



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**"DISEÑO, OPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE
INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.
SELECCIÓN DE CONDUCTORES, FUSIBLES E
INTERRUPTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS
INDUSTRIALES".**

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

EDUARDO BRITO MARTÍNEZ

ASESOR: M. En I. Benjamín Contreras Santacruz



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN. Q. Ma del Carmen Garcia Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlan

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Diseño, operación y protección de instalaciones eléctricas
industriales. Selección de conductores, fusibles e interruptores
en instalaciones eléctricas industriales.

que presenta el pasante Eduardo Brito Martínez,
con número de cuenta 09535978-4 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Noviembre de 2003

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>M.en I. Benjamin Contreras Santacruz</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. María de la Luz Quijano González</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>Ing. Gustavo Orozco Hernández.</u>	<u>[Firma]</u>

A MIS PADRES

A quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida por formarme y educarme. A quienes ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho, a quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con la riquezas más grandes del mundo.

Por esto y más... Gracias.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron
para la realización de este trabajo, en especial a mi hermana,
mis sobrinos, Yahir y Viridiana con todo cariño para ellos este trabajo.

A mi asesor, M. En I. Benjamín Contreras Santacruz
Por tener el interés para en caminar la realización
y culminación de este trabajo.

A la persona más admirable,
fuerte e inteligente, fuente de inspiración
y convicción que ha estado conmigo en toda una vida
apoyándome incondicionalmente en todos los obstáculos, y
una de las personas que mas me ayudo para la realización de este trabajo,
la persona que mas quiero.

MAGALI

“SELECCIÓN DE CONDUCTORES FUSIBLES E INTERRUPTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES”

OBJETIVO: Aprender a manejar tablas, gráficas y normas de instalaciones eléctricas industriales, así como la interpretación de diagramas.

CONTENIDO

CAPITULO 1. CONCEPTOS GENERALES.

	Página
1.1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA REGLAMENTACIÓN PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	4
1.3 EL SERVICIO DE ENTRADA O ALIMENTACIÓN.....	5
1.4 INTERPRETACION DE PLANOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.....	6
1.4.1 SÍMBOLOS USADOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	7

CAPITULO 2. CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

2.1 INTRODUCCIÓN.....	9
2.2 CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	10
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE CABLES ELÉCTRICOS AISLADOS.....	10
2.2.2 DESCRIPCION DE CALIBRE DE CONDUCTORES.....	17
2.3 DATOS DE EQUIPO Y DIAGRAMA UNIFILAR.....	20
2.4 SELECCIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	22
2.5 CÁLCULO DE CONDUCTORES POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE.....	23
2.6 CÁLCULO DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE VOLTAJE.....	26

CAPITULO 3. CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS Y ALIMENTADORES.

	Página
3.1 INTRODUCCIÓN.....	30
3.2 CIRCUITOS DERIVADOS PARA ALUMBRADO.....	31
3.3 CAIDA DE VOLTAJE PARA ALIMENTADORES DE ALUMBRADO.....	32
3.4 CIRCUITOS DERIVADOS PARA MOTORES.....	32
3.5 CÁLCULO DE LOS ALIMENTADORES PARA MOTORES.....	35
3.6 CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.....	38

CAPITULO 4. ESTUDIO DEL CORTO CIRCUITO EN INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES.

4.1 INTRODUCCIÓN.....	41
4.2 EQUIPO BÁSICO DE PROTECCIÓN.....	42
4.3 VALORES EN PORCIENTO Y EN POR UNIDAD.....	43
4.4 CALCULO DEL CORTO CIRCUITO.....	45
4.5 FUSIBLES E INTERRUPTORES.....	69
4.5.1 INTERRUPTORES PARA SISTEMAS CON VOLTAJES MAYORES A 600V.....	72
4.5.2 FUSIBLES PARA SISTEMAS ARRIBA DE 600V.....	79
4.5.3 FUSIBLES E INTERRUPTORES PARA INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN.....	82
4.6 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.....	97

CAPITULO 5. CONCLUSIONES.

5.1 CONCLUSIONES.....	103
-----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	104
--------------------------	------------

CAPITULO 1
“CONCEPTOS GENERALES”

1.1 INTRODUCCIÓN.

En todos los tipos de instalaciones eléctricas, ya sean residenciales, comerciales e industriales, la parte básica de las mismas la constituyen los conductores, las canalizaciones eléctricas, dispositivos de protección etc.

En el diseño de cualquier instalación eléctrica es fundamental el conocimiento de las distintas componentes que intervienen en las mismas. De hecho, se puede decir que en la construcción de una instalación eléctrica intervienen cientos de componentes que están diseñados y ensamblados en forma segura para entregar la potencia eléctrica al sistema de que se trate. Parte del estudio de las componentes es su selección y la forma como habrán de interconectarse o relacionarse.

Quizás, la mejor forma de iniciar el estudio de los componentes de una instalación eléctrica sea mostrando la forma como intervienen en éstas, desde el punto de vista de sus características y de su cálculo para aplicaciones específicas.

Una instalación eléctrica correctamente diseñada emplea normalmente materiales aprobados o certificados por las normas nacionales (o internacionales, en algunos casos); estos materiales incluyen varios tipos de canalizaciones (tubos conduit, coples, niples, buses-ducto), cables y conductores, cajas de conexión, dispositivos de protección (fusibles, interruptores), etcétera.

1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA REGLAMENTACIÓN PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

Se deben diseñar las instalaciones adecuadas para obtener, entre otras cosas, los siguientes objetivos:

- Cumplimiento de las normas vigentes.
- Economía y seguridad para el usuario.
- Facilidad y rapidez de instalación.
- Operación eficiente del circuito.
- Seguridad durante la instalación y operación de las líneas eléctricas.

Es importante que al diseñar y realizar cualquier instalación eléctrica, se cumplan las normas respectivas, ya que en ellas se especifican los requerimientos técnicos básicos para garantizar que la instalación no presente ningún problema en el futuro y garantice la seguridad de los usuarios.

Con el objeto de reglamentar las instalaciones eléctricas en México de una forma más completa y de acuerdo con los desarrollos tecnológicos que en productos y equipos eléctricos han surgido en los últimos años, en la Secretaría de Energía la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-1999, INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN), APROBADA EN LA CUARTA REUNIÓN DEL COMITÉ CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CELEBRADA EL 20 DE ABRIL DE 1999.**

Se cancela la NOM-001-SEDE-1994, “Relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica”, publicada el 10 de octubre de 1994 en el **Diario Oficial de la Federación**. Y constituye la guía que deben seguir diseñadores, constructores y unidades de verificación, en lo relativo a proyecto, construcción y aprobación de instalaciones eléctricas.

El campo de aplicación de la NOM-001-SEDE-1999 de Instalaciones Eléctricas comprende:

Las instalaciones para explotación de energía eléctrica, en cualquiera de las tensiones usuales de operación, incluyendo la instalación del equipo conectado a las mismas por los usuarios.

Las subestaciones y plantas generadoras de emergencia propiedad de los usuarios.

Las líneas eléctricas y su equipo. Dentro del término líneas eléctricas, quedan comprendidas las aéreas y las subterráneas conductoras de energía eléctrica, ya sea que formen parte de sistemas de servicio público, o bien que correspondan a otro tipo de instalaciones.

1.3 EL SERVICIO DE ENTRADA O ACOMETIDA.

El servicio es el corazón del sistema eléctrico, ya que suministra potencia a todos los alimentadores y circuitos derivados. Por razones de seguridad de las personas, el equipo de servicio debe cumplir con un mínimo de distancias de seguridad. Los conductores sobre

el suelo a techos deben tener alturas mínimas, o bien, cuando la alimentación es subterránea, se debe cumplir con una profundidad mínima para la protección de los propios conductores del servicio de alimentación. La protección y los desconectores del servicio de alimentación se deben tener, por norma, localizados en lugares convenientes.

El principio de consideración para el cálculo de los servicios eléctricos de *entrada o de alimentación*, se basa en el hecho de que cualquier construcción que contiene equipo o aparatos que utilizan electricidad requiere de un *servicio eléctrico*.

El servicio eléctrico de entrada hace posible que pase la energía eléctrica de las líneas de alimentación de la compañía suministradora a los puntos de uso dentro de la construcción. La parte correspondiente a la red de distribución de la compañía suministradora tiene dos componentes, una en alta tensión que llega por lo general a un poste (en el caso de las redes aéreas) y de aquí, mediante un transformador, pasa a baja tensión. En estos últimos, dependiendo de su tamaño (medido como carga) pueden ser alimentados en alta tensión (más de 1000 V.) Y usar su propio transformador para obtener los voltajes de uso requeridos.

1.4 INTERPRETACIÓN DE PLANOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.

La elaboración, uso e interpretación de planos en instalaciones eléctricas se basa en el uso de dimensiones de planos normalizados con simbología de tipo convencional, esto es aplicable a instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales.

Los planos, generalmente usados, son de arreglo y disposición de equipo (Lay-out), en donde se indica la localización de las cargas por alimentar, las posibles trayectorias de las canalizaciones y los puntos de instalación de apagadores, contactos, controladores de motores, centros de carga, salidas para luminarias, etcétera. En estos planos, puede aparecer la simbología convencional, entonces, la interpretación de estos planos se simplifica, ya que en un plano a escala se identifica la localización de cada componente, la relación que tiene el alambrado y las canalizaciones con las componentes, el punto de acometida, el número de circuitos, el calibre de los conductores, etcétera.

1.4.1 SÍMBOLOS USADOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

En la siguiente figura se muestran algunos de los símbolos más usados en instalaciones eléctricas en general:

Dispositivo	Símbolo	Dispositivo	Símbolo
Fusible		Interruptor (tres polos)	
Transformador de corriente		Bobina (núcleo de aire)	
Relevador y contactos de transferencia		Bobina (núcleo magnético)	
Terminal del circuito		Bobina (con derivaciones)	
Tablillas terminales o tablillas		Bobina (que table)	
Conector hembra		Transformador (núcleo de aire)	
Conector macho		Transformador (núcleo magnético)	
Conectores		Autotransformador	
Interruptor (monopolar)			

Figura 1.1

CAPITULO 2
“CONDUCTORES ELÉCTRICOS”

2.1 INTRODUCCIÓN.

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

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

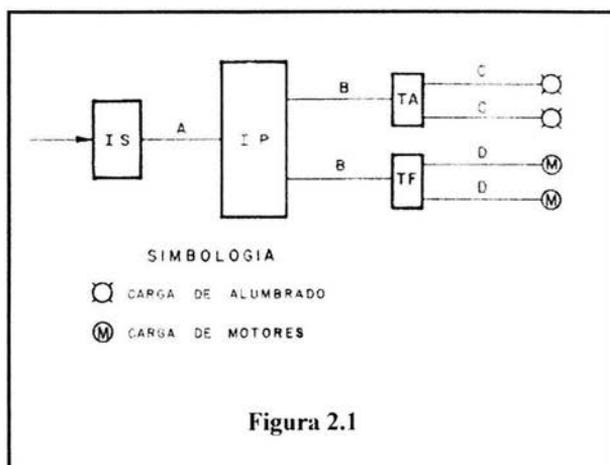


Figura 2.1

Is = interruptor de servicio

Ip = interruptor principal

Ta = tablero de alumbrado

Tf = tablero de fuerza

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

B = conductores que llevan la potencia del interruptor principal, al tablero de alumbrado (Ta) y al tablero de fuerza (Tf).

C = conductores que llevan la potencia de los circuitos derivados del tablero de alumbrado

(Ta) la carga de alumbrado.

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

Los elementos que conducen la corriente eléctrica se denominan **conductores eléctricos** y deben tener una buena conductividad y cumplir con otros requisitos en cuanto a propiedades mecánicas y eléctricas, por esta razón, la mayoría de los conductores son de cobre y algunos otros de aluminio, aún cuando existen otros materiales de mejor conductividad, como por ejemplo la plata y el platino, pero que tienen un costo elevado que hace antieconómica su utilización en instalaciones eléctricas. En general la palabra conductor se usa con un sentido distinto al del alambre, ya que por lo general un alambre es de sección circular, mientras que un conductor puede tener otras formas, ya sean rectangulares o circulares, sin embargo es común que a los alambres se les llame conductores.

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 conductividad que con el cobre.

Por lo general los conductores eléctricos se fabrican de sección circular de material sólido o como cables, dependiendo la cantidad de corriente por conducir y su utilización, aunque en algunos casos se elaboran en secciones rectangulares para altas corrientes.

2.2 CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES ELÉCTRICOS AISLADOS.

Un cable eléctrico es un elemento destinado a transportar energía eléctrica con la mayor eficiencia posible. El concepto de mayor eficiencia requiere una aclaración. Si el propósito de la instalación es, únicamente, el transportar energía, es evidente que la mayor eficiencia viene unida a la optimización de las pérdidas en el transporte.

Existen cables destinados al transporte de energía a distintas tensiones y para distintos tipos de instalación.

En consecuencia, una primera clasificación de los cables para el transporte de

energía se puede efectuar atendiendo a su tensión de servicio:

- Cables de muy baja tensión, hasta 50 V.
- Cables de baja tensión, hasta 1000 V.
- Cables de media tensión, hasta 30 k V.
- Cables de alta tensión, hasta 66 KV.
- Cables de muy alta tensión, por encima de los 66 k V.

Otra clasificación sería por la naturaleza de sus componentes:

- Cables con conductores de cobre o aluminio.
- Cables aislados con materiales termoplásticos, elastómeros, papel impregnado, aceite fluido.
- Cables protegidos con pantallas, armaduras, etc.

La energía eléctrica transportada por un cable es consecuencia de la suma geométrica de la energía cinética de cada uno de los electrones que se desplazan en el seno de un metal. Cuando el cable está desconectado, esta suma geométrica es cero, pues el movimiento de los electrones es anárquico, sin orden y al azar; sin embargo, al ser conectado el cable a una fuente de energía eléctrica, su movimiento se ordena, orienta y "acelera por la presencia del campo eléctrico, obteniéndose así una resultante de esta suma tanto más importante cuanto más completa es la ordenación y la aceleración impuesta a los electrones por el campo eléctrico aplicado. Se puede considerar que el campo eléctrico aplicado actúa dotando de más energía cinética a cada electrón y orientando su movimiento colectivo. Se obtiene energía de una corriente eléctrica de la misma manera a como se obtiene energía mecánica de un motor de combustión interna, como suma de la energía cinética de cada una de las partículas de gas que son aceleradas por un aporte de calor originado por la combustión.

En un cable se distinguen tres elementos fundamentales: el conductor, el aislamiento y las protecciones.

Material conductor

Como ya se ha indicado anteriormente, el conductor es un elemento metálico, generalmente cobre o aluminio, permeable al paso de la corriente eléctrica y que, por tanto, cumple la función de trasladar la «presión electrónica» de un extremo a otro del cable perdiendo una cantidad lo más reducida posible de la energía transportada.

Composición de los conductores

Los cables deben adaptarse a las características de la instalación a que se destinan. Esto es válido también para los conductores. En ocasiones, el tendido del cable describe unos recorridos muy sinuosos y, en otros casos, puede ser necesario que acompañe al equipo al que alimenta en sus desplazamientos. Estas consideraciones obligan a prever distintas formaciones en la composición del cable que se adapten a estas exigencias.

Para fijar ideas y emplear un lenguaje sin equívocos, debería advertirse que, si bien a cualquier conductor aislado se le denomina cable, existe una variedad de nombres que permiten identificar con precisión la composición de los conductores:

- Conductor, es el elemento metálico que cumple la función de conducir la corriente eléctrica.
- Hilo, es el conductor constituido por un solo alambre. Cuando es de gran sección, se le denomina barra o barrón.
- Cuerda, conjunto de hilos que, torcidos, forman un solo cuerpo más o menos grueso, largo y más o menos flexible.
- Filástica, cuerda formada por un conjunto de hilos de pequeño diámetro que, sola o torcida con otras semejantes, constituye el conductor de un cable flexible,
- Alma, es el conjunto formado por el conductor y su correspondiente aislamiento.

Con precisión, la palabra cable se debe aplicar a la reunión, tomando un solo cuerpo, de una o varias almas retorcidas formando hélice, protegidas, generalmente, por una envoltura que reúna la flexibilidad y resistencia mecánica necesaria para el uso a que el cable se destina.

Por consiguiente, los conductores pueden estar constituidos por uno o por varios hilos metálicos de distinto diámetro, según la mayor o menor flexibilidad exigida al cable.

Material aislante.

Como ya se ha indicado anteriormente, un material aislante es aquel que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente ligados a sus núcleos, no permite su fácil desplazamiento y, en consecuencia, el paso de una corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos del mismo.

El material aislante se coloca alrededor del conductor de tal manera, que lo cubra totalmente y con un espesor adecuado a la tensión de servicio del cable, con el fin de que el

campo eléctrico a que está sometido el aislamiento sea muy inferior a la tensión de perforación o rigidez dieléctrica del medio.

Los materiales aislantes deben presentar otras características que permiten definir cuál es el cable más adecuado para cada tipo de instalación:

Características químicas:

- Absorción de agua y resistencia a la humedad.
- Grado de polimerización, vulcanización o reticulación.
- Resistencia al ozono.
- Resistencia a la acción solar.
- Resistencia a la radiación ultravioleta.
- Resistencia a la radiación gamma.
- Resistencia a la oxidación.
- Resistencia a los hidrocarburos.
- Resistencia a los agentes corrosivos.
- Resistencia a los ambientes salinos, alcalinos, etc.

Características físicas:

Conviene llamar la atención sobre las de:

- Cristalinidad
- Resistencia al agrietamiento o gelificación.
- Resistencia al calor y/o al frío
- Resistencia al fuego.
- Temperaturas máximas de servicio y de emergencia.
- Temperatura de cortocircuito.

Características mecánicas:

- Resistencia a la tracción.
- Carga de rotura.
- Alargamiento a la rotura
- Resistencia al alargamiento permanente.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia al envejecimiento, etc.

- **Protecciones**

El aislamiento y el conductor completan el cable desde el punto de vista eléctrico. De hecho, en los casos más sencillos, hay cables que no disponen de más elementos que los citados. Sin embargo, lo más frecuente es que, a estos elementos, se añada un tercero al que se le da el nombre genérico de «protección», pues su misión es proteger el cable contra distintos tipos de agresiones.

Según la naturaleza de la protección que este elemento haya de procurar al cable, se distinguen dos categorías de las que se derivan cuatro tipos de protección:

1. Protecciones contra daños de origen eléctrico:

a) capas semiconductoras

b) pantallas

2. Protecciones contra daños de origen mecánico:

c) armaduras

d) cubiertas (interiores o exteriores)

Debe evitarse la confusión, por otro lado bastante frecuente, entre lo que es una pantalla y una armadura, pues, como se ve, sus misiones están claramente diferenciadas. A esta confusión han colaborado algunos fabricantes utilizando como sinónimo de pantalla la expresión «blindaje» que, en nuestro idioma, posee un claro significado de protección contra daños mecánicos.

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

1).- Agentes mecánicos

2).- Agentes químicos

3).- Agentes eléctricos

1). - Agentes mecánicos.

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

manejo de materiales e inserción de conductores en canalizaciones.

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

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

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

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

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

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

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

2). - Agentes químicos.

Un conductor se ve sujeto a ataques por agentes químicos que pueden ser diversos y

que dependerá de los contaminantes que se encuentran en el lugar de la instalación, estos agentes químicos contaminantes se pueden identificar en cuatro tipos generales que son:

- Agua o humedad
- hidrocarburos
- ácidos
- álcalis

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

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

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

Características de resistencia de los conductores, de baja tensión al ataque de agentes químicos

TIPO COMERCIAL	ÁLCALIS	ACIDOS	HUMEDAD	HIDROCARBÚROS
TV	MUY BUENO	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO
VINANEL 900	MUY BUENO	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO
VINANEL NYLON	MUY BUENO	EXCELENTE	EXCELENTE	INERTE
VULCANEL EP	MUY BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR
VULCNEL XLP	MUY BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR

Tabla 2.2

3). - Agentes eléctricos.

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

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

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

Rigidez dieléctrica de los aislamientos usados en conductores baja tensión

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

Tabla 2.3

2.2.2 DESCRIPCIÓN DE CALIBRES DE CONDUCTORES.

Desde el punto de vista de las normas, 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 (American Wire Gage), siendo el más grueso el número 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 Y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas.

Para conductores con un área mayor del 4/0, se hace una designación que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada el *Circular Mil*, siendo así como un conductor de 250 corresponderá a aquél cuya sección sea de 250,000 C.M. y así sucesivamente, entendiéndose como:

Circular Mil: La sección de un círculo que tiene un diámetro de un milésimo de pulgada (0.001 pulg)

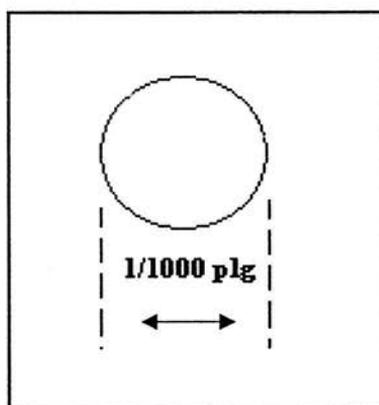


Figura 2.4

En la tabla se muestran los tamaños de los conductores con aislamiento.

TAMAÑOS DE CONDUCTORES				
0		00		
1		0		
2		2		
4		4		
6		6		
8		8		
10		10		
12		12		
14		14		
16		16		
18		18		
20		18		
		NUMERO	AREA	

		8	
		10	
		12	
		14	
		16	
		18	
		20	

APLICACIÓN PARA ALIMENTADORES

APLICACIÓN PARA CIRCUITOS DERIVADOS

APLICACIÓN PARA TUBERÍAS, TERMOSTATOS, Y CORDONES

Tabla 2.5

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

$$1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{1000} \text{ pulg} = 0.0254 \text{ mm}$$

Siendo el circular mil un área:

$$1C.M. = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.1416 \times (0.0254)^2}{4} = 5.064506 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$$

De donde:

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

De lo que sale la siguiente relación:

$$1\text{mm}^2 = 2000\text{cm}$$

En la tabla se indican las dimensiones de los conductores eléctricos desnudos y su relación de Circular Mil.

CALIBRE A.W.G. K.C.M.	SECCIÓN		DIÁMETRO	
	cm.	mm ²	PULGS.	mm ²
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	6330	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	83370	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	107.225	0.4600	11.683
250		126.644	0.575	14.605
300		151.999	0.630	16.002
350		177.354	0.681	17.297
400		202.709	0.728	18.491
500		253.354	0.814	20.675
600		303.999	0.893	22.682
700		354.708	0.964	24.685
800		405.160	1.031	26.187
750		379.837	0.998	25.349
900		455.805	1.093	27.762
1000		506.450	1.152	29.260
1250		633.063	1.289	32.741
1500		759.677	1.412	35.865
1750		886.286	1.526	38.760
2000		1012.90	1.631	41.427

Tabla 2.6

2.3 DATOS DE EQUIPO Y DIAGRAMA UNIFILAR.

DIAGRAMAS UNIFILARES.

En el estudio de sistemas eléctricos de potencia o para aplicaciones industriales, el uso de diagramas unifilares resulta de gran utilidad y representa un elemento básico para el diseño y los estudios de sistemas eléctricos. El diagrama unifilar se definen como: **"un diagrama que indica por medio de líneas sencillas y símbolos simplificados, la interconexión y partes componentes de un circuito o sistema eléctrico"**. En el caso particular de los sistemas eléctricos de potencia, como se sabe, las instalaciones son trifásicas, es decir, que su representación se obtendrá por medio de un diagrama trifilar.

En la siguiente figura, se muestran ambos diagramas, es decir, uno trifilar y la correspondiente representación unifilar.

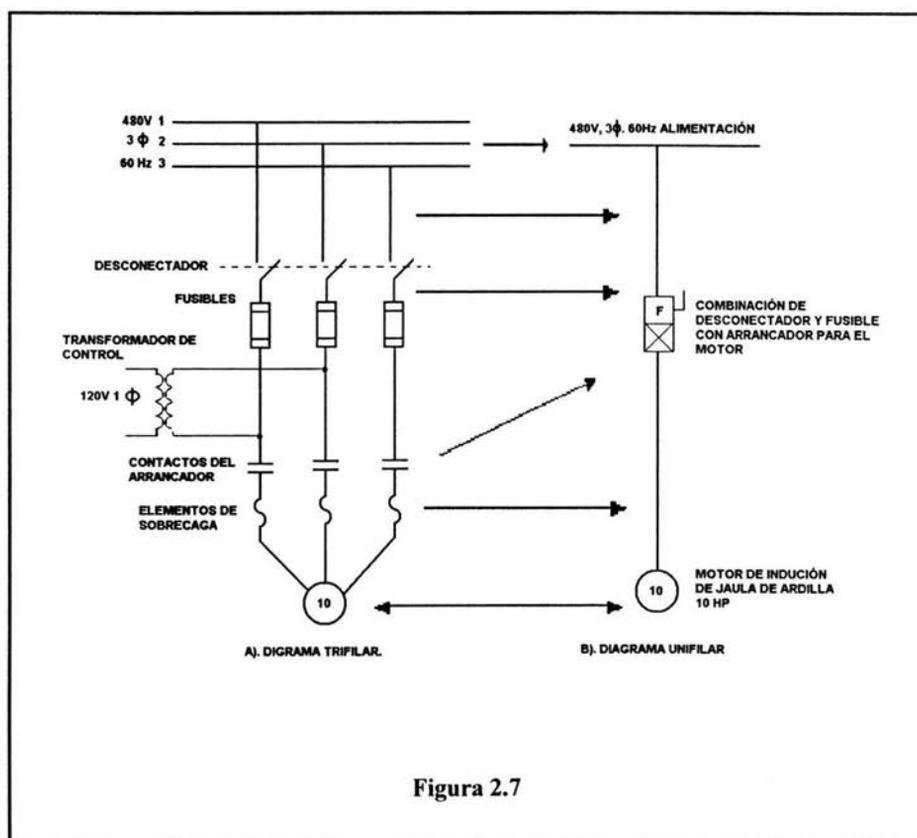


Figura 2.7

En la siguiente figura se muestra un diagrama unifilar de un sistema de potencia industrial. Muestra la información básica que identifica a cada uno de sus componentes y su interconexión, este diagrama es el que usaremos para ejemplificar los cálculos.

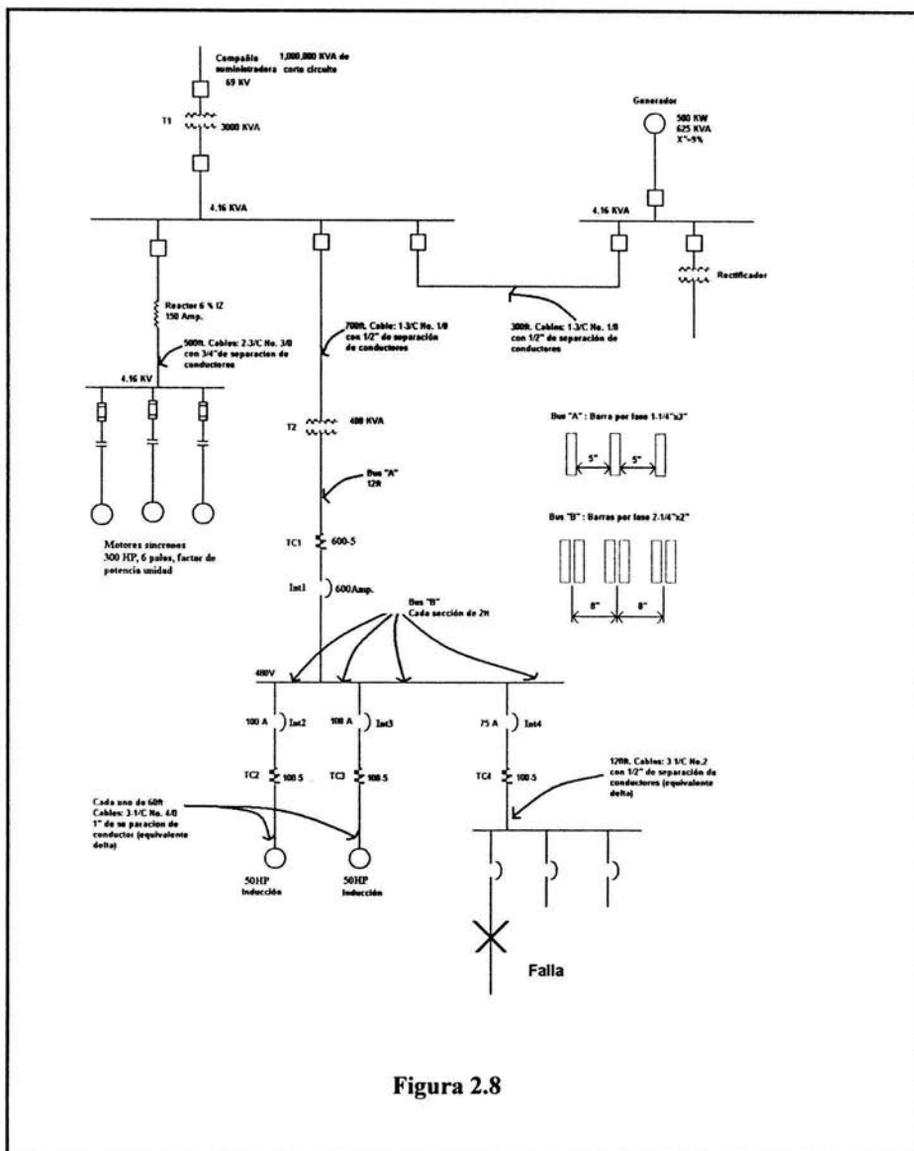


Figura 2.8

2.4 SELECCIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En todas las instalaciones eléctricas en forma invariable, tanto los equipos como los conductores eléctricos tienen un límite térmico dado principalmente por la naturaleza y tipo de materiales aislantes. Como se sabe, la corriente eléctrica produce las llamadas pérdidas por efecto joule (RI^2) que se manifiestan en forma de calor, debido a esto en un conductor eléctrico debido a su resistencia, se calienta y es por esta razón que se debe limitar la cantidad de corriente permisible en un conductor (ampacidad) a un valor en el que el calor se pueda disipar en forma segura, y es así como en las tablas de capacidad de conducción de corriente eléctrica de los conductores se asocia la sección o calibre del conductor, con la corriente que pueden conducir también se considera la elevación de temperatura ambiente.

Como se mencionó, si un conductor que tiene una resistencia R conduce una corriente I , el calentamiento resultante es proporcional a RI^2 , de manera que si por ejemplo el conductor conduce una corriente del doble ($2I$) el calentamiento es $R(2I)^2 = 4RI^2$, es decir se incrementa cuatro veces esto significa que al aumentar la corriente en un conductor, el calentamiento sube mucho más, debido a que crece con el cuadrado de la corriente.

Lo documentado con anterioridad referente a las propiedades de los conductores corresponde básicamente de los conductores eléctricos utilizados para instalaciones, y que son considerados para la selección de los mismos, pero en el cálculo de las instalaciones eléctricas la selección adecuada de un conductor que llevará corriente a un dispositivo específico se hace tomando en cuenta ciertos factores. Los conductores usados en las instalaciones eléctricas deben cumplir con ciertos requisitos para su aplicación como son:

1.- Capacidad de conducción de corriente (ampacidad.) que representa la máxima corriente que puede conducir un conductor para un calibre dado y que está afectada principalmente por los siguientes factores:

a).- Temperatura

b).- Capacidad de disipación del calor producido por las pérdidas en función del medio en que se encuentre el conductor es decir aire o en tubo conduit.

2.- Máxima caída de voltaje permisible de acuerdo con el calibre del conductor y la corriente que conducirá, se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible

recomendada por el reglamento de obras e instalaciones eléctricas y que es del 3% del punto de alimentación al punto más distante de la instalación.

Estos factores se consideran por separado para efectuar un análisis y, simultáneamente, en la selección de un conductor; como es posible que los resultados en la selección de un conductor difieran al contemplar estos factores, se debe tomar como bueno el que resulte de mayor sección o áreas, ya que de esta manera el conductor se comportará satisfactoriamente desde el punto de vista de caída de voltaje y cumplirá además con los requerimientos de capacidad de corriente.

Algunos datos de los conductores de cobre usados en las instalaciones eléctricas se dan en tablas de fabricantes, o bien en las normas para instalaciones eléctricas.

2.5 CÁLCULO DE CONDUCTORES POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE

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

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

Desde el punto de vista de conductividad se han elaborado tablas que dan la resistencia eléctrica de los conductores de cobre, factor que es muy importante, ya que determina las pérdidas de potencias eléctrica al paso de la corriente, según la fórmula: $W = R \times I^2$

Donde:

R = Resistencia eléctrica en ohms.

I = Corriente eléctrica en amperes.

W = Potencia en Watts.

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

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

$$R_T = R_x (60^\circ\text{C}) [1 + \alpha \times (T-60)]$$

Donde:

R_T = Resistencia a la temperatura deseada.

T = Temperatura considerada.

α = Coeficiente de corrección en ohms/ $^\circ\text{C}$, en el caso del cobre su valor es de 0.00385.

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

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

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

TW	60 °C en ambiente seco	60 °C en ambiente mojado
Vinanel 900	90 °C en ambiente seco	75 °C en ambiente mojado
Vinanel Nylon	90 °C en ambiente seco	75 °C en ambiente mojado
Vulcanel EP	90 °C en ambiente seco	75 °C en ambiente mojado
Vulcanel XLP	90 °C en ambiente seco	75 °C en ambiente mojado

Tabla 2.9

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

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

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

Por ello, con fines prácticos, no se permite que el conductor trabaje con temperaturas que excedan a las de su reblandecimiento con un régimen de trabajo permanente.

Desde el punto de vista teórico, se pueden establecer las bases para el cálculo del calibre del conductor, de acuerdo con su capacidad de conducción de corriente, considerando el efecto térmico. Este cálculo establece una analogía con la ley de Ohm para circuitos eléctricos y, en semejanza con la ecuación conocida para esta ley, que expresa la caída de voltaje (V) en un circuito cuando circula una corriente (I) a través de una resistencia (R).

$$V = R \times I$$

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

$$\Delta T = R_x \times W$$

Donde:

ΔT = Incremento o caída de temperatura en °C

W = Calor circundante en Watts/m

R_x = Resistencia térmica del medio

Para sistemas trifásicos tenemos la siguiente ecuación para el cálculo por capacidad de corriente:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} V_L F.P.}$$

Que es la corriente nominal que demandara el equipo con la cual apeándonos a las normas seleccionaremos el conductor.

2.6 CÁLCULO DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE VOLTAJE

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

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

que circulará por él. También es necesario que la caída de voltaje en el conductor no exceda los valores establecidos por el reglamento de obras e instalaciones eléctricas (que son 2% caída de voltaje en instalaciones residenciales y un máximo de 5% en instalaciones industriales, desde el punto de alimentación hasta el último punto).

Es por esto que no basta con calcular los conductores con corriente únicamente, es decir, seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circulará por él.

Para estar seguros de que las caídas de voltaje no excedan esos valores, es necesario calcularlas en los circuitos derivados y en los alimentadores. En las fórmulas que se desarrollarán a continuación se empleará la siguiente nomenclatura:

W = Potencia en watts.

I = Corriente en amperes por conductor.

E_f = Voltaje entre fases.

E_n = Voltaje de línea a neutro.

Cos θ = Factor de potencia.

R = Resistencia de un conductor en ohms.

J = Resistividad del cobre 1/58 (Ωm/mm²)=1/50

L = Longitud del conductor en metros.

S = Sección del conductor en mm².

e = Caída de voltaje de fase a neutro en volts.

V_t = Caída de voltaje entre fases, en volts.

e% = Caída de voltaje en porciento.

El sistema trifásico a tres hilos

En algunas instalaciones eléctricas, la alimentación se hace en forma trifásica, y en este caso, una de las formas de hacerla es por medio de un sistema trifásico a tres hilos.

La potencia que consume la carga trifásica es:

$$W = \sqrt{3} E_f I \cos \theta$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E_f I \cos \theta}$$

La caída de voltaje entre fases es:

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

Sustituyendo R tenemos:

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

$$e_f = \frac{\sqrt{3}}{50} \frac{LI}{S}$$

El porcentaje de caída de voltaje es:

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

Sustituyendo e_f tenemos que la ecuación para la caída de voltaje es:

$$e\% = \frac{2\sqrt{3}LI}{V_L S}$$

Por lo tanto para seleccionar el conductor por caída de voltaje tenemos que determinar la sección transversal del cable, esto va relacionado con la longitud del cable y el % de caída de tensión apegándonos a las normas.

$$S = \frac{2\sqrt{3}LI}{V_L e\%}$$

CAPITULO 3
“CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS Y
ALIMENTADORES”

3.1 INTRODUCCIÓN

El diseño del sistema eléctrico en un edificio, un área convencional o una industria, *se inicia con la recolección de los datos de las cargas por alimentar*, tales como: equipo de aire acondicionado, calefacción (en su caso), alumbrado y contactos, etc. Se debe hacer un estimado de las cargas mecánicas (aquéllas accionadas por motores eléctricos). Los datos preliminares de las cargas y sus características. Esta estimación preliminar de la carga puede servir también como información para la empresa suministradora para iniciar la planeación del equipo de servicio.

De hecho, el proceso de planeación *se inicia con una revisión de los planos arquitectónicos*, así como los de las cargas. Uno de los conceptos clave es la localización probable de los tableros y centros de carga, que en principio deben estar tan cerca como sea posible de las cargas que van a alimentar, esto permite reducir la longitud de los alimentadores y los circuitos derivados, así como los costos de la instalación. También, localizar los tableros y centros de carga cercanos a las cargas permite, en caso de emergencia, el rápido acceso para la desconexión de las mismas. Una revisión de los planos arquitectónicos y de la localización del equipo principal o grupos de equipo sugerirá una localización de los tableros. El propósito, por razones económicas, es utilizar el menor número de tableros, tratando de mantener una operación tan flexible como sea pueda y cubriendo el requisito de que las instalaciones eléctricas deben cubrir el menor espacio posible dentro del concepto arquitectónico global.

El plano arquitectónico inicial en una revisión debe sugerir la mejor localización para tableros y centros de carga en instalaciones comerciales e industriales, esto corresponde a lo que se conoce como la fase de planeación, y es la fácil, porque se puede jugar un poco con cada metro cuadrado de la instalación. Una vez que el espacio potencial para el equipo eléctrico ha sido identificado, es necesario evaluar el tamaño anticipado de los tableros de distribución de otros equipos que ocuparán un espacio. Tener información de las dimensiones de los equipos y tableros es muy útil, complementando con las distancias de seguridad que se dan en la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-1999**.

Circuitos derivados

Existe una clasificación para los distintos tipos de circuitos derivados típicos y esta basado en la **NOM-001-SEDE-1999** que hace referencia en la disposición **210-3** acerca de la clasificación de circuitos derivados.

210-3. Clasificación. Los circuitos derivados de los que trata este artículo se deben clasificar según la capacidad de conducción de corriente máxima, o según el valor de ajuste del dispositivo de protección contra sobre corriente. La clasificación de los circuitos derivados que no sean individuales debe ser de 15, 20, 30, 40 Y 50A. Cuando se usen por cualquier razón conductores de mayor capacidad de conducción de corriente, la clasificación del circuito debe estar determinada por la capacidad nominal o por el valor de ajuste del dispositivo de protección contra sobre corriente.

Un circuito derivado se define como: El conjunto de los conductores y demás elementos de cada uno de los circuitos que se extienden desde los últimos dispositivos de protección contra sobre corriente en donde termina el circuito alimentador, hacia las salidas de las cargas.

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

La caída de tensión global desde el medio de desconexión principal hasta cualquier salida de la instalación (sea alumbrado, fuerza, calefacción, etc.), **no debe exceder del 5%**. Se recomienda que dicha caída de tensión se distribuya razonablemente en el circuito derivado y en el circuito alimentador, de tal manera que en cualquiera de ellos, la caída de tensión no sea mayor de 3%.

3.2 CIRCUITOS DERIVADOS PARA ALUMBRADO.

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas permiten solo el uso de circuitos derivados de 15 amperes o 20 amperes para alimentar unidades de alumbrado con portalámparas estándar. Los circuitos derivados mayores de 20 amperes se permiten solo para alimentar unidades de alumbrado fijas con portalámparas de uso rudo.

En la solución de cierto tipo de problemas en las instalaciones eléctricas es

necesario calcular el número de circuitos derivados que se requieren para alimentar una carga dada.

El número de circuitos derivados esta determinado por la carga y se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{No. De circuitos} = \frac{\text{Carga total en watts}}{\text{Capacidad de cada circuito en watts}}$$

3.3 CAÍDA DE VOLTAJE PARA ALIMENTADORES DE ALUMBRADO.

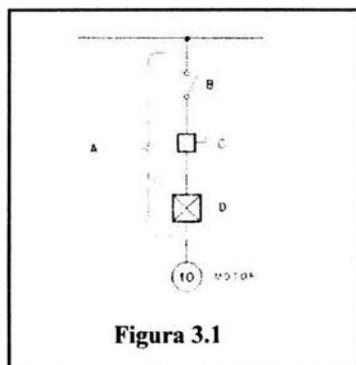
En la construcción de edificios habitacionales, de oficinas o de áreas industriales, los tableros de alumbrado se localizan dentro de las columnas o bien en tableros generales cerrados y pueden quedar en algunas ocasiones relativamente distantes de las cargas, debido a esto se debe tomar en consideración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

Si se toma en consideración que las normas técnicas para instalaciones eléctricas limitan la caída de voltaje a un total de 5% por alimentador más el alumbrado del circuito derivado y 3% máximo permitido por cada alimentador o circuito derivado hasta alcanzar el total.

A menor longitud del conductor y a mayor sección del mismo, la caída de voltaje es menor, esto se refleja en menor costo de operación y los subsecuentes ahorros debido a las menores perdidas en los conductores.

3.4 CIRCUITO DERIVADO PARA MOTORES

El diagrama general para el circuito derivado de los motores se muestra en el siguiente diagrama:



A = conductores del circuito derivado del motor.

B = medio de desconexión del motor

C = protección del circuito derivado

D = control del motor y protección de operación

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

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

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

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

Las compañías suministradoras han encontrado que además de afectar el alumbrado (por bajo voltaje) en el área en donde se encuentran instalados, tales corrientes de arranque producen disturbios en el voltaje que afectan al equipo de otros usuarios e inclusive sus propios aparatos eléctricos.

Cuando se alimenta a un motor en forma individual, debemos basarnos en la **NOM-001-SEDE-1999** haciendo referencia a la disposición **430-22** referente a un circuito derivado para un motor.

430-22. Un solo motor

a) General. Los conductores del circuito derivado para suministrar energía eléctrica a un solo motor, deben tener capacidad de conducción de corriente no-menor a 125% de la corriente eléctrica nominal (de plena carga).

La caída de tensión global desde el medio de desconexión principal hasta cualquier salida de la instalación, no debe exceder del 5%. Se recomienda que dicha caída de tensión se distribuya razonablemente en el circuito derivado y en el circuito alimentador, de tal manera que en cualquiera de ellos, la caída de tensión no sea mayor de 3%.

***Todos los conductores que estén en derivación van en tubo.**

Como ejemplo para el cálculo del conductor derivado para un motor tomaremos el diagrama unifilar de la **Figura 2.8** que se muestra en el apartado 2.3.

- Calculando la corriente para motores de inducción de 50 HP tenemos:

$$I = \frac{HP}{\sqrt{3}KV_L F.P.} = \frac{50}{\sqrt{3}(0.48)(0.9)} = 66.82 \text{ Amp.}$$

Siguiendo la **NOM-001-SEDE-1999** haciendo referencia a la disposición **430-22** referente a un circuito derivado para un motor tenemos.

$$I_{\text{coregida}} = I \times 1.25 = 83.53 \text{ Amp.}$$

Seleccionando el calibre del conductor por capacidad de conducción con una corriente de 83.53Amp, 60° C y en tubería de acuerdo a la **tabla 3.2**:

Corresponde un calibre del No. 2

- Seleccionando el calibre del conductor por caída de voltaje con una corriente de 66.82Amp y 60 ft = 18m

$$S = \frac{2\sqrt{3}LI}{V_L e\%} = \frac{2\sqrt{3}(18m)(66.82)}{480(2)} = 4.34 \text{ mm}^2$$

De acuerdo a la **tabla 3.2** con un Área = 4.34mm²:

Corresponde un calibre del No. 10

Los valores de la tabla son aplicables cuando se tienen tres conductores como máximo alojados en una canalización.

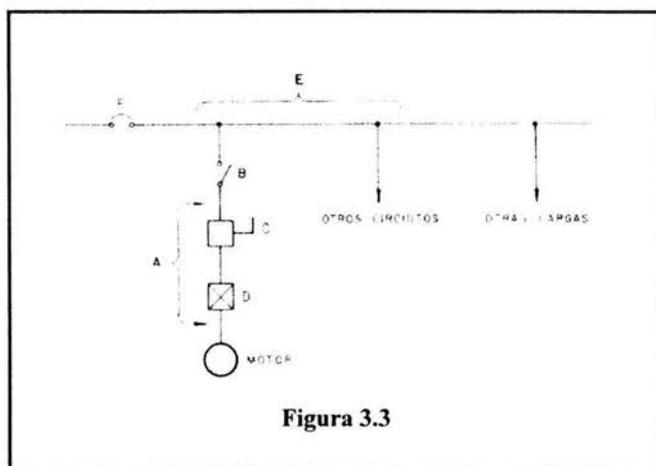
- **Por seguridad se selecciona el calibre del conductor más grande.**

Temperatura máxima del aislamiento	60° C		75° C		90° C		Area mm2
Tipo	TW		THW		THW		
Calibre AWG, MCM	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire	
14	15	20	15	20	25	30	2.081
12	20	25	20	25	30	40	3.309
10	30	40	30	40	40	55	5.261
8	40	55	45	65	50	70	8.366
6	55	80	65	95	70	100	13.300
4	70	105	85	125	90	135	21.150
3	80	120	100	145	105	155	26.670
2	95	140	115	170	120	180	33.630
1	110	165	130	195	140	210	42.410
0	125	195	150	230	155	245	53.480
00	145	225	175	265	185	285	67.420
000	165	260	200	310	210	330	85.030
0000	195	300	230	360	235	385	107.200
250	215	340	255	405	270	425	126.750
300	240	375	285	445	300	480	152.000
350	260	420	310	505	325	530	177.400
400	280	455	335	545	360	575	202.700
500	320	515	380	620	405	660	253.300
600	355	575	420	690	455	740	304.100
750	400	655	475	785	500	845	380.000
1000	455	780	545	935	585	1000	506.700

Figura 3.2

3.5 CALCULO DE ALIMENTADORES PARA MOTORES

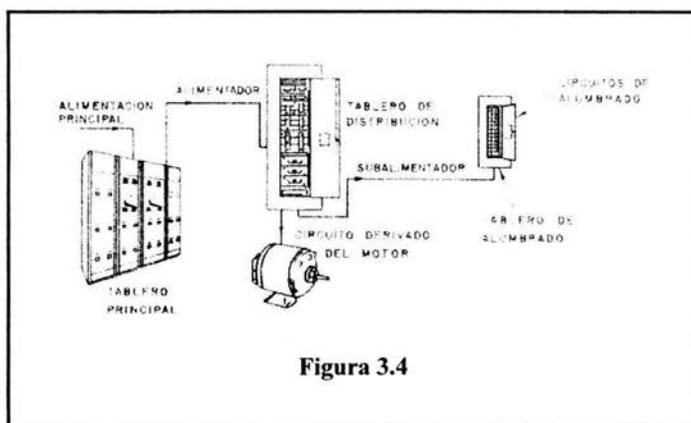
En el cálculo de los circuitos derivados, el alimentador alimenta al circuito derivado del motor y se protege por separado, de manera que para incluir al alimentador se debe usar el diagrama que se muestra en la siguiente figura:



A = Conductores del circuito derivado del motor

B = Medio de desconexión del motor

C = Protección del circuito derivado



A = Conductores del circuito derivado del motor

B = Medio de desconexión del motor.

C = Protección del circuito derivado.

D = Control del motor y protección de operación.

E = Conductores del alimentador.

F = Elemento de protección del alimentador.

El método de cálculo de las componentes del alimentador, es de hecho el mismo que el usado para calcular las componentes del circuito derivado de un motor.

La capacidad de conducción de corriente (ampacidad) de los conductores del alimentador, se debe basar en la **NOM-001-SEDE-1999** haciendo referencia a la disposición **220-10** y **220-24** referente a un circuito alimentador para un motor.

Alimentadores.

220-10. Disposiciones generales

a) Capacidad de conducción de corriente y cálculo de cargas. Los conductores de los alimentadores deben tener una capacidad de conducción de corriente suficiente para suministrar energía a las cargas conectadas. En ningún caso la carga calculada para un alimentador debe ser inferior a la suma de las cargas de los circuitos derivados conectados, tal como se establece en la parte A de este artículo y después de aplicar cualquier factor de demanda.

430-24. Varios motores o motor(es) y otra(s) carga(s).

Los conductores que suministren energía eléctrica a varios motores o a motores y otras cargas deben tener una capacidad de conducción de corriente, cuando menos de la suma de las corrientes a plena carga nominales de todos los motores, más un 25% de la corriente nominal del motor mayor del grupo, más la corriente nominal de las otras cargas determinadas.

$$I_A = 1.25I_{PCM} \text{ mayor} + \sum I_{PC} \text{ otros motores} + I_{otras\ cargas}$$

- Como ejemplo para el cálculo del conductor alimentador para un motor tomaremos el diagrama unifilar que se muestra en el apartado 2.5.

Seleccionando el calibre del conductor por capacidad de conducción con una corriente de 83.53Amp, 60° C y en tubería de acuerdo a la **tabla 3.2**:

- Calculando la corriente para motores de inducción de 50 HP tenemos:

$$I = \frac{HP}{\sqrt{3}KV_L F.P.} = \frac{50}{\sqrt{3}(0.48)(0.9)} = 66.82 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{coregida}} = I \times 1.25 = 83.53 \text{ Amp.}$$

$$I_A = 83.53 + 83.53 + 83.53 \text{ Amp} = 250.43 \text{ Amp.}$$

De la **tabla 3.2** con 250.43 Amp al aire tenemos:

Corresponde un calibre del No. 3/0

- Seleccionando el calibre del conductor por caída de voltaje con una corriente de 250.43Amp y 60 ft = 18m

$$S = \frac{2\sqrt{3}LI}{V_L e\%} = \frac{2\sqrt{3}(18m)(250.43)}{480(3)} = 130.72 \text{ mm}^2$$

De acuerdo a la **tabla 3.2** con un Área = 130.72 mm²:

Corresponde un calibre de 300 MCM

3.6 CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

Un centro de control de motores (ccm) es esencialmente un tablero que se usa en primer término para montar las componentes del alimentador de los motores y de sus circuitos derivados. Desde luego que no necesariamente todas las componentes se deben incluir en el centro de control, por ejemplo, la protección del alimentador se puede instalar en el tablero principal o bien otro ejemplo, la estación de botones se puede localizar en algún lugar más conveniente. En la siguiente figura se muestra una forma de conectar los motores a un centro de control de carga.

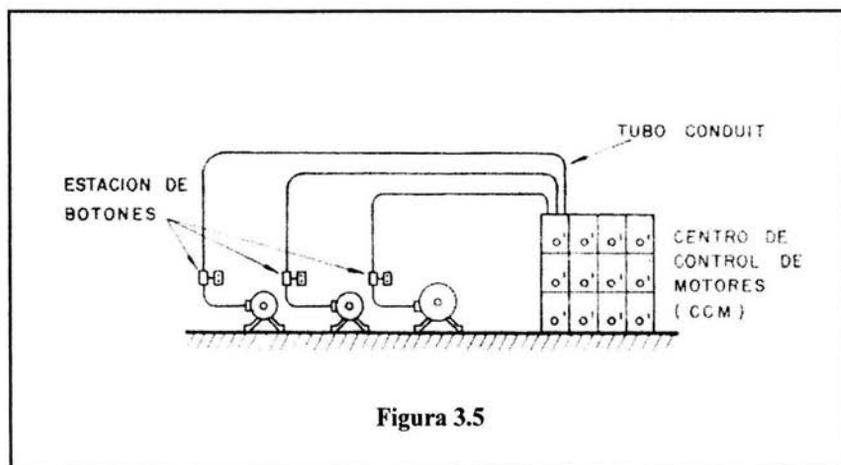


Figura 3.5

El número de secciones en un centro de control de motores depende del espacio que tiene cada una de sus componentes, de manera que si el diseñador sabe que componentes se incluirán, se puede diseñar el centro de control de motores.

El centro de control de motores ofrece las siguientes ventajas:

- Permite que los aparatos de control se alejen de lugares peligrosos.
- Permite centralizar el equipo en el lugar mas apropiado.
- Facilita el mantenimiento y el costo de la instalación es menor.

Para diseñar el centro de control de motores se debe tener en consideración la siguiente información:

1) Elaborar una lista de los motores que estarán contenidos en el CCM indicando para cada motor:

- *Potencia en HP
- *Voltaje de operación
- *Corriente nominal a plena carga.
- *Forma de arranque (tensión plena a tensión reducida)
- *Si tiene movimiento reversible.
- *Lámparas de control e indicadoras.

- 2) Elaborar un diagrama unifilar simplificado de las conexiones de los motores indicando la información principal referente a cada uno.
- 3) Tomando como referencia los tamaños normalizados para centros de control de motores, se puede hacer un arreglo preliminar de la disposición de sus componentes, de acuerdo con el diagrama unifilar, y considerando ampliaciones futuras.
- 4) Las especificaciones principales para un centro de control de motores (ccm) son las siguientes:

-Características del gabinete y dimensiones principales.

Generalmente son del tipo auto soportado de frente muerto para montaje en piso con puertas al frente para permitir el acceso al equipo.

-Arrancadores.

Normalmente son del tipo magnético, con control remoto *y/o* local por medio de botones y elementos térmicos para protección de los motores.

-Interruptores.

Por lo general son del tipo termo magnético en caja moldeada de plástico con operación manual y disparo automático y que pueden ser accionados exteriormente por medio de palancas. Frecuentemente se instala para cada motor una combinación de interruptor y arrancador.

-Barras de conexiones.

Cada centro de control de motores tiene sus barras alimentadoras que son normalmente de cobre electrolítico. Estas barras se encuentran en la parte superior y las conexiones se hacen en la parte inferior.

Como parte de los datos para el diseño de un CCM se debe definir además:

1. La característica y voltaje de la fuente de alimentación.
2. El tipo de gabinete que se empleara en función del punto de instalación del mismo (características ambientales).
3. El número y calibre de los conductores alimentadores.
4. La forma de construcción de los gabinetes, es decir estándar o respaldo contra respaldo.

CAPITULO 4
“ESTUDIO DEL CORTO CIRCUITO EN
INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES”

4.1 INTRODUCCIÓN

Las instalaciones eléctricas industriales, por su tamaño y complejidad, son en ocasiones tan importantes como los sistemas eléctricos de potencia, el uso de las técnicas de análisis usadas en éstos, pueden ser aplicables también en las instalaciones del tipo industrial.

El análisis de los sistemas, es un conjunto de técnicas que se basan en las leyes fundamentales de la electricidad, aplicables principalmente a circuitos trifásicos de corriente alterna. Estas técnicas facilitan el cálculo del comportamiento de los sistemas bajo condiciones específicas, para auxiliar en el diseño de nuevos sistemas, para rediseñar los sistemas existentes, o bien, para, hacer ajustes y modificaciones a partes de las instalaciones.

Los estudios principales de análisis en instalaciones eléctricas industriales incluyen:

- Estudios y cálculos de cortocircuito.
- Selección de dispositivos de protección.
- Coordinación de dispositivos de protección.

Otros aspectos como: arranque de motores, estudios de caída de voltaje y corrección de factores de potencia.

El principal objetivo de este tipo de estudios se realizan de tal manera que se satisfagan los aspectos de:

- Seguridad.
- Confiabilidad de servicio.
- Calidad en el suministro de la energía.
- Diseño de instalaciones fáciles de operar y mantener.
- Facilidad en la ampliación, cuando sea necesario.
- Costos iniciales y de operación mínimos.

Las condiciones de operación anormales contra las que se deben proteger los sistemas eléctricos son el **cortocircuito y las sobrecargas**.

El cortocircuito puede tener su origen en distintas formas, por ejemplo, fallas de aislamiento, fallas mecánicas en el equipo, fallas en el equipo por sobrecargas excesivas y repetitivas, etcétera.

Las sobrecargas se pueden presentar también por causas muy simples, como pueden ser instalaciones inapropiadas, operación incorrecta del equipo, por ejemplo, arranques frecuentes de motores, ventilación deficiente, períodos largos de arranque de motores.

En el diseño de sistemas eléctricos, se han desarrollado varias técnicas para minimizar los efectos de las anomalías que ocurren en el mismo, de tal forma que se diseña el sistema para que sea capaz de:

- a) Aislar rápidamente la porción afectada del sistema, de manera que se minimice el efecto y se mantenga el servicio tan normal como sea posible.
- b) Reducir el valor de la corriente de cortocircuito, para reducir los daños potenciales al equipo o partes de la instalación.
- c) Proveer al sistema, siempre que sea posible, de medio de recierre automático, para minimizar la duración de fallas de tipo transitorio.

De acuerdo con lo anterior, la función de un sistema de protección se puede definir como: **"la detección y pronto aislamiento de la porción afectada del sistema, ya sea que ocurra en cortocircuito, o bien, en otra condición anormal que pueda producir daño a la parte afectada o a la carga que alimenta"**.

4.2 EQUIPO BÁSICO DE PROTECCIÓN

Para aislar un cortocircuito o una sobrecarga, se requiere de la aplicación de equipo de protección que pueda cumplir con ambas funciones, para desconectar la parte afectada del sistema.

En algunos casos, el elemento sensor y el dispositivo de interrupción son elementos completamente separados e interconectados sólo por los cables de control; en otros, los sensores y los dispositivos de interrupción se encuentran en un mismo dispositivo. Un fusible cumple con ambas funciones, es un elemento sensor y de interrupción, se conecta en serie con el circuito y responde a los efectos térmicos producidos por la circulación de corriente a través del mismo.

Los interruptores son sólo dispositivos de interrupción que se deben usar necesariamente con elementos sensores (relevadores).

En el diseño de un sistema eléctrico de potencia para instalaciones industriales, debe determinar el requerimiento de carga, incluyendo los tamaños y tipos de las mismas, así como cualquier requerimiento de tipo especial. Se debe también disponer del valor del en el

punto de conexión y la red de suministro eléctrico o de entrega de ésta a la instalación, y conocer las características de los dispositivos de protección de la compañía suministradora; entonces, el diseño debe comenzar con un cálculo preliminar del sistema que cubra los fundamentos del cortocircuito, de manera que permita el diseño preliminar y la selección correcta de los dispositivos de protección.

4.3 VALORES EN PORCIENTO Y EN POR UNIDAD

Los sistemas eléctricos de potencia y las instalaciones industriales operan en sistemas en donde la unidad de voltaje más común es el Kilovolt (kV), donde se manejan valores de potencia tales que, el kilovolt-ampere (KVA) es una unidad común en los sistemas trifásicos.

Estas cantidades, junto con la corriente y los valores de impedancias, se expresan en forma común en por unidad o en porciento para simplificar notación y cálculos, en especial cuando en un mismo sistema eléctrico se manejan distintos niveles de voltaje y distintos valores de potencia en los equipos.

Estos conceptos son aplicables a sistemas eléctricos trifásicos balanceados o con un nivel de desbalance tolerable.

Definiciones de cantidades en por unidad y en porciento.

- Una cantidad en porciento es 100 veces una cantidad en por unidad.
- Un valor en por unidad o cualquier cantidad expresada en por unidad, es la relación de esta cantidad entre un valor denominado como base. El resultado se expresa como una cantidad adimensional.

Los valores reales actuales, tales como voltaje (V), corriente (I), potencia (P), potencia reactiva (Q), volt-ampere (VA), resistencia (R), reactancia (X) e impedancia (Z), se pueden expresar en por unidad o en porciento, de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$\text{Cantidad en por unidad} = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Cantidad base en las mismas unidades}}$$

Para sacar los valores por unidad de cada uno de los elementos de nuestro diagrama de potencia usaremos las siguientes ecuaciones:

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \frac{KVA_B}{KVA} \dots\dots\dots\text{ecuación 4.1}$$

donde:

\bar{X}_2 es el valor de la reactancia de la nueva base en valor por unidad.

\bar{X}_1 es el valor de la reactancia de tablas del elemento en valor por unidad.

KVA_B es el valor de la nueva base seleccionada.

KVA son los KVA nominales del elemento.

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} \dots\dots\dots\text{ecuación 4.2}$$

donde:

\bar{X}_2 es el valor de la reactancia de la nueva base en valor por unidad.

$X_1 \Omega$ es el valor de la reactancia de tablas del elemento en valor de ohms.

KVA_B es el valor de la nueva base seleccionada.

KV es el valor de voltaje al que esta conectado el elemento.

Cantidad en por ciento = (Cantidad en por unidad) x 100

Donde la "**cantidad**" es un valor escalar o complejo, expresado en sus propias unidades, tales como: volts, amperes, ohms, volt-amperes o watts.

La llamada "**cantidad base**" a valor base, se refiere a un valor de referencia, seleccionado en forma arbitraria o a conveniencia para la misma cantidad y en las mismas unidades.

Por lo tanto, las cantidades en por unidad o en por ciento son cantidades adimensionales.

Ventajas de las cantidades en por unidad y en por ciento.

Algunas de las ventajas de usar cantidades en por unidad o en por ciento son:

1. Su representación resulta ser una forma más directa de comparar datos ya que las magnitudes relativas se pueden comparar directamente.
2. El valor equivalente en por unidad es el mismo para cualquier transformador, ya sea que

se refiera al lado primario o al lado secundario.

3. La impedancia en por unidad (p.u.) de un transformador en un sistema trifásico es la misma, en forma independiente del tipo de conexión que tenga (delta-estrella, delta-delta, etcétera).
4. El método en por unidad es independiente de los cambios de voltaje y de los desfases.
5. Los fabricantes de equipo eléctrico, por lo general especifican la impedancia de los mismos en por unidad o en por ciento a la base de sus datos de placa (potencia en KVA, voltaje en kV), por lo que estos valores se pueden usar directamente en sus propias bases.
6. Los valores en por unidad de impedancias de los equipos caen dentro de una banda muy estrecha, en tanto que los valores en ohms lo hacen en un rango muy amplio. Por esta razón, es más frecuente encontrar valores característicos de impedancias de los equipos en por unidad.
7. Hay menos posibilidad de confusión entre valores trifásicos o monofásicos o entre voltajes entre fases o de fase a neutro.
8. Los valores en por unidad resultan ideales para los estudios por computadora digital.
9. Para estudios de cortocircuito, los voltajes de las fuentes se pueden tomar como 1.0 por unidad.
10. El producto de cantidades en por unidad, da una cantidad en por unidad.

4.4 CÁLCULO DEL CORTO CIRCUITO

Uno de los aspectos a los que se les pone mayor atención en el diseño de los sistemas de potencia, es el control adecuado de los cortocircuitos o de las fallas, como se les conoce comúnmente, ya que éstas pueden producir interrupciones de servicio con la consecuente pérdida de tiempo, la interrupción de facilidades importantes o servicios vitales y, desde luego, el riesgo de daño a personas, equipos e instalaciones.

Aún con todas las precauciones y medidas antes mencionadas, las fallas ocurren, algunas de las causas principales son las siguientes:

- Sobre tensiones de origen atmosférico.
- Envejecimiento prematuro de los aislamientos.
- Falsos contactos y conexiones.
- Presencia de elementos corrosivos. Humedad.

- Presencia de roedores. Errores humanos.
- Y aún las llamadas causas desconocidas.

Cuando ocurre un cortocircuito, se presentan situaciones inconvenientes que se manifiestan con distintos fenómenos, como son:

1. En el punto de la falla se puede presentar un fenómeno de arco eléctrico o fusión de los metales mismos.
2. Las corrientes de cortocircuito, circulan de las fuentes (alimentación de la red y máquinas rotatorias) hacia el punto de la falla.
3. Todas las componentes de la instalación por donde circulan las corrientes de cortocircuito, se ven sujetas a esfuerzos térmicos y dinámicos; éstos varían con el cuadrado de la corriente (I^2) y de la duración de la corriente (seg.).
4. Las caídas de voltaje en el sistema están en proporción a la magnitud de las corrientes de cortocircuito. La caída de voltaje máxima se presenta en el punto de ocurrencia de la falla (es prácticamente cero para el valor máximo de falla).

Por todos los disturbios que produce la ocurrencia de un cortocircuito, las fallas se deben remover tan rápido como sea posible, y esta es justamente la función de los dispositivos de protección (interruptores, fusibles, etcétera). De hecho, para cumplir con esta función, los dispositivos de protección, deben tener la capacidad de interrumpir la máxima corriente de cortocircuito que pueda circular para una falla en el punto de localización del dispositivo de interrupción.

El máximo valor de la corriente de cortocircuito está directamente relacionado al tamaño y capacidad de la fuente de potencia, y es independiente de la corriente de carga del circuito protegido por el dispositivo de protección.

Entre mayor es la capacidad de cortocircuito de la fuente de potencia, mayor es la corriente de cortocircuito.

Fuentes de cortocircuito.

Cuando se hace un estudio para determinar la magnitud de las corrientes de cortocircuito, es muy importante que se consideren todas las fuentes de cortocircuito y que las características de las impedancias de estas fuentes sean conocidas. Las fuentes de cortocircuito son principalmente las siguientes:

***Toda máquina rotativa genera corriente de corto circuito.**

- A) Los generadores.
- B) Los motores síncronos.
- C) Los motores de inducción.
- D) La compañía suministradora de energía eléctrica.

A) Generadores.

Como se sabe, los generadores eléctricos están accionados por turbinas o primomotores, de modo que cuando ocurre un corto circuito en el circuito alimentado por el generador, éste tiende a seguir produciendo voltaje debido a que la excitación del campo se mantiene y el primo-motor continúa accionando al generador a la velocidad normal. El voltaje generado produce una corriente de cortocircuito de gran magnitud que circula del generador (o generadores) al punto del cortocircuito. El valor de esta corriente, se encuentra limitada sólo por la impedancia del generador y la del circuito entre el generador y el punto de la falla. Si se trata de un cortocircuito en las terminales del generador, la corriente sólo está limitada por la propia impedancia de éste.

***Los generadores sólo se incluyen su reactancia subtransitoria (X'') en el estudio de corto circuito.**

B) Motores síncronos.

Los motores síncronos se construyen en forma muy parecida a los generadores, es decir: tienen un devanado de campo excitado por corriente directa y un devanado del estator por el cual circula la corriente alterna. El motor síncrono demanda corriente alterna del sistema y la transforma en energía mecánica.

Cuando se presenta el cortocircuito en el sistema, el voltaje en éste se reduce a un valor muy bajo. En consecuencia, el motor suspende la entrega de energía a la carga mecánica e inicia su frenado lentamente. Sin embargo, justo como el primo motor acciona al generador, la inercia de la carga y el rotor del motor accionan al motor síncrono, entonces, el motor síncrono se convierte en generador y entrega la corriente de cortocircuito por varios ciclos después de que el cortocircuito ha ocurrido. El valor de la corriente de cortocircuito producida por el motor depende de la impedancia del mismo y de la del sistema al punto del cortocircuito. Los motores síncronos presentan reactancia subtransitoria (X'') y transitoria (X').

***Los motores síncronos se incluye su reactancia subtransitoria (X'') y la transitoria (X') en el estudio de corto circuito.**

C) Motores de inducción.

La inercia de la carga y el rotor de un motor de inducción, tienen el mismo efecto sobre un motor síncrono que sobre un motor de inducción, es decir, acciona el motor después de que ocurre el cortocircuito en el sistema. Sin embargo, existe una diferencia importante: el motor de inducción no tiene devanado de excitación en corriente continua, pero existe un flujo en el motor de inducción durante la operación normal, que actúa como el producido por el devanado de campo en corriente continua en el motor.

El campo del motor de inducción, es producido por la inducción del estator, en forma análoga se proviene del devanado de corriente continua.

El flujo del rotor permanece normal en la medida que el voltaje es aplicado al estator por la fuente externa. Sin embargo, si la fuente externa de voltaje fuera súbitamente removida, como ocurre cuando se presenta un cortocircuito en el sistema, el flujo en el rotor no puede decaer instantáneamente.

Debido a que el flujo en el rotor no puede decaer en forma instantánea y porque la inercia de las partes rotatorias accionan al motor de inducción, se genera un voltaje en el devanado del estator, esto produce que una corriente de cortocircuito circule hacia la falla, hasta que el flujo del rotor decae a cero. La corriente de cortocircuito desaparece casi por completo en alrededor de cuatro ciclos, debido a que no hay una corriente de campo sostenida en el rotor para proporcionar un flujo, como en el caso de la máquina síncrona.

El flujo no es suficiente como para mantener la corriente de cortocircuito por mucho tiempo, de modo que afecta sólo momentáneamente el comportamiento del interruptor y la capacidad de interrupción en dispositivos que interrumpen en alrededor de dos ciclos, de aquí que la inclusión de los motores de inducción en estudios de cortocircuito se deba hacer en ciertos casos.

La magnitud de la corriente de cortocircuito producida por un motor de inducción, depende de la impedancia del propio motor y de la impedancia del sistema en el punto de ocurrencia de la falla. La impedancia de la máquina efectiva en el momento del cortocircuito, corresponde muy aproximadamente a la impedancia a rotor bloqueado. Consecuentemente, el valor inicial de la corriente de cortocircuito, es aproximadamente

igual al valor de la corriente de arranque a rotor bloqueado del motor.

***Los motores de inducción sólo se incluyen su reactancia subtransitoria (X'') en el estudio de corto circuito debido a que sólo influyen hasta dos ciclos.**

D) Alimentación de la fuente de suministro de la red (compañía suministradora)

La alimentación a las industrias o comercios, se hace por lo general de una fuente externa que proporciona la compañía suministradora de energía, esto se hace en alta tensión y pasa a través del transformador de la subestación. La compañía suministradora en el punto de conexión a la industria, representa un equivalente de Thevenin de toda la red que se encuentra detrás, por lo que es en realidad una fuente importante de contribución de la corriente de cortocircuito. La compañía suministradora es la encargada de proporcionar en el punto de conexión el valor de la potencia a la corriente de cortocircuito, como un valor equivalente de la red o sistema detrás de ese punto.

El valor total de la corriente de cortocircuito en un punto de la red, es la suma de las contribuciones de cada uno de los elementos con la intensidad y duración de cada caso. En la figura siguiente, se muestra teóricamente como ocurriría esto:

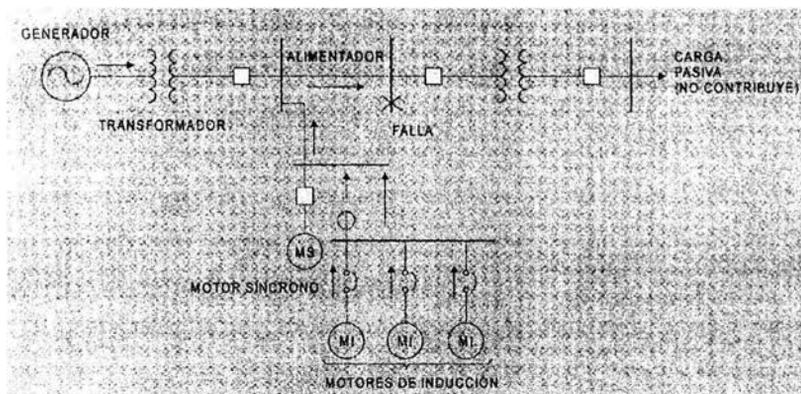


Figura 4.1

- Los elementos que alimentan la falla (activos) son: el generador, el motor síncrono y los motores de inducción.
- Los elementos que se oponen al paso de la corriente de falla (pasivos) son: la impedancia de los propios elementos activos de los alimentadores, barras y transformadores principalmente.

Las expresiones para analizar la variación de las reactancias en cualquier instante, requieren de una formulación complicada que involucra al tiempo como una de las variables.

Se consideran tres valores de reactancias para generadores y motores en el cálculo de cortocircuito en tiempo específico. Estos valores se conocen como:

Reactancia subtransitoria (X''_d)

Reactancia transitoria (X'_d)

Reactancia síncrona (X_s).

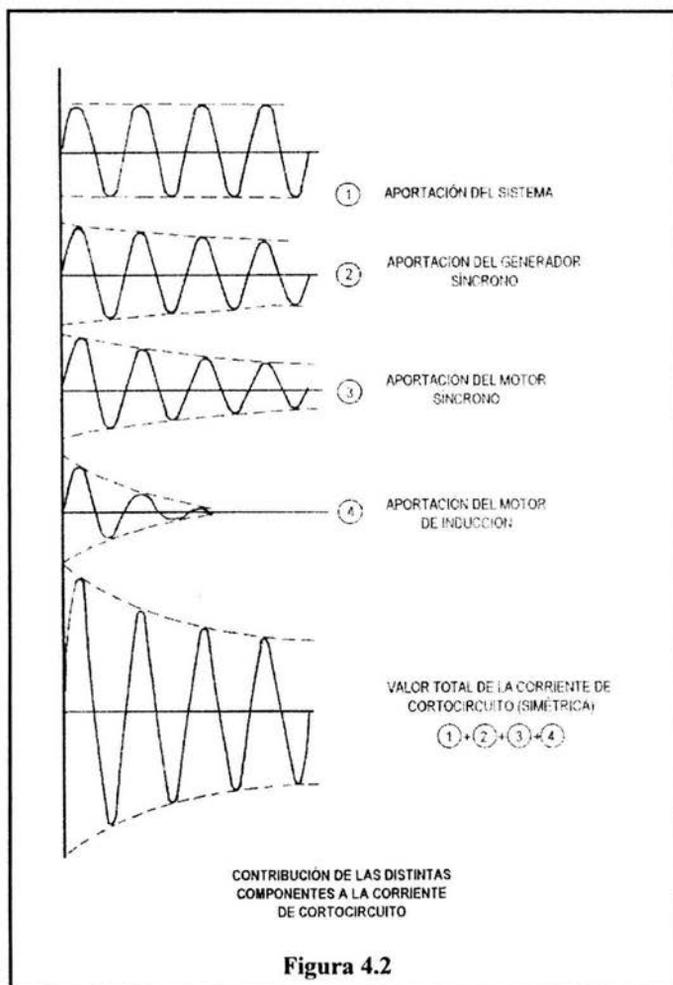


Figura 4.2

Los valores de las reactancias se describen como sigue:

a) Reactancia subtransitoria (X''_d).

Es la reactancia aparente del devanado del estator en el instante en que ocurre el cortocircuito y determina el valor de la corriente que circula durante los primeros pocos ciclos después de la falla.

b) Reactancia transitoria (X'_d).

Esta reactancia determina la corriente que sigue al período cuando la reactancia subtransitoria decae. la reactancia transitoria es efectiva después de uno y medio ciclos, esto, dependiendo del diseño de la máquina.

c) Reactancia síncrona (X_s).

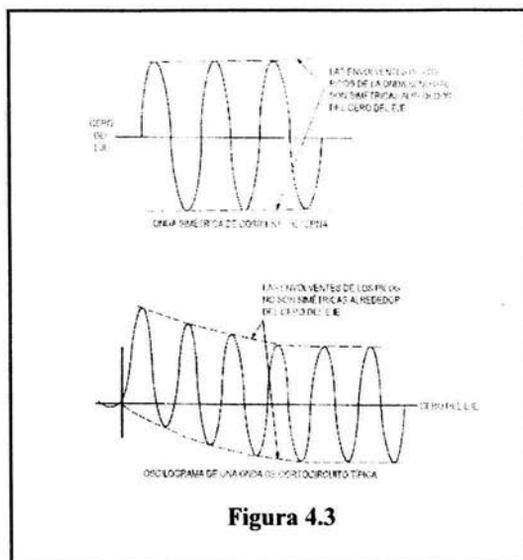
Esta reactancia es la que determina la corriente que circula cuando se llega a la condición de estado permanente. No es efectiva hasta después de varios segundos de que ocurre el cortocircuito, por lo que no se usa normalmente en los estudios de cortocircuito.

Los motores síncronos tienen las mismas reactancias que los generadores, pero desde luego con diferente valor.

Los motores de inducción, por su parte, no tienen devanado de campo, pero las barras del rotor actúan como el devanado de amortiguamiento de un generador. Por lo tanto, se dice que los motores de inducción tienen reactancia subtransitoria.

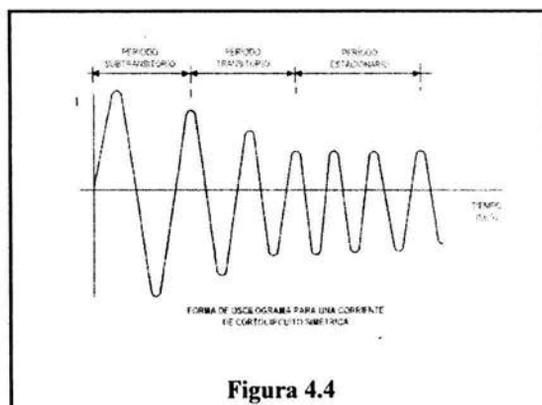
Corrientes de cortocircuito simétricas y asimétricas.

Las palabras "**simétrica**" y "**asimétrica**" describen la forma de las ondas de corriente alterna, alrededor de su eje cero. Si las equivalentes de los picos de las ondas de corriente son simétricas alrededor del eje cero, se les denomina "envolventes de corriente simétrica": Si las envolventes no son simétricas alrededor del cero, se les denomina entonces "envolventes de corriente asimétrica".



La mayoría de **las corrientes de cortocircuito son casi siempre simétricas**, durante los primeros ciclos después de la ocurrencia del cortocircuito. La **corriente simétrica está en su máximo durante el primer ciclo** después que el cortocircuito ocurre y en unos pocos ciclos más tarde se transforma en asimétrica.

*Nota: Para voltajes menores a 600 volts no es de interés para el cálculo de corto circuito determinar la corriente de corto circuito asimétrica ni tampoco los KVA de corto circuito asimétricos.



El cálculo del valor preciso de una corriente asimétrica en un tiempo dado después de la inserción de una falla, se obtiene por el uso apropiado de la impedancia en la ecuación básica:

$$I = V/Z$$

Donde:

V = Tensión en el sistema.

Z ó X = Impedancia equivalente del sistema que incluye a la red y las fuentes de cortocircuito.

Tipos de fallas en los sistemas eléctricos de potencia industriales.

Las fallas que se pueden presentar son las que se indican a continuación:

Falla trifásica sólida.

Una falla trifásica sólida describe la condición en que los tres conductores, es decir, las tres fases, se unen físicamente con un valor de cero impedancia entre ellas, como si se soldaran o atornillaran físicamente.

Aún cuando este tipo de condiciones de falla no es el más frecuente en ocurrencia, resulta por lo general el de mayor valor y, por esta razón, resulta el cálculo básico para las instalaciones industriales y comerciales.

Falla de fase a fase sólida.

En la mayoría de los sistemas trifásicos, los niveles de falla sólida de fase a fase son de aproximadamente el 87% de la corriente de falla trifásica sólida, debido a esto, el cálculo de esta falla no siempre se requiere, ya que no representa el máximo valor.

Falla de línea (fase) a tierra sólida.

En sistemas con el neutro sólidamente conectado a tierra, la falla sólida de fase a tierra es por lo general igual o ligeramente menor que la falla sólida trifásica, excepto cuando se conectan los neutros a tierra a través de un valor elevado de impedancia, donde el valor de corriente es significativamente menor.

El cálculo de la falla de línea a tierra, es necesario en las instalaciones comerciales e industriales que tienen el neutro sólidamente aterrizado en el lado de bajo voltaje. Para el cálculo de la falla de línea a tierra, se requiere del uso de técnicas por componentes simétricas, ya que la corriente de falla a tierra se puede calcular como se muestra en la siguiente figura.

Este valor de Z_N en las instalaciones industriales, puede ser una resistencia, cuyo valor se selecciona de manera que limite la corriente de falla a tierra a un valor entre 400 y 2000 amperes.

The figure shows a formula for fault current I_f and a list of variables. The formula is $I_f = \frac{3V}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N}$. The variables are defined as follows:

Donde:

- V = Voltaje de línea a neutro.
- Z_1 = Impedancia de secuencia positiva
- Z_2 = Impedancia de secuencia negativa
- Z_0 = Impedancia de secuencia cero.
- Z_N = Impedancia de conexión a tierra del neutro.

Figura 4.5

El cálculo de los valores de cortocircuito resulta relativamente simple con un procedimiento de paso a paso, éste, debe proporcionar las bases para la realización de los cálculos de cortocircuito para la mayoría de los tipos de instalaciones industriales y comerciales, para sistemas cuya tensión de alimentación sea de 115 kV, con voltajes de distribución o utilización de 13.8 kV, 4.16 kV, 2.4 kV, 440 V ó 220 V.

Los siguientes pasos identifican las consideraciones básicas para la realización de cálculos de cortocircuito; desde luego que, con la práctica, algunos de estos pasos se pueden combinar o simplificar. Por ejemplo, en el uso de un diagrama unifilar o de impedancias, los pasos básicos son los siguientes:

1. Preparar un diagrama unifilar del sistema, incluyendo todas las componentes significativas del mismo.
2. Determinar los puntos de falla y el tipo de corriente de cortocircuito a determinar, basado en el objeto del mismo.
3. Preparar el diagrama de impedancias correspondiente, reemplazando cada elemento por su impedancia y cada fuente de cortocircuito (generador, motor, grupo de motores, red de alimentación) por una fuente de voltaje en serie con una reactancia e impedancia.
4. Para el punto de falla designado y las condiciones de falla, reducir la red, de manera que se obtenga una impedancia equivalente entre el punto de falla y la fuente.

Estos métodos simplificados se basan en el cálculo de la corriente de cortocircuito simétrico, modelando cada generador como una fuente de voltaje detrás de la reactancia

2. Determinar los puntos de falla y el tipo de corriente de cortocircuito a determinar, basado en el objeto del mismo.

-Para la falla ejemplificada en el diagrama necesitamos conocer todos los caminos por donde circulan las corrientes de corto circuito, así como calcular los valores de cada uno de los elementos para poder calcular la corriente de corto circuito $I_{ccSimétrica}$ y los $KVA_{ccSimétrico}$, los $I_{ccAsimétrica}$ y los $KVA_{ccAsimétrico}$ no se calculan ya que desaparecen después de tres ciclos y no es de gran ayuda para el estudio de corto circuito.

3. Preparar el diagrama de impedancias correspondiente, reemplazando cada elemento por su impedancia y cada fuente de cortocircuito (generador, motor, grupo de motores, red de alimentación) por una fuente de voltaje en serie con una reactancia e impedancia.

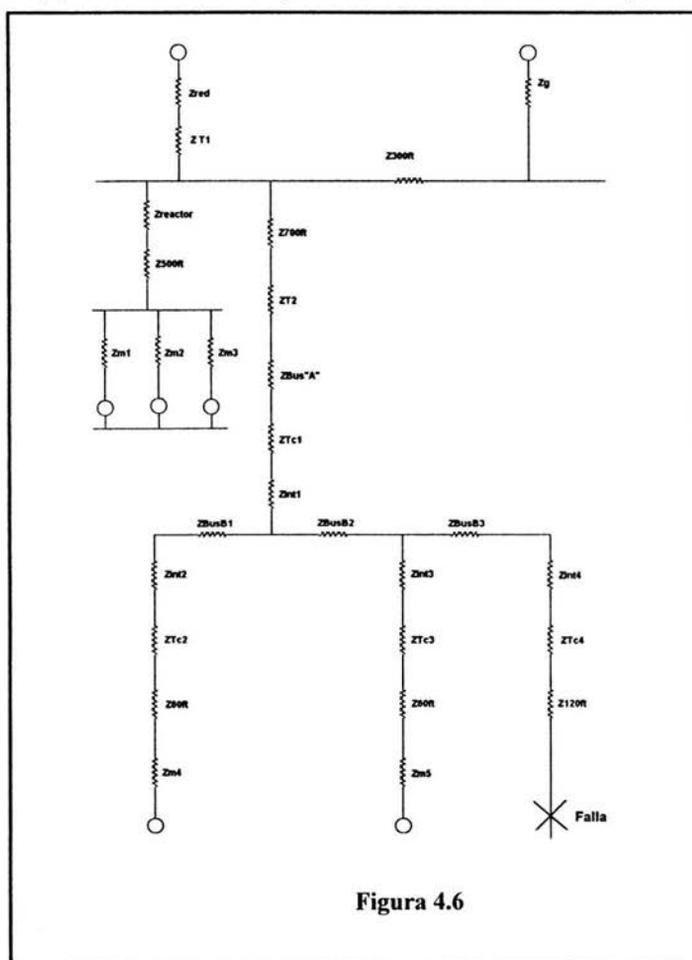


Figura 4.6

Para empezar a hacer los cálculos de cada uno de los valores que aportan corriente de corto circuito utilizaremos los conceptos que hemos visto hasta este momento. Sacando valores por unidad tenemos que la base es de $10,000 = KVA_B$.

- **Para compañía suministradora 69KV y 1,000,000 KVA**

Tenemos que:

$$KVA_{CC} = \frac{KVA_B}{Z_{eq}}$$

Despejando la Z_{eq} de la red de la compañía suministradora:

$$\bar{Z}_{eq} = \frac{KVA_B}{KVA_{CC}} = \frac{10,000}{1,000,000} = 0.01 pu$$

- **Para el T₁ de 3000 KVA tenemos que:**

De la tabla Tabla 4.11 reactancias de transformadores por unidad con 3000 KVA y 69KV le corresponde un valor de $\bar{X}_1 = 0.070 pu$.

De la ecuación 4.1 : $\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \frac{KVA_B}{KVA} = 0.070 \left(\frac{10000}{3000} \right) = 0.23 pu$.

- **Para el reactor con 150 Amps. y 6% IZ:**

Tenemos que: $KVA = \sqrt{3} KV_L I_L = \sqrt{3} (4.16) (150 A) = 1080 KVA$

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \frac{KVA_B}{KVA} = 0.06 \left(\frac{10000}{1080} \right) = 0.555 pu$$

- **Para cable de 500 ft con cables: 2-3/c No. 3/0 con ¼" de separación de conductores.**

Tenemos que: $X_{tot} = X_a + X_d$

De la tabla Tabla 4.12 constantes de conductores de cobre con conductores de No. 3/0:
 $X_a = 0.0981 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft}$

De la tabla Tabla 4.13 a con ¼ " de separación de conductor:

$$X_d = -0.0636 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft}$$

$$X_{Tot} = 0.0981 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft} - 0.0636 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft} = 0.0345 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft}$$

Sacando el resultado para 500 ft: $0.0345 \Omega / \text{cond} / \text{-----} 1000 \text{ft}$

$$X \text{ -----} 500 \text{ft}$$

$$X_{\Omega} = 0.0172 \Omega$$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.0172(10000)}{(4.16)^2 (1000)} = 0.00993 pu$$

- **Para motores síncronos con 300HP, 6 polos.**

De la tabla 4.9 valores de reactancia para máquinas síncronas tenemos que:

$$X'' = 0.15 pu$$

$$X' = 0.23 pu$$

$X'' =$ reactancia subtransitoria 0-4 ciclos

$X' =$ reactancia transitoria 4-8 ciclos

*Para el análisis de corto circuito los motores síncronos sólo se incluye su reactancia subtransitoria ya que la corriente subtransitoria actúa dentro de los primeros ciclos.

*Para motores síncronos se tiene que: $KVA = 0.8 \times HP = 0.8 \times 300HP = 240 KVA$

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \frac{KVA_B}{KVA} = 0.15 \left(\frac{10000}{240} \right) = 6.25 pu.$$

- **Para cable de 700 et con un cable de: 1-3/C No. 1/0 con ½ " de separación de conductores.**

De la tabla 4.12 $X_a = 0.103 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft}$ y $X_d = -0.0729 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft}$

$$X_{\text{Tot}} = 0.103 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft} - 0.0729 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft} = 0.0301 \Omega / \text{cond} / 1000 \text{ft}$$

Sacando el resultado para 500 ft: $0.0301 \Omega / \text{cond} / \text{-----} 1000 \text{ft}$

$$X \text{ -----} 700 \text{ft}$$

$$X \Omega = 0.02107 \Omega$$

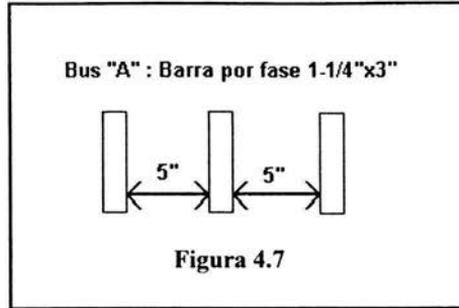
$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.02107(10000)}{(4.16)^2 (1000)} = 0.0121 pu$$

- **Para T₂ con 400 KVA**

De la tabla 4.11 tenemos que: $\bar{X}_1 = 0.050 pu.$

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \frac{KVA_B}{KVA} = 0.050 \left(\frac{10000}{400} \right) = 1.25 pu.$$

- Para Bus "A" de 12 ft



Sacando DMG:

$$S = (S_1 S_2 S_3)^{1/3} = \sqrt[3]{(5)(5)(10)} = 6.29''$$

Con $S=6.29''$ tenemos una reactancia de $X = 48 \times 10^{-6} \Omega/\text{ft}$

$$X_1 \Omega = 48 \times 10^{-6} \Omega/\text{ft} (12\text{ft}) = 576 \times 10^{-6} \Omega$$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{576 \times 10^{-6} (10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.025 pu$$

- Para Tc1 de 600-5 de la tabla 4.15 tenemos una reactancia de $X = 0.00019 \Omega$

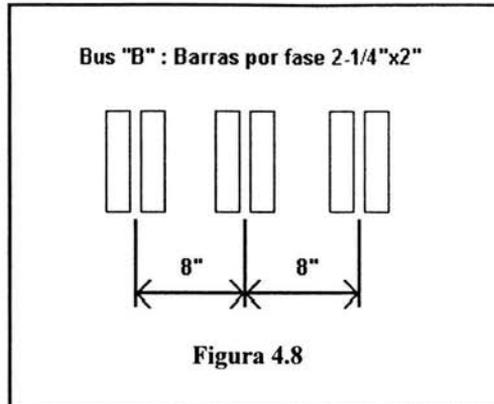
$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.00019 (10000)}{(4.16)^2 (1000)} = 0.0000751 pu$$

- Para Interruptor1 de 600 Amp.

De la tabla 4.14 tenemos una reactancia de $X = 0.0002$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.0002 (10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.003038 pu$$

- Para Bus "B" de 2 ft cada sección.



Sacando DMG:

$$S = (S_1 S_2 S_3)^{1/3} = \sqrt[3]{(8)(8)(16)} = 10.07''$$

Con $S=10.07''$ tenemos una reactancia de $X = 65 \times 10^{-6} \Omega/\text{ft}$

$$X_1 \Omega = 65 \times 10^{-6} \Omega/\text{ft} (2\text{ft}) = 130 \times 10^{-6} \Omega$$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{130 \times 10^{-6} (10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.00564 pu$$

- Para interruptor 2 y 3 de 100 Amp

De la tabla 4.14 tenemos una reactancia de $X = 0.004$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.004 (10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.173 pu$$

- Para transformador de corriente 2, 3 y 4 de 100-5

De la tabla 4.15 tenemos una reactancia de $X = 0.0022 \Omega$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.0022 (10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.0954 pu$$

- **Para cable de 60 ft con un cable de 3-1/C No.4/0 con ½ “ de separación de conductores equivalente delta.**

De la tabla 4.12 $X_a = 0.0953\Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$ y $X_d = -0.0571\Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$

$$X_{\text{Tot}} = 0.0953\Omega/\text{cond}/1000\text{ft} - 0.0571\Omega/\text{cond}/1000\text{ft} = 0.0382\Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$$

Sacando el resultado para 120 ft: $0.0382\Omega/\text{cond}/\text{-----}1000\text{ft}$

$$X \quad \text{-----}60\text{ft}$$

$$X\Omega = 0.00224\Omega$$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_H}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.00224(10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.1828 pu$$

- **Para motores de inducción con 50 HP**

De la tabla 4.10 tenemos una reactancia de $X'' = 0.25$

Para los motores de inducción tenemos que los KVA \cong HP

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_1 \frac{KVA_H}{KVA} = 0.25 \left(\frac{10000}{50} \right) = 50 pu.$$

- **Para interruptor 4 de 75 Amp.**

De la tabla 4.14 tenemos una reactancia de $X = 0.004\Omega$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_H}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.004(10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.173 pu$$

- **Para cable de 120 ft con cables de: 3-1/C No.2 con ½ “ de separación de conductores equivalente delta.**

De la tabla 4.12 $X_a = 0.108\Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$ y $X_d = -0.0729\Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$

$$X_{\text{Tot}} = 0.108\Omega/\text{cond}/1000\text{ft} - 0.0729\Omega/\text{cond}/1000\text{ft} = 0.0351\Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$$

Sacando el resultado para 120 ft: $0.0351\Omega/\text{cond}/\text{-----}1000\text{ft}$

$$X \quad \text{-----}120\text{ft}$$

$$X\Omega = 0.00421\Omega$$

Tablas de el capítulo 4.

Valores típicos de reactancia para máquinas síncronas por unidad en índices de máquina de KVA		
Máquinas síncronas	X''	X'
*Generadores de turbina		
Dos polos	0.09	0.15
Cuatro polos	0.15	0.23
*Generadores de polos salientes con embobinados amortiguantes.		
Doce polos o menos	0.16	0.33
Catorce polos o más	0.21	0.33
Motores síncronos		
Seis polos	0.15	0.23
Ocho - catorce polos	0.2	0.3
*Condensadores síncronos		
	0.24	0.37
*Convertidores síncronos		
600 Volts c.d.	0.2	-
250 Volts c.d.	0.33	-

Tabla 4.9

Valores típicos de reactancia para motores de inducción por unidad en índices de máquina de KVA (índices de HP)		
Voltajes de operación	X''	X'
Arriba de 600 Volts	0.17	-
600 Volts y menores	*0.25	-

Tabla 4.10

Reactancias típicas de transformadores por unidad en clasificación KVA de transformadores			
Clasificación del voltaje primario	Banco KVA (trifásico o tres fases únicas)		
	25-100	100-500	más de 500
2400/4160 V	0.15-0.16	0.5	0.055
13.8 KV	0.15-0.25	0.5	0.055
46 KV	-	0.06	0.065
69 KV	-	0.065	0.07

Tabla 4.11

Constantes de conductores de cobre para un pie de espaciamento simétrico			
Medida del conductor		Ra Resistencia ohms/cond/1000ft a 50°C, 60Hz	Xa Reactancia a 1ft de espaciamento, ohms/cond/1000ft, 60Hz
Circular Mils	AWG (American Wire Gage)		
1,000,000		0.013	0.0758
900,000		0.0142	0.0769
800,000		0.0159	0.0782
750,000		0.0168	0.079
700,000		0.0179	0.08
600,000		0.0206	0.0816
500,000		0.0246	0.0839
450,000		0.0273	0.0854
400,000		0.0307	0.0867
350,000		0.0348	0.0883
300,000		0.0407	0.0902
250,000		0.0487	0.0922
211,600	4/0	0.0574	0.0953
167,800	3/0	0.0724	0.0981
133,100	2/0	0.0911	0.101
105,500	1/0	0.115	0.103
83,690	1	0.145	0.106
66,370	2	0.181	0.108
52,630	3	0.227	0.111
41,740	4	0.288	0.113
33,100	5	0.362	0.116
26,250	6	0.453	0.121
20,800	7	0.57	0.123
16,510	8	0.72	0.126

Tabla 4.12

Reactancia del factor de espaciamento (Xd) 60 Hz, ohms/cond/1,000ft				
Pulgada	Separación de pulgada			
	0	1/4	1/2	3/4
0	-	-	-0.0729	-0.0636
1	-0.0571	-0.0519	-0.0477	-0.0433
2	-0.0412	-0.0384	-0.0359	-0.0339
3	-0.0319	-0.0301	-0.0282	-0.0267
4	-0.0252	-0.0238	-0.0225	-0.0212
5	-0.0201	-0.01795	-0.01795	-0.01684
6	-0.0159	-0.01494	-0.01399	-0.01323
7	-0.0124	-0.01152	-0.01078	-0.01002
8	-0.0093	-0.00852	-0.00794	-0.00719
9	-0.0066	-0.00605	-0.00529	-0.00474
10	-0.0042			
11	-0.002			
12	0			

Tabla 4.13

Reactancia de interruptores de circuitos de potencia a bajo voltaje 60 Hz		
Capacidad interruptiva clasificación - Amperes	Clasificación - Amperes	Reactancia en Ohms
15,000 y 25,000	15 - 35	0.04
	50 - 100	0.004
	125 - 225	0.001
	250 - 600	0.0002
50,000	200 - 800	0.0002
	1,000 - 1600	0.00007
75,000	2,000 - 3000	0.00008
100,000	4000	0.00008

Tabla 4.14

Reactancia aproximada de transformadores de corriente (ohms)			
Clasificación de corriente del primario en Amperes.	600-5000V	7500V	15000V
100 – 200	0.0022	0.004	0.0009
250 - 400	0.0005	0.0008	0.0002
500 – 800	0.00019	0.00031	0.00007
1000 – 4000	0.00007	0.00007	0.00007

Tabla 4.15

Sustituyendo los valores de reactancia de cada elemento en el diagrama.

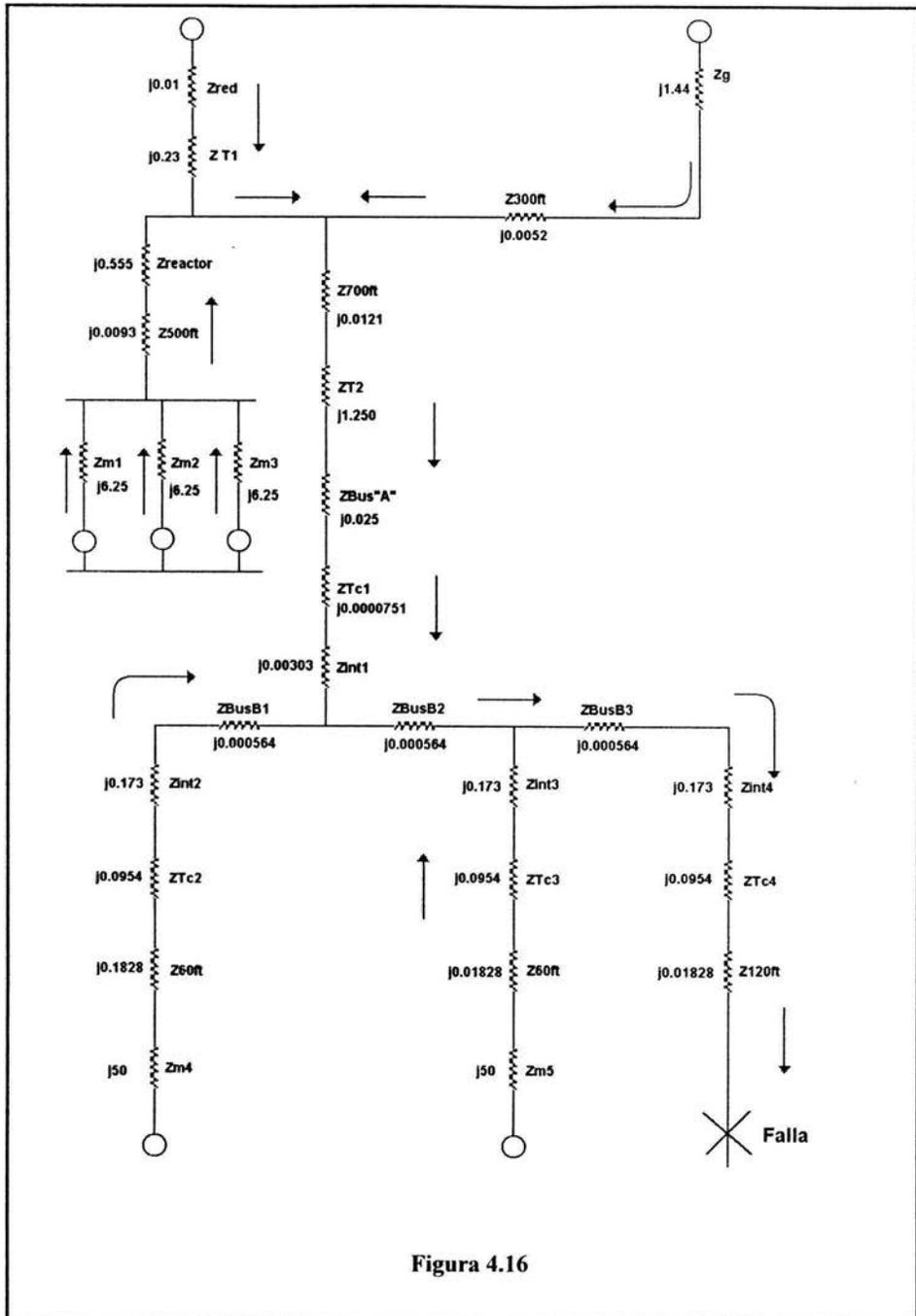


Figura 4.16

4. Para el punto de falla designado y las condiciones de falla, reducir la red, de manera que se obtenga una impedancia equivalente entre el punto de falla y la fuente.

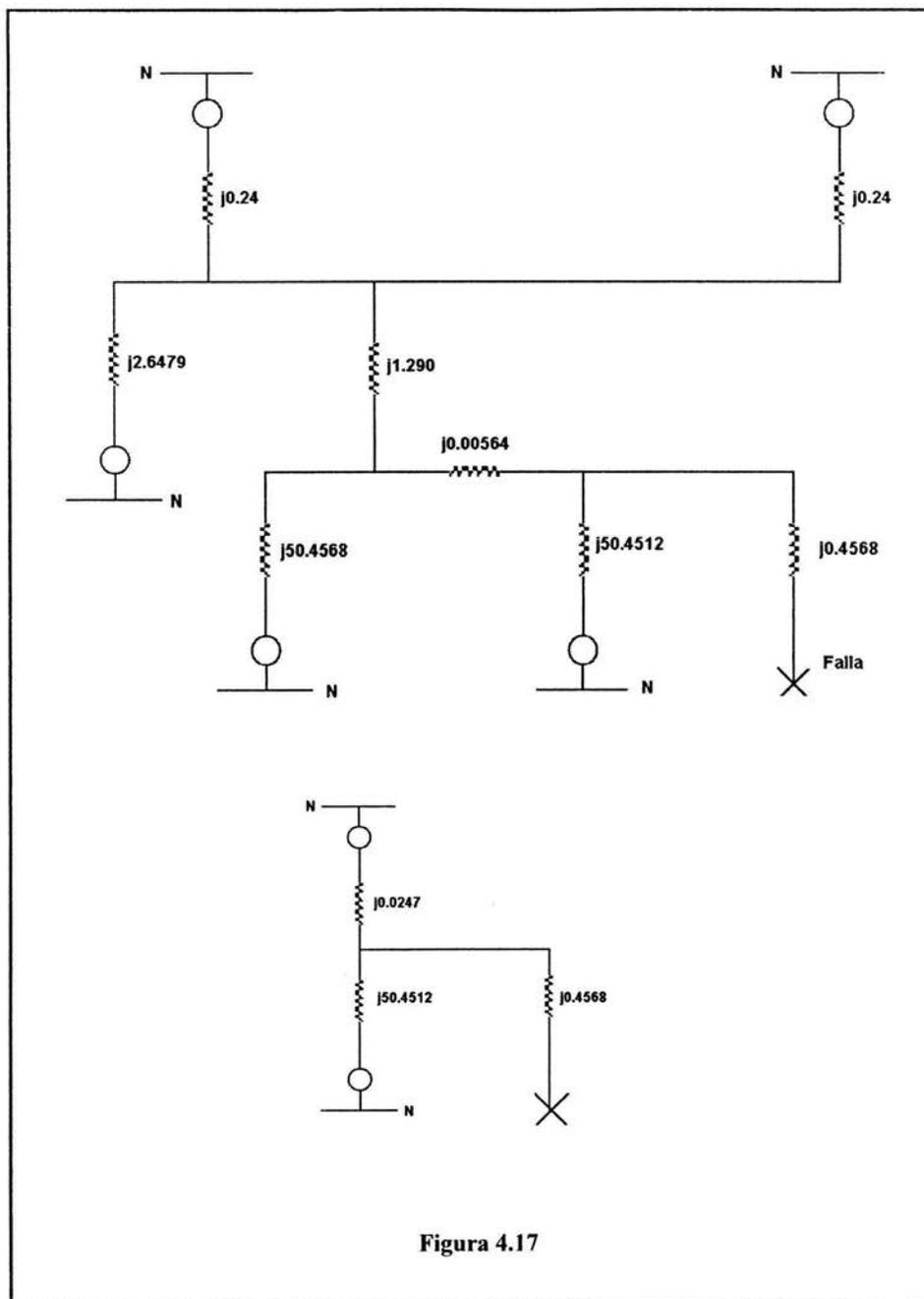
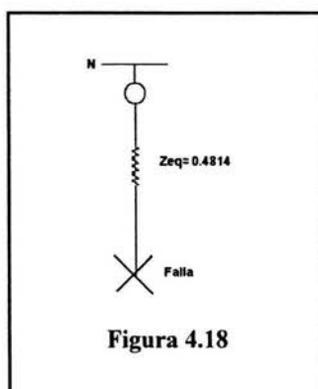


Figura 4.17

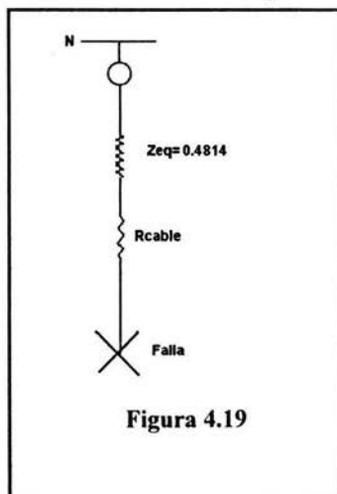
En las instalaciones en baja tensión, la reactancia se reemplaza por la impedancia, el efecto de no incorporar el valor de R en el cálculo de la corriente de cortocircuito mediante un cociente V/X , se puede dar a partir de factores cuyos valores dependen de la relación X/A del sistema y de la velocidad de operación del interruptor.



En el caso de las instalaciones comerciales e industriales, se deben hacer algunas consideraciones particulares, debido a que se tienen cargas en mediana y baja tensión y, por ejemplo, la resistencia que es despreciable en los sistemas eléctricos de potencia en alta tensión, no lo es en las instalaciones eléctricas industriales.

En instalaciones industriales debemos tomar en cuenta la siguiente consideración:

*Para voltajes menores a 600 volts es necesario comparar la X_{eq} de todo el sistema con el valor de la resistencia del cable alimentador a la falla que en este caso es el cable de 120 ft.



- **Para cable de 120 ft con un cable de 1-3/C No.2 con ½ “ de separación de conductores.**

De la tabla 4.12 la resistencia del cable es de $R_a = 0.181 \Omega/\text{cond}/1000\text{ft}$

Sacando la resistencia para 120 ft: $0.181\Omega/\text{cond} \text{-----}1000\text{ft}$
 $X \text{-----}120\text{ft}$

$R_a = 0.02172\Omega/\text{cond}$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_1 \Omega KVA_B}{(KV)^2 (1000)} = \frac{0.02172(10000)}{(0.48)^2 (1000)} = 0.9427 pu$$

Para hacer la comparación de las resistencias debemos tomar en cuenta la siguiente consideración:

Cuando la $R_{\text{conductor}} \geq 25\%X_{\text{eq}}$ **se tiene que considerar toda la resistencia de cada uno de los elementos del sistema.**

Tomando en cuenta esta consideración tenemos que:

$X_{120\text{ft}} > X_{\text{eq}}$ es decir $0.9427 > 0.4818$ esto quiere decir que $R_{\text{conductor}} > 25\%X_{\text{eq}} \therefore$

Se tienen que considerar la resistencia de todos los elementos.

Para comparar los resultados se realizarán los cálculos de las dos formas, sin considerar todas las resistencias del sistema y otra tomando en cuenta todos los elementos del sistema de acuerdo a la consideración anterior.

- **Calculando $I_{\text{ccSimétrica}}$ y los $KVA_{\text{ccSimetricos}}$ sin considerar todos los elementos:**

$$I_{\text{ccSimétrica}} = \frac{KVA_B}{\sqrt{3}(KV)X_{\text{eq}}} = \frac{10,000}{\sqrt{3}(0.48)(0.4814)} = 24,987.5 \text{ Amp.}$$

$$KVA_{\text{ccSimétrica}} = \frac{KVA_B}{X_{\text{eq}}} = \frac{10,000}{0.4814} = 20,772.74 \text{ KVA.}$$

- **Calculando $I_{\text{ccSimétrica}}$ y los $KVA_{\text{ccSimetricos}}$ considerando todos los elementos:**

Para tomar en cuenta todos los elementos del sistema se debe incluir la resistencia del cable alimentador la falla que en este caso es de 120 ft.

- **Para la resistencia del sistema tenemos:**

$$R_{\text{Sistema}} = X_{\text{Sistema}} * (0.25) = 0.4814(0.25) = 0.1203$$

Para la resistencia equivalente $R_{\text{eq}} = R_{\text{Sistema}} + R_{120 \text{ ft}} = 0.1203 + 0.9427 = 1.063$

Sacando la impedancia equivalente de todos los elementos del sistema:

$$Z_{cqt} = \sqrt{(R_{cqt})^2 + (X_{simétrica})^2} = \sqrt{(1.063)^2 + (0.4814)^2} = 1.1668 pu$$

- **Calculando $I_{ccSimétrica}$ y los $KVA_{ccSimétricos}$**

$$I_{ccSimétrica} = \frac{KVA_B}{\sqrt{3}(KV)X_{cqt}} = \frac{10,000}{\sqrt{3}(0.48)(1.1668)} = 10,309.27 Amp.$$

$$KVA_{ccSimétrica} = \frac{KVA_B}{X_{cqt}} = \frac{10,000}{1.1668} = 8,570.44 KVA.$$

Queda claro que es muy importante determinar en que momento y que elementos se deben determinar para el análisis de la corriente de corto circuito, ya que en los cálculos donde no se incluyen todos los elementos la $I_{ccSimétrica}$ y los $KVA_{ccSimétricos}$ son mayores que en los cálculos donde se incluyen todos los elementos del sistema, y esto afecta directamente en el resto del cálculo de los elementos del sistema como pueden ser las protecciones de los elementos ya sean fusibles o interruptores.

4.5 FUSIBLES E INTERRUPTORES

El calentamiento excesivo como resultado de una corriente excesiva, causa que el aislamiento del conductor se degrade ó deteriore rápidamente, lo que conduce a una falla del aislamiento y al subsecuente corto circuito de línea a tierra o de línea a línea, también el calentamiento excesivo puede producir fuego e incendios cuando se encuentra cerca de material inflamable.

Por otra parte, las corrientes del cortocircuito pueden tener tal magnitud que producen explosiones en los tableros y grandes daños en equipo, con riesgo frecuente para el personal. Estos daños en el equipo y riesgo para el personal se pueden prevenir con una adecuada protección contra sobre corrientes y corto circuito.

Los fusibles e interruptores son los dispositivos que se usan normalmente para proteger las instalaciones y equipos contra sobre corrientes y contra corto circuito, operan básicamente abriendo (liberando) los circuitos antes de que los valores de corriente excedan la corriente permisible en los conductores.

El gran riesgo de los servicios que se deben de proporcionar con la energía eléctrica está en que el flujo de corriente tenga un valor mayor que el esperado, de la corriente que debe circular por el mismo. Estas corrientes se conocen por lo general como "sobre corrientes", se originan por distintas causas, pero para fines prácticos se clasifican como:

- Sobrecargas
- Cortocircuitos.

Sobrecargas.

Las sobrecargas se definen como corrientes que son mayores que el flujo de corriente normal, están confinadas a la trayectoria normal de circulación de corriente y pueden causar sobrecalentamiento del conductor si se permite que continúe circulando.

Las sobrecargas se pueden producir de distintas maneras, por ejemplo, cuando el circuito de un motor, las chumaceras del motor o las chumaceras el equipo que acciona el motor operan calientes porque requieren lubricación y provocan que se transmita calor sobre el eje, lo que puede ejercer cierto frenado, lo cual se traduce como una sobrecarga, ya que no puede girar a su velocidad y es posible que se pare totalmente.

El exceso de corriente que demanda es "visto" por el dispositivo de protección de sobre corriente como una sobrecarga. Otro ejemplo más común puede ser el de un circuito derivado en una casa-habitación, que puede estar dimensionado en forma conveniente y protegido por un dispositivo de sobre corriente, pero si un aparato adicional se conecta, causa un exceso de corriente sobre la capacidad del circuito y el fusible se funde. Esto ocurre también en una situación de sobrecarga.

En general, una sobre corriente que no excede de cinco a seis veces la corriente normal, cae dentro de la clasificación de una sobrecarga, aún cuando pudiera ser un cortocircuito y ser "visto" por el dispositivo de protección como una sobrecarga.

Cortocircuito.

El cortocircuito se puede definir como una corriente que se encuentra fuera de sus rangos normales. Algunos cortocircuitos no son mayores que las corrientes de carga, mientras que otros pueden ser muchas veces mas los valores de la corriente normal.

Un cortocircuito se puede originar de distintas maneras, por ejemplo, la vibración del equipo puede producir en algunas partes pérdida de aislamiento, de manera que los conductores queden expuestos a contacto entre sí o a tierra.

Otro caso puede ser el de los aisladores que pueden estar excesivamente sucios por efecto de la contaminación, y en presencia de lluvia o llovizna ligera, puede producir el flameo del conductor a la estructura (tierra), cualquiera que sea la causa; los cortocircuitos

son por lo general el resultado de una ruptura dieléctrica del aislamiento, esta ruptura se puede presentar ya sea que el aislamiento sea hule, madera, cinta de lino barnizada, o bien, uno, distancia en aire.

El cortocircuito tiene por lo general tres efectos:

Arco eléctrico. Este es similar al que se presenta cuando se usa soldadura eléctrica ya que es un arco muy brillante y caliente, se puede presentar en un rango de corriente que va de unos cuantos hasta miles de amperes. El efecto de la falla es muy dramático, ya que el arco quema prácticamente todo lo que se encuentre en su trayectoria.

Calentamiento. Cuando un cortocircuito tiene una gran magnitud de corriente, causa severos efectos de calentamiento, por ejemplo, una corriente de falla de 15 KA en un conductor de cobre calibre Núm. 6 AWG, produce una elevación de temperatura de 205 en menos de un ciclo de duración de la falla, estas temperaturas podrían iniciar el fuego en algunos materiales vecinos.

Esfuerzos magnéticos. Debido a que un campo magnético se forma alrededor de cualquier conductor cuando circula por él una corriente, se puede deducir fácilmente que cuando circula una corriente de cortocircuito de miles de amperes, el campo magnético se incrementa muchas veces y los esfuerzos magnéticos producidos son significativamente mayores.

Los dispositivos de protección contra sobre corriente son los elementos que han sido contemplados para proteger los sistemas eléctricos de los daños por sobrecarga y corrientes de cortocircuito.

Por esta razón, es obvio que estos dispositivos representan una función extremadamente importante. De aquí que una definición de la protección contra sobre corriente sea la siguiente: **"la protección contra sobre corriente para conductores y equipos se proporciona con el propósito de interrumpir el circuito eléctrico, si la corriente alcanza un valor que pudiera causar una temperatura excesiva y peligrosa en el conductor o su aislamiento"**.

De aquí que casi todos los circuitos eléctricos deban tener protección contra sobre corriente en alguna forma; sólo en algunos casos, muy raros, se diseñan los circuitos sin protección por sobre corriente.

Los dispositivos de protección contra sobre corriente, deben cumplir con los siguientes requerimientos generales:

- a) Ser completamente automáticos.
- b) Transportar la corriente normal sin interrupción.
- c) Interrumpir inmediatamente las sobre corrientes.
- d) Ser fácilmente reemplazables o reestablecidos.
- e) Ser seguros bajo condiciones normales y de sobre corriente.

Para reunir los requerimientos para la protección contra cortocircuito, deben cumplir totalmente con las siguientes especificaciones básicas:

- Debe ser capaz de cerrar en forma segura sobre cualquier valor de corriente de carga o corriente de cortocircuito, dentro del rango de capacidad momentánea del dispositivo.
- Debe ser seguro para abrir cualquier corriente que pueda circular dentro del rango de interrupción del dispositivo.
- Debe interrumpir automáticamente un flujo anormal de corriente dentro de su capacidad interruptiva.

Existen básicamente **dos dispositivos fundamentales** que se usan en forma común para cumplir con las funciones de protección, estos son:

Los interruptores.

Los fusibles.

4.5.1 INTERRUPTORES PARA SISTEMAS CON VOLTAJES MAYORES DE 600V.

Los interruptores para sistemas con voltajes superiores a 600 V se dividen en cuatro grupos básicos:

- Interruptores en aire.
- Interruptores en vacío.
- Interruptores en aceite.
- Interruptores en gas.

Interruptores en aire.

Los interruptores en aire tienden a ser usados en instalaciones en interiores, y como su nombre lo indica, interrumpen sólo con aire entre sus contactos. Este tipo de interruptores se puede usar en instalaciones exteriores, siempre que el mecanismo del interruptor, los controles, etcétera, se instalen en casetas o instalaciones sencillas a prueba de intemperismo. Estos interruptores los fabrican la mayoría de los fabricantes de interruptores para operar, por lo general, con voltajes en el rango de 2400 a 34500 V. Existe un buen número de innovaciones que los fabricantes han hecho a este tipo de interruptores, por lo que es posible observar variantes de diseño que incluyen hasta las formas de montaje y desde luego, cubriendo los requisitos de seguridad y confiabilidad de operación.

En la figura 4.5.1 se muestra la sección transversal del mecanismo de un interruptor en aire. En esta se muestra un polo del interruptor.

El aire de una fuente de aire comprimido se usa, ya sea para abrir o para cerrar la navaja de los contactos móviles bajo carga eléctrica, un arco se iniciará entre la navaja móvil y los contactos fijos.

Para prevenir daño por calentamiento, se inyecta un chorro de aire justo en el momento en que se debe extinguir el arco.

Interruptores en vacío.

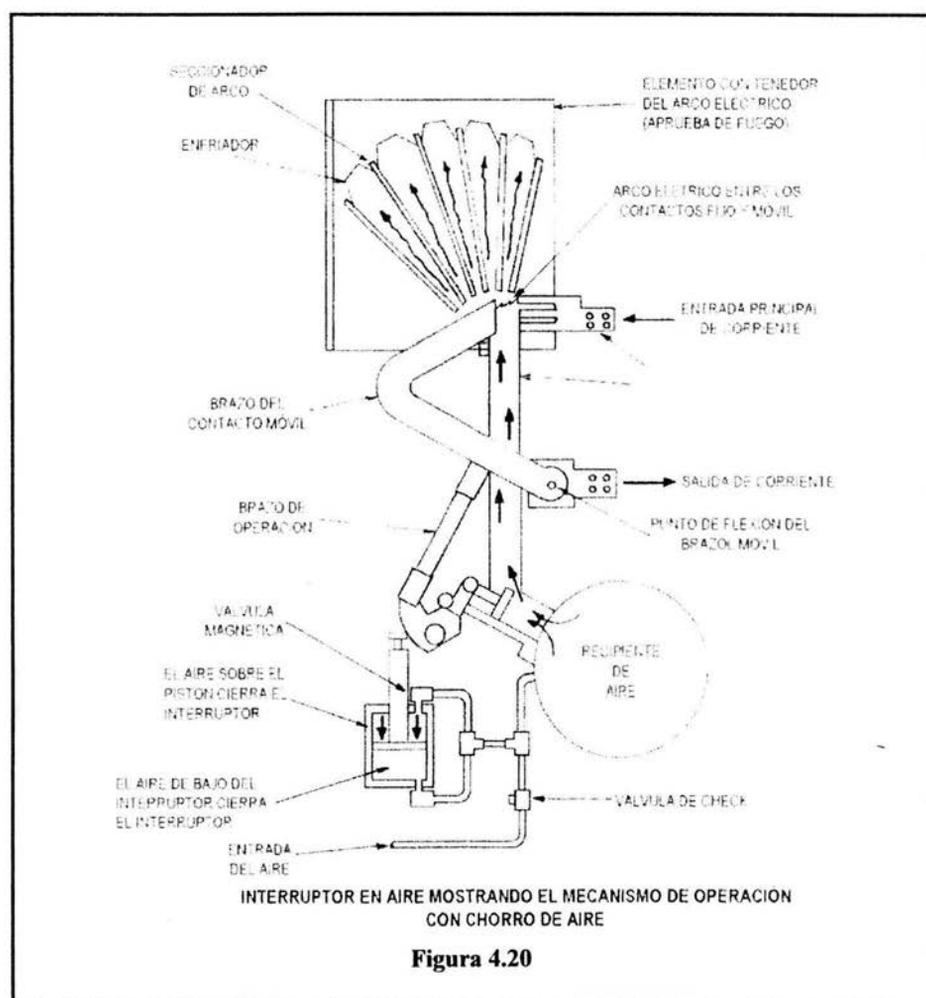
Los mejores conductores de electricidad son aquellos materiales que ofrecen la mayoría de electrones libres y, por el contrario los mejores aisladores o dieléctricos ofrecen el mínimo número de electrones libres. Debido a que el vacío constituye una ausencia de cualquier sustancia y, por lo tanto, una ausencia de electrones, en teoría, representa el mejor dieléctrico.

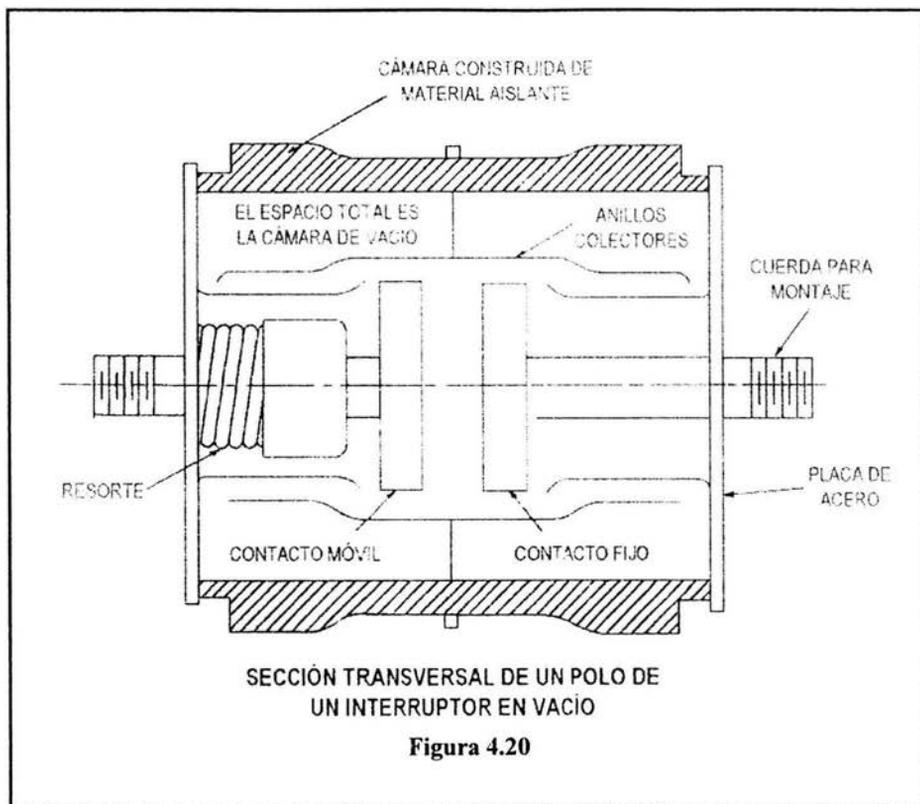
Basada en esta teoría, puede haber grandes ventajas que se pueden realizar, si operan mecánicamente los contactos eléctricos cuando abren en una cámara de vacío.

La mayoría de los fabricantes han sido capaces de construir tales dispositivos para su uso en alta tensión. Dentro de las ventajas que se tienen, se pueden mencionar las siguientes: son más rápidos para extinguir el arco eléctrico, producen menos ruido durante

la operación, el tiempo de vida de los contactos es mayor y elimina o reduce sensiblemente el riesgo de explosiones potenciales por presencia de gases o líquidos.

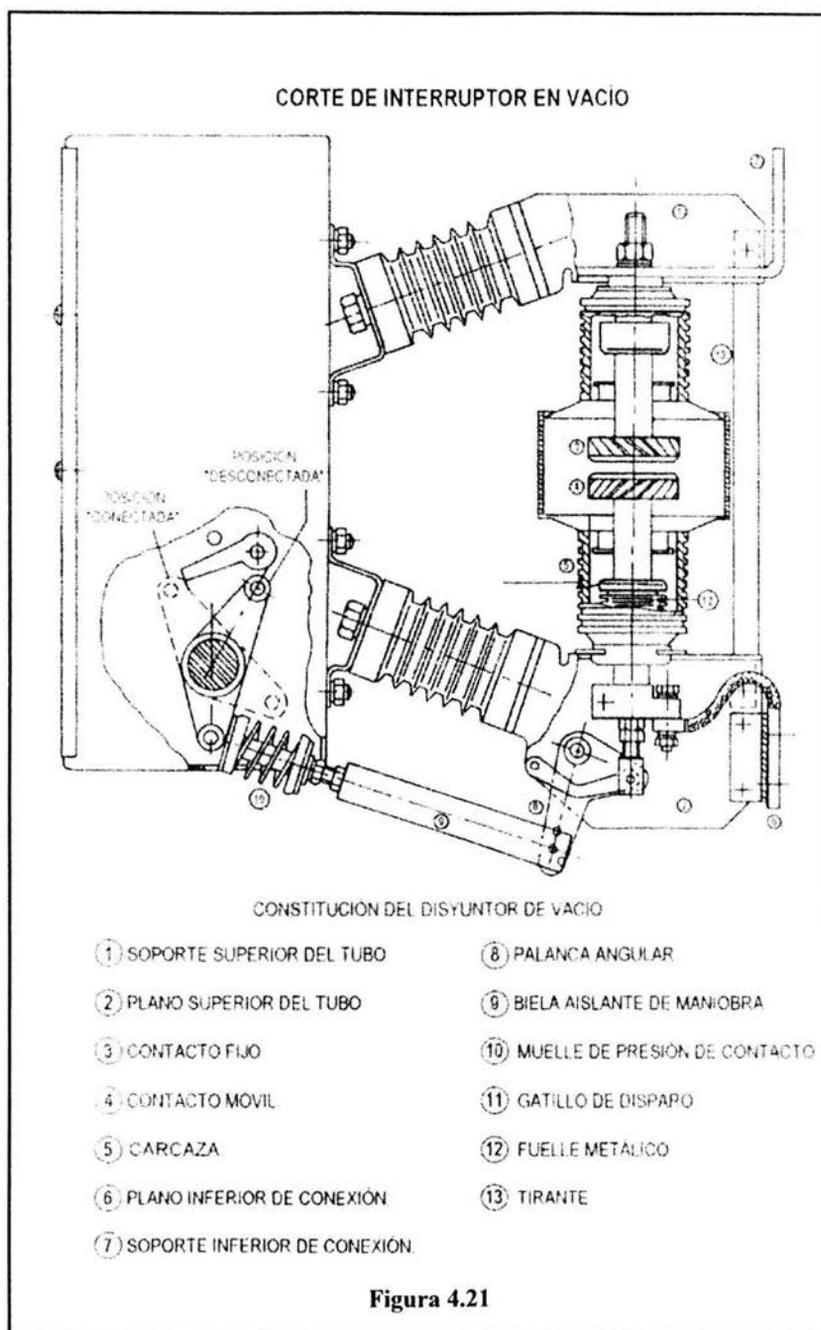
El mantenimiento de estos interruptores es reducido y se pueden usar en casi cualquier lugar, debido a que no son afectados por la temperatura ambiente u otras condiciones atmosféricas. En la figura 4.20, se muestran las partes principales de un polo de un interruptor en vacío.





Como se observa de la figura 4.20, el interruptor es simple en construcción, se tienen dos contactos tipo disco mostrados dentro un cilindro contenedor. La cámara es evacuada para proporcionar el vacío, un contacto es fijo y el otro se arregla para que se mueva hacia el contacto fijo o se aleje de él, según sea que cierre o abra, el movimiento se controla por medio de una barra de acero que se acciona desde el exterior. La separación entre contactos es del orden de 2.0 cm.

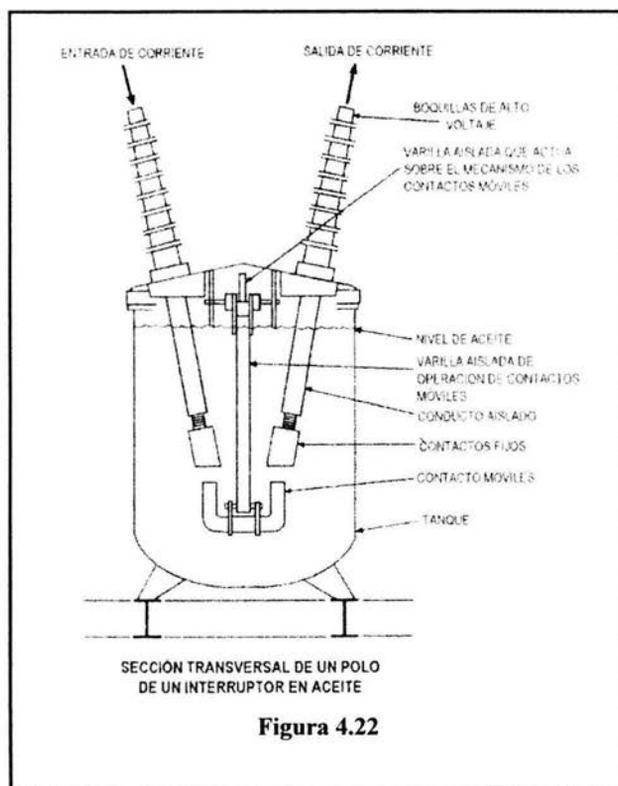
En la figura 4.21 se muestra un corte de un interruptor en vacío.



Interrupidores en aceite.

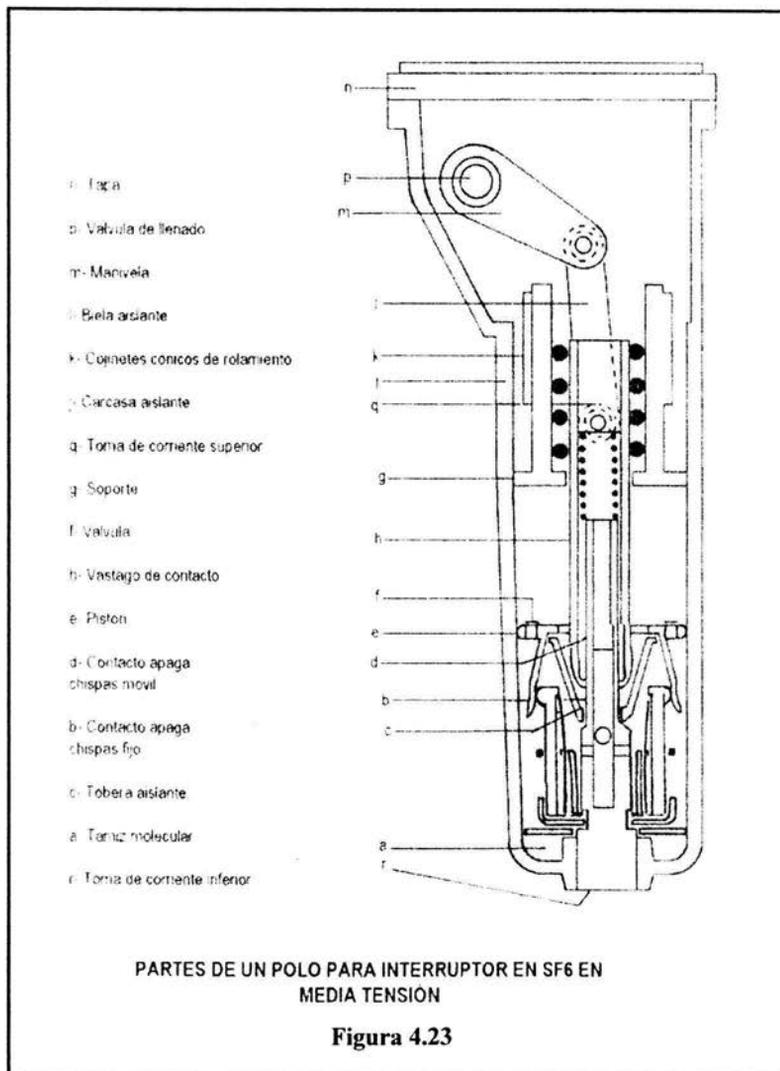
Este tipo de interruptores fueron los de uso más extensivo en sistemas que operan a más de 13.8 kV, empleándose más en instalaciones tipo exterior, aún cuando también se pueden usar en interiores. Estos interruptores tienen básicamente un recipiente que contiene aceite, dentro del cual se instalan los contactos y el mecanismo de operación, de tal forma que el arco eléctrico que se forma se extingue por medio del aceite. Existen diferentes diseños desarrollados por los fabricantes para minimizar los efectos del arco eléctrico y hay un buen número de publicaciones que describen cómo se extingue el arco eléctrico.

Estos interruptores se aplican por lo general dentro del rango de tensión de 2.4 a 400 kV. En voltajes hasta 69 kV, los tres polos del interruptor se encuentran normalmente dentro del mismo tanque, en tensiones mayores se usa un tanque separador por cada polo. En la Figura 4.22, se muestran en forma simplificada los principales elementos que constituyen este tipo de interruptores, en donde se pueden tener variantes en la forma de los contactos móviles, dependiendo del fabricante.



Interruptores en gas.

Los interruptores en gas (por lo general SF₆) se utilizan normalmente en alta tensión y extra alta tensión (hasta 765 kV), usan un gas inerte en el módulo de interrupción, los cuales representan las cámaras llenas de gas en donde tiene lugar la separación el cierre de los contactos. Por cada polo pueden haber dos o tres módulos o secciones, dependiendo del nivel de tensión (tres en 765kV) estos módulos están conectados en serie.



Estos interruptores son usados principalmente en instalaciones de sistemas eléctricos de potencia.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los diferentes tipos de interruptores mayores de 600 V.

TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES TÉCNICAS DE INTERRUPCIÓN

TECNOLOGÍA	ACEITE	AIRE	VACÍO	SF ₆
PELIGRO DE EXPLOSIÓN E INCENDIO.		++	++	++
INSPECCIÓN DEL MEDIO DIELECTRICO DURANTE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	+	+++		++
VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS CONTACTOS.		+++		++
CONFIABILIDAD EN CASO DE PÉRDIDAS ACCIDENTALES.	+	+++		++
RANGO DE TENSIONES.	++	+	++	+++
VIDA ÚTIL.		++	+++	+++
RANGO DE CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN.	++	+++	++	++
SOBRETENSIONES DE MANIOBRAS.	+	+++		+++
RECONEXIÓN.	+	++	+++	+++
DIMENSIONES.	++	+	+++	+++
FACILIDAD DE INSTALACIÓN.	++	+	++	+++
POSIBILIDAD DE RENOVACIÓN DEL DIELECTRICO.	++	+++		+
COSTO DEL EQUIPAMIENTO.	+++	+	++	++
COSTO DE MANTENIMIENTO.		++	++	+++
<u>Malo</u> <u>Regular</u> <u>Bueno</u> <u>Excelente</u> + ++ +++				

Figura 4.24

4.5.2 FUSIBLES PARA SISTEMAS ARRIBA DE 600 V

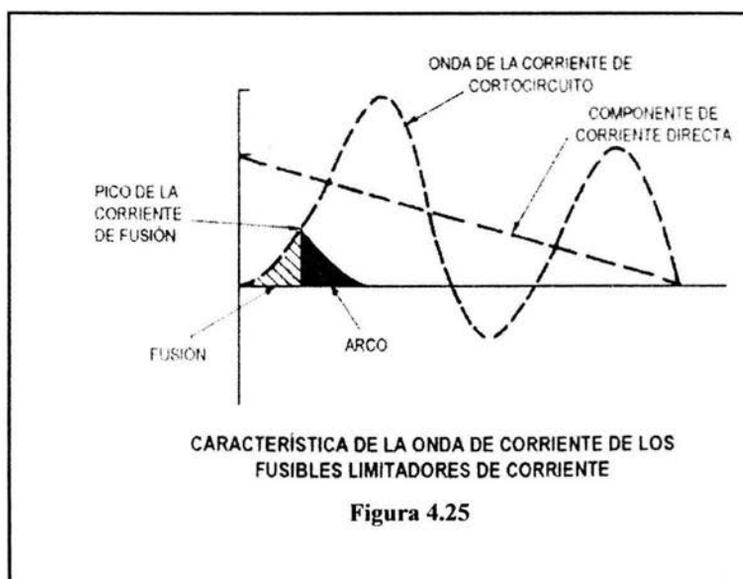
Existen muchos tipos de fusibles disponibles para circuitos con tensiones de 2200 V ó mayores. Estos se dividen principalmente en las siguientes categorías:

- Fusibles de potencia limitadores de corriente.
- Fusibles de potencia no limitadores de corriente.
- Fusible tipo distribución para uso en cortocircuitos.

Fusibles de potencia limitadores de corriente.

Este tipo de fusibles está diseñado para fundirse antes de que la corriente de cortocircuito tenga tiempo de alcanzar su valor pico, por lo tanto, limitan la corriente a niveles seguros para el equipo y dispositivos que se van a proteger. Usan una laminilla de plata fusible que se conecta entre ambos extremos del fusible en el interior de un tubo aislante y rígido. La laminilla de plata es capaz de conducir la corriente de carga en forma normal, debido a que el calor que se produce es rápidamente absorbido; sin embargo, las corrientes anormales funden instantáneamente la laminilla de plata.

En la figura siguiente, se muestra el principio de interrupción del fusible limitador de corriente.



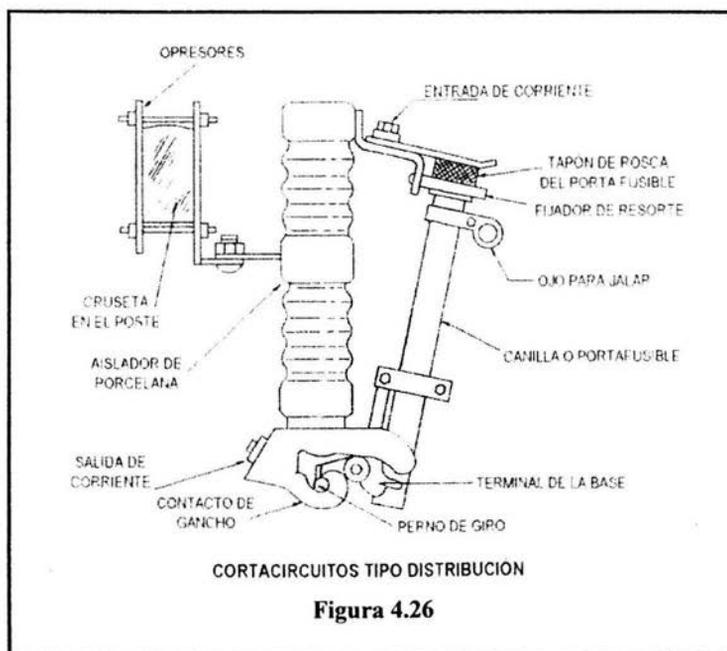
Fusibles de potencia no limitadores de corriente.

Los fusibles de potencia no limitadores de corriente son similares al tipo cartucho, comúnmente usados en forma extensiva en los sistemas de 600 V o menores. Básicamente están contruidos de un tubo aislante con extremos atornillables y un eslabón fusible conectado entre los dos contactos en los extremos del tubo para formar la trayectoria o paso de corriente. Otros tienen el tubo relleno de ácido bórico, ya que los fabricantes han desarrollado varios tipos para diferentes voltajes, condiciones atmosféricas, etcétera. Algunos están hechos del tipo expulsión, lo que significa que expulsan gases calientes cuando operan estos fusibles; debido al riesgo de los gases calientes no se usan en interiores.

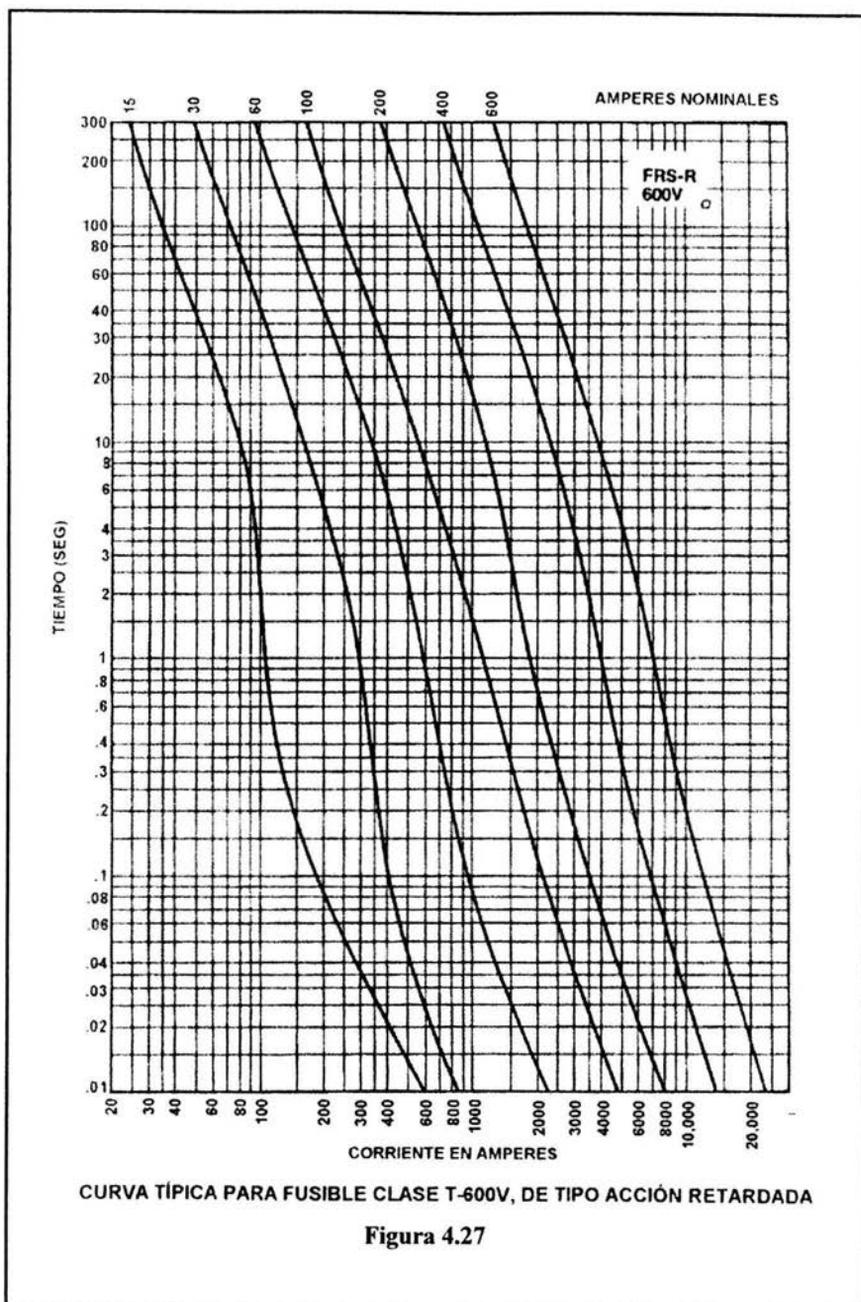
Fusibles tipo distribución para uso en cortocircuito.

Los fusibles tipo distribución para uso en cortocircuitos en redes de distribución aéreas se usan principalmente en las compañías eléctricas que distribuyen energía, su uso en instalaciones industriales está limitado, ya que está restringida su aplicación en instalaciones tipo interior.

Estos fusibles para cortocircuitos, están hechos de distintas maneras, la mayoría emplea un aislador de porcelana que soporta al cartucho que contiene al elemento fusible.



A continuación se muestra una curva típica de un fusible del tipo acción retardada:



4.5.3 FUSIBLES E INTERRUPTORES PARA INSTALACIONES EN BAJA TENSIÓN.

Para las instalaciones en baja tensión, hay básicamente tres dispositivos básicos de protección contra cortocircuito.

1. Interruptores.
2. Fusibles.
3. Combinación de interruptor y fusible.

1. Interruptores

Los interruptores, a su vez, se pueden dividir en dos grupos básicos:

- Interruptores en aire.
- Interruptores en caja moldeada (termomagnéticos)

La aplicación de estos dispositivos de protección en baja tensión, está orientada básicamente hacia los motores eléctricos, en donde no sólo se trata de la protección de los motores, también de los conductores, ya sea del alimentador principal o de los circuitos derivados. En la figura siguiente, se muestran los elementos de protección a considerar en la instalación eléctrica de motores.

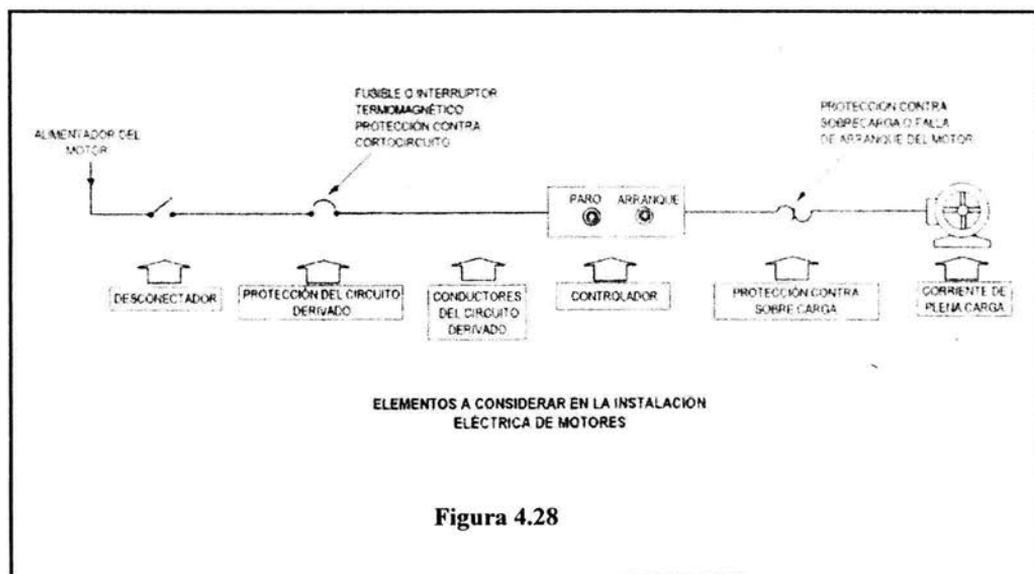


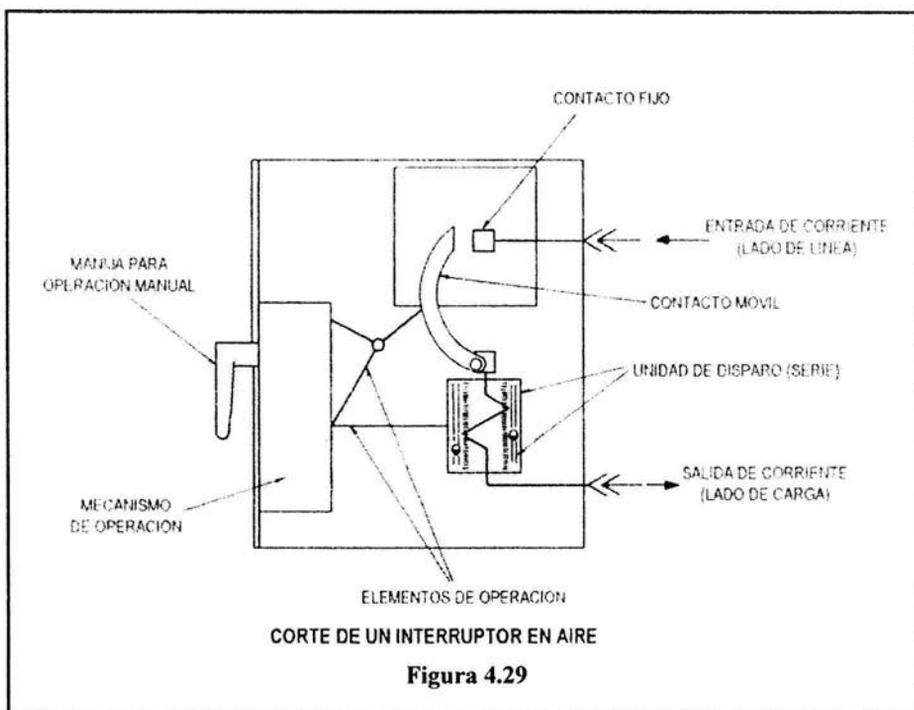
Figura 4.28

Interruptores en aire

Se usan generalmente como protección de los alimentadores principales. Estos interruptores usualmente consisten de un mecanismo de operación, contactos, interruptores o extintores de arco y un dispositivo de disparo que se conecta en serie con el conductor del lado de la carga. Se caracterizan por su construcción compacta y se encuentran disponibles para valores de corrientes de carga elevados y distintas capacidades interruptivas.

Al elemento de disparo conectado en serie, se le conoce comúnmente como "elemento térmico" y se puede adquirir con distintas características: Retraso de larga duración y retraso de corta duración, así como disparo instantáneo.

En la figura siguiente, se muestra un diagrama esquemático de este tipo de interruptor.



El mecanismo de operación de estos Interruptores puede tomar distintas formas, si el interruptor se opera sólo manualmente, entonces la manija se usa para abrir o cerrar el contacto del interruptor. Esto se acompaña por lo general con un dispositivo a base de resorte, de manera que la acción de cierre y apertura sea rápida. Si el interruptor es operado eléctricamente, el mecanismo puede consistir de una bobina magnética con un eje o elemento actuador, de manera que el conjunto se mueva jalando hacia el centro de la bobina para que cuando la bobina esté energizada, el émbolo jale hacia el centro de la bobina y cierre la bobina, cerrando el interruptor. El dispositivo se conoce como "**solenoide operador**".

Otros mecanismos de operación utilizan el principio de "**almacenamiento de energía**", mediante el cual un motor eléctrico actúa sobre un resorte durante los ciclos de cierre y disparo. La energía es almacenada con el resorte y posteriormente liberada, ya sea para cerrar o disparar el interruptor.

El dispositivo de sobre corriente en serie dispara el interruptor por medio de una acción mecánica directa, que responde a la fuerza magnética creada por la corriente en el circuito. Casi todos estos dispositivos son ajustables por medio de una escala que indica la corriente en la bobina.

Los interruptores de este tipo, generalmente tienen un rango continuo de corriente de 15 a 4000A Y una capacidad interruptiva de 15000 a 150.000A asimétricos.

Interruptores en caja moldeada (termo magnético)

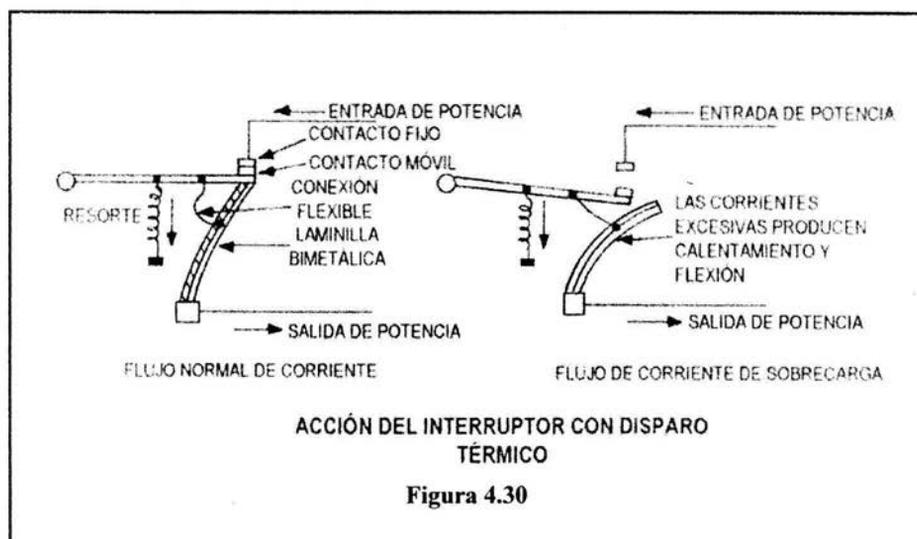
Los interruptores en caja moldeada son, por lo general, del tipo termo magnético, se usan frecuentemente para la protección de alimentadores secundarios y circuitos derivados. Como su nombre lo indica, el mecanismo del interruptor se encuentra encerrado o contenido en una caja moldeada y aislada. Por lo general, tienen una alta capacidad interruptiva, con elementos de restablecimiento para permitir operaciones repetitivas. Estos interruptores tienen tres componentes funcionales principales, éstos son:

- Los elementos de disparo.
- El mecanismo de operación.
- Los extinguidores de arco.

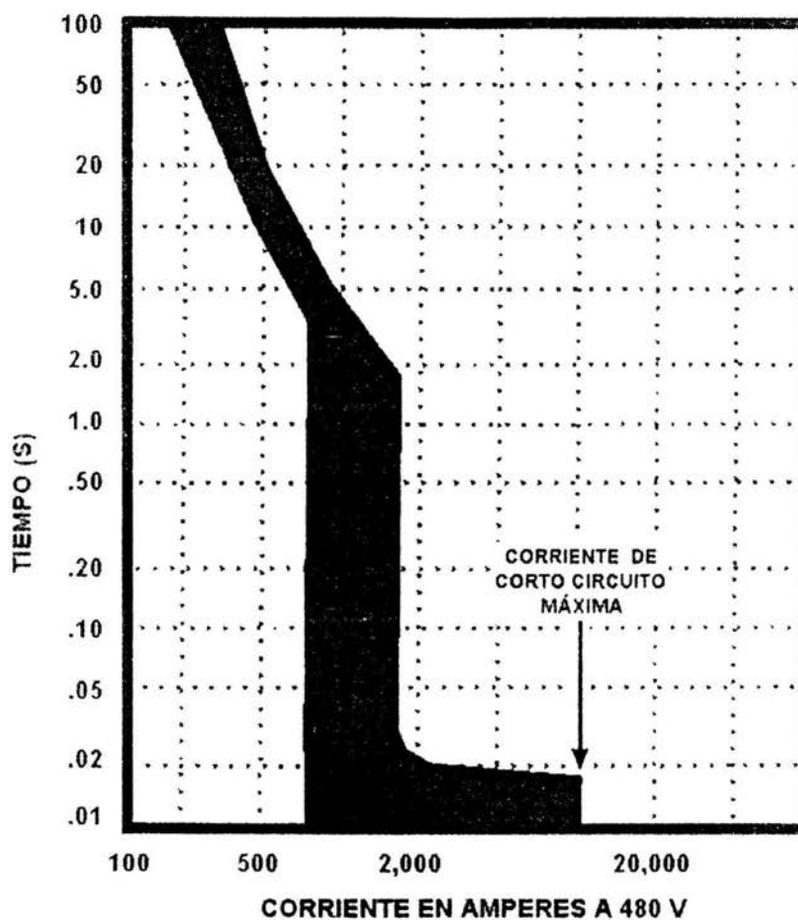
Los ajustes de disparo se hacen, por lo general, en fábrica, y por lo tanto, no se pueden cambiar después de ser instalados, aún cuando algunos interruptores son ajustables y pueden ser modificados después de que sean instalados. Los elementos de disparo varían en sus características, pero su función es accionar para disparar el mecanismo de operación, en el caso de una sobrecarga prolongada o un cortocircuito. Estos interruptores se pueden construir en la modalidad de múltipolos, de manera que la acción de disparo sobre un polo se ejercerá sobre los otros.

La acción de disparo térmico.

Se logra a través del uso de una cinta o laminilla bimetalica que se calienta por la acción de la circulación de la corriente. La laminilla está hecha de dos metales diferentes, unidos entre sí. La longitud de esta cinta se incrementa con una elevación en la temperatura, causada por el exceso de corriente. Debido a que los dos metales que forman la unión, son de distinto material, no incrementan su longitud igual. La laminilla se dobla hasta que produce la operación del mecanismo para abrir los contactos del interruptor. Debido a que el elemento bimetalico responde al calor emitido por el flujo de corriente, permite un cierto retardo de tiempo, antes de que se produzca el disparo, o bien, tienda a responder a sobrecargas ligeras. En la siguiente figura, se muestra el principio de operación de este tipo de interruptor.



A continuación se muestra la curva característica para interruptores de baja tensión:



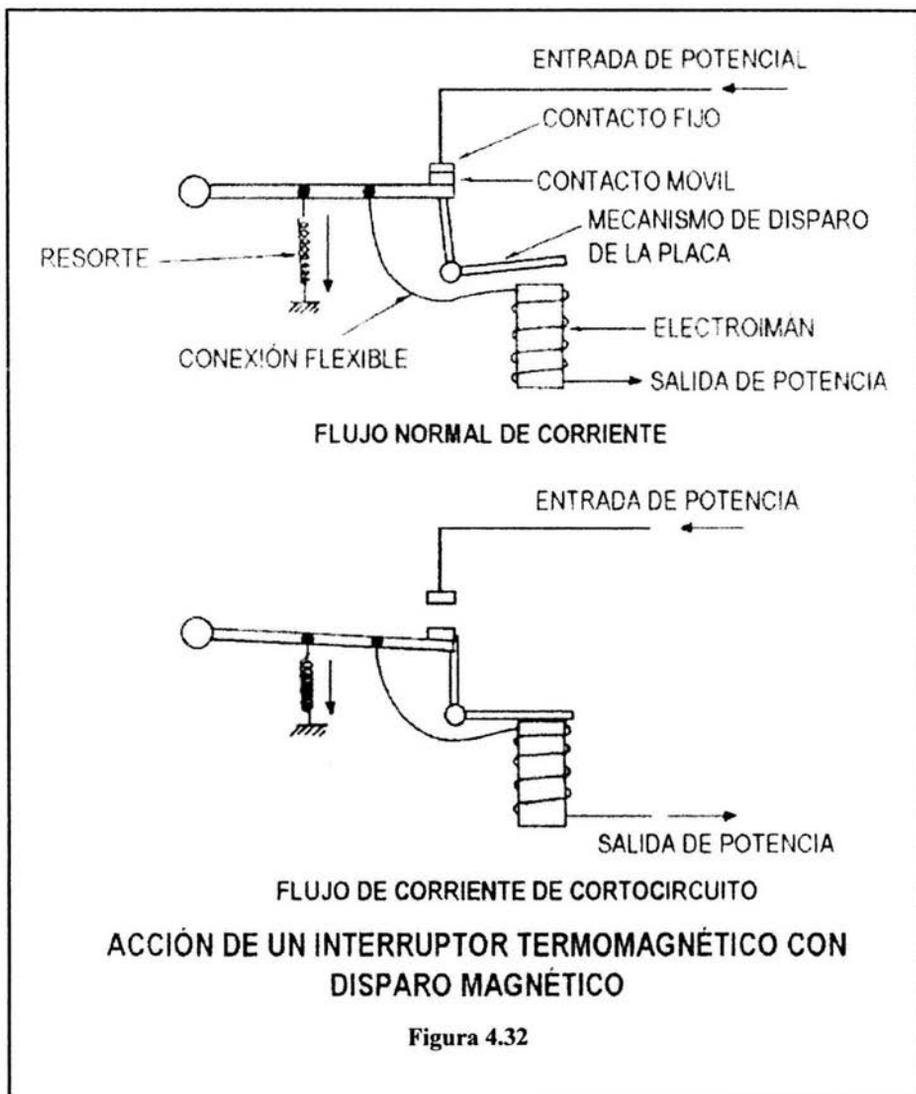
CURVA DE UN INTERRUPTOR CON MARCO DE 100A

Figura 4.31

La acción de disparo magnético.

Se logra a través del uso de un electroimán, conectado en serie con la corriente de carga. Esto proporciona una acción de disparo instantánea cuando la corriente alcanza un valor predeterminado.

En la figura siguiente, se muestra el principio de operación de este tipo de interruptor. Obsérvese que el flujo de corriente pasa a través de la bobina del imán, de manera que la capacidad de corriente del interruptor está determinada por el número de espiras y el calibre del alambre de la bobina.



Se fabrican para distintas tensiones y capacidades de corriente como se indica en la tabla siguiente:

Tensión de C.A.	Número de polos	Corriente en Amperes
Tensión de C.D.		
240 Volts C.A.	2	15,20,30,40,50,70,100
125/250 Volts C.D.	3	15,20,30,40,50,70,100
480 Volts C.A. 250 Volts C.D.	3	15,20,30,40,50,70,100
600 Volts C.D.	2	15,20,30,40,50,70
250 Volts C.D.	3	15,20,30,40,50,70,100,125,150

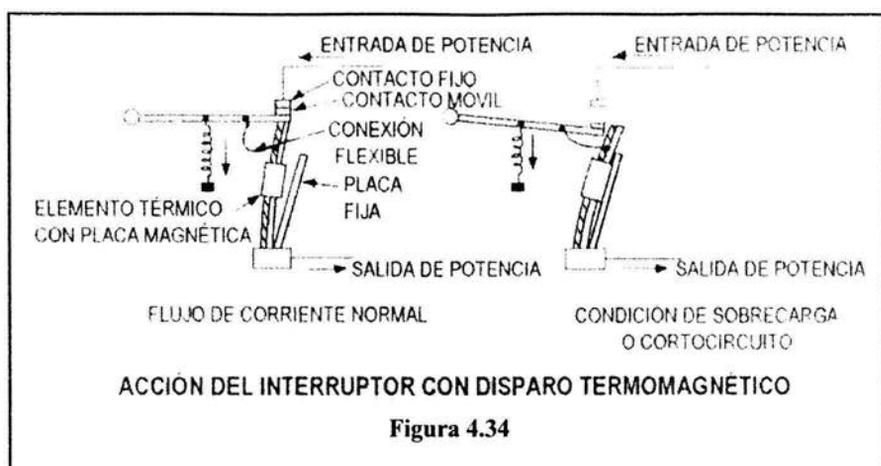
Tabla 4.33

Para 600 volts c.a. en tres polos dependiendo de la caja nema se fabrican en capacidades de corriente hasta 225, 400 y 1000 amperes.

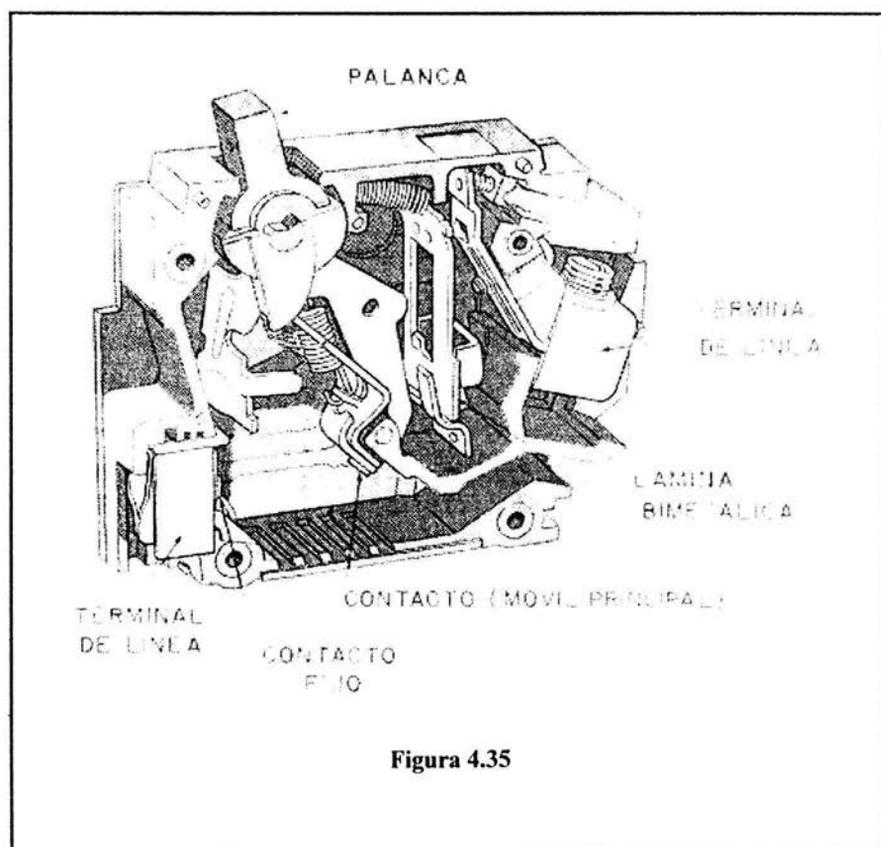
La acción de disparo termo magnético.

Esta es de propósito general y se logra por medio de dispositivos que se encuentran disponibles en la mayoría de las aplicaciones de los interruptores y por lo tanto, forman una parte estándar de los interruptores. La combinación de los elementos de disparo térmico y magnético proporciona una protección muy precisa contra sobrecarga y cortocircuito para conductores y aparatos.

Un interruptor termo magnético reacciona a las sobrecargas en forma muy similar a la de un interruptor térmico por medio de la acción de una laminilla bimetálica. Con sobrecargas severas o en especial con cortocircuito, la acción magnética es más rápida que la acción térmica y dispara instantáneamente al interruptor. El principio de operación elemental se muestra en la siguiente forma:



A continuación se muestra en la figura las partes constitutivas de un interruptor termo magnético:



La siguiente tabla muestra la capacidad interruptiva para interruptores automáticos:

Corriente nominal en Amperes	Capacidad interruptiva nominal Amperes RMC simétricos			
	Tensión corriente ALTERNA 60 Hz			Tensión c.d.
	240 V	280 V	600 V	
				250 V
100	19,000	14,000	14,000	10,000
100	65,000	25,000	18,000	10,000
225	25,000	22,000	22,000	10,000
225	65,000	35,000	25,000	10,000
400	42,000	30,000	22,000	10,000
400	65,000	35,000	25,000	10,000
1000	42,000	30,000	22,000	14,000
1000	42,000	50,000	25,000	14,000
2000	65,000	50,000	42,000	-----
2000	125,000	85,000	65,000	-----

Tabla 4.36

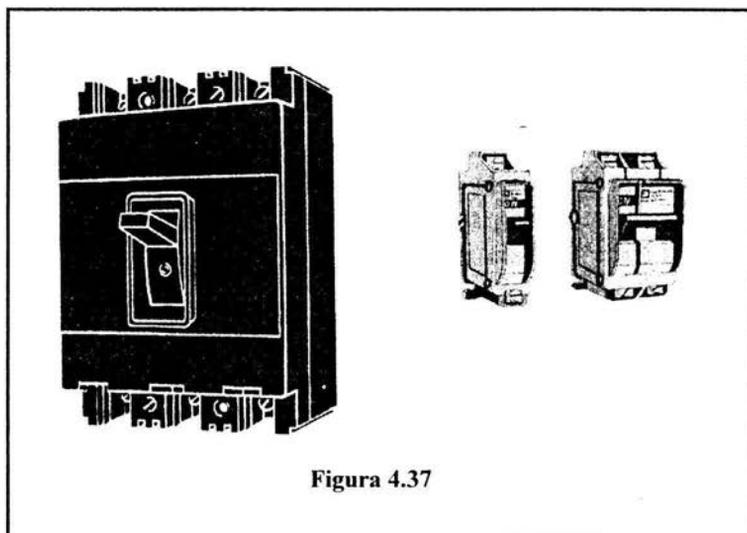


Figura 4.37

En la siguiente figura se muestra la curva típica de un interruptor termo magnético:

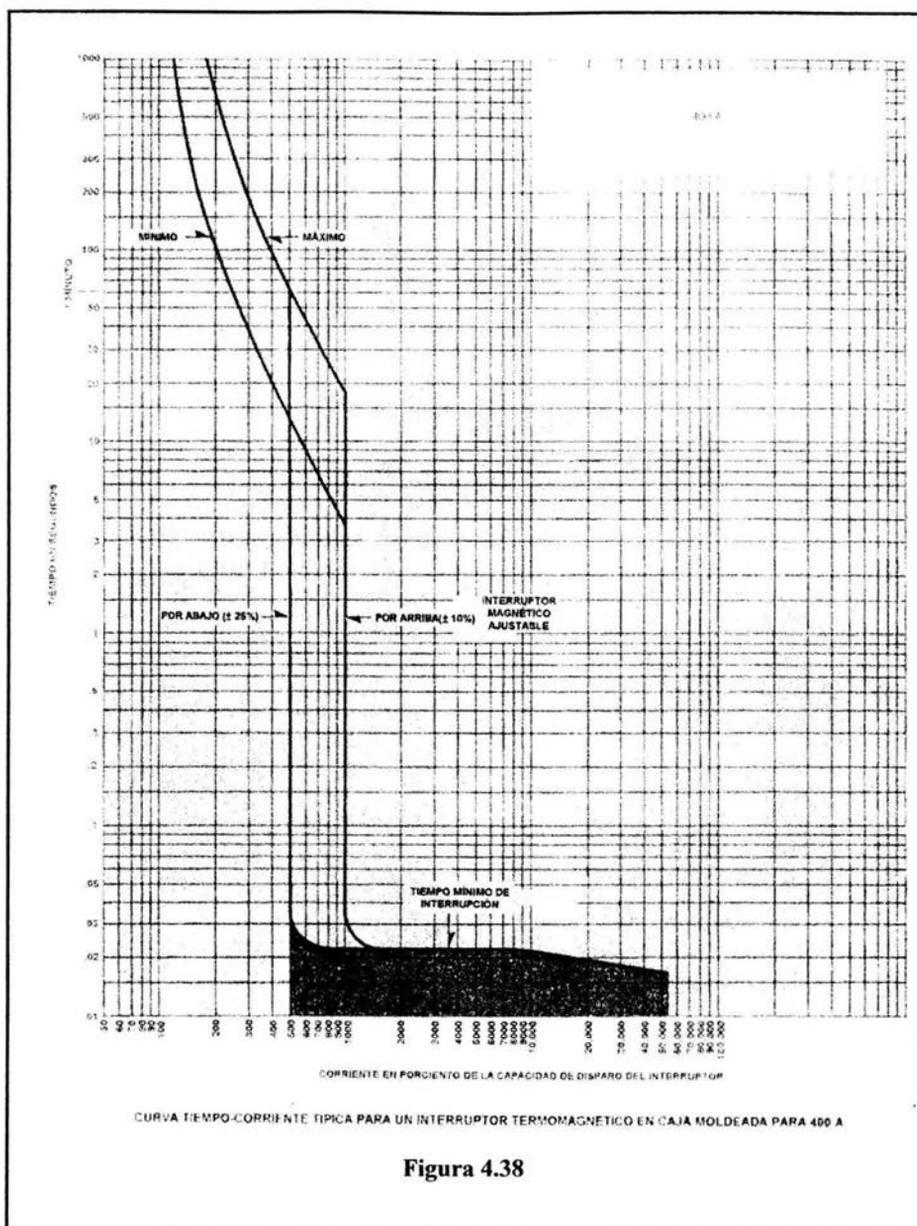


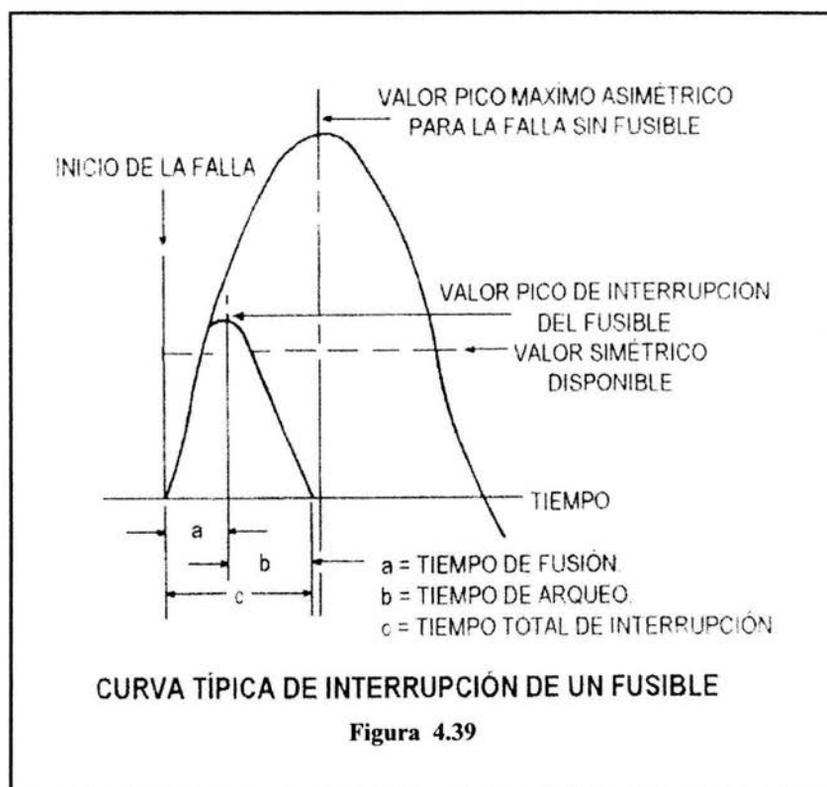
Figura 4.38

2. Fusibles

Un fusible es un dispositivo de protección contra sobre corriente con un miembro fusible para abrir un circuito que es directamente calentado por el paso de una sobre corriente a través del mismo.

Los fusibles son simples en construcción compactados y relativamente baratos. Todos los fusibles modernos están hechos de tal forma que el elemento fusible mismo se encuentra totalmente encerrado. Los elementos que los contienen toman diferentes formas dependiendo del tamaño y la capacidad del fusible.

La siguiente figura muestra la curva típica de interrupción de un fusible:



Fusibles tipo tapón.

Se fabrican en tamaños hasta de 30 A Y se usan en circuitos que no excedan a 127V. El elemento de conexión se fabrica entre 35 y 60 A. El diámetro y longitud del contenedor del elemento fusible varía con la clase de voltaje.

El contacto puede ser de navajas o cilíndrico y se fabrican en tamaños de 70 a 6000 A. Éstos, también varían en sus, dimensiones físicas dependiendo de su tensión nominal.

Fusibles tipo cartucho.

El contacto puede ser de navajas o cilíndrico y se fabrican en tamaños de 70 a 6000 A. Éstos, también varían en sus, dimensiones físicas dependiendo de su tensión nominal.

En la tabla siguiente se muestran algunas capacidades de fusibles de cartuchos renovables:

Capacidad de corriente en Amperes	Fusible de tipo Casquillo			
	250 Volts		600 Volts	
	Largo mm	Diámetro mm	Largo mm	Diámetro mm
3,5,6,10,15,20,25,30	53	14	125	19
35,40,45,50,60	76	21	139	26
Capacidad de corriente en Amperes	Fusible de tipo Navaja			
	250 Volts		600 Volts	
	Largo mm	Diámetro mm	Largo mm	Diámetro mm
79,90,100	151	30	200	35
125,150,175, 200	181	42	244	47
225, 250, 300	219	56	295	65
500 – 600	263	67	340	76

Tabla 4.40

En la figura 4.5.3.14 se muestran los fusibles tipo tapón y tipo cartucho:

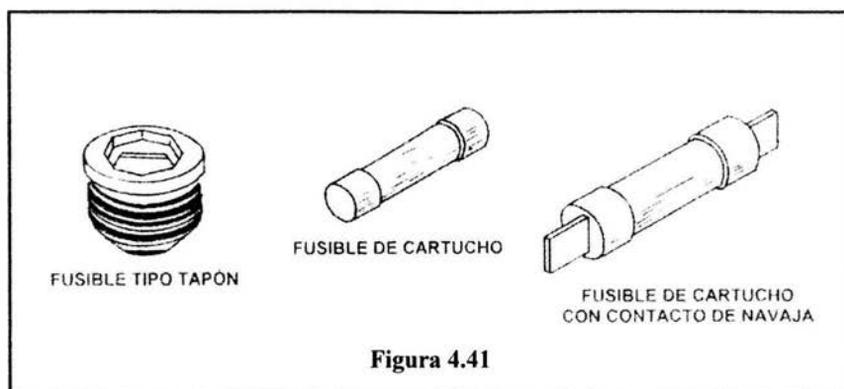


Figura 4.41

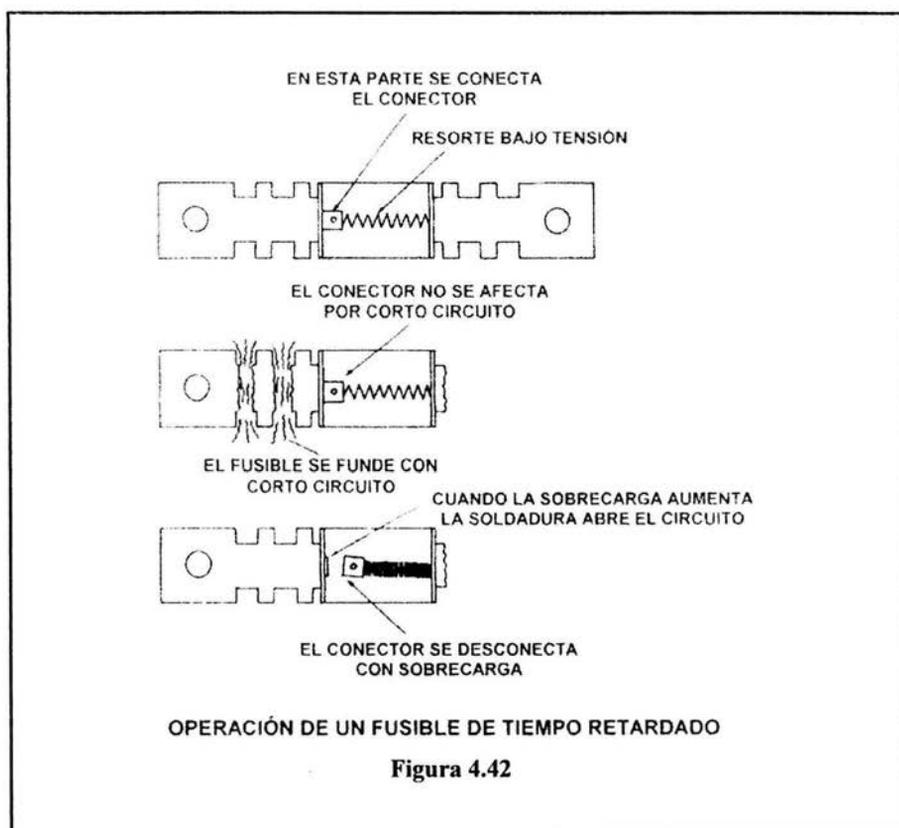
Fusibles de tiempo retardo.

En algunas aplicaciones de fusibles, se usan los llamados de "tiempo retardado", de hecho, todos los fusibles tienen un retraso inherente, pero los de tiempo retardado están diseñados en forma explícita para esto. Estos fusibles están contruidos de tal forma que se funden instantáneamente en condiciones de cortocircuito, pero con sobrecargas como corrientes de inserción en el arranque de motores, soportan más sin fundirse para prevenir disparos innecesarios.

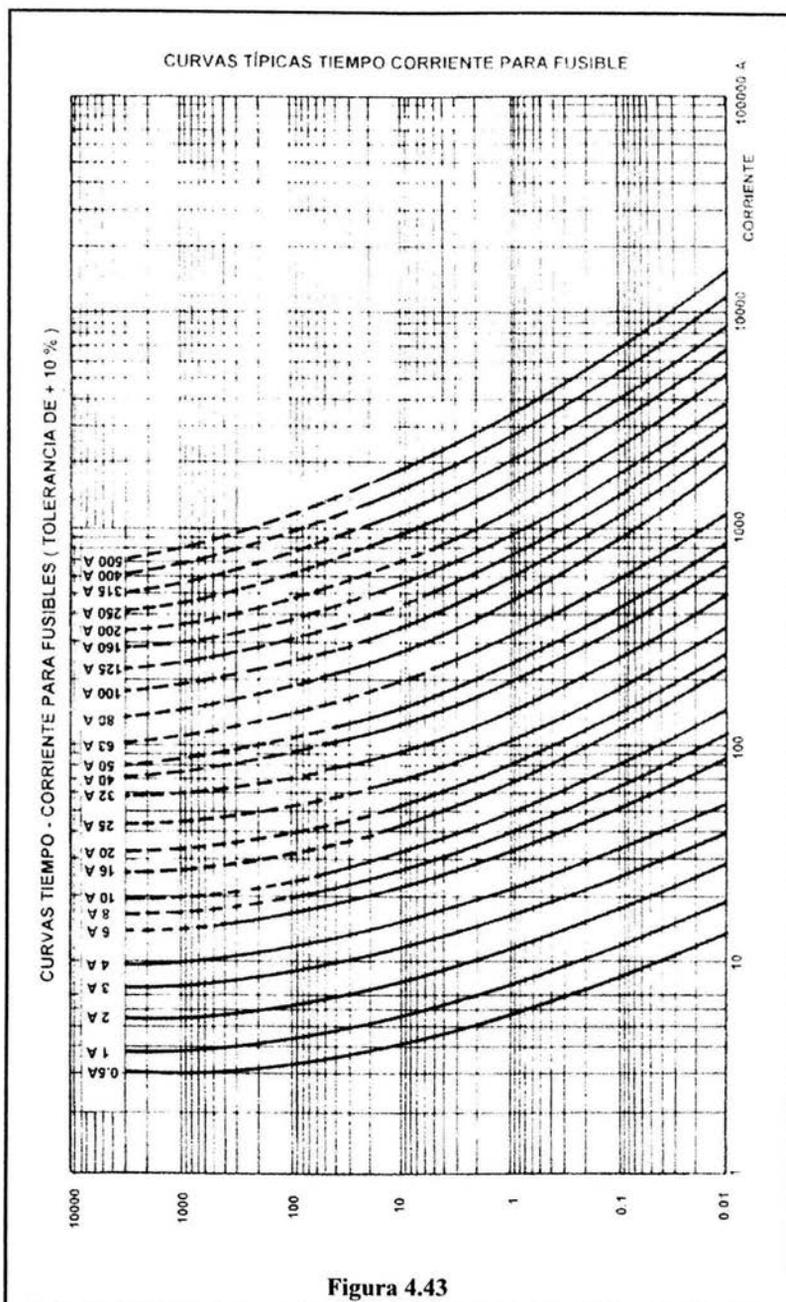
Estos fusibles tienen elementos compuestos, una parte proporciona operación rápida en el rango de las corrientes de cortocircuito y, una segunda parte, proporciona el retardo de tiempo en el rango de la mayoría de las sobre corrientes.

La construcción de estos fusibles se muestra en la siguiente figura. En cortocircuito se funde en la misma forma que otros tipos, pero este elemento fusible con sobrecarga, permanece inactivo.

El calor que se produce por una sobrecarga, se alimenta al centro de la masa del disco de cobre, sobre el cual está montado el conector y el resorte, mismos que conectan las dos piezas eléctricamente, de manera que cuando la temperatura se incrementa por la sobrecarga hasta llegar al punto de fusión de la soldadura, el conector queda fuera de su lugar por el resorte.



A continuación se muestra una curva de típica para un fusible.



Combinación de interruptor y fusible.

Combinando los fusibles limitadores de corriente con los interruptores en caja moldeada, la capacidad interruptiva del interruptor se incrementa sobre la del propio interruptor solo.

El interruptor conserva todas las funciones dentro de su rango y el fusible detecta e interrumpe las corrientes de cortocircuito que están por encima del valor nominal del interruptor. Desde luego que, los dos dispositivos deben ser coordinados para producir los resultados esperados.

Este dispositivo es útil por las siguientes razones:

1. Es menor en costo que un interruptor sólo de la capacidad total.
2. Se puede usar en sistemas en donde la corriente de falla disponible puede ser tan alta como 200,000 A, pero con requerimientos de corrientes nominales bajos.
3. Es un dispositivo totalmente coordinado. El fusible limitador de corriente no interrumpe una sobrecarga o una falla de bajo nivel pero opera cuando la falla alcanza un valor elevado de corriente.
4. El problema que se presenta con los fusibles es que al quemarse uno, se pierde una fase del sistema trifásico quedando la alimentación al motor en dos fases, con la combinación de fusible e interruptor se elimina debido a que la acción del interruptor dispara todos los polos y la acción del fusible también dispara el interruptor.

Este tipo de dispositivo de protección, se parece mucho a un interruptor en caja moldeada, excepto porque la extensión del fusible ocupa más espacio, por lo general de fondo, ya que el fusible limitador está usualmente localizado en la parte de fondo de la unidad.

Comparación entre fusibles e interruptores

Frecuentemente se presenta la necesidad de seleccionar entre el uso de fusibles o de interruptores termo magnéticos, esta selección se debe basar en algunos puntos, en este caso juega un papel muy importante en la selección y avances continuos en el diseño de productos.

A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas de ambos medios de protección, con el objeto de normar en cierta medida el criterio, y por otra parte el valor de

la corriente de corto circuito puede influir también en esta decisión.

- Desde el punto de vista de su utilización, los interruptores termo magnéticos resultan más convenientes que los fusibles, ya que un interruptor termo magnético se puede cerrar con facilidad sin ningún riesgo después de que se ha disparado. Por el contrario, un fusible que se ha fundido se debe destornillar o jalar con algún dispositivo para ello y entonces se debe tener cuidado que cuando el circuito esta abierto no se haga contacto accidental con las partes energizadas, este riesgo se puede decir que es pequeño, pero existe.
- Por otra parte, cuando se funden los fusibles, se debe disponer de los sistemas fusibles de repuesto, cuando no se tienen estos, se puede caer en la tentación de puentear el fusible o bien sustituirlo por otro de mayor capacidad, en cuyo caso se crean condiciones de riesgo en la instalación, ya que se cumple con las funciones de protección.
- Por experiencia se sabe que el uso de fusibles es tan fiable y normalmente no requieren de ser cambiados por periodos largos de tiempo, por otra parte, también se observa de la experiencia que los interruptores termo magnéticos se ven mas afectados por las condiciones ambientales y pueden llegar a ser un poco menos precisos en su operación, por lo que se recomienda que su mecanismo de operación se revise por lo menos una vez por año, lo cual no siempre ocurre, ya que por lo general se observan sólo después de haberse disparado. Cuando por alguna razón el mecanismo de operación se encuentra oxidado o en mal estado, puede ocurrir que no opere y entonces un circuito puede permanecer cerrado en condiciones de falla, lo cual representa un riesgo para la instalación eléctrica, esta situación no se presenta con los fusibles, lo cual representa una ventaja de estos.
- El calentamiento excesivo como resultado de un pobre contacto en las terminales, puede producir que tanto interruptores termo magnéticos como fusibles produzcan disparos accidentales. En los fusibles el calentamiento en las terminales por contactos falsos, se puede evitar por medio del uso de grapas de presión.
- Un problema que se puede presentar con el uso de fusibles, es que los circuitos trifásicos se puedan ver sometidos a una falla denominada **pérdida de fase**, lo cual, dependiendo del diseño puede representar una desventaja con respecto a los

interruptores termo magnéticos. Una falla en cualquiera de las fases de un circuito trifásico que está protegido por interruptores termo magnéticos, produce la apertura de todas las fases del circuito, cortando la alimentación a la carga trifásica, ya sea de alumbrado o bien motores eléctricos.

- Una falla en cualquiera de las fases de un circuito trifásico que esta protegido por fusibles, desconecta únicamente la fase fallada, de manera que continua alimentando potencia a las cargas de alumbrado a motores monofásicos conectados a las fases que permanecen energizadas, de manera que se mantiene un servicio aproximadamente 2/3 de la carga, sin embargo, en los motores trifásicos que están protegidos sólo por fusibles, al desconectarse sólo la fase fallada, quedan sujetos a la operación en dos fases, estos continúan operando, pero con una corriente incrementada y desbalanceada circulando en dos fases que quedan energizadas, de manera que al menos una de estas fases energizadas, demanda una corriente excesiva, de manera que el elemento térmico (si lo tiene) debe operar y desconectar al motor en tiempo breve.

Si la protección del motor no esta seleccionada en forma correcta la capacidad de los elementos térmicos no ha sido correctamente seleccionada, el motor continúa operando con sobre corriente hasta que se quema, y esto llega a suceder.

Un interruptor termo magnético combina la función de una cuchilla desconectadora con protección, del circuito, en cambio un fusible necesita de un desconectador (switch) adicional para cumplir con la misma función, aún con, esto un fusible es mas barato que un interruptor termo magnético, la tendencia general es a usar los interruptores termo magnéticos en la mayoría de los casos, tanto en las instalaciones para casas, habitación, como en una gran variedad de instalaciones industriales.

4.6 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Para la selección de dispositivos de protección de los motores deben de seguir las especificaciones de la **NOM-001-SEDE-1999** con base en las siguientes normas:

430-52. Capacidad nominal o ajuste para los circuitos de un solo motor

a) General. El dispositivo de protección contra cortocircuitos y fallas de tierra de circuitos derivados para motores, debe cumplir con (b) y con (c) o (d) cuando sean aplicables.

b) Todos los motores. La protección del circuito derivado contra cortocircuito y falla a tierra debe ser capaz de soportar la corriente eléctrica de arranque del motor.

c) Capacidad nominal o ajuste.

Debe usarse un dispositivo de protección, con un rango o ajuste, seleccionado de tal forma que no exceda los valores dados en la **tabla 430-152**.

- a) Motores de alto par. Los circuitos para los motores de alto par deben protegerse a la capacidad nominal que aparezca en la placa de datos del motor, según lo indicado en 240-3(b) mas de 800A.

Tabla 430-152 Valor nominal máximo o ajuste para el dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra del circuito derivado del motor

Tipo de motor	Por ciento de la corriente eléctrica a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo**	Fusible de dos elementos** (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso*
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores de CA, polifásicos, que no sean de rotor devanado, línea de ardiña				
Otros que no sean diseño E	300	175	800	250
Diseño E	300	175	1100	250
Motores síncronos +	300	175	800	250
Rotor devanado	150	150	800	250
c.c. (tensión eléctrica constante)	150	150	250	150

Para ciertas excepciones a los valores especificados, véase 430-52 hasta 430-54

* Los valores dados en la última columna comprenden también las capacidades de los tipos no ajustables de tiempo inverso, los cuales pueden modificarse como se indica en 430-52.

** Los valores en la columna para fusible sin retardo de tiempo aplican para fusibles Clase CC con retardo de tiempo.

+ Los motores síncronos de bajo par de arranque y baja velocidad (comúnmente 450 RPM o menos), como son los empleados para accionar compresores recíprocos, bombas, etc., que arrancan en vacío, no requieren una capacidad de fusible o un ajuste mayor a 200% de la corriente eléctrica a plena carga.

Figura 4.44

- Como ejemplo para el cálculo del dispositivo de protección para un motor tomaremos el diagrama unifilar que se muestra en el apartado 2.5.

- Calculando la corriente para el motor de inducción de 50 HP tenemos:

$$I = \frac{HP}{\sqrt{3}KV_L F.P.} = \frac{50}{\sqrt{3}(0.48)} = 60.14 \text{ Amp.}$$

De acuerdo a la especificación de la norma 430-52 relacionada a la tabla 430-152, el ajuste para el dispositivo de protección para el circuito derivado de un motor trifásico es del

250% de la corriente a plena carga para un interruptor automático de tiempo inverso, esto es:

$$I_{\text{correctada}} = I \times 2.5 = 60.14 \times 2.5 = 150.35 \text{ Amp.}$$

Para seleccionar el interruptor de protección de forma adecuada, debemos de contar por lo menos con las siguientes características de operación:

- Tensión nominal y corriente nominal.

$$V_N = 480 \text{ V, } I_N = 150.35 \text{ A}$$

- Frecuencia nominal.

$$F = 60 \text{ Hz}$$

- Capacidad de interrupción a corto circuito.

Recordaremos que en el apartado 4.4 se realizó el estudio de corto circuito para determinar la corriente de corto circuito que es de $I_{cc} = 10.30 \text{ KA}$

$$\text{Capacidad interruptiva} = 10,000 \text{ Amp}$$

- Ciclo de operación.

Para obtener el ciclo de operación de un interruptor una vez hecho todo el análisis debido, necesitamos consultar su **curva característica de operación corriente–tiempo** para poder determinar los tiempos en los que el interruptor opera para poder realizar el estudio de coordinación de dispositivos de protección.

***Nota: Las curvas características de operación de fusibles e interruptores son proporcionadas por los fabricantes con las características específicas de cada necesidad de protección.**

Para poder comprender el funcionamiento de un interruptor, tomaremos como ejemplo la curva típica de un interruptor termo magnético con retraso de tiempo térmico y unidad de disparo instantánea de 150 Amp de la figura 4.6.2 :

- **Suponiendo una corriente de $I_N = 90 \text{ A}$, calcular los tiempos máximo y mínimo para una corriente de disparo de 360 Amp.**

Entrando por la curva del interruptor en el eje de las abscisas con 360°:

La intersección con la línea mínima es de 12 Seg.

La intersección con la línea máxima es de 30 Seg.

Esto quiere decir que para interrumpir una corriente de 360^{a} , el interruptor no dispara antes de 12 Seg. Ni después de 30 Seg.

- **El siguiente ejemplo nos muestra el funcionamiento del interruptor de acuerdo a su curva, una vez que esta protegiendo a un dispositivo.**

Suponiendo una corriente de $I_N = 140 \text{ A}$ y una corriente de corto circuito de $I_{CC}=40.000\text{A}$.

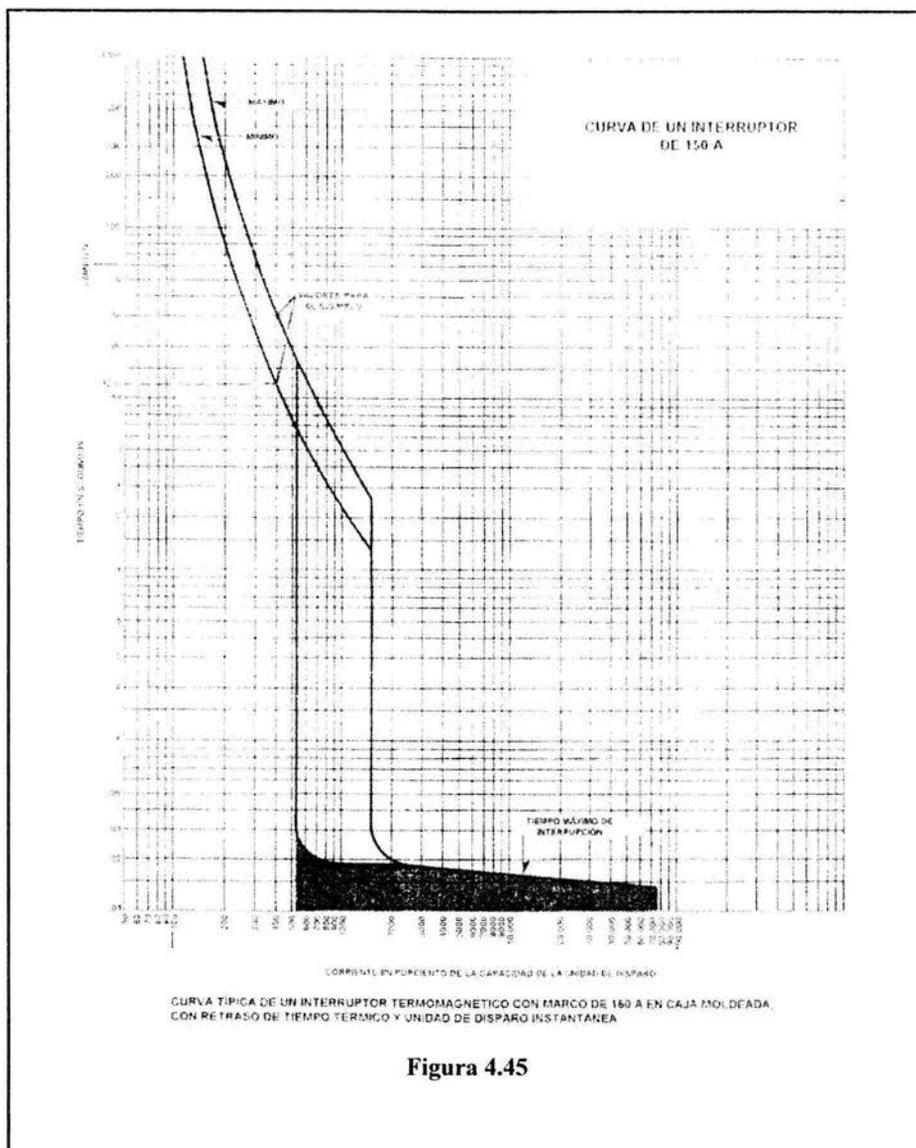
Entrando a la curva del interruptor en el eje de las abcisa con una corriente $I_{CC}=40.000\text{A}$. La intersección con la línea es de 0.15 Seg.

Esto quiere decir que el interruptor en condiciones de corto circuito con una corriente de 40.000A , tiene un ciclo de trabajo de $T = 0.15\text{Seg}$.

Para seleccionar un dispositivo de protección, debemos de analizar su curva de comportamiento corriente – tiempo para analizar la corriente de corto circuito y las condiciones de funcionamiento de capacidad nominal del interruptor y la corriente nominal del dispositivo a proteger.

Si analizamos la curva del interruptor notamos que entrando por el eje de las abcisas con la corriente nominal de 140 A no toca en ningún instante la curva, esto quiere decir que el interruptor tiene la capacidad de soportar la corriente de arranque de un motor sin la necesidad de que en el momento de arranque se dispare el interruptor y por el caso contrario de corto circuito el interruptor se dispare en el tiempo mas corto posible para evitar daños al equipo.

El mismo análisis es el que se sigue para seleccionar fusibles para protección de dispositivos. tomando en cuenta los tiempos de disparo del interruptor como del fusible. para esto se tiene que hacer un análisis completo de coordinación de protecciones.



CAPITULO 5
“CONCLUSIONES”

5.1 CONCLUSIONES.

Las instalaciones eléctricas industriales de media tensión, así como su diseño, operación y protección para un buen funcionamiento deben apearse estrictamente a las normas de instalaciones eléctricas que en este caso es la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-sede-1999**.

La realización de esta tesina así como todos los análisis y cálculos de los dispositivos que intervienen en ella fueron apeados a las normas con el fin de proporcionar una perspectiva de cómo debe de ser analizada una instalación eléctrica de mediana tensión, ya que es muy importante apearse a las normas de seguridad ya sea para el buen funcionamiento de los equipos y también para la propia seguridad de los usuarios de estas, ya que en algunos casos de accidentes son ocasionados por errores humanos.

Para realizar una instalación eléctrica debe ser realizada con mucho detalle y un profundo análisis de cálculos de todos los dispositivos que intervienen en ella, por esto este trabajo de tesis se debe de tomar en cuenta que puede ser profundizado para un mejor funcionamiento de un sistema ya que dentro de la operación de un sistema eléctrico entran muchos factores que se deben de analizar meticulosamente para hacer todo un desarrollo del proyecto.

Para realizar un proyecto pequeño o de gran magnitud debemos de tener un amplio criterio y sobre todo ética profesional para realizarlo, ya que de esto depende no sólo el factor económico y material sino también el factor humano que es muy importante ya que para este se realizan con el fin de protegerlo ampliamente y a largo plazo a las personas que intervienen en este.

Algo muy importante que se debe recalcar, debido a que fue un “trabajo de seminario” no se profundizó en algunos temas por lo que hay información que se tocó superficialmente, y es debido que el análisis de selección de dispositivos de protección, ya sean fusibles o interruptores es demasiado extenso y se tendría que realizar todo un estudio de coordinación de dispositivos de protección, es por esto que se tomó sólo lo primordial.

BIBLIOGRAFÍA

El ABC de las instalaciones eléctricas industriales

Enríquez Harper
Editorial Limusa

Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales

Enríquez Harper
Editorial Limusa

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-1999 Instalaciones eléctricas

Instituto Politécnico Nacional
Editorial Alfaomega

Manual de aplicación del reglamento de instalaciones eléctricas

Enríquez Harper
Editorial Limusa