,0042	Potasa cáustica (KOH)	0,0583	0,0319	0,019
Plomo.....	0,1977	0,0041	Sulfato de zinc (ZnSO ₄)	0,5224	0,3117	0,022
Mercurio..	0,9379	0,0009	Sulfato de cobre (CuSO ₄)	0,5295	0,3127	0,021
Níquel....	0,1000	0,0062	Sulfato de sodio (Na ₂ SO ₄)	0,2438	0,1459	0,024
Plata.....	0,0147	0,0040	Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	0,2216	0,1421	0,026
Estaño....	0,1049	0,0047	Cloruro de sodio (NaCl)	0,1489	0,0825	0,022
Tungsteno.	0,0436	0,0051	Cloruro amónico (NH ₄ Cl)	0,1090	0,0563	0,020

* Coeficiente medio de temperatura entre 0° y 100° C.

** Coeficiente medio de temperatura a 18° C.

11.5 Resistencia de los Conductores.

Si una misma f.e.m. se aplica a los extremos de varios alambres de metales diferentes, todos ellos del mismo diámetro y longitud, las intensidades de las corrientes producidas dependerán de sus respectivas resistividades o resistencias específicas. La tabla 2.1 indica las resistividades aproximadas de varios metales y de algunas soluciones químicas típicas. Prácticamente todos los alambres, cables y barras empleadas en la maquinaria eléctrica, en los aparatos eléctricos y en los circuitos de transmisión y de distribución son de sección uniforme: redondo, rectangular, ovalada o de alguna forma especial, como la del carril de toma de corriente en los ferrocarriles eléctricos. la resistencia de un conductor de sección uniforme está dada por:

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

donde:

R = Resistencia en ohms

L = Longitud en metros

A = Area de la sección en milímetros cuadrados

ρ (resistividad) = La resistencia de un conductor de 1 mm^2 de sección y de 1m de longitud del mismo material que integra al conductor del material que nos ocupa.

En términos generales la resistencia se puede definir como la propiedad que tiene un material de ofrecer oposición al flujo de corriente, se expresa en ohms y se simboliza con la letra griega Ω (omega).

11.6 Ley de ohm.

La intensidad I que circula a través de un conductor de resistencia R es directamente proporcional al voltaje V que la hace circular. Esto es lo que se llama ley de ohm. Se expresa mediante la ecuación:

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

donde:

I = intensidad de la corriente en amperes

R = Resistencia en ohms

E = Voltaje, tensión o fuerza electromotriz

11.7 Potencia eléctrica.

Potencia eléctrica es la rapidez con que se efectúa el trabajo de mover electrones en un material, su unidad es el watt (W). Un watt es la energía desarrollada por segundo, cuando una corriente de un amperere circula con una diferencia de potencial de un volt.

La potencia total en un circuito está dada por la diferencia total en un circuito multiplicada por la corriente que fluye en ese circuito.

$$W = I \times E$$

o bien:

$$W = R \times I^2$$

donde:

W = Potencia en watts

E = Voltaje, tensión o fuerza electromotriz

I = Intensidad de la corriente en amperes

R = Resistencia en ohms

La energía o trabajo consumido es igual a la potencia multiplicada por el tiempo de aplicación de la misma. Se expresa por lo común en watts-hora o kilowatts-hora. Un watt-hora es la energía producida por una potencia de 1 watt mantenida durante una hora; un kilowatt-hora es igual a la de 1000 watt durante una hora. Este concepto es muy importante para medir los consumos de energía eléctrica por la Comisión Federal de Electricidad.

11.8 Generadores eléctricos y baterías.

Las principales fuentes de electricidad son los generadores de corriente alterna, los de corriente continua y las baterías de acumuladores. Los generadores de corriente alterna, llamados corrientemente alternadores, son los que proporcionan la mayor parte de la corriente eléctrica utilizada en los edificios. Los generadores de corriente continua, sin embargo, suministran energía en algunas de las aplicaciones más importantes de la electricidad en los edificios, como son los ascensores, las escaleras mecánicas, los sistemas de Intercomunicación telefónica, los sistemas de señales, los relojes, algunas máquinas de las que se em

plean en las oficinas y la carga de las baterías de acumuladores. Estas baterías de acumuladores generalmente suministran corriente a los circuitos de emergencia para la iluminación de pasillos, escaleras, salidas e indicadores de salida, a los aparatos de maniobra de los sistemas de interruptores automáticos, a los relojes, señales de alarma para policía e incendios, cerraduras automáticas y algunos tipos de máquinas de calcular y sistemas de señales.

11.9 Corriente continua y corriente alterna.

Siempre que circula corriente eléctrica en cantidad constante por unidad de tiempo, invariablemente en la misma dirección, se dice que se trata de una corriente continua. La línea a de la figura 2.2 representa una corriente continua de 10 amperes.

Siempre que la corriente fluctúa periódicamente según una curva simétrica formada por arcos positivos y negativos, recibe el nombre de corriente alterna. La línea b de la figura 2.2 representa esta clase de corriente, y la distancia a lo largo del eje de tiempos que corresponde a cada dos arcos de la curva consecutivos, positivo y negativo, se llama período o ciclo. En México las redes de corriente alterna funcionan a la frecuencia de 60 ciclos por segundo.

El dínamo, la pila seca y la batería de acumuladores producen corrientes continuas. El alternador produce corrientes alternas.

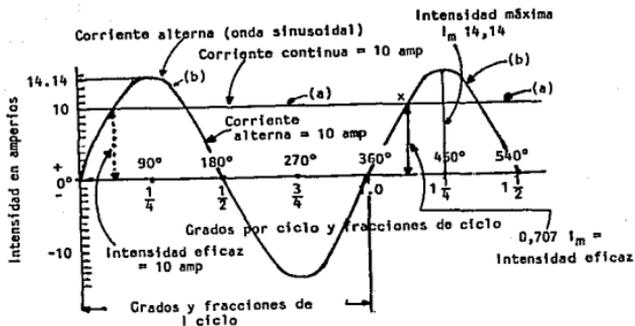


Fig. 2.2

En la fig. 2.3 se puede observar el sumario de las fórmulas de la Ley de Ohm.

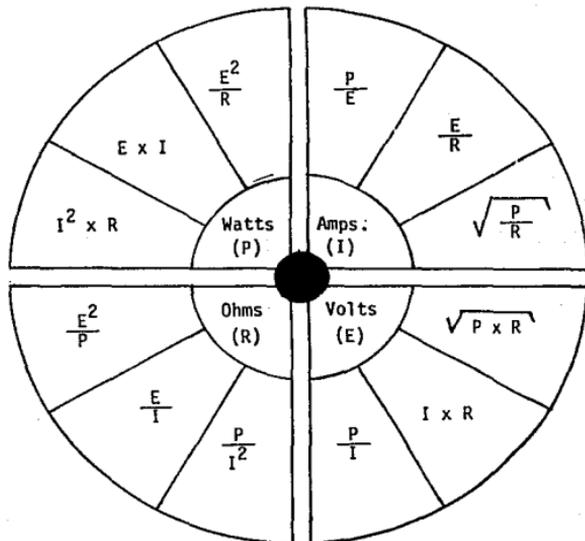


Fig. 2.3

Las expresiones que se encuentran en la parte exterior de cada cuadrante, son iguales a la cantidad mostrada para el cuadrante correspondiente.

En la tabla 2.4 se muestran las fórmulas que más se utilizan en el cálculo de instalaciones eléctricas.

FORMULAS ELECTRICAS

	Corriente Continua	CORRIENTE ALTERNA		
		UNA FASE	2 FASES *4 HILOS	3 FASES
AMPERES Conociendo HP	$\frac{HP \times 746}{E \times N}$	$\frac{HP \times 746}{E \times N \times f.p.}$	$\frac{HP \times 746}{2 \times E \times N \times f.p.}$	$\frac{HP \times 746}{1.73 \times E \times N \times f.p.}$
AMPERES Conociendo KW	$\frac{KW \times 1000}{E}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times f.p.}$	$\frac{KW \times 1000}{2 \times E \times f.p.}$	$\frac{KW \times 1000}{1.73 \times E \times f.p.}$
AMPERES Conociendo KVA	—————	$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{2E}$	$\frac{KVA \times 1000}{1.73 \times E}$
KW	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times f.p.}{1000}$	$\frac{I \times E \times f.p. \times 2}{1000}$	$\frac{I \times E \times f.p. \times 1.73}{1000}$
KVA	—————	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times 2}{1000}$	$\frac{I \times E \times 1.73}{1000}$
POTENCIA en la flecha HP	$\frac{I \times E \times N}{746}$	$\frac{I \times E \times N \times f.p.}{746}$	$\frac{I \times E \times 2 \times N \times f.p.}{746}$	$\frac{I \times E \times 1.73 \times N \times f.p.}{746}$
Factor de Potencia	Unitario	$\frac{W}{E \times I}$	$\frac{W}{2 \times E \times I}$	$\frac{W}{1.73 \times E \times I}$

TABLA 2.4

I = Corriente en amperes

E = Tensión en volts

N = Eficiencia expresada en decimales

HP = Potencia en Horse Power

f.p. = Factor de potencia = 0,9

KW = Potencia en Kilowatts

KVA = Potencia aparente en Kilovoltamperes

W = Potencia en watts

R.P.M. = Revoluciones por minuto

f = Frecuencia

p = Número de Polos.

$$R.P.H. = \frac{f \times 120}{P}$$

Para sistemas de 2 fases 3 hilos, la corriente en el conductor común (neutro) es 1.41 veces mayor que en cualquiera de los otros conductores.

CAPITULO III

CARACTERISTICAS GENERALES DE UNA INSTALACION ELECTRICA

III.1 Descripción.

Se le llama instalación eléctrica al conjunto de aparatos, conductores y accesorios destinados a la producción, distribución y utilización de la energía eléctrica. Dentro de los elementos que la constituyen se encuentran: tableros, interruptores, transportadores, bancos de capacitores, dispositivos, sensores, dispositivos de control, cables, conexiones, contactos, canalizaciones y soportes.

Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas (dentro de paneles o falsos plafones) o ahogadas (en muros, techos y pisos).

III.2 Clasificación de las instalaciones eléctricas.

Las instalaciones eléctricas se clasifican de diferentes formas. A continuación se detallan las relativas al nivel de voltaje y al ambiente del lugar de instalación, aunque podrían señalarse otras: por su duración (temporales y definitivas), por su modo de operación (normal y de emergencia) o por construcción (abierta, aparente y oculta).

III.2.1 Nivel de Voltaje.

De acuerdo con el nivel de voltaje se pueden tener los siguien-

tes tipos de instalación:

a) Instalaciones no peligrosas. Cuando su voltaje es igual o menor que 12 volts.

b) Instalaciones de baja tensión. Cuando el voltaje con respecto a tierra no exceda de 750 volts.

c) Instalación de media tensión. Aunque no existen límites precisos, podría considerarse un rango entre 1000 y 15000; sin embargo, algunos autores incluyen todos los equipos hasta de 34 KV. En media tensión es muy común encontrar instalaciones con motores de más de 200 H.P. que operan con un voltaje de 4160 v. entre fases y 2400 v. a tierra.

d) Instalaciones de alta tensión. Cuando los voltajes son superiores a los mencionados anteriormente.

III.2.2 Lugar de instalación.

Las instalaciones eléctricas también pueden clasificarse en normales y especiales, según el lugar donde se ubiquen.

a) Las instalaciones normales pueden ser interiores o exteriores. Las que están a la intemperie deben tener los accesorios necesarios (cubiertas, empaques y sellos) para evitar la penetra-

ción del agua de lluvia aún en condiciones de tormenta.

- b) Se consideran instalaciones especiales aquellas que se encuentran en áreas con ambiente peligroso, excesivamente húmedo o con grandes cantidades de polvo no combustible.

En lugares muy húmedos debe asegurarse una buena protección contra la corrosión y los aislantes deben ser del tipo adecuado para esas condiciones, en los casos donde existen polvos no combustibles, deben utilizarse medios para evitar la acumulación de dicho polvo (extractores y/o cubiertas), dado que puede impedir la operación normal de la instalación, ya sea dificultando la disipación del calor y/o produciendo trayectorias indeseables de corriente.

III.3 Códigos y Normas.

El diseño de instalaciones eléctricas debe hacerse dentro de un marco legal. Un buen proyecto de ingeniería es una respuesta técnica y económicamente adecuada, que respeta los requerimientos de las normas y códigos aplicables.

En México las NTIE (Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas) editadas por la Dirección General de Normas, constituyen el marco legal para el proyecto y construcción de instalaciones. Estas normas son generales y establecen los requisitos mínimos de seguridad para obtener un servicio satisfactorio, sin embargo en cierto tipo de instalaciones es

recomendable establecer especificaciones que aumenten la seguridad o la vida de los equipos y que estén por arriba de las normas.

Existen otras normas, que no son obligatorias pero que pueden servir de apoyo a los proyectistas en aspectos específicos no cubiertos para las NTIE.

- a) El NEC (National Electrical Code o Código Nacional Eléctrico de Estados Unidos de Norteamérica) que por ser una norma más detallada puede ser muy útil en algunas aplicaciones específicas.

- b) El LPC (Lighting Protection Code o Código de Protecciones Contra Descargas Atmosféricas de los Estados Unidos de Norteamérica), que es un capítulo de las normas NFPA (National Fire Protection Association). Los proyectistas mexicanos se apoyan mucho en este código debido a que los NTIE tratan el tema con muy poca profundidad.

Existen normas para la fabricación de equipo eléctrico que también deben ser consideradas por el proyectista ya que proporcionan información relativa a las características del equipo, así como los requisitos para su instalación.

- a) En México todo el equipo eléctrico debe cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

- b) Los equipos importados deben cumplir con las Normas Nacionales (NOM), pero conviene conocer las normas del país de origen.

III.4 Especificaciones.

Se conoce como especificaciones al conjunto de dimensiones y características técnicas que definen completamente a una instalación y a todos los elementos que la componen. Las especificaciones deben cumplir con las Normas respectivas y no deben dar lugar a confusiones o interpretaciones múltiples.

En una instalación eléctrica, las especificaciones deben contemplar los objetivos para los que fue propuesta. Debido a que las Normas establecen requisitos mínimos de seguridad, las especificaciones pueden ser más exigentes, ya que se trata de un objetivo determinado. Por ejemplo las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (NTIE) indican como calibre mínimo para instalaciones de alumbrado para edificaciones el No. 14, mientras que Petróleos Mexicanos exige que el calibre mínimo para el alumbrado de sus instalaciones sea el No. 12. De esta forma es que se pueden crear normas específicas para ciertos equipos, objetivos o aplicaciones.

Hay personas que quieren que su instalación sea diseñada con factores de seguridad muy altos que nunca falle. Sin embargo, debe procurarse convencerlos de que es suficiente con aplicar correctamente las

normas y tomar las provisiones adecuadas ya que de otra manera el costo de la instalación se incrementaría en exceso.

III.5 Vida útil de una Instalación Eléctrica.

Es fácil entender que la vida útil de una instalación es el tiempo que transcurre desde su construcción hasta que se vuelve inservible; conocer esta información resulta muy útil porque permite saber cuanto durará la inversión. Sin embargo es complejo precisar la vida de una instalación ya que influyen muchos factores. Entre otros están: el proyecto, la ejecución, las condiciones de uso, el mantenimiento y el medio ambiente.

III.5.1 Proyecto y Construcción.

Es indudable que la vida de una instalación se alarga cuando el proyecto contempla provisiones adecuadas para posibles ampliaciones e incluye un sistema confiable de protecciones.

Por otra parte, después de un buen proyecto se requiere de una construcción correcta (de acuerdo a las especificaciones del mismo proyecto), que impida que la instalación se vuelva inservible prematuramente. Una instalación oculta protege mejor los materiales y por tanto tiene mayor duración que una visible, pero esta última es más accesible cuando se presenta la necesidad de hacer modificaciones.

Toda instalación debe ejecutarse conforme a un proyecto y cualquier modificación debe estar asentada en los planos para mantenerlos vigentes; de lo contrario resultará cada vez más difícil localizar el origen de los problemas que se presenten.

III.5.2 Materiales Aislantes

Aunque los elementos arriba citados tienen impacto sobre la vida de la instalación, normalmente se entiende que la duración depende del envejecimiento de los materiales utilizados, principalmente de los materiales aislantes. Estos últimos se utilizan como forros de conductores, cintas de aislar, soportes de varias clases y tipos, cubiertas, protecciones y barnices.

Los materiales aislantes se clasifican en función del grado de estabilidad térmica. Para ello se define el término clase de aislamiento que se refiere a la temperatura máxima que puede soportar el material antes de que se presenten cambios irreversibles en su estructura molecular. La mayoría de los aislamientos son de naturaleza orgánica y su vida depende del número de recombinaciones moleculares irreversibles de naturaleza química, que se producen en función del tiempo y de la temperatura.

De forma aproximada se puede decir que la vida del aislamiento se reduce a la mitad por cada 7 u 8 °C de temperatura por encima de su nivel de estabilidad térmica. En la figura No. 3.1 se presenta en

una gráfica logarítmica la vida del aislamiento en función de la temperatura.

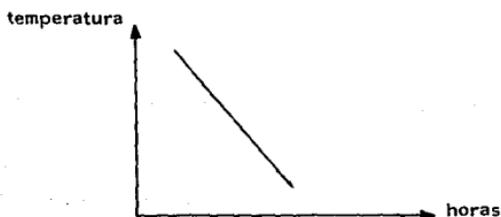


Fig. 3.1 Vida de un aislamiento

Las sobrecargas eléctricas producen alzas de temperatura que de acuerdo con lo mencionado anteriormente tienen un efecto directo en la vida de los materiales aislantes. Las sobrecargas pueden entenderse como demandas de energía mayores a las de diseño, o como cortocircuitos acumulados.

III.5.3 Mantenimiento.

Respecto al mantenimiento se puede decir que las instalaciones sencillas prácticamente no lo requieren mientras no haya modificaciones o mal trato. En aquellas instalaciones donde sí se requiere consiste, básicamente, en limpieza, renovación de pintura, apriete de uniones, ajustes de contactos y revisión de los elementos de protección. En los transformadores es muy importante revisar periódicamente las características dieléctricas del aceite; en motores y generadores, mantener engrasados

los rodamientos y cambiar carbones cuando sea necesario. Por otra parte debe protegerse a los equipos contra los malos tratos que, por ignorancia o descuido, puedan darle los operarios. Es claro que un mantenimiento adecuado y el buen trato alargan la vida de una instalación.

Los motores, así como otros equipos eléctricos caracterizados por movimientos mecánicos y/o elementos de contacto electromecánico, tienen una vida mucho más corta que las instalaciones entubadas fijas.

III.5.4 Medio Ambiente.

El medio ambiente donde se encuentra una instalación tiene una influencia importante en la vida de ésta. las condiciones de humedad, salinidad y contaminación deben ser consideradas en el proyecto.

En términos generales se puede decir que una instalación eléctrica producto de un buen proyecto, de una buena construcción y con el mantenimiento adecuado, puede durar tanto como el inmueble donde presta el servicio.

III.6 Factores de Calidad de Servicio.

La compañía suministradora de energía eléctrica debe garantizar un servicio que cumpla con ciertos requerimientos mínimos, de tal forma que los usuarios pueden tener la certeza de que sus equipos no sufri-

rán daños y funcionarán correctamente.

III.6.1 Continuidad del Servicio.

El consumo de la energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la sociedad moderna que una interrupción del servicio puede causar trastornos importantes y pérdidas económicas cuantiosas. Por esta razón, la preocupación primordial del responsable del suministro es evitar interrupciones; aún así algunos usuarios requieren de la instalación de plantas eléctricas para cubrir emergencias.

III.6.2 Regulación del Voltaje.

Los artefactos que utilizan la energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje específico y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no varíe más allá de ciertos límites. Existen equipos sensibles a las variaciones de voltaje, entre otras están: lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, equipos electrónicos y calefactores de resistencia. Los motores de inducción son menos sensibles, y pueden operar (con algunas consecuencias) con voltajes de 10% arriba o abajo del valor nominal.

En algunos casos la compañía suministradora tiene sistemas de regulación automáticos de derivaciones (que modifican la relación de transformación) o mediante la conexión y desconexión de bancos de capacitores.

III.6.3 Control de Frecuencia.

Los sistemas de energía eléctrica operan con ondas de una frecuencia (ciclos/segundos) determinada, dentro de cierta tolerancia. No existe un estandar internacional respecto a la frecuencia; los países de Europa, la mayor parte de Asia y Africa y algunos de Sudamérica han adoptado una frecuencia de 50 Hertz (o ciclos/seg). En América del Norte y otros países del continente americano los sistemas eléctricos operan a 60 hz. México, al igual que otros países tenía zonas con diferentes frecuencias, pero de 1972 a 1976 se unificó a 60 hz.

CAPITULO IV

CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR UNA INSTALACION ELECTRICA

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados de una manera segura y eficiente. Además debe ser económica, flexible y de fácil acceso.

IV.1 Seguridad

Una instalación segura es aquella que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que estén cerca.

Existen muchos elementos que pueden utilizarse para proteger a las personas que trabajan cerca de una instalación eléctrica, entre otros: la conexión a tierra de todas las partes metálicas que están accesibles, la inclusión de mecanismos que impidan que la puerta de un tablero pueda abrirse mientras éste se encuentre energizado, la colocación de tarimas de madera y hule en los lugares donde se operen interruptores y, en general elementos que impidan el paso (letreros, candados, alambres, etc...). La condición mínima de seguridad, la establece el cumplimiento de la reglamentación. La reglamentación en nuestro país la podemos considerar formada por lo siguiente:

- a) Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, la cual fue publicada en el Diario Oficial de la Federación al 22 de diciembre de 1975 y modificada por el Decreto que se publicó en el Diario Oficial de la Fed

ración el 23 de diciembre de 1992.

- b) Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Este Reglamento se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 31 de mayo de 1993.
- c) Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.
- d) Normas Oficiales Mexicanas. Los productos, maquinaria, equipos, dispositivos e Instrumentos o sistemas que utilicen para su funcionamiento y operación la energía eléctrica, quedan sujetos al cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas.

La autoridad que vigila el cumplimiento de la reglamentación en México en materia de electricidad es la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal, sus funciones y facultades son las siguientes:

- Controlar y coordinar la generación de energía eléctrica según lo establecido en las disposiciones vigentes.
- Verificar que las instalaciones eléctricas para servicios de alta tensión y de suministros en lugares de concentración pública cumplan con las disposiciones en la materia.
- Aprobar y controlar las actividades de las unidades de verificación cuya función es certificar (en las instalaciones que así

lo requieran) que la instalación y el proyecto respectivo cumplan con las normas oficiales mexicanas aplicables.

IV.1.1 Aspectos relevantes de la Legislación Eléctrica.

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre de 1975 y modificada por el Decreto que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1992, establece:

"Artículo 28. Corresponde al solicitante del Servicio realizar a su costa y bajo su responsabilidad, las obras e instalaciones que deberán satisfacer los requisitos técnicos y de seguridad que fijen las Normas Oficiales Mexicanas.

Cuando se trate de instalaciones eléctricas para servicios en alta tensión, y de suministros en lugares de concentración pública se requerirá que una unidad de verificación aprobada por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal certifique, en los formatos que para tal efecto expida ésta, que la instalación en cuestión cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a dichas instalaciones. La Comisión Federal de Electricidad sólo suministrará energía eléctrica previa la comprobación de que las instalaciones a que se refiere este párrafo han sido certificadas en los términos establecidos en este artículo".

"Artículo 29. Los productos, dispositivos, equipos, maquinaria, instru-

mentos o sistemas que utilicen para su funcionamiento y operación la energía eléctrica, quedan sujetos al cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas".

IV.2 Eficiencia.

El diseño de una instalación debe hacerse cuidadosamente para evitar consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los elementos que la constituyen o por la imposibilidad para desconectar equipos o secciones de alumbrado mientras éstos no se estén utilizando.

IV.3. Economía.

Los proyectos en Ingeniería tienen que considerar las implicaciones económicas. Esto quiere decir que el ingeniero, frente a cualquier proyecto, debe pensar en su realización con la menor inversión posible. Hipotéticamente hablando, la mejor solución a un problema de instalaciones eléctricas debería ser única: la ideal. En la realidad el ingeniero proyectista requiere de habilidad y tiempo para acercarse a esa solución ideal. Pero las horas/hombre dedicadas al proyecto son, parte importante del costo, por lo que tampoco es recomendable dedicar demasiado tiempo a resolver problemas sencillos.

IV.4 Flexibilidad.

Se entiende por instalación flexible aquella que puede adaptarse

a pequeños cambios. Por ejemplo, una instalación aparente en tubos metálicos o charolas es mucho más flexible que una instalación ahogada en el piso.

IV.5 Accesibilidad.

Una instalación bien diseñada debe tener las provisiones necesarias para permitir el acceso a todas aquellas partes que pueden requerir mantenimiento. Por ejemplo, espacios para montar y desmontar equipos grandes y pasillos en la parte posterior de los tableros, entre otros.

También se entiende por accesibilidad el que se cuente con todos los elementos que permitan entender el diseño de la instalación, es decir, las especificaciones completas y todos los planos y diagramas necesarios.

CAPITULO V

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA INSTALACION ELECTRICA

En este capítulo se presenta una descripción general de los elementos más comúnmente encontrados en una instalación eléctrica. La intención es familiarizarnos con la terminología y los conceptos que serán utilizados en los capítulos siguientes de esta tesis.

Dicha descripción incluye tanto las funciones como las características más importantes de los elementos de las instalaciones eléctricas. Se comentan y se amplían las definiciones contenidas en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (NTIE) sobre todo en lo que se refiere a criterios de selección y especificaciones. Sin embargo no se pretende detallar casos particulares ni cubrir todas las posibles combinaciones o arreglos. Al final del capítulo se presentan los símbolos más utilizados en planos de instalaciones eléctricas.

V.1 Acometida.

Por acometida se entiende el punto donde se hace la conexión en tre la red, propiedad de la compañía suministradora y el alimentador que abastece al usuario. La acometida también puede entenderse como la línea (aérea o subterránea) que por un lado entronca con la red eléctrica de alimentación y por el otro tiene conectado el sistema de medición.

V.2 Equipo de Medición.

Por equipo de medición se entiende aquél, propiedad de la compañía suministradora, que se coloca en la acometida de cualquier usuario con el propósito de cuantificar el consumo de energía eléctrica de acuerdo con las condiciones del contrato de compra venta. Este equipo está sellado y debe estar protegido contra agentes externos, y colocado en un lugar accesible para su lectura y revisión.

El equipo de medición puede conectarse a través de un juego de cuchillas que permitan que la compañía suministradora verifique su funcionamiento y, en caso necesario, haga la calibración correspondiente sin interrumpir el servicio al usuario.

V.3 Interruptores.

Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de desconexión y, si está provisto de los dispositivos necesarios, también puede cubrir la función de protección contra sobrecarga y/o cortocircuitos.

V.3.1 Interruptor General.

Se le denomina interruptor general o principal al que va colocado

entre la acometida (después del equipo de medición) y el resto de la instalación, (fig. 5.1) éste permite desconectar del sistema de suministro, a toda la instalación servida.

Este interruptor debe ser de fácil acceso y operación, de tal forma que en caso de emergencia permita desenergizar la instalación rápidamente; debe ser adecuado para la tensión de suministro y de capacidad suficiente para desconectar la carga máxima que puede tener el propio servicio.

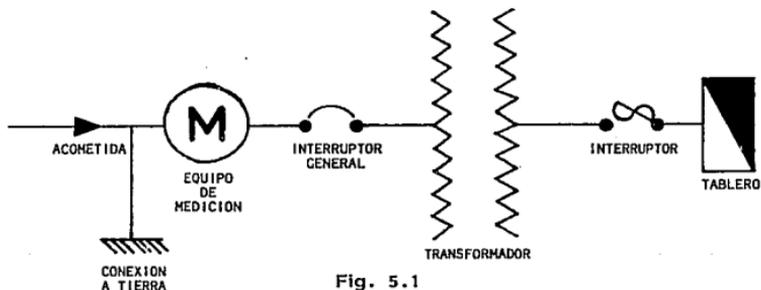


Fig. 5.1

Dependiendo del tipo de instalación, el interruptor general o principal puede ser de caja con cuchillas y fusibles o termomagnético.

V.3.2 Interruptor Derivado.

Los interruptores eléctricos llamados derivados son aquellos que están colocados para proteger y desconectar alimentadores de circuitos que distribuyen la energía eléctrica a otras secciones de la instalación o

que energizan a otros tableros.

Por ejemplo, una instalación residencial normalmente tiene el medidor conectado a un Interruptor general de navajas (medio de conexión) y fusibles (medio de protección). Del interruptor se alimenta a un table ro de donde se derivan, por lo general, dos circuitos a través de interruptores termomagnéticos, mejor conocidos en México con el nombre de bréiquers (del inglés breakers).

V.3.3 Interruptor termomagnético.

Uno de los interruptores más utilizados y que sirve para desconectar y proteger contra sobrecargas y cortocircuitos es el termomagnético. Se fabrica en gran variedad de tamaños, por lo que su aplicación puede ser como interruptor general o derivado. Su diseño le permite so portar un gran número de operaciones de conexión y desconexión lo que lo hace muy útil en el control manual de una instalación. Tiene un elemento electrodinámico con el que puede responder rápidamente ante la presencia de un cortocircuito. Para la protección contra sobrecarga se vale de un elemento bimetálico.

Resulta conveniente mencionar aquí que este elemento bimetálico no puede proteger los motores asíncronos de tipo jaula de ardilla, de bido a que su constante de tiempo no es suficientemente grande para permitir la corriente de arranque, ya que su calibración es poco precisa. Por esta razón la conexión y protección de estos motores se lleva a

cabo mediante arrancadores.

V.4 Arrancador.

Se conoce como arrancador al arreglo compuesto por un contactor electromagnético y un relevador bimetalico. El contactor consiste básicamente de una bobina con un núcleo de fierro que cierra o abre un juego de contactos al energizar o desenergizar la bobina.

Para protección contra sobrecarga se utilizan relevadores con elementos bimetalicos que actúan sobre el circuito de la bobina y abren el contactor. Estos bimetales tienen constantes térmicas grandes que permiten sobrecargas instantáneas (arranque de motores), y se fabrican en capacidades o calibraciones específicas para motores de tamaños comerciales.

Los arrancadores deben tener una capacidad en KW o en C.P., no menor que la potencia nominal del motor que controlen.

V.5 Transformador.

El transformador eléctrico es un equipo que se utiliza para cambiar el voltaje de suministro al voltaje requerido. En instalaciones grandes (o complejas) pueden necesitarse varios niveles de voltaje, lo que se logra instalando varios transformadores (normalmente agrupados en

subestaciones). Por otra parte pueden existir instalaciones cuyo voltaje sea el mismo que tiene la acometida y por lo tanto no requieren de transformador.

V.6 Tableros.

Se entiende por tablero un gabinete metálico donde se colocan instrumentos, interruptores, arrancadores y/o dispositivos de control. El tablero es un elemento auxiliar para lograr una instalación segura, confiable y ordenada.

V.6.1 Tablero General.

El tablero general es aquel que se coloca inmediatamente después del transformador (fig. 5.1) y que contiene un interruptor general. Los arrancadores normalmente se conectan al interruptor utilizando barras de cobre, lo que permite lograr un arreglo limpio en el interior del tablero.

V.6.2 Tablero de Distribución o Derivado.

Cada área de una instalación está normalmente alimentada por uno o varios tableros derivados. Estos tableros pueden tener un interruptor general, dependiendo de la distancia al tablero de donde se alimenta y del número de circuitos que alimente. Contienen una barra de

cobre para el neutro y 1, 2 ó 3 barras conectadas a las fases respectivas (directamente a través del interruptor general).

V.7 Motores.

Los motores se encuentran al final de una instalación y su función es transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Cada motor debe tener su arrancador propio.

Los interruptores de cuchillas de uso general pueden usarse como arrancadores de motores hasta de 2 C.P. y 300 volts como máximo y deben tener una capacidad en Amperes de por lo menos el doble de la corriente o plena carga del motor.

V.8 Estaciones o puntos de control.

En esta categoría se clasifican las estaciones de botones para control de elementos de un proceso tales como: limitadores de carrera o de par, indicadores de nivel, de temperatura, de presión, entre otros. Todos estos equipos manejan corrientes que por lo general son bajas comparadas con las de los elementos activos de una instalación.

V.9 Salidas para Alumbrado y Contactos.

Las unidades de alumbrado, al igual que los motores, están al

final de la instalación y son consumidores que transforman la energía eléctrica en energía luminosa y generalmente también en calor.

Los contactos sirven para alimentar diferentes equipos portátiles y van alojados en una caja donde termina la instalación fija.

V.10 Plantas de Emergencia.

Existen gran cantidad de instalaciones eléctricas que cuentan con una planta de emergencia para protegerse contra posibles fallas en el suministro de energía eléctrica. Normalmente en todos aquellos lugares de uso público (especialmente en hospitales), se requiere de una fuente de energía eléctrica que funcione mientras la red suministradora tenga caídas de voltaje importantes, fallas en alguna fase o interrupciones del servicio.

Las plantas de emergencia constan de un motor de combustión interna acoplada a un generador de corriente alterna. El cálculo de la capacidad de una planta eléctrica se hace en función de las cargas que deben operar permanentemente. Estas cargas deberán quedar en un circuito alimentador y canalizaciones independientes.

La conexión y desconexión del sistema de emergencia se hace por medio de interruptores de doble tiro (manuales o automáticos) que transfieren la carga del suministro normal a la planta de emergencia. Las plantas automáticas tienen sensores de voltaje (o caídas más abajo de

cierto límite) y envían una señal para que arranque el motor de combustión interna.

V.11 Tierra y Neutro.

En virtud de que no existe un acuerdo general respecto a los términos tierra y neutro, a continuación se presentan las que a mi juicio son las más correctas:

a) Tierra.- Desde el punto de vista eléctrico, se considera que el globo terráqueo tiene un potencial de cero (o neutro); se utiliza como referencia y como sumidero de corrientes indeseables. Sin embargo, puede suceder que por causas naturales (presencia cercana de nubes y descargas atmosféricas) o artificiales (falla eléctrica en una instalación) una zona terrestre tenga en forma temporal una carga eléctrica negativa o positiva con respecto a otra zona (no necesariamente lejana). Por esta razón pueden aparecer corrientes en conductores cuyos extremos estén en contacto con zonas de potenciales distintos.

b) Resistencia a Tierra.- Este término se utiliza para referirse a la resistencia eléctrica que presenta el suelo (tierra) de cierto lugar. El valor a la resistencia a tierra debe estar dentro de ciertos límites dependiendo del tipo de instalación.

c) Toma de Tierra.- Se entiende que un electrodo en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor es una toma de tie

rra. Este electrodo puede ser una barra o tubo de cobre, una varilla o tubo de fierro y en general cualquier estructura que esté en contacto con la tierra y que tenga una resistencia a tierra dentro de ciertos límites.

d) Sistema de Tierra.- Se llama sistema de tierra a la red de conductores eléctricos unidos a una o más tomas de tierra y provistos de una o varias terminales a las que pueden conectarse puntos de la instalación. El sistema de tierra de una instalación se diseña en función de: el nivel del voltaje, la corriente de corto circuito, la superficie que ocupa la instalación, la probabilidad de explosión y/o incendio, la resistencia a tierra, la humedad y la temperatura del suelo.

f) Conexión a Tierra. La unión entre un conductor y el sistema de tierra es una conexión a tierra.

g) Neutro del generador. Se lo llama así al punto que sirve de referencia para los voltajes generados en cada fase. En sistemas equilibrados y bajo circunstancias de operación normales, la diferencia de potencial entre el neutro del generador y la tierra física del lugar donde está instalado es cero.

h) Neutro de Trabajo. Es aquel que se requiere para la conexión de un consumidor alimentado por una sola fase. la sección transversal del conductor de este neutro y de la fase deben ser iguales, ya que conducen la misma corriente.

i) Neutro conectado firmemente a tierra.- Este tipo de conexión se utiliza generalmente en instalaciones de baja tensión para proteger a las personas contra el peligro de electrocución. En el caso en que se presente una falla de aislamiento entre un conductor energizado y una parte metálica desnuda se produce un cortocircuito y actúa la protección que desenergiza al circuito respectivo.

V.12 Interconexión.

Para la interconexión de una instalación pueden utilizarse cables (conductor de varios hilos) o alambres (de un solo hilo) de cobre o aluminio. Estos pueden estar colocados a la vista, en ductos, tubos o charolas. Excepto en el caso de líneas aéreas, los conductores siempre deberán estar cubiertos con una tapa de material aislante, el cual determina la temperatura máxima de operación.

El empalme de conductores o la conexión de éstos a las terminales de los equipos deben hacerse de manera que se garantice un contacto uniforme y no existan defectos que representen una disminución de la sección. Lo más recomendable es que todas las conexiones queden accesibles. En caso que estén dentro de tuberías o ductos deben proveerse las cajas o registros necesarios, sobre todo en las conexiones de salida hacia los equipos de la instalación.

Las tuberías que se utilizan para proteger a los conductores pueden ser metálicas (de pared gruesa o delgada) o de materiales plás-

ticos no combustibles (rígidos o flexibles). También se utilizan ductos (metálicos) cuadrados o charolas, que son estructuras metálicas de tipo escalera colocadas vertical u horizontalmente donde se fijan los conductores. El soporte de todos estos elementos debe ser rígido y su colocación debe hacerse de acuerdo con criterios de funcionalidad, estética, facilidad de mantenimiento y economía. En caso de que la interconexión se haga entre elementos sometidos a vibraciones deberá utilizarse tubería flexible o un material equivalente.

V.13 Clasificación NEMA.

Gabinete es el recinto o recipiente que rodea o aloja un equipo eléctrico con el fin de protegerlo contra las condiciones externas y con objeto de prevenir a las personas de contacto accidental con partes vivas (partes energizadas).

Los elementos que constituyen una instalación eléctrica se pueden clasificar de acuerdo a los gabinetes que los contienen, según las designaciones de la Norma Oficial Mexicana en los siguientes tipos:

Tipo 1. Usos generales. Diseñado para uso en interiores en áreas donde no existen condiciones especiales de servicio. Evita el contacto accidental con el aparato que encierra.

Tipo 2. A prueba de goteo. Para uso en interiores, protege al equipo contra goteo de líquidos no corrosivos y contra salpicaduras de

lodo.

Tipo 3. Para servicio intemperie. Para uso en exteriores, protege al equipo que encierra contra polvo y aire húmedo.

Tipo 3R. Para uso en exteriores. Protege al equipo que encierran contra la lluvia.

Tipo 4. A prueba de agua. Para equipo expuesto directamente a severas condensaciones externas, salpicaduras de agua o chorro de manguera.

Tipo 5. A prueba de polvo. Diseñado para impedir la entrada de polvo a su interior.

Tipo 6. Sumergible. Permite su uso en caso de inmersión ocasional, caída de chorros directos de agua, polvos o pelusas.

Tipo 7. A prueba de gases explosivos. Diseñado para uso en atmósferas peligrosas y pueden soportar una explosión interna sin causar peligros externos. la interrupción de los circuitos se hace en aire.

Tipo 8. A prueba de gases explosivos. Diseñado para el mismo fin que el tipo 7 pero su equipo trabaja sumergido en aceite.

Tipo 9. A prueba de polvos explosivos. Diseñado para uso en

atmósferas peligrosas donde existen cantidades considerables de polvos combustibles que originen mezclas explosivas.

Tipo 10. Para uso en minas. Diseñado especialmente para este fin.

Tipo 11. Resistente a la corrosión. Para proteger al equipo contra líquidos, humos y gases corrosivos. El equipo se encuentra encerrado en aceite.

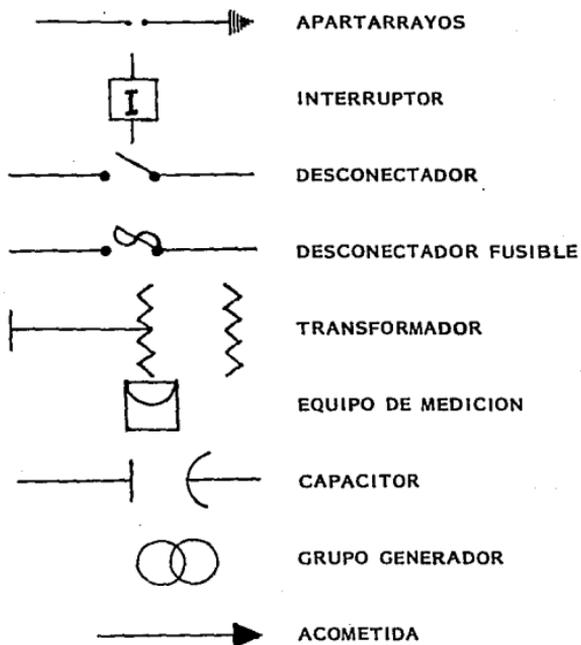
Tipo 12. Para uso industrial. Diseñado para proteger al equipo contra aceites, líquidos refrigerantes y polvos.

La clasificación anterior es equivalente a la clasificación NEMA - de la National Electric Manufacturers Association de los Estados Unidos. Tipo 1 = NEMA 1, Tipo 2 = NEMA 2, etc.

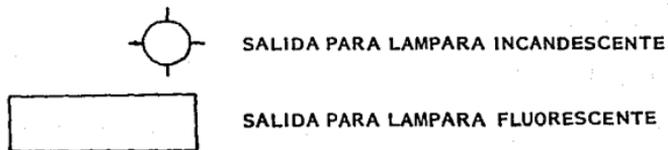
V.14 Simbología.

Los elementos que constituyen una instalación eléctrica se simbolizan en diagramas y planos de instalaciones eléctricas de la forma que se muestra a continuación:

Símbolos para diagramas unifilares de subestaciones



Símbolos para diagramas y planos de instalaciones eléctricas





ARBOTANTE



SALIDA PARA ACCESORIO OCULTO



SALIDA PARA PROPOSITOS
ESPECIALES



CONTACTO TRIFASICO



CONTACTO DE USO GENERAL



CONTACTO DE PUESTA A TIERRA



CONTACTO PARA INTEMPERIE



APAGADOR SENCILLO



APAGADOR DE ESCALERA



CABLE O CONDUCTOR POR TECHO
O MURO



CABLE O CONDUCTOR POR PISO



CAJA DE CONEXION



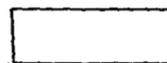
CONEXION A TIERRA



TABLERO DE ALUMBRADO



TABLERO DE FUERZA



TABLERO GENERAL



INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO



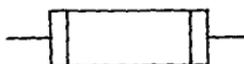
MEDIO DE DESCONEXION



INTERRUPTOR CON FUSIBLES



INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO



FUSIBLE



MOTOR



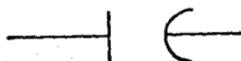
ARRANCADOR



SOLDADORA



RESISTENCIA



CAPACITOR

D **DIAMETRO DE LA CANALIZACION**

N **NUMERO DE CONDUCTORES**

C **CALIBRE DE LOS CONDUCTORES**

CAPITULO VI

DETERMINACION DE LA CARGA DE UNA INSTALACION ELECTRICA

El diseño de una instalación eléctrica requiere del conocimiento de la carga que se va a alimentar.

La carga eléctrica es la potencia (watts) que demanda, en un momento dado, un aparato o máquina o un conjunto de aparatos de utilización conectados a un circuito eléctrico. La carga conectada a una instalación eléctrica se define como la suma de potencias nominales de las máquinas y aparatos que consumen energía eléctrica, conectados a un circuito o a un sistema.

En la época del anteproyecto se empieza con una estimación que permita realizar una evaluación presupuestal aproximada de la carga. Sin embargo, se puede hacer un cálculo detallado con la información completa de todos los equipos que serán conectados y obtener un valor más preciso de la carga.

En el capítulo X se proporciona información más detallada para el cálculo de la carga en circuitos derivados, circuitos alimentadores y circuitos de fuerza (para motores).

VI.1 Carga de alumbrado.

En la tabla 6.1 se reproducen los factores típicos para calcu-

lar las cargas de alumbrado en función del tipo de construcción.

Tipo de Local	Carga en watt/m ²
Auditorios	10
Bancos	30
Bodegas y Almacenes	2.5
Casas habitación	20
Clubes o Casinos	20
Edificios Industriales	20
Edificios de Oficinas	30
Escuelas	20
Estacionamientos Comerciales	5
Hospitales	20
Hoteles y Deptos. Amueblados	20
Iglesias	10
Peluquerías y Salones de Belleza	30
Restaurantes	20
Tiendas	30

Tabla 6.1

Aplicando esta tabla la estimación inicial de la carga puede obtenerse conociendo la superficie que cubrirá la instalación eléctrica. Un cálculo más preciso se tendría conociendo los consumos de energía de cada uno de los equipos y servicios que serán alimentados por la insta-

lación.

En las cargas mencionadas en la tabla 6.1 también está incluida la carga correspondiente a contactos de uso general en casas habitación y hoteles.

A continuación se definen algunos términos necesarios para la determinación de la carga:

VI.2 Carga Instalada.

La carga instalada es la sumatoria de los consumos nominales de cada elemento consumidor según sus datos de placa.

$$P_{inst} = \sum P_j$$

donde:

P_j = potencia de cada elemento

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

VI.3 Factor de Demanda.

El factor demanda (fd) es el cociente de la potencia o demanda máxima entre la carga instalada o carga conectada.

$$fd = \frac{\text{demanda máxima}}{\text{carga instalada}}$$

VI.4 Demanda Máxima en Circuitos Alimentadores.

La demanda máxima en un circuito alimentador puede determinarse sumando las cargas de los circuitos derivados que estarán abastecidos por él, afectadas por los factores de demanda que se indican en el siguiente punto, y que sean aplicables al caso de que se trate. El circuito alimentador debe tener una capacidad, por lo menos, igual al valor de la demanda máxima en el mismo.

VI.5 Factores de Demanda para instalaciones en edificios.

La siguiente tabla (6.2) establece los factores de demanda para el cálculo de la carga de alumbrado general en alimentadores según se establece en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.

Tipo de Local	Parte de la carga de alumbrado general a que se le aplica el factor de demanda.	Factor de demanda en el alimentador *
Casas habitación	Primeros 3000 watts o menos	100 %
	Exceso sobre 3000 watts	35 %
** Hoteles	Primeros 20000 watts o menos	50 %
	Exceso sobre 20000 watts	40 %
** Hospitales	Primeros 50000 watts o menos	40 %
	Exceso sobre 50000 watts	20 %
Edificios de oficinas	Primeros 20000 watts o menos	100 %
Escuelas	Exceso sobre 20000 watts	70 %
Otros locales	Carga total de alumbrado general	100 %

Tabla 6.2

Factor de demanda para el cálculo de la carga de alumbrado general en alimentadores.

* Factor de demanda: relación entre la demanda máxima del circuito y la carga conectada al mismo.

** Los factores de demanda de esta tabla no deben aplicarse al cálculo de la carga de alimentadores de las áreas de hospitales y hoteles donde todas las lámparas pueden estar encendidas al mismo tiempo, como sucede en las salas de operaciones, salones de baile y restaurantes.

Al aplicar estos factores de demanda se debe considerar lo siguiente:

a) Los factores de demanda que se indican en la tabla 6.2 pueden aplicarse a la parte de la carga de los circuitos derivados que corresponde a alumbrado general, sólo para efectos del cálculo de la capacidad del alimentador, pero no para determinar el número de circuitos derivados requeridos.

b) Contactos no considerados en la carga de alumbrado. La carga de estos contactos, de uso general en cualquier tipo de local, con un mínimo de 180 watts por salida, puede sumarse a la carga de alumbrado y sujetarse a los mismos factores de demanda que la del inciso a).

c) Aparatos fijos, en casa habitación, cuando dos o más aparatos fijos que no sean equipos de aire acondicionado o calefacción, se conecten a un mismo alimentador en una casa habitación, puede aplicarse

un factor de demanda de 0.75 a la carga de estos aparatos.

VI.6 Carga de Transformadores.

El transformador, cuyo objetivo es cambiar los niveles de voltaje, es uno de los equipos más comunes en las instalaciones eléctricas. Generalmente el transformador constituye una parte importante del costo total de la instalación eléctrica.

La eficiencia del transformador está en función de la carga que tiene conectado (Curva característica de eficiencia). Por lo general la eficiencia máxima de un transformador se obtiene cuando la carga está entre el 75 y 100% por lo que debe procurarse que el transformador se utilice en regímenes de carga cercanos al 100%. Sin embargo al momento de especificar un transformador se requiere proveer cierta holgura para reservas futuras.

La carga que se considera para la selección del transformador es la carga total instalada afectada por el factor de demanda correspondiente.

VI.7 Carga de alimentadores para motores.

La carga del alimentador para un centro de control de motores o para cualquier tablero que tiene conectado algún motor se calcula con

la ecuación

$$I = \sum I_j + 0.25 \cdot I_{mm}$$

donde:

$j = 1, 2, \dots, n$ elementos conectados

I = Carga del alimentador en amperes

I_j = Carga de cada uno de los elementos (motores) conectados en amperes.

I_{mm} = Corriente nominal del motor más grande del grupo considerado.

I = Corriente con la que se calcula el alimentador.

VI.8 Carga en Plantas de Emergencia.

El suministro de energía eléctrica en algunos casos, es indispensable para afrontar condiciones de falla y peligro, ya sea porque se puede perder o dañar una producción determinada o bien porque se ponen en peligro vidas humanas u otros bienes.

Por ejemplo, si en un teatro existe el peligro de accidentes por aglomeraciones en caso de un apagón, será necesario proyectar un circuito especial separado del resto, para alumbrar pasillos, escaleras, puertas, etc., mediante una alimentación eléctrica de emergencia o equipos independientes que operen durante la falla.

En el caso de hospitales u otras aplicaciones en que se amenaza la vida humana, pueden considerarse las plantas de emergencia como un

salvavidas. De aquí la importancia de poner una gran atención no sólo a la buena selección, adquisición e instalación de la misma, sino mantener con gran cuidado y esmero, todas las características que aseguren su buena operación.

Una planta de emergencia está diseñada para operar durante períodos relativamente cortos, ya que se supone que el suministro general de energía eléctrica, se hace cargo de la demanda normal y solamente, al fallar ésta, se requiere un sustituto para algunas cargas, y por consiguiente, en lugares con buen suministro eléctrico, una planta de emergencia llega a operar sólo unas cuantas horas por año, aún sumándole los tiempos de ejercitación semanal que se aconsejan.

Selección de Plantas.

La carga que puede alimentar una planta de emergencia está limitada por las capacidades del motor de combustión interna y del generador que deberán ser mayores que la carga demandada.

El punto de partida para seleccionar un motor de combustión interna, es definir la potencia útil que se va a necesitar y las circunstancias y condiciones del lugar del trabajo.

La carga que se debe considerar es la que se encuentra conectada a la planta de emergencia afectada por el factor de demanda correspondiente, pero se debe considerar que el voltaje disminuye al arrancar

los motores, dependiendo esto, del tipo de arrancador empleado. La caída del voltaje puede ser tan grande que provoque que el motor correspondiente no pueda arrancar y que la planta sufra una sobrecarga. Por esta razón es importante conocer la información del fabricante de la planta al respecto del tamaño del motor más grande que puede arrancarse. También conviene pensar en la posibilidad de programar la entrada de la carga conectada a la planta, de tal manera que se pueda arrancar primero el motor más grande y después conectar paulatinamente el resto de la carga.

Como ejemplo de lo anterior puede verse en la figura 6.3 la influencia del tipo de arranque de los motores.

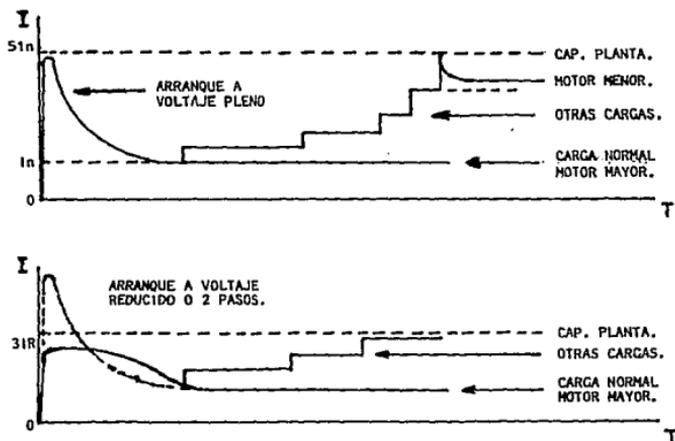


Fig. 6.3

Una vez analizando el valor en KW totales y la secuencia de arranque de los motores más grandes, se verá cual es la potencia requerida en el generador y la que comercialmente se fabrica.

Recomendaciones Generales

Podemos considerar las siguientes recomendaciones generales para el manejo y operación de las plantas de emergencia.

- .- Se recomienda que los conductores eléctricos sean lo más cortos posibles para evitar caídas de voltaje y costo excesivo, de modo que deberá estudiarse la mejor localización tanto del generador como de los interruptores de transferencia en el caso de plantas de emergencia.

- .- Se recomienda dejar instructivos entendibles y fáciles de localizar para aquellos casos en que, por emergencia alguien deba operar tal equipo, pues no se concibe que, siendo estos servicios de generación eléctrica para casos de emergencia o continuidad importante, una falla simple interrumpa el servicio sin que nadie pueda restablecerlo. Siendo obligación para los fabricantes proporcionar las instrucciones para operar adecuadamente un equipo, al adquirirlo deberá verificarse su entrega.

- .- Se recomienda contratar personal técnico capacitado y disponible para reparaciones pero también, para mantenimiento preventivo que reduce las fallas de emergencia.

CAPITULO VII

CONDUCTORES

VII.1 Descripción de Conductores

VII.1.1 Definición.

Son conductores eléctricos aquellos materiales que permiten el pa
so continuo de la corriente eléctrica a través de ellos, con la mínima re
sistencia posible.

VII.1.2 Materiales.

Todos los metales son buenos conductores sin embargo, unos son mejores que otros, es por ello que aquí se indican solamente algunos - nombrándolos en orden decreciente en cuanto a calidad como conductor y haciendo la aclaración correspondiente en cuanto a su empleo.

P l a t a

Es el mejor conductor pero, su uso se ve reducido por su alto precio.

C o b r e

Después de la plata, el cobre electrofílicamente puro es el mejor

conductor eléctrico, se le emplea en más del 90% en la fabricación de conductores eléctricos porque reúne las condiciones deseadas para tal fin tales como:

- a) Alta conductividad
- b) Resistencia mecánica
- c) Flexibilidad
- d) Bajo costo adquisitivo.

O r o

Después de la plata y del cobre, el oro es el mejor conductor de la electricidad. Su alto precio adquisitivo limita e inclusive impide su empleo.

A l u m i n i o

Es otro buen conductor eléctrico sólo que, por ser menos conductor que el cobre, para una misma cantidad de corriente se necesita una sección transversal mayor en comparación con conductores de cobre además, tiene la desventaja de ser quebradizo (se usa con regularidad en líneas de transmisión).

A mayor sección transversal de los conductores eléctricos es mayor su capacidad de conducción de corriente.

VII.1.3 Configuración Física.

Alambre	Formado por un hilo sólido de sección circular.
Cable	Formado por varios hilos reunidos en formación geométrica.
Solera	Formado por una barra sólida de sección rectangular.

Los conductores se fabrican desnudos o aislados. Los primeros se usan en líneas aéreas en el exterior de los edificios o enterrados para sistemas de tierras.

Los conductores aislados se usan, comúnmente, en el interior de los edificios.

VII.1.4 Clasificación del tamaño de los Conductores.

En un principio todos y cada uno de los fabricantes de conductores eléctricos clasificaban a los mismos con diferentes números, símbolos y nomenclaturas, provocando con ello confusión en los trabajadores del ramo al no saber a ciencia cierta si trabajan con las mismas secciones transversales al diferir en simbología y número de un fabricante a otro.

Después de un estudio exhaustivo de todos y cada uno de los mé todos para diferenciar las áreas transversales (calibres) de los conductores eléctricos y observando la fácil interpretación de la nomenclatura presentada por la Compañía "AMERICAN WIRE GAUGE" (A.W.G.), ésta fue adoptada por lo que, para los calibres de los conductores eléctricos se les antecede con la leyenda. Calibre No. A.W.G. ó M.C.M.

Las siglas M.C.M. nos están indicando el área transversal de los conductores eléctricos en "Mil Circular Mills".

EQUIVALENCIA EN EL CALIBRE EN A.W.G. ó M.C.M.

Se dice que se tiene un C.M. (Circular Mil) cuando el área transversal tiene un diámetro de una milésima de pulgada.

$$1 \text{ C.M.} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.1416 (0.001)^2}{4} = 785 \times 10^{-9} \text{ pulg.}^2$$

$$1 \text{ C.M.} = 785 \times 10^{-9} \text{ pulg.}^2$$

$$1 \text{ pulg.}^2 = \frac{1}{785 \times 10^{-9}} \text{ C.M.}$$

$$1 \text{ pulg.}^2 = \frac{1}{785} (10)^9 \text{ C.M.} = 1.27 \times 10^6 \text{ C.M.}$$

$$1 \text{ pulg.}^2 = (25.4 \text{ mm})^2 = 645.16 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ mm}^2 = \frac{1}{645.16} \text{ pulg.}^2 = \frac{1.27 \times 10^6}{645.16} \text{ C.M.}$$

$$1 \text{ mm}^2 = 1970 \text{ C.M.}$$

Debido al error admisible para cálculo de los conductores eléctricos se considera:

$$1 \text{ mm}^2 = 2000 \text{ C.M.}$$

$$1 \text{ mm}^2 = 2000 \text{ Circular Mil (2000 C.M.)}$$

$$1 \text{ mm}^2 = 2 \text{ Mil Circular Mills (2 M.C.M.)}$$

Conociendo el significado de A.W.G. y la equivalencia entre mm^2 y C.M. se puede consultar la tabla 7.1 que establece el área de la sección transversal de cobre según calibre de los conductores eléctricos, así como también su resistencia eléctrica expresada en ohms/km.

Resistencia eléctrica de conductores de cobre

	Calibre A W G M C H	Area de la sección transversal (mm^2)	Número de hilos	Resistencia eléctrica C.D. 20 °C (ohms/km)
A L A M B R E S	18	0.823	-	21.0
	16	1.308	-	13.2
	14	2.08	-	8.27
	12	3.31	-	5.22
	10	5.26	-	3.28
C A	18	0.823	7	21.3
	16	1.308	7	13.42
	14	2.08	7	8.45
	12	3.31	7	5.32
	10	5.26	7	3.35
B L E S	8	8.37	7	2.10
	6	13.30	7	1.322
	4	21.15	7	0.830
	2	33.6	7	0.523
S	1/0	53.5	19	0.329
	2/0	67.4	19	0.261
	3/0	85.0	19	0.207
	4/0	107.2	19	0.1640
	250	126.7	37	0.1390
	300	152.0	37	0.1157
	350	177.4	37	0.0991
	400	202.7	37	0.0867
	500	253.3	37	0.0695
	600	304.1	61	0.0578
	750	380.0	61	0.0463
	1 000	506.7	61	0.0348
	1 250	633.3	91	0.0276
	1 500	760.1	91	0.0232

Tabla 7.1

VII.2 Descripción del Aislamiento de los Conductores.

El aislamiento sirve para confirmar la corriente y el campo eléctrico en la masa del conductor.

La selección de los aislamientos se hace en función de los diferentes factores que pueden influir en su uso y aplicación, tales como condiciones mecánicas de instalación, medio ambiente (humedad, intemperismo, solventes, aceites, etc...), inflamabilidad y toxicidad.

Los materiales aislantes, usuales actualmente, en la elaboración de conductores; son los siguientes:

		Tensión de Operación
Elastómeras	Butilo, EP (Etileno propileno)	0.6 - 46 KV
Termoplásticos	PVC (policloruro de vinilo)	0.6 - 15 KV
Termofijos	XLP (polietileno de cadena cruzada)	0.6 a 69 KV

Las tensiones de operación en edificios son menores de 600 V excepto, las acometidas a subestaciones interiores de 15 o de 23 KV.

VII.3 Uso y Aplicación de Conductores.

En el diseño de instalaciones eléctricas una de las tareas más importantes (y más repetitivas) es el cálculo de la sección de los alimentos

dores, es decir, la especificación de los conductores que suministran energía eléctrica a una carga. De la precisión de estos cálculos depende en buena medida, la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación, así como el costo de la inversión inicial y de los gastos de operación y mantenimiento.

Las aplicaciones de los distintos tipos de conductores aislados se muestran en la tabla 7.2. En edificios se utilizan principalmente los tipos TW (60° C), THW y THWN (75° C).

La capacidad de corriente de los conductores de cobre aislado, para una temperatura ambiente de 30° se muestran en la tabla 7.3.

Los factores de corrección por agrupamiento de conductores y por temperatura ambiente se muestran en la tabla 7.4 y 7.5.

La sección 302 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas se reproduce a continuación, se cambia únicamente la numeración de las tablas contenidas.

SECCION 302.- CONDUCTORES DE USO GENERAL

302.1 Aplicación

Esta sección trata de los conductores de mayor uso en instalaciones de utilización; sus requisitos se refieren principalmente a conducto

res aislados y establecen, en general la forma en que éstos se designan su capacidad de corriente, sus modos de uso y la forma en que deben estar marcados.

Estos requisitos no se aplican a los conductores que formen parte integrante de equipos tales como motores, arrancadores de motores y equipos similares.

302.2 Uso de Conductores desnudos.

En instalaciones de utilización, pueden usarse conductores desnudos en los siguientes casos.

a) Para conductor de puesta a tierra, dentro de la misma canalización de los conductores aislados del circuito o bien llevando en forma independiente.

b) En líneas aéreas, en el exterior de edificios.

303.3 Uso de Conductores aislados.

Los conductores que se empleen en instalaciones de utilización deben estar aislados, de acuerdo con su tensión de servicio y condiciones de operación, excepto en los casos que se mencionan en el artículo 302.2 anterior.

La tabla 7.2 muestra los tipos de conductores aislados más comunes, para tensiones hasta de 600 volts, y las características de su aislamiento. Estos conductores deben usarse de manera que no sobrepasen la temperatura máxima de operación indicada en la misma Tabla 7.2 para el tipo de aislamiento de que se trate.

Tabla 7.2

Aplicación de Conductores aislados

HOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEM. MEX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACION
Hule resistente al calor	RH RHI	75 90	Hule resistente al calor	No metálica, resistente a la humedad, retardadora a la flama.	Locales secos
Hule resistente al calor y a la humedad	RHW	75	Hule resistente al calor y a la humedad	No metálica, resistente a la humedad, retardadora de la flama	Locales húmedos y secos
Hule látex, - resistente al calor	RUH	75	90% Hule no molido, sin grano	No metálica, resistente a la humedad, retardadora de la flama	Locales secos
Hule látex, - resistente a la humedad	RUH	60	90% Hule no molido, sin grano	No metálica, resistente a la humedad, retardadora de la flama	Locales húmedos y secos
Termoplástico	T	60	Compuesto termoplástico retardador de la flama	Ninguna	Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad	TH	60	Termoplástico, resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico duplex resistente a la humedad	TND	60	Termoplástico, resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico resistente al calor con cubierta de Nylon	THHN	90	Termoplástico, resistente al calor, retardador de la flama	Nylon	Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad y al calor	THW	75 90	Termoplástico resistente a la humedad y al calor, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos y húmedos Aplicaciones especiales en equipo de alumbrado por desc

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEM. MEX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACION
Termoplástico resistente a la humedad y al calor con cubierta de Nylon	THWN	60	Termoplástico, resistente a la humedad y al calor retardador de la flama	Nylon	Locales con grasas, aceite y gasolina
		75			Locales secos y húmedos
Termoplástico resistente a la humedad (Doble forro)	DF*	75	Termoplástico, resistente a la humedad	No metálica, resistente a la humedad retardadora a la flama	Locales secos y húmedos hasta 1000 V
Termoplástico resistente a la humedad y a la corrosión (cable plano bipolar o tripolar)	NHC*	90	Termoplástico, resistente a la humedad y al calor, retardador de la flama	No metálica, resistente a la humedad a los hongos, a la corrosión y retardadora de la flama	Locales secos y húmedos
Termoplástico resistente a la humedad, para alumbrado industrial	NHC ASP*	60	Termoplástico, resistente a la humedad y retardador de la flama.	No metálica, resistente a la humedad y retardadora de la flama.	Alumbrado industrial.
Poliétileno - vulcanizado - resistente a la humedad y al calor	XHHW	75	Poliétileno vulcanizado	No metálica, resistente a la humedad	Locales húmedos y directamente enterrados
		90		Ninguna	Locales secos
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y al aceite, para máquinas herramientas	MTW	60	Termoplástico, resistente a la humedad, al calor y al aceite, retardador de la flama	Ninguna o Nylon	Locales húmedos y alumbrado en máquinas herramientas.
		90			Locales húmedos y alumbrado en máquinas herramienta
Termoplástico y asbesto	TA	90	Termoplástico y asbesto	No metálica, retardadora de la flama	Alumbrado de tableros de distribución solamente
Termoplástico y malla de fibra	TBS	90	Termoplástico	No metálica retardadora de la flama	Sólo alumbrado de tableros
Sintético resistente al calor	SIS	90	Hule resistente al calor	Ninguna	Sólo alumbrado de tableros
Aislante mineral cubierta metálica	MI	85	Óxido de Magnesio	Cobre	Locales húmedos y secos
		250			Temp. máx. de operación para aplicaciones especiales

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEM. MAX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACION
Silicón Asbesto	SA	90	Hule Silicón	Asbesto o vidrio	Locales secos
		125			Temp. máx. de operación para aplicaciones especiales
Etileno Propileno	EP	90	Etileno Propileno	No metálica, resistente a la humedad y al calor y retardadora de la flama	Locales húmedos y secos y directamente enterrados
Etileno Propileno Fluorinado	FEP	90	Etileno propileno fluorinado	Ninguna	Locales secos
	FEPB	200	Etileno propileno Fluorinado	Malla de vidrio o malla de asbesto	Aplicaciones especiales en locales secos
Cambray Barnizado	V	85	Asbesto y Cambray Barnizado	No metálica	Locales secos
				Forro de plomo	Locales húmedos y secos
Asbesto y Cambray Barnizado	AVB	90	Asbesto impregnado y cambray Barnizado	Malla de algodón retardadora de flama	Alumbrado de tableros en locales secos
	AVL	110		Forro de Plomo	Locales húmedos y secos
	AVA	110		Malla de asbesto y forro	Locales secos
Asbesto	AIA	125	Asbesto impregnado	Con malla de asbesto o vidrio	Locales secos Únicamente, - instalaciones a la vista. - En instalaciones solamente para conductores que van a aparatos o están en su interior.
	AI	125	Asbesto impregnado	Sin malla de asbesto	Locales secos Únicamente. - En instalaciones para conductores que van a aparatos o están en su interior limitado a 300 V.
	A	200	Asbesto	Sin malla de asbesto	
	AA	200	Asbesto	Con malla de asbesto o vidrio	
Papel	PILC	85	Papel impregnado	Forro de Plomo	Para conductores de acometidas subterráneas o con permiso especial

* Estos corresponden a cables multiconductores cuya designación se refiere a las características de la cubierta o forro del cable y no a la del aislamiento del conductor.

TABLA 7.3

Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (amperes)

Temperatura máxima del aislamiento	60° C		75° C		85° C		90° C	
Tipos	THWN, RUW T, TW, TWD MTW.		RH, RHW, RUH THW, THWN DF, XHHW		PILC, V, MI		TA, TBS, SA, AVB, SIS, FEP, THW, RHH, THHN, MTW, EP, XHHW*	
Calibre AWC MCM	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire
14	15	20	15	20	25	30	25	30
12	20	25	20	25	30	40	30	40
10	30	40	30	40	40	55	40	55
8	40	55	45	65	50	70	50	70
6	55	80	65	95	70	100	70	100
4	70	105	85	125	90	135	90	135
3	80	120	100	145	105	155	105	155
2	95	140	115	170	120	180	120	180
1	110	165	130	195	40	210	140	210
0	125	195	150	230	155	245	155	245
00	145	225	175	265	185	285	185	285
000	165	260	200	310	210	330	210	330
0000	195	300	230	360	235	385	235	385
250	215	340	255	405	270	425	270	425
300	240	375	285	445	300	480	300	480
350	260	420	310	505	325	530	325	530
400	280	455	335	545	360	575	360	575
500	320	515	380	620	405	660	405	660

Continúa Tabla 7.3

600	355	575	420	690	455	740	455	740
700	885	630	460	755	490	815	490	815
750	400	655	475	785	500	845	500	845
800	410	680	490	815	515	880	515	880
900	435	730	520	870	555	940	555	940
1000	455	780	545	935	585	1000	585	1000

* Los tipos EP y XHHW pueden ser directamente enterrados.

Continúa Tabla 7.3

Capacidad de Corriente de Conductores de cobre aislados (amperes)

Temperatura máxima del aislamiento	110° C		125° C		200° C	
Tipos	AVA, AVL		AI, SA, AIA		A, AA, FEPB	
Calibre AWG MCM	en tubería o cable	Al aire	en tubería o cable	Al aire	en tubería o cable	Al aire
14	30	40	30	40	30	45
12	35	50	40	50	40	55
10	45	65	50	70	55	75
8	60	85	65	90	70	100
6	80	120	85	125	95	135
4	105	160	115	170	120	180
3	120	180	130	195	145	210
2	135	210	145	225	165	240
1	160	445	170	265	190	280
0	190	285	200	305	225	325
00	215	330	230	355	250	370
000	245	385	265	410	285	430
0000	275	445	310	475	340	510
250	315	495	335	350	-	-
300	345	555	380	590	-	-
350	390	610	420	655	-	-
400	420	665	450	710	-	-
500	470	765	500	815	-	-
600	525	855	545	910	-	-
700	560	940	600	1005	-	-
750	580	980	620	1045	-	-
800	600	1020	640	1085	-	-
900	-	-	-	-	-	-
1000	680	1165	730	1240	-	-

(Véase las notas de esta tabla en la siguiente página)

302.4 Capacidad de corriente en conductores aislados

La tabla 7.3 indica los valores de capacidad de corriente para conductores de cobre aislados, de acuerdo con el tipo de aislamiento y la forma de instalación. Los valores de esta tabla deben coregirse, como se indica a continuación, por un mayor agrupamiento de los conductores o por un aumento en la temperatura ambiente.

a) Factores de corrección por agrupamiento. La tabla 7.4 muestra los factores de corrección que deben aplicarse cuando el número de conductores alojados en una misma canalización o en un cable multiconductor, es mayor de 3.

b) Factores de corrección por temperatura ambiente. La tabla 7.5 muestra los factores de corrección que deben aplicarse para condiciones de temperatura ambiente (del local o del lugar en que se encuentren los conductores) de 31° C o mayor.

Notas de la Tabla 7.3

Nota 1

Los valores de la tabla 7.3 son aplicables cuando se tienen 3 conductores como máximo alojados en una canalización o en un cable multiconductor. Para un número mayor de conductores, deben aplicarse los siguientes factores de corrección (excepto en casos específicos en que se indique lo contrario).

Tabla 7.4 Factores de corrección por agrupamiento

Número de conductores			Por ciento del valor indicado. En la Tabla 7.3
4	a	6	80
7	a	24	70
25	a	42	60
Más	de	42	50

Cuando se instalen conductores de sistemas diferentes dentro de una canalización, los factores de corrección por agrupamiento anteriores deben aplicarse solamente al número de conductores para fuerza y alumbrado.

En el caso de un conductor neutro que transporte solamente la corriente de desequilibrio de otros conductores, como en el caso de los circuitos normalmente equilibrados de tres o más conductores, no se debe afectar su capacidad de corriente con los factores indicados en esta tabla, esto significa que el conductor neutro no se cuenta al considerar el número de conductores de la tabla 7.4. Tampoco se debe considerar el conductor para puesta a tierra del equipo.

Nota 2

Los valores de la Tabla 7.3 deben corregirse para temperaturas ambiente (del local o del lugar en que se encuentren los conductores) mayores de 30° C, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 7.5 Factores de corrección por temperatura ambiente.

Temperatura ambiente °C	Temperatura máxima permisible en el aislamiento, °C						
	60	75	85	90	100	125	200
31 - 40	0.82	0.88	0.90	0.91	0.94	0.95	--
41 - 45	0.71	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	--
46 - 50	0.58	0.75	0.80	0.82	0.87	0.89	--
51 - 55	0.41	0.67	0.74	0.76	0.83	0.86	--
56 - 60	--	0.58	0.67	0.71	0.79	0.83	0.91
61 - 70	--	0.35	0.52	0.58	0.71	0.76	0.87
71 - 80	--	--	0.30	0.41	0.61	0.68	0.81
81 - 90	--	--	--	--	0.50	0.61	0.80
91 - 100	--	--	--	--	--	0.51	0.77
101 - 120	--	--	--	--	--	--	0.69
121 - 140	--	--	--	--	--	--	0.59

Nota 3

Los valores de la columna "Al aire" se refieren al caso de conductores instalados sobre aisladores, o bien sobre charolas ventiladas. En la columna "En tubería o cable" se incluyen los demás métodos de instalación autorizados.

Nota 4

Quando los conductores desnudos se usan como conductores de puesta a tierra y se encuentran instalados junto a conductores aislados, sus capacidades de corriente deben limitarse a las permitidas por los conductores aislados del mismo calibre.

Nota 5

Cuando en un grupo de conductores se tengan aislamientos para temperaturas máximas diferentes, la temperatura límite del grupo debe determinarse por la menor de ellas.

302.5 Aplicaciones de conductores aislados.

a) las aplicaciones de los distintos tipos de conductores aislados se muestran en la Tabla 7.2

b) Locales o lugares mojados. Los conductores aislados que se usen en locales o lugares mojados o donde haya condensación o acumulación de humedad dentro de las canalizaciones, deben tener aislamiento resistente a la humedad o bien una cubierta exterior de tipo aprobado para estas condiciones de trabajo.

Dichos conductores no son adecuados para enterrarse directamente a menos que se trate de un tipo específicamente aprobado para este uso.

c) Conductores subterráneos. Los conductores que se instalen enterrados directamente o en canalizaciones subterráneas, deben ser del tipo adecuado y aprobados para tal uso. Cuando sea necesario, deben protegerse contra daño mecánico por medios tales como placas metálicas, losas de concreto, ductos, etc.

d) Corrosión. Los conductores expuestos a vapores, aceites, grasas, gases, humos y otras sustancias que puedan deteriorar al conductor o a su aislamiento, deben ser del tipo aprobado para este propósito.

e) Calibre mínimo. Los alambres y cables de instalaciones de utilización no deben ser menores que el No. 14AWG (2.08 mm^2), salvo los casos de excepción que consideran algunas secciones de estas Normas Técnicas. No se incluyen en esta disposición los conductores usados en circuitos de comunicaciones, control y señalización.

f) Cables. Los conductores No. 8 AWG (8.37 mm^2) o mayores, instalados en canalizaciones, deben ser cables (o sea, formados por varios hilos trenzados) excepto cuando se usen como barras colectoras.

g) Conductores en paralelo. Cuando se usen conductores en paralelo, deben tener las mismas características físicas, o sea, igual longitud, igual tipo de aislamiento, el mismo material del conductor, con la misma sección transversal; así como unirse firmemente en sus extremos para asegurar una distribución uniforme de corriente entre los mismos conductores.

302.6 Identificación de conductores.

Todos los conductores deben marcarse con la siguiente información:

a) La máxima tensión de operación para la cual ha sido aprobado el conductor.

b) La letra o letras que indican el tipo o clase de aislamiento como se ha especificado en la Tabla 7.2

c) El nombre del fabricante, industria u otra marca distintiva de la organización responsable del producto, que se identifique fácilmente.

d) El calibre AWG o el área en MCM.

e) Número de autorización de la Secretaría para su venta y uso.

302.7 Método de marcado.

a) Rotulado. Los siguientes conductores deben llevar marcas durables sobre la superficie a intervalos que no excedan de 30 centímetros.

- Conductores con aislamiento de hule o termoplástico.
- Cables multiconductores con cubierta exterior no metálica.

b) Cinta de identificación. Los cables multiconductores con cubierta metálica pueden llevar una cinta de identificación en el interior y en toda su longitud.

c) Etiquetado. Los siguientes conductores pueden marcarse por medio de etiquetas impresas fijadas al rollo, carrete o caja de empaque:

- Cordón flexible
- Alambre para tableros
- Cable de un solo conductor con cubierta metálica
- Conductor con superficie exterior de asbesto

VII.4 Criterio para el cálculo de conductores.

En el cálculo de los conductores la intención principal es encontrar los calibres AWG (American Wire Gage) o MCM (miles de circular mils) que cumplan con los requisitos necesarios de un sistema confiable y económico evitando conductores con secciones sobradas, que se traducen en gastos innecesario y reflejan un trabajo superficial del proyectista.

Los pasos que se deben seguir para el cálculo de la sección o calibre de los conductores son los siguientes:

Paso 1) Corriente de la Carga.

Paso 2) Corrientes de corrección.

Paso 3) Capacidad de conducción del conductor.

Paso 4) Revisión por caída de tensión.

Paso 5) Revisión por corriente de corto circuito.

Paso 1) Corriente de la Carga.

Puede obtenerse por medio de fórmulas, de la placa de datos de los equipos que conformen la carga o en tablas elaboradas por los fabricantes. la Tabla 6.1 contiene los datos publicados en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas. Se recomienda ver el capítulo 6 donde se establecen los criterios para determinar la carga.

Para calcular la carga de equipos de iluminación que utilicen balastros, transformadores o autotransformadores, debe considerarse la corriente total que tomen dichos equipos y no solamente la potencia de las lámparas de los mismos. Generalmente el valor de la corriente total de los equipos de iluminación que utilizan balastos es 25 por ciento más del valor nominal de las lámparas que constituyen dichos equipos.

Paso 2) Corrientes de corrección.

Las corrientes que circulan por los conductores, deben afectar se por los factores de corrección que correspondan a las tablas 7.4 y 7.5. La corriente corregida se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{\text{corregida}} = \frac{I_n}{(FA)(FT)}$$

donde:

$$I_{\text{corregida}} = \text{Corriente corregida}$$

I_n = Corriente nominal

FA = Factor de agrupamiento

FT = Factor de temperatura

Paso 3) Capacidad de conducción del conductor

En la tabla 7.3 se selecciona el tamaño del conductor que pueda conducir la corriente calculada en el paso 2). A esto se le conoce como cálculo del conductor por corriente o cálculo del conductor por am capacidad.

Paso 4) Revisión por caída de tensión (caída de voltaje)

Se le llama caída de tensión a la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando está circulando la corrien te nominal.

La caída del voltaje máxima permitida por las NTIE es 3% para el circuito alimentador o principal y 3% para el circuito derivado, sin que los dos circuitos juntos sobrepasen el 5%.

Si se excede de estos valores se deberá aumentar el calibre del conductor.

Para el cálculo del conductor por caída de tensión se utilizarán las siguientes expresiones:

$$S = \frac{4LI}{Vn e} \quad \text{1 fase 2 hilos}$$

$$S = \frac{2LI}{Vn e} \quad \text{1 fase 3 hilos}$$

$$S = \frac{2\sqrt{3} LI}{Ve} \quad \begin{array}{l} \text{3 fases 3 hilos} \\ \text{3 fases 4 hilos} \end{array}$$

donde:

S = Sección transversal del conductor en mm^2

L = Longitud media del circuito o alimentador en metros

I = Corriente nominal del circuito, en amperes

Vn = Tensión de fase a neutro, en volts

V = Tensión entre fases, en volts

e = Caída de tensión, en %

El valor de la sección del conductor se obtiene de la tabla 7.1 en la columna correspondiente al área de la sección transversal.

Para calcular la caída de tensión se despeja el valor de e en las expresiones anteriores y éste debe ser menor que los valores antes mencionados.

Otra forma de elegir el calibre del conductor por caída de tensión sería estableciendo como valor arbitrario de $e = 2.5$ y sustituyendo este valor en las expresiones anteriores, obteniendo así el valor de la sección del conductor en mm^2 y eligiendo de la tabla 7.1 el calibre del conductor correspondiente a esta sección. El valor así obtenido se compara con el calibre calculado por corriente y se toma el mayor de los dos. Con la sección del conductor del calibre elegido se calcula nuevamente la caída de tensión "real" del circuito, la cual obviamente será menor a los límites establecidos.

Paso 5) Revisión por corriente de corto circuito

Los conductores aislados deben soportar la corriente de corto circuito del sistema sin dañarse, esto puede verificarse con tablas o con la siguiente fórmula.

$$I_{cc} = \frac{330 S}{(t)^{1/2}} \left[\log \left(\frac{234.5 + T_2}{234.5 + T_1} \right) \right]^{1/2}$$

donde:

I_{cc} = Corriente de corto circuito en amperes

A = Area del conductor en circular mils

t = Tiempo que dura el corto circuito, en segundos

T_2 = La temperatura máxima que resiste el conductor en condiciones de corto circuito.

150° C para aislamientos termoplásticos

250° C para elastoméricos

T_1 = Temperatura de operación normal del conductor en °C

VII.5 Efecto Joule

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. La corriente eléctrica produce las llamadas pérdidas por efecto Joule (RI^2) que se manifiestan en forma de calor; por ésto en un conductor eléctrico, debido a su resistencia, se calienta, y es por esta razón que las NTIE limitan la cantidad de corriente permisible en un conductor (ampacidad) a un valor en que el calor se pueda disipar en forma segura, y es así como en las tablas de conducción de corriente eléctrica de los conductores se asocia la sección o calibre del conductor, con la corriente que pueden conducir en una canalización determinada para considerar el espacio o cantidad de aire disponible; también se considera la elevación de la temperatura ambiente.

Si un conductor que tiene una resistencia R conduce una corriente I , el calentamiento resultante es proporcional a 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.

Por ejemplo: la capacidad de conducción de corriente de un conductor aislado de 21 mm^2 (4 AWG) puede ser de 70, 85 ó 90A. Así la temperatura máxima de operación de los aislamientos son, respectivamente 60, 75 ó 90° C . A mayor temperatura de los aislamientos aumenta el costo del conductor pero también aumenta la capacidad de conducción. Al elegir un conductor con menor capacidad de conducción se puede reducir el costo inicial de las instalaciones; pero, es necesario considerar que el costo de operación se incrementa al disiparse mayor cantidad de energía en forma de calor (Ley de Joule: $W = I^2R$).

VII.6 Calibre mínimo permitido.

En las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas se especifica como calibre mínimo para circuitos de fuerza, alumbrado, calefacción o una combinación de éstas al número 14 A.W.G.; en circuitos para contactos el calibre mínimo debe ser el número 12 A.W.G. y para circuitos alimentadores establece como calibre mínimo al número 10 A.W.G.

VII.7 Ejemplo de cálculo de conductores.

Calcular el calibre de los conductores para un circuito que alimenta 19 lámparas fluorescentes de 40 watts. La longitud del circuito es de 50 m y se trata de un servicio monofásico a 2 hilos con una tensión de operación de 127 v. la temperatura ambiente es de 40° C .

Paso 1) Corriente de la Carga.

Para obtener la corriente de la carga multiplicamos el número total de lámparas por la corriente nominal de cada una de ellas.

$$19 \times 40 = 760 \text{ watts}$$

Considerando el funcionamiento de las balastras, aumentamos este valor en un 25%.

$$\text{Corriente total} = 760 \times 1.25 = 950 \text{ watts} = 0.950 \text{ KW}$$

Paso 2) Corrientes de corrección.

Considerando que el circuito es monofásico (2 hilos) el factor de corrección por agrupamiento es 1.

El conductor que utilizaremos será THW a 75° C, por lo que el factor de corrección por temperatura a 40° C según la tabla 7.5 es 0.88.

$$I_{\text{corregida}} = \frac{I_n}{(FA)(FT)}$$

De la tabla 2.3 para conocer la corriente (amperes) sabiendo la potencia (watts) utilizamos la fórmula:

$$I = \frac{\text{KW} \times 1000}{E} = \frac{0.950 \times 1000}{127} = 7.48 \text{ amperes}$$

Sustituyendo en la fórmula de la corriente corregida, tenemos:

$$I_{\text{corregida}} = \frac{748}{1 \times 0,88} = 8.5 \text{ amperes}$$

Paso 3) Capacidad de conducción del conductor

De la tabla 7.3 seleccionamos el conductor calibre 14 A.W.G. el cual soporta una corriente de 15 amperes.

Paso 4) Revisión por caída de tensión

Para el cálculo por caída de tensión utilizamos la fórmula

$$S = \frac{4LI}{Ee}$$

Despejando la caída de tensión tenemos

$$e = \frac{4LI}{S \times E}$$

De la tabla 7.1 para el calibre 14 A.W.G. $s = 2.08$, sustituyendo:

$$e = \frac{4 \times 50 \times 7.48}{2.08 \times 127} = 5.66 \%$$

Este valor es mayor que el valor máximo permitido de 3% por lo que el conductor calibre 14 A.W.G. NO ES ADECUADO.

Debido a lo anterior tendremos que elegir un calibre mayor, el inmediato superior es el calibre 12 A.W.G. el cual según la tabla 7.1 tiene un valor de $S = 3.31$. Sustituyendo

$$e = \frac{4 \times 50 \times 7.48}{3.31 \times 127} = 3.55\%$$

Este valor también es mayor que el valor máximo de caída de tensión permitido del 3%, por lo que el conductor calibre 12 A.W.G. - TAMPOCO ES ADECUADO por caída de tensión.

Eligiendo un calibre mayor, se tiene que el calibre 10 A.W.G. - según la tabla 7.1 tiene un valor de $S = 5.26 \text{ mm}^2$, sustituyendo.

$$e = \frac{4 \times 50 \times 7.48}{5.26 \times 127} = 2.23\%$$

Este valor es MENOR que el valor máximo de caída de tensión - permitido del 3%, por lo que SI ES ADECUADO.

El calibre que se debe utilizar para alimentar este circuito es el del 10 A.W.G.

Otra forma de cálculo.

Como se dice en la descripción de los pasos a seguir para el cálculo del conductor por caída de tensión otra forma de elegir éste es dando un valor arbitrario de e menor que el 3%. En la práctica se uti-

liza un valor de $e = 2.5\%$ para calcular el valor de la sección del conductor y con esto obtener el calibre del conductor adecuado por caída de tensión

$$S = \frac{4LI}{E e}$$

Sustituyendo:

$$S = \frac{4 \times 50 \times 7.48}{127 \times 2.5} = 4.71 \text{ mm}^2$$

De la tabla 7.1 el calibre del conductor para esta sección es el número 10 A.W.G. el cual tiene una sección transversal de 5.26 mm^2 . Calculando la caída de tensión "real" tenemos que:

$$e = \frac{4LI}{S \times E} = \frac{4 \times 50 \times 7.48}{5.26 \times 127} = 2.23\%$$

El valor de $e = 2.23\%$ es menor que el valor máximo permitido de 3% por lo que el conductor calibre 10 A.W.G. SI ES ADECUADO.

Solución Final:

El conductor adecuado para alimentar el circuito de este ejemplo es de calibre 10 A.W.G. el cual según la tabla 7.3 puede conducir una corriente de 30 amperes y para alimentar las 19 lámparas de 40 watts en una longitud de 50 m. nos daría una caída de tensión (e) de 2.23% .

Es importante destacar, como se puede apreciar en este ejemplo, que no basta con calcular el conductor por capacidad de corriente sino que es necesario que también sea calculado por caída de tensión y cumplir así con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.

CAPITULO VIII

MEDIOS DE SOPORTE Y PROTECCION DE LOS CONDUCTORES

VIII.1 Medios de canalización.

Definición de canalización.

Es el medio o los medios que se usan para alojar a los conductores de una instalación eléctrica y que son diseñados, construidos y utilizados solamente para tal fin. Las canalizaciones pueden ser de metal o de cualquier otro material aprobado.

El objetivo de las canalizaciones es proporcionar un medio de soporte a los conductores, así como protección contra daño mecánico y efectos nocivos del medio ambiente.

En general las canalizaciones deben diseñarse y construirse en tal forma que aseguren una protección mecánica adecuada y confiable para los conductores contenidos en ellas y deben tener la resistencia mecánica suficiente para soportar, sin cambio en sus características físicas originales, los esfuerzos que puedan producirse durante su almacenamiento, transporte o su instalación.

Las canalizaciones, cajas y demás accesorios que no estén hechos de material resistente a la corrosión, como es el caso de canaliza-

ciones metálicas, deben protegerse interior y exteriormente por medio de galvanizado o con un material resistente a efectos corrosivos, como pintura, barniz o plástico apropiados.

VIII.2 Características Generales de las Canalizaciones.

Las canalizaciones metálicas así como sus conexiones a cajas, accesorios, gabinetes y similares, deben tener una continuidad eléctrica efectiva a lo largo de todo el sistema de canalización, además deben conectarse firmemente a tierra.

Por otra parte las canalizaciones y cubiertas de conductores deben ser continuas de caja a caja o de accesorio a accesorio.

Al instalarse conductores en una canalización debe haber suficiente espacio libre, que permita la disipación del calor generado y una fácil instalación y remoción de los mismos conductores.

Las canalizaciones no deben alojar conductores de diferentes sistemas (220/127.5V VS 440V, corriente directa con corriente alterna, de frecuencias diferentes, comunicación con alumbrado y fuerza, etc.).

METODOS DE CANALIZACION REGLAMENTADOS

VIII.3 Instalación Visible sobre aisladores.

Esta definición se aplica a las instalaciones visibles con conductores aislados unipolares, soportadas por aisladores. Este tipo de instalación puede utilizarse en el interior o exterior del edificio en lugares secos y en lugares húmedos.

La instalación visible sobre aisladores no debe usarse:

- 1) En estacionamientos comerciales
- 2) En teatros, cines, salas de reunión y locales similares
- 3) En estudios de cine
- 4) En cubos de elevadores

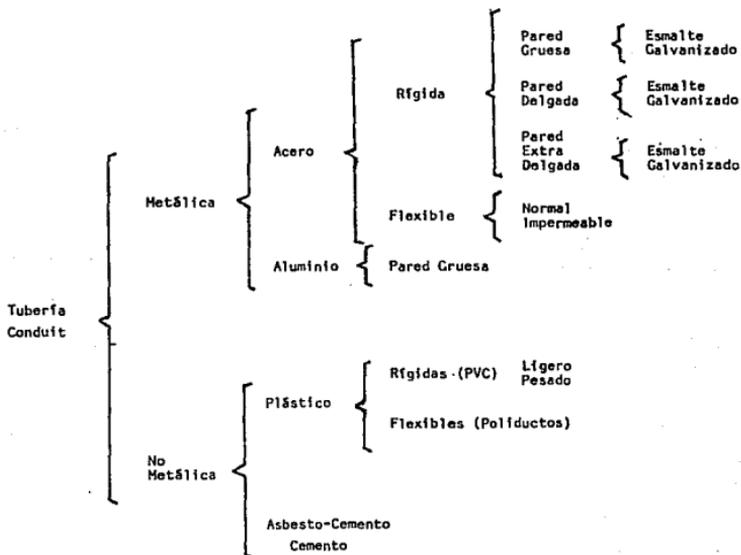
Los conductores que se utilicen en este tipo de instalaciones deben estar sujetos rígidamente sobre soportes de material aislante, incombustible y no absorbente los conductores no deben estar en contacto con otros objetos que no sean sus soportes aislantes o tubos protectores (contra daño mecánico). Solamente deben usarse conductores aislados unipolares y para determinar la capacidad de corriente de éstos, debe aplicarse la tabla 7.3

VIII.4 Canalización con Tubería Conduit

La tubería conduit es un tipo de tubería diseñada y fabricada especialmente para alojar conductores por lo tanto su superficie interior debe ser adecuada y debe permitir dobleces.

A continuación se muestran los tipos de tuberías conduit que hay en el mercado.

Tipos de tubería Conduit.



VIII.5 Tubería Conduit Metálica.

El uso de la tubería conduit metálica nos ofrece las siguientes ventajas:

- 1) Protección contra corrosión
- 2) Protección efectiva contra daño mecánico
- 3) Continuidad eléctrica a lo largo de la canalización
- 4) Mejor apariencia eléctrica

La sección transversal del tubo conduit debe ser circular y no debe usarse tubo metálico rígido de diámetro inferior a 13 milímetros - (½ pulgada).

La superficie interior del tubo 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.

VIII.5.1 Tubo 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 extremos. Los conectores para este tipo de tubería son roscados. El tipo de herramienta que se

utiliza 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 ($\frac{1}{2}$ pulgada) a 152.4 mm (6 pulgadas).

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, siempre y cuando se proteja con el recubrimiento adecuado para las condiciones más severas en que pudiera estar trabajando.

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.

VIII.5.2 Tubo conduit metálico de pared delgada.

A este tubo se le conoce también como tubo metálico rígido ligero, puede usarse en instalaciones visibles u ocultas embebido en concreto o embutido en mampostería, pero solamente en lugares de ambiente seco, no expuestos a la humedad o a un ambiente corrosivo. Su uso

no está permitido en lugares que durante su instalación, o después de ésta, esté expuesto a daño mecánico. Tampoco se debe usar directamente enterrado o en lugares húmedos o mojados, así como en lugares clasificados como peligrosos. Las uniones en este caso se hacen mediante coples.

El diámetro máximo recomendable para estos tubos es de 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.

Toda la tubería metálica rígida debe fijarse firmemente cuando menos cada 3 metros y a no menor de 90 centímetros de cada caja, gabinete o accesorio. Cuando el tubo entre a una caja, ducto o gabinete, debe colocarse un monitor o boquilla que evite raspaduras en el aislamiento de los conductores, a menos que, en el caso de una caja, la construcción propia de la misma, ofrezca una protección equivalente.

VIII.5.3 Tubo metálico flexible.

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

Para su aplicación se puede usar en lugares secos donde no esté expuesto a corrosión o daño mecánico; puede instalarse embutido en muros de ladrillo, bloques o similares, así como ranuras en concreto, siempre que no esté expuesto a la acción permanente de la humedad.

No se debe instalar en lugares en donde se encuentre directamente enterrado o embebido en concreto. Tampoco se debe usar en lugares clasificados como peligrosos, salas de baterías y acumuladores, ni cuando los conductores (con forro de hule) que aloje el tubo queden expuestos a gasolina, aceites u otras sustancias que tengan efecto destructor sobre su aislamiento.

Su uso se acentúa en las instalaciones de tipo industrial como último tramo para conexión de motores eléctricos.

En el uso de tubo flexible el acoplamiento a cajas, ductos y gabinetes se debe hacer usando los accesorios apropiados para tal objeto.

VIII.6 Tubería Conduit no Metálica.

La sección transversal de los tubos debe ser circular. No debe utilizarse tubo, de diámetro inferior a 13 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada).

La superficie interior del tubo debe ser lisa para evitar que se dañe el aislamiento o la cubierta de los conductores.

Los extremos de tubo deben quedar libres de bordes cortantes. Cuando el tubo entre en una caja o gabinete, debe colocarse un monjor o boquilla que evite raspaduras en el aislamiento de los conductores, a menos que, en el caso de la caja, la construcción propia de la misma ofrezca una protección equivalente.

En canalizaciones con tubo no metálico debe instalarse un conductor adicional a los conductores del circuito, para la conexión a tierra de las partes metálicas de todos los aparatos que así lo requieran.

VIII.6.1 Tubería de Polietileno.

El tubo conduit de polietileno se identifica por el color anaranjado. Este tipo de tubo sólo puede usarse para tensiones de operación hasta de 150 volts a tierra y en las condiciones siguientes:

- a) Embebido en concreto o embutido en muros, pisos y techos.
- b) Enterrado a una profundidad no menor de 0.50 metros, a menos que se proteja con un recubrimiento de concreto de 5 cm de espesor como mínimo.

El tubo de polietileno no puede usarse en las condiciones siguientes:

- a) Oculto por plafones, en techos
- b) Oculto en cubos de edificio (para alimentadores verticales)

- c) En instalaciones visibles.

VIII.6.2 Tubo Rígido de PVC.

El tubo conduit rígido de PVC (Policloruro de vinilo) se identifica por el color verde olivo. Este tipo de tubo puede usarse en las condiciones siguientes:

- a) En instalaciones ocultas.
- b) En instalaciones visibles, siempre que el tubo no esté expuesto a daño mecánico.
- c) En lugares expuestos a los agentes químicos específicos para los cuales el tubo y sus accesorios son especialmente resistentes.
- d) En locales húmedos o mojados, tales como partes de lecherías, lavanderías, empacadoras de alimentos, etc.
- e) Enterrado a una profundidad no menor de 0.50 metros, a menos que se proteja con un recubrimiento de 5 cm. de espesor como mínimo.

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

- a) En áreas y locales clasificados como peligrosos.
- b) En teatros, cines y locales similares, salvo en el caso de en que las condiciones de humedad y corrosión no permita la instalación de tubo metálico y para lo cual se podrá instalar el tubo de PVC siempre que éste quede embutido en concreto o mampostería a una profundidad no menor de 4 centímetros.
- c) para soportar luminarios y otros equipos.

d) Donde esté expuesto a temperaturas mayores de 70° C (tomando en consideración tanto la temperatura ambiente del local como la de operación de los conductores).

VIII.7 Condiciones de Diseño para tubería Conduit.

Todas las tuberías conduit no deben tener un diámetro nominal inferior a 13 milímetros, excepto en el caso del tubo conduit flexible en el cual (en algunos casos) se permite un diámetro nominal de 9.5 milímetros (3/8 de pulgada).

Todos los conductores, sean portadores de corriente o no, incluyendo su aislamiento y otros forros, no deben ocupar más del 40% de la sección transversal del tubo en el caso de 3 conductores o más; no más del 30% cuando sean 2 conductores y no más del 55% cuando se trate de un solo conductor.

Las trayectorias de las tuberías en instalación oculta deben ser lo más cortas posibles mientras que en instalación aparente se recomienda que las trayectorias sean paralelas a ejes estructurales.

VIII.8 Cajas de Conexiones.

Considerando que los conductores deben ser continuos en el interior de las tuberías, las cajas de conexiones son elementos que se usan para efectuar conexiones y para las salidas en canalización en tubo.

El fin de las cajas de conexiones es permitir efectuar las conexiones de utilización, las conexiones de cables y permitirnos una mayor docilidad al cablear.

Las cajas de salida utilizadas en instalaciones ocultas deben tener una profundidad interior de por lo menos 33 milímetros, excepto en los casos en que esto resulte perjudicial para la resistencia del edificio o - que la instalación de dichas cajas sea impracticable, en cuyos casos pueden utilizarse cajas de profundidad menor, pero, en todo caso, no menor de 13 milímetros de profundidad interior.

Se recomienda que en una confluencia de canalización con tubos rígidos que contengan conductores de calibre No. 6 (13.30 mm^2) o mayores se utilice una caja de longitud mínima igual a 8 veces el diámetro nominal del tubo de mayor diámetro.

Todas las cajas de conexiones deben estar provistas de tapas - adecuadas, de acuerdo con la forma y material de las mismas cajas.

Los conductores que se alojen en una caja, incluyendo los aislamientos, empalmes y vueltas que se hagan en su interior, no deben ocupar más del 60% del espacio interior de la caja o del espacio libre que - dejen los dispositivos o accesorios que se instalen en ella.

Todos los apagadores y salidas para lámparas se deben encontrar alojados en cajas y en forma similar los contactos.

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 ($\frac{1}{2}$ pulgada).

las cajas tipo condulets son cajas de conexión especiales, para -

su cierre hermético se tienen empaques y tapas especiales para que, en partes húmedas a la intemperie o bien en ambientes explosivos no entren al interior de las canalizaciones elementos extraños y perjudiciales para las instalaciones eléctricas tales como agua, polvo, gases, productos inflamables o potencialmente explosivos.

En industrias químicas en que se tienen productos más inflamables y potencialmente explosivos y en las industrias petroquímicas, las de metales ligeros, las de plásticos y en general en toda industria en donde las áreas son de peligro constante es de imperiosa necesidad el uso de cajas de conexión tipo condulets.

Los condulets se fabrican en tres tipos distintos, principalmente:

- Ordinario
- A prueba de polvo y vapor
- 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.

VIII.9 Canalización a base de ductos metálicos.

VIII.9.1 Ductos metálicos con tapa.

Se denomina de esta manera a los ductos metálicos de sección cuadrada o rectangular, provistos de tapa embisagrada o desmontable, destinados a contener y a proteger a los conductores, los cuales se colocan dentro del ducto después de que éste ha sido totalmente instalado.

Se encuentran en el mercado en dimensiones de 6.5 x 6.5, 10 x 10, 15 x 15 y en tramos de longitud de 1.5 m. Su uso se ejemplifica en la fig. 8.1

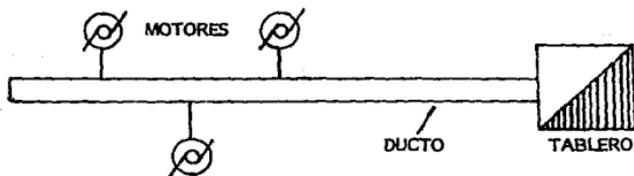


Fig. 8.1

Los ductos metálicos con tapa pueden usarse únicamente como canalizaciones visibles en lugares secos. Cuando se instalen expuestos a la intemperie su construcción debe ser a prueba de lluvia.

Este tipo de ductos no puede utilizarse en las siguientes condiciones:

- a) Cuando estén sujetos a daño mecánico severo.
- b) Cuando estén sometidos a vapores o gases corrosivos.
- c) En lugares clasificados como peligrosos.

Los ductos metálicos con tapa no deben alojar más de 30 conductores portadores de corriente, debiéndose aplicar los factores de corrección por agrupamiento. Para la aplicación de este requisito, los conductores de circuitos de control y señalización tales como los de estaciones de botones, lámparas, piloto, etc. y los de puesta a tierra, no se consideran como conductores portadores de corriente. Cuando los conductores ocupen el 20% o menos de la sección transversal del ducto, no se requieren aplicar los factores por agrupamiento que se señalan en la tabla 7.4

Se pueden hacer empalmes y derivaciones dentro de los ductos metálicos con tapa, siempre que éstos queden accesibles. En este caso los conductores con empalmes y las derivaciones no deben ocupar más del 75% del área del interior del ducto en los puntos de empalme.

VIII.9.2 Electroducto.

Este término se aplica a los ductos con barras, consistentes de un ducto metálico total y parcialmente cerrado en cuyo interior, se alojan barras conductores separados entre sí y sujetos por soportes aislantes, estos ductos con barras se usan principalmente como alimenta-

dores.

Los electroductos pueden utilizarse únicamente en instalaciones visibles en locales secos. Cuando se instalen expuestos a la intemperie o en lugares húmedos o mojados, deben estar aprobados específicamente para estas condiciones.

Por reglamento el electroducto no debe instalarse en los siguientes casos:

- a) Cuando estén sujetos a daño severo
- b) Cuando estén sometidos a vapores o gases corrosivos
- c) En áreas clasificadas como peligrosas
- d) En cubos de ascensores.

Las derivaciones desde los ductos con barras pueden hacerse utilizando el propio ducto con barras, tubo metálico rígido, tubo metálico flexible, ducto metálico con tapa, cable con cubierta metálica flexible o cordón adecuado de uso rudo para equipo portátil o equipo fijo que requiera removerse frecuentemente.

El electroducto generalmente se utiliza para alimentar grandes cargas, ejemplo (fig. 8.2)

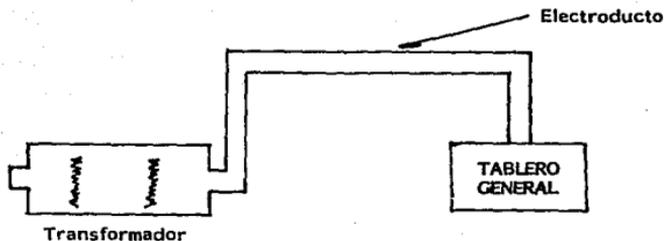


Fig. 8.2

Ventajas en el uso del electroducto:

- a) Baja impedancia
- b) Resistencia mecánica
- c) Resistencia a corrientes de corto circuito
- d) Facilidad de instalación.

VIII.10 Charolas para Cables.

Se les otorga este nombre a todas las estructuras rígidas y continuas especialmente construidas para soportar cables, tales como charolas, canales, escalerillas y estructuras similares, las cuales pueden ser de metal o de otros materiales **no combustibles**.

Las charolas para cables pueden usarse para soportar cables de

fuerza, alumbrado, control y señalización, que tengan aislamiento y cubierta aprobados para este tipo de instalación, en locales construidos de materiales incombustibles o resistentes al fuego. Las charolas también pueden usarse para soportar tubos u otras canalizaciones.

Las charolas no deben instalarse:

- a) En cubos de ascensores
- b) Donde estén expuestos a daño mecánico severo
- c) En lugares peligrosos, a menos que los cables estén específicamente aprobados para tal uso.

Los cables multiconductores que se instalen en charolas deben colocarse en una sola capa. Los cables de un sólo conductor pueden colocarse en dos capas como máximo.

Las charolas deben instalarse como un sistema completo antes de la colocación de los cables. Cuando los cables se deriven fuera de la charola hacia cualquier tipo de canalización deben proveerse soportes para evitar esfuerzos en los cables.

Cuando una charola para cables contenga circuitos de tensiones diferentes, éstos deben separarse mediante una barrera incombustible que se extienda a todo lo largo de la charola o por medio de una distancia adecuada que de protección equivalente.

Para el cálculo de conductores utilizados en charolas se debe hacer uso de los valores "al aire" indicados en la tabla 7.3 del capítulo 7 llamado conductores.

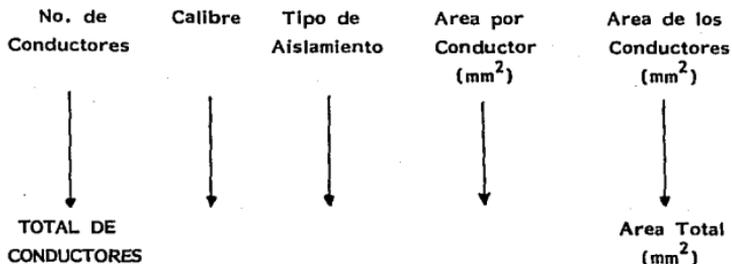
Los anchos de las charolas que se encuentran en el mercado son: 15.2 cm, 22.8 cm, 30.48 cm, 40.64 cm, 40.72 cm, 50.8 cm, 60.96 cm. El ancho se debe elegir en función del número de conductores y del calibre de éstos.

Otro de los factores que se debe considerar al seleccionar, el tipo de charola en el espaciamiento de los travesaños, esto se debe hacer en función del calibre del conductor.

En las partes de la charola donde se requiera una protección adicional contra daño mecánico, deben usarse tapas o cubiertas combustibles que den la protección necesaria.

VIII.11 Cálculo de canalizaciones cerradas.

Para el cálculo del diámetro de la canalización se procede a llenar la siguiente tabla, considerándose todos los circuitos derivados que irán en una misma canalización, así como los conductores que los integran (activos y neutros, de puesta a tierra y de control).



En la columna del tipo de aislamiento se debe indicar que tipo de aislamiento tiene el conductor o si éste es desnudo.

El área por conductor se lee de la tabla 8.4, si el conductor tiene aislamiento cubierta exterior. Si es desnudo se lee de la tabla 7.1.

En la columna correspondiente al área de los conductores se anota la suma del área de los conductores de ese mismo renglón.

El total de conductores es la suma de todos los conductores alojados en la canalización.

El área total es la suma del área de todos los conductores que se encuentran alojados en la canalización.

Con el número total de conductores y el área total obtenida, de

la tabla 8.3 se selecciona el diámetro adecuado de la canalización.

Para el caso de ducto se recomienda consultar el área disponible para conductores en la tabla 8.5

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.	pulg.			40% (para 3 conductores o más)	30% (para 2 conductores)
13	1/2	15.81*	196	78	59
19	3/4	21.30*	356	142	107
25	1	26.50*	552	221	166
32	1 1/4	35.31*	979	392	204
38	1 1/2	41.16*	1 331	532	399
51	2	52.76*	2 186	874	656
63	2 1/2	62.71**	3 088	1 235	926
76	3	77.93**	4 769	1 908	1 431
89	3 1/2	90.12**	6 378	2 551	1 913
102	4	102.26**	8 213	3 285	2 464

TABLA 8.3

* Corresponde al tubo metálico tipo ligero.

** Corresponde al tubo metálico tipo pesado.

Los valores de esta tabla sirven de base para determinar el número máximo de conductores que pueden alojarse en un tubo conduit. Desde el punto de vista práctico estos valores pueden aplicarse en cualquier caso, aun cuando las dimensiones interiores de los distintos tipos de tubos conduit son ligeramente diferentes entre sí.

Dimensiones de conductores con aislamiento de hule y termoplástico

Calibre AWG, MCM	Tipos T, TW y THW ² RHM y RHH ¹ (sin cubierta exterior)		Tipos RHM y RHH (con cubierta exterior)		Tipos THWN y THHN		
	Diámetro mm	Área mm ²	Diámetro* mm	Área mm ²	Diámetro mm	Área mm ²	
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	
A							
L	14	3.3	8.7	-	-	2.7	5.9
A	14	4.1	13.3*	5.2	21.1	-	-
M	12	3.8	11.1	-	-	3.2	7.9
B	12	4.5*	16.2*	5.6	24.7	-	-
R	10	4.3*	14.3	-	-	4.0	12.3
E	10	5.0*	20.1*	6.1	29.7	-	-
S							
C	14	3.6	9.9	-	-	3.0	6.9
	14	4.3*	14.8*	5.4	23.0	-	-
	12	4.0	12.8	-	-	3.4	9.3
	12	4.8*	18.4*	5.9	27.3	-	-
	10	4.6	16.8	-	-	4.3	14.7
	10	5.4*	23.0*	6.5	33.3	-	-
	8	6.2	30.4	-	-	5.6	25.0
	8	7.0*	38.6	8.3	54.5	-	-
A	6	8.2	52.9	10.1	79.8	6.6	34.2
	4	9.4	70.1	11.5	103.5	8.4	55.2
	2	11.0	95.0	13.0	133.3	9.9	77.1
	1/0	13.9	152.7	16.0	200.5	12.5	123.5
	2/0	15.1	179.4	17.1	230.9	13.7	147.6
	3/0	16.4	212.1	18.5	269.3	15.0	176.7
	4/0	17.9	251.8	19.9	312.2	16.4	211.2
B	250	20.0	314.6	22.0	381.8	18.2	261.3
	300	21.4	360.1	23.7	441.1	19.6	302.6
	350	22.7	405.9	25.0	491.6	-	-
	400	23.9	449.6	26.2	539.6	22.1	384.3
	500	26.1	536.5	28.4	634.4	24.3	463.0
	600	29.0	662.0	31.3	770.3	-	-
	750	31.7	790.4	34.0	908.4	-	-
1000	35.7	998.8	37.9	1 130.9	-	-	
1250	40.1	1 260.1	42.6	1 423.3	-	-	
1500	43.2	1 467.8	45.7	1 643.5	-	-	

TABLA 8.4

Notas:

1. El diámetro y el área de la sección transversal de los conductores, que se indican en esta tabla, incluyen el aislamiento y la cubierta, en su caso. Estas dimensiones son aproximadas y permiten calcular el número máximo de conductores que pueden alojarse en una canalización. Sólo se incluyen los conductores más usuales que se instalan en tubos y otras canalizaciones.
 2. Los conductores tipo THW corresponden al de espesor normal de aislamiento; comercialmente este tipo también se encuentra con aislamiento más grueso.
- * Estas dimensiones corresponden a los tipos RHM y RHH sin cubierta.

Tabla para el cálculo de canalizaciones a base de ductos metálicos con tapa.

DIMENSION NOMINAL (mm)	AREA DISPONIBLE PARA CONDUCTORES EN DUCTO (mm ²)	
	40%	20%
65 x 65	1690	845
100 x 100	4000	2000
150 x 150	9000	4500

Tabla 8.5

En ductos cuadrados sólo se pueden instalar hasta 30 conductores, sin contar los hilos de control ni tampoco los conductores de puesta a tierra.

Cuando los conductores ocupen el 20% o menos de la sección transversal del ducto, no se requieren aplicar los factores por agrupamiento que se señalan en la tabla 7.4

CAPITULO IX

FALLAS ELECTRICAS Y MEDIOS DE PROTECCION

En este capítulo se tratará lo relacionado con situaciones anormales o fallas que pueden provocar daños en elementos de la instalación, interrupciones del servicio, aún más importante, poner en peligro la integridad de las personas que operan la instalación o que desarrollan su trabajo en la proximidad de ésta. Asimismo se describirán las protecciones que deben existir para evitar los efectos de estas fallas o eventos peligrosos, incluyendo el fenómeno de cortocircuito.

Se entiende que una instalación está razonablemente protegida - si cuenta con un sistema coordinado de elementos que desempeñe las siguientes funciones: evitar situaciones peligrosas para las personas, - minimizar los daños provocados por condiciones anormales y aislar la zona donde aparece la falla de tal forma que el resto de la instalación - continúe operando en las mejores condiciones posibles.

Aunque no es posible construir una instalación eléctrica totalmente a prueba de fallas, vale la pena dedicar tiempo y esfuerzo al análisis de las fallas más probables y a diseñar cuidadosamente el sistema de protecciones.

CAUSAS DE FALLAS

Existen diferentes causas por las que se pueden ocasionar fallas en la instalación; fallas que pueden poner en peligro a las perso-

nas y a los elementos de la misma instalación. Estas causas son las siguientes:

- a) Voltajes Peligrosos
- b) Cortocircuito
- c) Sobrecargas
- d) Falsos Contactos
- e) Uso Inadecuado de la energía eléctrica
- f) Inversión en la secuencia de fases

A continuación se trata con detalle cada una de las causas mencionadas.

IX.1 Voltajes Peligrosos.

Se entiende por voltajes peligrosos aquéllos que surjan en determinadas condiciones y que ponen en peligro vidas humanas e instalaciones. Los voltajes peligrosos son ocasionados por diferentes motivos.

- a) Sobrevoltajes de origen atmosférico

Las descargas atmosféricas se producen por la presencia de nubes, que debido a la fricción del aire con pequeñas gotas de agua se cargan negativamente. Al mismo tiempo esto provoca que se acumule carga positiva en la superficie terrestre y cuando el gradiente entre -

las cargas se vuelven suficientemente grandes, surge la descarga que, por lo general, empieza en la nube. La magnitud de los voltajes de -descarga es tan alta (millones de volts) que deben tomarse medidas pa -ra neutralizarlos para evitar que viajen por estructuras, edificios, ins -talaciones y equipos eléctricos.

La falta de elementos conductores para canalizar estas descargas a tierra (sistema de pararrayos) puede provocar daños importan -tes a estructuras o equipos.

Debido a las descompensaciones bruscas de los campos eléctricos y por otro lado al fenómeno de inducción electromagnética que sur -ge por el desplazamiento de gran cantidad de carga eléctrica, también pueden verse afectadas las instalaciones próximas. En los conductores de control y comunicación pueden provocar ruidos muy altos que oca -sionen descomposturas u operaciones erróneas.

b) Voltajes peligrosos por falla de aislamiento.

El aislamiento del equipo eléctrico puede fallar por envejecimien -to, por daños mecánicos (esfuerzos o vibraciones), o por la combina -ción de ambos factores, y provocar que partes metálicas normalmente -desenergizadas se vean expuestas a voltajes peligrosos. Precisamente -por esta razón las estructuras y armazones metálicos deben estar conec -tados a tierra, con lo que en el caso de que se energicen, se elimine el peligro para las personas y se disparen las protecciones que desco -

necten los equipos correspondientes.

c) Voltajes Provocados por fricción.

Existen materiales que friccionados entre sí se cargan con electricidad. Así, algunos cuerpos o elementos de maquinaria pueden cargarse electrostáticamente, y al descargarse lastimar a personas, provocar incendios o dañar otros equipos.

Las cargas electrostáticas pueden aparecer por la fricción con el viento en vehículos, en naves aéreas o cuerpos en movimiento. En todos los casos se requiere de una conexión a tierra para descargarlos. En los carros tanque siempre debe haber una preparación para conectarse a tierra de manera permanente.

d) Ondas de Voltaje en sistemas de tierra.

Cuando una onda de voltaje circula por un conductor de cierta impedancia característica y llega a un punto donde concurren varias admitancias, se divide de manera precisa entre las líneas que se unen en dicho punto. Entonces la onda de voltaje (incidente) de una descarga atmosférica puede originar tres ondas de voltaje: una de paso que viaja hacia tierra, otra de regreso, y por último se produce una onda de rebote que pasa por la conexión a tierra de algún equipo conectado al mismo sistema y que se dirige hacia una tierra remota.

Esta figura permite entender mejor este fenómeno. En la siguiente

te figura (9.1) aparece el diagrama explicativo del arreglo mencionado.

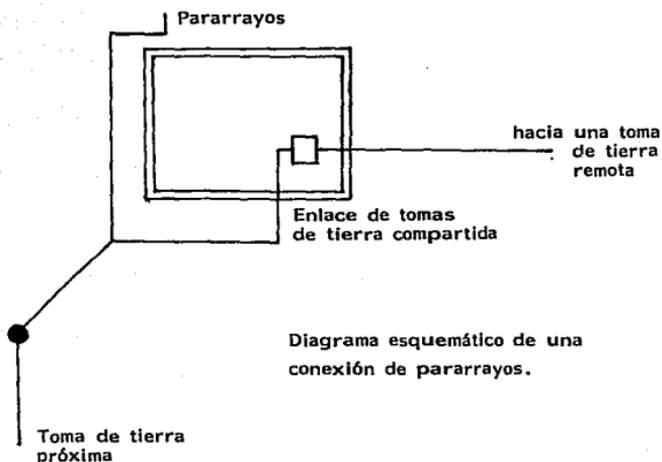
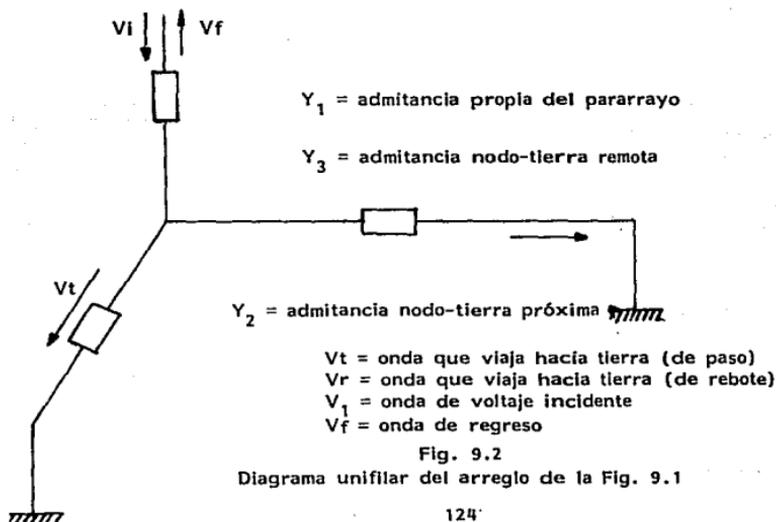


Fig. 9.1



Por esta razón no es recomendable que los equipos electrónicos delicados (computadoras, conmutadores y otros) compartan la toma de tierra con el sistema de pararrayos o con tableros, equipos, maquinaria y subestaciones donde pueden circular corrientes muy altas.

e) Voltaje de paso.

Se entiende por voltaje de paso el potencial entre dos puntos - separados por la distancia equivalente a un paso humano, que puede darse en el suelo próximo o una toma de tierra por donde circula una corriente de falla. Para entender este concepto se recomienda revisar el capítulo XI correspondiente a sistemas de tierra.

Una toma de tierra está caracterizada por cierta resistencia respecto al globo terráqueo. Si se trata de una sola varilla de tierra, la resistencia de las capas concéntricas que la rodean disminuye conforme se aleja de la varilla, y a cierta distancia pueden empezar a despreciarse.

En caso de una falla a tierra la fuente de voltaje queda directamente conectada a la toma de tierra. El voltaje entre esta toma y la tierra que la rodea (o una tierra remota) es $V = RI$, donde: "V" es el voltaje de falla a tierra; R es la resistencia a la tierra, e I es la corriente.

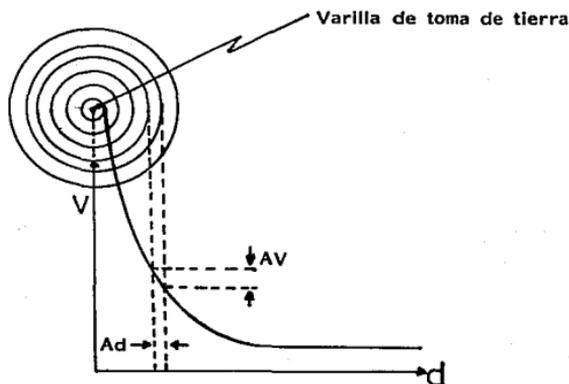


Fig. 9.3 Distribución del voltaje de paso

Entonces la caída de potencial que surge entre la varilla y la tierra se puede representar por círculos equipotenciales cuyo centro es la toma de tierra.

En la figura 9.3 se representa una toma de tierra con una varilla vista de planta, a la que se aplica un voltaje "Vo". También se muestran las líneas concéntricas equipotenciales a distancias equivalentes al paso de una persona. En la parte inferior de la figura se presenta la curva de distribución que tiene el voltaje en la superficie de la tierra (para suelo homogéneo). Se puede ver que para cada paso dado sobre un radio de los círculos equipotenciales, representado por la distancia "Ad", corresponde una diferencia de potencial eléctrica representada por AV, que disminuye a medida que el paso se aleja de la va

rilla.

Por esta razón, en las instalaciones de subestaciones de alto - voltaje o plantas generadoras el sistema de tierras es un emparrillado cuyos claros y profundidad de colocación deben calcularse cuidadosamente. Además se colocan pisos especiales, los operarios calzan botas aislantes, y se restringe el acceso.

IX.2 Cortocircuito.

Los cortos circuitos son debidos a conexiones francas entre los conductores de un alimentador o circuito derivado y sus efectos pueden ser devastadores. Las causas son: fallas de aislamiento, errores de operación, ondas de voltaje peligrosas, deficiencias en el mantenimiento, vandalismo, agentes naturales (viento, roedores, pájaros, ramas de árboles) y contaminación, entre otros.

Quando ocurre un cortocircuito se presenta una sobrecorriente, la sobrecorriente de cortocircuito puede ser cientos de veces mayor - que la corriente nominal de operación. Una falla de alto nivel puede - ser de 60 000 amperes o mayor. Si no se interrumpe en el rango de - unas fracciones de segundo el daño destructivo puede ser de alta seve- ridad para el aislamiento, fusión de los conductores, vaporización del metal, ionización de gases, arcos e incendios. Simultáneamente las co- rrientes de cortocircuito de alto nivel pueden hacer perforaciones por las fuerzas de los campos magnéticos. Las fuerzas magnéticas entre las

barras y otros conductores pueden ser de cientos de kilogramos por metro lineal, lo que puede originar explosiones en los tableros y grandes daños en el equipo, con riesgos enormes para el personal que los opera o que se encuentra cerca al ocurrir la falla.

IX.3 Sobrecargas.

El término sobrecarga es muy general y puede aplicarse a cualquier variable física. En electricidad se entiende que se trata de corrientes que exceden el valor nominal correspondiente. El origen de las sobrecargas es una demanda de potencia mayor que la nominal, o alguna deficiencia en la instalación.

a) Sobredemanda de Potencia.

La demanda de mayor potencia, en el mejor de los casos, sucede bajo el conocimiento del personal de operación. Puede ocurrir por exceso de unidades alimentadas en una salida, equipos de mayor potencia que la prevista, regímenes de trabajo más intensos, arranques muy frecuentes, y en general toda condición que requiera mayor potencia que la de diseño.

b) Sobrecargas por deficiencias en la instalación.

La fricción interna de un motor puede aumentar por cualquiera de las causas siguientes: una chumacera (rodamiento) en mal estado o con lubricación defectuosa; una pieza suelta; un objeto extraño que se

aloje en el entrehierro; la acumulación de suciedad; o cualquier causa que produzca un desbalanceo. Esto se traduce en un aumento del par y aparece una sobrecarga.

c) Falsos Contactos.

Toda unión entre metales que constituye la vía de una corriente eléctrica está caracterizada por una resistencia de contacto. Esta resistencia depende de la forma y material del contacto, de la oxidación y del acabado, pero siempre es inversamente proporcional a la presión aplicada a los contactos para mantenerlos unidos.

Una gran parte de las fallas en las instalaciones se producen por falsos contactos. Si por alguna razón se produce la presión, vibración, resorte sin brfo (por uso o mal mantenimiento), disminución de la elasticidad del material (por calentamiento); entonces aumenta la resistencia del contacto y debido al efecto Joule la temperatura de la unión aumenta. El calor puede propagarse a través de los conductores y carbonizar los aislamientos, con lo que puede provocarse una falla o fundirse el conductor o interrumpir la vía de corriente.

IX.4 Uso Inadecuado de la Energía Eléctrica.

El mal uso de la electricidad puede tener consecuencias importantes.

A continuación se mencionan algunas de las formas más comunes

a que se hace uso inadecuado de la energía eléctrica.

a) Eliminación de Protecciones.

Una protección que se dispara frecuentemente no debe sustituirse por una de mayor capacidad, ya que puede tratarse de una sobrecarga permanente. Entonces se debe recurrir al proyecto para determinar si la protección fue calculada correctamente. Una situación más peligrosa se presenta cuando por falta de repuestos se coloca un puente conductor que elimina la protección (ya sea fusible o interruptor). Este recurso sólo debe utilizarse en forma temporal y bajo vigilancia constante. La eliminación de una protección representa un grave peligro, ya que una falla puede provocar daños importantes y consecuentemente interrupciones del servicio.

b) Uso inadecuado de extensiones.

Las extensiones son elementos muy útiles, pero no deben usarse indiscriminadamente. Básicamente deben utilizarse para cubrir necesidades temporales y debe vigilarse que no se sobrecarguen por lo que se conecten varios equipos en forma permanente o se sobrecalienten por falsos contactos.

Puede darse la situación de una extensión sobrecargada, cuyo alimentador no lo esté por lo que las protecciones no detectan la situación anormal. Esto puede producir un sobrecalentamiento local que se convierta en un cortocircuito o en un incendio. Por estas razones debe evitarse que las extensiones estén ocultas, sobre todo detrás de mate-

riales combustibles.

c) Operación y Mantenimiento deficientes.

En general todos los errores de operación y el mal mantenimiento de las instalaciones pueden provocar fallas, por lo que se debe analizar cuáles son los posibles errores humanos que pueden provocar daños e instalar las protecciones correspondientes para evitarlos.

IX.5 Inversión de la secuencia de fases.

Cuando se habla de un sistema trifásico se refiere a ellas como A, B y C, que se escogen de forma arbitraria. Sin embargo, una vez definida esta secuencia es importante conservarla en toda la instalación, ya que implica que los motores trifásicos giren en cierta dirección.

Un cambio en la secuencia de fases (intercambiar dos entre sí) provoca un cambio del sentido de giro que puede producir daños importantes en máquinas como bombas, grúas, malacates, compresores y en todos los motores con restricciones en el sentido de rotación.

IX.6 Medidas de Seguridad.

Antes de ver los dispositivos de protección más comunes es importante describir los elementos y las medidas preventivas que deben

considerarse para evitar el peligro, canalizar a tierra voltajes y corrientes peligrosas y limitar los daños.

IX.6.1 Conexión a Tierra.

La conexión a tierra de todas las partes metálicas que no deben estar energizadas es una medida elemental de protección para evitar - desgracias personales.

En caso de que el aislamiento de un conductor falle y se establezca una vía de corriente con una parte metálica conectada a tierra, se reduce el voltaje entre el objeto y tierra, y la corriente que fluye hacia tierra provoca la operación del circuito correspondiente.

IX.6.2 Sistema de Pararrayos.

La trayectoria de una descarga atmosférica depende de las con diciones de humedad y contaminación de la atmósfera, de la forma de las nubes, de los objetos que se encuentran en la superficie terrestre, y no siempre de la distancia más corta. Debido a que la concentración de campos eléctricos es mayor en objetos puntilagudos, las descargas - escogen su trayectoria a través de chimeneas, torres o esquinas de es tructuras o edificios. Precisamente por esta razón los pararrayos son barras metálicas colocadas en las partes más altas de los objetos que - se desean proteger.

Las descargas son un fenómeno probabilístico y no se puede predecir por donde viajarán, ni los pararrayos pueden garantizar protección absoluta, aunque sí disminuyen drásticamente la probabilidad de daño.

Debido a las altísimas corrientes que se generan en una descarga atmosférica no existe teoría científicamente comprobada para construir un sistema de pararrayos, sin embargo existen algunos conocimientos empíricos que nos permiten conocer en forma relativamente segura los requisitos que debe cumplir un sistema de pararrayos para proteger adecuadamente a los edificios contra las descargas atmosféricas.

El propósito de un sistema de pararrayos es el de recibir seguramente la descarga atmosférica y conducirla con seguridad hasta que la energía se disipe en tierra. Considerando lo anterior podemos decir que los elementos de un sistema de protección son los siguientes:

.-Receptor. El cual se encuentra constituido por las puntas o electrodos metálicos colocados en la parte superior de los objetos que se desean proteger.

.-Conductor. Constituido por la red de cables.

.-Dispensor. El cual está formado por los electrodos de tierra.

Las recomendaciones que se deben seguir para la construcción de una protección contra descargas atmosféricas en edificios son los siguientes:

- i) Las puntas se deben ubicar en las esquinas y las aristas de los edificios dependiendo de la forma o tipo del techo.
- ii) La altura de las puntas debe ser mayor de 25 cm y menor que 95 cm.
- iii) El espaciamiento (e) entre puntas debe cumplir con lo siguiente:
 - e \geq 6 m para altura de punta menores de 60 cm
 - e \geq 7.62 m para altura de punta de más de 60 cm
 - e \geq 15 m para puntas interiores.

En lo que respecta al espacio de la punta al límite del contorno, éste debe ser de 60 cm (Fig. 9.4).

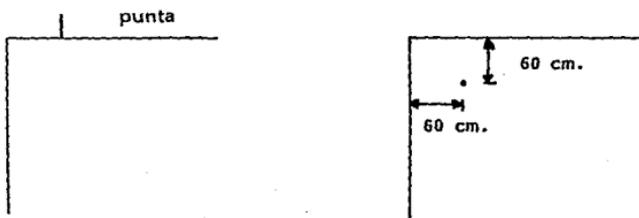
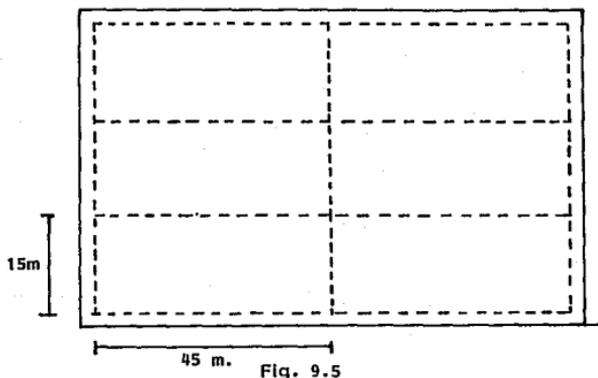


Fig. 9.4

iv) Las trayectorias horizontales de conductores deben cumplir con lo siguiente:

- a) Deben formar una red cerrada que interconecta a las puntas.
- b) El radio de curvatura mínimo en la trayectoria de los conductores debe ser de 20 cm.
- c) Se deben establecer redes interiores cerradas de dimensiones máximas de 15 m x 45 m. (Fig. 9.5).



d) La sujeción de los conductores debe ser a cada 90 cm.

v) Las trayectorias verticales de conductores deben cumplir con lo siguiente:

- a) Su función debe ser conectar la red horizontal a tierra.
 - b) La trayectoria debe ser totalmente vertical y lo más cerca posible a la ubicación de los electrodos de tierra.
- vi). Se recomienda que el calibre de los conductores utilizados en el sistema de pararrayos no sea menor que el más pequeño - usado en la malla principal de tierra.

La conexión a tierra tiene por objetivos primordiales el de permitir que la concentración de cargas previa a la descarga que ocurre en el terreno, tenga acceso a los conductores verticales para fluir hasta las puntas y el de disipar la corriente de la descarga en el terreno.

La cantidad y ubicación de los electrodos de tierra se encuentran en función del perímetro protegido. Se deben considerar cuando menos dos electrodos de tierra para un perímetro de hasta 75 m; para un perímetro mayor se debe tener una tierra adicional para cada 30 m extras de perímetro.

Todos los cuerpos metálicos que puedan recibir una descarga - directa (chimeneas, antenas, gabinetes, etc.) y todos aquellos que se encuentren cercanos al sistema de pararrayos debe conectarse firmemente al propio sistema.

La instalación del sistema de pararrayos debe hacerse en forma

aparente de preferencia, si se decide hacer la instalación oculta se debe utilizar para canalizar los conductores, ducto no metálico.

Los daños que se pueden producir por no instalar pararrayos - en estructuras de concreto armado donde se supone que las varillas - tienen continuidad hasta la cimentación, la descarga puede destruir - secciones, especialmente entre el punto que recibe el impacto del rayo y la estructura metálica más próxima, y el punto de la cimentación por donde tendrá que disiparse la energía del rayo a tierra. Por otra parte, debido a que las varillas de acero estructural sirven de conductores; sufren vibraciones que hacen que en mayor o menor medida se separen de la masa de concreto.

IX.6.3 Distancia mínima de Seguridad.

La distancia mínima de seguridad se refiere a:

- .- Separación entre las líneas de las fases de alta tensión y entre éstas y tierra (estructuras metálicas, postes o árboles, entre otros).
- .- Separación entre cualquier parte metálica expuesta a cierto potencial eléctrico y personas que estén en la proximidad: - colocación de cercas, barreras, muros, cerraduras y avisos.
- .- Por último es importante mencionar la necesidad de respetar cierta distancia entre las líneas de fuerza y circuitos de señalización y control. Las corrientes que circulan en líneas -

de fuerza (corrientes relativamente altas) pueden provocar - que la inducción magnética produzca ruido o inclusive ocasionalmente fallas en líneas cercanas de circuitos de control o señalizaciones (corrientes bajas). Este fenómeno depende de la intensidad de las corrientes de cada circuito, de la distancia de separación y de la calidad del cable que transporta la señal. Por lo general, en baja tensión se recomienda respetar - una separación de 30 cm, pero en casos especiales se puede requerir mucho más.

IX.7 Dispositivos de Protección.

Un dispositivo de protección en su sentido más amplio es aquel que al presentarse una falla abre el circuito eléctrico, para lograr esto se requiere desempeñar dos funciones: detectar o sensar la falla y ejecutar la interrupción.

Los fusibles realizan ambas funciones, y de hecho están constituidos por dos elementos: el sensor, que detecta la situación anormal y envía la señal a través de un enlace (normalmente conductores) y el ejecutor, que consiste en algún tipo de alarma o interruptor.

IX.7.1 Características de un Sistema de Protección.

A continuación se describen las características de una protec-

ción eléctrica adecuada que además debe tener la robustez necesaria - para soportar cambios de temperatura y vibraciones:

- a) **Confiabilidad.** La confiabilidad es la característica más importante, ya que una protección debe ofrecer certidumbre de - que operará siempre que se presenten las condiciones anormales para las que fue diseñada. Esta característica que cumple más fácilmente mientras más sencillos son los mecanismos que detectan e interrumpen la falla.

- b) **Rapidez.** Sería deseable que una protección operara inmediatamente después de que ocurriese la falla; sin embargo, esto no es posible debido a que las señales eléctricas requieren de cierto tiempo para accionar mecanismos que a su vez tardan en desencadenar el efecto de protección deseado. De acuerdo con esto, se establecen los siguientes términos: operación instantánea es aquella que caracteriza a una protección que no tiene retraso voluntario, y operación de tiempo definido que es la que integra cierta variable en el tiempo.

- c) **Selectividad.** La selectividad es una característica que se - atribuye a un sistema de protección en conjunto. Si se supone un sistema eléctrico de configuración radial, cada rama - que parte de la acometida tiene varios elementos de protección; el último es aquel que protege contra una falla en el equipo colocado al final de esa rama.

Una protección selectiva es aquella que, al ocurrir una falla en alguna rama de la instalación, opera para aislar la parte estrictamente necesaria de la rama donde ocurrió la falla. Es decir, opera la protección más cercana a la falla (del lado de la alimentación) conocida como protección primaria.

Entonces se puede decir que la selectividad es la característica del sistema de protección que hace que en caso de falla opere la protección primaria. Si por alguna razón no funciona una protección primaria, debe operar la de respaldo, es decir la que sigue hacia el lado de la alimentación. La función de respaldo se entiende únicamente para los casos de fallas de cortocircuito, ya que la sobrecarga de una derivación puede no ser suficiente como para que opere un respaldo. En caso de que opere la protección de respaldo, deben revisarse las causas y si es necesario modificar la capacidad de la protección primaria.

Es interesante imaginar la situación que se presenta cuando ocurre una falla: todas las protecciones perciben cierta señal de la presencia de ésta, pero su calibración debe ser tal que sólo opere aquella que está más cerca, es decir que debe permitir desconectar la porción del sistema con problemas, con el mínimo posible de disturbios al resto del sistema.

Al conjunto de protecciones calibradas de forma que operen selectivamente se le conoce como sistema coordinado de protecciones.

d) Economía. Un estudio técnico-económico de protecciones debe considerar la inversión necesaria para la instalación y operación del sistema contra el costo de reparación de los posibles daños asociados - más el costo de interrupción del servicio. Entonces un sistema de protección será más sofisticado y caro según el valor de los equipos que protege y la probabilidad de que se produzcan perjuicios.

IX.7.2 Calibración.

La calibración de las protecciones se basa en parámetros obtenidos en la práctica. Si un elemento de protección está calibrado a un valor demasiado sensible, los transitorios o situaciones pasajeras (que no afectan la instalación) pueden ocasionar una señal de disparo que - provoque interrupciones en el servicio. Por otra parte, un elemento de protección mal calibrado o que se descalibra es como si no existiera - en la instalación.

No debe modificarse la calibración de un elemento de protección que se dispara con frecuencia. Deben cuidarse su limpieza y ventilación y encomendar su ajuste a recalibración a técnicos especializados. Tampoco es recomendable sustituir un elemento de protección por otro de mayor capacidad, ya que representaría tanto como eliminar la protección. Se recomienda revisar el proyecto cuidadosamente y definir si la protección está bien calculada.

IX.7.3 Fusibles.

Se puede decir que los fusibles son el elemento de protección más utilizado en las instalaciones eléctricas. En términos sencillos se trata de un conductor con una calibración precisa para fundirse cuando la corriente que circula por él pasa de cierto límite. Entonces los fusibles cubren las funciones del sensor y del interruptor.

El elemento fusible está colocado dentro de una estructura con terminales y bases para su fijación con los aislamientos necesarios, los que limitan el nivel de voltaje. El elemento fusible puede estar rodeado de aire, arena de cuarzo o algún otro material para enfriar los gases del arco y restablecer el medio dieléctrico.

TIEMPO DE FUSION EN SEGUNDOS

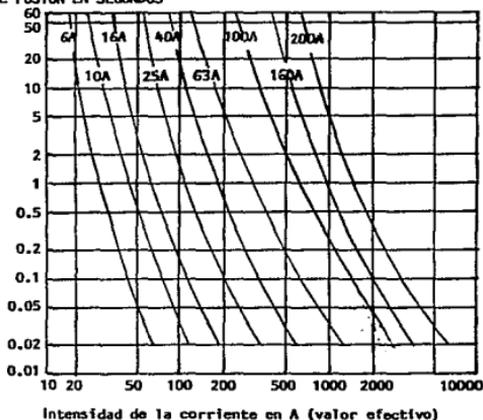


Fig. 9.6

Curvas características de operación de fusibles.

La calibración del fusible se hace en función de las pérdidas de energía por efecto de Joule. La energía que produce la corriente nominal se disipa en el medio ambiente, y la temperatura no afecta las propiedades físicas del fusible. Si la corriente se mantiene durante cierto tiempo por arriba del valor nominal, la temperatura del elemento fusible alcanza su punto de fusión y se abre el circuito. La calibración está hecha para cierta temperatura ambiente, por lo que la falta de ventilación puede modificarla.

Según el diseño y las normas de fabricación cada fusible tiene una curva de operación como la de la Fig. 9.6.

El fusible se utiliza más comúnmente como medio de protección contra cortocircuito que contra sobrecarga. Sin embargo existen los llamados "fusibles limitadores de corriente" que también protegen contra sobrecarga.

Al ocurrir un cortocircuito los fusibles de limitadores de corriente se funden en el primer medio ciclo de la corriente de cortocircuito, mucho antes de alcanzar su valor máximo, logrando reducir notablemente el valor de la potencia aparente a interrumpir.

Los fusibles para baja tensión se construyen en diversas formas; las más comunes son las llamadas tipo tapón y tipo cartucho. El fusible tapón es de potencias de cortocircuito bajas; se fabrica para corrientes nominales hasta 30 a. El tipo cartucho está diseñado para -

potencias de cortocircuito mayores y para corrientes nominales de 30 a 400 amperes. para aumentar la capacidad interruptora se fabrican con varios cambios de sección en forma de Zig-Zag (para aumentar su longitud) o se rellenan de arena.

Los fusibles presentan las siguientes particularidades.

- a) Son de una sola operación, ya que después de haber interrumpido la falla debe reponerse el fusible completo o su elemento conductor.
- b) Son de operación individual ya que sólo interrumpen la corriente en la fase donde sucedió el cortocircuito o la sobrecarga.
- c) Son baratos comparados con otras protecciones.
- d) Tienen un tiempo de operación bastante corto, por lo que resulta difícil coordinarlos con otros dispositivos de protección.
- e) Tienen una potencia de cortocircuito superior a otras protecciones.
- f) Son bastante seguros y difícilmente operan sin causa.

IX.7.4 Interruptores Termomagnéticos.

El interruptor termomagnético se utiliza con mucha frecuencia - debido a que es un dispositivo de construcción compacta que puede realizar funciones de conexión o desconexión, protección contra cortocircuito y contra sobrecarga en instalaciones de baja tensión (hasta - 600 v).

Está constituido por una caja moldeada con terminales y una palanca para su accionamiento. En el interior están los contactos (uno fijo y otro móvil) que tienen una cámara para la extinción del arco. El sistema de disparo trabaja a base de energía almacenada: al operar la palanca para cerrar los contactos, se oprime un resorte donde se almacena la energía; al operar los dispositivos de protección se libera la energía y la fuerza del resorte separa los contactos.

La protección contra sobrecarga está constituida por una barra bimetálica que, dependiendo del valor que tenga la corriente así como del tiempo que se mantenga, provoca el disparo que abre los contactos. Esta misma barra está colocada a cierta distancia de una pieza ferromagnética. Cuando la corriente se eleva a valores muy altos (cortocircuito) se crean fuerzas electromagnéticas de atracción capaces de provocar que los contactos se abran en un tiempo muy corto. De esta manera se logra la protección contra cortocircuito. Estos interruptores - tienen una calibración que sólo el fabricante puede modificar.

La capacidad interruptiva a la potencia máxima de cortocircuito que puede soportar un termomagnético está limitado por:

- a) La separación de los contactos en posición abierta.
- b) El tiempo que tardan en abrirse los contactos y llegar a la separación máxima. Este lapso a su vez depende de las masas en movimiento; de la fricción y de la energía que se almacena en el resorte.
- c) La capacidad de la cámara de extinción para enfriar los gases del arco.

Si la capacidad de cortocircuito se especifica en amperes se entiende que el voltaje de restablecimiento es el voltaje nominal. Si la corriente de cortocircuito sobrepasa la capacidad interruptiva, las paredes de la cámara de extinción no son capaces de enfriar los gases ionizados y la corriente sigue fluyendo. Entonces la energía disipada por el arco por efecto Joule, debida a la resistencia del arco ($R I^2 t$) aumenta súbitamente y en fracciones de segundo los gases aumentan de volumen produciendo una explosión.

Lo mismo sucede si la corriente es menor que la corriente máxima de cortocircuito pero el voltaje de restablecimiento (voltaje que aparece en los contactos abiertos después de la falla) es mayor que su voltaje nominal, ya que este voltaje restablece la corriente después de cada paso por cero y el arco se mantiene.

A pesar de la garantía del fabricante de que sus aparatos cum plen con las especificaciones, se requiere que cada interruptor tenga un respaldo (que debe calibrarse para que dispare fracciones de segun do más tarde) opera y detiene el desarrollo de la energía en el arco del elemento que no pudo interrumpir. Cuando actúa una protección - de respaldo debe revisarse la instalación así como el estado físico del aparato que no operó.

Entonces resulta muy importante la calibración relativa (magnitudes nominales) entre dos elementos de protección en la misma rama. Si el rango de calibración entre ambos es muy amplio, el respaldo pue de considerar pequeña a una falla capaz de destruir el elemento de - protección que no la interrumpió.

El interruptor termomagnético no se utiliza como medio de protección de sobrecarga en motores de inducción jaula de ardilla debido a que la constante térmica de su elemento es relativamente pequeña y puede dispararse con la corriente de arranque de un motor; además la calibración de los interruptores termomagnéticos no cubre toda la escala de corrientes de los diferentes tamaños de motores.

IX.7.5 Relevadores Térmicos o Bimetales.

El relevador térmico es aquél que tiene un elemento sensor de temperatura de tipo bimetalico, constituido por dos láminas de distinto coeficiente de dilatación térmica unidas mecánicamente mediante un pro

ceso de laminación. La circulación de una corriente eléctrica a través del elemento bimetalico o la corriente que fluye en una resistencia enrollada sobre el bimetálico provoca variaciones de temperatura que deforman al bimetálico y accionan un microinterruptor. Estos elementos son poco sensibles a las variaciones de la temperatura ambiente.

La aplicación más importante de los bimetálicos es como sensores de sobrecarga en motores (sobre todo de inducción tipo jaula de ardilla), ya que están sujetos al mismo régimen térmico que los conductores del devanado del motor. Entonces operan cuando una corriente superior a la de calibración permanece durante varios minutos, pero permiten que fluya la corriente de arranque (de 5 a 6 veces la nominal) - sin enviar la señal de disparo y al mismo tiempo arranques y paros frecuentes en intervalos muy cortos si provocan el disparo.

A cada motor de cierta potencia y voltaje corresponde un relevador bimetalico preciso.

IX.7.6 Relevadores Electromagnéticos.

Los relevadores electromagnéticos son elementos sensores que operan por la interacción de flujos electromagnéticos, producidos en diversos núcleos o trayectorias magnéticas por corrientes proporcionales a las corrientes o voltajes de los circuitos que se desea vigilar. La proporcionalidad puede ser: lineal, cuadrática, diferencial, integral o cualquier otra función en el tiempo, que al alcanzar cierto valor hace ope

rar a uno o varios contactos del relevador y se transmite la señal a otro equipo. Normalmente se requieren transformadores de corriente y/o potencial para la señal que recibe el relevador, el cual dispone de varias terminales para corrientes de 0 a 5 amperes.

Los relevadores electromagnéticos más importantes son: de corriente máxima, de protección diferencial, de voltaje, de secuencia de fase, de pérdida de campo, instantáneos y de tiempo.

IX.7.7 Relevadores de presión súbita.

El relevador de presión súbita

El relevador de presión súbita es un sensor mecánico provisto de contactos eléctricos. Básicamente se trata de una válvula de presión (tipo escape) que está colocada entre el depósito de aceite de un transformador y el medio ambiente. Cuando la presión del tanque rebasa el límite permitido se vence la fuerza de un resorte, los contactos cambian de estado y se interrumpe la alimentación eléctrica del transformador.

En caso de una falla incipiente, el aceite reacciona y poco a poco se descompone produciendo gases que aumentan de presión en el depósito. Cuando se llega al valor de calibración, el relevador de presión súbita envía una señal de disparo.

IX.7.8 Interruptores de Potencia.

Un interruptor es un artefacto capaz de abrir circuito eléctrico por el cual está circulando corriente. Se entiende que puede abrir circuitos en condiciones de falla, es decir, corrientes más altas que las nominales. La operación del interruptor es simultánea en las tres fases y la señal de disparo puede surgir de diferentes dispositivos de protección.

Las partes constructivas más importantes de un interruptor son:

Los contactos (fijos, móviles y auxiliares), la cámara de extinción, el mecanismo de operación, el medio de extinción, las partes aislantes que sirven de soporte, las conexiones terminales y la estructura de montaje. Los interruptores se clasifican de acuerdo con:

- .- Nivel de voltaje: alto, medio y bajo.
- .- Medio de extinción: aire, aceite, vacío, hexafluoruro de azufre o algún otro.
- .- Condiciones de instalación: interiores, intemperie o ambientes con peligro de explosión.
- .- Número de fases: monofásico o trifásico.
- .- Tipo de accionamiento: eléctrico, neumático, hidráulico o me

cánico (de energía almacenada a través de resortes).

A continuación se describen algunos de los interruptores:

a) Interruptor de aceite.

Es un equipo voluminoso y costoso que por lo general se utiliza únicamente en sistemas de potencia para protección y maniobras de enlace.

b) Interruptor en pequeño volumen de aceite.

La extinción del arco se logra mediante la inyección de aceite con la presión creada por la composición de moléculas de aceite en el mismo arco.

Se utiliza como medio de protección y desconexión especialmente en voltajes medios (4160 v a 34 Kv). Se acciona eléctricamente con una fuente de alimentación de voltaje.

c) Interruptor en aire para bajo voltaje.

Este equipo está compuesto por: un contactor de aire capaz de interrumpir corrientes de cortocircuito (opera a base de energía almacenada en resortes) tres transformadores de corriente relevadores - 50/51 para la detección de fallas entre cualquiera de las fases y tierra, y relevadores térmicos.

Debido a su costo elevado no es común encontrarlos en instalaciones de tamaño pequeño y mediano.

d) Interruptor con Fusibles.

Este tipo de equipo aprovecha la alta capacidad interruptiva que tienen los fusibles. Se utiliza como medio de desconexión y protección en el primario de transformadores de instalaciones de media tensión. (4160 v hasta 34 Kv)

Está compuesto por unas cuchillas desconectadoras operadas en grupo que están en serie con unos fusibles que son los que protegen contra cortocircuito. Las cuchillas tienen un sistema de resortes que puede ser accionado manualmente o con un motor eléctrico. La energía almacenada cierra o abre las cuchillas en forma segura y rápida.

El disparo o cierre puede controlarse a través de una o dos bobinas y puede instalarse un mecanismo que provoca la apertura de las tres fases en caso de que uno de los fusibles opere. También puede disponerse de cuchillas auxiliares de desgaste que cierran un poco antes y abren al último para evitar el desgaste de los contactos principales en maniobras de conexión y desconexión. Existen diferentes versiones comerciales disponibles de este tipo de interruptor.

e) Interruptor de Seguridad.

Este aparato es similar al interruptor con fusibles; se utiliza en

baja tensión hasta 480 volts y para corrientes de hasta 200 amperes.

Se fabrican para 2 ó 3 fases y su operación es en grupo a través de una palanca. Su empleo típico es como medio de desconexión y de protección después de los medidores para las instalaciones con acometida en bajo voltaje. Por lo general se coloca dentro de una caja metálica y se usa en interiores.

Se utiliza frecuentemente en instalaciones residenciales: el interruptor de seguridad (también llamado de navajas) de 30 amperes alimenta un tablero con interruptores termomagnéticos de menor corriente nominal (15 ó 20 amperes). En algunas ocasiones la falla provoca la operación del fusible aunque esté más lejos de ella que los termomagnéticos. Esto se debe a la diferencia entre las curvas de disparo. Es normal que al ocurrir un cortocircuito opere el fusible, pero en caso de sobrecarga debe operar el termomagnético.

f) Interruptor de tres vías o doble tiro.

Este nombre se asigna a un interruptor tipo navajas de dos a tres posiciones, las cuales permiten tener dos alimentadores alternativos para una carga o desconectar cualquier alimentación. Se utiliza principalmente en la conexión manual de plantas eléctricas de emergencia.

g) Restauradores

El restaurador es un dispositivo autocontrolado capaz de inte-

rrumpir la corriente de cortocircuito y volver a cerrar el circuito después de transcurrido cierto tiempo. Si el cortocircuito persiste, el ciclo se repite un determinado número de veces (tres por lo general). - Es un dispositivo muy útil en las redes de distribución donde por lo general el 75% de las fallas son momentáneas y las interrupciones pueden ser costosas.

CAPITULO X

SISTEMA DE DISTRIBUCION Y SELECCION DE PROTECCIONES

El sistema de distribución como su nombre lo indica, es el sistema que se encarga de distribuir la energía eléctrica en una instalación dada; se encuentra formada por:

- a) Circuitos alimentadores
- b) Centros de distribución (tableros)
- c) Circuitos derivados

En cualquier instalación siempre existen varias opciones para distribuir y se debe buscar siempre resolver adecuadamente la protección y la operación del sistema. En el siguiente ejemplo (Fig. 10.1) se pueden observar diferentes opciones de distribución para un mismo caso.

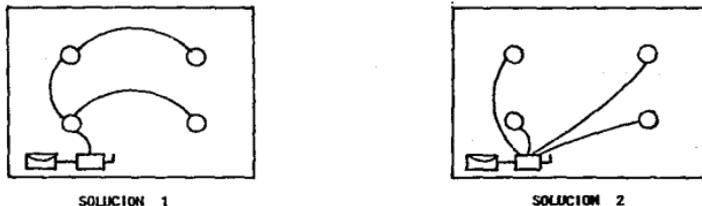
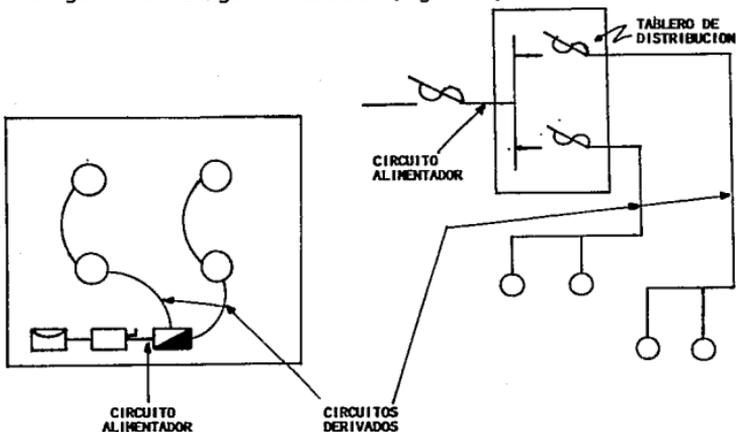


Fig. 10.1

En estas dos soluciones al ocurrir una falla en el sistema, se afectará irremediablemente toda la instalación y la interrupción del ser-

vicio sería total, por este motivo estas soluciones son inadecuadas, sin embargo veamos la siguiente solución (Fig. 10.2).



En este caso la protección y la operación se encuentran separadas por grupos y al existir una falla no se afecta todo el sistema.

En las figuras 10.3, 10.4, 10.5 y 10.6 se muestran sistemas de distribución con diferentes características.

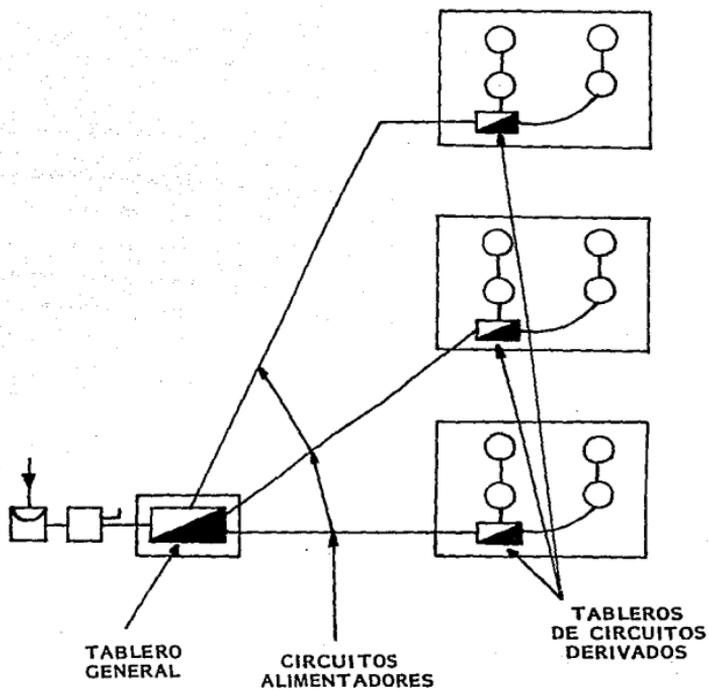


Fig. 10.3

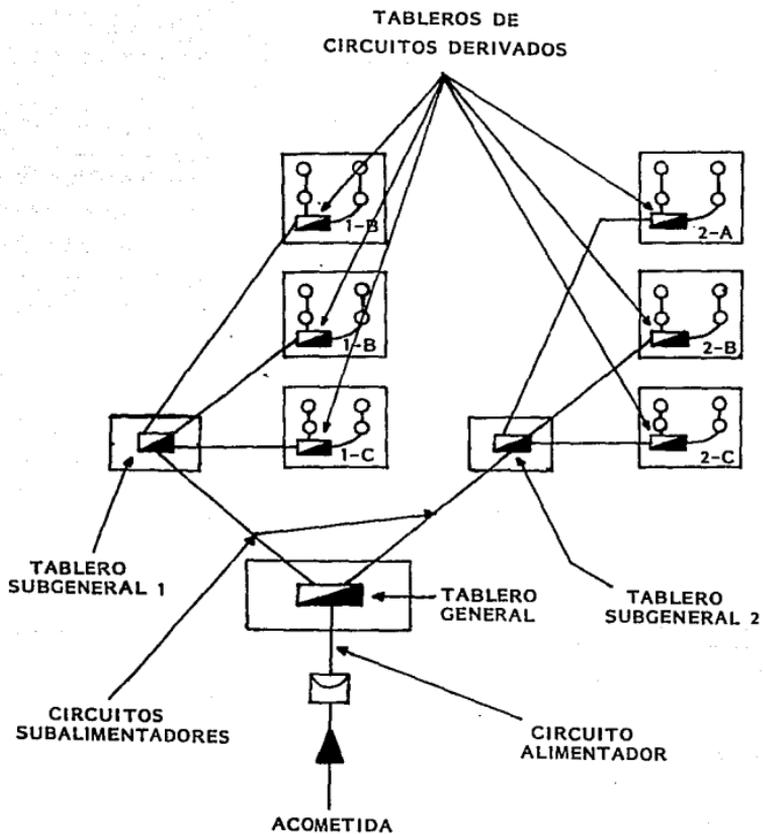


Fig. 10.4

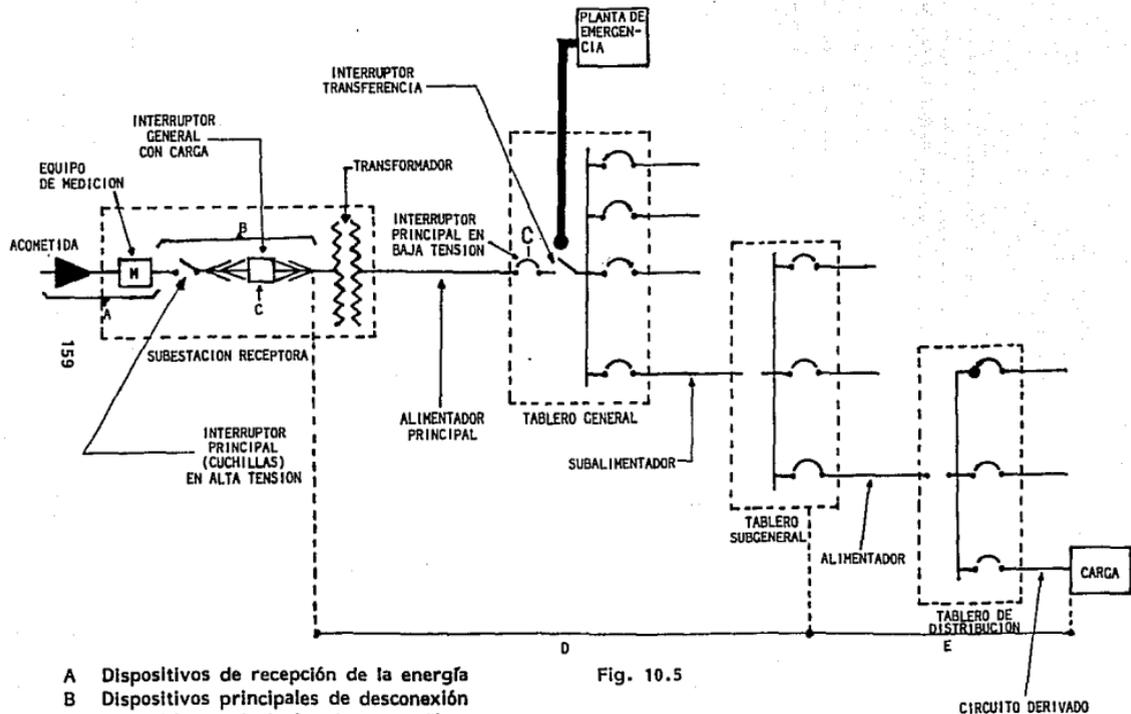
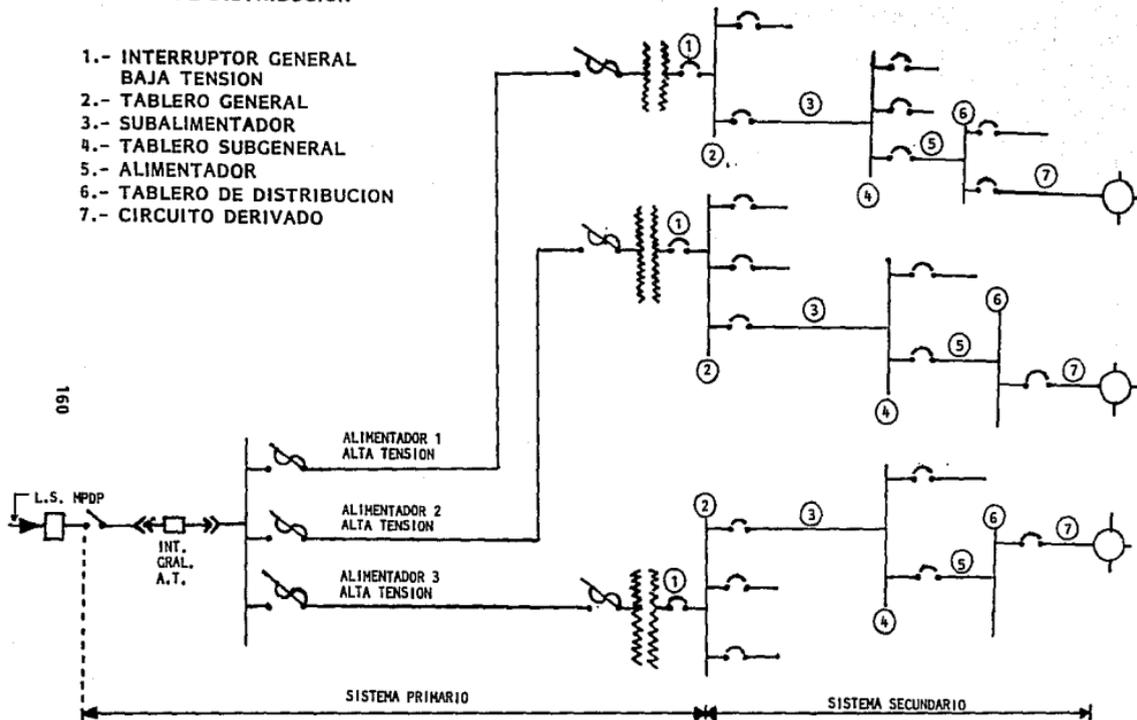


Fig. 10.5

- A Dispositivos de recepción de la energía
- B Dispositivos principales de desconexión
- C Dispositivos principales de protección
- D Sistema de distribución primario
- E Sistema de distribución secundario

SISTEMA DE DISTRIBUCION

- 1.- INTERRUPTOR GENERAL BAJA TENSION
- 2.- TABLERO GENERAL
- 3.- SUBALIMENTADOR
- 4.- TABLERO SUBGENERAL
- 5.- ALIMENTADOR
- 6.- TABLERO DE DISTRIBUCION
- 7.- CIRCUITO DERIVADO



MPDP = Medio Principal de Protección.

Fig. 10.6

X.1 Definiciones.

Línea de Servicio. Los conductores y equipo que se usen para el suministro de energía eléctrica, desde las líneas o equipos inmediatos del sistema general de abastecimiento hasta los medios principales de desconexión y protección de la instalación servida.

Circuitos Alimentadores. Conjunto de conductores y demás elementos que se encuentran entre el medio principal de desconexión y los dispositivos de protección contra sobrecorrientes de los circuitos - derivados.

Circuito Derivado. Conjunto de conductores y demás elementos que se extienden desde los últimos dispositivos de protección contra sobrecorriente en donde termina el circuito alimentador, hasta las salidas de las cargas.

X.2 Colores de identificación de conductores.

El conductor para puesta a tierra de equipos debe identificarse cuando es aislado con un color diferente al de los otros conductores, - de preferencia de color verde, se recomienda que el conductor puesto a tierra (neutro) se identifique con un color blanco o gris claro y que los conductores activos se identifiquen con colores diferentes al blanco, gris claro o verde.

X.3 Circuitos derivados.

X.3.1 Clasificación.

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

La capacidad comercial de los dispositivos contra sobrecorriente es de 15, 20, 30, 40 y 50 amperes. Las cargas individuales mayores - de 50 amperes deben alimentarse por circuitos derivados individuales.

X.3.2 Voltaje en circuitos derivados.

Los circuitos derivados que abastezcan portalámparas, aparatos o contactos de 15 amps. o menos no deberán exceder de 150 volts a tierra; excepciones.

a) Establecimientos industriales hasta 300 volts a tierra en circuitos de alumbrado que estén colocados a más de 2.40 mts. de altura sobre el piso y que no tengan interruptores integrados.

b) Sistemas ferroviarios.

X.3.3 Circuitos derivados para distintas clases de carga.

En el caso general, la carga de alumbrado en circuitos derivados debe considerarse igual al 100 por ciento de la carga conectada al circuito.

En casas habitación y cuartos de hoteles, debe asignarse una carga mínima de 125 watts para cada salida de alumbrado y una carga mínima de 180 watts a cada uno de los contactos de uso general, que puedan estar conectados conjuntamente con salidas de alumbrado en un mismo circuito derivado. Como alternativa, para el cálculo de la carga de alumbrado en circuitos derivados pueden considerarse los valores mínimos, en watts por metro cuadrado, que se indican en la tabla 6.1.

Todos los contactos para aparatos menores de 3 amperes en casas habitación y cuartos de hoteles, moteles o departamentos (sin disposiciones para el uso de aparatos eléctricos para cocinar) pueden considerarse como salidas para alumbrado general y no es necesario incluir carga adicional alguna para ellos.

Se recomienda que se instalen, por lo menos, dos circuitos derivados de 20 amperes, aparte de los mencionados en el párrafo anterior, para los contactos ubicados en la cocina, comedor y sala de una casa habitación (incluyendo el cuarto de lavado de ropa), a los cuales probablemente se conecten aparatos mayores de 3 amperes. Estos circuitos no deben alimentar otras salidas que no sean los contactos mencio-

nados, así mismo se recomienda no conectar más de doce salidas para - contactos de uso general.

Para alumbrado de aparadores comerciales puede considerarse - una carga de 600 watts por metro lineal de aparador, medidos horizon talmente a lo largo de su base.

Para el caso de los circuitos derivados que alimentan motores - se debe considerar lo establecido en el inciso X.5 denominado circuito de fuerza.

Cada circuito derivado debe tener un conductor neutro indivi dual.

X.3.4 Conductores de Circuitos Derivados.

a) Los conductores de un circuito derivado deben tener una ca pacidad de corriente no menor que la correspondiente a la - carga por servir.

b) Calibre mínimo. En circuitos derivados no deben usarse con ductores menores de los establecidos a continuación:

Mínimo No. 14 para circuitos de alumbrado y aparatos peque ños.

Mínimo No. 12 para circuitos que alimenten contactos.

Los conductores para luminarios y los cordones flexibles para -

aparatos que se usen para conectarse a las salidas de los circu
itos derivados, pueden ser de menor sección que la indicada en el inciso b),
siempre que su capacidad de corriente sea suficiente para la carga de
los luminarios o aparatos, pero no menor que el calibre No. 18 AWC -
(0.82 mm²) y siempre que queden protegidos contra sobrecorrientes se
gún corresponda.

X.3.5 Tableros de circuitos derivados.

Definición: tablero de circuitos derivados para alumbrado y apa
ratos, es aquél que tiene más del 10 por ciento de sus elementos de -
protección contra sobrecorriente calibrados a 30 amperes o menos y es
tá dotado de barra para conexiones.

X.4 CIRCUITOS ALIMENTADORES

Los conductores de los circuitos alimentadores deben tener una
capacidad de corriente no menor que la correspondiente a la carga por
servir.

X.4.1 Caída de tensión.

El calibre de los conductores de un circuito alimentador que -
abastezca a circuitos derivados de alumbrado, fuerza o calefacción, de
be ser tal que la caída de tensión desde la entrada del servicio hasta,
los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos de

rivados, no exceda del 3 por ciento. Hay que considerar, además que la caída de tensión total en alimentadores y circuitos derivados no debe exceder del 5 por ciento. Lo anterior se ejemplifica en la Fig. 10.7.

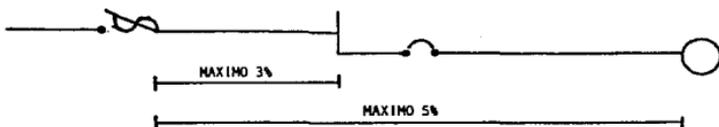


Fig. 10.7

X.4.2 Cálculo de la Carga en un circuito alimentador.

La carga se calcula con la suma de todos los circuitos derivados abastecidos, multiplicada por el "factor de demanda".

El factor de demanda está dado por

$$F.D = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga instalada}}$$

En los casos siguientes se podrá aplicar a la carga computada el factor de demanda siguiente:

- Casas habitación, 35% al excedente de 3000 watts
- Edificios de oficinas y escuelas 70% al excedente de 20000 watts
- Hospitales 40% hasta 50000 watts y 20% al excedente
- Hoteles 50% hasta 20000 watts y 35% al excedente

Los factores de demanda de esta tabla no deben aplicarse al cálculo de la carga de alimentadores de las áreas de hospitales y hoteles donde todas las lámparas pueden estar encendidas al mismo tiempo, como sucede en las salas de operación, salones de belleza y restaurantes.

X.4.3 Carga del Conductor neutro.

Cuando haya hilo neutro en el circuito alimentador, la carga que se considere para el neutro no debe ser menor que el desequilibrio máximo de la carga (Ver. Fig. 10.8 y 10.9).

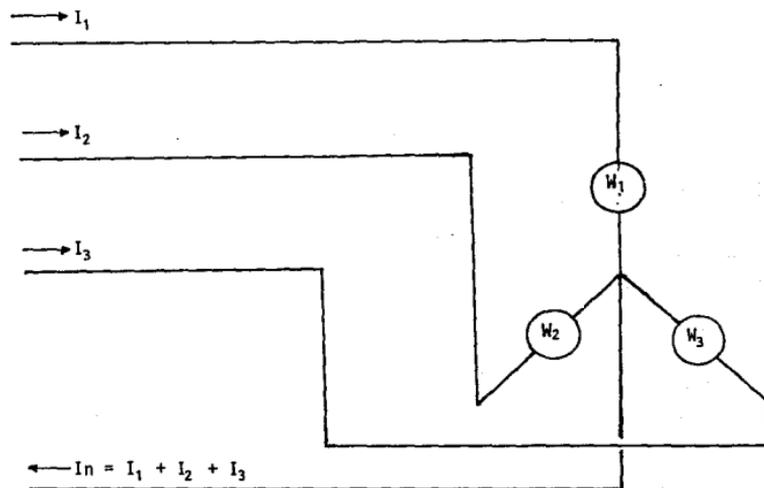


Fig. 10.8

Si $W_1 > W_2 > W_3$ se debe considerar el "desequilibrio máximo"

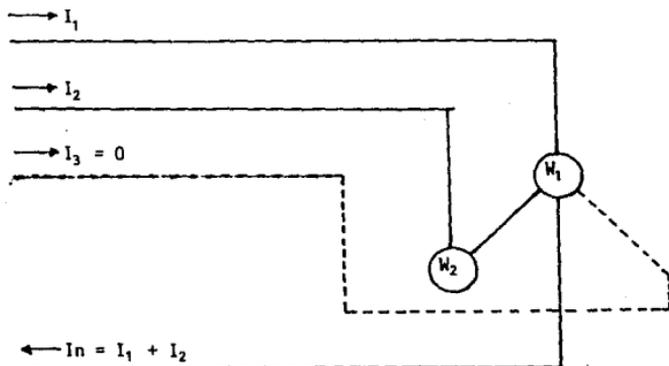


Fig. 10.9

X.4.4 Derivaciones.

Las derivaciones que se hagan a partir de un circuito alimentador deben satisfacer los siguientes requisitos.

a) Derivaciones mayores de 10 metros. Los conductores de estas derivaciones deben tener la misma capacidad de corriente que el circuito alimentador.

b) Derivaciones hasta de 10 metros como máximo. Los conductores de estas derivaciones pueden ser de calibre menor que los del circuito alimentador, siempre que se cumpla con lo siguiente:

b.1) La capacidad de corriente de los conductores de la derivación, además de ser suficiente para la carga por alimentar, debe ser por lo menos igual a un tercio de la capacidad de corriente del alimentador.

Se considera como excepción que las derivaciones hasta de 3 metros como máximo no necesitan cumplir con este requisito.

b.2) La derivación debe terminar en un sólo dispositivo de sobrecorriente que limite la corriente en la misma derivación, al valor de la capacidad de corriente de los conductores. A través de este dispositivo se pueden alimentar, a su vez, otros dispositivos de sobrecorriente, del lado de la carga. (Ver Fig. 10.10)

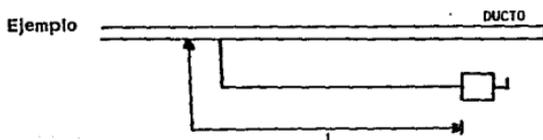


Fig. 10.10

Circuitos alimentadores con neutro común

Se pueden emplear un neutro común para tres circuitos alimentadores como máximo. Cuando se alojen dentro de las canalizaciones metálicas, todos los conductores de circuitos alimentadores que empleen neutro común deben ir juntos dentro de la misma canalización.

X.5 Circuito de Fuerza.

Se considera circuito de fuerza aquel que alimenta cargas diferentes a las de alumbrado (motores, resistencias, soldadoras, etc.).

X.5.1 Elementos Integrantes.

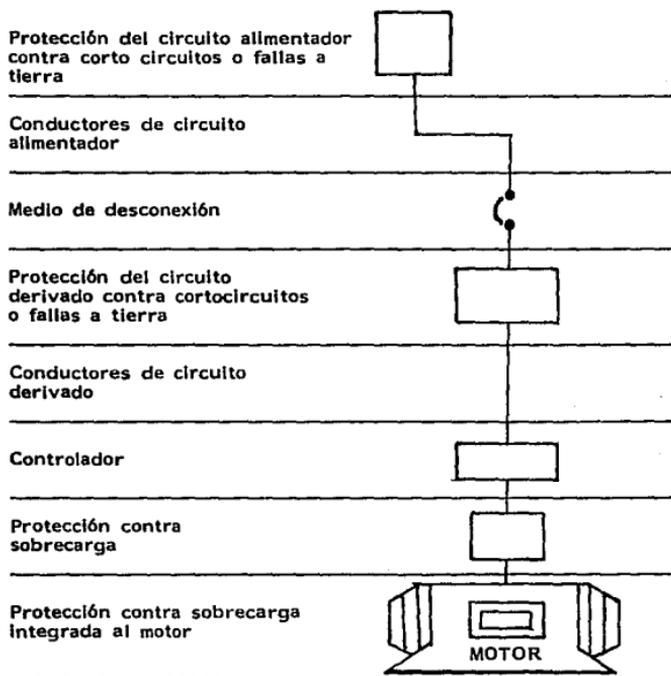


Fig. 10.11

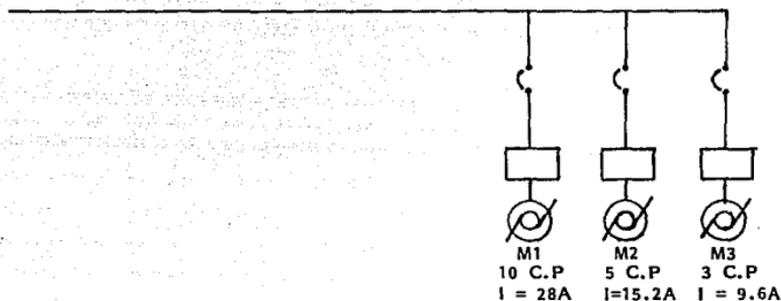
X.5.2 Motores Individuales.

La corriente permisible en los conductores de un circuito derivado que abastezca a un motor individual, con régimen de trabajo continuo y carga aproximadamente constante no será menor que el 125 por ciento de la corriente nominal a plena carga del motor.

Cuando la carga sea variable, el calibre de los conductores podrá fijarse considerando una corriente menor que el 125 por ciento de la corriente nominal a plena carga del motor según el régimen de trabajo de que se trate, pero no menor del 85 por ciento especialmente - cuando el motor arranca con frecuencia es necesario instalar un conductor más grueso.

X.5.3 Grupos de Motores.

Los conductores que alimentan a dos o más motores deberán ser de calibre suficiente para una corriente no menor que el 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor de mayor potencia, más la suma de las corrientes a plena carga de los demás motores del grupo. Cuando los motores no operen simultáneamente a plena carga, se aplicará el factor de demanda que corresponda al régimen de operación. - Lo anterior se ejemplifica en la Fig. 10.12



Capacidad permisible = $1.25 \times 28 + 15.2 + 9.6 = 59.8$ Amps.

De la tabla 7.3 se selecciona conductor calibre No. 6.

Fig. 10.12

X.5.4 Carga Mixta.

Los conductores alimentadores que abastezcan carga de motor y también de alumbrado y/o aparatos, deberán ser de calibre suficiente para la carga total del alumbrado y/o de aparatos más la corriente que corresponda a la carga de motores.

X.5.5 Protección Contra Sobrecarga de los Motores (elemento térmico).

Los medios de protección contra sobrecarga de motores son dispositivos destinados a proteger motores, aparatos de control de motores y conductores de circuitos derivados que los abastezcan contra el calentamiento excesivo debido a sobrecargas de los motores.

Motores de Servicio Continuo

Cada motor deberá protegerse contra sobrecarga de la manera siguiente:

a) De más de un caballo de potencia. La protección contra sobrecarga se debe garantizar haciendo uso de uno de los medios siguientes:

- 1.- Un dispositivo de sobrecorriente separado que actúe por efecto de la corriente del motor. La capacidad o el ajuste de este dispositivo no debe ser mayor de 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor. En la práctica se utiliza 115%.
- 2.- Un protector térmico integrado al motor, aprobado para usarse con éste, que lo proteja contra sobrecalentamientos peligrosos ocasionados por sobrecargas.

b) De un caballo de potencia o menos, arrancado manualmente. Cada motor de este tipo y que esté a la vista desde el punto donde se efectúa su arranque, puede considerarse protegido contra sobrecarga por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado.

c) De un caballo de potencia o menos, arrancando automática-

mente. Cada motor de este tipo deberá protegerse contra sobrecarga en la misma forma que los motores de más de un caballo de potencia como se indica en el inciso a).

Motores de Servicio no Continuo

Un motor que preste un servicio de corto tiempo, intermitente, periódico o variable puede considerarse protegido contra sobrecarga - por el dispositivo de protección contra cortocircuitos del circuito derivado, siempre que este dispositivo tenga una capacidad o ajuste no mayor del 400 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

Dispositivos de Protección contra Sobrecarga

Cuando se usen fusibles para la protección contra sobrecarga de un motor, debe intercalarse un fusible en cada conductor activo.

Cuando se usen dispositivos que no sean fusibles para la protección contra sobrecarga de un motor, tales como bobinas de disparo, relevadores o dispositivos de tipo térmico, el número mínimo de unidades y su colocación deben estar de acuerdo con la siguiente tabla 10.13.

CLASE DE MOTOR	SISTEMA DE ALIMENTACION	NUMERO Y UBICACION DE UNIDADES DE SOBRECARGA QUE NO SEAN FUSIBLES
C.A. monofásico o de C.D.	2 hilos no puestos a tierra, C.A. monofásica o C.D.	Una en cualquiera de los conductores.
C.A. monofásico o de C.D.	2 hilos C.A. monofásica o C.D., uno de los hilos puestos a tierra.	Una en el conductor no puesto a tierra.
C.A. monofásico o de C.D.	3 hilos, C.A. monofásica o C.D., neutro a tierra.	Una en cada conductor no puesto a tierra.
C.A. trifásico	Cualquier Trifásico	2 en dos conductores cualesquiera, excepto el neutro. *

Tabla 10.13

*Nota: Dos es el número mínimo de unidades necesario para la protección contra sobrecarga de un motor trifásico, pero el uso de tres unidades, una en cada fase, es recomendable para una protección más completa del mismo.

Un arrancador de motor también puede servir como dispositivo de protección contra sobrecarga, si el número de unidades de sobrecorriente concuerda con lo indicado en la tabla 10.13

X.5.6 Protección Contra Cortocircuito de Motores.

El dispositivo que se use para proteger a un motor contra sobrecarga no es suficiente para proteger al motor contra fallas por cortocircuito, para tal efecto hay que instalar fusibles o un interruptor,

automático con capacidad o ajuste de no más del 400 por ciento de la corriente nominal a plena carga del motor para el caso de fusibles sin retardo de tiempo o interruptores automáticos de tiempo inverso y del 225 por ciento para el caso de fusibles con retardo de tiempo (de doble elemento).

Para un motor con corriente a plena carga de 6 amperes o menos, el circuito derivado puede considerarse protegido por un dispositivo de sobrecorriente de 20 amperes o menos.

X.5.7 Varios Motores y otras Cargas en un Circuito Derivado.

Dos o más motores y otras cargas pueden conectarse en el mismo circuito derivado y quedar protegidos contra cortocircuitos o fallas a tierra por el mismo dispositivo de sobrecorriente, si se cumplen las condiciones de cualquiera de los incisos a), b) ó c) siguientes:

a) Hasta un caballo de potencia. Dos o más motores cuya potencia individual no exceda de un caballo de potencia pueden conectarse a un circuito derivado protegido a no más de 20 amperes, siempre que cumplan las condiciones indicadas a continuación:

- a.1) Que el valor nominal de la corriente a plena carga de cada motor no exceda de 6 amperes, y
- a.2) Que la protección individual contra sobrecarga de los motores esté conforme a lo establecido en el artículo 403.23 de

de las NTIE.

b) Protección del circuito basada en el motor de menor potencia. Si el dispositivo de protección del circuito derivado no es mayor de lo permitido en el artículo 403.35 (de las NTIE) para el motor de menor potencia, pueden conectarse a dicho circuito derivado dos o más motores, o varios motores y otras cargas, siempre que cada motor tenga su propia protección contra sobrecarga y siempre que se determine que dicho dispositivo protector del circuito derivado no abrirá en las condiciones de trabajo normales más severas que puedan ocurrir.

c) Otros casos de varios motores y cargas. Pueden conectarse a un circuito derivado dos o más motores de cualquier potencia nominal o motores y otras cargas, teniendo cada motor dispositivos individuales de protección contra sobrecarga, siempre que se cumplan todas las condiciones siguientes:

c.1) El circuito derivado debe estar protegido por fusibles o por un interruptor automático del tipo del tiempo inverso. La capacidad o ajuste de estos dispositivos no deben exceder del 400 por ciento de la corriente a plena carga del motor; para el motor más grande conectado al circuito derivado, más las corrientes a plena carga de los demás motores así como las corrientes de otras cargas, conectadas al mismo circuito.

c.2) El dispositivo de protección contra sobrecargas de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo con una capacidad máxima especificada de fusibles o interruptor automático.

c.3) El controlador de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo con una capacidad máxima especificada de fusibles o interruptor automático.

d) Para los arreglos antes descritos, los conductores de cualquier derivación que abastezca un solo motor no necesitan tener protección individual, siempre que se cumpla con cualquiera de los requisitos siguientes:

d.1) Que la corriente permisible en los conductores de la derivación no sea menor que la de los conductores del circuito derivado, ó

d.2) Que la longitud de los conductores de la derivación no exceda de 10 metros y la corriente permisible en los mismos no sea menor que el 125 por ciento de la corriente nominal a plena carga del motor, ni menor que un tercio de la corriente permisible en los conductores del circuito derivado.

En la práctica, los dispositivos de protección contra corto circuito en motores se selecciona de la siguiente forma:

a) Para un interruptor de navajas con fusibles

$$I_{INT} = 3 \times I_n$$

b) Para un interruptor termomagnético

$$I_{INT} = 2.5 \times I_n$$

Donde:

I_{INT} = Corriente del interruptor, en Amperes.

I_n = Corriente a plena carga del motor, en Amperes.

La corriente a plena carga de los motores se puede obtener de las tablas 10.15 y 10.16.

DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE LA FORMA MAS COMUN DE CONECTAR UN MOTOR

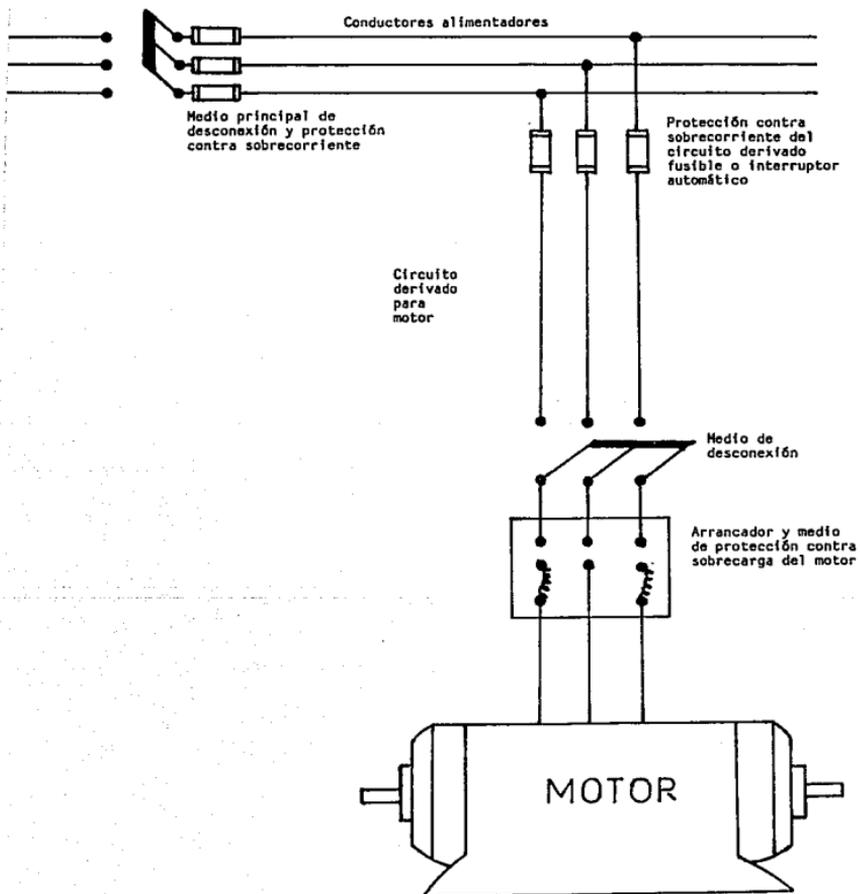


Fig. 10.14

**Corriente a Plena Carga en amperes, de Motores Menofásicos
de Corriente Alterna**

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 10.15

Los valores anteriores 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 por motor pueden tener corrientes a plena carga mayores y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que va-

rfa con la velocidad: en estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos.

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.	2 400 V.	220 V.	440 V.	2 400 V.
1/2	2.1	1.0				
3/4	2.9	1.5				
1	3.8	1.9				
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	38	
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	250.0	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

Tabla 10.16

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 motores de velocidad espe-

cialmente baja o de alto par motor pueden tener corrientes a plena carga mayores, 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 del motor.

X.5.8 Ejemplo de cálculo de un circuito de fuerza.

Supóngase que un cliente ha adquirido un motor de inducción de 20 caballos de potencia, el cual deberá operar en 440 voltios, 3 fases, 60 ciclos. Puesto que este motor deberá conectarse al sistema de distribución, deberán seleccionarse los conductores, la protección contra sobrecarga de motor y la protección para el circuito mismo. Para lograr este fin se recomienda seguir los siguientes pasos.

1.- Características del motor

El primer paso consiste en determinar ciertas características del motor, las cuales se encuentran en su placa de datos (carga conectada al circuito).

- a) Potencia del motor: 20 C.P.
- b) Tensión del motor: 440 voltios, 3 fases, 60 ciclos.
- c) Corriente a plena carga: 25.8 amps.

2.- Tipo de Conductores del Circuito

El segundo paso incluye la determinación de los conductores

que el cliente desea usar en el circuito. El cliente ha especificado en este caso lo siguiente:

- a) Tres conductores, con aislamiento termoplástico en tubo conduit.
- b) Temperatura ambiente máxima: 40° C.

3.- Calibre de los Conductores del Circuito

a) En las NTIE se establece que la corriente permisible en los conductores de un circuito derivado que abastezca a un motor individual, con régimen de trabajo continuo y carga aproximadamente constante, no será menor de 125% de la corriente nominal a carga plena del motor.

Capacidad del circuito derivado = $1.25 \times 25.8 = 32.2$ amps. (mínimo)

b) La tabla No. 7.3 de la NTIE muestra las capacidades de los conductores a una temperatura ambiente de 30° C. Para su uso en ambientes de 40° C, la tabla 7.5 muestra los factores de corrección para temperaturas mayores de 30° C, el cual es de 0.82 para nuestro caso. Usando la Columna No. 3 para conductores con aislamientos termoplástico seleccionamos un conductor de calibre No. 8 AWG, el cual puede conducir una corriente de 40 amp.

$$\text{Corriente permitida: } \frac{\text{Corriente del circuito}}{\text{Factor de agrupamiento} \times \text{Factor de temperatura}} = \frac{32.2}{1 \times 0.82} = 39.2 \text{ (adecuado)}$$

c) Compruébese la caída de tensión en el alimentador cuando el motor opera en plena carga. En las NTIE se especifica que la caída del voltaje desde la entrada del servicio hasta el último punto de la canalización correspondiente, la carga no deberá ser mayor de 5 por ciento para cargas de aparatos y motores. Si la caída de tensión calculada resulta mayor de este valor, considérese un calibre más grande para los conductores.

4.- Protección Contra Sobrecarga

Las NTIE establecen que la capacidad o el ajuste del dispositivo de sobrecorriente que protege al motor contra sobrecarga no deberá ser mayor del 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

Capacidad de Sobrecarga = $1.25 \times 25.8 = 32.2$ amps (máximo)

5.- Selección de la protección contra sobrecorriente.

El artículo 403.35 de las Normas Técnicas para Instalaciones eléctricas establece que la capacidad o ajuste del dispositivo protector de sobrecorriente del circuito derivado para un motor deberá ser capaz de soportar la corriente de arranque; pero su capacidad o ajuste no debe exceder del 400% de la corriente a plena carga del motor. En la actividad profesional, el proyectista generalmente calcula este dispositivo al 250% de la corriente a plena carga del motor.

$$I_{\text{max}} = 25.8 \times 2.5 = 65 \text{ amps}$$

Ajustando al valor comercial de interruptores: 70 amps

6.- Corriente a Plena Carga.

Es la corriente que consume un motor cuando está desarrollando su potencial nominal a la velocidad normal y por lo tanto influye las pérdidas mecánicas por fricción, las pérdidas magnéticas y las pérdidas eléctricas en el cobre por efecto de Joule.

- a) Circuito derivado del motor. Los conductores se calculan para 1.25 veces la corriente a plena carga.

X.6. Centros de Distribución (tableros).

El sistema de distribución se acostumbra dividir en primario (alta tensión) y secundario (baja tensión), de acuerdo con la condición de que el voltaje que se suministre se transforme o no en la instalación servida o aún de acuerdo con los diferentes pasos que se planeen en la distribución. En función de lo anterior se seleccionarán los tableros que formen parte del sistema de distribución.

La función de los tableros es recibir la energía eléctrica en forma concentrada para distribuirla y controlarla dentro del área donde se genere o utilice (tablero principal), o bien distribuirla a las cargas

de los circuitos derivados (tablero secundario).

Cuando un tablero esté mejor diseñado a los usos que se designe, se obtendrá un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, permitiendo economía en su consumo, continuidad en el servicio, protección a las personas y al edificio a un costo mínimo del propio tablero.

Un tablero puede ser pequeño, para ser usado en una habitación con capacidad de uno 1000 watts, o bien puede ocupar una área de varios metros cuadrados para instalaciones en edificios muy grandes donde se manejen muchos miles de watts.

Un tablero puede estar formado por una sección o varias para facilitar su transporte y montaje, pero una vez unidos formarán un solo conjunto.

Las ventajas que ofrece el uso de tableros son las siguientes:

- .- Construcciones modulares con dimensiones normalizadas.
- .- Los aparatos por usuario o por circuito se instalan de manera tal que quedan independientes.
- .- Las barras conductoras se protegen de manera tal que no sean accesibles.

- Se procura en instalaciones con subestaciones el uso de interruptores móviles (enchufables).

De acuerdo con la tensión, los tableros pueden ser de alta tensión (tableros principales) y de baja tensión (tableros secundarios).

A) Tableros principales.

Tienen por objeto alimentar, distribuir y controlar la energía eléctrica dentro del área, donde se genere o utilice.

Componentes de un tablero

a.1) Gabinetes

Los gabinetes, son cajas metálicas o brindaje que tienen por objeto montar el equipo eléctrico de conexión, desconexión, medición y control; conectar interiormente ese equipo y protegerlo de la intemperie, del polvo o de golpes, además de proteger a las personas de descargas eléctricas accidentales.

a.2) Barras

Las barras son elementos de conexión entre el interruptor principal o general y los derivados. En sistemas trifásicos se componen de tres barras, rectangulares de cobre electrolítico, con una conductividad eléctrica mínima de 99%. Las barras se calculan para una elevación de temperatura, a plena carga, de 30° C, sobre el ambiente de 40° C

máximo.

Además de las barras principales, que van aislados, a lo largo del tablero, en la parte inferior, se coloca otra barra de tierra, firmemente unida sin aislamientos, a los gabinetes. Esta barra tiene por objeto, evitar poner en peligro de un choque eléctrico al operador que toque un gabinete cuando haya una falla de aislamiento. El tamaño de las barras y su número por cada polo se indica a continuación.

Capacidad Máxima AMPS	Dimensiones M.M.	En Pulg.	No. de Barras en Paralelo
200	6.3 x 25.4	1/4 x 1	1
400	6.3 x 38.0	1/4 x 1.5	1
600	6.3 x 50.8	1/4 x 2	1
800	6.3 x 50.8	1/4 x 2	1
1200	6.3 x 76.0	1/4 x 3	1
1600	6.3 x 101.6	1/4 x 4	1
2000	6.3 x 76.0	1/4 x 3	2
3000	6.3 x 76.0	1/4 x 3	2
4000	6.3 x 101.6	1/4 x 4	2

b) Interruptores

Los interruptores son la parte principal de un tablero. De la calidad y su correcta aplicación depende la bondad del tablero.

En México hay tres tipos de interruptores, que han ganado la aceptación de los usuarios: el termomagnético en caja de plástico, el electromagnético y el de navajas con fusibles de alta capacidad interruptiva. Los interruptores termomagnéticos son los más prácticos por el pequeño espacio que ocupan, por poderse acomodar y conectar uno al lado del otro, y por ser económicos dentro de su funcionamiento seguro y eficiente. Se fabrican de 1 a 3 polos hasta 100 a. y de 2 y 3 polos hasta 2500 a. Universalmente se usan como interruptores derivados y en muchos casos, cuando la selectividad de disparo del interruptor, no es factor muy importante, se usan como interruptores principales o generales.

Los interruptores electromagnéticos son más robustos, capaces de un número mayor de operaciones sin reparaciones y susceptibles de ajuste del tiempo de apertura para permitir que en sobrecargas severas o cortos circuitos se abran primero los interruptores derivados - que alimentan el circuito donde exista la falla. Estos interruptores son mucho más caros que los termomagnéticos y se fabrican hasta capacidades de 6000 amp. y 100 000 amps. asimétricos.

Los interruptores de navajas con fusibles de alta capacidad interruptiva son económicos, pueden abrir cortos circuitos de hasta - 200,000 A, pero tienen la desventaja de no poder discriminar el circuito de falla, sin embargo, resuelven algunos casos, cuando los interruptores se colocan o derivan de fuentes o bloques de gran capacidad.

c) Instrumentos

Un tablero, para llenar su función, basta con tener los componentes descritos anteriormente: gabinetes, barras e interruptores. Sin embargo algunas veces para un mejor control o mantenimiento cuando las instalaciones son importantes o que genera la electricidad, conviene medir las características principales de energía eléctrica.

Los instrumentos industriales necesitan para su conexión dispositivos auxiliares. Generalmente en tensiones hasta 240 volts son para conexión directa, pero para 440 volts son necesarios transformadores de potencial (T.P.). Cuando las corrientes exceden de 50a; se usan transformadores de corriente (T.C.). Cuando es necesario, con un solo instrumento, medir los tres aspectos que para los amperímetros y los voltímetros.

Los instrumentos más comunes son: Ampérmetros, voltímetros, wáttmetro, vámetro, frecuencímetro y el medidor o waththorímetro.

B) Tableros Secundarios

Los circuitos derivados necesitan una protección en su iniciación. Cuando salen varios circuitos derivados de un mismo punto, al conjunto de elementos de protección se le llama "tablero".

Normas generales que se deben seguir para la selección de un tablero de circuitos derivados.

- 1.- No debe darse distribución a más de 42 circuitos derivados (a un hilo de corriente) a partir de un solo tablero.
- 2.- La mayor distancia permitida en los conductores entre el tablero de circuitos derivados y la primera salida es de 30 - mts.
- 3.- Todos los tableros de circuitos derivados deberán instalarse en sitios de acceso fácil.
- 4.- Los tableros de circuitos derivados deberán instalarse tan - cercanos como sea posible a los centros de carga que les corresponde.
- 5.- Si se desea interrumpir un circuito derivado desde su tablero, deberá usarse un interruptor de cuchillas provisto de - fusibles o un disyuntor termomagnético.
- 6.- Para la localización de los tableros de circuitos derivados, deberá considerarse la menor longitud posible de los alimentadores y que éstos tengan el mínimo de curvas en su recorrido.
- 7.- La capacidad de corriente mínima de las barras alimentadoras de los tableros de circuitos derivados, deberá ser igual o mayor a la mínima requerida por los cables alimentadores para abastecer la carga.
- 8.- Un tablero de circuitos derivados para alumbrado y aparatos que se alimente con una línea protegida a más de 200 amperes debe contar en su lado de abastecimiento con dis-

positivos de protección contra sobrecorriente con capacidad mayor que la del tablero, sin exceder de 200 amperes.

- 9.- En edificios Comerciales, institucionales y multifamiliares, - incluyendo hoteles, se recomienda instalar un tablero de - circuitos derivados para alumbrado y aparatos en cada planta.
- 10.- Una vez que se hayan seleccionado los circuitos derivados para alumbrado y aparatos, así como el tamaño, tipo y localización de sus tableros deberá hacerse en planos y especificaciones una tabulación que indique: la designación de cada tablero, su localización, número y capacidad de los circuitos derivados, con indicaciones de su carga conectada, tipo y capacidad de sus elementos de protección, capacidad de los alimentadores, tamaño y tipo del interruptor general con su elemento de protección y todas aquellas indicaciones que sirvan para aclarar al instalador las intenciones del proyectista.

Los tableros de distribución tienen tres funciones.

- 1) Distribuir la energía de los circuitos derivados.
- 2) Proteger las líneas de los circuitos derivados, ya que al interconectar en ellos los cables de los alimentadores que generalmente - llevan la energía para una zona amplia y que por lo mismo son de sec-

ción considerable, con los conductores de los circuitos derivados, lógicamente de menor sección, es necesario proteger contra sobrecorriente a estos últimos. Esta protección se provee con los interruptores automáticos "breakers" que se instalan en los tableros, o aún con los fusibles.

3) El tercer fin de los tableros de distribución, sobre todo en instalaciones de lugares públicos, es el control. Los interruptores de los tableros se pueden usar para controlar y poner en operación la instalación eléctrica. Es conveniente en este caso que la especificación se culde mediante interruptores de mayor resistencia para el uso constante; también en este caso los tableros pueden contar con un interruptor principal que permita la desconexión total de la zona servida.

Identificación de tableros

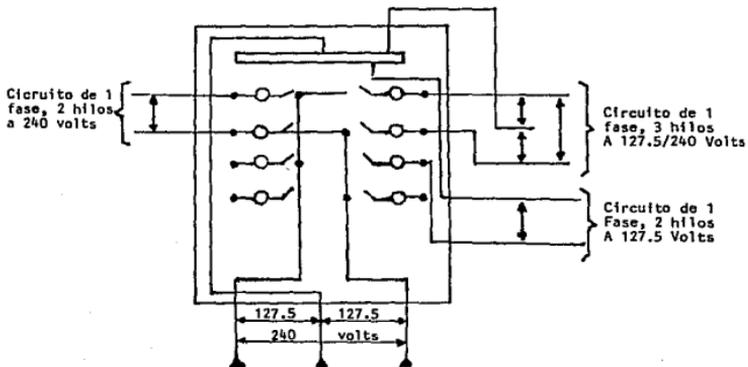
Una vez seleccionados los circuitos derivados para alumbrado y aparatos, así como el tamaño, tipo y localización de tableros, deberá consignarse en planos y una tabla que indique: designación de cada tablero; localización, número y capacidad de los circuitos derivados, - su carga conectada, tipo y capacidad de sus elementos de protección, capacidad de los alimentadores, tamaño y tipo de interruptor general con su elemento de protección y todas aquellas indicaciones que sirvan para aclarar al instalador las instalaciones del proyectista.

Por conveniencia, un servicio de 200 A se le denomina arbitra-

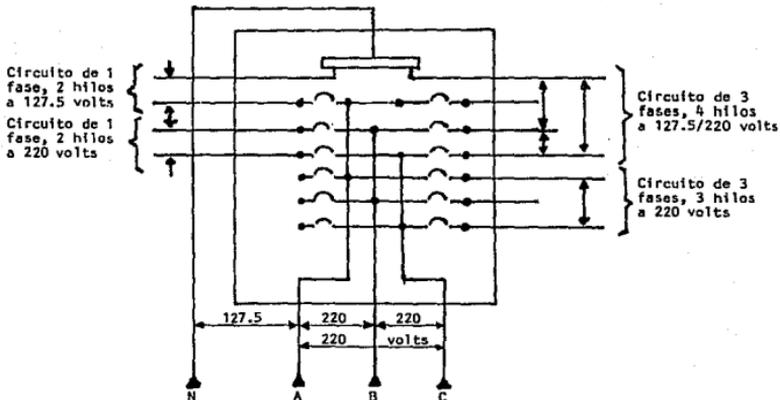
riamente "pequeño", hasta 600 A "medio" y hasta 4000A "grande". La distinción entre el tamaño o capacidad de los servicios para las instalaciones eléctricas no está claramente definida, de manera que puede - existir traslapes, pero el principio de clasificarlas como se ha indicado, es adaptable a la 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 en donde por lo general la corriente de corto circuito es pequeña y el tablero principal resulta simple.

Los tableros principales de gran tamaño se supone arbitrariamente que están entre 800 y 4000 A, difieren principalmente de los de pequeño tamaño en que requieren un mayor análisis en cuanto al estudio de corto circuito se refiere, por lo general se requieren también de un lugar independiente dentro del esquema de la instalación eléctrica y un montaje y base especiales. En la figura 10.16.1 se ejemplifica el arreglo de un tablero.



Alimentación 1 fase, 3 hilos a un tablero con interruptores y fusibles.



Alimentación 3 fases, 4 hilos a un tablero con interruptores automáticos.

Fig. 10.16.1

X.7 Condiciones que debe cumplir un Sistema de Distribución.

Los sistemas de distribución de energía eléctrica deben en la medida de lo posible cumplir con las siguientes condiciones:

1.- Proporcionar Energía Eléctrica Aprovechable

Las compañías suministradoras, generalmente entregan la energía al cliente en la forma en que ésta es más económica para transmitirse. Muy a menudo la tensión de transmisión es más elevada que la que el cliente puede usar. Una ventaja de la alta tensión es que ocasiona pérdidas de transmisión mínimas. Además, la tensión de transmisión alta presenta otra ventaja para la compañía suministradora y para el cliente: Reduce la variación de tensión en el punto de utilización - (la diferencia entre la tensión cuando no hay carga y la tensión cuando no hay carga plena en el sistema).

Cuando se conectan las cargas al sistema, la tensión del mismo "cae". El bajo voltaje ocasiona que los motores se sobrecalienten y, por esa razón fallen prematuramente. También es causa de que los equipos electrónicos funcionen erráticamente y, así mismo da lugar a una baja eficiencia de alumbrado.

Por otro lado cuando se desconectan las cargas del sistema, la tensión sube. El sobre voltaje causará mayores exigencias en el mantenimiento del equipo electrónico, así como una reducción en la vida útil

de las lámparas. Al conectar y desconectar las cargas al sistema, habrá variación en el voltaje, estas variaciones causan cambios molestos en el nivel del alumbrado, aumentan el porcentaje del rechazo de las etapas de producción, así como otros efectos indeseables en el control de los procesos. Por consiguiente, una de las características principales que la energía eléctrica debe tener para que sea aprovechable, es que sea suministrada con una estabilidad adecuada de su tensión.

2.- Tener Capacidad Adecuada para Suministrar Energía en Condiciones Máximas de Consumo

El sistema de distribución debe tener suficiente capacidad para satisfacer la demanda máxima. Sin embargo, un sistema que tiene apenas la capacidad necesaria en la actualidad, será muy probablemente, insuficiente en el futuro cercano. Puesto que las provisiones necesarias para el equipo del sistema de distribución y los circuitos correspondientes se incorporan al diseño del edificio, el cual una vez construido, es difícil modificar, el pasar por alto la capacidad requerida en el futuro puede ser una omisión sumamente cara.

El uso de la electricidad en los edificios comerciales y en las plantas industriales está creciendo a un ritmo muy acelerado, sin que puedan apreciarse signos de que decrezca en el futuro. Mayores cargas de alumbrado, nuevas máquinas de oficina y el equipo de aire acondicionado necesario para eliminar el calor adicional disipado en un edificio, contribuyen al crecimiento de la demanda en edificios comercia-

les, asimismo, el ritmo de crecimiento de la carga eléctrica en áreas de manufactura es bastante similar, debido a las prácticas modernas de alumbrado con mayores niveles de iluminación, a máquinas más rápidas y al crecimiento de la automatización. La carga en las plantas industria les varía considerablemente dependiendo del tipo de manufactura y grado de avance en los procesos, ya que al aumentar la productividad del trabajador, se aumentan las necesidades de energía eléctrica, resultando mayores demandas en las áreas de manufactura.

Un sistema con capacidad insuficiente es la causa de una mala regulación de voltaje, lo cual ocasiona un alumbrado defectuoso, mayor mantenimiento, baja productividad de personal y del equipo y reducción en la vida útil del sistema de distribución y de las máquinas eléctricas. Además, la capacidad inadecuada de un sistema limita lastimosamente las posibilidades de modernizar las instalaciones y usar equipo y máquinas modernas.

3.- Proporcionar Energía Donde se Requiere

Se usan ductos y cables en conduit para llevar la energía eléctrica a los aparatos que la usan. Los ductos se usan, principalmente, en sistemas de baja tensión, y el cable se emplea ampliamente en todos los niveles de tensión usados en sistemas de distribución.

Las compañías suministradoras transmiten la energía eléctrica desde puntos distantes en alta tensión entre los dos extremos de la

línea. Los clientes industriales pueden reducir a menudo la caída de tensión ventajosamente en una manera similar, dividiendo la planta o el edificio en "área de carga" y distribuyendo la energía a cada una de dichas áreas.

Como ya se ha dicho, las necesidades futuras deben preverse cuando se proyecta un sistema de distribución. En la misma forma, los cambios probables en la localización de las cargas debidos a modificaciones de los procesos de manufactura, así como a nuevas máquinas que representan cargas adicionales, deberán ser previstos. Una manera conveniente de proporcionar la flexibilidad necesaria en un sistema de modo que satisfaga los cambios en forma económica.

4.- Proporcionar Energía Cuando se Requiere

La válvula del sistema eléctrico de distribución es el interruptor o el contactor. Con objeto de suministrar la energía eléctrica cuando se necesita, estos dispositivos deben llenar las siguientes funciones:

- a) Conducir la corriente normal del circuito sin sobrecalentarse

La capacidad normal de un dispositivo para conducir la corriente del circuito, está determinada principalmente por el límite de la temperatura de operación permitida para dicho dispositivo.

Los aparatos para protección de circuitos son también conductores y, por tanto, actúan como tales; la corriente que fluye por ellos eleva su temperatura. Puesto que los cambios instantáneos de la intensidad de la corriente que circula por los dispositivos no producen a su vez cambios instantáneos en la temperatura de los mismos, los aparatos de protección de circuitos pueden manejar sobrecargas momentáneas. Es por esta razón por lo que los aparatos pueden satisfacer las condiciones de sobrecarga que excedan su capacidad de trabajo continuo las cuales se presentan debido al arranque de los motores, características de los ciclos de operación de los motores y a la corriente inicial de lámparas o dispositivos electromagnéticos. Desde el punto de vista de operación, los incrementos momentáneos de corriente, debidos a las causas anteriores, se consideran normales y el dispositivo de protección del circuito debe tener la capacidad suficiente para manejarlos.

- b) Desconectar sin peligro el circuito bajo condiciones normales o anormales a voluntad del operario.

Básicamente, en todos los circuitos eléctricos, la corriente no deja de fluir en el instante en que el interruptor se abre. La inductancia del circuito obliga a la corriente a continuar circulando a través del claro formado por los contactos del interruptor en la forma de un arco eléctrico. Conforme los contactos del interruptor se abren, el ar-

co se hace más largo y, finalmente, se extingue debido a que la tensión es insuficiente para sostenerlo.

El interruptor básico de navajas se abre y se cierra a una velocidad que depende de la rapidez con que lo accione el operario. A pesar de que este tipo de interruptores se le clasifica con una capacidad de conducción continua de corriente, éste no tiene clasificación o especificación de corriente al abrir las cuchillas. Los dispositivos que pueden abrir y cerrar con carga, se diseñan generalmente de modo - que sus contactos se abran o cierren a una velocidad que es independiente de los movimientos del operario. Para lograr este efecto, los mecanismos de dichos dispositivos se llaman de "contacto rápido", apertura rápida o mecanismo de energía acumulada. La acción del mecanismo se lleva a cabo acumulando energía en un resorte, la cual es entonces liberada cuando se requiere para abrir o cerrar los contactos rápidamente.

El contactor para arrancadores magnéticos debe ser capaz de - llevar a cabo su operación rápida, confiable y repetidamente. Muy a menudo, debe abrir y cerrar sus contactos bajo carga eléctrica muchas miles de veces durante su vida útil. Este tipo de contactor debe soportar interrupciones de corriente que sean hasta seis veces la corriente normal de trabajo que es lo que ocurre cuando el motor que controla - se sobrecarga o se atora.

En el caso de interruptor de "contacto rápido" y apertura rápida

da, la velocidad de cierre y de apertura de los contactos del arrancador magnético son también independientes del operario. En los arrancadores magnéticos, el cierre rápido se obtiene por medio de un conjunto electromagnético y en los arrancadores manuales por un mecanismo de resorte, semejante al que se usa en un apagador ordinario. La operación rápida en estos arrancadores manuales se obtiene liberando la energía de un resorte o por la acción de dicho mecanismo usado en apagadores.

El interruptor termomagnético o el interruptor de cuchillas que se usan en un arrancador combinado no es normalmente accionado por el operario para cerrar o abrir el circuito del motor que controla. En este caso los dispositivos mencionados se usan para desconectar el circuito de carga cuando se va a hacer una reparación al equipo, dando así protección al electricista otra de sus funciones es proporcionar al circuito protección contra fallas por corto circuito. Se debe considerar que el interruptor termomagnético o de cuchillas puede ser cerrado por algún descuido bajo condiciones de corto circuito y rápidamente abrirlo antes de que el fusible haya tenido tiempo de fundirse. También puede ocurrir que el dispositivo, como en el caso de circuitos de alumbrado, se abra y se cierre con carga, por lo que en estos casos existe también la posibilidad de que el interruptor se cierre o se abra bajo condiciones de sobrecarga o corto circuito. En todos estos casos el interruptor termomagnético o de cuchillas debe ser capaz de operar satisfactoriamente y con seguridad. Sin riesgo alguno de daños al equipo o a los operarios.

Los dispositivos de protección que han sido satisfactoriamente probados y que pueden satisfacer las condiciones de trabajo arriba indicados, son los siguientes:

- .- Interruptor termomagnético en caja moldeada
- .- Limitadores de corriente
- .- Interruptores de cuchillas combinados con fusibles
- .- Combinaciones de interruptores termomagnéticos y de fusibles.

5.- Debe proporcionar protección para el personal de operación y mantenimiento.

El cumplimiento satisfactorio de los siguientes fundamentos de la seguridad en las aplicaciones de equipo eléctrico, reducirá enormemente el número de accidentes que resultan con quemaduras y electrocuciones.

a) El uso de interruptores con capacidad adecuada para interrumpir el suministro de energía a todos los circuitos bajo cualquier condición normal o de emergencia que pudiera presentarse.

Algunos dispositivos de interrupción, tales como interruptores de dos vías, de transferencia, etc., pueden ser usados, aunque no tienen capacidad interruptiva, siempre y cuando sean dotados de un enclavamiento o entrelazados adecuado que no permita la apertura de estos dispositivos bajo carga.

b) Se deben poner todas las partes del interruptor dentro de un gabinete metálico, el cual debe estar conectado a tierra.

c) Se deben poner a tierra todas las corazas de las máquinas y aparatos eléctricos.

d) No se debe hacer ningún trabajo en equipo eléctrico que esté energizado, cualquiera que sea la tensión.

Los primeros dos fundamentos de seguridad se satisfacen automáticamente cuando se especifica el equipo adecuado y se instala nuevo. Para satisfacer la tercera norma, se requiere poner en práctica los procedimientos adecuados de instalación, y, para satisfacer la cuarta regla, basta con definir y poner en práctica reglas y procedimientos de mantenimiento adecuados.

Para darnos cuenta de la gran importancia que tiene el hecho de cumplir con los requisitos de seguridad establecidos veremos a continuación los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.

Los efectos de una corriente eléctrica de 60 hertz en el cuerpo del ser humano promedio al atravesar el tronco del cuerpo.

Intensidad de la Corriente, mA (Contacto de 1 segundo)	Efecto fisiológico
1	Umbral de la percepción
5	Máxima intensidad de corriente aceptada como inofensiva
50	Dolor, agotamiento y posible desfallecimiento. Las funciones respiratorias se mantienen intactas
100 - 300	Empleza la fibrilización ventricular, pero las funciones respiratorias se mantienen intactas
6000	Contracción sostenida del miocardio seguida por ritmo anormal del corazón Parálisis respiratoria temporal. Que maduras, si la densidad de la corriente es alta

Tabla 10.17

Los efectos biológicos de la electricidad están en función del amperaje aplicado y no del voltaje.

Como se muestra en la tabla 10.17 a medida que la corriente - que circula por el cuerpo humano alcanza valores mayores a 1 mA aparecen el dolor y las contracciones musculares involuntarias; a valores de 100 mA, hay una tendencia a que las contracciones musculares sean tan rápidas y violentas que la persona es involuntariamente arrojada lejos del contacto con la fuente de energía eléctrica.

A su paso por el cuerpo humano, la corriente tomará camino -

por los tejidos de más baja resistividad, siendo éstos los más afectados naturalmente. La resistencia total de ese camino puede variar desde valores ligeramente menores a 1000 ohms, hasta valores alrededor de - 100,000 ohms, dependiendo principalmente de la presencia de humedad en mayor o menor grado.

Lo anterior nos da una idea del grave peligro que afronta un individuo que, con piel, ropa o zapatos mojados, entra en contacto, - voluntaria o accidentalmente, con dos o más puntos de un sistema eléctrico (conductores, bastidores, corazas, tierras, etc.) entre los que - existe una diferencia de potencial mayor de 75 volts.

6.- Debe proporcionar protección automática a los circuitos al ocurrir condiciones anormales de funcionamiento

Las dos condiciones anormales más comunes son:

- a) Sobrecarga
- b) Corto circuito.

Una sobrecarga ocurre cuando el equipo toma demasiada corriente durante un período de tiempo demasiado largo. Esta condición puede ser ocasionada por la operación defectuosa del equipo (tal como un motor con su rotor bloqueado) o por la operación simultánea de un número anormal de aparatos eléctricos en un sistema de distribución.

Un corto circuito se presenta cuando ocurre una falla de aisla-

miento entre conductores o entre un conductor y tierra. Se ha mencionado que los interruptores se usan para conectar y desconectar la energía eléctrica a voluntad del operario. Los interruptores termomagnéticos se usan también para proteger automáticamente contra condiciones anormales a los circuitos que alimentan. Puesto que los interruptores de cuchillas son operados exclusivamente por el personal, es natural que no abran automáticamente bajo condiciones anormales del circuito. Por consiguiente normalmente se usan fusibles conjuntamente con este tipo de interruptores, los cuales proporcionan la protección automática requerida.

El interruptor o los fusibles, cuyas capacidades son insuficientes, pueden ser precisamente la causa de consecuencias que pueden ser más serias que la falla eléctrica, tales como un incendio, destrucción del equipo o lesiones al personal. Por tanto tratándose de dispositivos de protección de circuitos, es esencial seleccionarlos con características adecuadas. El dispositivo de protección de circuitos, cuyas características no satisfacen los requerimientos del circuito, puede ser comparado con los frenos defectuosos de un automóvil. Pueden ser capaces de funcionar correctamente en paradas normales, pero en caso de una emergencia verdadera la distribución y el daño que pueden causar son enormes.

La cantidad de energía involucrada cuando un dispositivo de protección de circuito no es capaz de interrumpir la corriente de corto circuito o de sobrecarga puede ser tan grande que haga estallar en pe

dazos al dispositivo mismo dando lugar a un desastre.

En un interruptor termomagnético, electromagnético, o sumergido en aceite, los contactos que abren y cierran la corriente normal son los mismos que interrumpen las sobrecargas y las corrientes de corto circuito. En la combinación de un interruptor de seguridad de cuchillas y de fusibles, el interruptor se usa de ordinario para las operaciones normales y los fusibles se encargan exclusivamente de la protección automática. Sin embargo, el interruptor puede estar sujeto a sobrecargas considerables. Considérese, por ejemplo, que ocurre un cortocircuito en un ramal cuyo alimentador está abierto. Al cerrar el interruptor del alimentador, el operador se da cuenta de la falla y abre el interruptor antes de que el fusible se funda. El operario debió permitir al fusible liberar la falla usando su buen juicio, sin embargo en tal emergencia el personal puede actuar instintivamente en forma incorrecta. Puede ser también que el operario no esté enterado en que hacer en esta emergencia. En los interruptores de "energía acumulada" o de "acción rápida", el tiempo mínimo de reacción del operario que transcurre para cerrar y abrir el interruptor es de aproximadamente un cuarto de segundo. Durante este lapso, algunos fusibles pueden dejar pasar hasta quince veces su capacidad de corriente antes de que su elemento llegue a la temperatura de fusión. En este caso, las cuchillas del interruptor más bien que los fusibles, han interrumpido el corto circuito.

Cuando un interruptor de cuchillas tiene esta capacidad se co-

noce con el nombre de Interruptor desconectador. Un interruptor desconectador combinado con fusibles es un equipo que está debidamente coordinado.

En la Fig. 10.18 se ilustra como la capacidad interruptiva de las cuchillas del interruptor excede el valor máximo de la corriente que debe interrumpir, puesto que el fusible limitador operará con corrientes por ~~abajo~~ de dicha capacidad.

Debido a que las diferentes clases y marcas de fusibles tienen características diferentes, deben usarse únicamente equipos combinados que hayan sido debidamente aprobados por sus fabricantes.

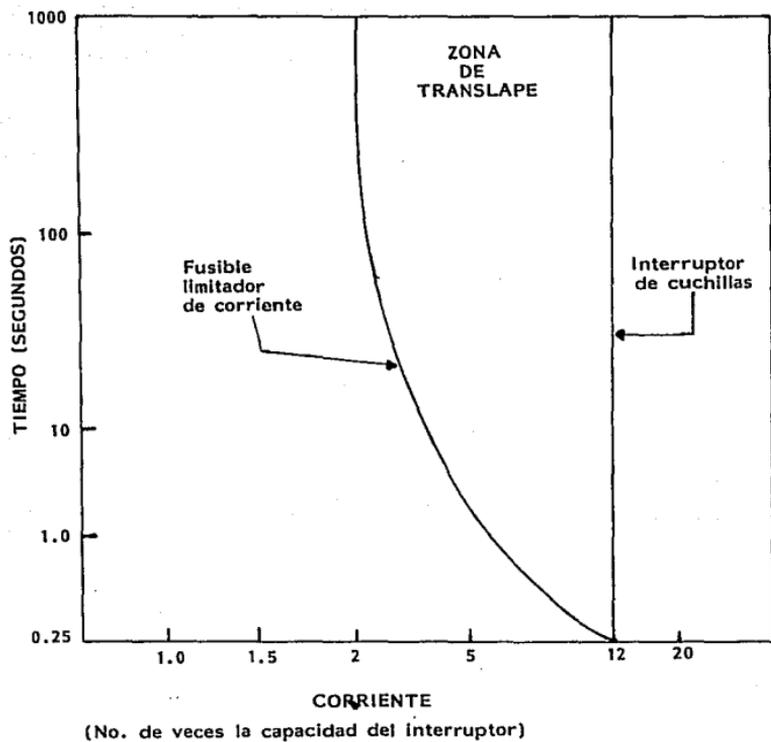
Un Interruptor combinado que no está debidamente coordinado puede estallar al ser operado en tal emergencia, cuando el operador está parado precisamente enfrente a él.

En otros casos se usan interruptores termomagnéticos combinados en forma coordinada con fusibles, con objeto de suministrar protección completa a bajo costo a aquellos sistemas que requieren una gran capacidad interruptiva.

El interruptor termomagnético interrumpe cortos circuitos de pe queña cuantía mientras que los fusibles se hacen cargo de los grandes corto circuitos según se muestra en la figura 10.19

Los interruptores automáticos, así como los fusibles deben ser adecuadamente seleccionados para que puedan interrumpir con seguridad las sobrecargas y los cortocircuitos que puedan presentarse. Estos dispositivos tienen las dos capacidades de corriente que se mencionan a continuación y se deben verificar ambas al ser seleccionados.

- 1) Capacidad continua. Está determinada por la carga normal - máxima.
- 2) Capacidad interruptiva (Capacidad de corto circuito) disponible en el punto del sistema en que se instale el interruptor.



Capacidad de interrupción máxima 200 000 amps. RMS/SIM

Fig. 10.18

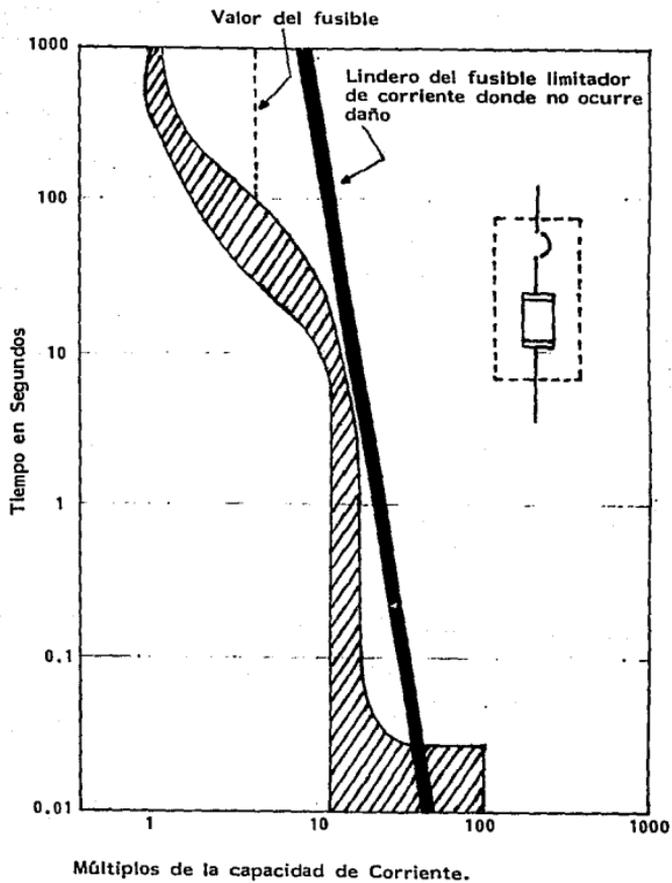


Fig. 10.19

La capacidad interruptiva (capacidad de corto circuito) que debe tener el dispositivo protector está determinada por el sistema de distribución y no por la carga. Un tubo de agua que se ha roto es semejante a un corto circuito (Fig. 10.20). El gasto del agua que se escapa es una función de la capacidad del depósito, de la presión del agua y del diámetro y la longitud del tubo que llega a la ruptura.

En un sistema eléctrico de distribución la magnitud posible de la corriente de corto circuito está determinada por la capacidad del sistema de distribución, de la tensión eléctrica (presión), del tamaño de los equipos (tales como ductos, cables, transformador) y la longitud física de los ductos y los cables (largo de la tubería) hasta el punto del corto circuito. Por lo tanto en los sistemas eléctricos la capacidad interruptiva requerida se determina por la corriente de corto circuito disponible en el lugar en que se encuentra escalado el dispositivo de protección del circuito.

Como un ejemplo sencillo considérese la Fig. 10.21. Las cifras que se muestran en dicha figura han sido seleccionadas para facilitar el cálculo, más bien que como ejemplos de características reales en sistemas de distribución.

La impedancia que limita el flujo de la corriente de carga normal es principalmente la impedancia aparente del motor cuyo valor es de 20 ohms. Al ocurrir un corto circuito en el punto "F", la única impedancia que limita el flujo de la corriente del corto circuito es:

$20/0.1 = 200$ veces la corriente normal = 1000 amperes, a menos de que el interruptor "A" sea capaz de interrumpir 1000 amps; la corriente de corto circuito continuará circulando causando grandes perjuicios.

Dónde se originan las corrientes de cortocircuito

Quando se calcula el corto circuito disponible, es de extrema importancia que todas las fuentes que contribuyen al corto circuito se tomen en cuenta y que así mismo las reactancias de estas fuente sean de terminadas.

Hay tres fuentes básicas que contribuyen a la corriente total - de corto circuito:

- 1.- Generadores
- 2.- Motores sincrónicos, condensadores sincrónicos y convertidores sincrónicos
- 3.- Motores de inducción

Protección contra Sobrecargas

Como ya se mencionó anteriormente en la mayoría de los casos, la principal función protectora de un dispositivo protector de circuito es precisamente la de proveer protección adecuada a los elementos del mismo. El interruptor termomagnético de un arrancador magnético para motores, por ejemplo, se provee principalmente para dar protección de

corto circuito. Sin embargo, se incluye comúnmente otro dispositivo de protección que evita que el equipo de utilización se dañe debido a sobrecargas. El arrancador de un motor, por ejemplo, lleva incorporados unos relevadores térmicos de sobrecarga generalmente del tipo que tienen un elemento bimetálico.

Cuando el motor sufre una sobre carga, la corriente que toma aumenta excesivamente, al circular ésta por los relevadores de sobre carga después de cierto tiempo, se calienta el elemento bimetálico a la temperatura que hace que éste abra los contactos del relevador, deteniendo en esta forma el funcionamiento del motor. Con objeto de que la protección contra sobrecarga del motor sea efectiva, esto debe ocurrir antes de que el aislamiento del motor llegue a una temperatura que lo perjudique. En un sistema de distribución, los motores, los arrancadores y los cables se seleccionan con capacidad suficiente para manejar las corrientes de trabajo normales, sin sobrecalentarse. La corriente normal de trabajo no está alimentada al valor máximo continuo del motor o de cualquier otra carga, sino que incluye ciertos incrementos en exceso de la corriente normal, tales como los que ocurran durante el arranque del motor. Puesto que los motores toman aproximadamente seis veces su corriente normal durante el arranque, pueden sobrecalentarse y dañarse si por alguna causa no pueden arrancar, o aún si su período de aceleración resulta demasiado largo, los elementos del circuito que alimentan el motor se sobrecalientan, lo cual puede ocasionar daños a los aislamientos, dando lugar a cortos circuitos e incendios a menos de que la carga sea desconectada.

Cuando un circuito alimenta varias cargas, este puede sobrecalentarse si todas ellas experimentan su demanda máxima al mismo tiempo. Esta condición es semejante a la que se presentaría si se conectaran demasiados aparatos domésticos simultáneamente, a los enchufes de una casa.

Los circuitos no se calculan normalmente con capacidad suficiente para manejar todas las condiciones extraordinarias de carga, tales como las que se han mencionado debido al costo adicional que tendrían. Por consiguiente el circuito debe estar protegido contra la posibilidad de que dicha contingencia se presente y, como resultado la característica de disparo por sobrecorriente. Esta característica debe caer al lado izquierdo de la curva de operación segura de los conductores del circuito como se muestra en la Fig. 10.22 de modo que el circuito se desconecte precisamente antes de que sus conductores se sobrecalienten. Una función muy conveniente que debe darse al proteger un circuito es la de proveer "una segunda línea de defensas"; lo cual deberá operar en caso de que la protección primaria no funcione, o en el caso de que la corriente exceda la capacidad de la protección primaria. Un interruptor que se combina con un arrancador magnético, proporciona esta función de protección secundaria. Por ejemplo, su característica de tiempo de disparo o de función se selecciona de modo que interrumpa la sobrecorriente del motor solamente en caso de que el relevador térmico de sobrecarga no funcione. Este tipo de protección es la de que éste no dispare innecesariamente.

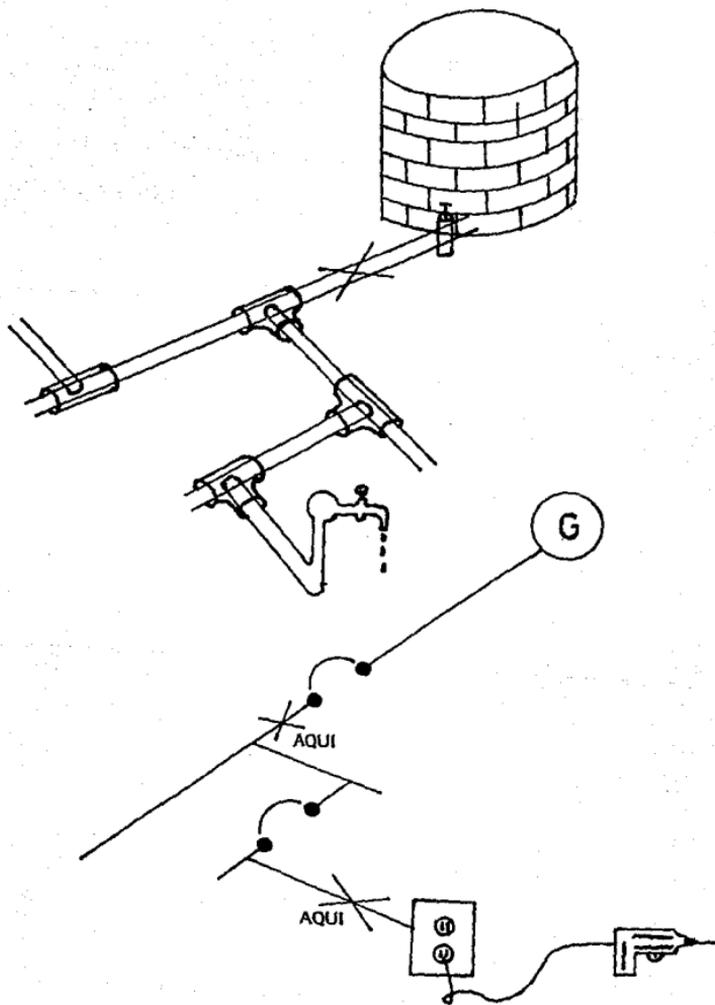
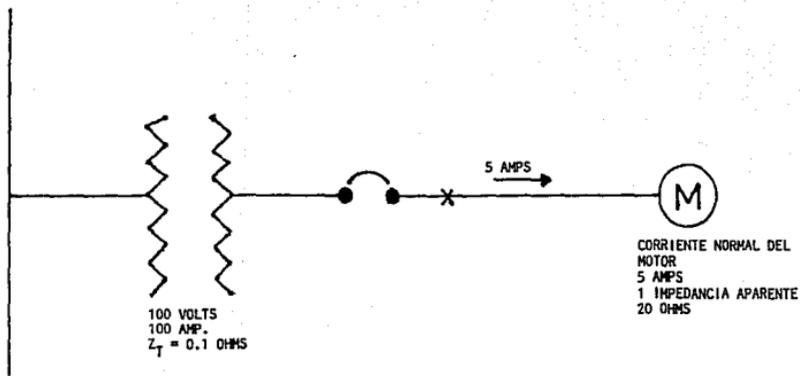


Fig. 10.20



La corriente de corto circuito $\frac{20}{0.1} = 200$ veces la corriente normal

$$200 \times 5 = 1000 \text{ A.C.C.}$$

$$\frac{E}{Z_T} = \frac{100}{0.1} = 1000 \text{ Amps.}$$

Si el interruptor "A" es capaz de interrumpir 1000 Amps. cortará el circuito y no causará daños.

Fig. 10.21

El hecho de que ocurran disparos innecesarios pueden ser causados por usar un dispositivo protector de circuitos cuya capacidad - continua de corriente no es adecuada para conducir la corriente a plena carga del circuito en temperatura ambiente más elevadas que la temperatura ambiente de calibración original. También puede presentarse esta condición como resultado de la falta de coordinación de las características de disparo o de función de los dispositivos protectores usados.

En este último caso, tómesese como ejemplo el arreglo de los interruptores mostrados en la Fig. 10.23. El interruptor número uno se ha seleccionado con la capacidad suficiente para interrumpir una falla del "A". Por consiguiente el interruptor número dos debe tener una característica tal que no abra al ocurrir dicha falla en "A" excepto si es necesario que opere como protección de respaldo, de modo que la energía continuará siendo alimentada a los circuitos que no tienen falla. Pero una falla en "B", el interruptor número 2 debe interrumpirla.

Cuando este interruptor abre como se explica en este ejemplo, se dice que es selectivo y por lo consiguiente, que está formulado con el interruptor número uno.

La coordinación entre interruptores es más comprensible cuando las curvas características de tiempo y corriente, que pueden obtenerse de los fabricantes, se comparan gráficamente.

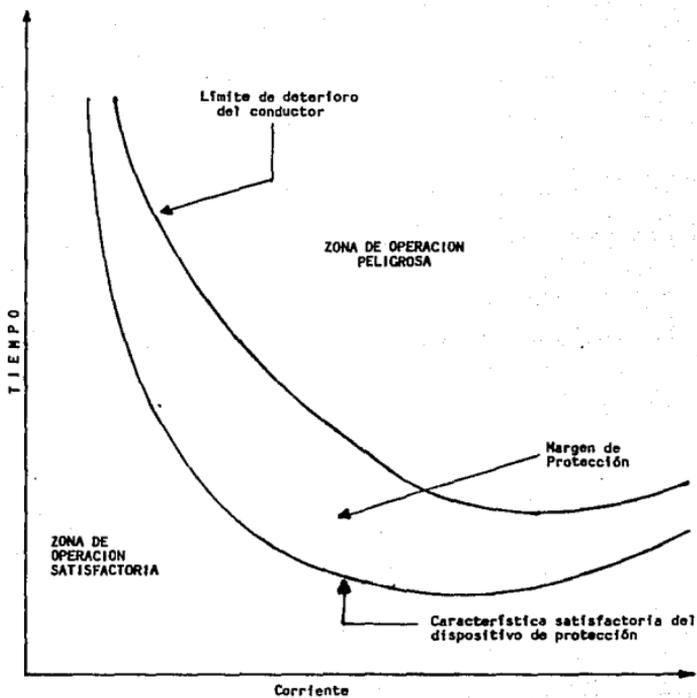


Fig. 10.22

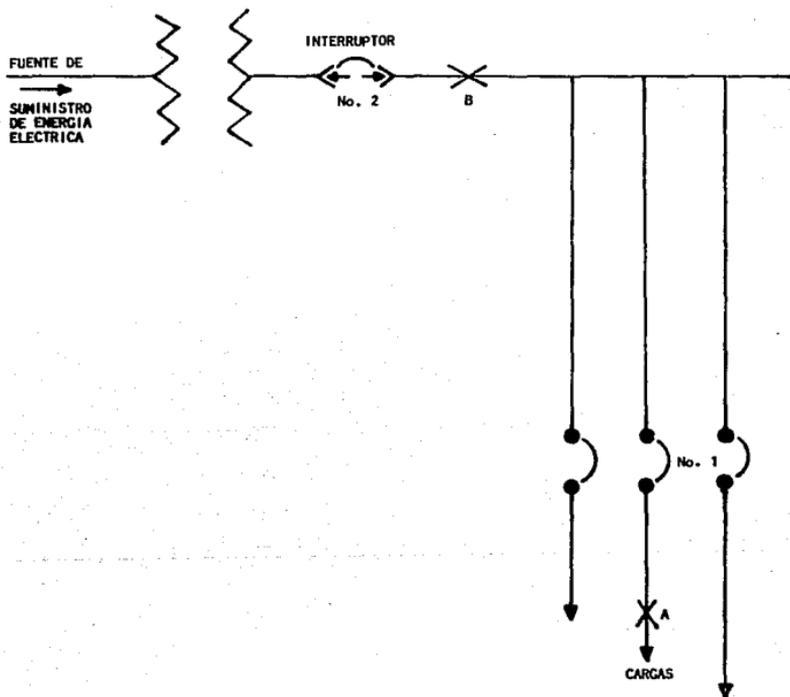


Diagrama Unifilar de un Alimentador y sus Circuitos Derivados

Fig. 10.23

X.8 Descripción del Sistema de Distribución.

En la Fig. 10.24 se muestran equipos y aparatos que comúnmente se usan en edificios comerciales y plantas industriales a simple vista, puede solamente apreciarse una porción relativamente pequeña del total de los componentes que forman el sistema de distribución.

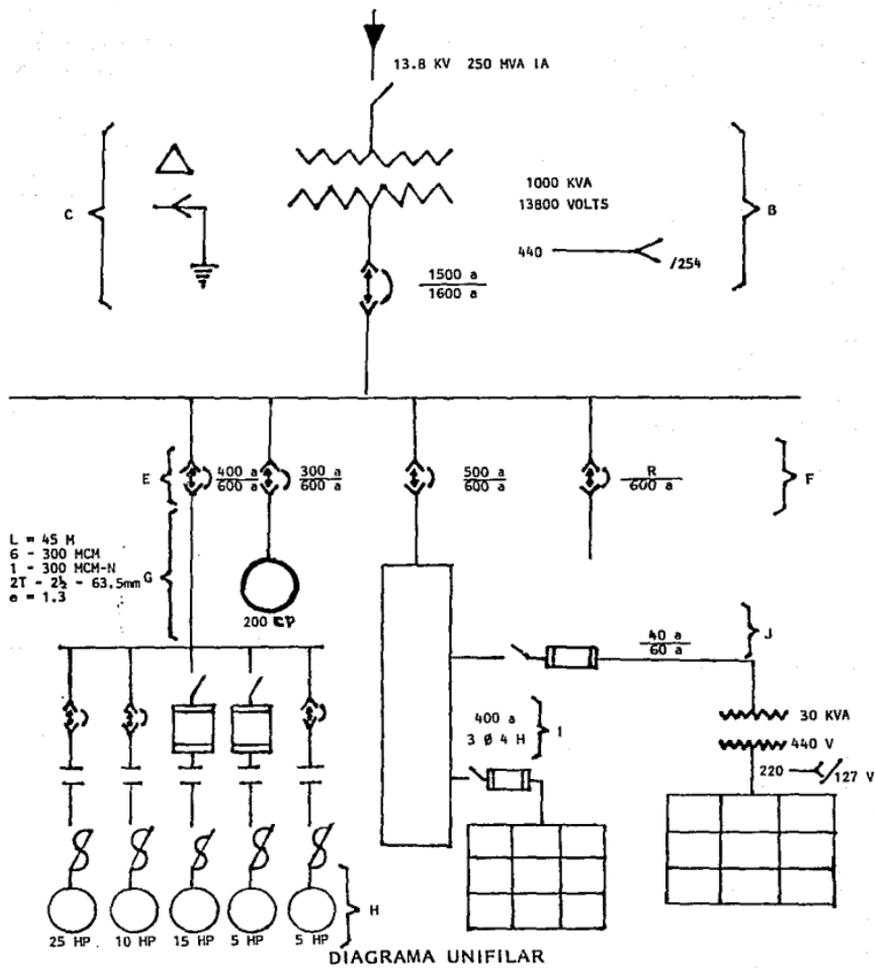
Ocultas en las paredes, bajo el piso y en los techos se encuentran los cables y los ductos que conducen la energía eléctrica a las diferentes partes del sistema. Los gabinetes metálicos de las instalaciones modernas dificultan en cierto grado la identificación de los varios dispositivos que se encuentran instalados dentro de los mismos. Es por lo tanto necesario para el ingeniero el contar con algún esquema o cuadro que muestre el arreglo del circuito, el número de fuentes de energía, el tipo y tamaño de los alimentadores, la capacidad de los motores, los niveles de tensión eléctrica y otros muchos datos que describen con toda precisión a los sistemas eléctricos. Dicho cuadro da las respuestas a preguntas tales como, ¿Qué equipo será desenergizado cuando este interruptor se abra? o bien, ¿Puede alimentarse este motor desde otra fuente de energía?

El cuadro o esquema que permita al ingeniero entender el sistema de distribución se conoce con el nombre de diagrama unifilar. Se llama unifilar debido a que en él todos los conductores de cada circuito se representan con una sola línea, independientemente de que se trate de un sistema monofásico o de un trifásico. Se usan diferentes -

símbolos en los diagramas unifilares, los cuales identifican en forma específica a los equipos eléctricos del sistema.

En la Fig. 10.24, la línea que llega desde la fuente de energía termina en una mufa de donde pasa a un transformador a través de un interruptor desconectador del secundario del transformador, un interruptor deslizante alimenta a cuatro interruptores en aire también deslizantes, uno de los cuales es de reserva.

De la izquierda a derecha el primer alimentador suministra energía a un centro de control para motores, en el cual se encuentran agrupados varios arrancadores magnéticos combinados. El segundo alimentador está conectado a dos tableros de alumbrado por medio de un ducto; uno de dichos tableros, por medio de un interruptor fusible y, el otro, a través de un interruptor fusible y un transformador.



- L = 45 H
- 6 - 300 MCH
- 1 - 300 MCH-N
- 2T - 2 $\frac{1}{2}$ - 63,5mm G
- o = 1,3

Fig. 10.24

Descripción del Diagrama Unifilar de la Fig. 10.24

A.- Esta nota indica que el nivel de la tensión eléctrica de la fuente de energía es 13.8 KV (13800 volts) y que al ocurrir un corto circuito firmemente entre las fases del alimentador de 13.8 KV, se presentará una energía de corto circuito con valor de 250 MVA (250,000 KV.A); disponible en el sistema de alimentación este valor corresponde aproximadamente a 10500 amperios en 13.8 KV. esta información determina la selección de los dispositivos de protección en ambos lados del transformador.

B.- Estas cifras definen las características del transformador - siendo éste de 1,000 KV, con primario de 13.8 KV y el secundario de 440 voltios entre líneas conectado en estrella y con 254 voltios entre línea y neutro.

C.- Estos símbolos indican que el transformador está conectado en delta en el primario y estrella en el secundario cuyo neutro está conectado firmemente.

D.- Estas cifras identifican el nivel de tensión eléctrica del sistema.

E.- Estas designaciones identifican la capacidad de los interruptores, la cifra de 600, abajo de la línea, indica el tamaño del marco del interruptor y la cifra de 400 a, arriba de la línea, indica el valor

de la corriente de disparo del elemento de operación.

Debido a que hay considerable superposición entre las características disponibles por corriente para los distintos tamaños nominales de interruptores en el mercado, ambas cifras se requieren para dar una inscripción completa de los interruptores usados.

F.- Este es un interruptor de reserva, con un marco de 600 amperios, para el cual las bobinas de disparo no han sido seleccionadas.

G.- Este es un alimentador que consiste en seis cables de 300 MCM, por fase, en dos conduits de 2½" el alimentador es de 45 mts de largo. Conductor neutro de 300 MCM y caída de tensión (e) en el circuito de 1.3%

H.- Indica las capacidades de los motores.

I.- Indica la capacidad del ducto, la cual es de 400 amperios, 3 fases, 4 hilos.

J.- Esta anotación es la capacidad del fusible (40 amps) y la del interruptor es normalmente, la inmediata superior estandar con respecto al fusible, a menos de que pueda obtenerse un interruptor cuya capacidad sea la misma que la del fusible.

CAPITULO XI

S I S T E M A D E T I E R R A S

El objeto de conectar a tierra un circuito eléctrico es limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, a fenómenos transitorios en el propio circuito o a contactos accidentales con líneas de mayor tensión; así como limitar la tensión a tierra del circuito durante su operación normal.

Las canalizaciones y cubiertas metálicas de conductores o equipos (ajenas al circuito eléctrico) son puestas a tierra con el objeto de evitar que éstas tengan un potencial mayor que el de tierra y representen riesgos para las personas.

Las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente, de equipo fijo, incluyendo sus cubiertas y soportes metálicos bajo condiciones anormales deben ponerse a tierra.

La instalación de un edificio debe tener una conexión a un electrodo de tierra. Esta conexión debe hacerse como parte de la misma instalación, en el lado donde se abastece el interruptor principal y no en el lado de la carga.

Los contactos en baños y cocinas deben ser del tipo de puesta a tierra.

El electrodo más común en instalaciones de edificios es la bari

lla coperweld la cual tiene un diámetro de 19 mm y una longitud de 3 mts.

La puesta a tierra de sistemas, circuitos, equipos, canalizaciones y cubiertas metálicas de cables, debe ser permanente y continua.

En este capítulo se plantean en forma general los lineamientos prácticos para el diseño de sistemas de tierras para instalaciones comerciales e industriales.

En una instalación eléctrica la conexión a tierra tiene una importancia primordial para la protección del personal y de los equipos.

Una instalación eléctrica no puede considerarse adecuada si no tiene un sistema de tierra que cumpla con todos los requisitos para proporcionar esta protección.

Definiciones

a) Tierra. Desde el punto de vista eléctrico, se considera que el globo terráqueo tiene un potencial de cero (o neutro); se utiliza como referencia y como sumidero de corrientes indeseables. Sin embargo, puede suceder que por causas naturales (presencia cercana de nubes o descargas atmosféricas) o artificiales (falla eléctrica en una instalación) una zona terrestre tenga en forma temporal una carga eléctrica negativa y positiva con respecto a otra zona (no necesariamente leja-

na). Por esta razón pueden aparecer corrientes en conductores cuyos extremos estén en contacto con zonas de potenciales distintos.

b) Resistencia a tierra. Este término se utiliza para referirse a la resistencia eléctrica que representa el suelo (tierra) de cierto lugar. El valor de la resistencia a tierra debe estar dentro de ciertos límites dependiendo del tipo de instalación.

c) Toma de tierra. Se entiende que un electrodo enterrado en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor es una toma de tierra. Este electrodo puede ser una barra o un tubo de cobre, una varilla o un tubo de fierro y en general cualquier estructura que esté en contacto con la tierra y que tenga una resistencia a tierra dentro de los límites establecidos.

d) tierra remota. Se le llama así a una toma de tierra lejana al punto que se esté considerando en ese momento. Su definición es útil ya que puede utilizarse como referencia en caso de que fluyan corrientes entre la instalación y esa toma de tierra.

e) Sistema de tierra. Se llama sistema de tierra a la red de conductores eléctricos unidos a una o más tomas de tierra y provistos de una o varias terminales a los que puedan conectarse puntos de la instalación.

f) Conexión a tierra. La unión entre un conductor y el sistema

de tierra es una conexión a tierra.

g) Tierra física. Se dice que un conductor se conecta a una tierra física cuando se une sólidamente a un sistema de tierra, que a su vez está directamente conectado a la toma de tierra (sin que exista entre ellos más impedancia que la de los conductores). Se puede considerar que el potencial de una tierra física se mantiene prácticamente constante, aunque exista un flujo de corriente entre este punto y la toma de tierra.

h) Neutro conectado sólidamente a tierra. Este tipo de conexión se utiliza generalmente en instalaciones de baja tensión para proteger a las personas contra peligro de electrocución. En el caso de que se presente una falla de aislamiento entre un conductor energizado y una parte metálica desnuda se produce un corto circuito y actúa la protección que desenergiza al circuito respectivo.

XI.1 Valores Obligados.

El valor de la corriente a tierra no debe ser superior a 25 ohms en instalaciones en baja tensión y debe ser menor a 10 ohms en el caso de sistemas de tierra para subestaciones.

XI.2 Calibre del Conductor del Electrodo de Tierra.

El calibre del conductor del electrodo de tierra no debe ser menor que el que se indica a continuación para conductores de cobre. Si se trata de otro material, su resistencia eléctrica no debe ser mayor que la equivalente al conductor de cobre correspondiente.

Calibre del Conductor más grande de la acometida o su equivalente para conductores en paralelo AMG ó MCM (cobre)	Calibre del conductor del electrodo de tierra
2 menor	8
1/0	6
2/0 ó 3/0	4
4/0 ó 350 MCM	2
400 a 600 MCM	2/0
Mayor de 600 a 1100 MCM	3/0
Más de 1100 MCM	1/0

XI.3 Calibre del Conductor de Puesta a Tierra de Equipos.

El calibre del conductor de puesta a tierra de equipos no debe ser menor al indicado en la siguiente tabla.

Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de protección contra sobrecorrientes ubicado antes del equipo, conductor, etc.

Calibre del conductor de puesta a tierra de equipos y canalizaciones interiores.

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

XI.4 Tratamiento del Suelo.

De acuerdo con la textura del suelo puede aplicarse un tratamiento químico que logre reducir la resistividad entre un 15% y hasta un 90%. Para este fin se puede utilizar cloruro de sodio (sal común), sulfato de magnesio o sulfato de cobre. La aplicación de estos productos se hace en una trinchera alrededor del electrodo pero de tal forma que no entren en contacto directo con él. Al principio los efectos del tratamiento no son apreciables pero mejoran con el tiempo o humedeciendo la zona. En caso de que se decida mejorar la conductividad únicamente mojando el suelo que rodea el electrodo, debe mantenerse constantemente húmedo para que resulte adecuado.

XI.5 Resistividad de Suelos y Resistencia de una Varilla.

Tipo de Suelo	Resistividad ($\Omega \cdot \text{cm}$)			Resistencia de una varilla de (19 mm) x 10 pies (3m)		
	Prom	Min	Max	Prom	Min	Max
Relleno de ceniza, carbón residuos de salmuera, agua salada	2370	590	7000	8	2	23
Arcilla, pizarra, barro, tierra negra mezclado con grava y arena	4060	340	16300	13	1.1	54
	15800	1020	135000	52	4	447
Grava, arena o piedras con arcilla o tierra negra.	9400	59000	458000	311	195	1516

XI.6 Efecto del Contenido de Humedad en la Resistividad del Suelo.

Contenido de humedad (% del peso)	Resistencia (Ω . CM)	
	Tierra Arenosa	Arcilla con arena y marga
0	10^9	10^9
2.5	250000	150000
5	165000	43000
10	53000	18500
15	19000	10500
20	12000	6300
30	6400	4200

XI.7 Efecto de la temperatura en la Resistencia del Suelo.

Temperatura		Resistencia Ω : CM
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
20	68	7200
10	50	9900
0 (agua)	32	13800
0 (hielo)	32	30000
-5	23	79000
-15	14	330000

CAPITULO XII

SUBESTACIONES

En el empleo de Energía Eléctrica ya sea para fines Industriales, comerciales o de uso residencial intervienen una gran cantidad de máquinas y equipo eléctrico. Una parte importante de este equipo eléctrico es sin duda alguna, las subestaciones.

XII.1 Definición de Subestación.

Una Subestación eléctrica se puede definir como un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, etc.), tipo corriente alterna a corriente continua, o bien conservarla dentro de ciertas características.

XII.2 Relación Entre las Subestaciones Eléctricas, Líneas de Transmisión y Centrales Generadoras.

Los voltajes de generación en las Centrales Generadoras por razones técnicas (aislamiento, enfriamiento, etc.) son relativamente bajas en relación a los voltajes de transmisión, por lo que si la energía eléctrica se va a transportar a grandes distancias estos voltajes de generación resultarían antieconómicos debido a la gran carga de voltaje que se tendría, de aquí se presenta la necesidad de transmitir la energía eléctrica a voltajes más elevados que resulten más económicos. Por

ejemplo si se va a transmitir energía eléctrica de una central generadora a un centro de consumo que está situado a 1000 km. de distancia - será necesario elevar el voltaje de generación que supondremos de 13.8 KV a otra de transmisión más conveniente que supondremos de 110 KV como se ilustra en la Fig. 12.1.

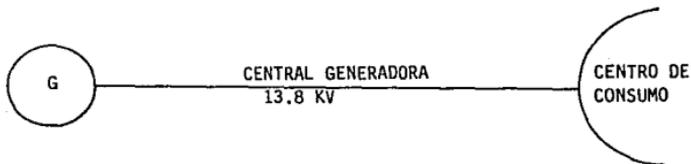


Fig. 12.1

Para poder elevar el voltaje de generación de 13.8 KV al de transmisión de 110 KV se hace necesario el empleo de una subestación "A" como se ilustra en la fig. 12.2.

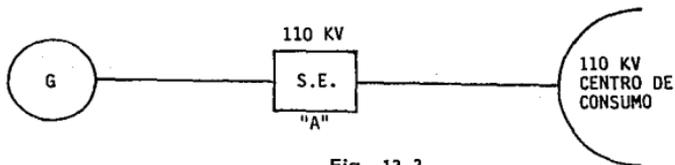


Fig. 12.2

Suponiendo que la caída de voltaje en la línea de transmisión - fuera cero volts tendríamos en el centro de consumo 110 KV, es claro que este voltaje no es posible emplearlo en instalaciones industriales y aún en comerciales y residenciales, de aquí se desprende la necesidad de reducir el voltaje de transmisión de 110 KV a otros más convenientes.

tes de distribución en centros urbanos o de consumo, por tal razón - será necesario emplear otra subestación eléctrica B como se ilustra en la Fig. 12.3.

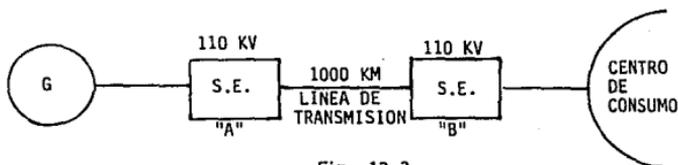


Fig. 12.3

Como se puede observar existe una estrecha relación entre las subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generales.

XII.3 Clasificación de las Subestaciones Eléctricas.

Es difícil hacer una clasificación precisa de las subestaciones eléctricas pero en términos generales podremos hacer la siguiente clasificación:

a) Por su operación:

- 1.- De corriente alterna
- 2.- De corriente continua

b) Por su servicio:

- 1.- Primarias: (Elevadoras, receptoras, reductoras, etc.).
- 2.- Secundarias: (Receptoras, reductoras, elevadoras, etc.).

c) Por su constitución:

- 1.- Tipo intemperie
- 2.- Tipo interior
- 3.- Tipo blindado

XII.4 Elementos que Constituyen una Subestación.

Los elementos que constituyen una subestación se pueden clasificar en elementos principales y elementos secundarios.

ELEMENTOS PRINCIPALES

- 1.- Transformador
- 2.- Interruptor de Potencia
- 3.- Restaurador
- 4.- Cuchillas fusibles
- 5.- Cuchillas desconectoras y cuchillas de prueba
- 6.- Apartarrayos
- 7.- tableros
- 8.- Condensadores
- 9.- Transformadores de instrumento

ELEMENTOS SECUNDARIOS

- 1.- Cables de Potencia
- 2.- Cables de Control
- 3.- Alumbrado

- 4.- Estructura
- 5.- Herrajes
- 6.- Equipo contra incendio
- 7.- Equipo de filtrado de aceite
- 8.- Sistema de tierras

XII.5 Subestaciones Compactas.

Las subestaciones que se utilizan principalmente en las instalaciones de edificios son las subestaciones compactas, que pueden ser para servicio interior o intemperie.

En términos generales podemos decir que las subestaciones eléctricas, tienen por objeto transformar, la alta tensión que las compañías suministradoras de energía (C.F.E. y/o Cía. de Luz) proporcionan a un precio más barato, a tensiones usuales en la industria, las instituciones o el comercio.

Antiguamente las subestaciones eran un dispositivo molesto, brmoso, ocupaban mucho espacio, eran peligrosas y generalmente al usario le disgustaban. Actualmente se usan las subestaciones unitarias, que son compactas, no presentan peligro, son fáciles de instalar, de mover de lugar, ampliar y tener un valor de recuperación mayor que las del tipo antiguo (Subestaciones abiertas).

El costo actual aproximado de una subestación compacta es del

50 a 75% del valor de una subestación abierta del tipo antiguo.

Las subestaciones unitarias se fabrican en secciones o partes, - para facilitar su transporte y montaje, pero una vez instalados forman un solo conjunto. Cada sección o parte llenan una función: mide, protege, conecta o desconecta, transforma, etc. Los aparatos o equipos y sus conexiones se encierran o blindan en gabinetes metálicos de manera que protege a los aparatos propios de la misma subestación y a las personas encargadas de su manejo.

XII.6 Componentes de una Subestación.

Las diferentes partes que componen una subestación normal son:

a) Acometida. Es el lugar en donde se hace la conexión en alta tensión a la subestación. En esta sección, cuando se compra energía a la C.F.E. y la Cía. de Luz, se hace la medición del consumo.

b) Sección de Medidores. En esta sección es donde se colocan - los medidores de la compañía suministradora, este equipo se usa para - medir el consumo de energía eléctrica. En esta sección se debe contar con un juego de cuchillas tripolares de operación sin carga, la cual - se usa para mantener la continuidad o aislar la continuidad en la subestación eléctrica. Para cumplir con lo establecido en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, nunca debe suprimirse esta cuchilla tripolar de operación en grupo sin carga, llamada cuchilla de paso.

En una temporada fue usual suprimirla, pero cuando se deseaba darle mantenimiento al resto de la subestación nos encontramos con el problema de estar solicitando libranzas a las compañías suministradoras; y al suprimirlas estábamos violando flagrantemente las Normas reglamentarias vigentes.

c) Interruptores. Esta sección tiene por objeto que el usuario pueda interrumpir en un momento dado, ya sea manualmente o automáticamente la totalidad del servicio eléctrico. La interrupción puede ser voluntaria para ampliaciones, reparaciones o en accidentes, o bien, puede ser automática por sobrecargas o cortocircuitos que puede ser perjudicial para transformadores y el resto del equipo.

d) Desconectores. Los desconectores, son para abrir un circuito, con fines de separarlo o modificarlo. No tienen protección de sobrecarga ni corto circuito, ni tienen capacidad para apertura con carga, por eso, antes de abrir un desconector, hay que quitar la carga. Los desconectores son más baratos que los interruptores.

e) Fusibles. Cuando un circuito se requiere proteger por sobrecarga, se usan los fusibles. Por ejemplo: a una subestación con varios transformadores, se le puede colocar un interruptor general y derivado de éste, se ponen varios juegos de 3 fusibles para proteger cada transformador. Este procedimiento, aunque abarata la instalación tiene el inconveniente, de que una falla o desconexión voluntaria del interruptor general, paraliza todo el sistema.

f) Espacios libres. Estos son gabinetes vacíos o que en algunas ocasiones se dejan instaladas las barras alimentadoras. Se usan, cuando dos o más transformadores grandes se montan atrás de los gabinetes y hay que ampliar los espacios requeridos. En otras ocasiones son en reserva de algún otro equipo que en el futuro se desee montar.

Si los transformadores se montan en el mismo eje de la subestación, el arreglo entre las celdas de interrupción con su transformador se hace por medio de ductos horizontales.

g) Transformadores. Como su nombre lo indica es la sección - donde se convierte la energía suministrada en alta tensión para los - voltajes nominales 6,13.2, 20/23 y 34.5 Kv. a los cuales se les denomina respectivamente de clase 7.5, 15, 25 y 34.5 Kv. en alta tensión, a baja tensión, utilizable en los aparatos de consumo 440, 220/127 volts.

Los transformadores tienen bobinas que son aisladas y enfriadas por el aceite contenido en un tanque provisto de radiadores. Son trifásicos, conexión en alta tensión en delta y baja tensión en estrella con neutro accesible, para los circuitos de alumbrado. En el circuito - de alta tensión o primario se instalan derivaciones, que pueden cambiarse por medio de una palanca, sin estar energizado el transformador; las derivaciones son para poder ajustar en alta tensión las diferencias que pueda haber en los voltajes suministrados por las compañías suministradoras; son normalmente dos derivaciones del $2\frac{1}{2}\%$ de la tensión nominal para ajustar arriba y dos para ajustar abajo. Como to-

do aparato eléctrico, que se alimenta con electricidad, el transformador sufre un calentamiento. Este calentamiento normal es de 55° sobre una temperatura ambiente máxima de 40° C.

El enfriamiento es más efectivo en regiones con presiones barométricas altas. Los transformadores normalizados están diseñados para regiones de 1000 metros sobre el nivel del mar (1000 MSNM). Esto naturalmente no quiere decir que no funcionen bien en otros lugares, si no que hay que tomar un punto de referencia estandarizado, ya que sería imposible diseñar transformadores para cada lugar de la tierra - con diferentes temperaturas y presiones barométricas. Los transformadores normalizados en México son para 60 ciclos por segundo.

Para subestaciones unitarias los transformadores vienen dotados con gargantas o ductos laterales en los lados opuestos, donde se alojan las terminales tanto de alta como de baja tensión.

La capacidad de los transformadores se mide en kilovoltamperes.

Pueden fabricarse transformadores con características diferentes de las normales, anteriormente indicadas, pero resultan mucho más caros y con frecuencia las alternativas o innovaciones son inútiles.

XII.7 Clasificación General de Subestaciones Compactas Normalizadas.

Las subestaciones compactas normalizadas, de una manera gene-

ral, se fabrican con las siguientes características.

INTERIOR.- Para ser montadas en el interior de un edificio, bajo cubierta sin que se vean afectadas por la lluvia, la humedad o cualquier otro agente físico que le perjudique. Se fabrica con lámina de 2.1 mm (1/16") de espesor.

EXTERIOR O INTEMPERIE.- Para ser montadas a la intemperie, directamente sobre una plataforma de concreto y expuesta a la lluvia, el sol y golpes ocasionales. Se fabrica con lámina más gruesa de 3.2 mm (1/8"), con techos inclinados, puertas con empaques de hule y sin dejar expuestos aparatos o elementos de control.

FRECUENCIA.- En la República Mexicana tenemos 60 hz normalizados.

TENSIONES.- las tensiones a las que tienden a normalizar las compañías suministradoras son 13.2, 22.9 y 34.5 Kv., sin embargo aún hay otras tensiones que poco a poco van a desaparecer, como son 6,000 volts. las tensiones 2.4, 4.16 y 6 Kv se usan para distribución industrial de carácter privado.

CAPACIDADES.- la capacidad de las subestaciones que se fabrican de manera normal son de 45, 75, 112.5, 150, 225, 500, 750 y 1000 KVA. Estas son con un solo transformador, sin embargo pueden combinarse varios transformadores en una sola subestación, haciendo

la de capacidad mayor que el equipo estándar.

XII.8 Selección de tensiones.

La selección de una tensión óptima tiene como principio reducir al máximo el costo de la instalación y operación del calibre del conductor que alimentará la carga. Como ejemplo podemos citar que un motor de 700 HP a una tensión nominal de 440 V necesitaría un alimentador - en cable de 2000 MCM aproximadamente; pero si la tensión nominal es mayor el calibre se ve reducido drásticamente, además de poder emplear un valor más comercial.

Para el caso de la tensión de recepción en la subestación principal se debe tomar en cuenta la carga total del sistema y con una tensión suficientemente elevada, el calibre de los conductores de distribución será óptimo, comercial y económico.

Las compañías suministradoras, generalmente, entregan la energía al cliente industrial en la forma que ésta es más económica para transmitirse. Muy a menudo la tensión de transmisión es más elevada que la que el cliente puede usar. Una ventaja de la alta tensión es que ocasiona pérdidas de transmisión mínimas; además, la tensión de transmisión alta presenta otra ventaja para la compañía suministradora, como para el cliente: reduce la variación de tensión en el punto de utilización (la diferencia entre la tensión cuando no hay carga y cuando hay carga plena en el sistema).

Cuando se conectan las cargas al sistema, la tensión del mismo se reduce. El bajo voltaje ocasiona que los motores se sobrecalienten y por esa razón fallen prematuramente. También es causa de que los equipos electrónicos funcionen erráticamente y, así mismo da lugar a una baja eficiencia del alumbrado.

Por otro lado cuando se desconectan las cargas del sistema, la tensión sube, el sobrevoltaje causará mayores exigencias en el mantenimiento del equipo electrónico, así como una reducción en la vida útil de las lámparas. La variación de voltaje se presenta al conectar y desconectar las cargas del sistema.

XII.9 Cálculo simplificado de corto circuito.

Si se tuviera que calcular el cortocircuito en el punto A del sistema que se ilustra en la figura 12.4 se podrá aplicar el siguiente método.

Obtener de la placa de datos del transformador lo siguiente: Capacidad del transformador (KVA), tensión de alimentación en el lado primario (antes del transformador), tensión de alimentación en el lado secundario (después del transformador), impedancia del transformador (z).

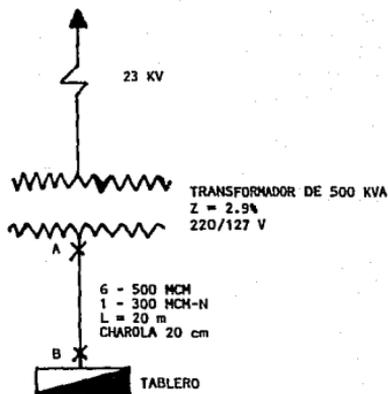


Fig. 12.4

El valor de la corriente de cortocircuito en el punto A se puede calcular con la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times \frac{E}{1000} \times \frac{Z}{100}}$$

donde:

KVA = Capacidad del transformador

E = Tensión de alimentación a la carga

Z = Impedancia del transformador

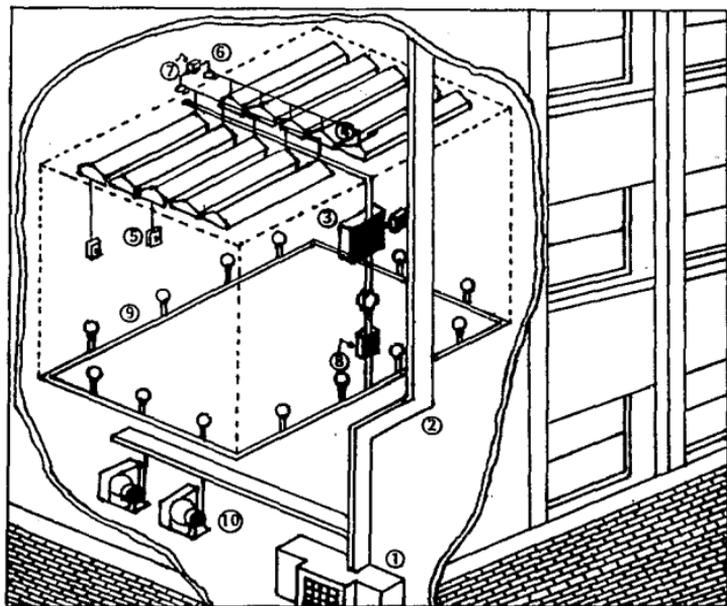
En el ejemplo tenemos que:

$$I_{cc} = \frac{500}{\sqrt{3} \times \frac{220}{1000} \times \frac{2.9}{100}} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 0.220 \times 0.029}$$

$$I_{CC} = 45\,246 \text{ Amperes}$$

El dispositivo de protección contra cortocircuito que se selecciona, debe ser de una capacidad interruptiva mayor a la corriente de cortocircuito calculada.

Si el cortocircuito ocurre en el punto B, n metros después del punto A, la impedancia del conductor contribuirá a disminuir la corriente de cortocircuito.



**DISTRIBUCION ELECTRICA TIPICA
EN UN EDIFICIO**

- 1.- Subestación
- 2.- Ducto
- 3.- Tablero o centro de carga
- 4.- Circuitos de alumbrado
- 5.- Apagadores
- 6.- Relevadores de control de alumbrado
- 7.- Transformador tipo seco para alumbrado
(Cuando es necesario)
- 8.- Tablero de control a contactos
- 9.- Salidas para contactos y/o aplicaciones especiales
- 10.- Motores del sistema de ventilación y bombeo

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Cada instalación eléctrica de un edificio tiene sus características y problemas muy particulares y su solución se debe realizar tomando en cuenta las normas al respecto y la aplicación del criterio y experiencia del responsable del proyecto y construcción de la misma instalación.

Este trabajo lo he preparado con el deseo de que el Ingeniero - civil y los constructores en general tengan un amplio panorama de las instalaciones eléctricas y en el cual explico los métodos de cálculo comúnmente usados y que cumplen con la reglamentación vigente. Espero que sea un buen ejemplo de referencia para conocer las características principales del equipo eléctrico y que sea útil para entender, proyectar y construir las instalaciones eléctricas de un edificio.

He abordado temas que son áridos y de difícil comprensión como el cálculo de la corriente de cortocircuito, medios de protección, sistema de tierras, circuitos de fuerza, etc., sin embargo, los he tratado en la forma más sencilla posible para que se entienda fácilmente.

En toda instalación eléctrica es importante buscar la relación adecuada entre seguridad, economía y eficiencia para lograr una instalación óptima, es por eso que estos aspectos se han tratado con todo detalle.

Tomando como base primordial los requerimientos de la reglamentación vigente, cada capítulo se ha desarrollado considerando lo que establecen las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, de tal manera que se cumplan los requisitos mínimos de seguridad en la selección de equipo eléctrico, pero no se debe olvidar que para la solución de problemas específicos se debe consultar la bibliografía correspondiente.

Considerando que normalmente el ingeniero civil es uno de los profesionistas que intervienen en la construcción de un edificio y en muchos casos es el encargado de supervisar la obra en forma general, es indispensable que éste conozca los elementos que constituyen la instalación eléctrica y como se calculan dichos elementos, para que en un momento dado pueda decidir sobre las condiciones, características y operación de las instalaciones eléctricas que forman parte de dicho edificio. En virtud de lo anterior el ingeniero civil y los constructores en general deben tener elementos de consulta, con este trabajo pretendo conjuntar todos los elementos que permiten la comprensión y cálculo de las instalaciones eléctricas mediante un método práctico y sin entrar en detalles específicos propios de un análisis más exhaustivo.

Este trabajo tiene un interés especial porque se entienda la importancia que tienen las instalaciones eléctricas en toda edificación y la necesidad de su estudio y comprensión por parte de los constructores en general. Como dije anteriormente no se debe considerar que este trabajo constituye un manual de especificaciones para proyecto y -

construcción de instalaciones eléctricas, sin embargo he tratado de plantearlo con un enfoque amplio y equilibrado de los conceptos básicos y necesarios para entender, proyectar y construir las instalaciones eléctricas de los edificios. Otro de los objetivos que persigo, es el de familiarizar al ingeniero civil con el lenguaje técnico de los ingenieros electricistas y con el aspecto normativo de las mismas instalaciones. Para lograr lo anterior me he apoyado en los fundamentos conceptuales - básicos, en tablas de datos prácticos, en ilustraciones y en los cálculos necesarios para un entendimiento más claro y preciso.

Considero que para un desarrollo integral en el ámbito profesional, el ingeniero civil debe complementar su formación con el estudio - de todos los aspectos vinculados con el ejercicio de su profesión y sin duda alguna las instalaciones eléctricas se encuentran vinculadas en - forma ineludible a prácticamente toda obra civil.

Actualmente el campo de trabajo del ingeniero civil se encuentra muy competido y ante los cambios que se avecinan con el Tratado del Libre Comercio es necesario tener una mayor y mejor preparación. Ampliar nuestros conocimientos en general y sobre todo en las áreas íntimamente ligadas con el ejercicio de nuestra profesión, nos permitirá - sin duda alguna consolidarnos como profesionistas y lograr el éxito que seguramente pretendemos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- W. Fisher Howard. Especialidades eléctricas, lectura de planos y elaboración de diagramas. Editorial Diana, S.A. México (1971)
- 2.- Karl Volger. Instalaciones técnicas en la construcción de viviendas. Editorial Labor, S.A. España (1968)
- 3.- Konrad Sage. Instalaciones Técnicas en edificios volumen 1. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona (1975)
- 4.- Mercick Gay Charles, de Van Fawcett Charles, J. Mc Guinness - William, Stein Benjamin. Instalaciones en los edificios. Editorial - Gustavo Gili, S.A. Barcelona (1974)
- 5.- Camarena M. Pedro. Manual de instalaciones eléctricas residenciales. Compañía Editorial Continental, S.A. México (1975)
- 6.- F. Mc Partland Joseph y Novak William. Electrical Design Details. Mc Graw-Hill. (1983)
- 7.- Enriquez Harper Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. Editorial Limusa, S.A. México (1982)
- 8.- Becerril L. Diego Onésimo. Instalaciones eléctricas prácticas. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional. México (1973)
- 9.- William H. Hayt y Jack E. Kemmerly. Engineering Circuit Analysis. Mc Graw Hill Kogakusha Ltd. Tokyo (1971)

- 10.- Luca Marín Carlos. Líneas e instalaciones eléctricas. SEP. México (1976)
- 11.- Ramírez Vázquez José. Instalaciones eléctricas. Ediciones Ceac, - S.A. Barcelona (1980)
- 12.- Raúl Martín José. Diseño de subestaciones eléctricas. Mc Graw - Hill de México, S.A. de C.V. México (1987)
- 13.- Neagu Bratu Serban y Campero Silva E. Instalaciones eléctricas - conceptos básicos y diseño. Ediciones Alfa Omega, S.A. de C.V. México (1990)
- 14.- J. Thaler George y L. Wicox Milton. Máquinas Eléctricas. Editorial Limusa, S.A. México (1979)
- 15.- Cutler-Hammer. Catálogo Industrial. México (1990)
- 16.- Square D. Catálogo general. México (1989)
- 17.- Cooper Industries, Bussmann. Seminario de fusibles buss. México (1989)
- 18.- Sheinbaum Pardo Claudia. Economía del uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación. Tesis para maestría en Ingeniería Energética. México (1990)
- 19.- Normas Técnicas para instalaciones eléctricas. Dirección General - de Normas. México (1985)

20.- Apuntes del curso de instalaciones eléctricas para edificios. División de educación continua de la Facultad de Ingeniería. UNAM. México (1992).