

17  
Rej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**ARAGON**

**PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE EN  
INSTALACIONES DE UTILIZACION  
DE ENERGIA ELECTRICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**ALBERTO REYES GUEVARA**

**SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO**

**1986**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **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.



ING. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO  
COORDINADOR DEL AREA DE INGENIERIA,  
P R E S E N T E .

En relación a la solicitud del profesor ING. CARLOS GONZALEZ CARPIO, de fecha 11 de septiembre del año en curso, por la que se comunica que el alumno ALBERTO REYES GUEVARA, de la carrera de INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "PROTECCION CONTRA SOBRE-CORRIENTE EN INSTALACIONES DE UTILIZACION DE ENERGIA ELECTRICA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado - por dicho asesor, se autoriza su impresión, así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón. Edo., de México., septiembre 18 de 1986.  
EL JEFE DE LA UNIDAD

LIC. ARTURO MUÑOZ COTA PEREZ

c.c.p. Sra. Gloria Bech Germán. Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
Asesor de Tesis.  
Interesado.

# INDICE

Pág.

## INTRODUCCION

CAPITULO I.	Instalaciones Eléctricas en Mediana y Baja Tensión	
1.-	Concepto de Instalación Eléctrica . . . . .	1
2.-	Componentes de una Instalación Eléctrica de Utilización. . . . .	2
CAPITULO II.	Protección Contra Sobrecorriente en Circuitos con Cargas de Alumbrado y Contactos	
1.-	Generalidades . . . . .	38
2.-	Sobrecargas y Cortocircuitos. . . . .	39
3.-	Descripción de Dispositivos de Protección Contra Sobrecorriente. . . . .	44
CAPITULO III.	Protección Contra Cortocircuitos y Sobrecargas en Circuitos que Abastecen a Motores y Soldadoras	
1.-	Protección de Circuitos para - Motores . . . . .	69
2.-	Protección de Circuitos para - Soldadoras. . . . .	87

CAPITULO IV.	Cálculo de Corriente de Cortocircuito en Instalaciones Eléctricas en - Mediana y Baja Tensión	
	1.- Estudio del Cortocircuito . . . . .	89
	2.- Cálculo de Corriente de Cortocircuito. . . . .	96
CAPITULO V.	Selección de Protecciones en Función de la Capacidad Interruptiva - de las mismas	
	1.- Definición. . . . .	114
	2.- Selección de Protecciones de Acuerdo con su Capacidad Interruptiva. . . . .	115
	3.- Tabla de Nivel de Cortocircuito para Diferentes Capacidades de Transformadores. . . . .	120
CAPITULO VI.	Coordinación de Protecciones	
	1.- Generalidades . . . . .	122
	2.- Coordinación de Fusibles de Baja y Alta Tensión . . . . .	125
CAPITULO VII.	Protección Contra Sobrecorriente en Mediana Tensión para Transformadores	
	1.- Generalidades . . . . .	144
	2.- Protección de Transformadores . . . . .	146

	Pág.
3.- Selección de la Protección Contra Sobrecorriente. . . . .	158
CAPITULO VIII. Protección Contra Sobrecorriente en Motores que Operan en Mediana Tensión	
1.- Antecedentes. . . . .	159
2.- Protección de Motores que Operan en Mediana Tensión. . . . .	160
CAPITULO IX. Puesta a Tierra en Instalaciones -- Eléctricas de Mediana y Baja Tensión	
1.- Generalidades . . . . .	168
2.- Puesta a tierra de Instalaciones Eléctricas de Utilización de Energía Eléctrica. . . . .	169
3.- Sistemas de Tierras para una Subestación . . . . .	177
CONCLUSIONES.	
BIBLIOGRAFIA.	

A mis padres:

Alberto y Gloria

como muestra de gratitud por  
el apoyo que me dieron en mi  
formación profesional.

A mis hermanos:

Enrique y Emilio

por su superación

A Rebeca

Por el cariño depositado  
en la realización del --  
presente trabajo.

A mi querida Escuela, Maestros  
y Compañeros:

por aquellos momentos en que  
estuvimos juntos.

## INTRODUCCION

En la actualidad, la energía eléctrica se aprovecha en la mayoría de los procesos productivos de nuestro país, pero para llevar a cabo dichos propósitos, es necesario que las instalaciones eléctricas de utilización sean seguras, eficientes y flexibles a fin de asegurar la continuidad eléctrica en dichos procesos.

Uno de los elementos fundamentales para llevar a cabo dichos fines son las protecciones contra sobrecorriente, las cuales estudiaremos en el presente trabajo.

En forma ideal, se busca que en las instalaciones de utilización no existan fallas eléctricas, pero en la realidad se debe estar consciente de la existencia de dichas fallas, las cuales deben ser detectadas y aisladas del resto del sistema mediante los dispositivos de protección que posteriormente trataremos. De la rapidez con que se detecte y aisle la falla eléctrica, depende la seguridad a los usuarios y a la propia instalación.

La capacidad de producción en una empresa, depende mucho de la eficiencia y continuidad en el servicio, - los cuales se pueden evaluar directamente en términos de pérdida-producción. Generalmente, el costo de la producción-pérdida, excede al costo del daño sufrido por el equipo sometido a una falla; por lo que es muy importante para la operación industrial que el sistema eléctrico sea correctamente diseñado, de tal manera que el equipo de protección pueda ser aplicado rápidamente para aislar las fallas con un mínimo de interrupciones en el servicio.

Por otra parte, las fallas en los sistemas industriales no sólo pueden producir pérdidas en la producción, sino también dañar al personal y a las instalaciones de la planta como resultado de una explosión o a causa del fuego producidos por la falla.

Una falla franca no eliminada en una planta, puede comprometer las operaciones de la compañía suministradora de energía eléctrica y dejar sin servicio a una área bastante grande afectando así, a numerosos clientes de ésta.

Los factores antes mencionados, o sea, pérdidas en la producción, daños al personal, daños a las instalaciones y consideraciones para los otros usuarios del servicio de la compañía suministradora de energía eléctrica, se deben considerar para la determinación del sistema de protección adecuado en las instalaciones eléctricas de utilización.

En el presente trabajo, únicamente se analizarán los dispositivos de protección más comunes en baja y mediana tensión, dando las bases suficientes para su correcta aplicación y funcionamiento.

# CAPITULO I

## INSTALACIONES ELECTRICAS EN MEDIANA Y BAJA TENSION

### 1.- Concepto de Instalación Eléctrica

Para los propósitos de este trabajo se entenderá como Instalación Eléctrica en Mediana y Baja Tensión al conjunto de elementos necesarios para conducir y transformar la energía eléctrica para que sea utilizada en las máquinas y aparatos receptores para su utilización final cumpliendo - con los siguientes requisitos:

- a) Ser segura contra accidentes.
- b) Eficiente.
- c) Económica.
- d) Accesible y de fácil mantenimiento.
- e) Flexible.
- f) Asegurar en los espacios que así lo requieran, la - continuidad del servicio.
- g) Cumplir con los requisitos mínimos de seguridad que fija el Reglamento de Instalaciones Eléctricas y -- sus Normas Técnicas.

### 2.- Componentes de una Instalación Eléctrica de Utilización

Las Instalaciones Eléctricas de Utilización - pueden ser en Mediana Tensión, Baja Tensión, o ambas; para los efectos de este Capítulo, se tratarán por separado los -

materiales y equipos propios de cada Tensión.

En una instalación eléctrica intervienen como materiales y equipos principales para transformar, conducir, proteger y controlar la energía eléctrica, los siguientes:

Subestaciones de Usuarios

Elementos en Baja Tensión

### **2.1.- Subestaciones de Usuarios**

Se puede definir una Subestación Eléctrica como un conjunto de equipos, dispositivos, conductores y otros elementos que tienen la función de modificar los parámetros de la energía eléctrica, como son la tensión y la corriente, además de proveer un medio de interconexión y distribución a los diferentes centros de consumo.

Una subestación de usuario básicamente está constituida por uno o varios transformadores reductores, o de distribución con sus respectivos equipos adicionales para su protección, control, operación y medición.

Las subestaciones de usuarios por su aplicación, diseño y uso, se pueden dividir en los siguientes tipos:

a) **Abiertas (intemperie o interior).**

Estas subestaciones se caracterizan porque el equipo tiene partes vivas expuestas, requiriendo espacios amplios para su montaje y en el que generalmente se utilizan estructuras grandes y robustas.

b) Compactas (intemperie o interiores).

En este grupo las subestaciones cuentan con gabinetes individuales para alojar los equipos que las -- constituyen; por su tamaño reducido requieren poco espacio, tienen buen acceso a todas las partes del equipo y posibilidades de ampliación.

Los gabinetes tienen puertas con ventanillas y cerraduras especiales, con bloqueo mecánico para evitar abrir las puertas cuando los gabinetes están bajo tensión. Es decir, la conexión y desconexión se hace siempre con las puertas cerradas.

Dentro de este grupo, se encuentran diseños especiales conocidos como Subestaciones Tipo Pedestal o Tipo Jardín, usadas en sistemas de distribución subterránea.

c) Tipo Rural o Tipo Poste.

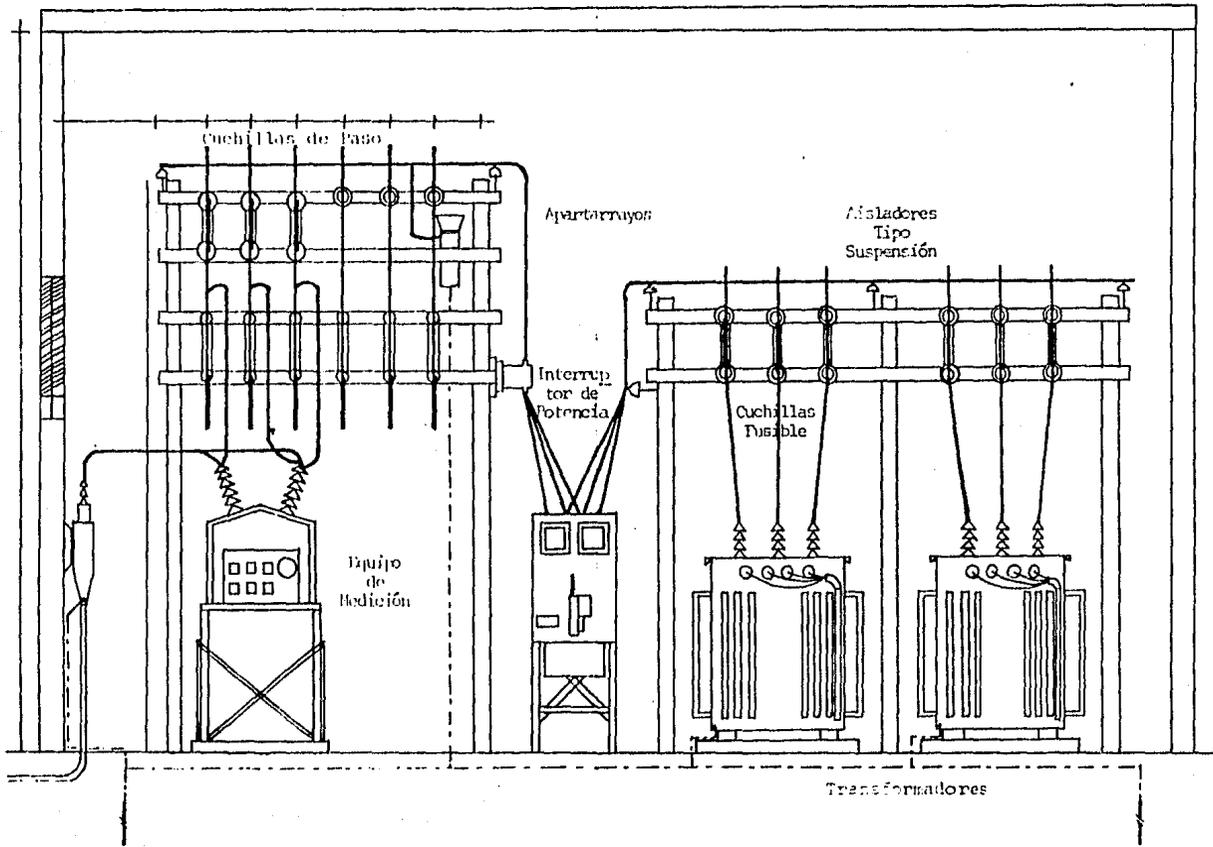
Es la Subestación más reducida usada por los usuarios, ya que en base a su pequeña capacidad, en un poste se instala todo el equipo de mediana tensión de que consta.

A.- Componentes Principales de una Subestación de Usuario.

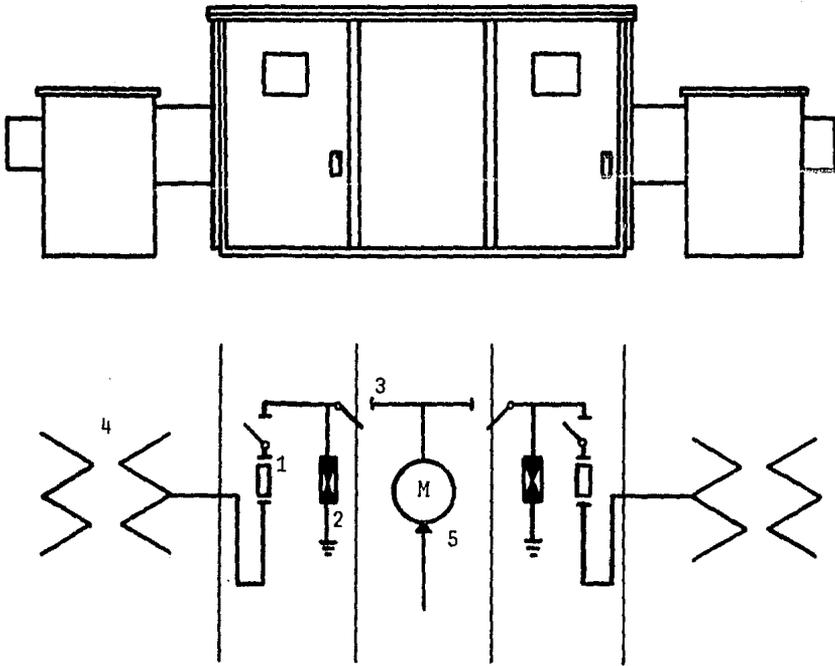
a) Equipo de Medición

La medición de la energía en subestaciones de usuarios generalmente se hace en el lado de mediana tensión, por medio de un equipo integral que es propiedad del organismo suministrador y que consta de:

Transformadores de Corriente, Transformadores de Potencial, Medidores de KWH, medidores de KVARH, medidor de demanda máxima, mufa terminal para el cable de acometida y tablillas - de conexión para el cableado del sistema de medición. Todo el equipo lleva una envolvente metálica que requiere estar -

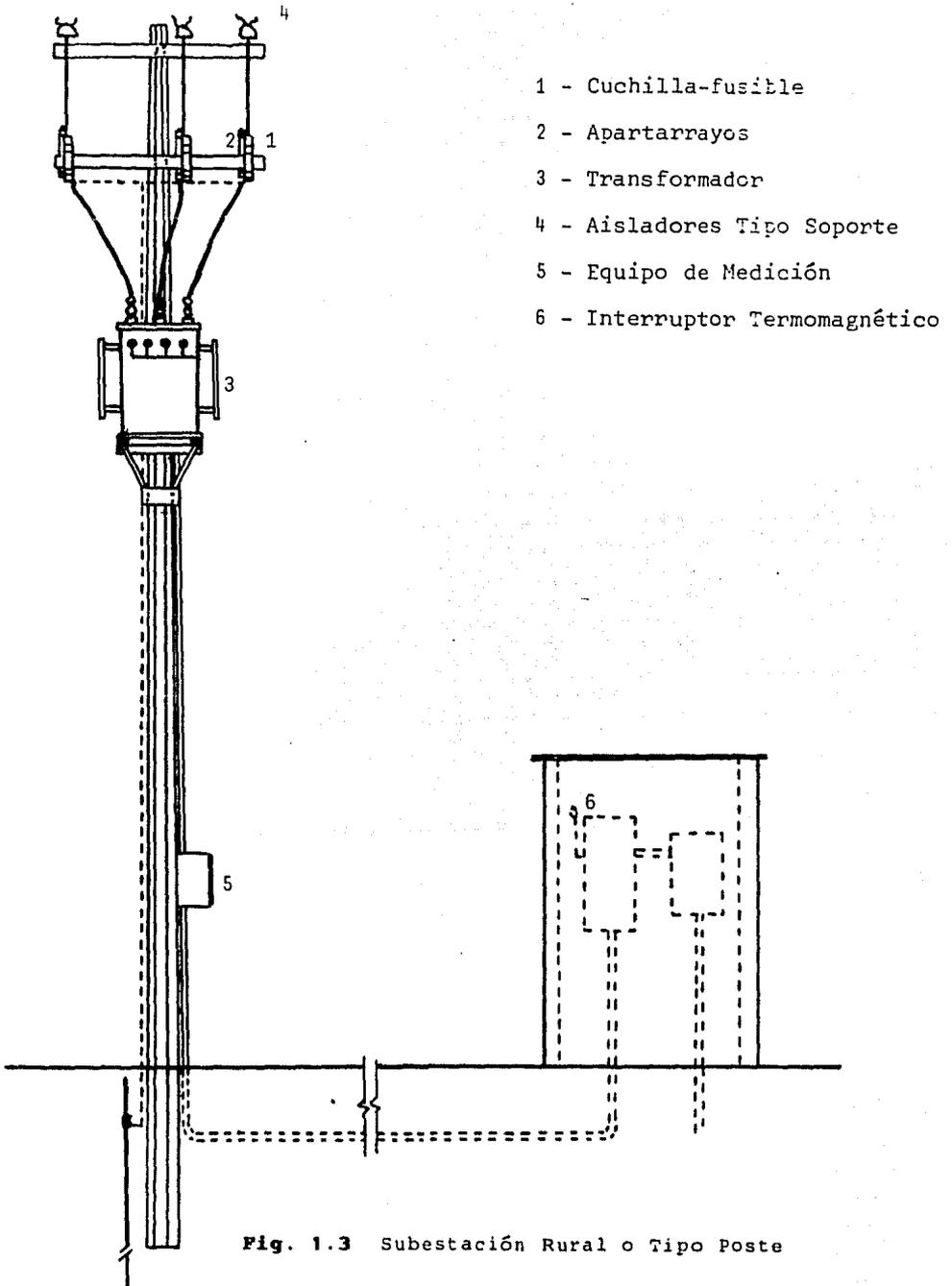


**Fig. 1.1** Subestación Abierta



**Fig. 1.2** Subestación Compacta.

- 1 - Interruptor
- 2 - Apartarrayos
- 3 - Cuchillas de Paso
- 4 - Transformador
- 5 - Equipo de Medición



debidamente sellada, a fin de evitar violaciones al sistema de medición.

b) Cuchillas de Prueba

Estas cuchillas son denominadas en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas "*desconectores*" y - están definidas como dispositivos para abrir o cerrar en aire un circuito, solamente después de que se ha desconectado la carga por algún otro medio.

La razón por la cual las cuchillas no pueden operar con carga es que no tienen ningún elemento para interrumpir la corriente y evitar la formación de arcos eléctricos. El efecto producido en la apertura del circuito con -- carga puede ocasionar arcos por liberación de energía además de producir un desgaste considerable en los contactos y acor<sup>ta</sup>tar la vida del dispositivo, amén de poner en peligro la integridad del operario.

Recientemente, basados en la economía de una subestación, se ha considerado un juego de desconectores - exclusivamente, llamados de paso. Este concepto es una modi<sup>fi</sup>ficación al tradicional juego de cuchillas de prueba, que -- permite al usuario ahorrarse dos juegos de desconectores, siempre y cuando el usuario se comprometa con el suministrador, mediante un escrito, a suspender el servicio cuando así lo requiera la compañía suministradora.

Generalmente se utilizan los otros dos juegos de cuchillas cuando no es factible, para el usuario, suspender el suministro de energía y mediante estos desconectado--res, el organismo suministrador pueda realizar las pruebas - que se requieran sin afectar el funcionamiento normal de la instalación.

Otra forma de utilización de los desconectado<sup>res</sup> es para abrir líneas de mediana tensión, para maniobras de operación o de mantenimiento cuando la fuente de abasteci<sup>mi</sup>miento esté energizada.

c) Interruptores de Mediana Tensión

Para los interruptores utilizados en las subestaciones, los Artículos 601.5, 601.6 y 601.7 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas especifican lo siguiente: toda subestación de usuario debe contar en el lado primario, después del equipo de medición, con un medio de desconexión general y un dispositivo de protección contra sobrecorriente, los cuales deberán ser los adecuados a la tensión y corriente nominal del servicio. Para el medio de desconexión se establece que sea de operación simultánea y capaz de abrir el circuito bajo condiciones de carga máxima, y para el dispositivo de protección contra sobrecorriente, que sea de capacidad interruptiva adecuada (ésta debe ser igual o mayor a la requerida por el organismo suministrador en el punto de entrega de la energía eléctrica). En el Capítulo VII del presente trabajo se estudiarán los tipos y características de estos dispositivos.

d) Apartarrayos

Una parte esencial en el diseño de subestaciones es proteger al equipo contra sobretensiones de origen externo, como son las descargas atmosféricas o el contacto accidental con líneas de tensiones más elevadas y otras de origen interno como son la apertura o cierre de interruptores, de manera que estas sobretensiones no excedan el nivel de aislamiento adoptado; tal protección se logra con la instalación de apartarrayos.

La selección de las características y la localización de los apartarrayos en la subestación, es importante para lograr una protección adecuada. Esta protección es máxima en el lugar de la instalación del apartarrayos y disminuye gradualmente a medida que la conexión de los equipos o aparatos se aleja de él hacia ambos lados de manera que para valores de distancia mayores a la de la zona de protec---

ción, el apartarrayos ya no protege al equipo en la medida que se requiere. La gráfica de la **figura 1.4** nos muestra el nivel de protección ofrecida por el apartarrayos en función de la tensión de operación y la distancia a la que se encuentra conectado el equipo.

Las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas establecen que deben instalarse apartarrayos en plantas industriales, especialmente donde las tormentas son frecuentes y de gran intensidad. Su instalación tanto para proteger al equipo de la subestación como al equipo de utilización, puede hacerse en el interior o exterior del local que contiene al equipo que se va a proteger.

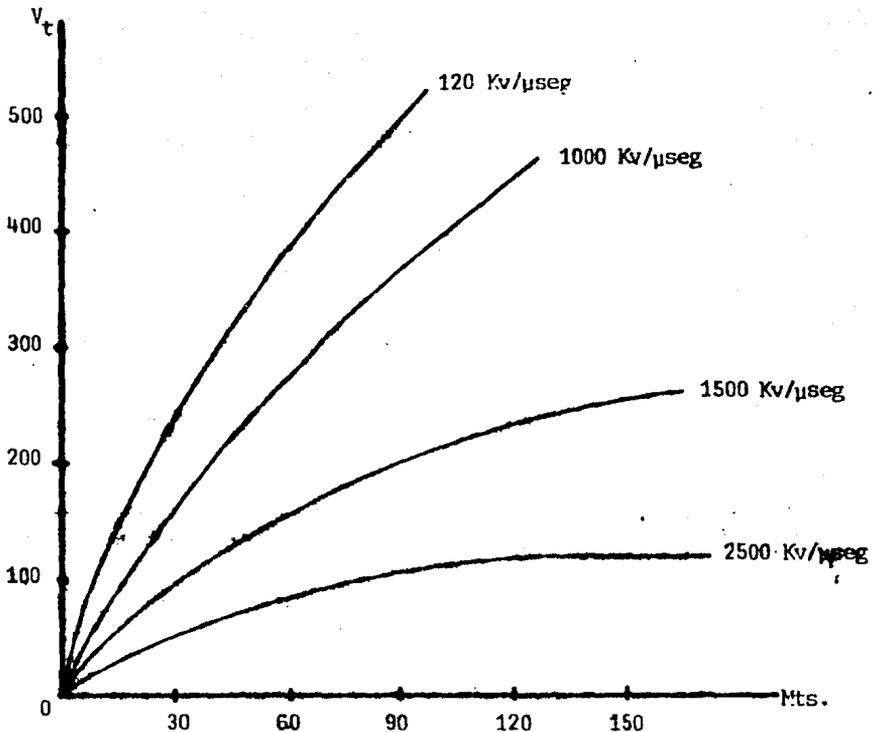
Los apartarrayos deben conectarse a tierra lo más directamente posible, con un conductor de baja impedancia; recomendándose un calibre no menor que el No. 2 AWG. También deben conectarse a tierra la estructura y las partes metálicas del apartarrayos que no conducen corriente.

#### e) Transformadores

El transformador es un equipo estático que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro modificando las características de tensión y corriente y conservando la frecuencia constante.

Las partes principales de que está formado un transformador son las siguientes:

- 1.- Núcleo
- 2.- Devanados Primario y Secundario
- 3.- Tanque
- 4.- Boquillas aisladoras para conexión
- 5.- Herrajes (para sujeción del núcleo)
- 6.- Ganchos de sujeción
- 7.- Base para rolar



**Fig. 1.4** Nivel de Protección para Apartarrayos Tipo Expulsión.

- 8.- Placa de características.
- 9.- Placa de Conexión a Tierra
- 10.- Instrumentos Indicadores

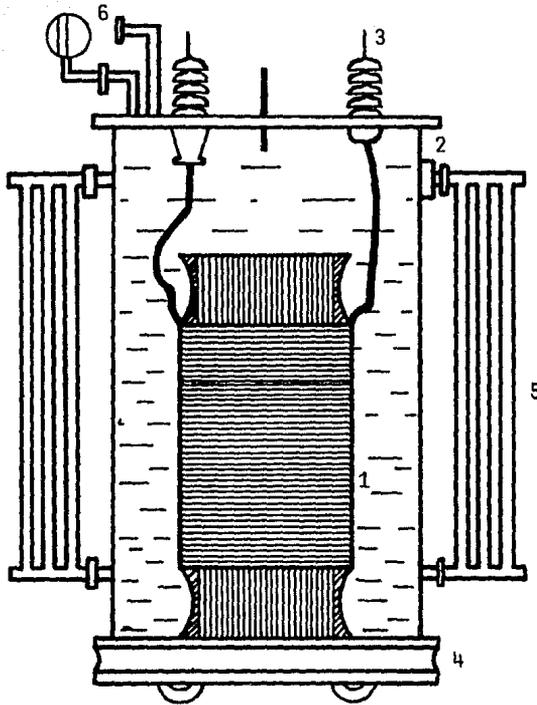
Los transformadores se pueden clasificar por:

a) Por el medio refrigerante

- 1.- Aire
- 2.- Aceite
- 3.- Líquido Inerte

b) Por el tipo de enfriamiento

- 1.- Tipo OA. Sumergido en aceite con enfriamiento natural. El calor se transmite del transformador al aceite, del aceite al tanque, y el tanque lo disipa por contacto con el aire. Para aumentar el área de disipación del calor, se aumenta la superficie de radiación de los transformadores, para lo cual se hacen los tanques corrugados o con tubos radiadores.
- 2.- Tipo OA/FA. Sumergido en aceite con enfriamiento propio y con enfriamiento de aire forzado. (Fig. 1.6).
- 3.- Tipo FOA. Sumergido en aceite con enfriamiento por aceite forzado con enfriadores de aire forzado.
- 4.- Tipo OA/FA/FOA. Sumergido en aceite con enfriamiento propio a base de aire forzado y aceite forzado. Este transformador es básicamente un OA, con adición de ventiladores y bombas para circulación de aceite.



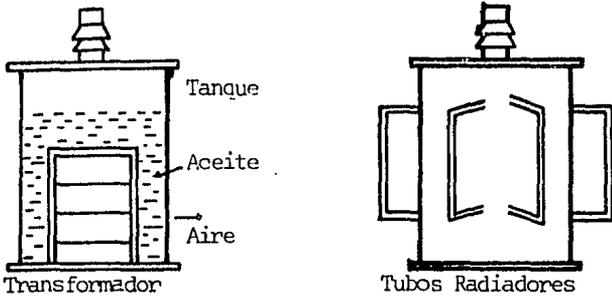
**Fig. 1.5** Partes Esenciales del Transformador

- 1 Devanados Primario y Secundario
- 2 Tanque
- 3 Boquillas Aisladoras para Conexión
- 4 Base para Rolar
- 5 Tubos Radiadores
- 6 Indicador de Nivel de Aceite

- 5.- Tipo OW. Sumergido en aceite con enfriamiento por agua. El calor del aceite se transmite al agua y ella se encarga de disiparlo. (Fig. -- 1.7).
- 6.- Tipo FOW. Sumergido en aceite, con enfriamiento de aceite forzado y enfriamiento de agua -- forzada.
- 7.- Tipo AA. Seco con enfriamiento propio. Para tensiones bajas y capacidades pequeñas.
- 8.- Tipo AFA. Seco con enfriamiento de aire forzado

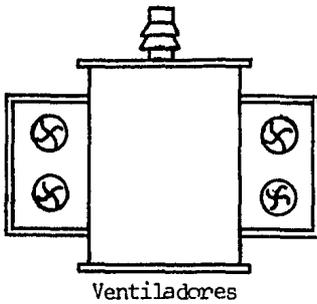
La correcta aplicación e instalación de los transformadores debe cumplir con lo siguiente:

- 1.- El tanque y sus gargantas serán accesibles para -- inspección y mantenimiento.  
Para subestaciones unitarias los transformadores -- vienen dotados con gargantas o ductos laterales, -- donde se alojan las terminales de mediana y baja -- tensión.
- 2.- Los transformadores sumergidos en líquidos deben -- estar provistos de boquillas terminales tanto en -- el lado de alta como de baja tensión, para asegu-- rar que en caso de rotura, por un aislador no ha-- brá fuga de líquido.
- 3.- Los transformadores en aceite no podrán ser insta-- lados dentro de los gabinetes.
- 4.- Todo transformador estará protegido contra sobreco-- rriente como se señala en el Capítulo VII del pre-- sente trabajo.

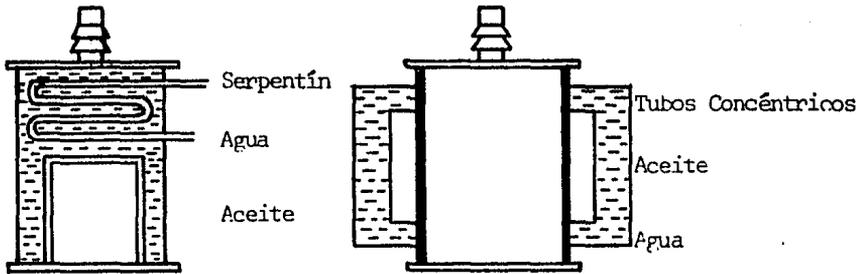


Tipo OA

Fig. 1.6

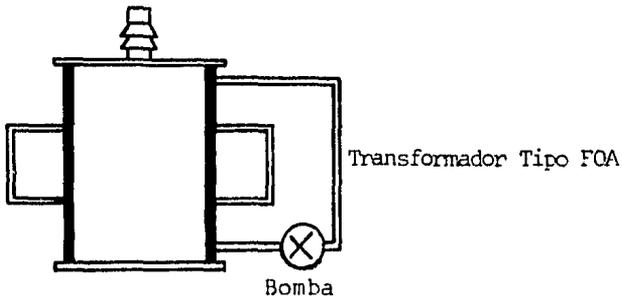


Tipo OA/FA



Transformador Tipo OW

Fig. 1.7



Transformador Tipo FOA

f) Tablero de Baja Tensión

El tablero de baja tensión tiene por objeto - distribuir y controlar la energía eléctrica dentro del área donde se utiliza. Este debe diseñarse tomando en cuenta el uso a que se destine, para obtener un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, permitiendo continuidad en el servicio y protección a las personas.

El tablero general que se encuentra después - del transformador o transformadores de la subestación, tiene los siguientes componentes principales:

- a) Gabinete Metálico.
- b) Barras Colectoras
- c) Interruptores para Circuitos Alimentadores o Derivados

Los requisitos que debe cumplir la instala--- ción de dicho tablero están contenidos en la Sección 405 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, complemen tados con los requisitos de la Sección 505.

g) Barras Colectoras

Se llaman Barras Colectoras al conjunto de -- conductores rígidos que se utilizan como conexión de los diferentes componentes de que consta una subestación. Los tipos normalmente usados son los siguientes:

- a) Solera. Es la barra más comúnmente usada para llevar grandes cantidades de corriente en subestacio-- nes compactas.
- b) Tubo. El tubo se usa principalmente para llevar co rrientes en subestaciones de tipo abierto, interio-- res o exteriores.
- c) Cable Desnudo. El Cable Desnudo es el tipo de ba-- rra usado especialmente en subestaciones abiertas - intemperie.

## h) Aisladores

Los aisladores utilizados en las subestaciones se clasifican en dos grupos:

- a) Aisladores Tipo Soporte
- b) Aisladores Tipo Suspensión

Ambos tipos de aisladores deben cumplir con dos funciones esenciales: primero, resistir los esfuerzos dinámicos debidos a las fallas de cortocircuito; y, segundo, asegurar el aislamiento eléctrico entre las partes bajo tensión eléctrica con respecto a tierra.

## i) Sistema de Tierras

El sistema de tierras de una subestación proporciona un elemento de conexión a tierra para los neutros, tanques, carcazas o gabinetes de cada uno de los equipos ubicados dentro del área de la subestación; sus principales funciones son:

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de corrientes de tierra, ya sean debidas a una falla a tierra del sistema eléctrico o a la operación de un apartarrayos.
- Evitar que, durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación (ya sea sobre el piso o con respecto a partes metálicas puestas a tierra) que puedan ser peligrosas para el personal.
- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

Posteriormente, en el Capítulo IX se tratará más

ampliamente la importancia de contar con un adecuado sistema de tierras.

## **2.2.- Elementos en Baja Tensión**

Los principales elementos que forman las instalaciones eléctricas en baja tensión son los siguientes:

### **2.2.1.- Conductores Eléctricos**

En cualquier instalación se requiere que los elementos de conducción eléctrica tengan una buena conductividad y cumplan con otros requisitos en cuanto a sus propiedades eléctricas y mecánicas, considerando desde luego el aspecto económico. Por esta razón, la mayor parte de los conductores empleados en instalaciones eléctricas están hechos de cobre (Cu) o aluminio (Al) que son comercialmente los materiales con mayor conductividad y con un costo lo suficientemente bajo como para que resulten económicos.

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

Por lo general, los conductores eléctricos se fabrican de sección circular de material sólido o como ca--- bles, dependiendo de la cantidad de corriente por conducir y su utilización. Desde el punto de vista normativo, los conductores se han identificado por un número que corresponde a lo que comúnmente se conoce como el calibre y que normalmente se sigue el sistema americano de designación AWG (Ameri-- can Wire Gage) siendo el de calibre mayor el número 4/0. Pa ra conductores con un área mayor, se hace una designación --

que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada el Circular Mil (C.M.), siendo así como un conductor de 250 MCM corresponderá a aquel cuya sección sea de 250,000 C.M., y así sucesivamente, entendiéndose como:

Circular Mil.- A la sección de un círculo que tiene un diámetro de un milésimo de pulgada --- (0.001 pulg.).

en forma aproximada:

$$1 \text{ mm}^2 = 2,000 \text{ C.M.}$$

En la Tabla 1.1 se indican las dimensiones de los conductores eléctricos desnudos.

Antiguamente los conductores eléctricos se -- aislaban con hule, conociéndose comercialmente como tipo R, actualmente se fabrican con aislantes para un gran número de aplicaciones, siendo los más conocidos los señalados en la - Tabla 1.2

#### A.- Capacidad Permisible.

La capacidad de corriente de un conductor es el valor de la corriente en amperes, que puede conducir sin exceder de una temperatura de operación prefijada. El aumento de temperatura está regulada por la pérdida eléctrica - - ( $I^2R$ ) en la resistencia del conductor, la cual se incrementa al aumentar la temperatura y por la capacidad de disipación del calor del aislante y del medio ambiente en que está instalado el conductor.

Tabla 1.1

## DIMENSIONES DE LOS CONDUCTORES ELECTRICOS DESNUDOS

CALIBRE A. W. G. M. C. M.	SECCION		DIAMETRO	
	C. M.	mm <sup>2</sup>	Pulg.	mm
20	1022	0.5176	0.03196	0.812
18	1624	0.8232	0.04030	1.024
16	2583	1.3090	0.05082	1.291
14	4107	2.0810	0.06408	1.628
12	6530	3.3090	0.08081	2.053
10	10380	5.2610	0.1019	2.588
8	16510	8.3670	0.1285	3.264
6	26250	13.3030	0.1620	4.115
4	41740	21.1480	0.2043	5.189
3	52630	26.6700	0.2294	5.827
2	66370	33.6320	0.2576	6.543
1	83690	42.4060	0.2893	7.348
0	105500	53.4770	0.3249	8.252
00	133100	67.4190	0.3648	9.266
000	167800	85.0320	0.4096	10.403
0000	211600	107.2250	0.4600	11.684
250		126.644	0.575	14.605
300		151.999	0.630	16.002
350		177.354	0.681	17.297
400		202.709	0.728	18.491
500		253.354	0.814	20.675
600		303.999	0.893	22.682
700		354.708	0.964	24.685
750		379.837	0.998	25.349
800		405.160	1.031	26.187
900		455.805	1.093	27.762

CALIBRE	SECCION		DIAMETRO	
	A. W. G. M. C. M.	C. M.      mm <sup>2</sup>	Pulg.	mm
1000	506.450	1.152	29.260	
1250	633.063	1.289	32.741	
1500	759.677	1.412	35.865	
1750	886.286	1.526	38.760	
2000	1012.901	1.631	41.427	

Para instalar conductores en cualquier tipo - de canalización, es necesario tomar en cuenta la temperatura del medio ambiente en la cual van a operar, así como el número de conductores que estarán alojados en la canalización. (Ver Factores de Corrección por Agrupamiento en lo referente a Canalizaciones en el Punto 2.2.2 del presente Capítulo). con estos dos parámetros se podrá seleccionar el conductor - adecuado.

A continuación se muestra una tabla de Conductores Aislados, los cuales tienen una capacidad de corriente a diferentes temperaturas permitidas en el aislamiento. (Ver Tabla 1.3).

Los valores de corriente de los conductores - de la Tabla 1.3, deben corregirse para temperaturas ambientes (del local o lugar en que se encuentran los conductores) mayores de 30°C, de acuerdo a los factores de corrección por temperatura de la Tabla 1.4.

Tabla 1.2

## APLICACION DE CONDUCTORES AISLADOS

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEMP. MAX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACION
Hule Resistente al calor	RH RHH	75 90	Hule resistente al calor	No metálica, resistente a la humedad, retardadora de 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	RUW	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	TW	60	Termoplástico, resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico duplex resistente a la humedad	TWD	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	Termoplástico, resistente a la humedad y al calor, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos y húmedos
		90			Aplicaciones especiales en equipo de alumbrado por descarga eléctrica. Limitado a un circuito abierto de 1000 volts o menos
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 grasa, 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 de la flama	Locales secos y húmedos Hasta 1 000 V.

Continuación de la **Tabla 1.2**

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEMP. MAX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR	UTILIZACION
Sintético resistente al calor	SIS	90	Hule resistente al calor	Ninguna	Sólo alambrado de tableros
Aislante mineral cubierta metálica	MI	85	Oxido de magnesio	Cobre	Locales húmedos y secos
		250			Temp. máx. de operación para aplicaciones especiales
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
Termoplástico resistente a la humedad y a la corrosión (cable plano bipolar o tripolar)	NMC *	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	NMC-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	XRHW	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 alambrado en máquinas herramientas
		90			Locales secos, alambrado en máquinas herramientas
Termoplástico y asbesto	TA	90	Termoplástico y asbesto	No metálica retardadora de la flama	Alambrado de tableros de distribución solamente
Termoplástico y malla de fibra	TBS	90	Termoplástico	No metálica retardadora de la flama	Sólo alambrado de tableros

Continuación de la **Tabla 1.2**

NOMBRE COMERCIAL	TIPO	TEMP. MAX. °C	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA EXTERIOR -	UTILIZACION
Cambay Barnizado	V	85	Asbesto y Cambay Barnizado	No metálica	Locales secos
				Forro de plomo	Locales húmedos y secos
Asbesto y Cambay Barnizado	AVB	90	Asbesto impregnado y Cambay Barnizado	Malla de algodón retardadora de flama	Alambrado de tableros en locales secos
	AVL	110		Forro de plomo	Locales húmedos y secos
	AVA	110		Malla de asbesto o vidrio	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 estén en su interior
	AI	125	Asbesto impregnado	Sin malla de asbesto	Locales secos únicamente. En instalaciones para conductores que van a aparatos o estén en su interior. Limitado a 300 V.
	A	200	Asbesto	Sin malla de asbesto	
	AA	200	Asbesto	Con malla de asbesto o vidrio	
Papel	VII.C	85	Papel impregnado	Forro de plomo	Para conductores de acometidas subterráneas o con permiso especial

\* Estos tipos 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.

Calibre AWG o MCM	Area de la Sección o Transver sal (mm <sup>2</sup> )	Canalización cerrada			Al aire o canalización abierta		
		60°	75°	90°	60°	75°	90°
14	2.08	15	15	25	20	20	30
12	3.31	20	20	30	25	25	40
10	5.26	30	30	40	40	40	55
8	8.37	40	45	50	55	65	70
6	13.30	55	65	70	80	95	100
4	21.15	70	85	90	105	125	135
2	33.6	95	115	120	140	170	180
1/0	53.5	125	150	155	195	230	245
2/0	67.4	145	175	185	225	265	285
3/0	85.0	165	200	210	260	310	330
4/0	107.2	195	230	235	300	360	385
250	128.7	215	255	270	340	405	425
300	152.0	240	285	300	375	445	480
350	177.4	260	310	325	420	505	530
400	202.7	280	335	360	455	545	575
500	253.3	320	380	405	515	620	660
600	304.1	355	420	455	575	690	740
700	354.1	385	460	490	630	755	815
750	380.0	400	475	500	655	785	845
800	405.4	410	490	515	680	815	880
900	456.1	435	520	555	730	870	940
1000	760.1	455	545	585	780	935	1000

**Tabla 1.3** CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES  
DE COBRE AISLADOS. (Amp.)

**Tabla 1.4** FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA  
AMBIENTE

Temperatura Ambiente °C	Temperatura Máxima Permisible en el Aislamiento °C						
	60	75	85	90	110	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	0.78	0.83	0.86	-
56-60	0.00	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	-	0.00	0.30	0.41	0.61	0.68	0.84
81-90	-	-	-	-	0.50	0.61	0.80
91-100	-	-	-	-	-	0.51	0.77
101-120	-	-	-	-	-	-	0.69
121-140	-	-	-	-	-	-	0.59

## B.- Cálculo de los Conductores Eléctricos

Para el cálculo del calibre de los conductores eléctricos, deben tomarse en consideración principalmente la corriente por transportar y la caída de tensión máxima permisible según el caso.

No basta calcular los conductores con corriente únicamente, es decir, seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circulará por él. También es necesario que la caída de tensión en el conductor, no exceda los valores establecidos en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (Artículos 202.6 y 203.3), que fijan 3% para circuitos derivados y 3% para alimentadores -- sin exceder ambos del 5%.

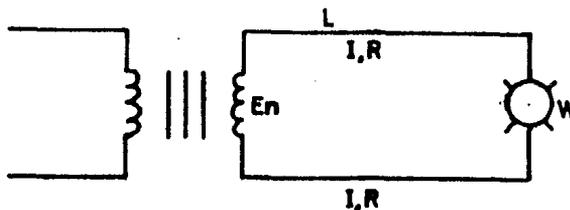
**NOTA.- CIRCUITO ALIMENTADOR.-** *Es el conjunto de los conductores y demás elementos de un circuito, en una instalación de utilización, que se encuentra entre el medio principal de desconexión de la instalación y los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos derivados.*

**CIRCUITO DERIVADO.-** *En una instalación de utilización, es el conjunto de los conductores y demás elementos de cada uno de los circuitos que se extienden desde los últimos dispositivos de protección contra sobrecorriente en donde termina el Circuito Alimentador, hasta las salidas de las cargas.*

Por lo anterior, es necesario tener conocimiento de las fórmulas correspondientes a los sistemas de suministro de energía eléctrica. Para la interpretación de dichas fórmulas, se dan a continuación las literales empleadas.

- $W$  = Potencia Real (Watts)  
 $E_n$  = Tensión o Voltaje entre fase y neutro (Volts)  
 $E_f$  = Tensión o Voltaje entre fases (Volts)  
 $I$  = Corriente en amperes por conductor  
 $\cos \phi$  = Factor de Potencia  
 $\rho$  = Resistividad del Cobre en Ohms/m/mm<sup>2</sup> =  $\frac{1}{50}$  a 60°C  
 $L$  = Distancia expresada en metros.  
 $s$  = Sección transversal o área de los conductores eléctricos expresada en mm<sup>2</sup> (desnudos)  
 $e$  = Caída de tensión de fase a neutro (Volts)  
 $e_f$  = Caída de tensión entre fases (Volts)  
 $e\%$  = Caída de tensión en porcentaje  
 $e\% = \frac{e \times 100}{E_n} = \frac{e_f \times 100}{E_f}$

#### SISTEMA MONOFASICO



La potencia que consume la carga es:

$$W = E_n I \cos \phi$$

$$I = \frac{W}{E_n \cos \phi} \quad \text{por corriente}$$

La caída de voltaje en el conductor es:

$$e = 2RI$$

La resistencia del conductor es:

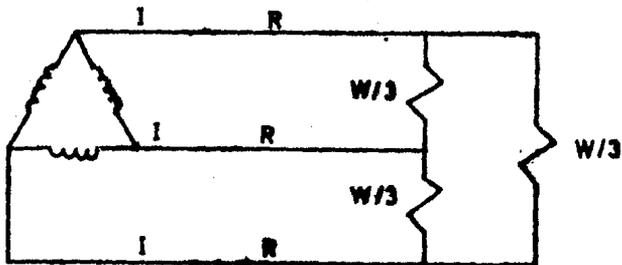
$$R = \rho \frac{L}{\delta} = \frac{1}{50} \frac{L}{\delta}$$

de donde:

$$e = \frac{1}{25} \frac{LI}{\delta}$$

$$e\% = \frac{L I}{25 \delta} \frac{100}{En} = \frac{4 L I}{En \delta} \quad \text{por caída de tensión}$$

#### SISTEMA TRIFASICO A TRES HILOS



La potencia que consume la carga trifásica es:

$$W = \sqrt{3} E_{\phi} I \cos \phi$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E_{\phi} \cos \phi} \quad \text{por corriente}$$

la caída de tensión entre fases es:

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

pero

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

$$e_f = \frac{\sqrt{3} L I}{50 S}$$

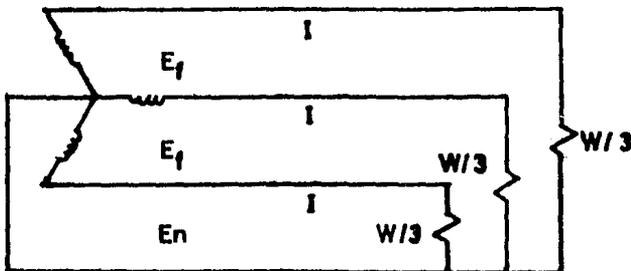
El porcentaje de caída de tensión es:

$$e\% = \frac{e_f}{E_f} \times 100$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} L I}{50 S E_f} \times 100$$

$$e\% = \frac{2 \sqrt{3} L I}{S E_f} \text{ por caída de tensión}$$

SISTEMA TRIFASICO A CUATRO HILOS



La potencia que consume la carga trifásica es:

$$W = \sqrt{3} E_f I \cos \phi = 3 E_n I \cos \phi$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E_f \cos \phi} = \frac{W}{3 E_n \cos \phi} \quad \text{por corriente}$$

La caída de tensión entre fases es:

$$e_f = \sqrt{3} R I = \frac{\sqrt{3} L I}{50 \Delta}$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} L I}{50 \Delta e_f} \times 100 = \frac{2 \sqrt{3} L I}{50 E_f} \quad \text{por caída de tensión.}$$

La caída de tensión al neutro es:

$$e = R I = \frac{L I}{50 \Delta}$$

$$e\% = \frac{e}{E_n} \times 100 = \frac{L I}{50 \Delta E_n} \times 100 = \frac{2 L I}{E_n \Delta}$$

por caída de tensión.

### 2.2.2.- Canalizaciones Eléctricas

Se entenderá por Canalizaciones Eléctricas a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que estos queden protegidos contra deterioro mecánico, contaminación y a su vez, protejan a la instalación contra incendios por los arcos que se puedan presentar durante un cortocircuito.

Los medios de canalización más comúnmente usa dos en las instalaciones eléctricas son los siguientes:

- 1.- Tubos Conduit
- 2.- Ductos
- 3.- Charolas

1.- **Tubos Conduit.**- De acuerdo a las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, el número máximo de conductores en un tubo debe estar de acuerdo con los factores de relleno que se indican a continuación:

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 dos conductores, y no más del 55% cuando se trate de un solo conductor. (Véanse las **Tablas 1.5 y 1.6**).

La **Tabla 1.7** muestra los factores de corrección que deben aplicarse cuando el número de conductores aljados en una misma canalización o en un cable multicolor, es mayor de 3.

Existen en el mercado, una gran diversidad de tubos conduit para emplearlos en cada caso especial de que - se trate, los principales son los siguientes:

- Tubo de acero galvanizado de pared gruesa
- Tubo de acero galvanizado de pared delgada
- Tubo de acero esmaltado de pared gruesa
- Tubo metálico flexible
- Tubo metálico flexible a prueba de líquidos

Los medios de canalización más comúnmente usa dos en las instalaciones eléctricas son los siguientes:

- 1.- Tubos Conduit
- 2.- Ductos
- 3.- Charolas

1.- **Tubos Conduit.** De acuerdo a las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, el número máximo de conductores en un tubo debe estar de acuerdo con los factores de relleno que se indican a continuación:

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 dos conductores, y no más del 55% cuando se trate de un solo conductor. (Véanse las **Tablas 1.5 y 1.6**).

La **Tabla 1.7** muestra los factores de corrección que deben aplicarse cuando el número de conductores alojados en una misma canalización o en un cable multicolor, es mayor de 3.

Existen en el mercado, una gran diversidad de tubos conduit para emplearlos en cada caso especial de que se trate, los principales son los siguientes:

- Tubo de acero galvanizado de pared gruesa
- Tubo de acero galvanizado de pared delgada
- Tubo de acero esmaltado de pared gruesa
- Tubo metálico flexible
- Tubo metálico flexible a prueba de líquidos

Diámetro nominal		Diámetro Interior (mm)	Area interior total (mm <sup>2</sup> )	Area disponible para conductores (mm <sup>2</sup> )	
mm	pulg.			40% (para 3 conductores o más)	30% (para 2 conductores)
13	$\frac{1}{2}$	15.81*	196	78	59
19	$\frac{3}{4}$	21.30*	356	142	107
25	1	26.50*	552	221	166
32	$1\frac{1}{4}$	35.31*	979	392	294
38	$1\frac{1}{2}$	41.16*	1 331	532	399
51	2	52.76*	2 186	874	656
63	$2\frac{1}{2}$	62.71**	3 088	1 235	926
76	3	77.93**	4 769	1 908	1 431
89	$3\frac{1}{2}$	90.12**	6 378	2 551	1 913
102	4	102.26**	8 213	3 285	2 464

\* 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.

**Tabla 1.5** DIMENSIONES DE TUBO CONDUIT Y AREA DISPONIBLE PARA LOS CONDUCTORES.

Calibre (W.G. NCM)	Tipos T, TW y THH <sup>2</sup> RHW y RHH (sin cubierta exterior)		Tipos RHW y RHH (con cubierta exterior)		Tipos THHN y THHN		
	Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	
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	21.7	-	-	
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							
B	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
L	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
E	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
S	4/0	17.9	251.8	19.9	312.2	16.4	211.2
S	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
S	600	29.0	662.0	31.3	770.3	-	-
	750	31.7	790.4	34.0	908.4	-	-
	1000	35.7	990.8	37.9	1130.9	-	-
	1250	40.1	1260.1	42.6	1423.2	-	-
	1500	43.2	1467.8	45.7	1643.5	-	-

**Tabla 1.6** DIMENSIONES DE CONDUCTORES CON AISLAMIENTO DE HULE Y TERMOPLASTICO.

- Tubo rígido de P.V.C.
- Tubo de polietileno

**Tabla 1.7**

**FACTORES DE CORRECCION POR AGRUPAMIENTO**

NUMERO DE CONDUCTORES	POR CIENTO DE LA CAPACIDAD DE CORRIENTE
4 a 6	80
7 a 24	70
25 a 42	60
más de 42	50

2.- **Ductos**.- Los Ductos consisten en canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapa, se usan sólo en instalaciones visibles, ya que no se pueden montar embutidos en pared o dentro de las losas de concreto, razón por la que su aplicación se encuentra en industrias y laboratorios.

Los conductores se llevan dentro de los ductos como si se tratara de tubo conduit y se pueden catalogar de acuerdo a su aplicación como ductos alimentadores, si llevan los conductores o barras de la subestación a los tableros de distribución y los llamados ductos de conexión que parten de los diferentes tableros a los aparatos receptores.

Los llamados electroductos son usados normal-

mente con barras conductoras ya integradas de fábrica para su armado en la obra.

Es de uso común el ducto cuadrado que aventaja al tubo conduit cuando se trata de sistemas menores de -- distribución, en especial cuando se emplean circuitos múltiples, ofreciendo además la ventaja de ser fácil de alambrear, teniéndose un mejor aprovechamiento de la capacidad conductiva de los conductores al tener mejor disipación del calor.

Se permiten un máximo de 30 conductores en el interior del ducto; si los conductores ocupan más del 20% de la sección transversal del ducto, la capacidad de conducción de corriente de éstos se afecta por los factores de corrección señalados en la **Tabla 1.7** del presente Capítulo. - Todos los conductores que se alojen en un ducto metálico con tapa, sean portadores de corriente o no, incluyendo su aislamiento y otros forros, no deben ocupar más del 40% de la sección transversal del ducto; en el caso de empalmes o derivaciones, puede ser hasta un 75%.

**3.- Charolas.**- Las Charolas para cables pueden usarse para soportar cables de fuerza, alumbrado, control y señalización, que tengan aislamiento y cubierta probados para este tipo de instalación en locales construídos de materiales incombustibles o resistentes al fuego. Las Charolas también pueden usarse para soportar tubos u otras canalizaciones.

Cuando se instalen a la intemperie o en otras condiciones de ambiente desfavorable, tanto las Charolas como los cables deben ser adecuados para las condiciones existentes.

### 2.2.3.- Registros

Los Registros son aquellos elementos que sirven para realizar empalmes de conductores o como salida para receptores.

Estos registros son esencialmente de dos tipos:

- 1.- Condulets
- 2.- Cajas de Conexión

1.- **Condulets.**- Los condulets son básicamente cajas de conexión y accesorios empleados en instalaciones con tubo conduit de tipo visible, se fabrican de una aleación de aluminio y otros metales.

Los condulets tienen tapas que se fijan por medio de tornillos y que pueden tener empaques para evitar la entrada de polvo o gases.

Los fabricantes los hacen en tres tipos principalmente:

- a) Ordinario
- b) A Prueba de Polvo y Vapor
- c) A Prueba de Explosión

Por lo que a forma y tipos se refiere, hay una gran diversidad para escoger según sean las necesidades de la instalación.

2.- **Cajas de Conexión.**- El montaje de accesorios eléctricos en instalaciones eléctricas de alumbrado -

o de fuerza, como son contactos, apagadores, botones, salidas para alumbrado, etc., se realiza en dispositivos que se fabrican de acero esmaltado galvanizado en los siguientes tipos:

- 1.- Cajas Cuadradas de 102 mm (4 Pulgs.)
- 2.- Cajas Octogonales de 80 mm (3 1/4 Pulgs.)
- 3.- Cajas Rectangulares también conocidas como Chalupas, de 92 mm (3 5/8 Pulgs.) de largo por 53 mm (2 1/8 Pulgs.) de ancho.

#### **2.2.4.- Dispositivos de Protección**

Entre los dispositivos de control y protección en las instalaciones eléctricas de utilización de energía eléctrica se encuentran los siguientes:

- 1.- Interruptores de Seguridad.
- 2.- Interruptores Termomagnéticos.
- 3.- Interruptores Electromagnéticos.

1.- **Interruptores de Seguridad.**- Son interruptores de navaja con puerta y palanca exterior para la operación del interruptor, cuentan con fusibles del tipo de tiempo inverso, los cuales son los elementos de protección de este tipo de interruptores y que estudiaremos en detalle en el Capítulo siguiente.

2.- **Interruptores Termomagnéticos.**- Estos interruptores están diseñados para abrir el circuito en forma automática cuando ocurre una sobrecarga o un cortocircuito, accionado por una combinación de un elemento térmico y -

un elemento magnético. Su funcionamiento y características eléctricas, al igual que los fusibles, se estudiarán en el Capítulo siguiente.

**3.- Interruptores Electromagnéticos.**- Al igual que los interruptores anteriores, estos dispositivos nos ofrecen protección contra sobrecargas y cortocircuitos y debido a su capacidad interruptiva y grandes posibilidades de control se emplean por lo general como elemento de desconexión y protección principal en el secundario de los transformadores (baja tensión). En el Capítulo siguiente se analizará más detalladamente las características y funcionamiento de estos dispositivos.

## CAPITULO II

### PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE EN CIRCUITOS CON CARGAS DE ALUMBRADO Y CONTACTOS

#### 1.- Generalidades

La protección contra sobrecorriente en circuitos que alimentan cargas de alumbrado y contactos se hará en base a la capacidad de los conductores que abastecen dichas cargas.

En la Sección 205 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas se establecen los requisitos generales para la protección contra sobrecorriente de circuitos -- con tensiones nominales de operación hasta de 1000 Volts (Baja Tensión). Los dispositivos usados comúnmente para esta protección son los fusibles y los llamados interruptores automáticos. En el punto 3 del presente Capítulo, analizaremos las características y funcionamiento de cada uno de estos dispositivos de protección.

En términos generales, la protección contra sobrecorriente consiste en interrumpir el circuito cuando la corriente alcance un valor que pueda producir temperaturas excesivas o peligrosas en los conductores o en el aislamiento de los mismos. Una sobrecorriente puede ser resultado de una sobrecarga o de un cortocircuito.

#### 2.- Sobrecargas y Cortocircuitos en Cables y Alambres de Baja Tensión.

En un conductor eléctrico expuesto a condiciones anormales de operación, tales como corrientes debidas a

sobrecargas y cortocircuitos, el calor producido por efecto Joule puede ocasionar un daño parcial o total del aislamiento en función de la magnitud de la corriente y del tiempo de duración de la misma.

Bajo condiciones de cortocircuito, los conductores incrementan la temperatura rápidamente y el límite depende de la corriente máxima admisible para la cual no se deteriora el material aislante. En la Tabla 2.1 aparecen los valores máximos de temperatura para conductores de baja tensión, a una temperatura ambiente de 20°C.

**Tabla 2.1**

Temperaturas máximas admisibles en condiciones de cortocircuito (°C) para conductores de cobre.

AISLANTE	CONDUCTOR
TW 60°C	130°C
THW 75°C	150°C
THW 90°C	150°C

Si el conductor no tiene una protección bien seleccionada, el intenso calor generado por las condiciones de falla, produce daño severo en forma permanente en el aislamiento. Por otra parte, para determinar la corriente permisible en el conductor, es necesario conocer la duración antes de que las protecciones operen para liberar la falla.

A partir de la ecuación 2.2 que permite verificar la sección del conductor conocidos los amperes de falla y la duración de la misma, se van a graficar las curvas tiempo-corriente de los diferentes calibres de conductores -

de cobre con los aislamientos más usuales (TW y THW a 75 y - 90°C).

$$\frac{I}{A}^2 t = K \text{ Log } \frac{T_2 + T}{T_1 + T} \quad 2.1$$

$$t = \frac{A}{I}^2 K \text{ Log } \frac{T_2 + T}{T_1 + T} \quad 2.2$$

donde:

$I$  = Máxima corriente de cortocircuito permitida - Amp.

$K$  = Constante que depende del material conductor - - -  
0.0297 para el cobre.

$A$  = Area transversal del conductor en C. M.

$t$  = Tiempo de duración del cortocircuito en segundos.

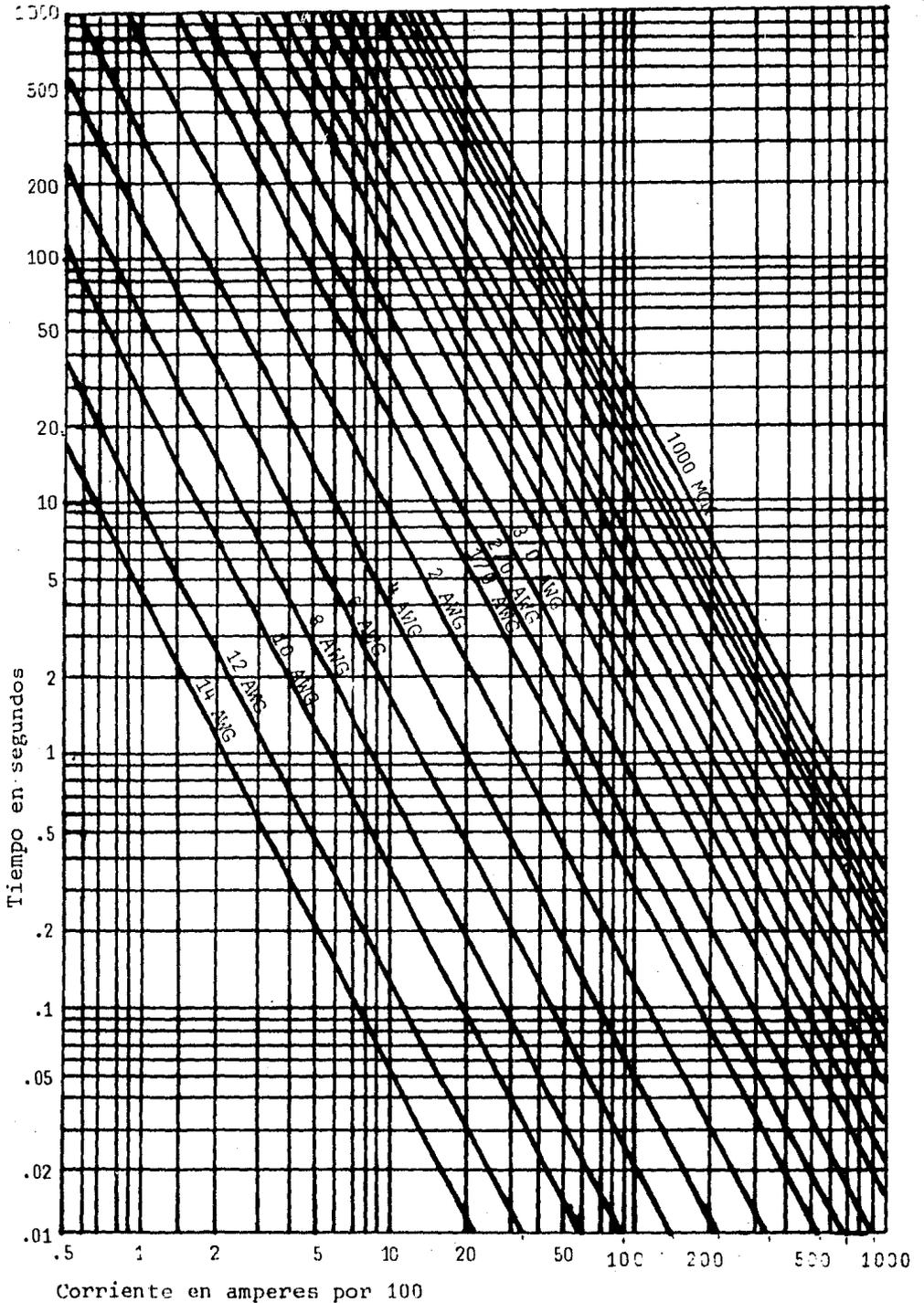
$T$  = Temperatura en °C (bajo cero) en la cual el material del que se trate tiene resistencia eléctrica teóricamente nula. (Para el cobre  $T = 234^\circ\text{C}$ ).

$T_1$  = Temperatura máxima de operación - °C.

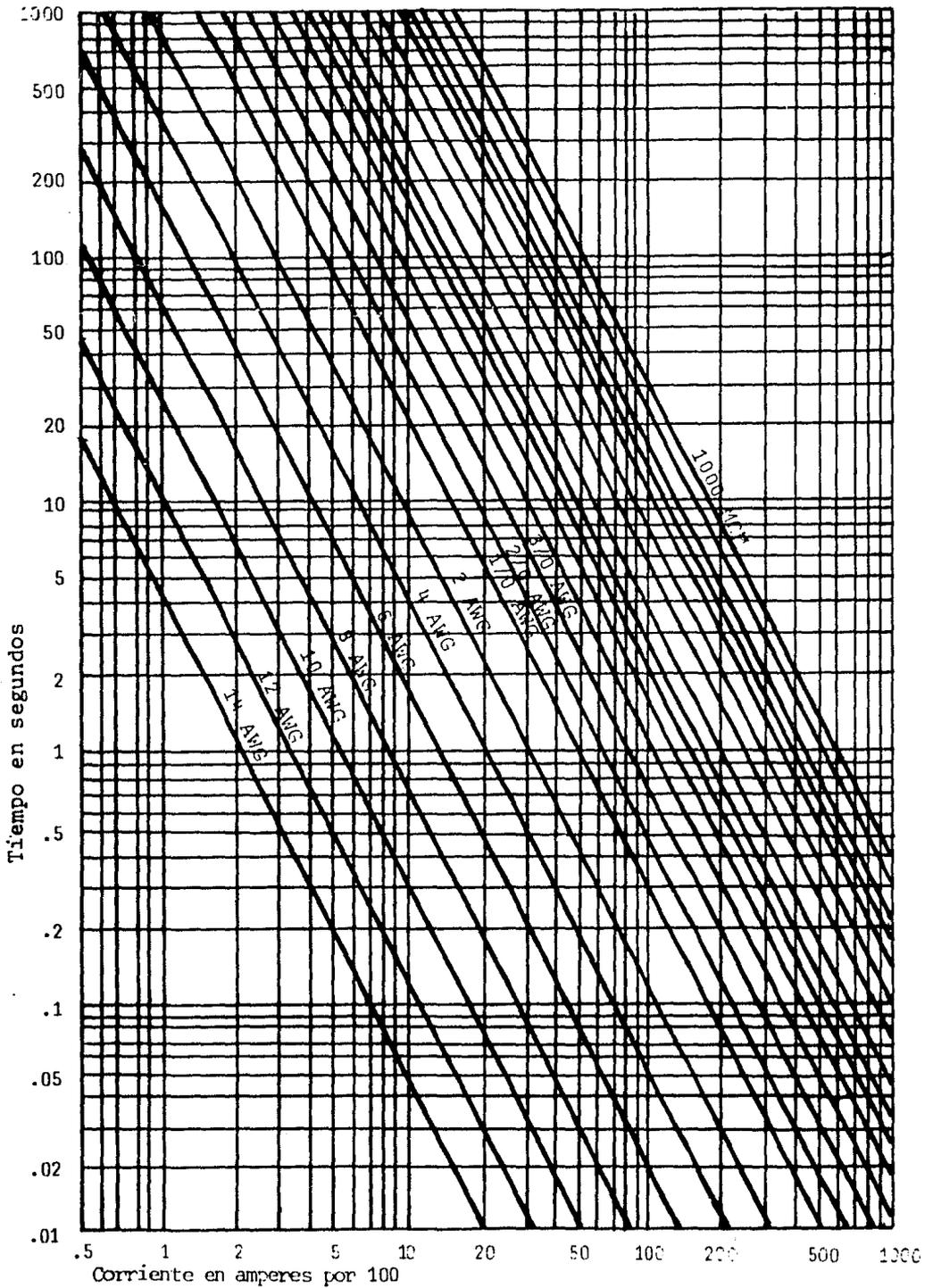
$T_2$  = Temperatura máxima de cortocircuito - °C

De la Tabla 2.1 y de la ecuación 2.2 resultan las siguientes gráficas de corriente de cortocircuito permisible para cables y alambres aislados con conductor de cobre.

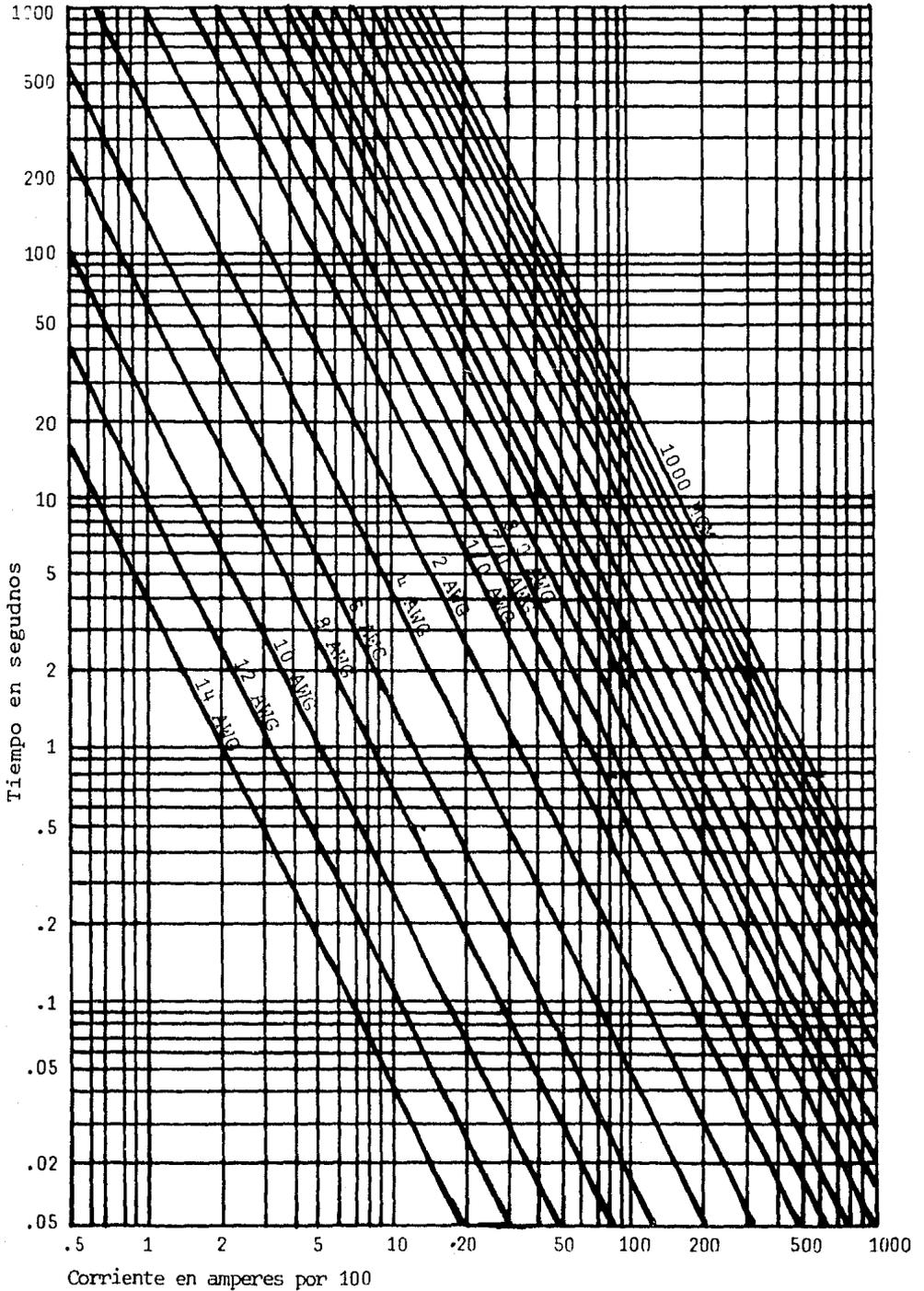
**NOTA.-** Este estudio se realizó con conductores de cobre por ser los de mayor aplicación en las instalaciones - - eléctricas de utilización de energía eléctrica.



**Fig. 2.1** Curvas Tiempo Corriente para conductores de cobre con aislamiento TW a 60°C.



**Fig. 2.2** Curvas Tiempo-Corriente para conductores de cobre con aislamiento THW a 75°C



**Fig. 2.3** Curvas Tiempo-Corriente para conductores de cobre con aislamiento THW a 90°C.

Por lo antes expuesto, es necesario proteger a cada uno de los conductores activos contra sobrecorriente por medio de un dispositivo o aparato en serie, con la finalidad de que cuando la corriente alcance un valor superior - al permisible en los mismos conductores y esto origine calentamientos excesivos y peligrosos en sus aislamientos, se interrumpa el circuito.

De acuerdo a las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (Art. 205.4), para seleccionar el ajuste - del dispositivo o aparato de protección de sobrecorriente de los conductores, se tomará en cuenta la capacidad de conducción de corriente de los mismos, considerando que si el dispositivo o aparato de protección no corresponde a la capacidad de conducción de conductor, se podrá utilizar el de capacidad inmediata superior, siempre y cuando no exceda del 125 por ciento de la corriente permisible de los conductores.

### **3.- Descripción de Dispositivos de Protección Contra Sobrecorriente.**

#### **3.1.- Fusibles**

Por definición, un fusible es un dispositivo cuya función es abrir el circuito en el que está insertado, por la fusión de uno o varios de sus elementos especialmente diseñados para este fin, interrumpiendo la corriente cuando sobrepasa un determinado valor durante un cierto tiempo.

#### **Fusibles de Uso General y de Baja Capacidad Interruptiva.**

Los fusibles más comúnmente usados en las instalaciones eléctricas, son construidos bajo especificaciones de la Norma NOM-J-9-1981, y están clasificados para tensio--

nes nominales de 127, 250 y 600 Volts y corrientes hasta de 600 Amperes. La capacidad interruptiva de estos fusibles -- puede ser hasta de 10000 amperes simétricos y sus capacida-- des de corriente normalizados las siguientes:

- Fusibles de Tapón Roscado: 6, 10, 15, 20, 25 y 30 A.
  
- Fusibles de Cartucho (con extremos de casquillo): -  
3, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 60 A.
  
- Fusibles de Cartucho (con extremos de navaja): 70,  
75, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250,  
300, 350, 400, 450, 500 y 600 A.

Los dos últimos fusibles son conocidos comercialmente como Clase H.

Estos fusibles deben ser capaces de conducir por tiempo indefinido una corriente igual al 110% de su valor nominal, sin que el incremento de temperatura sobre la temperatura ambiente exceda de la indicada en la Tabla 2.2.

Los fusibles deben interrumpir el circuito en el que se encuentran intercalados, al estar conduciendo la sobrecorriente indicada en la Tabla 2.3 dentro de los límites máximos de tiempo que se indican en la misma tabla.

**Tabla 2.2**

Capacidad del Fusible (A)	Incremento Máximo de Temperatura sobre la Temperatura Ambiente en °K (°C)			
	Tipo Tapón Roscado	Tipo Cartucho		
	en su exterior	en el tubo	en los casquillos	en las navajas
0 a 30	343(70)	323(50)	323(50)	
31 a 60		323(50)	323(50)	
61 a 100		323(50)		328(55)
101 a 200		323(50)		333(60)
201 a 400		323(50)		338(65)
401 a 600		323(50)		348(75)

**Tabla 2.3**

Capacidad del Fusible (A)	Tiempo Máximo de Interrupción en Minutos	
	Sobrecorriente	
	135%	200%
0 a 30	60	2
31 a 60	60	4
61 a 100	120	6
101 a 200	120	8
201 a 400	120	10
401 a 600	120	12

Los marcos de los interruptores de seguridad donde van montados estos fusibles se fabrican de 30, 60, 100, 200, 400, 600 y 800 A.; es decir, en un interruptor de 30 - amperes únicamente se pueden colocar fusibles de 0 a 30 amperes, en un interruptor de 60 amperes se pueden colocar fusibles de 31 a 60 amperes y así sucesivamente. De aquí se desprende que las dimensiones de los fusibles varían de acuerdo a su capacidad nominal.

### **Fusibles de Alta Capacidad Interruptiva**

Con la misma rapidez con que ha aumentado la demanda de energía eléctrica, también ha aumentado la magnitud de las corrientes de falla; situación que ha obligado a desarrollar fusibles con capacidad interruptiva superior a los 10000 amperes simétricos r.m.c.

Estos fusibles se fabrican de acuerdo con las Normas UL Serie 198; son del tipo no renovable y el nombre con el que se les conoce es el de fusibles de alta capacidad interruptiva, los cuales pueden ser o no limitadores de corriente.

Todos los fusibles se funden con corrientes de falla de altos valores en un tiempo considerablemente menor a medio ciclo en sistemas con frecuencia de 60 ciclos; sin embargo, el arco formado es conductor y permite que la corriente alcance su máximo valor de cresta antes de extinguirse; los fusibles que tienen un aditamento especial que extingue el arco antes de que éste ocurra, se clasifican como limitadores de corriente, son auto-protegidos, es decir, son capaces de extinguir el arco en cualquier valor de corriente que esté dentro de los límites de su capacidad interruptiva.

**Fusibles Clase K** son fusibles de doble elemento, en los cuales el eslabón fusible consta de tres zonas; una zona localizada en la parte central del cartucho, en donde el elemento opera por sobrecarga y otras dos zonas localizadas en los extremos del cartucho, en donde el elemento opera por cortocircuito. Según sean las subclases K-1, K-5 ó K-9, tendrán cualidades particulares con respecto a la magnitud de las corrientes de cortocircuito que puedan limitar.

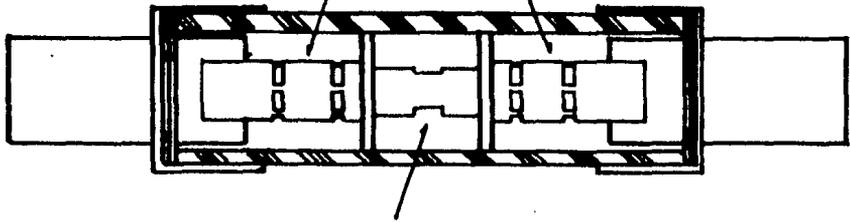
Los tipos y dimensiones de ellos, son exactamente iguales a los de los fusibles renovables Clase H indicados anteriormente. La capacidad interruptiva de estos fusibles varía desde 50,000 hasta 200,000 amperes simétricos r.m.c.

**Fusibles Clase G** son fusibles limitadores de corriente y tienen dimensiones especiales. Se fabrican para tensiones hasta de 300 Volts a tierra y corrientes nominales hasta de 60 amperes. Su capacidad interruptiva es de - - - 100,000 amperes simétricos r.m.c.

**Fusibles Clase J** son fusibles limitadores de corriente y tienen dimensiones especiales. Se fabrican para utilizarse en circuitos con tensiones hasta de 600 Volts y corrientes hasta de 600 Amperes nominales. Su capacidad interruptiva es de 200,000 amperes simétricos r.m.c.

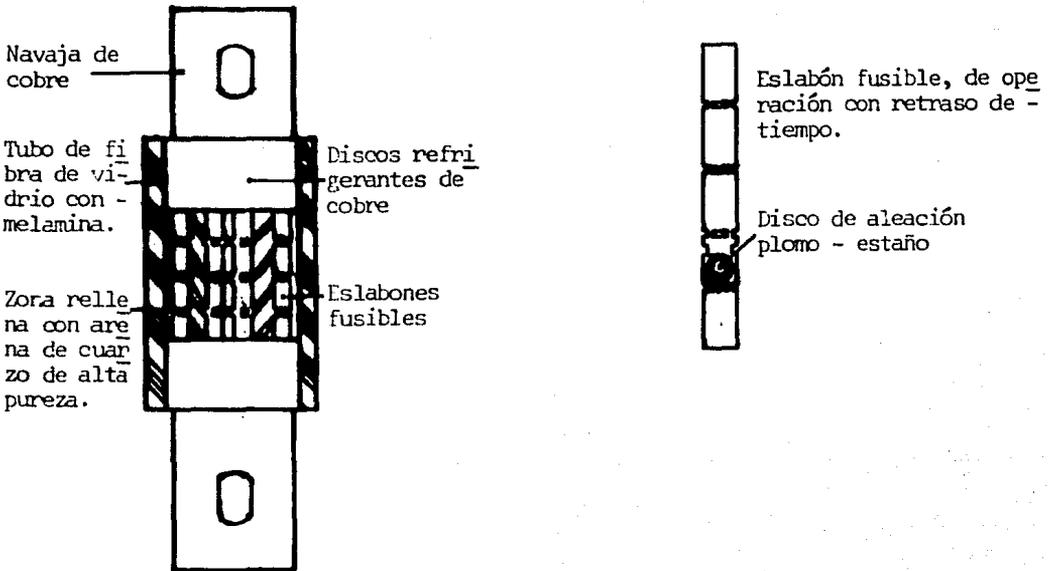
**Fusibles Clase L** son fusibles limitadores de corriente. Se fabrican de dimensiones especiales y sus navajas están barrenadas, variando el número, la forma y la disposición de los barrenos, varía la capacidad nominal en amperes de los fusibles. Se pueden utilizar en circuitos con tensiones hasta de 600 Volts y corrientes nominales desde -- 601 hasta 6,000 amperes. Su capacidad interruptiva es de -- 200,000 amperes simétricos r.m.c.

Zonas de operación por corto circuito



Elemento de operación por sobrecarga

**Fig. 2.4** Fusible de Doble Elemento, de operación con retraso de tiempo.



**Fig. 2.5** Fusible limitador de corriente.

En la Figura No. 2.5 se representa un Fusible Clase L para 800 amperes nominales.

Existen dos tipos de fusibles limitadores de corriente: aquellos que se les construye con características de operación por sobrecarga y aquellos que son limitadores únicamente.

En los fusibles limitadores con características de operación por sobrecarga, como el que se muestra en la Figura No. 2.5, a cada eslabón se le adiciona un disco de aleación plomo-estaño.

Los fusibles únicamente limitadores, no llevan ese disco y son de respuesta más rápida durante fallas de corto circuito.

De acuerdo con las Normas de Calidad y Funcionamiento aplicables a los fusibles de doble elemento, Clase K, deben ser capaces de soportar durante un tiempo mínimo de 10 segundos una sobrecorriente igual al 500% de su corriente nominal.

Todas las sobrecorrientes comprendidas entre el 125% y el 700% de la nominal del fusible, hacen operar el elemento de operación por sobrecarga, mientras que las sobrecorrientes mayores o de cortocircuito son detectadas e interrumpidas por los eslabones situados en los extremos del cartucho (Véase la Figura No. 2.4).

El papel que desempeña la arena de cuarzo que se agrega a las zonas de operación por cortocircuito, es el de incluir entre los fusores fundidos un camino de muy alta resistencia eléctrica para reducir el flujo de la corriente a cero.

Aquellos fusibles limitadores de corriente -- con características de operación por sobrecarga, por razones de diseño son más lentos en su respuesta a fallas de cortocircuito que los únicamente limitadores de corriente, pero -- son capaces de operar con sobrecargas del orden del 200% -- aproximadamente.

A continuación se presentan las curvas características corriente-tiempo de fusión de algunos fusibles de alta y baja capacidad interruptiva.

### **3.2.- Interruptores Automáticos**

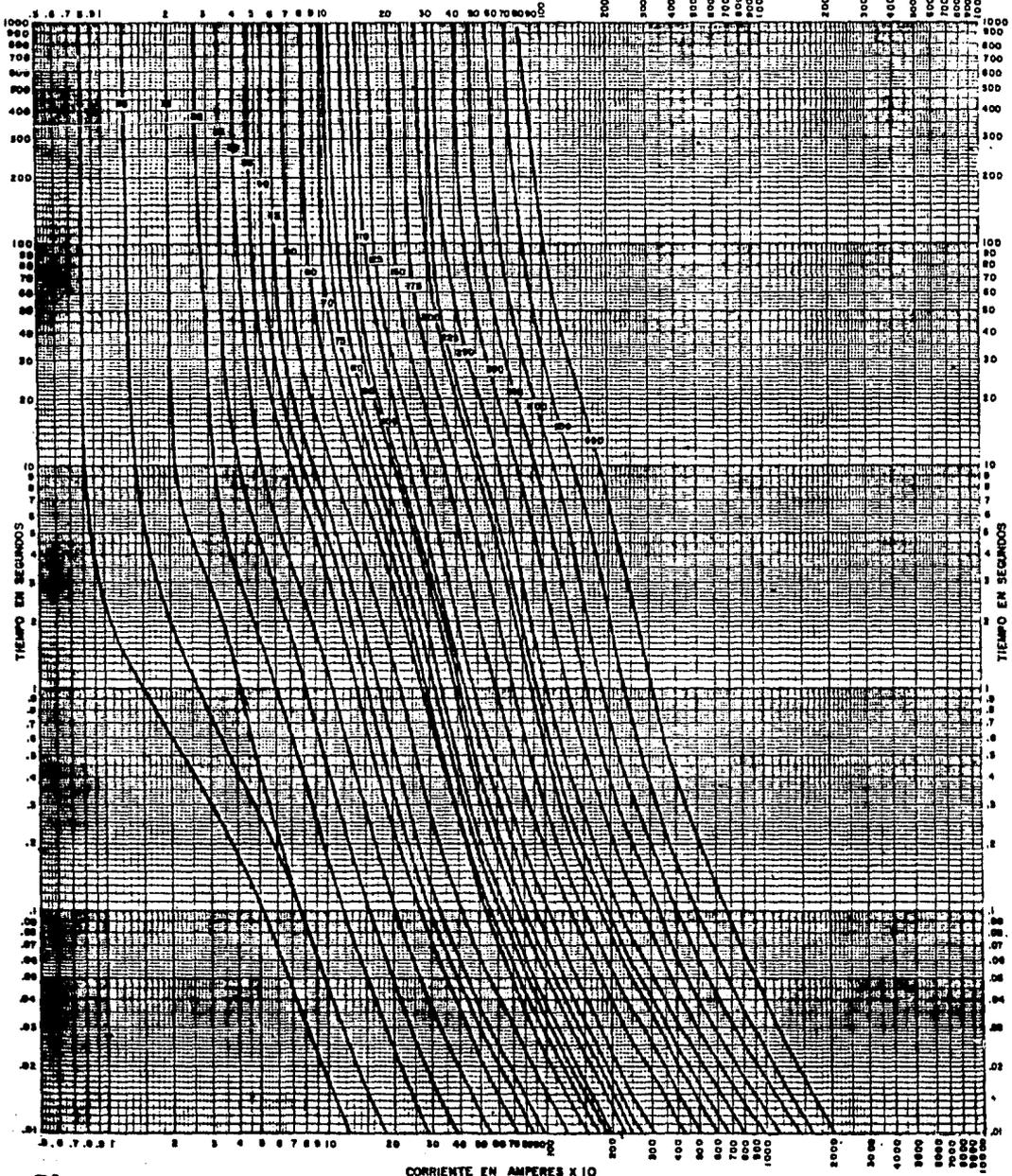
Son equipos de protección provistos generalmente con disparadores contra sobrecarga y contra cortocircuito, los cuales son preferidos a los fusibles cuando, además de tener como misión la de proteger al circuito, han de permitir una desconexión bajo carga, y también si se desea -- una desconexión tripolar al disparo de la protección.

Los Interruptores Automáticos más comúnmente usados en instalaciones de baja tensión son los denominados termomagnéticos y electromagnéticos que se describen a continuación.

#### **3.2.1.- Interruptores Termomagnéticos en Caja Moldeada.**

Los Interruptores Termomagnéticos en Caja Moldeada proporcionan protección a tiempo retardado en sobrecargas e instantánea en cortocircuitos, mediante tres elementos principales: 1) Una unidad de disparo; 2) un mecanismo de apertura; y 3) una cámara para extinción del arco. El mecanismo de apertura puede ser operado en forma manual, mediante el uso de la manija de operación, o automáticamente --

CORRIENTE EN AMPERES X 10



**Fig. 2.6:**  
**FUSIBLES RENOVABLES PARA 250 VOLTS O MENOS**

Curvas características  
Corriente-Tiempo de Fusión  
Tolerancias: ±10 % en  
valores de corriente

Estas curvas fueron trazadas para valores promedio, obtenidas a partir de pruebas efectuadas con una temperatura inicial de 25±5°C, a baja tensión y alto factor de potencia, sin sobrecorriente previa.

**MERCURY ELECTRIC PRODUCTS S.A.**  
MEXICO 15 D.F.

mediante la acción de soltar el sujetador del gatillo de disparo por la acción del elemento de disparo.

La función de la unidad de disparo es la de accionar el mecanismo de operación en caso de una sobrecarga prolongada o de un cortocircuito. Para efectuar esta operación se ha previsto una acción térmica y magnética respectivamente.

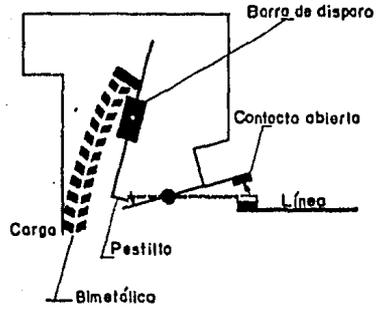
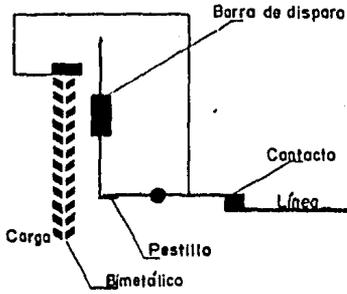
La acción térmica de disparo se obtiene con un elemento que responde a la corriente de carga. En sobrecargas mantenidas este elemento se flexiona, haciendo que el mecanismo de operación abra los contactos. Debido a que el elemento térmico reacciona por el calor generado por el paso de la corriente, el tiempo en el que opera es prolongado en sobrecorrientes moderadas y corto en sobrecorrientes altas.

El elemento térmico se fabrica con dos o más metales diferentes soldados entre sí, a uno de los cuales no afecta apreciablemente el cambio de temperatura mientras que los demás se expanden rápidamente por el efecto de la misma. Lo anterior produce una deformación del conjunto. Cuando -- por los efectos de una sobrecorriente el calor generado es excesivo, el elemento térmico se deforma y libera el gatillo de disparo abriendo el interruptor. El tiempo de disparo es diferido puesto que se requiere de un cierto período para ca lentar el elemento deformándolo suficientemente para realizar su función; dicho elemento térmico se conecta en serie con la carga.

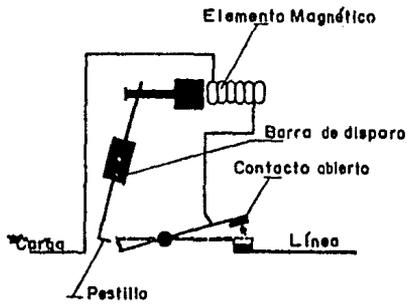
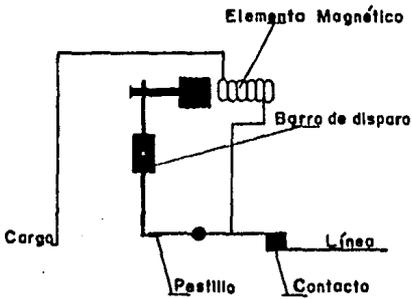
La acción magnética se obtiene mediante el -- uso de un electroimán por el que pasa la corriente de carga. Esta acción proporciona un disparo instantáneo cuando la corriente alcanza un valor predeterminado. Una falla de alta

**Fig. 2.7**

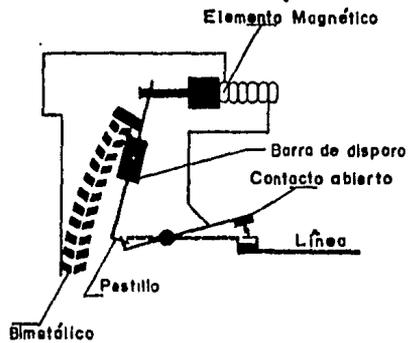
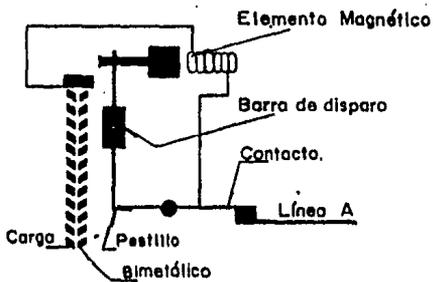
**ACCION TERMICA**



**ACCION MAGNETICA**



**PROTECCION TERMOMAGNETICA**



intensidad o un cortocircuito energizarán el circuito magnético atrayendo a la armadura y cerrando el cerrojo de disparo instantáneamente. En los interruptores con disparo magnético ajustable, éste se puede variar dentro de un amplio rango de valores de la corriente de disparo. Sólo se proporcionan elementos de disparo magnético ajustable en los interruptores con marcos de 225 A., o mayores. Los demás tienen elemento magnético no ajustable.

Todos los interruptores multipolares tienen elementos de disparo en cada polo y barra de disparo común. La condición anormal que prevalezca en cualquiera de los polos hace que todos los polos abran simultáneamente.

Los interruptores termomagnéticos se fabrican en una amplia gama de corrientes nominales, dimensiones de marcos y capacidades interruptivas como lo muestra la Tabla 2.4 que corresponde a la información de un fabricante en particular (IEM, S.A. de C.V.), pero que nos puede servir como referencia general, ya que la fabricación de estos interruptores está normalizada por la NOM-J-266 y otras marcas tienen tipos y características similares.

En la Tabla 2.4 se describen varios tipos de interruptores termomagnéticos y las figuras siguientes muestran las curvas tiempo-corriente para algunos interruptores con diferentes capacidades nominales.

### **Interruptores de Alta Capacidad Interruptiva**

Cuando el cortocircuito disponible excede la capacidad interruptiva de los interruptores de línea normal, es necesario el uso de interruptores de alta capacidad interruptiva y así eliminar en parte la necesidad de elementos -

**Tabla 2.4**  
**TABLA DE SELECCION POR**  
**CAPACIDAD INTERRUPTIVA**

**INTERRUPTORES**  
**TERMOMAGNETICOS**

Marco	Voltaje máximo volts.	No. de polos	Gama en amps.	Capacidad Interruptiva Rms. Amps. sim						Dimensiones mm.			Peso aprox. kgs.	
				volts c.d.		volts c.a.				Polos	alt.	ancho		Fdo.
				125	250	120	240	480	600					
<b>QL</b> 	120/240 C.A.	1-2	15-50			5000 1 Polo	5000 2 Polo			1	75	25	73	0.12
	240 C.A.	3	15-50				5000			2	75	80	73	0.25
	240 C.A.									3	75	105	73	0.40
<b>FA</b> 	120 C.A.	1	15-100	5000		10000				1	152	35	80	0.91
	125 C.D.									2	152	70	80	1.36
	240 C.A. 125/250 C.D.	2-3	15-100	5000	5000		10000			3	152	105	80	2.05
<b>FB</b> 	600 C.A. 250 C.D.	2-3	15-150	10000	10000		18000	14000	14000	2	152	70	80	1.36
										3	152	105	80	2.05
<b>LB-225</b> 	600 C.A. 250 C.D.	3	125-225		20000		25000	22000	18000	3	257	140	103	6.8
<b>LB 400</b> 	600 C.A. 250 C.D.	3	250-400		20000		42000	30000	22000	3	257	140	103	6.8
<b>LA</b> 	600 C.A. 250 C.D.	3	500-600		20000		42000	30000	22000	3	273	210	103	11.15
<b>NB</b> 	600 C.A. 250 C.D.	3	700-1200		20000		42000	30000	22000	3	406	210	140	23.16
<b>PB</b> 	600 C.A.	3	1400-3000		75000		125000	100000	100000	3	559	305	229	115.
<b>HFB</b> 	240 C.A.	1	15-30 40-150				65000 25000			1	152	35	80	0.91
	600 C.A.									2	152	70	80	1.36
	250 C.D.	2-3	15-150		20000		65000	25000	1800	3	152	105	80	2.05
<b>HLB</b> 	600 C.A. 250 C.D.	3	125-400		20000		65000	35000	25000	3	257	140	103	6.8

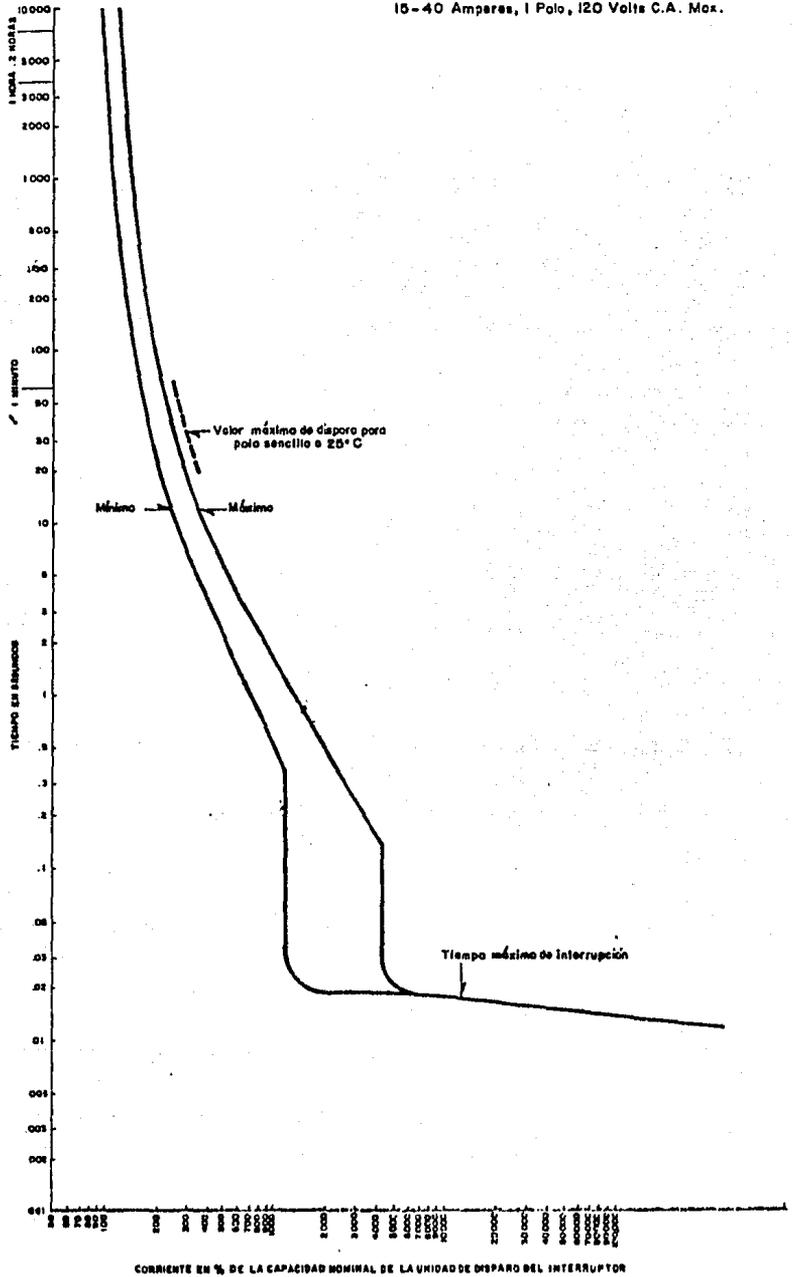
\*Aplicable para interruptores previos sólo con disparo magnético

Fig. 2.8

CURVAS DE  
DISPARO

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO  
TIPO FA y FB

15-40 Amperas, 1 Polo, 120 Volts C.A. Max.



**Fig. 2.9**  
**INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO**  
**TIPO FA**

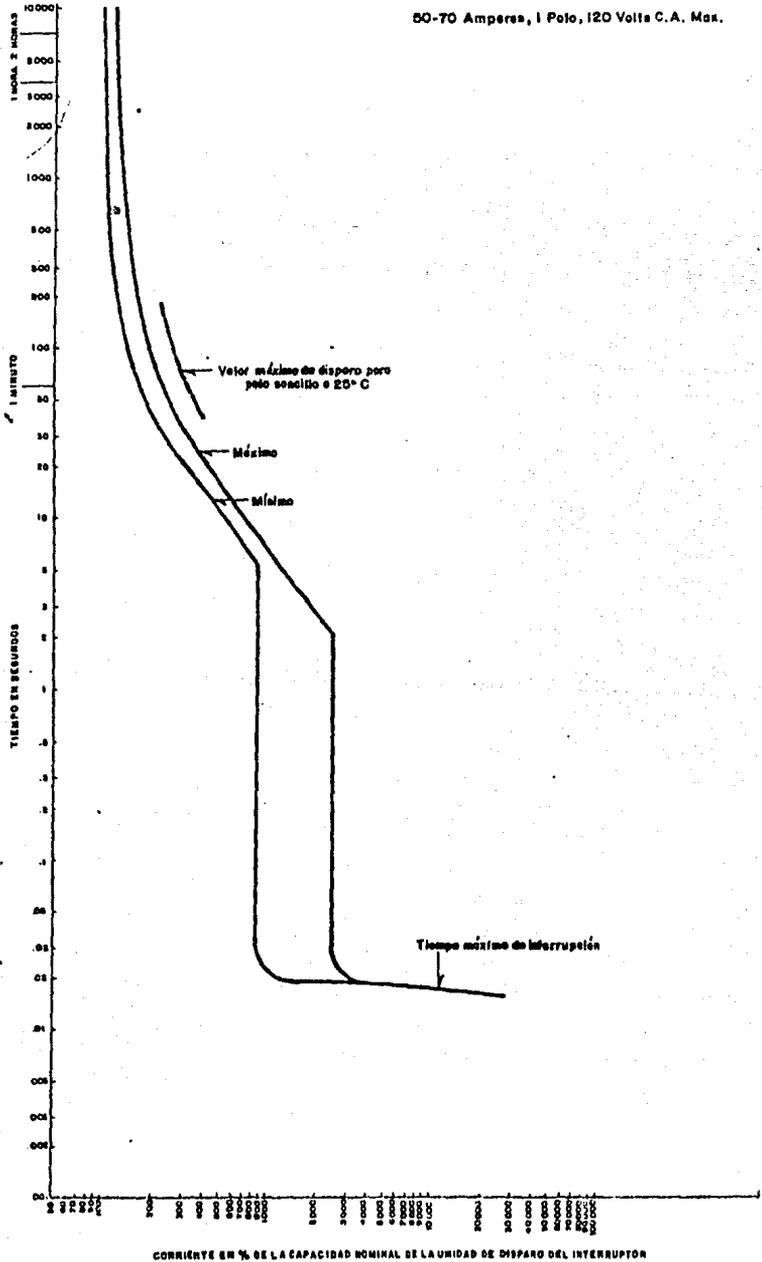
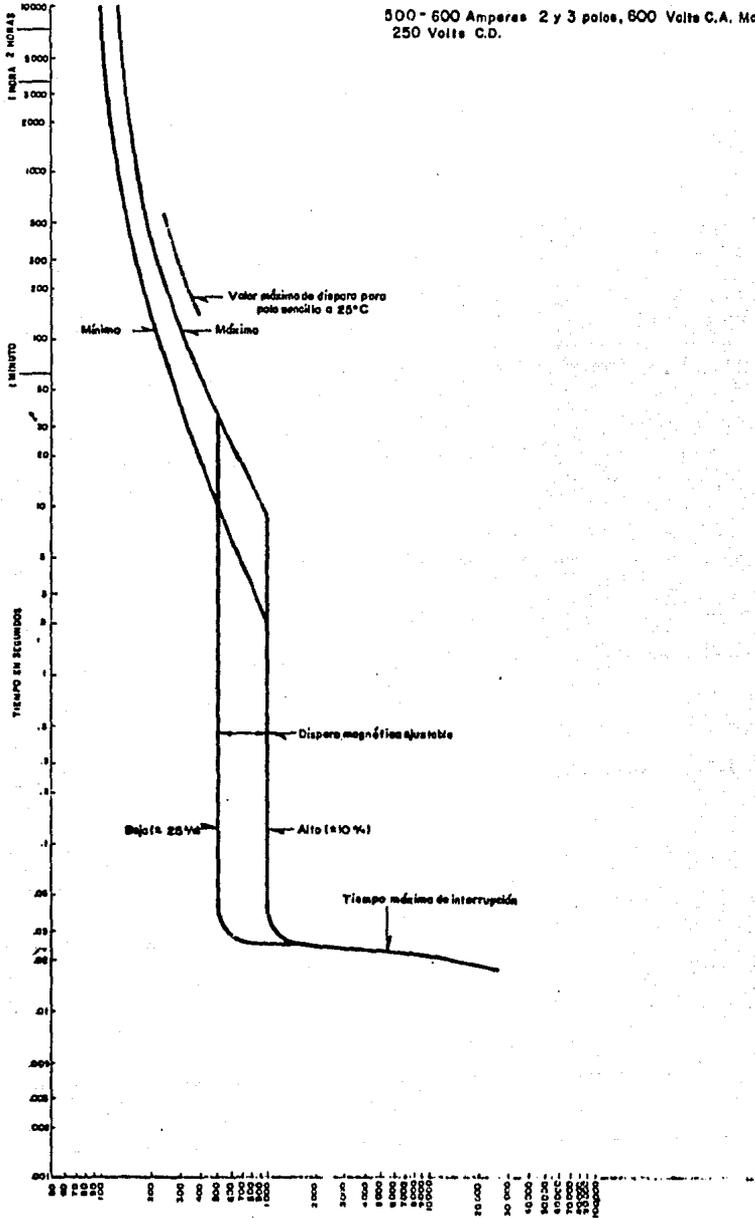


Fig. 2.10

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO  
TIPO LA

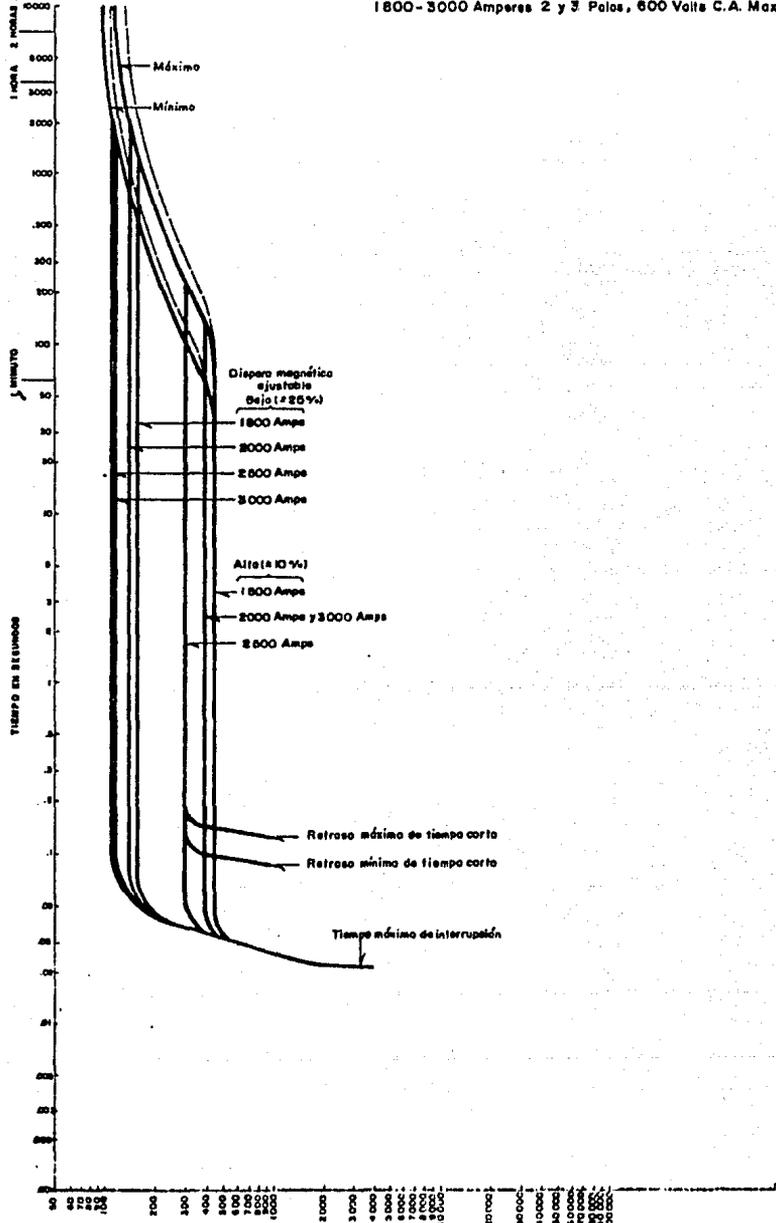
500 - 600 Amperes 2 y 3 polos, 600 Volts C.A. Max.  
250 Volts C.D.



CORRIENTE EN % DE LA CAPACIDAD NOMINAL DE LA UNIDAD DE DISPARO.

**Fig. 2.11**  
**INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO**  
**TIPO PB**

1800-3000 Amperes 2 y 3 Polos, 600 Volts C.A. Max.



costosos necesarios en sistemas donde se manejan grandes volúmenes de energía, tales como interruptores en aire, transformadores de alta impedancia y reactores limitadores de corriente. Los interruptores termomagnéticos de alta capacidad interruptiva tienen exactamente las mismas características que los de la línea normal con excepción de la capacidad interruptiva. (Véase la Tabla 2.4).

### **Interruptores Combinados con Fusibles**

Si los cálculos de cortocircuito llegaran a arrojar valores de corriente mayores a los admisibles en un interruptor de línea normal o de alta capacidad interruptiva, entonces es necesario utilizar interruptores de línea normal combinados con fusibles limitadores de corriente, ya que sin estos, el interruptor sería dañado por el cortocircuito antes de que se lograra desconectar la red.

De esta manera, el fusible correctamente seleccionado deberá de interrumpir el cortocircuito antes de que actúen los disparadores magnéticos del interruptor, siendo estos los que en última instancia hacen la desconexión tripolar de la red. Sin la adecuada protección que proporcionan los fusibles, el cortocircuito seguramente causaría daños en la instalación eléctrica, además de la posible destrucción del interruptor.

Este tipo de interruptores son diseñados para utilizarse en sistemas en donde la corriente de falla alcanza valores hasta de 200,000 amperes simétricos (r.m.c.), y proporcionan protección en tres formas:

- 1.- Disparo Térmico Retardado para Sobrecargas.
- 2.- Disparo Magnético Instantáneo No Ajustable (en in-

terruptores hasta de 100 amperes) o ajustable --- (arriba de 100 amperes) proporcionando protección contra cortocircuitos.

- 3.- Como limitadores de corriente en fallas de alta intensidad mediante sus propiedades para controlar la energía de fuga.

### 3.2.2.- Interruptores Electromagnéticos

Este tipo de interruptores ha sido diseñado para usarse como medio de desconexión y protección contra sobrecorriente en instalaciones eléctricas hasta de 600 Volts C.A., utilizándose con mayor frecuencia como interruptor general en el secundario de los transformadores de servicios suministrados en mediana tensión.

Ya que los sistemas de potencia hoy en día demandan protecciones más seguras y de acuerdo a una amplia gama de capacidades tanto nominales como interruptivas, estos aparatos se construyen con capacidades de 500 a 6,000 amperes continuos, teniendo una capacidad interruptiva que fluctúa entre 50 y 100 KA asimétricos. Una gran ventaja con que cuenta este tipo de interruptor, es que acepta diversos sensores o dispositivos que permiten conectar o desconectar el sistema de que se trate.

El interruptor puede dividirse en tres unidades funcionales principales:

- Mecanismo de Operación.
- Sistema de Interrupción.
- Sistema de Protección.

### - Mecanismo de Operación

Está diseñado para recibir energía mecánica - de dos maneras: de forma manual a través de una palanca, o de operación eléctrica por medio de un motor; almacenándola en un resorte y liberándola en los contactos para cerrar el interruptor cuando se requiera. El mecanismo es de disparo libre, por lo cual, al accionar cualquiera de los relevadores de disparo se producirá la apertura inmediata de los contactos del interruptor. A continuación se explica más detalladamente la operación eléctrica de este dispositivo.

Los interruptores de operación eléctrica utilizan un pequeño motor universal que opera el mecanismo de energía almacenada comprimiendo el resorte. Cargando el resorte el interruptor puede cerrar a control remoto, liberando la energía acumulada por medio de una bobina de cierre. Normalmente el motor carga rápidamente el resorte cada vez que el interruptor abre, quedando preparado para cerrar nuevamente. Al cerrar el interruptor, el motor queda desconectado y el resorte expandido, liberándose los esfuerzos del mecanismo de energía almacenada. En caso de ser necesario el mecanismo se puede operar en forma manual, operando el pequeño interruptor que sirve para desconectar el motor y accionando la palanca que el interruptor tiene en su parte frontal.

Las bobinas de cierre y disparo son para operación continua.

### - Sistema de Interrupción

El sistema de interrupción está constituido por dos tipos de contactos: los principales y los de arqueo. En el ciclo de apertura, al separarse los contactos principa

les, los contactos de arqueo continúan cerradas, por lo que se transfiere la corriente al circuito de arqueo.

Los contactos de arqueo comenzarán a separarse durante la segunda etapa del ciclo de apertura, después de establecida la separación necesaria en los contactos principales que elimina el arqueo entre ellos. Al establecerse el arqueo entre los contactos de arqueo, la corriente del arco magnetiza dos placas de acero colocadas en las cubiertas laterales de los supresores. La temperatura y el campo magnético de las placas, desplazan el arco hacia arriba, en donde al entrar en contacto con las placas deflectoras de la cámara de arqueo se dividirá en pequeños arcos. En su ascensión por la cámara del supresor, el arco se extiende y enfría hasta su extinción.

#### - Sistema de Protección

Los interruptores están dotados de un sistema de protección independiente, que no requiere de fuente auxiliar de energía para el disparo. Dicho sistema, integrado al interruptor, está formado por un relevador de sobrecorriente trifásico transistorizado, tres sensores de corriente y un dispositivo de disparo de acción directa tipo solenoide.

El relevador transistorizado de sobrecorriente recibe señales de los sensores de corriente. Estos dan una señal proporcionada a la corriente primaria y suministran la energía necesaria para operar el relevador transistorizado. El relevador registra las señales, detecta sobrecargas o fallas y determina la operación del interruptor de acuerdo con los ajustes a los que se encuentra calibrado.

Cuando el relevador detecta una condición - - anormal en el circuito, que requiera la apertura del inte--rruptor, el interruptor estático da una señal a la bobina de disparo (Ver Figura 2.12). Esta bobina actúa sobre el mecanismo de disparo del interruptor ocasionando la apertura.

Los sensores se montan en cada una de las barras principales del interruptor, correspondientes a cada polo del aparato. En la aplicación por falla a tierra, en circuitos de 4 hilos, es necesario colocar fuera del interruptor, un sensor extra en el neutro. Este cuando sensor será igual a los que van montados en el interruptor.

Para el ajuste de las corrientes de disparo y retardos de tiempo, el relevador contiene tres elementos de disparo que son:

**Tiempo Largo.** La calibración para disparo a tiempo largo es ajustable de 0.7 a 1.3 veces la corriente de la conexión en el sensor con puntos de calibración a 0.7, -- 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 y 1.3 veces dicha corriente. La tolerancia es de  $\pm 8$  por ciento.

Las características independientes del retardo a tiempo largo son ajustables a 2 segundos con 10 puntos de calibración: 2, 4, 6, 8, 10, 14, 16, 22, 26 y 30 segundos.

**Tiempo Corto.** Este disparo es ajustable de 2 a 10 veces la corriente indicada en la derivación seleccionada en el sensor con puntos de calibración de 2, 3, 4, 6, 8 y 10 veces.

La característica independiente de tiempo corto es ajustable de 0.11 a 0.45 segundos con puntos de cali--

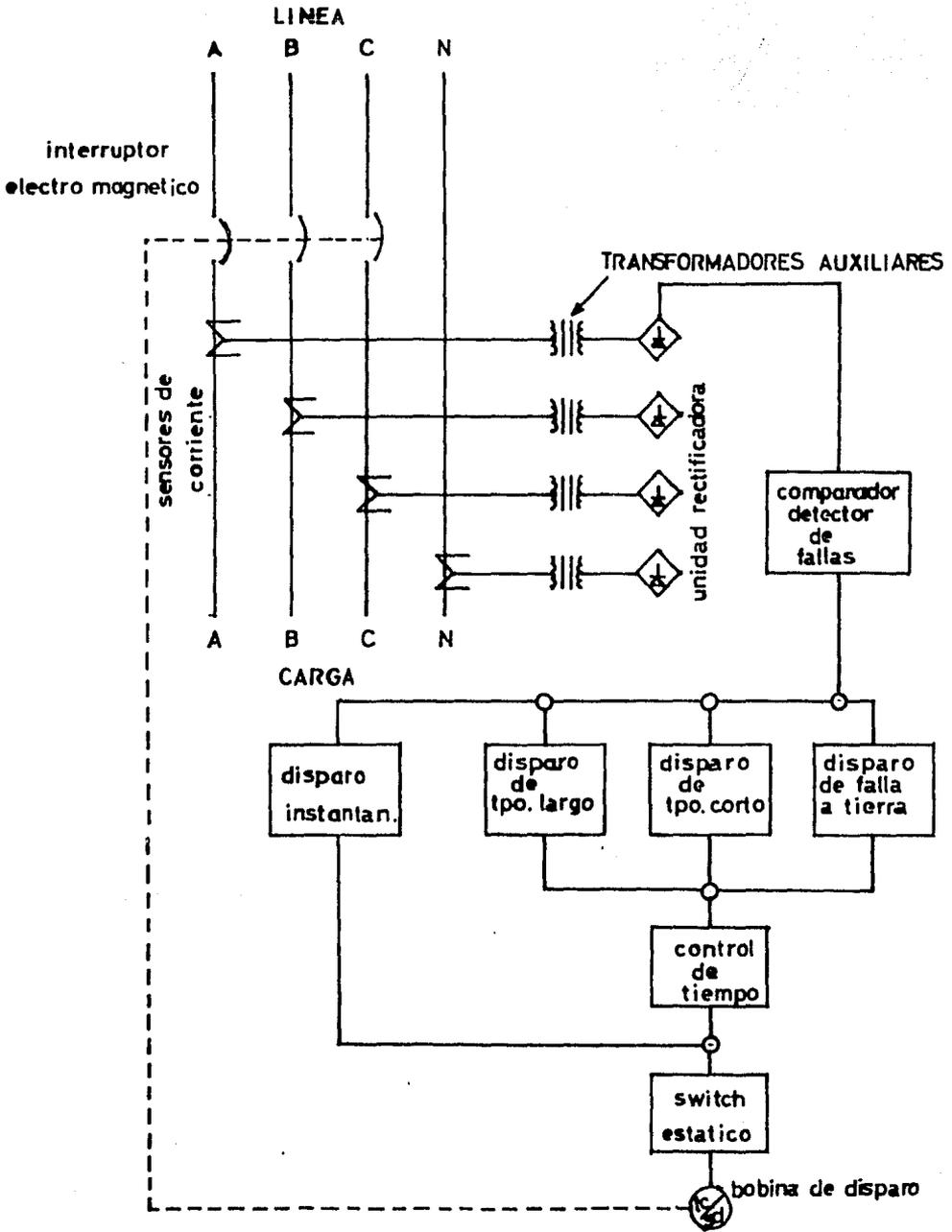


Fig. 2.12

bración de 0,11, 0,25, 0,33 y 0,45 segundos.

**Instantáneo.** La calibración del disparo instantáneo es ajustable de 4 a 12 veces el valor indicado en la conexión del sensor con puntos a 4, 5, 6, 8, 10 y 12 veces dicho valor.

Además de las unidades funcionales básicas antes expuestas, los interruptores electromagnéticos pueden ir equipados con algunos accesorios y dispositivos sensores o de bloqueo adicionales.

La selección de un interruptor electromagnético, para proteger circuitos de baja tensión, es un problema similar al de seleccionar otro tipo de equipo eléctrico, tal como generadores o transformadores. Para ser aplicado correctamente el interruptor, deberá ser el adecuado al sistema de fuerza en el cual se desea instalar. Deberá soportar las condiciones de servicio y proporcionar por sí solo o en coordinación con otros dispositivos, la protección contra sobrecorriente necesaria.

La mayoría de los factores referentes a las características del sistema de fuerza y las condiciones de servicio, bajo las cuales el interruptor debe operar, pueden ser determinadas por medio de una inspección cuidadosa. Sin embargo, es necesario calcular el valor del cortocircuito máximo disponible que el interruptor deberá soportar e interrumpir. La característica de la carga alimentada y la coordinación con otros interruptores del sistema, determina el tipo de relevadores que deben usarse para cada interruptor en particular.

En condiciones de servicio en las que existen

demasiado polvo en el ambiente, goteo de líquidos, gases corrosivos o explosivos, etc., debe elegirse el gabinete adecuado y proporcionar mantenimiento periódico necesario para asegurar el funcionamiento confiable del interruptor.

**CAPITULO III****PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS Y SOBRECARGAS  
EN CIRCUITOS QUE ABASTECEN A MOTORES Y SOLDADORAS.****1.- Protección de Circuitos para Motores**

En la actualidad, los motores de C.A., son -- unos de los equipos que más se emplean en las instalaciones eléctricas de utilización, ya que la mayoría de las máquinas industriales y comerciales funcionan gracias a dichos elementos. Su aplicación va desde las grandes industrias hasta casas habitación, por lo que es necesario que se protejan contra sobrecorriente a fin de asegurar un funcionamiento adecuado y duradero de tales equipos.

Los motores de C.A., empleados en las instalaciones eléctricas de utilización, son del tipo de Inducción de Jaula de Ardilla, Rotor Devanado y Síncrono, pero ya que el motor más usado en las instalaciones industriales y comerciales es el motor de Inducción de Jaula de Ardilla, se considera de mayor importancia referirnos a la protección contra sobrecorriente de este tipo de motores.

Desde el punto de vista Protección, sus características más importantes a considerar son:

- a) El período de arranque o aceleración.
- b) La corriente a rotor bloqueado.
- c) La capacidad para tolerar sobrecargas.

### a) Período de Arranque o Aceleración

Una vez que se ha aplicado tensión a un motor, se necesita que transcurra cierto tiempo para que alcance su velocidad normal. La magnitud y duración de la corriente durante ese período, dependen de la inercia y las características de la carga que se le acopla, de su diseño y del método de arranque.

### b) Corriente a Rotor Bloqueado

Es aquella que demanda el motor cuando su rotor queda frenado por tener acoplada una carga excesiva, por estar trabados sus baleros, por haber baja tensión en sus terminales o por causas ajenas. Su magnitud es aproximadamente igual a seis veces la corriente a plena carga del motor. La Tabla 3.1 muestra las letras de clave para indicar los KVA por C.P., de los motores con rotor bloqueado.

Letra de Clave	KVA por C.P. con rotor bloqueado		Letra de Clave	KVA por C.P. con rotor bloqueado	
A	0	3.14	L	9.0	9.99
B	3.15	3.54	M	10.0	11.19
C	3.55	3.99	N	11.2	12.49
D	4.0	4.49	P	12.5	13.99
E	4.5	4.99	R	14.0	15.99
F	5	5.59	S	16.0	17.99
G	5.6	6.29	T	18.0	19.99
H	6.3	7.09	U	20.0	23.39
J	7.1	7.99	V	22.4	Y más
K	8	8.99			

**Tabla 3.1** Letras de Clave para indicar los KVA por C.P., de los Motores con Rotor Bloqueado.

### **c) Capacidad para Soportar Sobrecargas**

Las sobrecorrientes cuya magnitud sea hasta - de seis veces el valor de la corriente nominal del motor, se consideran debidas a sobrecarga y las mayores, se consideran de cortocircuito. La sobrecarga es un abuso de la instalac-- ción y el cortocircuito es una falla eléctrica.

La protección contra sobrecorriente de los -- circuitos que alimentan motores y a estos mismos se hace de la siguiente manera:

Protección Contra Cortocircuito

Protección Contra Sobrecarga

#### **1.1 Protección Contra Cortocircuito**

Los interruptores automáticos y los fusibles, son los dispositivos que se utilizan generalmente para proteger a los circuitos derivados que alimentan motores, contra sobrecorrientes debidas a cortocircuito. El punto más importante para el diseño eléctrico es el de seleccionar correctamente la capacidad nominal de los diferentes tipos de interruptores o fusibles cuando se utilicen con dicho propósito, y que tienen como función la de interrumpir el circuito eléctrico, cuando por él circula una corriente de cortocircuito que pueda dañar los conductores y equipo conectado al mismo.

Los interruptores automáticos que se usan con mayor frecuencia para la protección de motores de baja tensión, son los de tipo termomagnético, por lo que en este Capítulo se mencionarán junto con los fusibles para este tipo de protección.

### a) Protección del Circuito Derivado para un Solo Motor

Se considera que se obtiene la protección adecuada cuando los interruptores termomagnéticos o fusibles seleccionados tienen una capacidad nominal no mayor de la que se indica en la Tabla 3.2.

Si de acuerdo con los datos de dicha tabla, los interruptores seleccionados no pueden conducir la corriente de arranque, se pueden emplear los de capacidad inmediata superior, siempre y cuando no se rebase el 400% de la corriente nominal del motor si se trata de fusibles renovables Clase H o interruptores termomagnéticos, o bien el 225% cuando se trate de fusibles de doble elemento con retraso de tiempo.

Para un motor de varias velocidades, puede utilizarse un interruptor termomagnético o un juego de fusibles para la protección contra cortocircuito de dos o más devanados del motor, siempre que la capacidad nominal del interruptor o fusible no sea mayor del % citado en la Tabla 3.2 con respecto a la corriente nominal del menor valor. En cargas trifásicas, los interruptores termomagnéticos se prefieren a los fusibles, ya que nos ofrecen una operación trifásica.

### b) Protección del Circuito Derivado para Varios Motores y Otras Cargas

Dos o más motores y otras cargas, pueden conectarse en el mismo circuito derivado y quedar protegidos contra cortocircuito por el mismo dispositivo de sobrecorriente si se cumplen las condiciones de cualquiera de los dos incisos siguientes:

**Tabla 3.2** Capacidad Nominal o Calibración de los Dispositivos de Protección de Derivaciones para Motores.

Tipo de Motor	Porcentaje de la Corriente de Plena Carga			
	Fusibles sin Retardo	Fusibles con Retardo	Termomagnéticos con Disparo Instantáneo	Interruptores Limitadores
Todo tipo de monofásicos sin letra de código	100	175	700	250
Todos los monofásicos y polifásicos de Jaula de Ardilla y motores síncronos con arranque a tensión plena, con resistencias o reactor.	300	175	700	250
Letra de Código F a V	300	175	700	250
Letra de Código B a E	250	175	700	200
Letra de Código A	150	150	700	150
Todos los motores de C.A., de Jaula de Ardilla y Síncronos con arranque con autotransformador. No más de 30 Amp., sin letra de Código	250	175	700	200

Tipo de Motor	Porcentaje de la Corriente de Plena Carga			
	Fusibles sin Retardo	Fusibles con Retardo	Termomagnéticos con Disparo Instantáneo	Interruptores Limitadores
Más de 30 Amp., sin letra de Código	200	175	700	200
Letra de Código F a V	250	175	700	200
Letra de Código B a E	200	175	700	200
Letra de Código A	150	150	700	150
De Jaula de Ardilla, alta reactancia no más de 30 - Amp., sin letra de Código	250	175	700	250
Más de 30 Amp., sin letra de Código	200	175	700	200
Rotor devanado sin letra de Código	150	150	700	150
Corriente directa sin letra de Código. No más de 50 H.P.	150	150	250	150
Más de 50 H.P., sin letra de Código	150	150	175	150

- Hasta de 1 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 el valor nominal de la corriente a plena carga de cada motor no exceda de 6 amperes, y que la protección individual contra sobrecarga esté conforme a lo siguiente: (En el Punto 1.2 del presente Capítulo se estudia lo relacionado a la protección por sobrecarga).

La capacidad o el ajuste de este dispositivo deberá ser el adyacente al rango de la corriente a plena carga del motor.

En el caso de que el dispositivo de sobrecarga seleccionado de acuerdo con el criterio anterior, resulte insuficiente para el arranque del motor o no corresponda a un tamaño normalizado, puede utilizarse el tamaño inmediato superior, siempre que no sea mayor del 125% de la corriente a plena carga del motor.

- 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 sobrecargas, siempre que se cumplan todas las condiciones siguientes.

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

2.- El arrancador y el dispositivo de protección contra sobrecargas de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo con una capacidad máxima especificada de

fusibles o interruptores termomagnéticos.

**c) Protección contra Cortocircuitos de Alimentadores de Motores**

El dispositivo de sobrecorriente de un circuito alimentador que abastezca a varios circuitos derivados, debe tener una capacidad o ajuste que no exceda la del dispositivo de protección contra cortocircuitos del circuito derivado correspondiente al motor de mayor potencia, más la suma de las corrientes a plena carga de los motores de los demás circuitos.

Cuando en un grupo de motores haya dos o más de la misma potencia que sean los más grandes en el grupo, debe considerarse a uno solo de ellos como el mayor, para los cálculos anteriores.

Cuando se instalan alimentadores que abastecen motores, previendo futuras adiciones de carga o cambios, su protección contra sobrecorriente debe estar basada en la capacidad de conducción de los conductores alimentadores.

**d) Protección de Alimentadores a Motores y Otras Cargas**

Si un alimentador abastece cargas de motores y además cargas de alumbrado y aparatos, el dispositivo de protección contra sobrecorriente del alimentador se debe seleccionar de acuerdo con las reglas para alimentadores de motores, más la corriente nominal de las demás cargas, aplicando los factores de demanda adecuados.

**1.2 Protección Contra Sobrecarga**

La protección contra sobrecarga de cada motor

consiste en evitar que el motor se sobrecaliente, permitiendo solamente una sobrecarga del 25%, de manera que dicha protección se selecciona como máximo para una corriente que es 25% mayor que la corriente a plena carga del motor.

Para proteger a los motores contra sobrecarga existen elementos térmicos los cuales son parte integrante de los dispositivos llamados controladores o arrancadores. Esta protección opera los contactos principales del controlador desconectando al motor de la red cuando la corriente -- excede de determinado valor (en el Punto 1.2.1 del presente Capítulo se analizan las características y funcionamiento de tales controladores). Dependiendo de la capacidad y tipo -- del motor, existen varios tipos o clases de controladores -- que pueden usarse, a los cuales se les pueden adaptar otros dispositivos de control y obtener el grado deseado de protección de los motores.

Para seleccionar el medio de protección contra sobrecarga de un motor, es necesario indicar varias especificaciones tales como tensión y potencia nominal del mismo. Los controladores vienen especificados por tamaños, lo que -- facilita la selección del equipo para que cumpla las condiciones necesarias de capacidad en un caso dado.

Los fusibles se pueden utilizar para proteger a los motores contra sobrecarga, siendo necesario saber seleccionar correctamente su capacidad nominal cuando se utilicen con este propósito. Los fusibles recomendados para motores arrancados automáticamente son los de doble elemento, -- los cuales deben seleccionarse al 125% de la corriente nominal del motor (en ausencia de elementos térmicos).

El interruptor termomagnético, al igual que -

el fusible de doble elemento son apropiados para sobrecargas, pero siempre lo mejor es el relevador térmico del arrancador.

De acuerdo a las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, los motores se deben proteger contra sobrecarga como sigue:

**a) Motores para Servicio Continuo**

Motores de más de 1 C.P.

Cada motor de más de 1 C.P., para servicio continuo, debe protegerse contra sobrecarga seleccionando un dispositivo de protección individual que opere a no más del siguiente por ciento de la corriente a plena carga del motor.

Motores con Factor de Servicio No Menor de --  
1.15. - - - 125%.

Motores con elevación de temperatura no mayor  
de 40°C - - - 125%.

Todos los demás motores 130%.

Si se usa un fusible para la protección contra sobrecarga, debe tener el suficiente retraso de tiempo para permitir circular la corriente de arranque, sin que opere.

*NOTA.- Factor de servicio es la capacidad real con la que un motor puede funcionar cuando se mantienen la tensión y frecuencia establecidas en la placa de datos de este equipo. Por ejemplo: Un motor con factor de servicio de 1.15 podrá sobrecargarse sin peligro en un 15% por arriba de su capacidad nominal en forma continua.*

Motores de 1 C.P., o menos, arrancados manualmente.

Cada motor para servicio contínuo de 1 C.P., o menos, que no esté permanentemente instalado, que se arranque manualmente y esté a la vista desde el punto donde se -- efectúa su arranque, puede considerarse protegido contra sobrecarga por el dispositivo de protección contra cortocircuito de los conductores que lo alimentan.

Motores de 1 C.P., o menos, arrancados automáticamente.

De igual manera que para motores de más de 1 C.P., cualquier motor de 1 C.P., o menos, que sea arrancado automáticamente, debe protegerse contra sobrecarga seleccionando un dispositivo de protección individual que opere a no más del por ciento de la corriente a plena carga del motor siguiente:

Motores con Factor de Servicio No Menor de --  
1.15. - - - 125%.

Motores con Elevación de Temperatura No Mayor  
de 40°C - - - 125%.

Todos los demás motores - - - 115%.

Si los valores calculados no corresponden a -- los tamaños normalizados, puede usarse el tamaño inmediato -- superior, siempre y cuando no sea mayor del por ciento de la corriente a plena carga del motor siguiente:

Motores con Factor de Servicio No Menor de --  
1.15. - - - 140%.

Motores con Elevación de Temperatura No Mayor  
de 40°C - - - 140%.

Todos los demás motores - - - 130%.

## **b) Motores para Servicio Intermitente o Similar**

Los motores utilizados en estas condiciones - de servicio, se consideran protegidos contra sobrecarga por el dispositivo de protección del circuito derivado, siempre que su capacidad no exceda los valores especificados en la - Tabla 3.2.

### **1.2.1 Arrancadores**

Existen para el control de motores diversos - tipos de arrancadores (controladores) que tienen integrada - la protección contra sobrecarga del motor, sus partes princi pales son:

- 1.- Contactos.
- 2.- Cámaras de Arqueo.
- 3.- Armadura.
- 4.- Núcleo.
- 5.- Bobina.
- 6.- Relevadores de Sobrecarga.

Dichos arrancadores se describen a continua--  
ción:

#### **Arrancadores Manuales.**

En los arrancadores clasificados como manua--  
les, el operador acciona el cierre de los contactos, por me--

dio de una palanca unida mecánicamente a los contactos; este tipo de arrancador se utiliza normalmente para controlar motores monofásicos y trifásicos con capacidad hasta de 10 - C.P.

El principal inconveniente del arrancador manual es la falta de flexibilidad de control. Debe ser accionado en el mismo emplazamiento del arrancador y es muy limitado en cuanto a las posibilidades como control de protección.

Cuando el grado de control que ofrece es satisfactorio para la instalación, tiene la ventaja de ser más económico. Los arrancadores manuales se hayan catalogados dentro de los tres tipos siguientes: Arrancadores con Dispositivos Térmicos, Arrancadores Manuales Directos para Motores Monofásicos y Trifásicos, y Arrancadores Manuales a Tensión Reducida Mediante Autotransformador para Grandes Motores.

#### Arrancadores Magnéticos a Tensión Completa.

El arrancador magnético, llamado también - - arrancador automático, consta de un contactor con la adición de un control protector denominado relevador térmico de sobrecarga. Este arrancador funciona a base de atracción magnética de un electroimán para mantener cerrados sus contactos de línea y auxiliares; ofrece una ilimitada flexibilidad de control y es seguro y de larga duración con un mantenimiento razonable.

Cuando el par de arranque no causa daño en la máquina movida y la corriente de arranque no es excesiva para la línea de alimentación, los arrancadores a tensión completa constituyen el medio más sencillo de arrancar motores.

Estos arrancadores se usan principalmente con motores de inducción Jaula de Ardilla.

La protección contra sobrecargas del motor es proporcionada por relevadores térmicos sensibles a la corriente, conectados en serie con los devanados del motor. El requisito básico para la protección contra la sobrecarga es que el motor pueda trabajar a su potencia nominal pero que se impida su funcionamiento al producirse cualquier sobrecarga prolongada o importante.

Cuando un motor está sobrecargado mecánicamente, su corriente aumenta, lo que a su vez hace que aumente la temperatura de los devanados. También se producen aumentos de corriente y de temperatura a consecuencia de la falta de una fase en los motores polifásicos o de un defecto en los devanados del motor.

Por consiguiente, para obtener una protección completa contra las sobrecargas es necesario detectar, o medir, la corriente absorbida por el motor e interrumpir el circuito si esta corriente excede del valor nominal del motor en un tiempo determinado.

Existen dos tipos básicos de relevadores de sobrecarga empleados en los arrancadores. El primero utiliza un metal con bajo punto de fusión, que retiene una rueda dentada, que al ser liberada produce la abertura de un juego de contactos intercalados en el circuito de la bobina del arrancador, interrumpiendo el circuito. El segundo tipo utiliza una lámina bimetalica para el desenganche del mecanismo de disparo y abrir los contactos del circuito de la bobina.

Independientemente del tipo de dispositivo --

que se utilice, siempre está activado por un elemento calefactor en serie con el circuito del motor. La intensidad de la corriente necesaria para producir el funcionamiento del relevador está determinada por el tamaño del elemento calefactor utilizado. Cuando se trata de la protección de pequeños motores que absorben poca corriente, como elemento calefactor, se utiliza una resistencia de hilo o de cinta de poca sección, mientras que en el caso de motores de mayor potencia, se emplean resistencias de mayor sección de forma que se produzca en los relevadores la temperatura debida cuando circule una intensidad de valor prefijado.

A estos dispositivos comúnmente se les conoce como elementos térmicos. Estos elementos térmicos, por sí mismos, poseen un retardo en su acción que es inversamente proporcional a la sobrecarga a que estén sometidos. Cuando la sobrecarga es ligera, el motor sigue funcionando durante algún tiempo sin que actúe el relevador, pero si la sobrecarga es grande, actuará casi inmediatamente, desconectando el motor de su fuente de alimentación y evitando que se deteriore.

Los elementos térmicos actúan sólo por efecto del calor (efecto Joule), influyendo por lo tanto la temperatura del aire que los rodea, por lo que en los lugares donde se han de preveer altas temperaturas, las resistencias de caldeo empleadas en los relevadores deben estar sobredimensionadas.

#### Arrancadores a Tensión Reducida.

Este tipo de arrancador, de acuerdo a las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, es utilizado para controlar motores mayores de 10 C.P., cuando su corriente de arranque ocasiona una indeseable caída de tensión en las

líneas alimentadoras o bien cuando la carga acoplada requiera una aceleración paulatina y amortiguada; como su nombre implica, el arrancador de tensión reducida contiene algún medio que reduce la tensión de la línea que es aplicada al motor durante el período de arranque. Esto se hace con el fin de limitar la sobrecorriente durante el ciclo de arranque, - lo cual puede causar serios descensos de la tensión en las - líneas del suministrador o en los cables de la misma instalación, o bien cuando el par de arranque en condiciones de tensión plena pueda causar daño a la máquina movida por el motor.

Estas unidades se construyen en los tipos manual y automático y en la misma forma que para los arrancadores a tensión plena, el tipo manual resulta más económico pero con menos posibilidades de control.

Los arrancadores automáticos a tensión reducida pueden tener muchas formas y están destinados generalmente a un tipo particular de motor y para una determinada aplicación. Los requisitos esenciales son que estén provistos - de medios para conectar el motor a tensión reducida y luego, automáticamente, a la tensión de línea después de transcurrido el tiempo necesario para la aceleración.

La **Tabla 3.3** muestra los métodos de arranque para motores de C.A.

**Tabla 3.3** Métodos de Arranque para Motores de C. A.

MOTOR		ARRANCADOR	METODO	OPERACION
TIPO	FASES			
Inducción Jaula de Ardilla	Monofásico	A tensión plena		Manual
				Magnético
	Trifásico	A tensión plena		Manual
				Magnético
		A tensión reducida	Por resistencia primaria	Magnético
			Por autotransformador	Manual
			Por reactor	Magnético
		Estrella-Delta	Cambio de conexiones de los devanados del motor	Magnético
Devanado-Bipartido				
Dos velocidades				
Rotor Devanado	Trifásico	Control secundario	Por resistencia secundaria	Magnético
Síncrono	Trifásico	A tensión Plena		Magnético
		A tensión reducida	Por resistencia primaria	
	Por autotransformador			



## **2.- Protección de Circuitos para Soldadoras**

En este punto, se tratará la protección contra sobrecorriente en circuitos que abastecen soldadoras - - eléctricas por arco, así como las soldadoras por resistencia.

Cabe mencionar que de acuerdo a las Normas -- Técnicas para Instalaciones Eléctricas, los conductores que abastecen dichas soldadoras deben ser independientes de los conductores que alimentan el resto de la carga y su capacidad de corriente estar de acuerdo con lo señalado en la Sección 518 de dichas Normas Técnicas.

### **2.1.- Protección Contra Sobrecorriente en Soldadoras por -- Arco**

Las soldadoras y los conductores deben protegerse contra sobrecorriente como se señala en los incisos -- a) y b) siguientes:

- a) Protección de Soldadoras.- Cada soldadora debe tener protección contra sobrecorriente de una capacidad o ajuste no mayor del 200% de la corriente primaria nominal de la soldadora, excepto cuando no -- sea necesario tal dispositivo debido a que el circuito de alimentación esté protegido contra sobrecorriente al no más del 200% de la corriente primaria nominal de la soldadora (soldadora única).
- b) Protección de Conductores.- Los conductores que -- alimentan a una o más soldadoras, deben protegerse con un dispositivo de protección contra sobrecorriente de capacidad o ajuste no mayor que el 200% de la capacidad de los conductores.

## **2.2.- Protección contra Sobrecorriente en Soldadoras por Resistencia.**

Las soldadoras y los conductores de suministro deben protegerse contra sobrecorriente, como se señala en los incisos a) y b) siguientes:

- a) Protección de Soldadoras.- Cada soldadora debe tener un dispositivo de protección contra sobrecorriente, cuya capacidad o ajuste no supere el 300% de la corriente nominal primaria de la soldadora, - excepto cuando no sea necesario tal dispositivo debido a que el circuito de alimentación esté protegido a no más del 300% de la corriente primaria nominal de la soldadora (soldadora única).
- b) Protección de Conductores.- Los conductores que alimenten a una o más soldadoras deben protegerse con un dispositivo de protección contra sobrecorriente de capacidad o ajuste no mayor que el 300% de la capacidad de los conductores.

## CAPITULO IV

### CALCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN INSTALACIONES ELECTRICAS DE MEDIANA Y BAJA TENSION

#### 1.- Estudio del Cortocircuito

Una corriente de cortocircuito es aquella que circula en un circuito eléctrico, debido a un accidente provocado por el contacto entre dos conductores, por la ruptura de algún aislamiento, por exceso de humedad o cuando un conductor hace contacto con la tierra. Su magnitud es bastante mayor comparada con la que normalmente circula en el mismo circuito, posteriormente estudiaremos algún método para determinar la magnitud de dicha corriente.

Aún cuando la gran mayoría de los casos de fallas que se presentan son fallas de fase a tierra (fig. no. 4.1.a), fallas de dos fases a tierra (fig. no. 4.1.b) y fallas entre dos fases (fig. no. 4.1.c) todas ellas de naturaleza desbalanceada, la selección de los dispositivos de protección contra fallas de cortocircuito (fig. 4.1.d) es de naturaleza balanceada.

Las corrientes de cortocircuito, se expresan en amperes instantáneos de pico o en forma más común en amperes r.m.c., simétricos o asimétricos.

La magnitud de la corriente de cortocircuito depende de la forma de la falla, puede ser permanente pero muchas veces su valor se ve limitado por la acción del dispo

sitivo de protección. Esta acción se mide en ciclos en virtud de la rapidez de dicho elemento.

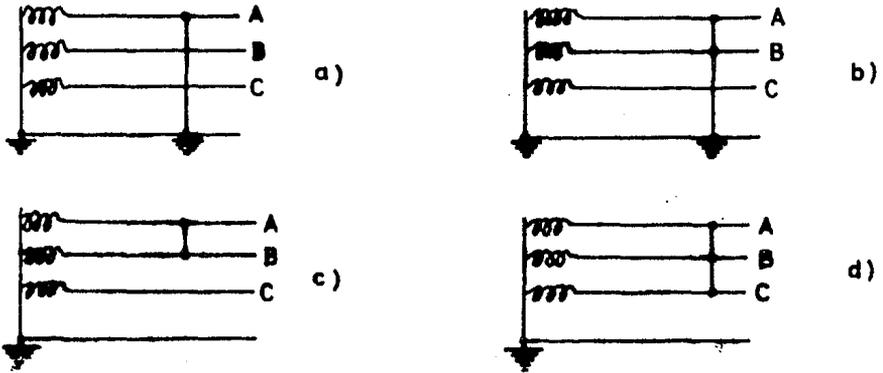


Fig. 4.1 Fallas de cortocircuito

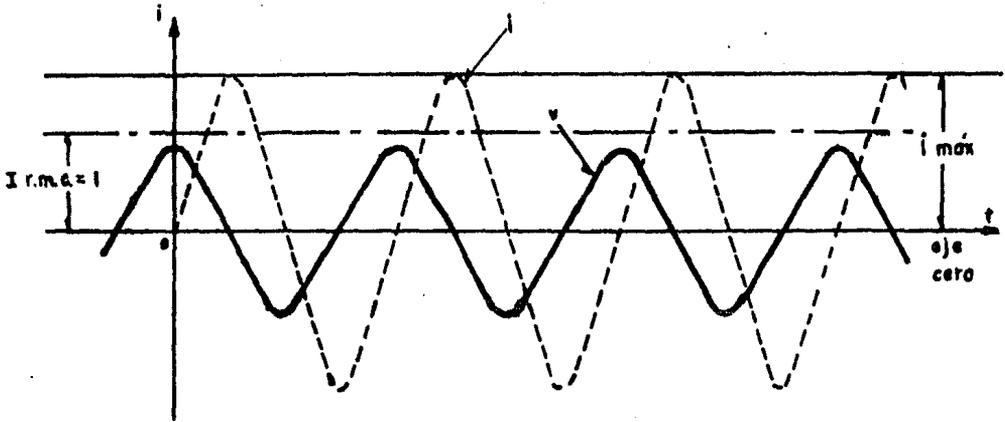
Analizaremos los siguientes cuatro tipos:

- a) Corriente simétrica eficaz (r.m.c.) en amperes.
- b) Corriente instantánea de pico, en amperes.
- c) Corriente máxima r.m.c., de una fase, en amperes.
- d) Corriente trifásica promedio r.m.c., en amperes.

En la figura 4.2, se presenta el oscilograma de las ondas de tensión y corriente en circuito reactivo.

La corriente simétrica r.m.c., se encuentra representada por la línea horizontal cuya ordenada es igual

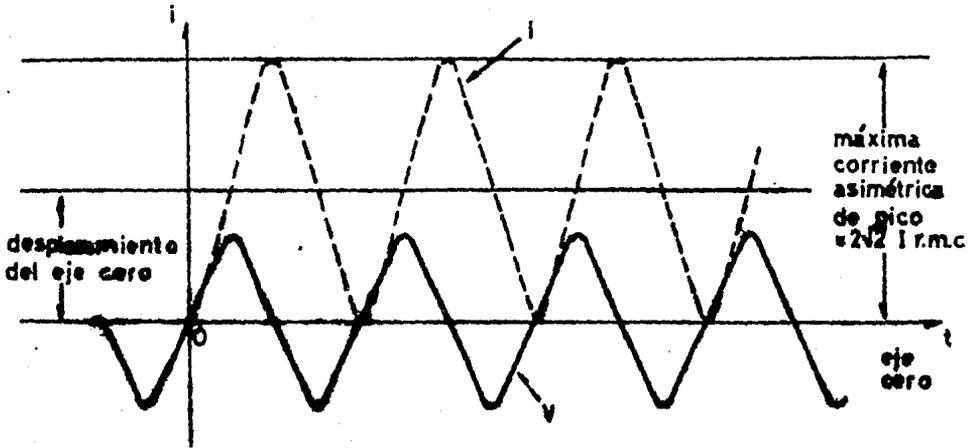
a uno, mientras que la corriente instantánea de pico se encuentra representada por la línea horizontal de ordenada -- igual a  $i_{m\max}$ .



**Fig. 4.2** Corriente de Falla Simétrica en un Circuito Reactivo; Factor de Potencia = 0. La Corriente de Falla Comienza Cuando la Onda de Tensión Pasa Por Su Valor Máximo.

Este oscilograma corresponde a un circuito -- que contiene únicamente reactancia. La corriente de cortocircuito es simétrica con respecto al eje cero y se inicia -- cuando la onda de tensión pasa por su valor máximo.

En el oscilograma de las ondas de tensión y -- corriente de la figura 4.3, la corriente de falla es total-- mente asimétrica, pero simétrica con respecto al eje cero -- desplazado.



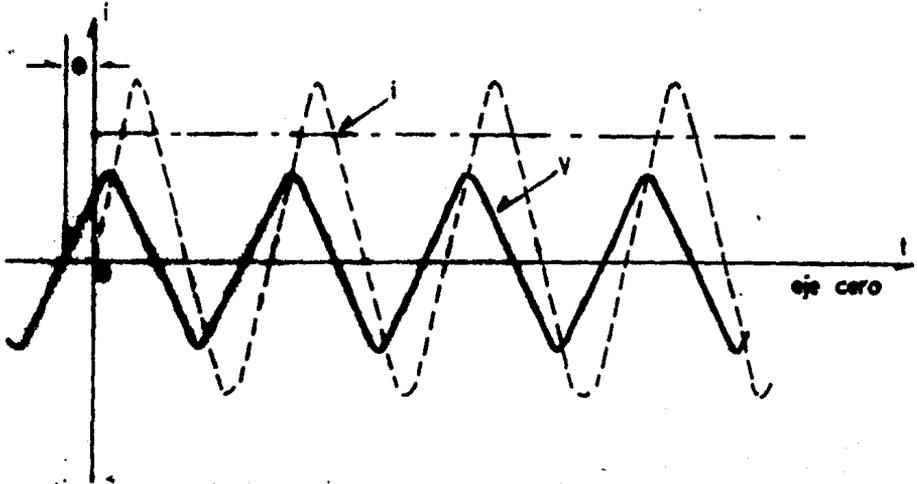
**Fig. 4.3** Corriente de Falla Totalmente Asimétrica en un Circuito Reactivo; Factor de Potencia = 0. La Corriente de Falla se Inicia Cuando la Onda de Tensión Pasa Por Cero, en Dirección Positiva.

De la observación de las **figuras 4.2 y 4.3**, - se concluye que si la corriente de cortocircuito se inicia cuando la onda de tensión pasa entre cero y su valor máximo, el eje cero sufrirá algún desplazamiento y por tanto, la corriente tendrá algún grado de asimetría con respecto al eje cero original.

En la **figura 4.4**, se presenta el oscilograma de las ondas de tensión y corriente de un circuito que contiene reactancia y resistencia. En este caso, el factor de

potencia es diferente de cero.

La corriente de cortocircuito se inicia a un ángulo  $\theta$ , medido a partir del paso de la onda de tensión por su valor cero, en dirección positiva.



**Fig. 4.4** Corriente de Falla Simétrica en un Circuito con - - Reactancia y Resistencia; Factor de Potencia igual a  $\cos \theta$ .

La corriente de cortocircuito más importante es la que se presenta en la figura 4.5. El circuito en donde se produce esta corriente es aquel que contiene reactancia y resistencia, con factor de potencia diferente de cero.

El cortocircuito ocurre a un ángulo  $90^\circ + \theta$ , medido a partir del punto en donde la onda de tensión pasa -- por el eje cero en dirección negativa.

Las magnitudes de las crestas de los tres primeros medios ciclos positivos son mayores que las crestas correspondientes a la corriente simétrica. También, los tres primeros medios ciclos negativos son menores que los picos negativos de la corriente simétrica de falla.

Una falla súbita en un sistema de corriente alterna, trae consigo una componente de corriente directa asociada a la componente de corriente alterna, y cuando se adicionan, la corriente resultante es similar a la que se presenta en el oscilograma de la figura 4.5, la cual es una corriente asimétrica con respecto al eje cero.

En esta misma figura observamos:

- a) La corriente máxima r.m.c., en una fase.- Es el valor eficaz de la corriente asimétrica, incluyendo la componente de corriente directa, medida medio ciclo después de que se inicia la falla en una fase de un circuito polifásico. Esta es la mayor corriente que un dispositivo de protección debe interrumpir.
- b) La corriente r.m.c., trifásica promedio.- Es el valor eficaz promedio de las corrientes en las tres fases, incluyendo la componente de corriente directa. Se mide medio ciclo después de haberse iniciado la falla de un circuito trifásico.

#### Asimetría Debida a la Componente de Corriente Directa.

Una corriente asimétrica se comporta como si fuera la suma de dos corrientes que simultáneamente fluyeran en el mismo circuito. Una es la corriente simétrica y la otra es la componente de corriente directa, cuya magnitud de-

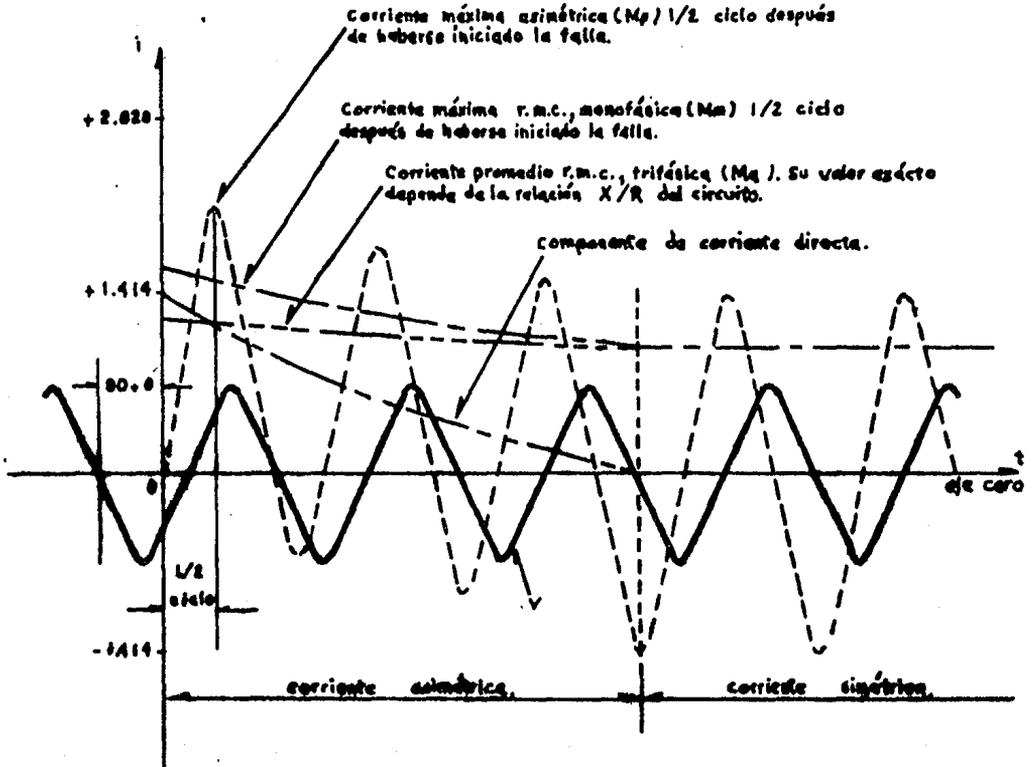


Fig. 4.5 Corriente de Falla Asimétrica, en un Circuito con Reactancia y Resistencia;  
Factor de Potencia =  $\cos \theta$

pende del instante en que se inicia la falla. Puede valer cero (figura 4.4) o ser máxima (figura 4.5).

Puesto que la corriente normal de un circuito no puede cambiar instantáneamente a su valor de falla, debido a la oposición que presenta la inductancia de aquel, la componente de corriente directa fluye para satisfacer el efecto inductivo del circuito.

Debido a que la tensión se reduce a cero durante la falla, la componente de corriente directa decae a cero; la rapidez con que decae depende de la relación  $X/R$  del circuito, hasta el punto de falla.

En la **tabla 4.1**, se presentan los factores -- por los que se debe multiplicar la corriente simétrica r.m.c., de cortocircuito para obtener las corrientes máximas r.m.c., e instantánea en una fase y la corriente r.m.c., trifásica -- promedio. El factor de potencia o la relación  $X/R$  se refie-- ren a la parte del circuito eléctrico hasta el punto de falla. No se refieren al factor de potencia o a la relación  $X/R$  del mismo circuito en condiciones normales de operación.

## **2.- Cálculo de Corriente de Cortocircuito**

Para seleccionar correctamente los dispositivos de protección contra sobrecorriente, es necesario saber - calcular la magnitud de la corriente de cortocircuito en di-- versos puntos de un sistema eléctrico determinado.

Existen los siguientes cuatro métodos:

a) Porcentual

b) De los M V A

- c) Ohmico
- d) Por componentes simétricas

Los tres primeros son aproximados y mediante ellos se puede calcular con un margen de error aceptable la corriente de cortocircuito para una falla trifásica, de naturaleza balanceada. Para fallas de fase a tierra, de dos fases a tierra y entre fases, todas ellas de naturaleza desbalanceada, el único método aplicable es el de componentes simétricas.

A continuación se describe el método porcentual que es uno de los más empleados para el cálculo de corriente de cortocircuito.

### **Método Porcentual**

Es un método rápido, con un grado de aproximación suficiente que permite la selección adecuada de los dispositivos de protección a emplear y por lo tanto, es apropiado para el diseño de instalaciones eléctricas de utilización de energía eléctrica.

Este método es el más empleado para calcular corrientes de cortocircuito trifásico, ya que generalmente -- las impedancias de motores y transformadores se dan en por ciento.

La reactancia en por ciento se define como el por ciento de la tensión nominal que se consume en la reactancia cuando circula la corriente nominal, o sea:

**Tabla 4.1**

Factor de Potencia, de corto-circuito en %	Relación X/R de corto-circuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, 1/2 ciclo después del comienzo de la falla		
		Corriente máxima instantánea de pico, en amperes $M_p$	Corriente Máxima r.m.c., en una fase $M_m$	Corriente Trifásica promedio en amperes r.m.c. $M_a$
0		2.828	1.732	1.394
1	100.00	2.785	1.696	1.374
2	49.993	2.743	1.665	1.355
3	33.322	2.702	1.630	1.336
4	24.979	2.663	1.598	1.318
5	19.974	2.625	1.568	1.301
6	16.623	2.589	1.540	1.285
7	14.251	2.554	1.511	1.270
8	13.460	2.520	1.485	1.256
9	11.066	2.487	1.460	1.241
10	9.9301	2.455	1.436	1.220
11	9.0354	2.424	1.413	1.216
12	8.2733	2.394	1.391	1.204
13	7.6271	2.364	1.372	1.193
14	7.0721	2.336	1.350	1.182
15	6.5912	2.309	1.330	1.171
16	6.1695	2.282	1.312	1.161
17	5.7947	2.256	1.294	1.152
18	5.4649	2.231	1.277	1.143
19	5.1672	2.207	1.262	1.135
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
21	4.6557	2.160	1.232	1.119
22	4.4341	2.138	1.218	1.112
23	4.2313	2.110	1.205	1.105

Continúa . . .

Factor de potencia, de cortocircuito en %	Relación X/R de cortocircuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, 1/2 ciclo después del comienzo de la falla		
		Corriente máxima instantánea de pico, en amperes $M_p$	Corriente máxima r.m.c., en una fase $M_m$	Corriente trifásica promedio en amperes r.m.c. $M_a$
24	4.0450	2.095	1.192	1.099
25	3.8730	2.074	1.181	1.093
26	3.7138	2.054	1.170	1.087
27	3.5661	2.034	1.159	1.081
28	3.4286	2.015	1.149	1.075
29	3.3001	1.996	1.136	1.070
30	3.1798	1.978	1.130	1.066
31	3.0669	1.960	1.121	1.063
32	2.9608	1.943	1.113	1.057
33	2.8606	1.926	1.105	1.053
34	2.7660	1.910	1.098	1.049
35	2.6764	1.849	1.091	1.046
36	2.5916	1.878	1.084	1.043
37	2.5109	1.863	1.078	1.039
38	2.4341	1.848	1.073	1.036
39	2.3611	1.833	1.068	1.033
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
41	2.2246	1.805	1.057	1.028
42	2.1608	1.791	1.053	1.026
43	2.0996	1.778	1.049	1.024
44	2.0409	1.765	1.045	1.022
45	1.9845	1.753	1.041	1.020
46	1.9303	1.740	1.038	1.019

Continúa . . .

Factor de potencia, de corto-circuito en %	Relación X/R de corto-circuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, 1/2 ciclo después del comienzo de la falla		
		Corriente máxima instantánea de pico, en amperes $M_p$	Corriente máxima r.m.c., en una fase $M_m$	Corriente trifásica promedio en amperes r.m.c. $M_a$
47	1.8780	1.728	1.034	1.017
48	1.8277	1.716	1.031	1.016
49	1.7791	1.705	1.029	1.014
50	1.7321	1.794	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3333	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.001	1.001
75	0.8819	1.486	1.0008	1.0004
80	0.7500	1.460	1.0002	1.00005
85	0.6198	1.439	1.00004	1.00002
100	0.0000	1.414	1.00000	1.00000

$$\% \text{ reactancia} = \frac{I_n \cdot \text{reactancia en ohms}}{V_n} \cdot 100$$

$I_n$  y  $V_n$  son la corriente y tensión nominal.

La resistencia y la impedancia en porcentaje, se definen en forma similar:

$$\% \text{ resistencia} = \frac{I_n \cdot \text{resistencia en ohms}}{V_n} \cdot 100$$

$$\% \text{ impedancia} = \frac{I_n \cdot \text{impedancia en ohms}}{V_n} \cdot 100$$

#### Secuencia de Aplicación:

- 1.- Se dibuja un diagrama unifilar mostrando todos los componentes del sistema tales como: transformadores de distribución o de potencia, conductores, interruptores de seguridad, barras colectoras, motores, interruptores automáticos, etc.
- 2.- Se selecciona el lugar o lugares en donde pueda ocurrir la falla.
- 3.- Se recaban datos de todos los componentes del sistema tales como: reactancia y resistencia, tensión nominal, capacidad, etc.

En circuitos de alta tensión la resistencia eléctrica de los componentes es baja y por tanto, no se le considera en el cálculo. Sin embargo, en sistemas de 600 volts o menos, la resistencia sobre todo de conductores es considerable y se le debe utilizar para la impedancia total del circuito.

Es frecuente no tener información sobre la impedancia de

los motores, por lo que se considera que la contribución asimétrica del motor es igual a su corriente de rotor -- bloqueado:

$$\text{corriente a rotor bloqueado} = \frac{KVA/HP \cdot HP \cdot 1000}{K \cdot V}$$

En esta fórmula K es igual a:

1 para motores monofásicos

$\sqrt{3}$  para motores trifásicos

En forma aproximada y con un margen de seguridad razonable, se pueden considerar las siguientes igualdades:

*contribución asimétrica* = 5 • corriente a plena carga del motor.

*contribución simétrica* = 4 • corriente a plena carga del motor.

- 4.- Todas las reactancias y resistencias se refieren a una base en KVA, arbitrariamente elegida.

$$X_2 = \frac{KVABase}{KVA_1} \cdot X_1$$

$$R_2 = \frac{KVABase}{KVA_1} \cdot R_1$$

En las ecuaciones anteriores,  $X_2$  y  $R_2$  son la reactancia y la resistencia en por ciento, referidas a la nueva base.  $X_1$  y  $R_1$  son la reactancia y la resistencia en por ciento original.

KVABase es la nueva base, y KVA, son los KVA nominales.

Si al recabar los datos, las reactancias, resistencias o

impedancias no están dadas en por ciento, sino en ohms o en por unidad (p.u.), se aplican las siguientes fórmulas

$$\% \text{ impedancia} = \frac{\text{impedancia en ohms} \cdot \text{KVAbase}}{\text{KV}^2 \cdot 10}$$

$$\% \text{ impedancia} = 100 \cdot \text{impedancia en por unidad}$$

NOTA.- Las fórmulas anteriores, obviamente son aplicables a reactivancias y resistencias.

Cuando el organismo suministrador de energía eléctrica no da el dato de la impedancia de la red en por ciento, sino que dan el dato de la capacidad de cortocircuito en KVA o MVA en la acometida de la instalación, o bien dan como dato la corriente de cortocircuito o la capacidad interruptiva del interruptor de la línea de llegada, los datos disponibles deben convertirse a impedancias (reactancias y resistencias) en por ciento.

Se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ impedancia} = \frac{\text{KVAbase}}{\text{KVA de cortocircuito del sistema}} \cdot 100$$

$$\% \text{ impedancia} = \frac{\text{KVAbase}}{\sqrt{3} \cdot I_{cc} \cdot \text{KVnominales}} \cdot 100$$

$$\% \text{ impedancia} = \frac{\text{KVAbase}}{\text{Capacidad interruptiva del Interruptor en KVA}} \cdot 100$$

- 5.- Se convierte el diagrama unifilar en uno equivalente y todos los componentes se representan por su impedancia. Se acostumbra unir todas las fuentes a una barra común, siendo ésta una terminal de la red de impedancias y la otra terminal el punto de falla.

- 6.- Se calculan la reactancia y la resistencia equivalentes de la red anterior, para obtener la impedancia total.

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

- 7.- Se calcula la corriente de cortocircuito simétrica r.m.c., en el punto de falla:

$$I_{cc} = \frac{KVAbase \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot \%Z_T \cdot KV}$$

- 8.- Se determina la relación X/R del sistema, hasta el punto de falla.

$$\frac{X}{R} = \frac{X_{total} (\%)}{R_{total} (\%)}$$

Con este dato, en la **tabla 4.1** se puede obtener el factor de asimetría aplicable. Con los valores de la cuarta columna de esa tabla, obtendremos la corriente máxima r.m.c., en una fase, que es la más desfavorable.

- 9.- Se calcula la corriente asimétrica r.m.c., de corto circuito.

$$\text{corriente asimétrica r.m.c. de cortocircuito} = \text{corriente simétrica r.m.c. de cortocircuito} \cdot \text{factor de asimetría}$$

- 10.- Contribución de los motores.

$$\text{corriente simétrica} = 4 \cdot \text{corriente a plena carga, amperes r.m.c.}$$

$$\text{corriente asimétrica} = 5 \cdot \text{corriente a plena carga, amperes r.m.c.}$$

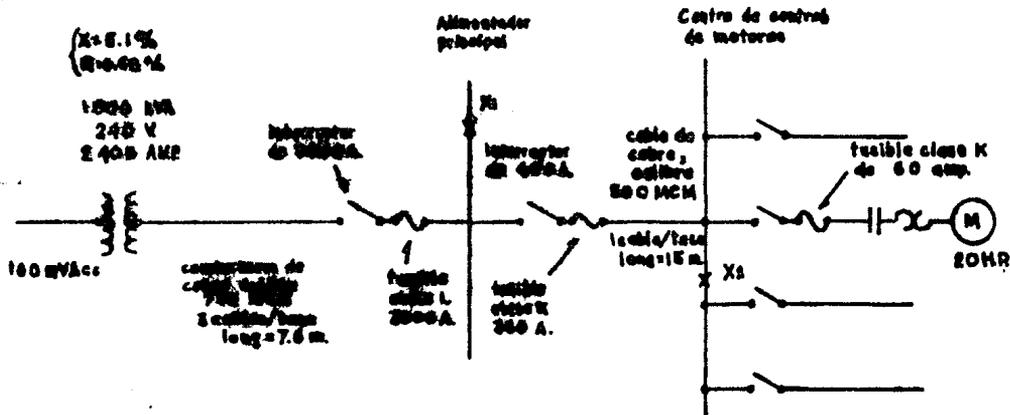
11.- Corriente total de cortocircuito, en amperes r.m.c.

$$\text{Corriente simétrica} = \text{corriente simétrica de cortocircuito} + \text{contribución simétrica de los motores}$$

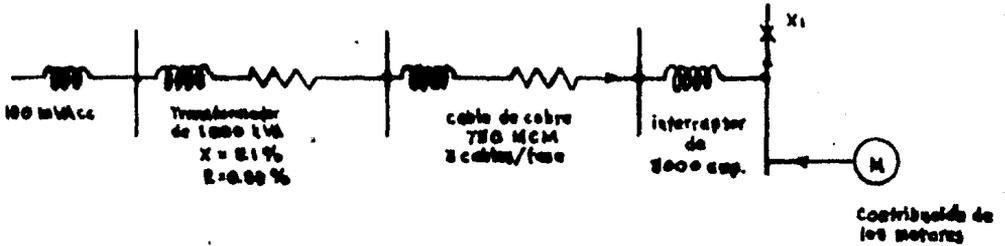
$$\text{Corriente asimétrica} = \text{corriente asimétrica de cortocircuito} + \text{contribución asimétrica de los motores}$$

Ejemplo:

Calcular las corrientes de falla trifásica de los puntos  $X_1$  y  $X_2$  del siguiente sistema eléctrico.



Cálculo de la corriente de falla en el punto  $X_1$ :



- 1.- Conversión de impedancias a la siguiente base, escogida arbitrariamente.

$$KVAbase = 10,000 \text{ KVA}$$

- 1.1.- Reactancia de la compañía suministradora de energía eléctrica.

$$X = \frac{10,000}{100,000} \cdot 100$$

$$X = 10\%$$

- 1.2.- Impedancia del transformador

$$X = \frac{10,000}{1000} \cdot 5.1 = 51\%$$

$$R = \frac{10,000}{1000} \cdot 0.89 = 8.9\%$$

- 1.3.- Impedancia de los cables de cobre, calibre 750 --

MCM (datos tomados de la **tabla 4.2**).

Longitud/Cable = 7.6 metros

Número de cables/fase = 3

$$X = \frac{7.6}{1000} \cdot \frac{0.1170}{3} = 0.0002963 \text{ ohms}$$

$$X = \frac{0.0002963 \cdot 10,000}{0.24^2 \cdot 10} = 5.144\%$$

$$R = \frac{7.6}{1000} \cdot \frac{0.064}{3} = 0.0001621 \text{ ohms}$$

$$R = \frac{0.0001621 \cdot 10,000}{0.24^2 \cdot 10} = 2.81\%$$

1.4.- Reactancia del interruptor de 300 amperes (dato - tomado de la **tabla 4.3**)

$$X = 0.000040 \text{ ohms}$$

$$X = \frac{0.00004 \cdot 10,000}{0.24^2 \cdot 10} = 0.6944\%$$

2.- Impedancia total ( $Z_T$ )

$$X_T = 10 + 51 + 5.144 + 0.694 = 66.838\%$$

$$R_T = 8.9 + 2.814 = 11.714\%$$

$$Z_T = (66.838^2 + 11.714^2)^{1/2} = 67.857\%$$

3.- Corriente simétrica de falla.

$$I_{cc} = \frac{10,000 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 67.857 \cdot 0.24} = 35,454 \text{ amperes r.m.c.}$$

## 4.- Relación X/R del sistema

$$\frac{X}{R} = \frac{66.832}{11.714} = 5.705$$

Interpolando los valores de la cuarta columna de la - -  
**tabla 4.1** encontramos el factor para obtener la máxima -  
 corriente r.m.c., en una fase, que es la más desfavora--  
 ble.

$$\text{Factor de asimetría} = 1.283$$

## 5.- Corriente asimétrica de cortocircuito.

$$I = 1.283 \cdot 35,454 = 45,487 \text{ amperes r.m.c.}$$

## 6.- Contribución de los motores (al 100%)

$$\text{corriente simétrica} = 4 \cdot 2,400 = 9,600 \text{ amperes r.m.c.}$$

$$\text{corriente asimétrica} = 5 \cdot 2,400 = 12,000 \text{ amperes r.m.c.}$$

7.- Corriente total de cortocircuito ( $I_T$ )

$$\text{corriente simétrica} = 35,454 + 9,600 = 45,054 \text{ amperes --}$$

r.m.c.

$$\text{corriente asimétrica} = 45,487 + 12,000 = 57,487 \text{ amperes}$$

r.m.c.

**Tabla 4.2** Resistencia y Reactancia de Conductores Cableados de Cobre en Ohms/Kilómetro (3 conductores por ducto).

CALIBRE AWG o MCM	EN DUCTO MAGNETICO				EN DUCTO NO MAGNETICO			
	DE 600 VOLTS Y 5 kV SIN BLINDAJE		DE 5 kV CON BLINDAJE		DE 600 VOLTS Y 5 kV SIN BLINDAJE		DE 5 kV CON BLINDAJE	
	X	R	X	R	X	R	X	R
	8 <sup>+</sup>	0.2473	2.6600	0.2820	2.6600	0.1980	2.6600	0.2260
8 <sup>+</sup>	0.2473	2.5780	0.2820	2.5780	0.1980	2.5780	0.2260	2.5780
6 <sup>+</sup>	0.2250	1.6720	0.2610	1.6720	0.1797	1.6720	0.2086	0.1672
6 <sup>+</sup>	0.2250	1.6270	0.2610	1.6270	0.1797	1.6270	0.2086	1.6270
4 <sup>+</sup>	0.2074	1.0530	0.2440	1.0530	0.1660	1.0530	0.1950	1.0530
4 <sup>+</sup>	0.2074	1.0230	0.2440	1.0230	0.1660	1.0230	0.1950	1.0230
2	0.1920	0.6630	0.2250	0.6630	0.1532	0.6626	0.1794	0.6626
1	0.1870	0.5250	0.2214	0.5250	0.1496	0.5250	0.1771	0.5250
1/0	0.1771	0.4200	0.2083	0.4200	0.1417	0.4166	0.1663	0.4200
2/0	0.1750	0.3350	0.2067	0.3380	0.1397	0.3313	0.1653	0.3350
3/0	0.1700	0.2640	0.1985	0.2670	0.1361	0.2510	0.1588	0.2640
4/0	0.1630	0.210	0.1912	0.2130	0.1305	0.2076	0.1528	0.2010
250	0.1624	0.1811	0.1870	0.1830	0.1300	0.1775	0.1496	0.1794
300	0.1617	0.1522	0.1850	0.1560	0.1292	0.1480	0.1480	0.1509
350	0.1610	0.1240	0.1843	0.1270	0.1289	0.1207	0.1476	0.1230
400	0.1607	0.1168	0.1797	0.1190	0.1286	0.1122	0.1440	0.0114
450	0.1575	0.1056	0.1765	0.1080	0.1260	0.0997	0.1410	0.1023
500	0.1530	0.0964	0.1725	0.0980	0.1223	0.0905	0.1381	0.0931
600	0.1519	0.0843	0.1693	0.0870	0.1217	0.0780	0.1351	0.0807
750	0.1460	0.0708	0.1630	0.0731	0.1168	0.0640	0.1299	0.0666

Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hz y a 75°C de temperatura del conductor.

+ Conductores sólidos (alambre).

**Tabla 4.3** Reactancia por Polo, de Interruptores Desconectores para Baja Tensión (600 volts o menos).

Capacidad del Interruptor en amperes	Reactancia (X) en Ohms
200	0.0001
400	0.00008
600	0.00008
800	0.00007
1200	0.00007
1600	0.00005
2000	0.00005
3000	0.00004
4000	0.00004

Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hertz.

Cálculo de la corriente de falla en el punto  $X_2$



1.- Conversión de impedancias a la potencia base, previamente escogida.

1.1.- Reactancia del interruptor de 400 amperes (dato - tomado de la **tabla 4.3**)

$$X = 0.00008 \text{ ohms}$$

$$X = \frac{0.00008 \cdot 10,000}{0.24^2 \cdot 10} = 1.3888$$

1.2.- Impedancia de los cables de cobre, calibre 500 -- MCM (datos tomados de la **tabla 4.2**)

$$\text{Longitud/cable} = 15 \text{ metros}$$

$$\text{No. de cables/phase} = 1$$

$$X = \frac{15}{1000} \cdot \frac{0.1223}{1} = 0.001835 \text{ ohms}$$

$$X = \frac{0.001835 \cdot 10,000}{0.24^2 \cdot 10} = 31.98$$

$$R = \frac{15}{1000} \cdot 0.0905 = 0.001360 \text{ ohms}$$

$$R = \frac{0.001360 \cdot 10,000}{0.24^2 \cdot 10} = 23.61\%$$

2.- Impedancia total ( $Z_T$ )

$$X_T = 66.838 + 1.388 + 31.9 = 100.126\%$$

$$R_T = 11.714 + 23.61 = 35.324\%$$

$$Z_T = (100.126^2 + 35.324^2)^{1/2} = 106.17\%$$

3.- Corriente simétrica de falla.

$$I_{cc} = \frac{10,000 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 106.17 \cdot 0.24} = 22,265 \text{ amperes r.m.c.}$$

4.- Relación X/R del sistema.

$$\frac{X}{R} = \frac{100.126}{35.324} = 2.836$$

El factor de asimetría que corresponde aproximadamente a esta relación es:

$$\text{factor de asimetría} = 1.10$$

5.- Corriente asimétrica de cortocircuito.

$$I = 1.10 \cdot 22,659 = 24,925 \text{ amperes r.m.c.}$$

6.- Contribución de los motores, al 100%.

$$\text{corriente simétrica} = 4 \cdot 2,400 = 9,600 \text{ amperes r.m.c. ,}$$

*corriente asimétrica* =  $5 \cdot 2,400 = 12,000$  amperes r.m.c.

7.- Corriente total de cortocircuito ( $I_T$ )

*corriente simétrica* =  $22,659 + 9,600 = 32,259$  amperes r.m.c.

*corriente asimétrica* =  $24,925 + 12,000 = 36,925$  amperes r.m.c.

Finalmente, con este valor de falla seleccionamos el dispositivo de protección contra sobrecorriente, en función de su capacidad interruptiva.

**CAPITULO V****SELECCION DE PROTECCIONES EN FUNCION DE LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LAS MISMAS****1.- Definición**

Capacidad Interruptiva.- Es la máxima corriente simétrica r.m.c., o la más alta corriente directa que un dispositivo de protección puede interrumpir satisfactoriamente, bajo condiciones de prueba especificadas (tensión, temperatura, etc.).

Debido a los efectos mecánicos provocados por las corrientes de cortocircuito, se concluye que nunca se debe utilizar un dispositivo de protección contra sobrecorriente cuando su capacidad interruptiva sea menor que la máxima corriente de cortocircuito disponible en el circuito eléctrico en cuestión.

Si la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección contra sobrecorriente es menor a la máxima corriente de cortocircuito disponible; dichos dispositivos pueden dañarse, ocasionando siniestros en el lugar donde se encuentren ubicados o bien poner en peligro la integridad física de los operarios en el momento de la falla.

**2.- Selección de Protecciones de Acuerdo con su Capacidad Interruptiva**

De acuerdo a los catálogos de los principales fabricantes, los dispositivos de protección contra sobrecor-

rriente se pueden seleccionar de acuerdo con su capacidad nominal e interruptiva como sigue:

### 2.1.- Fusibles

De Mercury Electric Products, S. A.

CLASE DE FUSIBLE	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN AMPERES SIMETRICOS r.m.c.
	Volts	Amperes	
H	250 y 600	0 - 30 31 - 60 61 - 100 101 - 200 201 - 400 401 - 600	10,000
K	250 y 600	0 - 30 31 - 60 61 - 100 101 - 200 201 - 400 401 - 600	50,000 100,000 6 200,000
G	300	0 - 15 16 - 20 21 - 30 31 - 60	100,000
J	600	0 - 30 31 - 60 61 - 100 101 - 200 201 - 400 401 - 600	100,000 6 200,000
L	600	601 - 800 801 - 1200 1201 - 1600 1601 - 2000 2001 - 2500 2501 - 3000 3001 - 4000 4001 - 5000 5001 - 6000	100,000 6 200,000

## 2.2.- Interruptores Termomagnéticos

De General Electric (G.E.)

INTERRUPTOR TIPO		CAPACIDAD NOMINAL (AMPERES)	No. DE POLOS	TENSION		CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN KILOAMPERES (SIMETRICA)						
						VOLTS DE C. A.				VOLTS DE C. D.		
						127	127/220	240	277	480	125	250
Q100	THQL	15- 70	1	120/240			10					
	THQAL	15- 100	2	120/240			10					
	TAQB	15- 100	2, 3	240				10				
	TXQB, TXOL	15- 30	1, 2	127/220			65					
E100	TE	10- 100	1	127	125	10					5	
		10- 100	2, 3	240	250			10				
	TEF	10- 100	1	277	125				14		10	
		10- 100	2	480	250			18		14		10
	TEF	15- 100	3	480				18		14		
		15- 100	3	600				18		14		
	THEF	15- 30	1	277	125				65		20	
	THEF	15- 100	2	600	250			65		25		20
15- 100		3	600				65		25			
F225	TFK	70- 225	2	600	250			25		22		10
		70- 225	3	600				25		22		
	THFK	70- 225	2	600	250			42		25		20
		70- 225	3	600				42		25		
J400	TJK4	125- 400	2	600	250			42		30		10
		125- 400	3	600				42		30		
J600	TJK6	250- 600	2	600	250			42		30		10
		250- 600	3	600				42		30		
	THJK	125- 400	2	600	250			65		35		20
		125- 400	3	600				65		35		
K1200	TKM8	300- 800	2	600	250			42		30		10
		300- 800	3	600				42		30		
	TKM12	600-1200	2, 3	600			42		30			
	THKM8	300- 800	2	600	250			65		35		20
		300- 800	3	600				65		35		
	THKM12	600-1200	2, 3	600			65		35			

De Cutler Hammer

TIPO	CAPACIDAD NOMINAL (AMPERES)	No. DE POLOS	VOLTS		CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN KILOAMPERES SIMETRICOS						
			C. A.	C. D.	VOLTS DE C. A.				VOLTS DE C. D.		
					127	127/220	240	277	480	125	250
CH-120	15- 50	1	120		5						
CH-220	15- 100	2	120/240			5					
CH-320	15- 70	3	240					5			
F. A.	15- 100	2	240	125/250	10			18		5	5
F. A.	15- 100	3	240	125/250	10			18		5	5
F. B.	15- 100	2	600	250					14		10
F. B.	15- 150	3	600	250					14		10
LB-225	175- 400	3	600	250					22		
LB-400	175- 400	3	600	250					30		
LA	500- 600	3	600	250							
NB-800	700- 800	3	600	250					30		
NB-31200	1000-1200	3	600	250					30		

De Siemens

TIPO	CAPACIDAD NOMINAL (AMPERES)	No. DE POLOS	VOLTS		CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN KILOAMPERES SIMETRICOS			
			C. A.	C. D.	VOLTS DE C. A.		VOLTS DE C. D.	
					220 V.	440/480 V.	125 V.	250 V.
3VS18	HASTA 100	3	480	250	58	25	20	20
3VS22	HASTA 225	3	600	250	83	42	40	40
3VS25	HASTA 400	3	600	250	83	50	40	40

De Federal Pacific Electric

INTERRUPTOR TIPO O CLASE	MARCO	CAPACIDAD NOMINAL (AMPERES)	No. DE POLOS	VOLTS		CAPACIDADES INTERRUPTIVAS EN KA. SIMETRICOS						
				C. A.	C. D.	VOLTS C. A.					VOLTS C. D.	
						120/240	240	277	480	600	125	250
1000	NC	15- 30	1	120/240		5						
1000	NA	15- 50	1	120/240		5						
1000	NC	15- 50	2	120/240			5					
1000	NA	15- 100	2	120/240			5					
1000	NA	15- 100	3	240			5					
1500	NE	15- 100	2, 3	240	125/250		18				10	10
1500	NEF	15- 100	1, 2, 3	480	250		18		14			10
1500	NFJ	70- 225	2, 3	480	250		25		22			10
1500	NJL	70- 500	2, 3	600	250		42		30	22		20
1500	NM	125-1000	2, 3	600	250		42		30	22		20
1500	HEF-R	15- 100	2, 3	480	250		65		25			10
1500	HFJ-R	70- 225	2, 3	600	250		65		25	18		10
1500	HJL-R	70- 500	2, 3	600	250		65		35	25		20
1500	HMR	125-1000	2, 3	600	250		65		35	25		20
1500	NP	1200-2000	2, 3	600			150		100	75		

De Square D

TIPO	CAPACIDAD NOMINAL (AMPERES)	No. DE POLOS	VOLTS		CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN KILOAMPERES SIMETRICOS							
			C. A.	C. D.	VOLTS DE C. A.					VOLTS DE C. D.		
					120	120/240	240	277	480	125	250	
OO	15-50-70	1, 2	120/240			5						
OO	15- 50	3	240				5					
Q1B	70- 100	3	240				5					
A1L	15- 100	1	120	125	10						5	
A1L	15- 100	2	240	125/250				10			5	5
A1L	15- 100	3	240					10				
A1B	15- 100	1	120	125	10						5	
A1B	15- 100	2	240	125/250				10			5	5
A1B	15- 100	3	240					10				
Y1B	15- 100	1	277						10			
FA	15- 100	3	600	250				18		14		10
FHL	15- 100	3	600	250				65		25		10
KA	125- 225	3	600	250				25		22		10
KHL	125- 225	3	600	250				65		35		10
LA	225- 400	3	600	250				42		30		10
LHL	225- 400	3	600	250				65		35		10
MA	500-1000	3	600	250				42		30		14
MHL	500-1000	3	600	250				65		35		14
PA	600-2000	3	600					65		50		
PHF	600-2000	3	600					125		85		

### 2.3.- Interruptores Electromagnéticos

De Square D

TIPO	CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN AMPERES SIMETRICOS	VOLTAJES	RANGO EN AMPERES
DS-208	42,000	240	100- 800
	30,000	480	
	22,000	600	
DS-416	65,000	240	100-1600
	50,000	480	
	42,000	600	
DS-420	65,000	240	100-2000
	50,000	480	
	42,000	600	
DS-532	65,000	240	1200-3200
	50,000	480	
	50,000	600	
DS-632	85,000	240	1200-3200
	65,000	480	
	65,000	600	

### 3.- Tabla de Nivel de Cortocircuito para Diferentes Capacidades de Transformadores

Con la elaboración de la siguiente tabla, nos es posible conocer a partir de la capacidad y la impedancia del transformador, la corriente de cortocircuito simétrica - r.m.c., en las terminales de dicho transformador.

CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR KVA	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN KILOAMPERES														
	220 440			220 440			220 440			220 440			220 440		
	Z			Z			Z			Z			Z		
100	11.4	2.5	5.7	9.7	3	4.8	8.4	3.5	4.2	7.5	4	3.7			
112.5	12.8	2.5	6.4	10.9	3	5.4	9.5	3.5	4.7	8.4	4	4.2	7.6	5.5	3.8
150	17.1	2.5	8.5	14.5	3	7.2	12.6	3.5	6.3	11.2	4	5.6	10.1	4.5	5.1
200	19.3	3	9.6	16.8	3.5	8.4	14.9	4	7.5	13.5	4.5	6.8			
225	21.7	3	10.8	18.9	3.5	9.4	16.8	4	8.4	15.2	4.5	7.6	13.9	5	6.9
250	24.1	3	12.0	21.0	3.5	10.5	18.7	4	9.3	16.9	4.5	8.4	15.4	5	7.7
300	25.1	3.5	12.6	22.4	4	11.2	20.2	4.5	10.1	18.5	5	9.2	17.1	5.5	8.5
500	41.7	3.5	20.8	37.1	4	18.6	33.6	4.5	16.8	30.7	5	15.4	28.4	5.5	14.2
600	44.5	4	22.2	40.2	4.5	20.1	36.8	5	18.4	34.0	5.5	17.0	31.7	6	15.8
750	55.4	4	27.7	50.1	4.5	25.1	45.9	5	22.9	42.4	5.5	21.2	39.5	6	19.7
1000	66.5	4.5	33.2	60.9	5	30.5	56.3	5.5	28.2	52.5	6	26.2	49.2	6.5	24.6
1500		4.5	49.4		5	45.3		5.5	41.9		6	39.1		6.5	36.7
2000		5	59.9		5.5	55.5		6	51.8		6.5	48.6			

## CAPITULO VI

### COORDINACION DE PROTECCIONES

#### 1.- Generalidades

Coordinación de protecciones es la relación - que existe entre las variables corriente - tiempo de los diversos dispositivos de protección contra sobrecorriente que se conectan en serie en las instalaciones eléctricas de utilización.

Cuando se aísla únicamente la parte del sistema eléctrico con falla y el resto queda energizado, se dice que se tiene un sistema coordinado selectivamente.

En el presente Capítulo nos avocaremos únicamente a la coordinación con fusibles, siendo semejante la -- coordinación para los diferentes dispositivos de protección contra sobrecorriente.

En la **figura 6.1** se presentan las curvas características de operación de tres dispositivos de protección contra sobrecorriente que son: relevadores térmicos, - y dos tipos de fusibles de cartucho.

#### Ejemplo No. 1 (figura 6.1)

Se tiene un motor de 10 HP con corriente a -- plena carga de 12.5 amperes, protegido contra sobrecargas -- por relevadores térmicos cuya capacidad nominal se escogió -- igual al 125% de la corriente nominal del motor. (Capítulo III).

En la banda vertical comprendida entre las -- magnitudes de la corriente nominal y la de rotor bloqueado, cualquier sobrecarga que tenga la máquina será detectada por dichos relevadores térmicos y si alcanza el valor adecuado, el motor puede ser desconectado por ellos.

El tiempo de operación de los fusibles, co--- rrespondiente a la corriente de rotor bloqueado, considerando una tolerancia de  $\pm 10\%$  en valores de corriente, es de 20 segundos mínimo y 40 segundos máximo, tiempos mucho mayores del que necesita el motor para alcanzar su velocidad normal.

Todas las sobrecorrientes mayores que la de - rotor bloqueado serán interrumpidas por el fusible clase H, hasta el límite de su capacidad interruptiva.

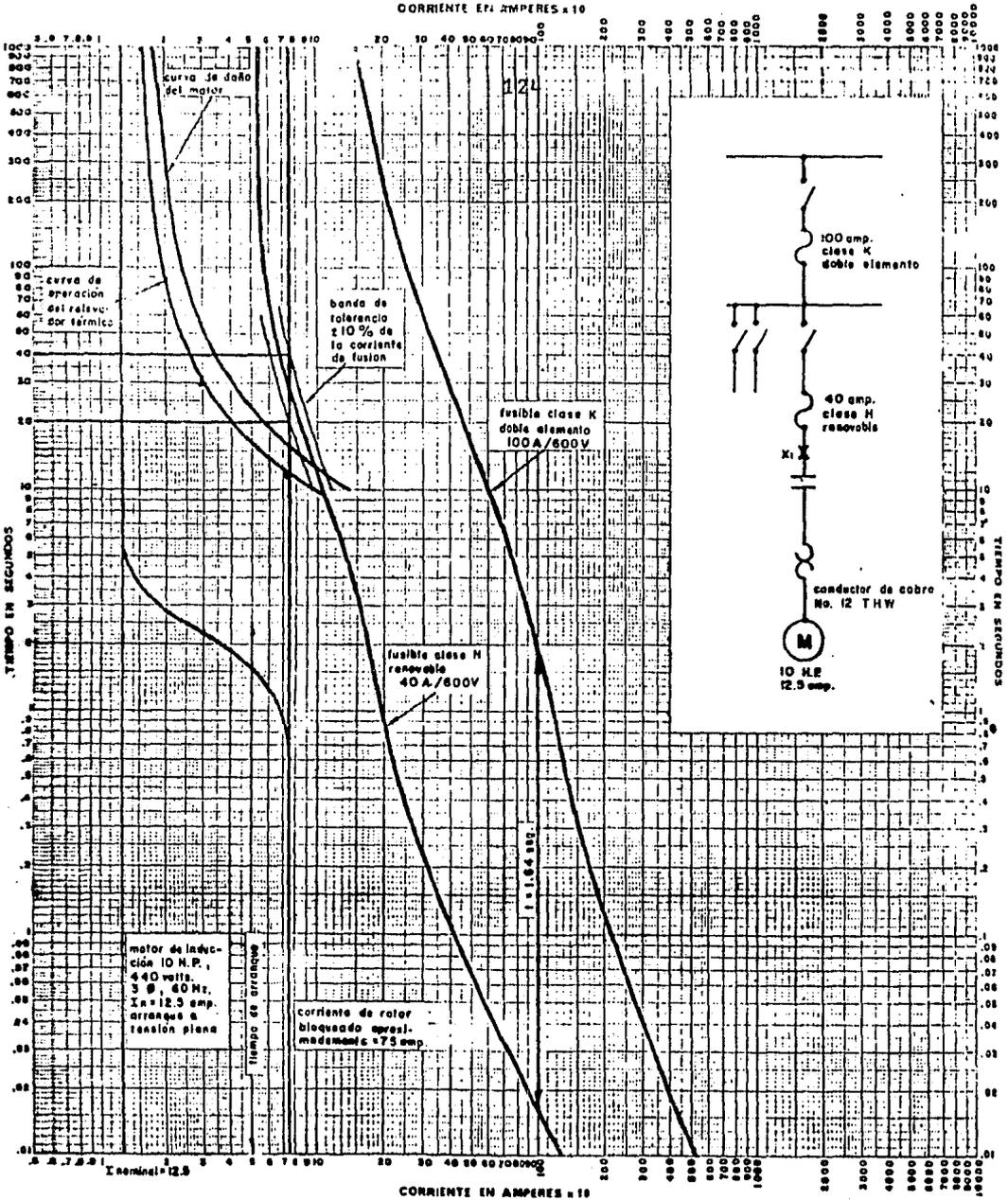
Entre las curvas de fusión de los dos fusi--- bles: clase H de 40 amperes y clase K, doble elemento de -- 100 amperes, no hay ningún cruzamiento por lo que coordina-- rán correctamente. Así, por ejemplo, para una corriente de falla de 1000 amperes en el punto  $X_1$ , operará siempre el fusible de 40 amperes, que tiene según se ve en la curva un -- tiempo promedio de fusión de .015 segundos contra 1.8 segundos correspondientes al fusible de 100 amperes clase K.

#### Ejemplo No. 2

Se tienen 10 lámparas de vapor de mercurio de 1000 watts cada una, instaladas en un circuito de 480 volts, 30 amperes.

Se desea seleccionar el dispositivo de prote<sub>g</sub> ción que coordine correctamente con la operación de los ba-- lastros.

CORRIENTE EN AMPERES x 10



COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION  
CONTRA SOBRECORRIENTE

MERCURY ELECTRIC PRODUCTS S.A.  
MEXICO 15 D.F.

DICIEMBRE de 1974

Fig. 6.1

Solución:

Se tiene lo siguiente:

corriente de arranque/balastro = 4.5 amperes

corriente nominal/balastro = 2.25 amperes

tiempo de arranque = 4 minutos

corriente de arranque para las 10 lámparas =

$$I_q = 10 \times 4.5 = 45 \text{ amperes}$$

corriente nominal para las 10 lámparas =

$$I_n = 10 \times 2.25 = 22.5 \text{ amperes}$$

Trazamos las curvas de operación de los dispositivos a seleccionar y escogemos el más adecuado. Ver la **figura 6.2.**

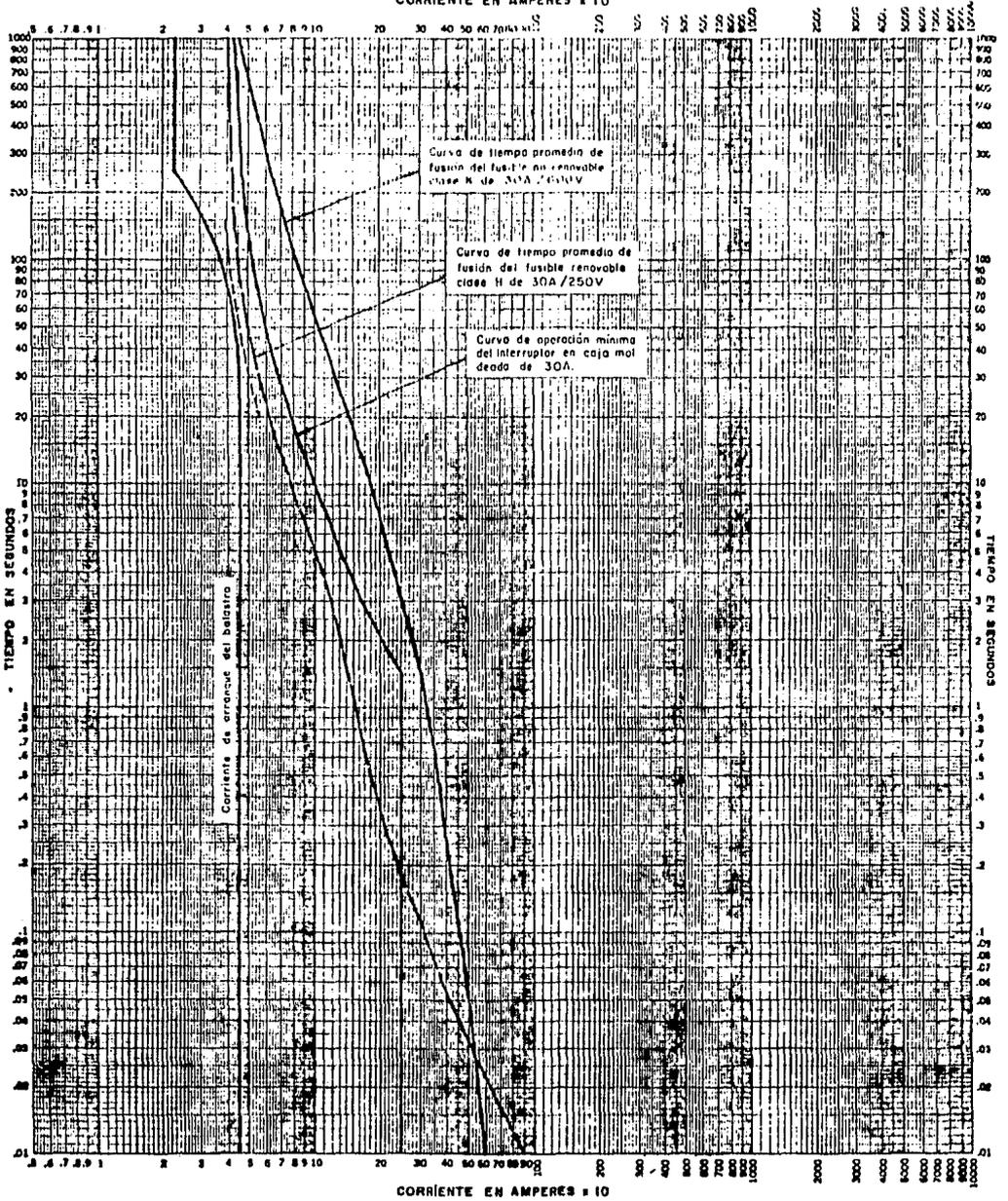
Se observa que podemos utilizar un fusible -- clase K de 30 A/600 V., o un fusible clase H de 30 A/600V., sin que operen durante el período de arranque.

## **2.- Coordinación de Fusibles de Baja y Alta Tensión**

Para coordinar correctamente a los fusibles a instalar en el lado de baja tensión, cualesquiera que sea su tipo, con los fusibles instalados en el lado de alta tensión de un transformador, únicamente se deben utilizar las curvas corriente - tiempo mínimo de fusión de los fusibles de alta tensión y en ningún caso sus curvas corriente - tiempo de interrupción total.

La razón de ello es que las curvas de inte---

CORRIENTE EN AMPERES x 10



Coordinación de la operación de los balastos, para las lámparas de vapor de mercurio, con los dispositivos de protección cuyas curvas se muestran.

Fig. 6.2

rrupción total de los fusibles de alta tensión como las de cualquier otro fusible, al incluir el tiempo mínimo de fusión, las tolerancias de manufactura y los tiempos de arqueo, quedan desplazadas hacia la derecha en las hojas logarítmicas, con respecto a las curvas del tiempo mínimo de fusión, reduciendo así la posibilidad de que se crucen o queden muy cerca de las curvas de interrupción total de los fusibles de baja tensión, creando así una situación engañosa de coordinación adecuada.

Usando dos hojas de papel logarítmico en las dos escalas (papel log-log) se refiere la curva de los fusibles de alta tensión al lado de baja tensión en la siguiente forma:

- 1.- En una hoja que contenga a la familia de curvas de los fusibles de baja tensión de la clase que se desee seleccionar, se traza una línea vertical que represente a la corriente nominal del lado de baja tensión del transformador. Esta será la hoja número 1.
- 2.- En la otra hoja (la número 2) se traza la curva del tiempo de fusión del fusible de alta tensión ya seleccionado y una línea vertical que represente a la corriente nominal del lado de alta tensión del transformador.
- 3.- Se coloca la hoja 1 sobre la hoja 2, haciendo coincidir a las líneas verticales que representan las corrientes primarias y secundarias del transformador y se calca la curva de los fusibles de alta tensión seleccionados previamente.

4.- El fusible de baja tensión adecuado, es aquel cuya curva de interrupción total no se cruce ni quede muy pegada a la curva de los fusibles de alta tensión.

Según sea la clase del fusible de baja tensión escogido, su capacidad nominal puede variar entre el 100 y el 250 % de la corriente nominal secundaria del transformador. Véase el Ejemplo que se presenta en la **figura 6.3**.

### **2.1.- Coordinación Selectiva Utilizando las Curvas Correspondientes al Tiempo de Fusión y al Tiempo de Interrupción Total de Cada Fabricante.**

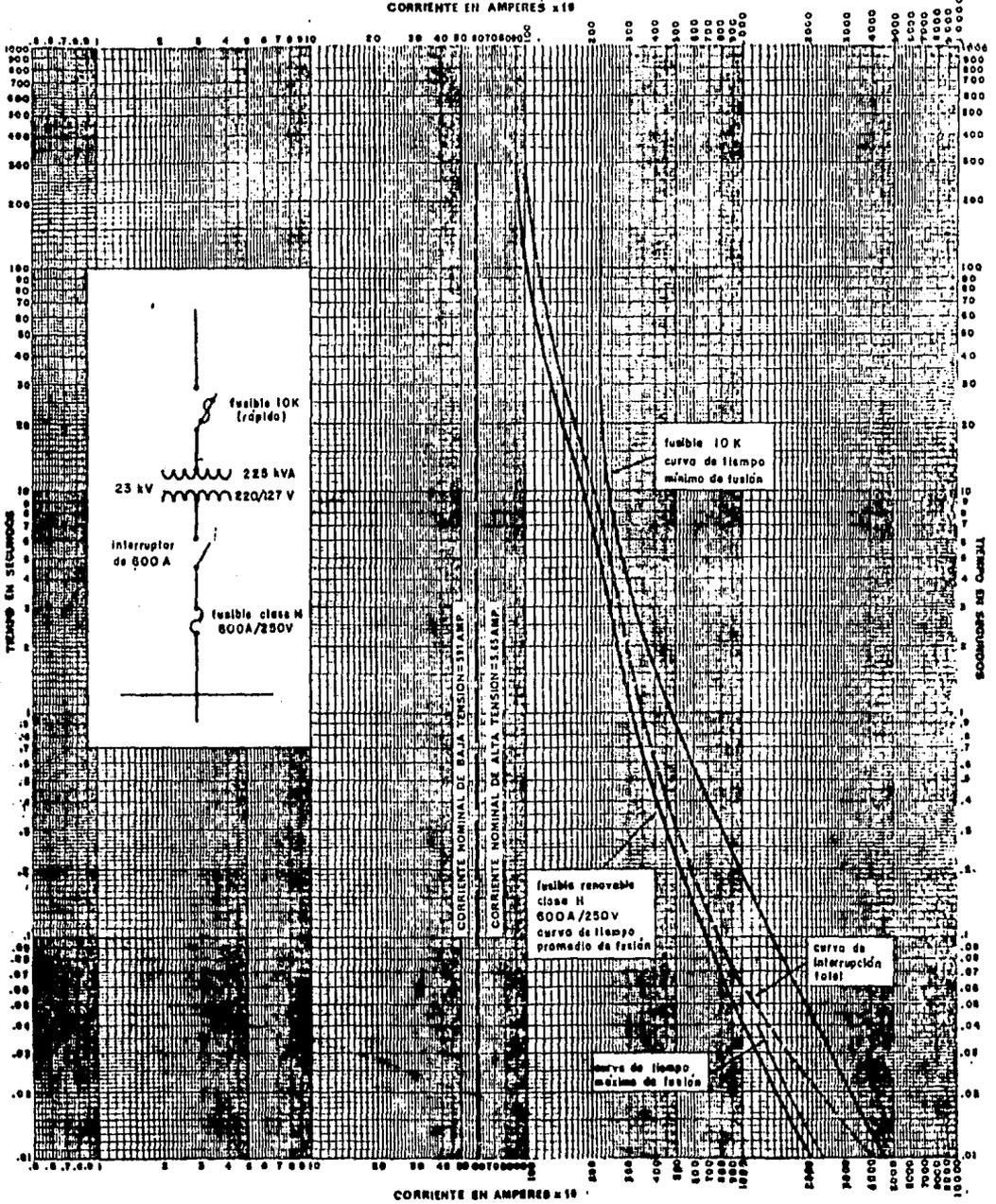
Este método se utiliza cuando los tiempos de operación son menores de 0.01 seg. En la zona comprendida entre 0.01 seg., y 0.05 seg., se deben emplear las curvas corriente - tiempo de interrupción total y cuando los tiempos de fusión son de 0.05 seg., o mayores deben emplearse las curvas corriente - tiempo de fusión. Se recomienda utilizar las curvas de un solo fabricante. Posteriormente se ilustra con un ejemplo.

Tablas de Selectividad que Proporcionan Diversos Fabricantes.

Estas tablas sólo se pueden utilizar con fusibles de la misma manufactura. Un ejemplo de éstas es la que se presenta en la **tabla 6.1**.

Ejemplo: Verificar si los fusibles conectados en serie, según se muestra en la **figura 6.4**, se coordinan selectivamente.

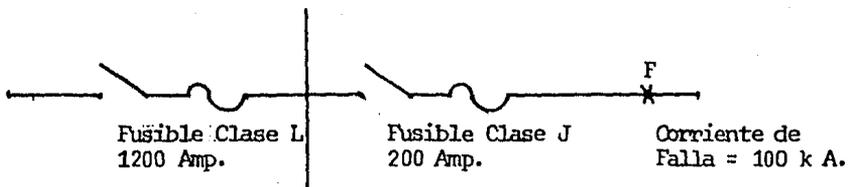
CORRIENTE EN AMPERES x 10



COORDINACION DE FUSIBLES DE ALTA Y BAJA TENSION

Fusible Protegido (lado de la línea)	Relación Mínima de Selectividad del Fusible Protegido al Fusible Protector (lado de la carga)				
	Clase L 601 a 6000 A	Clase J 0 a 600 A	Clase K-1 0 a 600 A	Clase K-5 0 a 600 A	Clase K-9 0 a 600 A
Clase L 601 - 600 A	2/1	2/1	2/1	3/1	4/1
Clase J 0 - 600 A		3/1	3/1	4/1	8/1
Clase K-1 0 - 600 A		3/1	3/1	4/1	8/1
Clase K-5 0 - 600 A		1.5/1	1.5/1	2/1	4/1
Clase K-9 0 - 600 A		1.5/1	1.5/1	1.5/1	2/1

**Tabla 6.1** Tabla de Selectividad para Fusibles de Mercury -- Electric Products, S. A.



**Fig. 6.4** Coordinación Selectiva de Fusibles.

Entrando en la columna izquierda de la tabla anterior, en el renglón correspondiente a la Clase L, buscamos su intersección con la columna que corresponde a los fusibles Clase J y encontramos que la relación indicada es 2/1. La relación entre las corrientes nominales de los fusibles es de  $1200/200 = 6$ , la cual se halla muy arriba de la mínima recomendada y por tanto la coordinación es perfecta.

Si en lugar de usar el fusible Clase J de 200 amperes nominales, deseamos utilizar uno de doble elemento - Clase K-5 de 200 amperes, la relación encontrada en la tabla es de 3/1, mayor que la relación 2/1 correspondiente a las corrientes nominales, por lo que el fusible K-5 de 200 amperes nominales es adecuado.

Utilizando un fusible Clase K-9 de 400 amperes nominales, la relación que nos dá la tabla es de 4/1, -- mientras que la obtenida por las corrientes nominales es de  $1200/400 = 3$ , por lo tanto, ya no se podrá utilizar a este fusible.

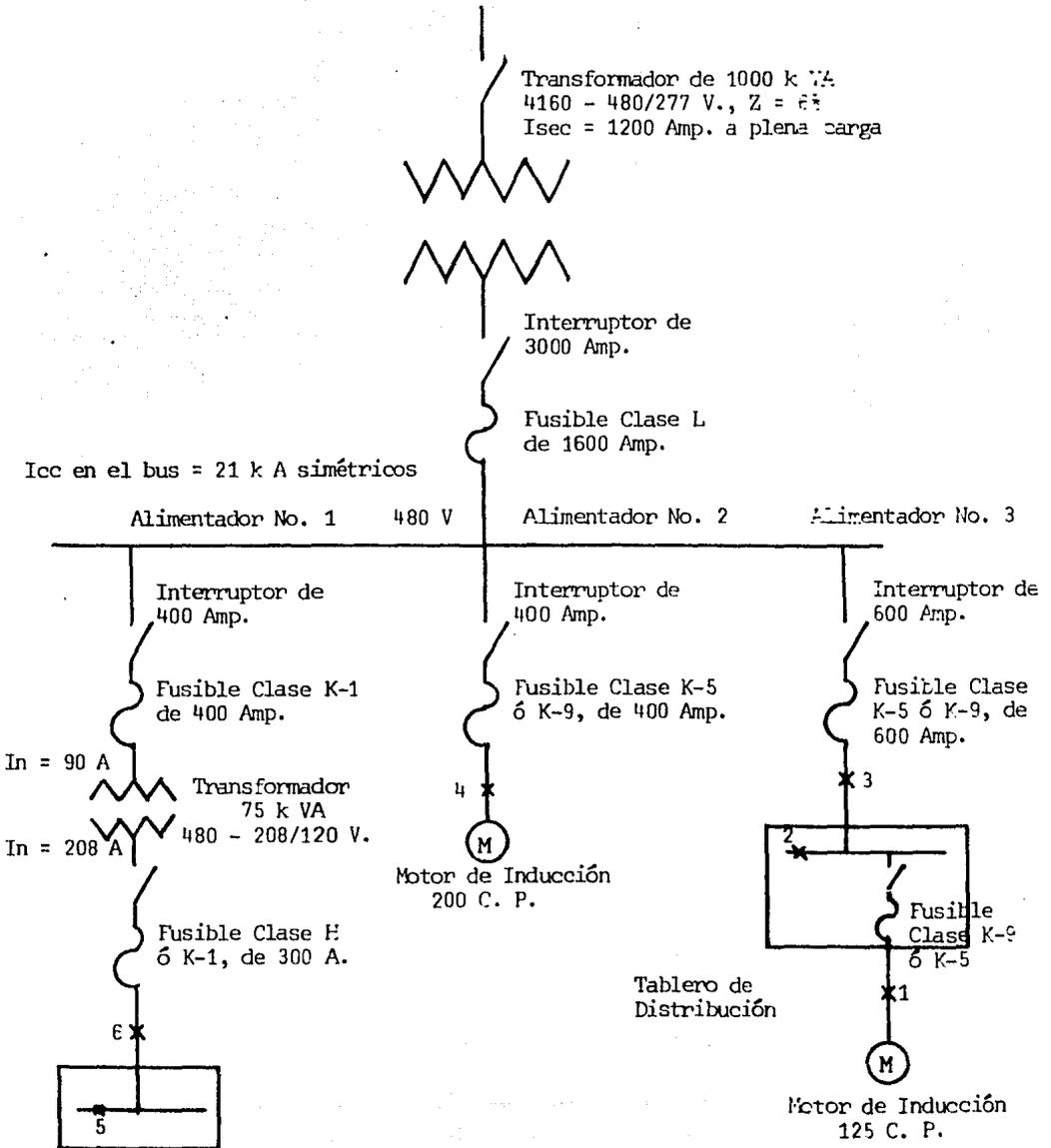
Para poder asegurar coordinación selectiva, -- la capacidad mínima del fusible Clase L para este último caso, debe ser de  $400 \cdot 4 = 1600$  amperes nominales.

Ejemplo de coordinación utilizando las curvas corriente - tiempo de fusión.

Se desea seleccionar a los fusibles adecuados para instalarse en los circuitos alimentadores 1, 2 y 3 que se indican en el diagrama unifilar que se presenta en la **figura 6.5**.

**NOTA.** - Con excepción de los fusibles del tablero de iluminación, todos los fusibles restantes son para 600 volts.

**Fig. 6.5** Ejemplo de Coordinación Selectiva



## Alimentador No. 2

Se desea seleccionar fusibles de doble elemento Clases K-9 o K-5 que coordinen selectivamente con el fusible Clase L de 1600 amperes nominales.

## Fusible Clase K-9 de 600 Amperes Nominales.

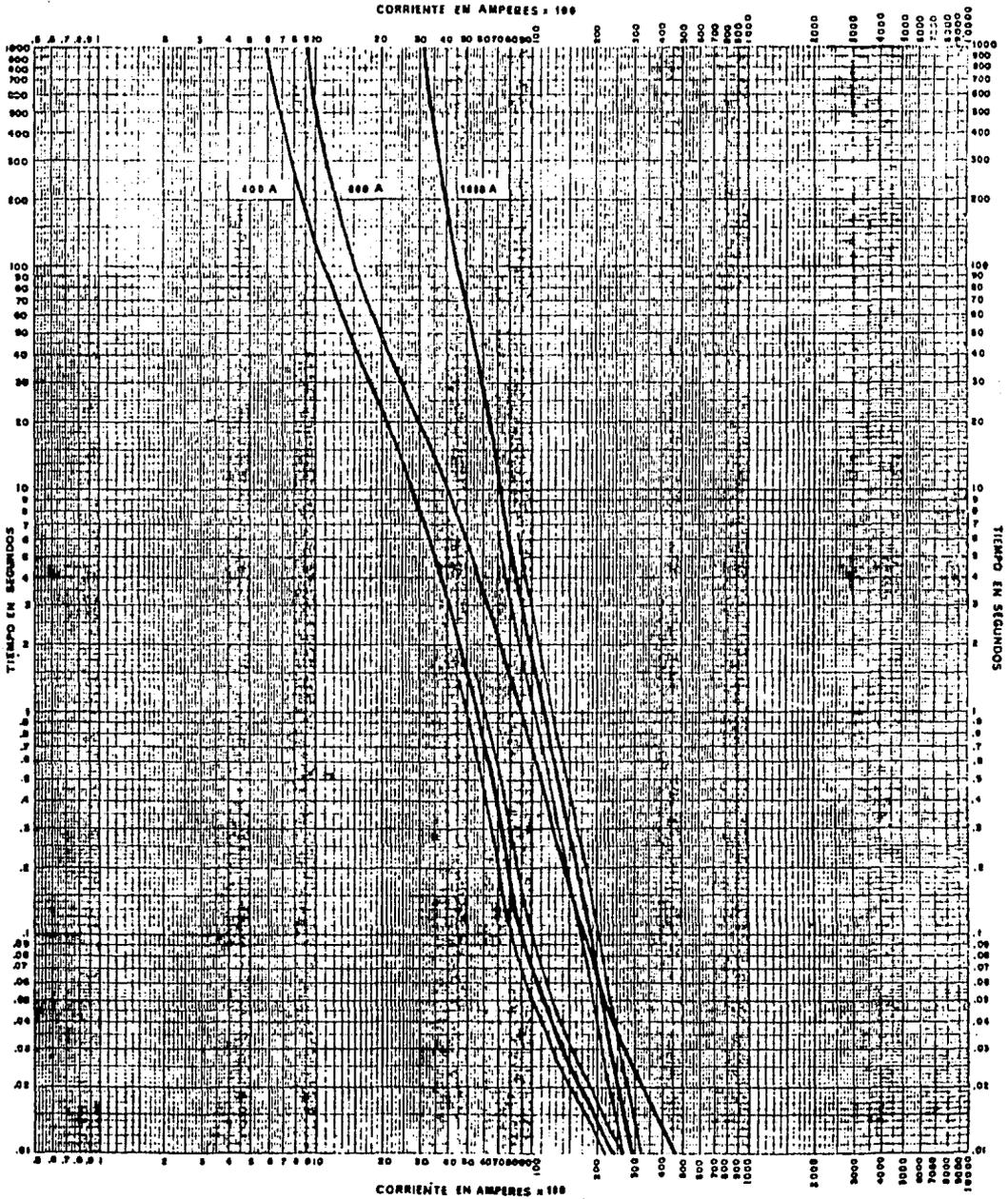
En la **figura 6.6** se observa que la curva corriente - tiempo de fusión de este fusible, intercepta la curva de fusión mínima del fusible Clase L de 1600 amperes, aproximadamente a los 14000 amperes. Con esta corriente de falla y en un tiempo de 0.17 segundos, pueden operar cualquiera de los dos fusibles, el K-9 de 600 amperes o el Clase L de 1600 amperes, por lo que no hay coordinación entre ellos.

## Fusible Clase K-9 de 400 Amperes Nominales.

La curva de fusión máxima de este fusible se junta con la curva de fusión mínima del fusible Clase L de 1600 amperes en el punto cuyas coordenadas son 26500 amperes y 0.01 segundos. Como la corriente máxima de falla en 4 es de 18000 amperes, nunca existirá la de 26500 amperes y por tanto el fusible Clase K-9 de 400 amperes puede coordinar con el Clase L de 1600 amperes. Sin embargo, si se requiere una coordinación muy estrecha, es probable que para tiempo de interrupción total de 0.01 segundos o menores, ya no exista coordinación con este fusible Clase K-9.

## Fusible Clase K-5 de 600 Amperes Nominales.

En la **figura 6.7** se observa en primer lugar que la curva corriente - tiempo de fusión de este fusible, en la zona comprendida entre 0.01 segundos y 1 segundo, está ubicada más a la izquierda que la del fusible Clase K-9 de 600 amperes, lo cual nos indica que este fusible es más rápido y por tanto no será necesario trazar las curvas de fusión



CURVAS, CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION  
 COORDINACION EN EL ALIMENTADOR No. 2, ENTRE LOS FUSIBLES CLASE K-9  
 DE 400 Y 600 AMP. Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1000 AMP.

**Fig. 6.6**

MERCURY ELECTRIC PRODUCTS S.A.  
 MEXICO 15 (1)

mínima y máxima de los fusibles.

La situación más desfavorable para este fusible se presentaría si considerásemos su curva corriente ---- tiempo de interrupción total; en este caso, para 0.01 segundos correspondería una corriente de aproximadamente 24000 amperes, la cual es menor a los 30000 amperes que se necesitan para fundir el fusible Clase L de 1600 amperes en ese mismo tiempo.

Fusible Clase K-5 de 400 Amperes Nominales.

Todo lo dicho para el fusible Clase K-5 de -- 600 amperes es aplicable a este fusible, el cual será por -- tanto, más rápido que el fusible Clase K-9 de 400 amperes no minales.

Se concluye por tanto, que los fusibles Clase K-5 de 600 y 400 amperes nominales, coordinan selectivamente con el fusible Clase L de 1600 amperes.

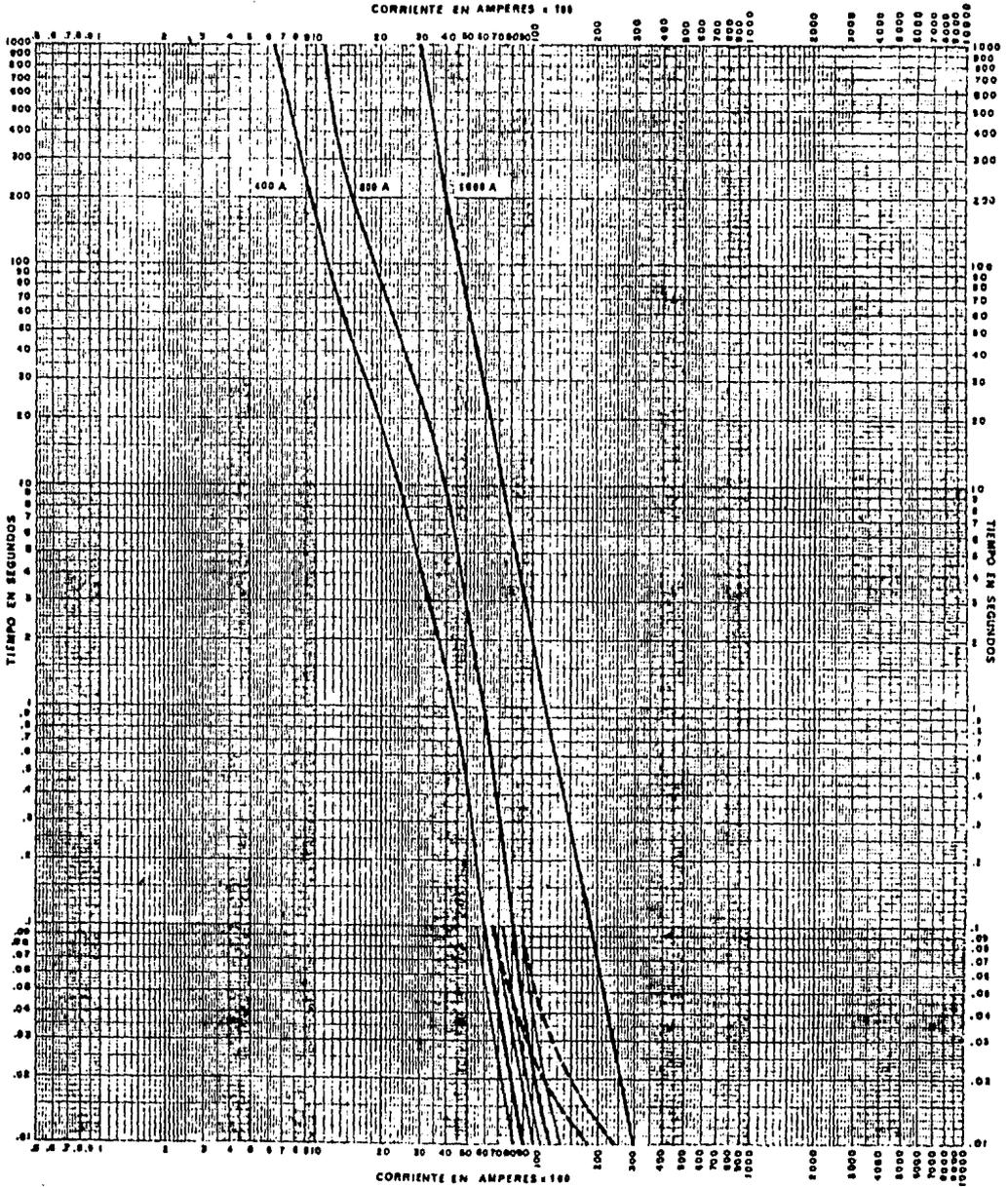
La selección final del fusible queda supeditada a las condiciones de arranque y carga del motor de 200 HP. El fusible más adecuado es el Clase K-5 de 400 amperes nominales.

Alimentador No. 3

Se desea seleccionar fusibles de doble elemento Clases K-9 o K-5 que coordinen selectivamente con el fusible Clase L de 1600 amperes nominales.

Fusible Clase K-9 de 600 Amperes Nominales para el Interruptor de 600 Amperes.

En la **figura 6.8** se observa que la curva corriente - tiempo de fusión de este fusible intercepta a la -



CURVAS, CORRIENTE - TIEMPO DE FUSION  
 COORDINACION EN EL ALIMENTADOR No 2, ENTRE LOS FUSIBLES CLASE K-3  
 DE 400 Y 600 AMP. Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1000 AMP.

MERCURY ELECTRIC PRODUCTS S.A.  
 MEXICO 1607

Fig. 6.7

DIAGRAMA No. 111

curva de fusión del fusible Clase L, en el punto de coordenadas (11000 amperes y 1 segundo), corriente con la cual pueden operar este fusible Clase K-9 o el Clase L y por tanto no habrá coordinación. La corriente de falla en el punto 3 es de 18000 amperes.

Fusible Clase K-9 de 400 Amperes Nominales.

La curva de fusión de este fusible intercepta la curva de fusión del fusible Clase L en el punto de coordenadas (15500 amperes y 0.06 segundos).

Por las mismas razones expuestas para el fusible anterior, este fusible tampoco coordina con el de 1600 amperes.

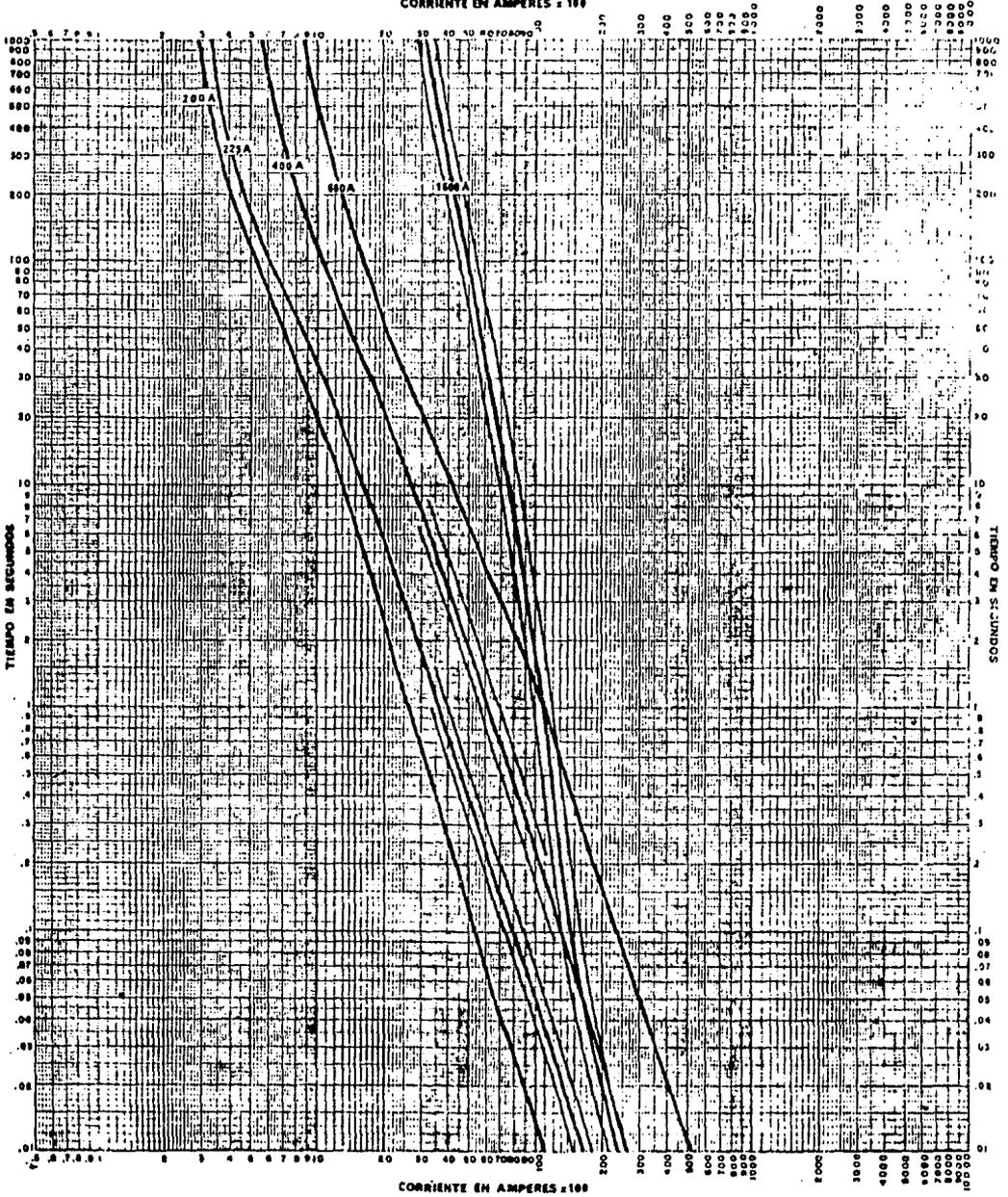
Fusible Clase K-9 de 225 Amperes para el Interruptor de 400 Amperes.

La curva de fusión máxima de este fusible está separada de la curva de fusión mínima del fusible Clase L, por lo que puede haber coordinación entre estos dos fusibles.

Como los fusibles de 400 y 600 amperes Clase K-9 no coordinan con el de 1600 amperes, veamos la coordinación con fusibles Clase K-5 de las mismas corrientes nominales.

En la **figura 6.9** se observa que las curvas de fusión de los fusibles K-5 son esencialmente paralelas y están más desplazadas hacia la izquierda que las curvas de los fusibles Clase K-9, característica que nos indica que con ellos se puede obtener mejor coordinación, además de ser más rápidos.

CORRIENTE EN AMPERES x 100



CURVAS, CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION  
 COORDINACION EN EL ALIMENTADOR No. 3, ENTRE LOS FUSIBLES CLASE K-9 DE 200,  
 225, 400 y 600 AMP. Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1600 AMP.

Fig. 6.8

MERCURY ELECTRIC PRODUCTS S.A.  
 MEXICO 15 D.F.

Fusible Clase K-5 de 600 Amperes Nominales para el Interruptor de 600 Amperes.

En la **figura 6.9** se observa que su curva de fusión máxima no intercepta a la curva de fusión mínima del fusible Clase L. Para que no coordine la única posibilidad que existe, es que con los 18000 amperes disponibles en 3, la curva de interrupción total intercepte a la curva mínima del fusible Clase L arriba de 0.01 segundos, pero como es remota se le descarta y se acepta el fusible de 600 amperes -- Clase K-5.

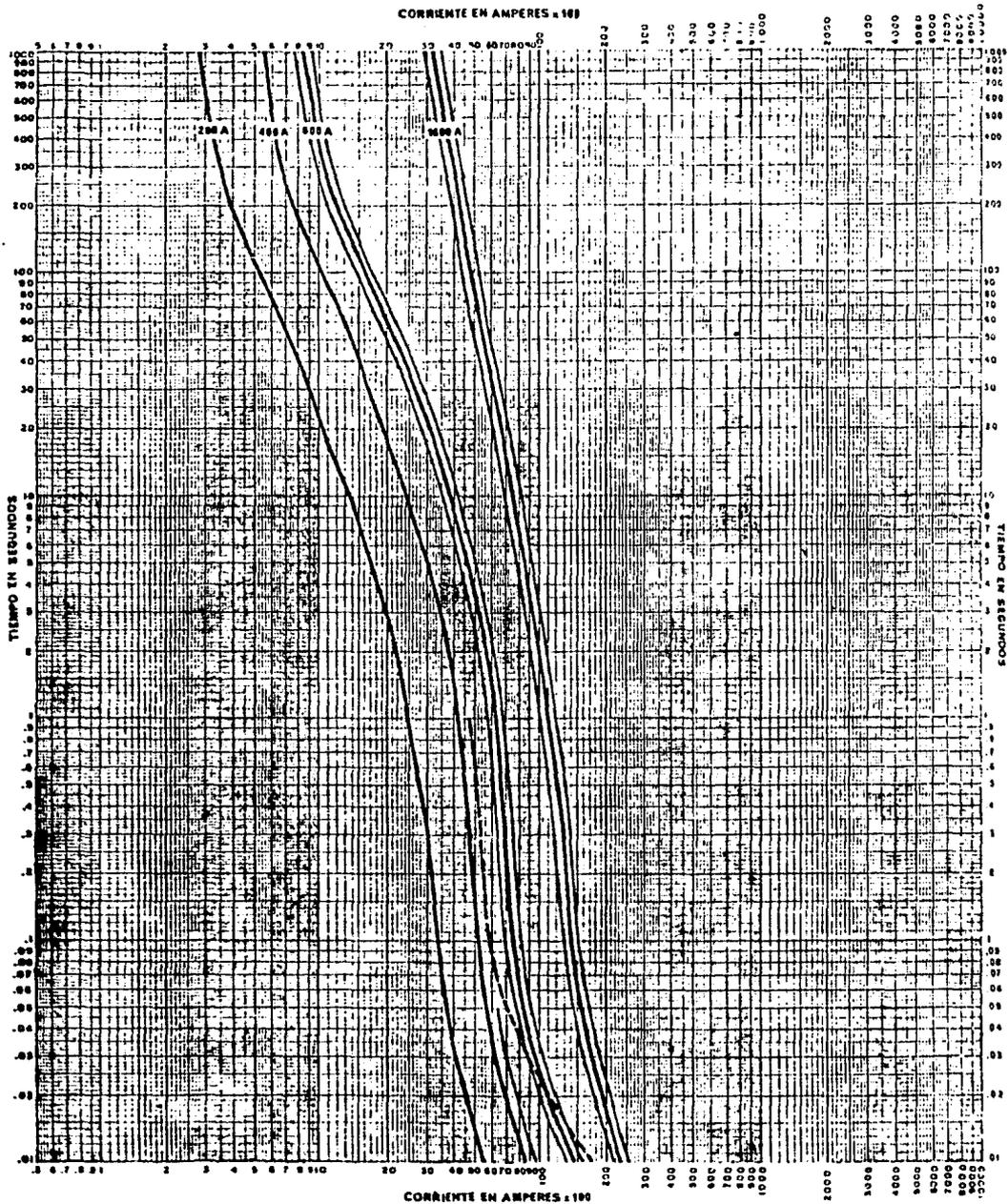
En el tablero de distribución instalamos fusibles Clase K-5 de 250 amperes nominales. (Interruptor de 400 amperes).

La relación mínima de selectividad para fusibles Clase K-5 es de 2/1 y puesto que  $600/250 = 2.4$ , se acepta este fusible para el tablero citado.

Si no se tiene la curva del fusible de 250 amperes Clase K-5, se usan las curvas de interrupción total de los fusibles de 200 y 400 amperes y se les compara con las curvas del fusible de 600 amperes, todos ellos Clase K-5.

Se sigue la secuela indicada a continuación.

Observamos que la curva de interrupción total del fusible de 400 amperes cruza la curva de fusión mínima del fusible de 600 amperes en el punto de coordenadas (9000 amperes y 0.03 segundos) mientras que la curva de interrupción total del fusible de 200 amperes para esa misma corriente, muestra un tiempo menor de 0.01 segundos, por lo que se deduce que el fusible de 250 amperes tendrá un tiempo de interrupción total para esa corriente de 9000 amperes, menor -



CURVAS CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION  
 COORDINACION EN EL ALIMENTADOR No. 3, ENTRE LOS FUSIBLES CLASE M-S DE 200,  
 400 y 600 AMP., Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1000 AMP.

MERCURY ELECTRIC PRODUCTS S.A.  
 MEXICO S. DE C. V.

Fig. 6.9

que el correspondiente al fusible de 400 amperes y no cruzará la curva de fusión mínima del fusible de 600 amperes con la corriente de falla de 10000 amperes disponibles en el punto 1.

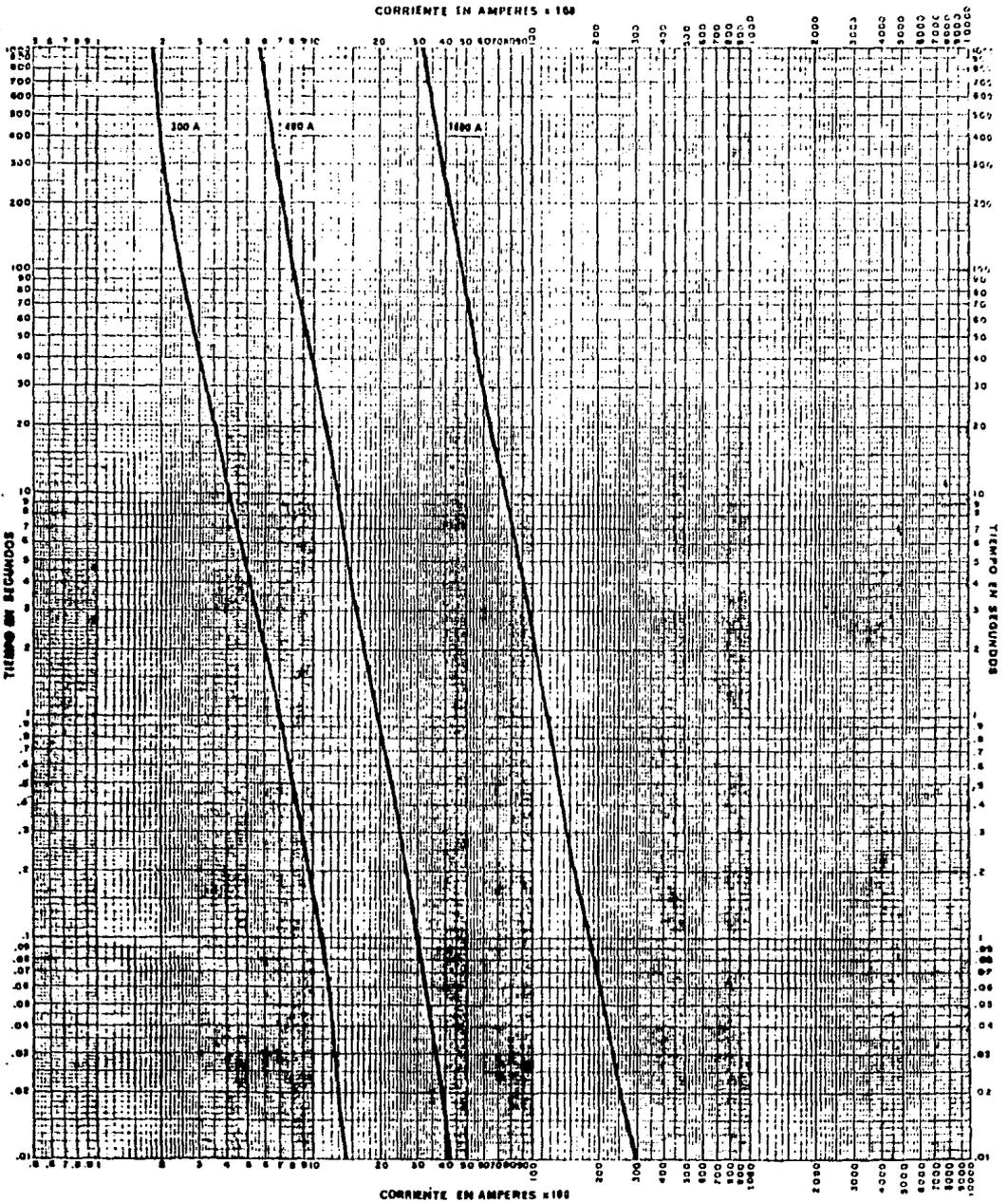
#### Alimentador No. 1

El criterio que se siguió para este alimentador, es semejante al que se aplicó en los alimentadores 2 y 3. Se escogieron fusibles Clase K-1 de 300 y 400 amperes nominales. Véase la **figura 6.10**.

- a) En el interruptor de 400 amperes situado en el lado de - 480 volts, se instaló un fusible Clase K-1 de 400 amperes. Se observa en la **figura 6.10** que este fusible coordina perfectamente con el de 1600 amperes, aún cuando se suponga un tiempo de interrupción total de 0.01 segundos correspondiente a una corriente de 8500 amperes (dato -- del fusible Clase K-1 de 400 amperes).
- b) En el interruptor de 600 amperes situado en el lado de - 208 volts, se instaló un fusible Clase K-1 de 300 amperes, el cual coordina perfectamente con el fusible anterior. La corriente de falla de 5000 amperes en el punto 6 es eliminada en menos de 0.01 segundos. Nótese que es ta corriente de falla es vista en el lado de 480 volts - como de 2160 amperes, esto es:

$$5000 \cdot 0.433 = 2160 \text{ amperes}$$

Como este alimentador trabaja a dos tensiones diferentes, se tiene que referir el fusible de 300 amperes instalado en el lado de 208 volts a 480 volts. Esto se logra trasladando los valores de corriente, de su curva de fusión multiplicados por 0.433.



CURVAS CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION  
 COORDINACION EN EL ALIMENTADOR No.1, ENTRE LOS FUSIBLES CLASE M-1 DE  
 300 y 400 AMP. Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1000 AMP.

**Fig. 6.10**

$$\frac{208}{480} = 0.433$$

El fusible de 400 amperes Clase K-1, operará en 0.6 segundos con 2160 amperes.

**CAPITULO VII****PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE EN MEDIANA TENSION  
PARA TRANSFORMADORES****1.- Generalidades**

El transformador es un equipo estático que -- transfiere energía eléctrica de un circuito a otro modificando las características de tensión y corriente, conservando, - la frecuencia constante; anteriormente en el Capítulo I se hizo un análisis detallado de ciertas características de estos dispositivos.

**1.1.- Control del Transformador**

Los parámetros que debemos controlar para tener un funcionamiento eficaz y duradero de estos equipos son los siguientes:

- Temperatura del transformador.
- Presión del transformador.
- Nivel de aceite o líquido.
- Rigidez del aceite (dieléctrica).

**Control de Temperatura del Transformador.**

La temperatura de un transformador se lee por medio de termómetros de mercurio y, en algunos casos, por medio de termopares colocados en los devanados que alimentan a milivóltmetros calibrados en grados centígrados.

Existen varios métodos para controlar la temperatura; los más modernos son el control de temperatura -- por medio del dispositivo de imagen térmica con relevador T. R.O. (relevador de operación por temperatura) y la protección por relevador Buchholz.

El método de imagen térmica se basa en que -- cualquier sobrecarga o cortocircuito dentro del transformador se manifiesta como una variación de corriente. El dispositivo está constituido por una resistencia de calefacción o caldeo; alrededor se encuentra una bobina cuya función es recibir la corriente de falla en los devanados, que se detecta por medio de un transformador de corriente.

La corriente que circula por la bobina, al variar, crea una cierta temperatura en la resistencia y esto se indica en un milivóltmetro graduado en grados centígrados.

El milivóltmetro se conecta a un relevador -- T.R.O., que consiste de tres microswitch; el primero opera a una temperatura determinada y acciona una alarma, el segundo lo hace a una temperatura límite y acciona la bobina de disparo del interruptor, quedando el transformador fuera de servicio.

También el relevador Buchholz nos sirve para controlar la temperatura del transformador. Se emplea en -- los transformadores que usan tanque conservador; su principio de operación se basa en que toda falla interna del transformador va acompañada de una producción de gases. El relevador Buchholz se conecta en el tubo que va del transformador al tanque conservador, de manera que los gases producidos en aquel hagan que el aceite del tubo suba de nivel; al variar el nivel se mueven unos flotadores que tienen en su --

interior el relevador. Los flotadores, al moverse, accionan un circuito de alarma, y si la falla es mayor, accionan el disparo.

La presión en los transformadores se controla normalmente por medio de manómetros que pueden tener accionamiento automático sobre los interruptores.

El nivel de aceite se controla mediante indicadores de nivel que asimismo pueden tener accionamiento automático. La rigidez dieléctrica del aceite se controla tomando muestras periódicamente del aceite del transformador por medio de la válvula de muestra que se encuentra colocada por lo general en la parte inferior del transformador.

## **2.- Protección de Transformadores**

Los transformadores deben protegerse contra fallas de origen externo e interno, las principales fallas son las siguientes:

### Fallas Externas:

- Cortocircuitos.
- Sobretensiones por fallas del sistema.
- Sobrecargas.
- Sobretensiones de origen atmosférico.

### Fallas Internas:

- Cortocircuitos entre espiras o a tierra.
- Fallas entre espiras y núcleo magnético.
- Rotura de bobinas.

A continuación analizaremos la protección contra sobrecorriente de fallas de origen externo, ya que la --

protección contra sobretensión no está contemplada en el - - desarrollo del presente trabajo.

La protección contra sobrecorriente puede satisfacerse por medio de un interruptor automático, o bien -- con una combinación de seccionador con carga y fusibles.

Por definición, un interruptor automático es un equipo cuya función es conectar o desconectar un circuito bajo condiciones normales o anormales de operación, incluyendo la condición de cortocircuito. Su operación o ciclo de - trabajo puede consistir en lo siguiente:

- a) Desconexión normal.
- b) Interrupción de corrientes de falla.
- c) Interrupción de corrientes capacitivas.
- d) Interrupción de corrientes inductivas.
- e) Fallas de línea corta.
- f) Cambios súbitos de corriente durante las operacio-- nes de maniobra.

Los valores nominales de un interruptor automático deben considerar las condiciones de operación posi--- bles mencionadas anteriormente, además de soportar los es--- fuerzos electrodinámicos debidos a las corrientes de corto-- circuito, independientemente de conducir las corrientes de - plena carga del sistema en que se encuentra.

Las normas internacionales recomiendan que como mínimo se deben especificar en la placa de datos las siguientes características nominales de un interruptor:

- a) Tensión y corriente nominal.
- b) Capacidad de conducción simétrica y asimétrica.
- c) Capacidad de cierre en cortocircuito.
- d) Máxima duración de la corriente de cortocircuito.
- e) Ciclo de operación nominal.

## **2.1 Interruptores Automáticos**

De acuerdo al método utilizado en la extinción del arco, los interruptores automáticos se clasifican en:

- Interruptores en aceite.
- Interruptores en aire.
- Interruptores en hexafluoruro de azufre.

El uso de interruptores automáticos en subestaciones de usuarios es necesario cuando se tienen grandes tensiones y capacidades de carga y no es posible sustituirlos por combinaciones de desconectadores con cargas y fusibles.

Pueden ser de cámaras de extinción individual o trifásicas, con contactos de alta resistencia al arqueo en

toda su superficie. El mecanismo es de operación manual o eléctrica, disparo libre en cualquier posición, ya sea que esté accionado manual o eléctricamente. Este mecanismo tiene bobina de disparo por sobrecarga y cortocircuito, aceptando también de bajo voltaje o falla a tierra.

En particular, los interruptores automáticos en aceite deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Separación entre sí o de otros aparatos como medida de protección contra incendio.
- b) En circuitos de más de 7.5 KV se deberá usar control remoto para la operación a distancia. o se deberá contar con un control local para operar el interruptor que ofrezca seguridad al operador.

Los interruptores automáticos reciben la señal de apertura de relevadores que detectan la falla, por lo tanto, un interruptor sin relevadores no es más que un aparato para abrir o cerrar con carga.

Las características esenciales de un sistema eléctrico son: voltaje, corriente, frecuencia, fase, polaridad, potencia, factor de potencia, etc., las cuales se alteran al suceder una falla en el sistema.

Los relevadores tienen conocimiento de una o varias características y están arreglados para mantenerse inactivos mientras éstas no varían. Al ocurrir una falla, el relevador detecta y selecciona la característica del sistema que le conviene y actúa sobre otro sistema aparte, cerrando o abriendo algún contacto que pertenezca al circuito de apertura o cierre del interruptor que corresponda para el

aislamiento de la falla de la parte del sistema donde se creó. Así, por ejemplo, un relevador de sobrecorriente actúa sobre un contacto del circuito de disparo de un interruptor de una línea, cuando las condiciones de corriente de esta línea pasa de ciertos límites o varía entre ciertos valores indeseables. Si hay una inversión de potencia en una región de un sistema y se tienen colocados relevadores de potencia direccional, éstos, debido al acoplamiento de sus bobinas de corriente y potencial, actúan sobre un contacto que cierra el circuito de apertura de un interruptor para cortar la comunicación indeseable.

Hay un elemento intermedio entre los relevadores y el sistema por proteger; se trata de los transformadores de instrumento, que son de dos clases: transformadores de corriente y transformadores de potencial. La existencia de este eslabón es necesaria debido a las elevadas corrientes y los altos voltajes de los sistemas que hay que proteger, y no sería práctico que los relevadores fueran diseñados para soportar esos voltajes y esas corrientes. Con el fin de normalizar el voltaje y la corriente de los relevadores, se ha llegado poco a poco a establecer un voltaje de 120 volts para los elementos de potencial y 5 amperes para los elementos de corriente de estos aparatos protectores.

Un relevador es un dispositivo que provoca un cambio brusco en uno o más circuitos eléctricos de control, cuando la cantidad o cantidades medidas a las cuales responde, cambian de una manera predeterminada.

Para obtener una eficiente protección se deben tener en cuenta los siguientes principios:

- a) Seguridad

- b) Selectividad
- c) Rapidez
- d) Simplicidad
- e) Economía

Los relevadores se dividen en cuatro grupos:

- a) De Protección
- b) Auxiliares
- c) Reguladores
- d) Verificadores

a) *Relevador de Protección.*- La función de este relevador es la de detectar fallas en líneas o aparatos o bien otro tipo de condiciones indeseables, e incitar o permitir una apropiado desconexión al dar una adecuada señal de alarma. Estos relevadores se llaman de alta velocidad cuando su tiempo de operación no excede de tres ciclos en frecuencias de 60 c.p.s., y de baja velocidad cuando operan en más de tres ciclos.

b) *Relevador Auxiliar.*- El relevador auxiliar es usado para asistir en el desarrollo de sus funciones a los relevadores de protección, como respaldo. El uso de relevadores auxiliares en ayuda de los relevadores de protección puede agruparse en tres clasificaciones generales.

- 1.- Energizar circuitos de control múltiple.
- 2.- Proporcionar la capacidad de los contactos para circuitos de control que necesitan corrientes de mayor intensidad que las que puedan manejarse con seguridad.
- 3.- Proporcionar flexibilidad a los arreglos de los contactos.

c) *Relevador Regulador.*- Es un relevador cuya función es detectar la variación no deseada de la canti--dad medida o variable controlada, y restaurar la cantidad --dentro de los límites deseados o establecidos con anteriori--dad.

d) *Relevador Verificador.*- Es aquel cuya --función es verificar las condiciones del sistema de fuerza -con respecto a los límites prescritos, indicando operaciones automáticas o permitiéndolas, además de abrir un interruptor durante las condiciones de falla.

Los relevadores y otros aparatos para protec--ción de cortocircuito, se basan fundamentalmente en dos prin--cipios de operación: Atracción Electromagnética e Inducción Electromagnética.

## **2.2.- Desconectores Bajo Carga y Fusibles**

Con este nombre se designan aquellos interrup--tores en aire que tienen la función de interrumpir o resta--blecer corrientes de un circuito en condiciones normales de operación. Estos interruptores no son para interrumpir co--rrientes de falla como los automáticos, por lo que general--mente van acompañados de fusibles para proveer la protección contra cortocircuito y algunas veces cuentan con relevadores para fallas de sobrecarga.

Los siguientes equipos son los más comunes pa--ra la protección y desconexión de transformadores en el lado de mediana tensión.

- Seccionadores de carga tripolar con portafusibles.

- Interruptores en aire para servicio a intemperie.
- Cuchilla - Fusible.

### **2.2.1.- Seccionadores de Carga Tripolar con Portafusibles**

Los seccionadores bajo carga son aparatos de maniobra para instalaciones de mediana tensión, que pueden - interrumpir corrientes de servicio y que al desconectar dan lugar a una apertura apreciable con toda seguridad. Se emplean para conectar y desconectar líneas aéreas o cables, para seccionar circuitos en anillo, así como para la conexión y desconexión de transformadores con carga o sin ella.

El seccionador bajo carga está provisto de -- tres portafusibles para fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva, con el fin de que pueda asumir la protección contra sobrecorriente en las instalaciones, no siendo - necesario un interruptor de potencia.

En el caso de fundirse un fusible, el seccionador de carga abre automáticamente, para que no trabaje el transformador o la parte de baja tensión, solamente en dos - fases. La capacidad interruptiva del seccionador de carga - depende de los fusibles usados.

### **2.2.2.- Interruptores en Aire para Servicio a Intemperie**

Los interruptores en aire para servicio de intemperie están destinados tanto para la conexión de líneas aéreas o cables como para seccionar circuitos en anillo, y - para la conexión y desconexión de transformadores en combinación con fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva.

Estos interruptores constan de cuchillas dobles de operación. Las cámaras de extinción están constitudas por material sintético, de muy poco peso. El arco se extingue dentro de las cámaras por corrientes de aire. Estos interruptores son de operación simultánea y capaces de abrir el circuito bajo condiciones de carga máxima.

### **2.2.3.- Cuchilla - Fusible**

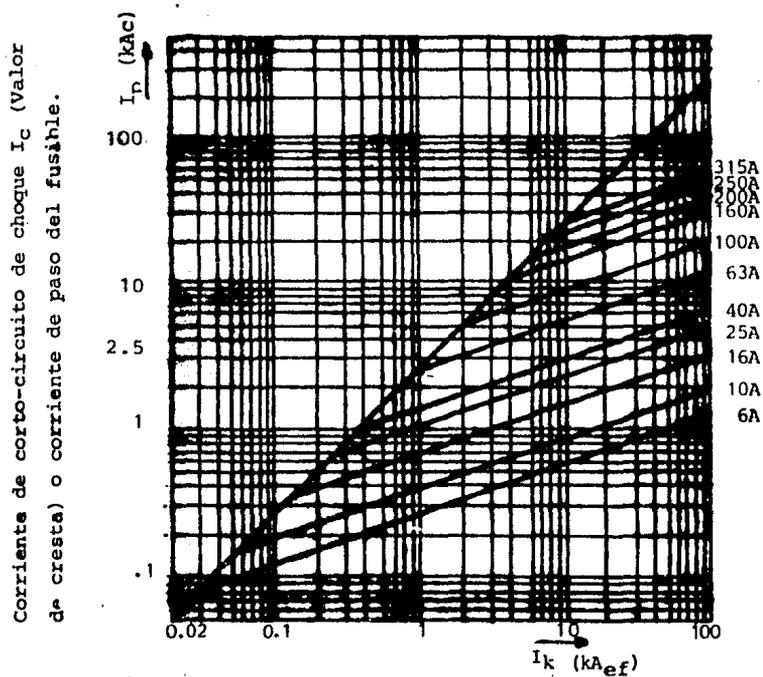
La cuchilla fusible es un elemento de conexión y desconexión de circuitos eléctricos. Tiene dos funciones: como cuchilla desconectadora, para lo cual se conecta y desconecta, y como elemento de protección. La cuchilla fusible está destinada a maniobrar sin corriente.

Como se pudo apreciar, en los tres dispositivos enunciados anteriormente, la protección contra sobrecorriente se hace mediante fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva.

A continuación estudiaremos las características y funcionamiento de los fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva.

Los fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva, son elementos limitadores de corriente y protegen a los equipos, de los efectos mecánicos y térmicos de cortocircuito. Debido al muy corto tiempo de fusión, las elevadas corrientes de cortocircuito son efectivamente limitadas en valor. Recobrando las tensiones pico a valores previstos por la constitución del elemento fusible. El valor más pequeño de la corriente de ruptura se alcanza con 2.3 a 3 veces el valor de la corriente nominal del fusible.

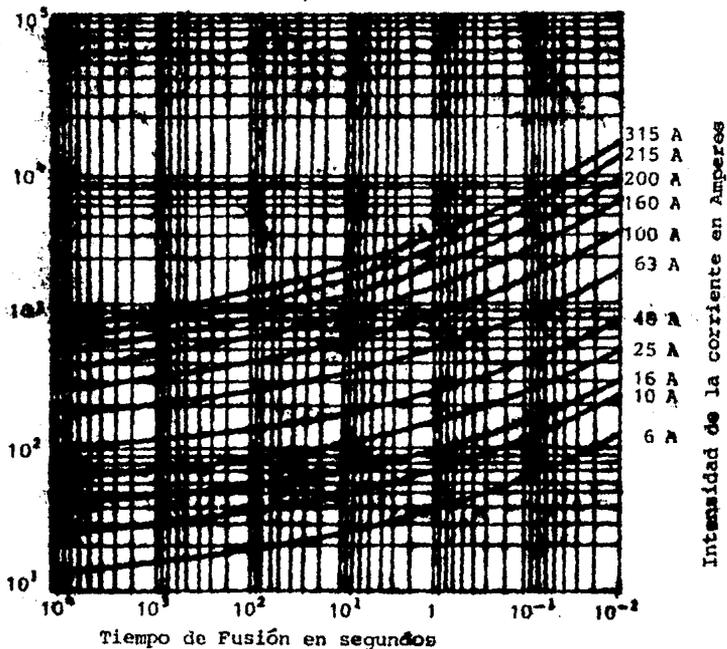
El efecto de limitación de los fusibles, para altas corrientes de cortocircuito se muestra en la **figura -- 7.1** (máximo paso de corriente en relación a la corriente de cortocircuito c.a., y la corriente nominal del fusible).



**Fig. 7.1**

Los fusibles de alta tensión se pueden instalar en redes eléctricas interiores o exteriores, inclusive en climas tropicales de alta humedad y frecuente condensación y con frecuencia desde 40 a 60 Hz.

En la figura 7.2 se muestran las curvas de fusión para todos los rangos de fusibles, en relación a la corriente de cortocircuito, en el punto que se establezca con una tolerancia de la corriente en  $\pm 20\%$ .



**Fig. 7.2**

Para la selección de los fusibles de protección a los transformadores, contactores o motores de mediana tensión, o para establecer una selectividad y coordinar con interruptores de baja tensión, es necesario referirse a las curvas características de fusión, y además deben considerarse los siguientes puntos:

- a) Máxima tensión del sistema en el punto de la instalación.
- b) Corriente nominal del transformador o la corriente más elevada del sistema en el punto de la instalación.
- c) Corriente máxima pico normal (los fusibles deben seleccionarse de tal forma que impidan su disparo debido a las corrientes de arranque).

A continuación se expone una tabla de selección para el uso de fusibles encabezada por transformadores.

POTENCIA NOMINAL DEL TRANSFORMADOR KVA	2.4 KV	4.16 KV	6/7.2 KV	13.8 KV	20/23 KV	34.5 KV
	A	A	A	A	A	A
45	25	16	10	6	6	-
75	40	25	16	10	6	-
112.5	63	40	25	10	6	6
150	100	40	40	16	10	6
225	160	63	40	25	16	10
300	160	100	63	25	16	16
500	250	160	100	40	25	25
750	-	200	160	63	40	40
1000	-	315	200	100	63	40
1500	-	-	315	125	100	63
2000	-	-	-	160	125	-
2500	-	-	-	200	160	-
3000	-	-	-	-	160	-

A = corriente nominal de los fusibles.

### 3.- Selección de la Protección Contra Sobrecorriente

La selección de la capacidad de fusibles o interruptores automáticos debe estar de acuerdo con lo indicado a continuación.

Cada transformador debe estar protegido contra sobrecorriente en forma individual por un dispositivo conectado en el lado primario. En caso de utilizar fusibles, su corriente nominal continúa no debe exceder del 250% de la corriente nominal primaria del transformador. Cuando se utilicen interruptores automáticos, no deben exceder del 300% - de dicha corriente.

Finalmente, concluimos que se debe tener cuidado en la operación de cualquier tipo de máquinas, para prolongar su vida y obtener un funcionamiento correcto.

En el caso particular de los transformadores, se requiere poco mantenimiento, en virtud de ser máquinas estáticas. Sin embargo, conviene que periódicamente se haga - una revisión de algunas de sus partes, como son:

- 1.- Inspección ocular de su estado externo en general, para observar fugas de aceite, etc.
- 2.- Revisar si las boquillas no están flameadas por sobretensiones de origen externo o atmosférico.
- 3.- Cerciorarse de que la rigidez dieléctrica del aceite sea la correcta, de acuerdo con las normas.
- 4.- Observar que los aparatos indicadores funcionen debidamente.
- 5.- Tener cuidado de que los aparatos de protección y control operen en forma correcta.

## CAPITULO VIII

### PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE EN MOTORES QUE OPERAN EN MEDIANA TENSION

#### 1.- Antecedentes

Los motores de corriente alterna se hacen en un gran número de estilos o tipos, según la clase de servicio a que se destinan y el sistema de suministro en el que operan.

Los tipos más comunes de motores son los de inducción y síncronos, los cuales se fabrican en los tipos monofásico, bifásico y trifásico.

Los motores monofásicos se fabrican más comúnmente en los tamaños de 1/2 a 10 H.P., aunque en algunos casos se emplean motores mayores. Estos Motores suelen devanarse para circuitos de 110, 220 ó 440 voltios. Los motores bifásicos se usan todavía en algunas fábricas y plantas antiguas, pero la inmensa mayoría de los motores de C.A., son trifásicos.

Los motores trifásicos se fabrican, por lo general, en tamaños que van desde 1/2 H.P., hasta cientos de H.P., y se hacen en la actualidad tan grandes como puedan exigirlos las necesidades del momento.

La mayoría de los motores trifásicos son para 220 y 440 Volts, pero muchos de varios cientos de H.P., o más, se construyen para voltajes de 1,100, 2,300 y hasta 12,000 Volts (con el fin de que la potencia requerida para

movilizar estos equipos nos la proporcione la tensión nominal de operación).

Los motores de C.A., de tamaño medio se hacen comúnmente para marchar a velocidades que oscilan entre 900 y 3,600 r.p.m., y los motores muy grandes funcionan a velocidades menores, que son de 200 a 600 r.p.m.

Se hacen también motores de C.A., de diferentes tipos de armazón abiertos y cerrados, para adaptarlos al uso en diferentes situaciones y en distintas condiciones de trabajo, con lo que se atiende a la diversidad de necesidades industriales, domésticas, etc.

## **2.- Protección de Motores que Operan en Mediana Tensión**

Al igual que los motores de baja tensión, los motores que operan en mediana tensión, se deben proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. Los dispositivos que se emplean para llevar a cabo esta función, son los llamados interruptores automáticos y los desconectores bajo carga y fusibles, en combinación con arrancadores en vacío a tensión media. Los primeros dos equipos fueron estudiados en el Capítulo anterior y ahora analizaremos el funcionamiento de estos últimos elementos, así como la selección de fusibles en mediana tensión para motores.

### **2.1 Arrancadores en Vacío a Tensión Media**

El problema de arranque del motor se refiere a las limitaciones que se presentan debidas a la capacidad de la fuente alimentadora, tales como caídas de tensión permisibles en el sistema al aplicar la corriente de arranque del motor y la capacidad momentánea en KVA que se requiere para este mismo objeto.

Desde luego, el sistema más económico para -- arrancar un motor es a plena tensión conectándolo a través -- de un arrancador apropiado, directamente a la línea alimenta-- dora.

Las ventajas de este sistema, además de la -- economía, es que el motor desarrollará sus plenos pares tan-- to de arranque como de aceleración; por lo cual, la carga -- se arrancará en forma rápida y segura.

Por otro lado, las desventajas de este siste-- ma de arranque también son múltiples y se refieren al hecho de que un motor de inducción toma entre cinco y seis veces -- el valor de la corriente de plena carga al ser arrancado a -- plena tensión. Esta fuerte demanda de energía y de corrien-- te, aunque momentáneamente, puede ser indeseable por la ele-- vada caída de tensión que se produce en las líneas alimenta-- doras, causando parpadeos en las luces o disturbios en equi-- po sensible a las variaciones de voltaje. También puede ser objetable desde el punto de vista de las limitaciones de de-- manda en KVA que establece la compañía suministradora de -- energía, o bien, la propia subestación. Otro aspecto inde-- seable puede constituirlo la carga misma, que requiera una -- aceleración paulatina y amortiguada.

Los arrancadores en vacío a tensión media, -- son dispositivos diseñados para proveer un confiable y conve-- niente medio para arrancar y parar motores de corriente al-- terna con alimentaciones de 2,200 a 7,200 Volts, 3 $\phi$ . Se fa-- brican del tipo de arranque a tensión plena, o si las necesi-- dades así lo requieren, a tensión reducida.

El funcionamiento de los arrancadores en me-- diana tensión antes descritos, es el siguiente: cuando se --

interrumpe una corriente alterna mediante la separación de un par de contactos confinados en un espacio en el que se ha practicado el vacío, se forma un arco provocado por el vapor del metal de los contactos y este arco continúa hasta que la corriente pasa por su primer valor natural cero; en este -- instante, el arco es reemplazado por una región de alta re-- sistencia dieléctrica, capaz de soportar la alta tensión de recuperación. La mayor parte del vapor del metal se condensa en los contactos y permanece disponible para subsecuentes arquezos; el resto, aunque se pierde en el contactor utiliza-- do, se deposita en el escudo metálico que rodea los contac-- tos y el escudo protector del aislamiento del recipiente que forma el cuerpo del contactor. El período de arqueo no exce-- de de  $1/2$  ciclo y la longitud del arco es tan pequeña que la energía del mismo en el vacío es considerablemente menor que la que se genera en los arcos provocados en los interrupto-- res de aire. Por lo tanto, los contactos sufren menor daño y con la pequeña carrera de los contactos, permisible por ra-- zón del alto poder interruptor del vacío y la ausencia de su-- presores de arco, el contactor en vacío es una unidad compac-- ta, silenciosa y que requiere una fuerza magnética mínima pa-- ra su operación.

La protección contra sobrecorriente se logra mediante el uso de relevadores térmicos, los cuales se mon-- tan en las puertas del compartimiento de control. El compar-- timiento de control se fabrica completamente removible para tener la posibilidad de hacer o inspeccionar el alambrado en forma conveniente cuando esto sea requerido.

La Tabla 8.1 muestra las características téc-- nicas de los arrancadores en vacío de un fabricante en parti-- cular F.P.E., los cuales son semejantes a los suministrados por diversos fabricantes.

**TABLA 8.1** Datos Técnicos de los Contactos VC-5 Y VC-7

	VC-5	VC-7
TENSION MAXIMA RCM	2500V $\phi$ 5000V	7200V
CAPACIDAD CONTINUA AMPS.	ABIERTO 400 CERRADO 360	400 360
CAPACIDAD INTERRUPTIVA MAXIMA SIN FUSIBLE, BASADA EN CICLO DE 3 CIERRES/APERTURA A INTERVALO DE 30 SEGUNDOS		
CORRIENTE RCM	5000A	6000A
CORRIENTE PICO ASIMETRICA DE CIERRE	11000A	11000S
TENSION DE PRUEBA A LA POTENCIA Y FRECUENCIA NOMINAL ( 1 MINUTO )	UNIDAD DE 2500V 6000V UNIDAD DE 5000V 11500V	20000V
TENSION DE IMPULSO QUE SOPORTA	60 KV	
CAPACIDAD TERMICA, TIEMPO CORTO	9000A - 1 SEG. 8000A - 3 SEG.	
MAXIMO NUMERO DE APERTURAS A PLENA CARGA	1,200 OPERACIONES POR HORA	
VIDA MECANICA	5,000.000 DE OPERACIONES	
VIDA ELECTRICA A:		
300 A	2,000.000 DE OPERACIONES	
400 A	1,000.000 DE OPERACIONES	
750 A	300.000 OPERACIONES	
1000 A	200.000 OPERACIONES	
1500 A	100.000 OPERACIONES	
2500 A	30.000 OPERACIONES	
3000 A	10.000 OPERACIONES	
LUZ DE LOS CONTACTOS	0.10 PULGADAS	0.188 PULGADAS
TIEMPO DE CIERRE MILI-SEGUNDOS	80 - 120	60 - 100
TIEMPO DE APERTURA:	0.50 SEGS. (30 CICLOS)	
NORMAL $\phi$	20-30 MILISEGS. (1.25-20 CICLOS)	
MINIMO		
CORRIENTE CORTADA MAXIMA (0.1% DE PROBABILIDAD) (CHOPPING CURRENT) NORMAL	0.75 AMPS. ABAJO DE 0.5 AMPS.	

## 2.2.- Selección de Fusibles para la Protección de Motores - en Mediana Tensión

Para obtener protección adecuada de los circuitos del motor, debe existir una coordinación correcta entre los fusibles, el contactor y los relevadores de sobrecarga según se ilustra en la figura 8.1.

La selección del fusible más adecuado se determina mediante: a) la magnitud de la corriente de arranque, b) el tiempo de aceleración, y c) el número de arranques por hora.

La combinación de fusibles, contactor y relevador de sobrecarga, debe coordinarse para alcanzar:

- 1.- La protección del motor contra sobrecargas sostenidas y condiciones de rotor bloqueado por medio de los relevadores de sobrecarga.
- 2.- Protección del circuito contra fallas de baja magnitud por medio del contactor, cuyo nivel se encuentre dentro de la capacidad interruptiva del mismo.
- 3.- Protección del circuito, por medio del fusible, contra corrientes de falla arriba de la capacidad de interrupción del contactor y hasta el máximo valor de corriente disponible.

Estas condiciones están interrelacionadas necesariamente y deben trasladarse suficientemente en condiciones tales que el fusible y el contactor operen dentro de amplios márgenes de seguridad. Una idéntica relación se apli-

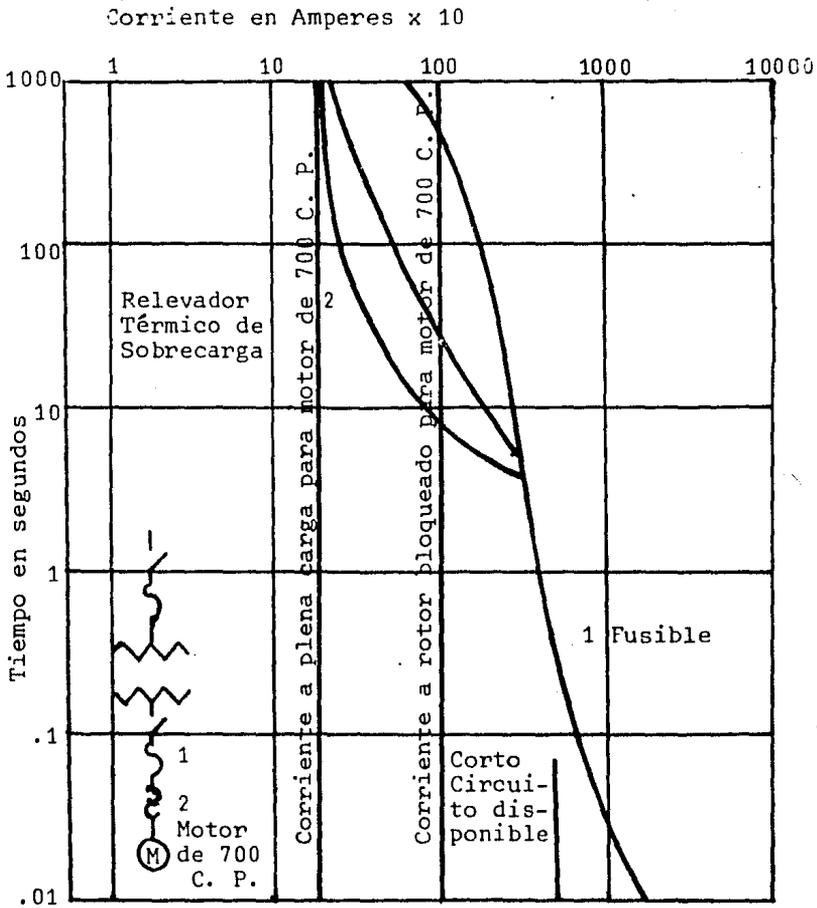


Fig. 8.1 Curva Típica Tiempo-Corriente.

ca también entre la corriente de interrupción del fusible y el relevador de sobrecarga, la coordinación correcta en este caso asegura que en todo tiempo el fusible no necesitará operar en corrientes menores que su corriente de interrupción - mínima.

Los fusibles de alta tensión usados en circuitos de motores, deberán tener una capacidad suficiente para resistir sin deteriorarse la magnitud de la corriente de - - arranque del motor. La limitación de la energía de falla para minimizar los resultados de fallas eléctricas, la capacidad para coordinar con precisión el contactor y el dispositivo de protección, junto con la capacidad interruptiva adecuada, son esenciales para mantener la seguridad en la instalación.

Las siguientes curvas muestran la selección - de fusibles de 5 y 7.2 KV considerando la corriente de arranque y el número de arranques del motor empleado.

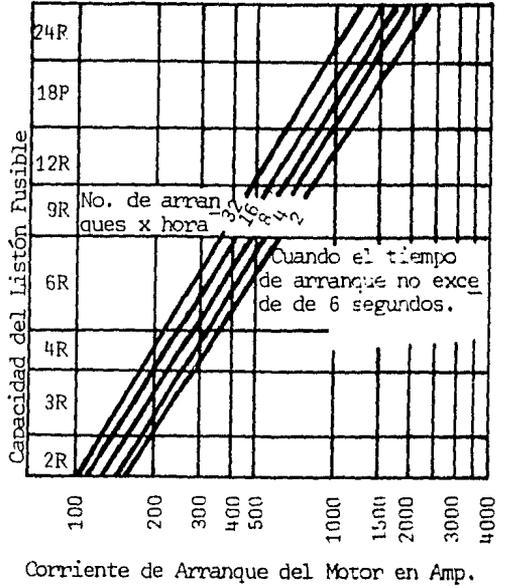
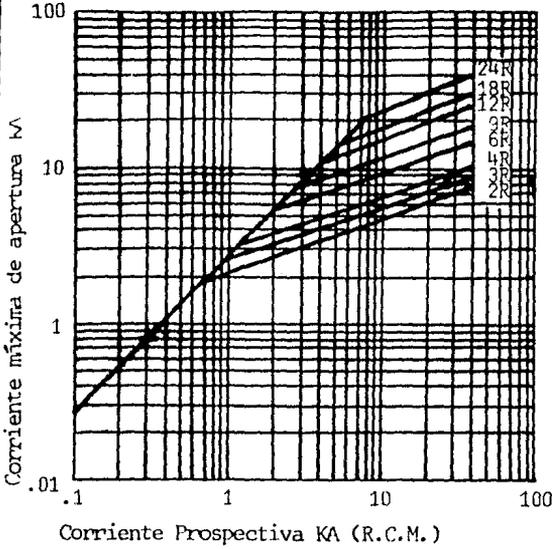
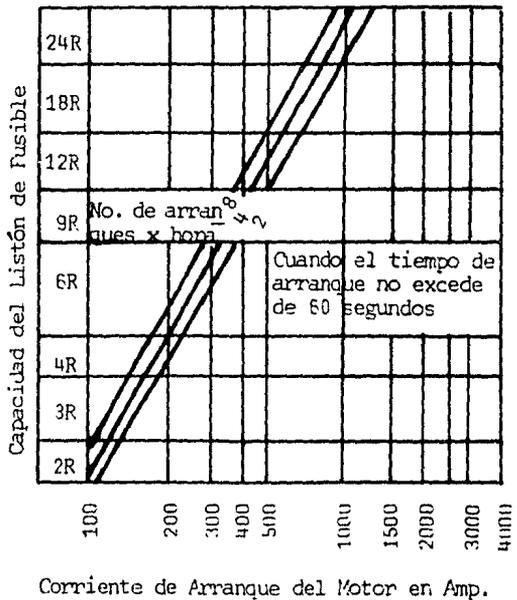
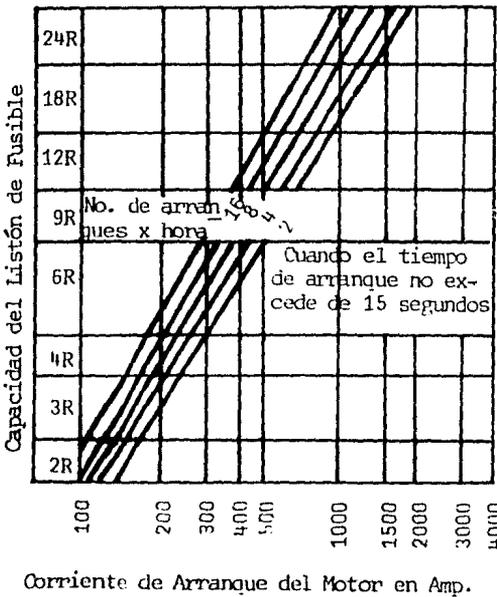


Fig. 8.2 Selección de Fusibles de 5 Kv



## CAPITULO IX

### PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES ELECTRICAS DE MEDIANA Y BAJA TENSION

#### 1.- Generalidades

Actualmente, si bien en las instalaciones industriales se presta alguna atención al aspecto de puesta a tierra, en las instalaciones eléctricas domésticas y comerciales es casi pasado por alto, debido a la escasa concientización de los instaladores y de los usuarios hacia los problemas relacionados con la funcionalidad y la seguridad de las instalaciones eléctricas. Sin embargo, es de esperarse que dentro de pocos años se generalizará el empleo de este medio de protección, ya que su costo no afecta apreciablemente el costo total de la instalación amén de brindar una muy buena protección contra sobretensiones y sobrecorrientes.

La denominación "puesta a tierra" comprende toda la ligazón metálica directa, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación, y un electrodo\* o grupo de electrodos, enterrados en el suelo, -- con el objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificio y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, -- permita el paso a tierra de las corrientes de falla o la descarga de origen atmosférico.

---

\* Con el término electrodo entendemos un cuerpo metálico puesto en íntimo contacto con el terreno y destinado a dispersar en éste las corrientes eléctricas. Puede estar constituido por un solo elemento o por varios elementos conectados entre sí por medio de conductores desnudos enterrados.

En las instalaciones de utilización pueden -- distinguirse dos conexiones a tierra: la conexión a tierra del sistema y la conexión a tierra del equipo. Cuando se ha ce mención a *un sistema puesto a tierra*, debe entenderse que se trata de un sistema en el que uno de sus conductores, que normalmente conduce corriente, está conectado intencionalmen te a tierra. Por otra parte, cuando se habla de la *puesta a tierra del equipo*, se entenderá que es la conexión efectiva a tierra de las partes metálicas no conductoras del equipo - que forma parte integral de la instalación o está conectado a ella, tal como tableros, canalizaciones, tanques de trans formadores, carcasas de motores, cubiertas de luminarios - - eléctricos, etc.

## **2.- Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas de Utiliza- ción de Energía Eléctrica**

En las instalaciones eléctricas de utiliza--- ción se conectan a tierra el sistema y las partes metálicas no conductoras, como sigue:

### **2.1.- Conexión a Tierra de Sistemas**

La experiencia ha demostrado que en los siste mas eléctricos cuyo neutro está puesto a tierra, las fallas y el tiempo fuera de servicio por descomposturas son substan cialmente menores que en sistemas que no cuentan con esta co nexión.

Entre las diversas formas de referir a tierra los sistemas de distribución, cuatro son las más empleadas:

- Aislado de tierra (no conectado intencionalmente).

- Conectado a través de alta resistencia.
- Conectado a través de baja resistencia.
- Conectado eficazmente (sólidamente).

### **2.1.1.- Sistema Aislado de Tierra (Figura 9.1.a)**

Este sistema se emplea cuando se desea que -- las fallas a tierra no provoquen la salida de operación del sistema. El uso de este sistema es cada día más reducido.

Cuando se presenta una falla, la corriente a tierra es muy pequeña y por tanto difícil de detectar. El - valor de esta corriente queda limitado al necesario para car\_gar el circuito capacitivo que se forma con los conductores del sistema, la tierra y los aislamientos de los conductores que actúan como dieléctrico de un capacitor.

Cuando un sistema de este tipo no acusa falla a tierra, opera en condiciones normales por lo que respecta a la tensión, pero al presentarse una falla el sistema queda operando en condiciones anormales de la siguiente manera:

- a) En caso de una falla franca (de baja o nula impedancia), el potencial de las dos fases que no presentan falla su-be con respecto a tierra. Ningún dispositivo de protec-ción opera por causa de esta falla y por tanto el servi-cio no se interrumpe, resultando sumamente difícil loca-lizar la falla. En caso de que en una segunda falla, -- otra fase quede en contacto con tierra, se produce un -- cortocircuito de gran intensidad entre dos fases y tie--rra, que necesariamente interrumpe el servicio.

- b) Si la falla no es franca, sino a través de un circuito inductivo (caso más frecuente), se propicia la formación de un circuito resonante (las reactancias inductiva y capacitiva del circuito de tierra se igualan intermitentemente en valor absoluto) que produce sobretensiones excesivas de hasta ocho veces la tensión nominal, lo que generalmente da origen a otras fallas, deterioro de aislamiento y daños considerables al equipo.

### **2.1.2.- Sistema Conectado a Tierra a Través de Alta Resistencia (Figura 9.1.b)**

Este tipo de conexión se emplea generalmente cuando se quiere limitar a valores predecibles muy bajos, la corriente de falla a tierra. De esta manera se puede tener un buen sistema de alarmas accionado por relevadores de falla a tierra, lo que permite procesos continuos de producción durante los cuales la fallas a tierra no pueden producir interrupción.

La forma usual de maniobrar en estos sistemas, por lo que a fallas a tierra se refiere, es la siguiente: al presentarse la falla o las fallas, el sistema de alarmas las detecta, permitiendo su rápida localización. Una vez que el programa de producción permite un paro, se procede a la reparación de las fallas.

Es importante asignarle a la resistencia de conexión a tierra un valor que permita que la corriente a tierra sea lo suficientemente baja para no causar daño apreciable a los equipos y lo bastante alta para compensar a la corriente de carga del circuito capacitivo (que se forma con los aislamientos del sistema), impidiendo la formación de sobretensiones transitorias.

### **2.1.3.- Sistema Conectado a Tierra Mediante Baja Resistencia (Figura 9.1.c)**

Se utiliza este sistema para limitar la magnitud de las corrientes de falla a tierra y reducir los daños que puedan causar a los equipos. La resistencia se diseña para que la corriente de falla sea lo suficientemente grande para que las protecciones operen confiablemente y se interrumpen los circuitos afectados. Este tipo de referencia a tierra se emplea solamente en sistemas de tensión media (2200 a 13000 V).

### **2.1.4.- Sistema Conectado Eficazmente a Tierra (Figura 9.1.d)**

Esta forma de conexión a tierra es la más empleada en sistemas de distribución de baja tensión, ya sean a tres o cuatro hilos. Generalmente la conexión se efectúa en el neutro del devanado en estrella del transformador o generador que alimenta al sistema. En estos sistemas no se presentan sobretensiones transitorias.

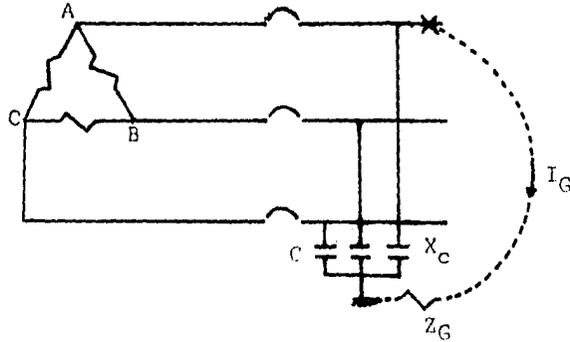
Mediante esta conexión se logra que la corriente de falla sea lo más grande posible para facilitar su detección y la rápida operación de las protecciones de los circuitos afectados.

Los sistemas con conexión efectiva a tierra son utilizados principalmente por los servicios públicos, en todas las tensiones y por las plantas industriales y comerciales en sistemas de baja tensión.

El conductor neutro de un sistema de suministro en baja tensión, debe estar conectado a tierra en un punto

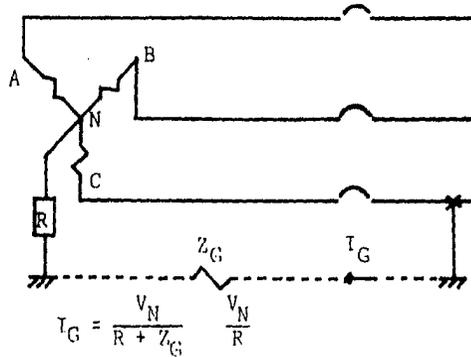
Figura 9.1

a) Aislado de Tierra



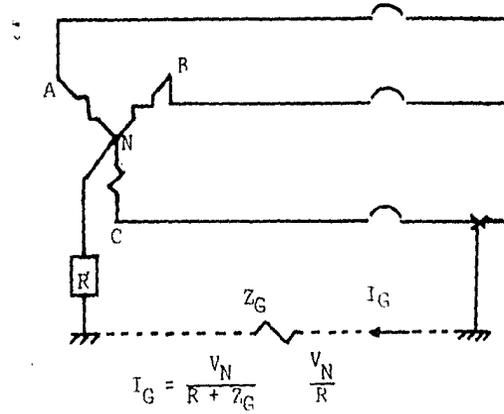
C = Capacitor formado por los conductores, los aislamientos y partes metálicas a tierra.

c) Conectado a Través de Baja Resistencia



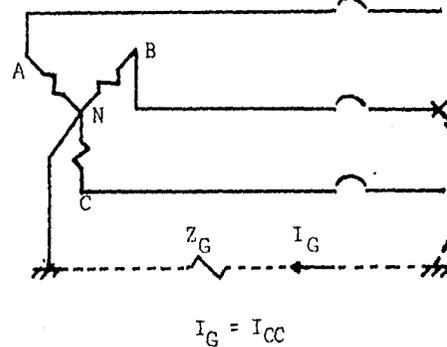
para sistema 4.16 Kv e  $I_G = 1000A$ ;  
 $R = 2400/1000 = 2.4$  ohms.

b) Conectado a Través de Alta Resistencia



para sistema de 480 V;  $I_G = 15A$   
 $R = 277/15 = 18.5$  ohms:

d) Conectado Directamente



$$I_G = I_{CC}$$

to inmediato al transformador de distribución, y corresponde al organismo suministrador llevar a cabo esta conexión.

Dicho conductor neutro también deberá estar conectado a tierra en cada servicio individual de los usuarios (Artículo 206.13 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas). Esta conexión le corresponderá hacerla a cada usuario como parte de su instalación, debiendo estar ubicada en el lado de abastecimiento del dispositivo de desconexión general y no en el lado de la carga.

El objeto que persigue la conexión a tierra del conductor neutro del sistema de suministro en cada servicio individual es que las corrientes de falla a tierra originadas en la instalación del usuario lleguen hasta este conductor, en el punto de entrada del servicio, y retornen por él hasta el transformador de distribución, en lugar de que retornen por la tierra u otro medio indeterminado. En otras palabras, el objeto de esta conexión es proporcionar una trayectoria de baja resistencia a las corrientes de falla a tierra originadas en la instalación del usuario, para facilitar la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de la misma instalación.

## **2.2.- Conexión a Tierra del Equipo**

Consiste en la conexión a tierra de todas las partes metálicas expuestas del equipo eléctrico que no conducen normalmente corriente, pero que, bajo condiciones de falla, pueden quedar energizadas de forma que entre ellas y tierra exista un potencial determinado; esta conexión se realiza mediante un elemento de baja impedancia (conductor, canalización, etc.), que termina al igual que la conexión a tierra del sistema, en un electrodo de tierra, propiedad del

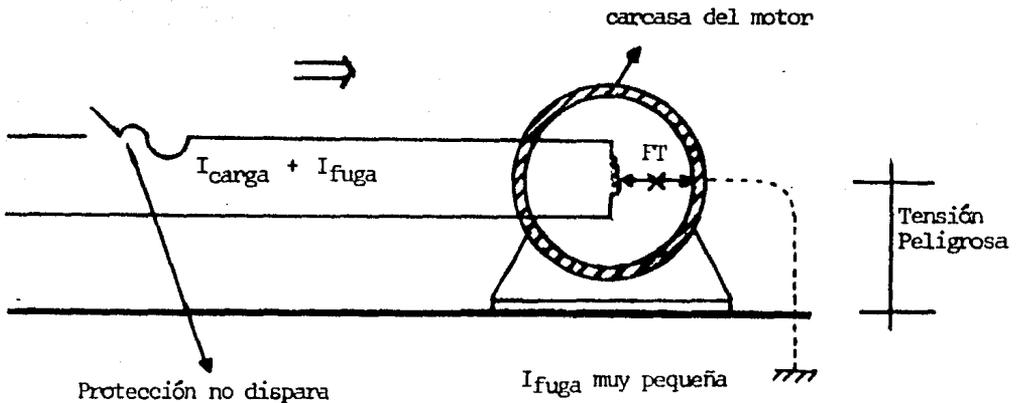
usuario. Los propósitos concretos de esta conexión en las - instalaciones de utilización, son:

- a) Prevenir la aparición de tensiones de contacto peligro--sas entre las partes metálicas expuestas del equipo eléc--trico y tierra.
- b) Reducir la impedancia de las fallas a tierra, con objeto de que la corriente resultante sea de una magnitud tal - que las protecciones convencionales la detecten y puedan entonces operar.

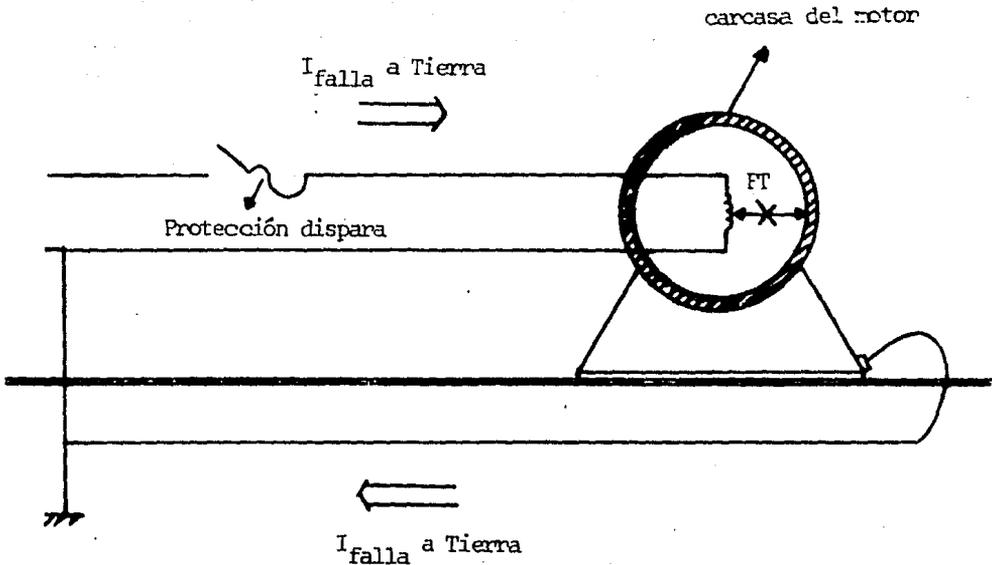
En la **figura 9.2** se muestra un circuito eléc--trico y un ejemplo de parte expuesta (la carcaza de un mo---tor) que no está conectada a tierra. Tanto el circuito como el motor pueden funcionar adecuadamente en condiciones norma--les, independientemente de si el motor está o no conectado a tierra; sin embargo, cuando se presenta una falla a tierra (FT), por ejemplo, entre uno de los devanados del motor y la carcaza del mismo, la corriente de fuga que se origina no --tiene un camino de retorno simple, es decir, se encuentra --con un camino de alta impedancia que motiva la aparición de un potencial elevado entre la carcaza del motor y la superfi--cie del piso. Si en ese momento alguien toca la carcaza del motor, quedará expuesto al potencial indicado, circulando a través de su cuerpo una corriente que puede determinarse fá--cilmente por la Ley de Ohm. Si la citada corriente es mayor de 20 mA, el individuo sufre un choque peligroso que puede -causarle quemaduras y aún la muerte. La experiencia muestra que en condiciones desfavorables la tensión doméstica de 125 volts puede resultar peligrosa. Obsérvese además en la **figu--ra 9.2**, que la corriente de fuga es tan pequeña que la pro--tección del circuito, en este caso un fusible, no se entera, persistiendo indefinidamente la condición de falla y por en-

de el peligro.

En la **figura 9.3** se muestra el mismo circuito, pero en este caso la carcasa del motor si está conectada a tierra. Cuando se presenta una falla a tierra similar al caso anterior, la corriente de falla que se presenta sí tiene un camino de retorno simple, formado por el conductor de conexión a tierra A, es decir, un camino de baja impedancia; por lo tanto, el potencia que se presenta será muy pequeño. Además, la corriente de falla existente será de un valor tal que la protección del circuito la detectará y abrirá el circuito, suprimiendo la condición de falla y por ende el peligro.



**Fig. 9.2** Circuito y Motor No Conectados a Tierra

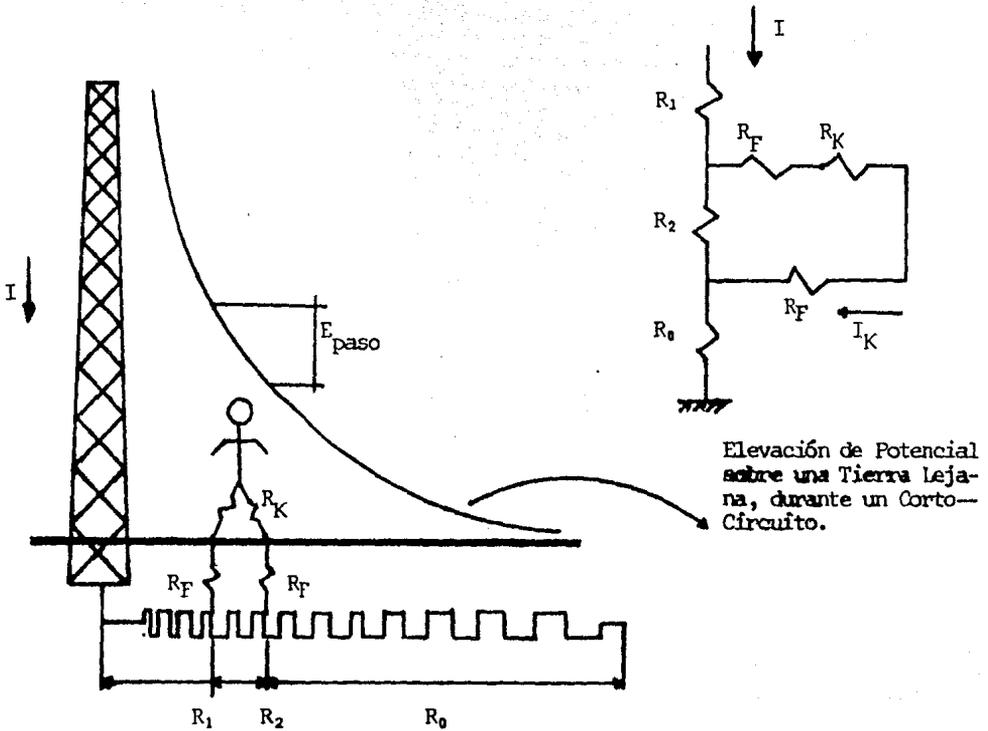


**Fig. 9.3** Circuito y Motor Conectados a Tierra

### 3.- Sistema de Tierras para una Subestación

El sistema de tierras de una subestación proporciona un elemento de conexión a tierra para los neutros, tanques, carcasas o gabinetes de cada uno de los equipos ubicados dentro del área de la subestación; sus principales -- funciones son:

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de corrientes de tierra, ya sean debidas a una falla a tierra del sistema eléctrico o a la operación de un apartarrayos.
- Evitar que, durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse diferencias de po--



Elevación de Potencial sobre una Tierra Lejana, durante un Corto-Circuito.

**Fig. 9.4** Tensiones de Paso, Cerca de una Estructura Conectada a Tierra.

**Potencial de Contacto.**- Es el potencial máximo que experimentará una persona que se encuentra de pie dentro del área de la subestación y que durante la ocurrencia de una falla esté tocando con una o con ambas manos una estructura o cualquier elemento conductor, directamente unido al sistema de tierras.

tencial entre distintos puntos de la subestación (ya sea sobre el piso o con respecto a partes metálicas puestas a tierra) que puedan ser peligrosas para el personal.

- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio -- eléctrico.

## **Definiciones**

*Malla de Tierra.*- Conjunto de varillas, conductores y otros elementos conectados entre sí y en contacto con la tierra, cuyo objeto es proporcionar una conexión efectiva a tierra de los componentes de la subestación que lo requiera.

*Sistema de Tierras.*- Conjunto de varillas, conductores, accesorios, etc., tanto arriba como abajo de la superficie de la tierra, que proporcionan la conexión a tierra en una subestación e incluye como mínimo una malla de -- tierra, conductores de puesta a tierra del equipo y accesorios de conexión.

*Potencial de Tierra.*- Es el potencial de referencia que la tierra mantiene en ausencia de influencias -- eléctricas externas.

### **3.1.- Importancia de la Eliminación Rápida de Fallas**

La conducción de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas debidas a disturbios atmosféricos o fallas del equipo, obliga a tomar precauciones para que los gradientes eléctricos o las tensiones resultantes no ofrez-- can peligro a los operadores, o en general al personal que -

labora en el recinto. Intensidades del orden de miles de amperes producen gradientes de potencial elevados en la vecindad del punto o puntos de contacto a tierra y, si además se da la circunstancia de que alguna persona se apoye en dos -- puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial -- debida a las corrientes arriba indicadas, puede sufrir una -- descarga y sobrevenir un accidente.

Es muy importante eliminar la falla en un corto tiempo por medio de interruptores rápidos, debido: primero, a que es obvio que la probabilidad de un choque se reduce si existe la apertura de un interruptor que elimine la falla en un tiempo razonablemente corto y, segundo, a que tanto las pruebas experimentales como las experiencias de campo demuestran que la probabilidad de daños severos a la integridad física de las personas se reduce cuando la duración del paso de la corriente por el cuerpo es muy corta.

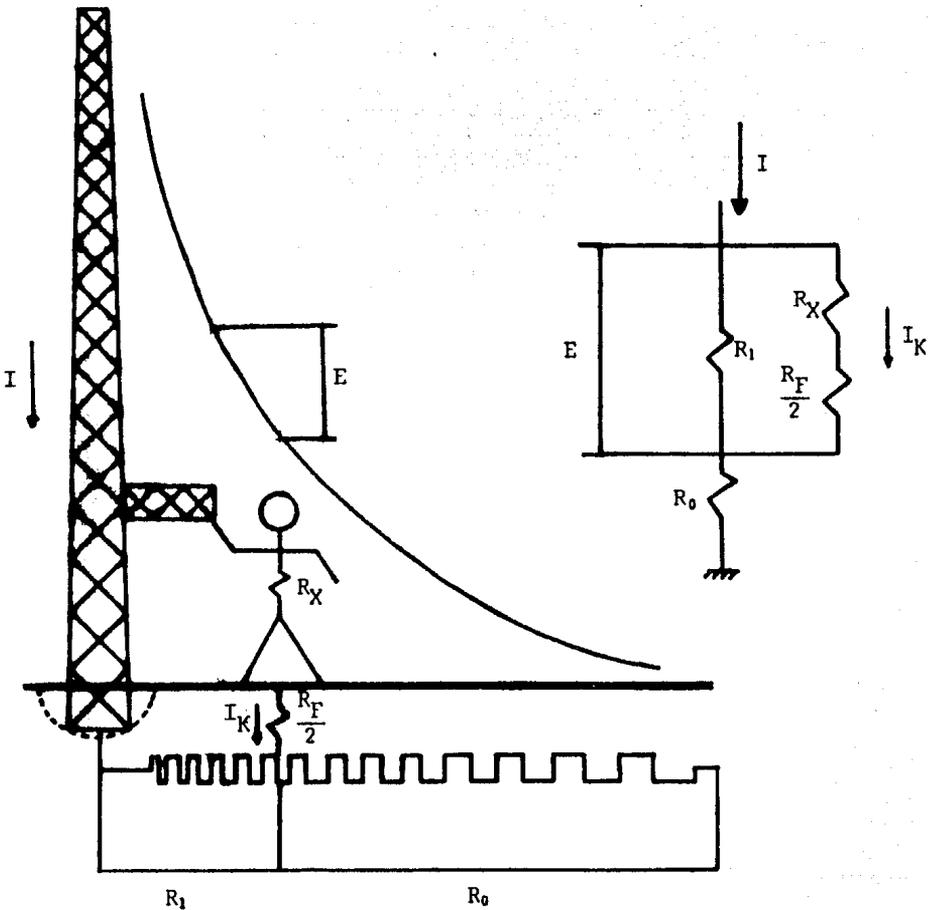
Es necesario para una buena comprensión tomar en cuenta los diversos casos que pueden presentarse al hacer contacto con superficies a diferente potencial.

Las diferencias de potencial tolerables se determinan de acuerdo con los conceptos de *tensiones de paso, de contacto y de transferencia*.

*Potencial de Paso.* -- Es el potencial máximo -- que se aplica a una persona entre sus pies, cuando en el instante de una falla se encuentra caminando en el área.

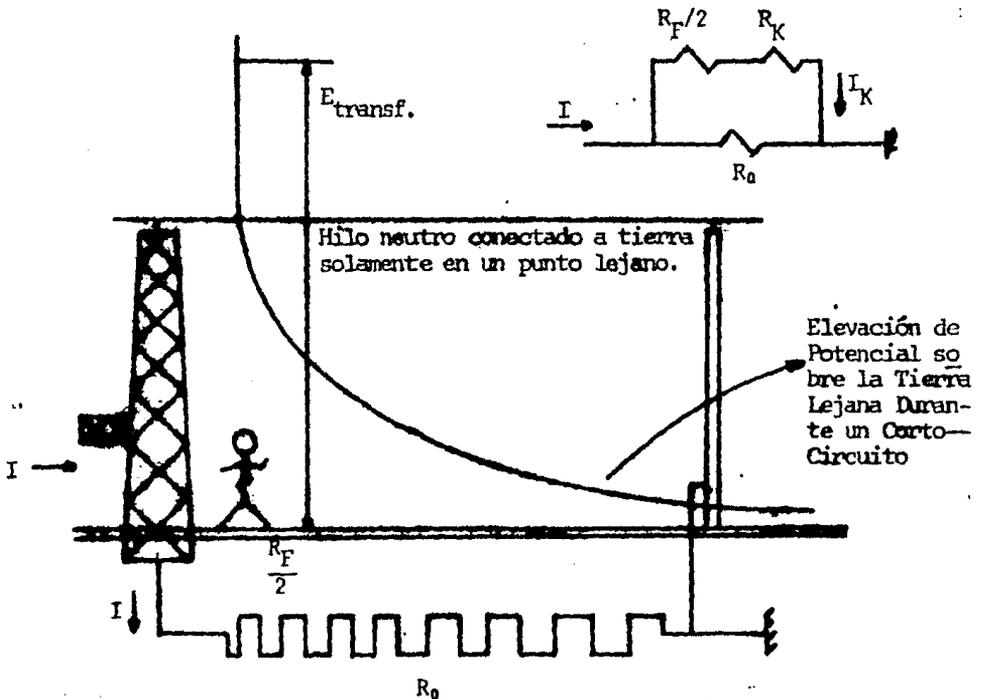
La **figura 9.4** muestra el circuito equivalente de la diferencia de tensión de un paso o contacto entre los pies. La distancia de contacto entre los pies se supone de 1 metro.

La **figura 9.5** muestra el circuito equivalente de un contacto entre la mano y los dos pies. La distancia - medida sobre el suelo, igual al del alcance normal es de un metro.



**Fig. 9.5** Tensiones de Contacto.

*Potencial Transferido.*- Es aquel que se presenta en sitios alejados de la subestación donde ocurre la falla; usualmente esto se debe a la presencia de estructuras enterradas en la cercanía de la subestación, como tuberías, cercas metálicas, rieles de ferrocarril, etc. En la figura 9.6 se muestra un ejemplo de contacto con potencial transferido. En este caso se hace contacto con un conductor que está a tierra en un punto lejano.



**Fig. 9.6** Ejemplo del Peligro Librado a Potenciales Transferidos

La resistencia  $R_g$  del terreno inmediato debajo de cada pie se puede obtener en forma aproximada mediante la siguiente igualdad:

$$R_f = 3 \rho_s$$

para cada pie; donde

$\rho_s$  es la resistividad superficial (ohm-metro) que toca el pie.

El valor de la resistencia del cuerpo humano  $R_K$  es variable, recomendándose tomar 1000 ohms para la resistencia entre los pies y entre pies y manos.

$$I_K = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ A} \quad (1)$$

donde:

$t$  = tiempo de duración del choque en segundos

$I_K$  = corriente efectiva a través del cuerpo en mA.

Corrientes ligeramente mayores de 18 mA contraen los músculos del tórax de manera que se interrumpe la respiración durante el choque, sin embargo, se restablece la respiración normal al interrumpirse la corriente. Si la corriente persiste sobrevienen colapsos, pérdida de la conciencia y la muerte en cuestión de minutos.

Sustituyendo las constantes apropiadas de los circuitos en cada caso y los valores tolerables de corriente de la ecuación (1) se obtiene:

$$E_{\text{paso}} = (R_K + 2 R_f) I_K = (1000 + 6) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{paso}} = \frac{116 + 0.696 \rho_s}{\sqrt{t}} \text{ volts} \quad (2)$$

$$E_{\text{contacto}} = (R_K + R_f/2) I_K = (1000 + 1.5) \frac{0.116}{\sqrt{x}}$$

$$E_{\text{contacto}} = \frac{116 + 0.174 \text{ ps}}{\sqrt{x}} \text{ volts} \quad (3)$$

Para el potencial transferido no pueden establecerse recomendaciones generales, pues cada situación debe estudiarse con atención especial.

### 3.2.- Arreglos de las Mallas de Tierra

Entre los arreglos de mallas de tierras que proporcionan un circuito de muy baja impedancia para la circulación de corrientes de falla se encuentran los siguientes:

*Sistema Radial.*- Es el más barato, pero el menos satisfactorio, ya que al producirse una falla en un aparato, se producen elevados gradientes de potencial.

Este sistema consiste en uno o varios electrodos a los cuales se conectan las derivaciones de cada aparato.

*Sistema de Anillo.*- Este se obtiene colocando en forma de anillo un cable de suficiente calibre (aproximadamente 1000 MCM) alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la subestación y conectando derivaciones a cada equipo, usando cable más delgado (500 MCM ó 4/0 AWG).

Es un sistema económico y eficiente en el cual se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos son disminuídos al disiparse la corriente de falla por varios caminos en

paralelo.

*Sistema de Red.*- Es el que recomiendan las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas y como su nombre lo indica, consiste en una red formada por cable de cobre y conectado a través de electrodos de varillas de acero revestidas de cobre a partes profundas para buscar zonas de menor resistividad. Se recomienda que un cable continuo forme el perímetro exterior de la red, de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo de la subestación.

La red puede estar construída por cables colocados paralela y perpendicularmente, con un equipo razonable (por ejemplo formando rentángulos de 3 x 6 m.). En lo que sea posible, los cables que forman la red deben colocarse a lo largo de la hilera de estructuras o equipo, para facilitar la conexión de los mismos.

### **3.2.1.- Elementos Principales del Sistema de Tierras**

Entre los principales elementos del sistema de tierras, se encuentran los siguientes:

- a) Conductores de la malla; enterrados a una profundidad que usualmente varía entre 0.5 m., y 1.0 m.
  - b) Electrodos de tierra; conectados a los conductores de la malla y enterrados a la profundidad necesaria para obtener el mínimo je resistencia a tierra.
  - c) Conductores de puesta a tierra; a través de los cuales se hace la conexión a tierra de los equipos de la instalación que requieren dicha conexión.
- En cada cruce de los conductores de malla, éstos de

ben conectarse rígidamente entre sí y en los puntos adecuados conectarse a electrodos de tierra de 2.4 m., de longitud o más, clavados verticalmente.

- d) Conectores y Accesorios; son aquellos elementos -- que nos sirven para unir a la malla de tierra los electrodos, las estructuras, los neutros de los bancos de los transformadores, etc. Los conectores -- utilizados en los sistemas de tierra son principalmente de tres tipos:

- Conectores atornillados.
- Conectores a presión.
- Conectores soldados.

Todos los tipos de conectores deben poder soportar la corriente de la malla en forma continua.

Los conectores atornillados se fabrican con bronce de alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos cuyo material está formado por bronce al silicio que les da alta resistencia mecánica y a la corrosión.

Los conectores a presión son más económicos que los atornillados y dan garantía de buen contacto.

Los conectores soldados sólo se usan en la actualidad para conectar a tierra los rieles que soportan a los transformadores.

Cada elemento del sistema de tierras debe ser elegido de tal manera que cumpla con lo siguiente:

- Tener un punto de fusión lo suficientemente alto para no sufrir deterioro bajo las más severas condicioo

nes debidas a los efectos térmicos producidos por la corriente de falla y la duración de la misma.

- Tener suficiente resistencia mecánica a la corrosión.
- Tener suficiente conductividad, de manera que dichos elementos no contribuyan a originar diferencias de potencial peligrosas.

En los conductores se utiliza el cobre por su mejor conductividad tanto eléctrica como térmica y sobre todo por ser resistente a la corrosión debido a que es catódico respecto a otros materiales que pudieran estar enterrados cerca de él.

Los electrodos consistentes en tubos o varillas de fierro galvanizado se pueden usar en lugares cuya constitución química no ataque a dicho material.

En terrenos donde los componentes son más corrosivos se utilizan electrodos de acero revestidos de cobre (denominados copper weld). Estos electrodos combinan las ventajas del cobre con la alta resistencia mecánica del acero, tienen buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión y buena resistencia mecánica para poder ser clavados en el terreno.

Finalmente, concluimos que con lo señalado en este Capítulo, se trató de dar una panorámica general de la importancia de tener un adecuado sistema de tierras en cualquier instalación de utilización de energía eléctrica.

## CONCLUSIONES

De lo expuesto con anterioridad, nos encontramos que la protección contra sobre corriente de las instalaciones eléctricas de utilización es uno de los puntos de mayor importancia en el diseño de instalaciones eléctricas.

Dentro de las instalaciones eléctricas nos podemos encontrar equipos de protección tanto en baja como en mediana tensión, pero en ambos casos sus características de funcionamiento son semejantes. En baja tensión los dispositivos de protección que podemos emplear son los fusibles y los interruptores automáticos, éstos últimos del tipo termomagnético o electromagnético.

La selección adecuada entre estos elementos de protección depende de los siguientes factores: costo, velocidad de respuesta, capacidad interruptiva, tipo de desconexión y posibilidades de control. Dichos factores tienen mayor o menor jerarquía dependiendo de la instalación eléctrica en particular.

Otro de los puntos importantes a considerar dentro de las protecciones contra sobre corriente es el criterio que se sigue para la correcta protección de motores. Estos equipos se deben proteger contra corto circuitos y sobre cargas, los primeros mediante los dispositivos de protección enunciados anteriormente y los últimos con los relevadores térmicos de sobre carga contenidos principalmente dentro de los llamados arrancadores. Su aplicación depende de la capacidad de los motores o de las características de la instalación eléctrica en particular.

Posteriormente, estudiamos los dispositivos - de protección en mediana tensión, los cuales pueden ser desconectores bajo carga con adición de fusibles o bien interruptores automáticos (en aire, aceite o hexafluoruro de azufre), estos últimos interruptores funcionan como dispositivo de protección gracias a la acción de relevadores. En las -- instalaciones eléctricas en mediana tensión (hasta 34.5 Kv), se emplean por lo regular los primeros equipos, ya que las - exigencias de control y protección las cubren estos dispositivos.

Finalmente se estudio de una manera general - la importancia de contar con un adecuado sistema de tierra - en las instalaciones de utilización en mediana y baja ten-- sión. La puesta a tierra de los equipos nos sirve para que no existan potenciales peligrosos en las partes metálicas no conductoras de corriente de la instalación y de esta manera, impedir que los operarios o usuarios "sirvan" como elemento de conexión a tierra, poniendo en peligro su integridad física. La puesta a tierra del sistema la empleamos para que no exista potencial con respecto a tierra en dicho conductor y de esta manera asegurar un funcionamiento eficiente y du ro de los equipos que conforman el sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Industrial Power Systems Handbook.  
Donald Beeman.  
Ed. McGraw-Hill
- 2.- Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.  
Edición 1981  
Dirección General de Normas. SECOFI.
- 3.- Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Ba  
ja Tensión.  
Enriquez Harper G.  
Ed. Limusa.
- 4.- Protección de Sistemas Eléctricos.  
R. Mason.  
Ed. CECSA.
- 5.- Protección de Circuitos Eléctricos de Baja Tensión con  
Fusibles de Cartucho.  
Mercury Electric Products, S. A.
- 6.- Manual de Equipo Eléctrico y Electrónico.  
Coyne Electrical School.  
Ed. Uteha.
- 7.- Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e In--  
dustriales.  
Enriquez Harper G.  
Ed. Limusa.

- 8.- Catálogo Condensado Federal Pacific.
- 9.- Catálogo Condensado Square'D.
- 10.- Catálogo Condensado IEM.
- 11.- Manual de Puesta a Tierra de Equipos Eléctricos.  
Francisco Ruíz Vassallo.  
Ediciones S. E. A. C. Barcelona, España.
- 12.- Manual Técnico de Cables de Energía.  
Víctor Sierra Madrigal, Alfonso Sansores Escalante.  
Ed. McGraw-Hill.