



61
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CRITERIOS PARA SELECCIÓN Y COORDINACIÓN
DE PROTECCIONES EN TRANSFORMADORES
DE DISTRIBUCIÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

P R E S E N T A N

José Hernández Cruz

Espiridión Ortiz Hernández

Director: Ing. Armando Basave C.

MEXICO, D. F.

1 9 8 9

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

T E M A R I O

PAG.

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

7

1.	DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	8
1.1	Objetivo	8
1.2	Fusibles de Alta Tension	8
1.2.1	Fusibles en espera de Corriente Cero	
1.2.2	Fusibles de desplazamiento de Corriente Cero	
1.3	Fusibles de Baja Tension	25
1.3.1	Fusibles para Protección Suplementaria	
1.3.2	Fusibles para protección de Alimentadores Principales y Derivados	
1.3.3	Fusibles para Propósitos Especiales	
1.4	Interruptores Termomagnéticos	36
1.5	Interruptores Electromagnéticos	39
2.	PRINCIPIOS DE OPERACION	43
2.1	Objetivo	43
2.2	Principios de Operación de los Fusibles	43
2.2.1	Características de los Fusibles	43
2.2.2	Comportamiento de los Fusibles de Acuerdo a la Magnitud de Sobrecorriente	46
2.2.2.a	Operación con Sobrecorrientes Intensas	
2.2.2.b	Operación con Sobrecorrientes Moderadas	
2.2.2.c	Operación con Sobrecorrientes Pequeñas	

2.2.3	Curvas Características de los Fusibles	49
2.2.3.a	Curvas Corriente - Tiempo de Fusión	
2.2.3.b	Curvas Corriente - Tiempo de Interrupción Total	
2.2.3.c	Curvas de Energía Específica ($I^2 t$) - Corriente Nominal	
2.2.3.d	Curvas de Energía Específica ($I^2 t$) - Corriente de Falla	
2.2.3.e	Curvas de Limitación de Corriente	
2.2.4	Variación de las Curvas Características de los Fusibles en Operación	54
2.2.5	Variación de las Curvas Características Según el Tipo de Fusible	55
2.2.6	Variación de la Relación K/R y la Tensión Aplicada	58
2.2.7	Teoría de Operación de Fusibles en Alta Tensión	58
2.2.7.a	Fusibles de Expulsión	
2.2.7.b	Fusibles Limitadores de Corriente	
2.3	Principios de Operación de los Interruptores Termomagnéticos	62
2.3.1	Unidad de Disparo	63
2.3.1.a	Disparo Térmico	
2.3.1.b	Disparo Magnético	
2.3.2	Mecanismo de Operación	67
2.3.3	Cámara de Extinción	71
2.3.3.a	Elongación del Arco Eléctrico	
2.3.3.b	Relación entre Elongación y Energía del Arco Eléctrico	
2.3.3.c	Extinción Desionizadora del Arco	
2.3.4	Interrupción de una Corriente Alterna	75
2.4	Principios de Operación de los Interruptores Electromagnéticos	79

2.4.1	Sistema de Protección	79
2.4.1.a	Descripción	
2.4.1.b	Sensores de Corriente	
2.4.1.c	Relés Transistorizados de Sobrecorriente	
2.4.1.d	Bomba de Disparo por Sobrecorriente	
2.4.2	Operación	81
2.4.3	Selección de Ajustes	85
3.	PARAMETROS A CONSIDERAR EN LA PROTECCION A TRANSFORMADORES	87
3.1	Transformador	87
3.2	Principales Factores que se deben considerar en la Protección a Transformadores	87
3.3	Características del Sistema	88
3.3.1	Corriente de Falla	
3.3.2	Tensión Transitoria de Restablecimiento	
3.4	Características de la Carga	89
3.5	Características de los Transformadores	90
3.5.1	Capacidad de Sobrecarga de los Transformadores	90
3.5.2	Capacidad del Transformador al Corto Circuito (punto ANSI)	92
3.5.3	Corriente de Magnetización de Transformadores (Corriente Inrush)	97
3.5.4	Consideraciones de Daño de Tanque	98
3.5.5	Corriente de Restablecimiento de Carga Fría.	99
3.5.6	Daño Térmico y Mecánico	99
3.5.7	Conexión Δ -Y de los Transformadores	99
3.6	Características Generales de los Fusibles	102

4.	SELECCION Y COORDINACION	110
4.1	Criterio de Selección para Fusibles	110
4.1.1	Características del Sistema a Considerar	
4.1.2	Características de la Carga a Tomar en Cuenta	
4.1.3	Características del Transformador a Considerar	
4.1.4	Características de los Fusibles a Considerar	
4.2	Criterio de Selección para Interruptores Termomagnéticos	111
4.2.1	Voltage Nominal	
4.2.2	Corriente de Carga	
4.2.3	Corrientes Disponibles de Corto Circuito	
4.2.4	Temperatura Ambiental	
4.2.5	Frecuencia Nominal	
4.2.6	Condiciones de Operación	
4.2.7	Accesorios	
4.3	Criterio de Selección para Interruptores Electro-magnéticos	115
4.4	Coordinación	116
4.4.1	Objetivo de un Estudio de Coordinación de Protecciones	116
4.4.2	Interpretación de las Curvas	116
4.4.3	Etapas de un Estudio de Coordinación	117
4.4.3.a	Representación Unifilar del Sistema que se desea Proteger	
4.4.3.b	Registro de Impedancias del Sistema	
4.4.3.c	Realización de un Estudio de Corto circuito	

4.4.3.d	Determinación de las Máximas Capacidades de Corriente	
4.4.3.e	Cálculo de Ajustes	
4.4.4.	Tipos de Coordinación	121
4.4.4.a	Coordinación Selectiva Mediante Tablas	
4.4.4.b	Coordinación Selectiva Mediante las Curvas Características t-I	
4.4.4.c	Coordinación Selectiva Mediante las Curvas I ² t.-Inom	
4.4.4.d	Coordinación entre Interruptores de Baja Tensión y Fusibles Limitadores de Corriente	
4.4.4.e	Coordinación de Fusibles con Interruptores de Seguridad	
4.4.4.f	Coordinación de Fusible vs. Fusible	
4.4.4.g	Coordinación entre Fusibles de Expulsión	
4.4.4.h	Coordinación entre Fusibles Limitadores de Corriente	
4.4.4.i	Coordinación de un Fusible Limitador de Corriente Protegiendo a un Fusible de Expulsión	
4.4.4.j	Coordinación de un fusible de Expulsión Protegiendo a un Fusible Limitador de Corriente	
4.4.4.k	Coordinación de un Fusible de Expulsión y un Restaurador	
4.4.4.l	Coordinación de un Fusible vs. Interruptor Secundario	
5	EJEMPLO DE APLICACION	152
5.1	Especificaciones Eléctricas del Transformador de 112.5 kVA.	152
5.2	Valores de Corriente de Magnetización del Transformador (INRUSH).	153
5.3	Valores de Corriente de Restablecimiento (Carga Fria).	153

5.4	Valores de Daño Térmico y Mecánico	153
5.5	Valores de Corto Circuito Determinados por la Compañía de Luz y Fuerza (Subestacion Naucalpan)	156
5.6	Características del Equipo Seleccionado	157
CONCLUSIONES		162
BIBLIOGRAFIA		163

INTRODUCCION

En los sistemas de generacion, transmision y distribucion de energia electrica, destaca la importancia de la inversion requerida en los sistemas de distribucion y dentro de estos el transformador. Es por esta razon que se considera de gran importancia la proteccion de los transformadores de distribucion, con el fin de evitar perdidas financieras.

Para lograr lo anterior existen una serie de dispositivos que pueden ser usados dentro de los sistemas de proteccion de los transformadores, como son los fusibles e interruptores, el uso del fusible como proteccion a los transformadores es el mas extendido ya que casi no requiere de mantenimiento.

El presente trabajo inicia con una clasificacion de los fusibles, basada en la tension de operacion, subclasificandose a su vez por su forma de operacion (expulsion, limitadores de corriente) y por su capacidad interruptiva. Al mismo tiempo junto con la clasificacion, se presentan las partes constitutivas de los fusibles. A continuacion se describen los interruptores termomagneticos y electromagneticos.

En la correspondiente a la operacion, se realiza una descripcion teorica del comportamiento de cada uno de los dispositivos de proteccion, asi como los parametros que se deben tomar en cuenta, para su correcta operacion.

Como uno de los puntos importantes para el buen funcionamiento de los dispositivos de proteccion es la operacion selectiva de los mismos, se incluye en este trabajo, un capitulo denominado "Selección y Coordinación", en el cual se analiza el objetivo principal de un estudio de este tipo, se da una definicion de coordinacion de protecciones; se hace un pequeño resumen de la interpretacion de las curvas de los tiempos de respuesta, se plantea una serie de pasos o etapas a seguir durante el desarrollo de un estudio de coordinacion de protecciones y finalmente, se plantea una clasificacion de algunas de los diferentes formas o tipos de coordinacion que existen, de acuerdo al nivel de tension en que se localizan las protecciones.

1 DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

1.1 OBJETIVO

Describir los diferentes tipos de dispositivos utilizados para la protección de transformadores de distribución contra sobrecorriente, tales como: fusibles limitadores y de expulsión, usados en el lado primario del transformador, e interruptores termomagnéticos y electromagnéticos, usados del lado secundario del mismo. Así mismo se describen en forma somera, aunque no es el objetivo principal de este tema, los fusibles de baja tensión, los cuales, como se podrá apreciar en el contenido del presente trabajo, cuentan con características de operación aplicables tanto en alta como en baja tensión.

1.2 FUSIBLES DE ALTA TENSION

Los fusibles de alta tensión pueden ser clasificados como fusibles de potencia o de distribución, siendo las características establecidas por los estándares las siguientes:

- 1) Nivel básico de aislamiento al impulso.
- 2) Aplicación (estación, subestación, líneas de distribución y equipo).
- 3) Construcción mecánica adaptada a los requerimientos de aplicación.
- 4) Rango de valor nominal de amperaje (significativamente más alto para los fusibles de potencia).

A continuación se muestra, en el diagrama No. 1, la clasificación de los fusibles de alta tensión, la cual se cumple tanto para los fusibles de distribución como para los de potencia.

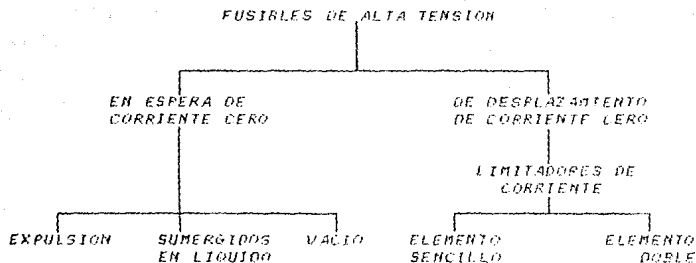


DIAGRAMA NO. 1

Actualmente, existen dos tipos básicos de fusibles para la aplicación en Sistemas Eléctricos de Distribución, que son: Los fusibles "en espera de corriente cero" y los fusibles "de desplazamiento de corriente cero".

1.2.1 FUSIBLES EN ESPERA DE CORRIENTE CERO.

El principio de operación de este tipo de fusible consiste en esperar a que la corriente de corto circuito pase por el valor cero, en ese momento el efecto total del medio interruptor construido dentro del fusible se hace significativo, permitiendo así, la completa interrupción de la corriente de corto circuito y el soporte del voltaje. Un ejemplo típico de este tipo de fusible es el fusible de expulsión exterior, que utiliza la generación de gases y el escape para producir la interrupción. Una variante de este tipo de fusible es el que utiliza aceite bórico, como generador de gases (produciendo principalmente vapor de agua); este tipo de fusible puede entonces utilizar condensadores de modo que la masa de vapor de agua no tiene que ser vaciada del montaje completo del fusible (aunque es expulsada de la cámara de interrupción principal).

Otra versión de este tipo de fusible, es el fusible de apertura en aceite. En este caso, los gases de expulsión son producidos por la descomposición del aceite, así como de los materiales asociados con el fusible.

La más reciente adición a este tipo de fusible, es el fusible en vacío. Este realmente no es un fusible de expulsión, porque toda la interrupción tiene lugar en un cuerpo completamente sellado; sin embargo el fusible debe aún esperar a que la corriente sea cero, antes de que la interrupción tenga lugar.

Para comprender mejor el principio de operación de los fusibles en espera de corriente cero, tomaremos como muestra el fusible tipo expulsión, el cual para interrumpir la falla emplea un tubo confinador de arco y dentro el elemento fusible. La sección del elemento fusible es relativamente corta para detectar la sobrecorriente e iniciar la formación del arco.

Algunos de los materiales requeridos para la interrupción, localizados en la proximidad al elemento fusible, y que generan gases a partir del arco producido son: melamina y ácido bórico.

La interrupción del arco en este tipo de fusibles, se realiza cuando la corriente de corto circuito pasa por su valor cero y los gases presurizados dentro del tubo son expulsados por uno de los extremos del cartucho.

Este tipo de fusibles se usa básicamente en exteriores para proteger contra sobrecorriente (y en algunos diseños contra sobrecarga): alimentadores, primarios de transformadores y bancos de capacitores. Cuando son usados dentro de gabinetes, hay que tener cuidado con ventilar los gases ionizados, de manera tal que no contaminen las partes vivas.

A continuación se muestran las partes constitutivas de los cuatro tipos básicos de fusibles de "en espera de corriente cero", así como sus características nominales de operación.

- FUSIBLES DE EXPULSION

Los fusibles de potencia tipo expulsión constan de las siguientes partes (ver figuras 1 y 2):

- 1) Cartuchos.-Estos se construyen de fibra de vidrio (hilo o tela) con resinas epóxicas, poliéster o melamina.

- 2) Tapas.- Que a la vez sirven de contactos y estan contruidos de bronce o latón.
- 3) Abrazaderas.-Las cuales se construyen de bronce.
- 4) Aisladores.-Se construyen de cerámica.
- 5) Estructura.- Esta contruida de acero galvanizado.
- 6) Accionamiento de desconexión.-Consiste en un resorte de acero.
- 7) Repuesto.- Que a su vez consta de las siguientes partes:
 - a) Placas de acido terico.
 - b) Varillas de cobre con baño de plata
 - c) Contacto de acero
 - d) Elemento fusible de plata
 - e) Valvula con tapón de plastico
 - f) Casquillo de latón plateado

Las características nominales de operacion para los fusibles de potencia tipo expulsión, de acuerdo al Instituto de Normalización Americano ANSI C37-6, son las mostradas en la tabla No. 1

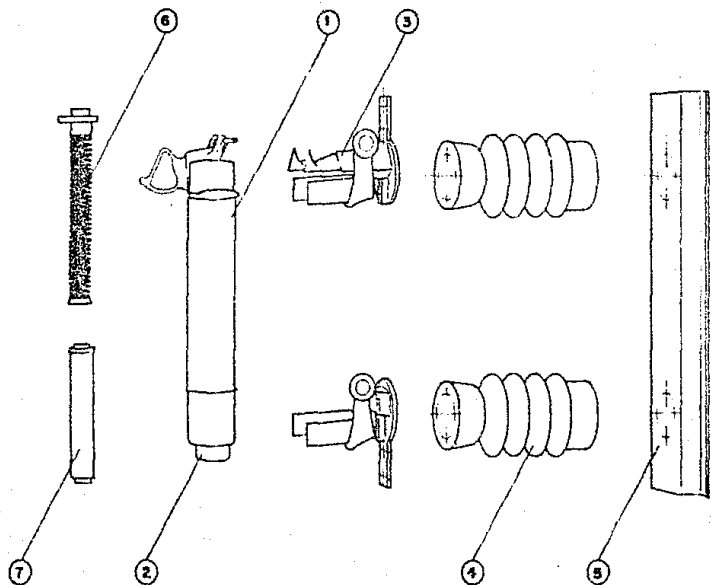


FIG.(1) PARTES CONSTITUTIVAS DEL FUSIBLE DE POTENCIA TIPO EXPULSION.

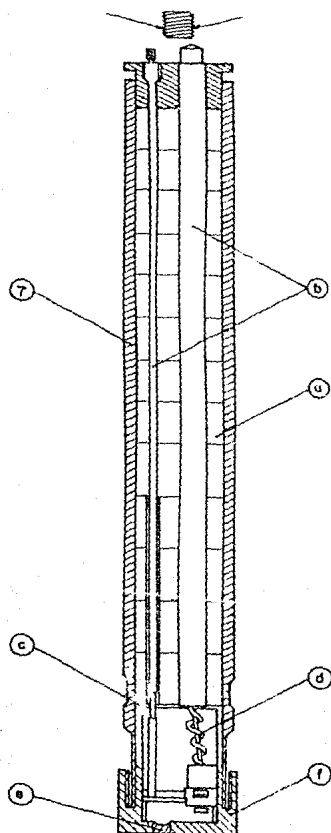


FIG. (2)

TABLA No. 1

CARACTERISTICAS NOMINALES DE FUSIBLES DE
POTENCIA TIPO EXPULSION

TENSION NOMINAL	CAPACIDAD INTERRUPTIVA MAXIMA NOMINAL SIM.RMS.	NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO
(KV)	(KA)	(KV)
2.4	63.0	45
3.2	50.0	60
7.2	50.0	75/95
10.4	80.0	110
23.0	50.0	150
34.5	40.0	200
46.0	20.0	250
59.0	12.5	350
115.0	8.0	550
138.0	8.5	650
161.0	2.0	750

- FUSIBLES TIPO ESLABON

Los fusibles tipo eslabon constan de los siguientes partes
(ver figuras 3 y 4):

- 1) *Tubo portafusible.*-Se construyen con resinas epoxicas y fenolicas, fibra de vidrio o resinas termo plasticas.
- 2) *Tapas.*-Sirven de contactos y están construidas de bronce fundido.
- 3) *Disparador.*-Consiste en un resorte de acero.
- 4) *Prestionador.*-Consiste en una lámina de cobre al berilio con baño de plata.

- 5) Contactores.-Se construyen de aluminio y bronce.
- 6) Aislador.-Se construye de cerámica.
- 7) Abrazadera.-Se construye de acero galvanizado.
- 8) Resorte de fijación.-De acero inoxidable.
- 9) Tapa del portafusible.-Es construida de bronce
- 10) Eslabón fusible. (ver figura no. 4)

Las características nominales de operación para los fusibles empleados en redes de distribución, según normas ANSI C-37-41, se muestran en la tabla No. 2

TABLA No. 2

CARACTERÍSTICAS NOMINALES PARA FUSIBLES EMPLEADOS EN REDES DE DISTRIBUCION

FUSIBLES ABIERTOS			
TENSION NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL	CAPACIDAD INTERRUPTIVA MAXIMA, VALOR SIM. RMS (KA)*	NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO (BIL) (KV)
(KV)	(A)+		
4.8	50	3.0	60
7.2	200	5.6	75
10.0	200	7.1	95
25.0	100	9.0	95
34.5	100	3.2	125

FUSIBLES DE ESLABON DESCUBIERTO

7.2	50	1.2	75
14.4	50	1.2	95
17.0	50	0.75	125

CORTACIRCUITO FUSIBLE CON ESLABON

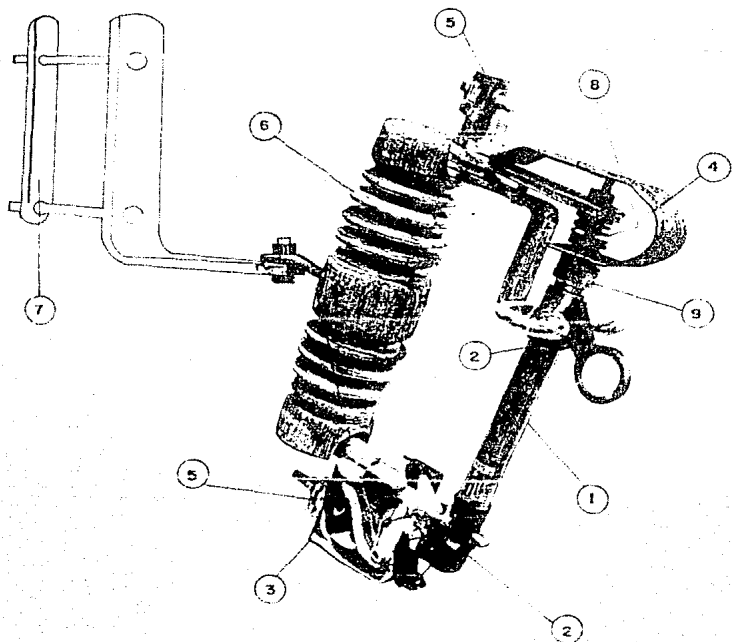
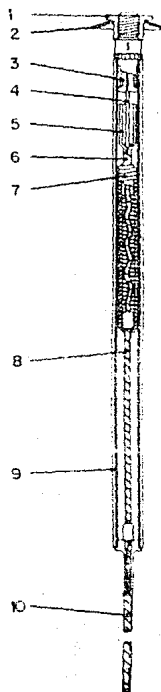


Figura No. (4)

17

- 1.- Cabezal del Botón de Contacto con Rosca.
- 2.- Arandela
- 3.- Terminal Superior
- 4.- Elemento Fusible
- 5.- Pantalla Protectora contra Corona
- 6.- Terminal interior
- 7.- Muelle de Tensión
- 8.- Cable interior
- 9.- Coraza Protectora (También sirve como soporte al muelle de tensión)
- 10.- Cable.



ESLABON FUSIBLE CON SUS PARTES CONSTITUTIVAS

*Aunque no se especifica la capacidad de los fusibles en MVA, se estima que son empleados a niveles de hasta 250 MVA.

+Los valores indicados se refieren a la capacidad nominal definida en la norma de referencia, pero obviamente, en los fusibles indicados se pueden instalar eslabones de las siguientes capacidades:

CORRIENTE NOMINAL (A)	RANGO (A)
50	1 A 50
100	1 A 100
200	125 A 200

- FUSIBLES SUMERGIDOS EN LIQUIDO

El fusible sumergido en liquido es muy similar en diseño y operación a los fusibles de expulsión, en que se utiliza un elemento corto de fusible. La única diferencia consiste en que los materiales aislantes localizados en la proximidad del elemento fusible son líquidos, tales como el aceite o tetracloruro de carbono, los cuales también generan gases que son expulsados de la cámara de interrupción.

Los fusibles sumergidos en liquido constan de las siguientes partes (ver figura No. 5):

- 1) Cartucho.-Se construye de fibra de vidrio.
- 2) Tapas.- Que a la vez sirven de contactos, y están construidas de latón o cobre plateadas.
- 3) Eslabón.-Es de plata o aleaciones.
- 4) Extinguidor.- Consiste en aceite aislante o tetracloruro de carbono.
- 5) Conductor interior.- Consiste en un cable flexible de cobre.
- 6) Accionamiento de desconexión.-Es un resorte de acero.

Las características nominales de operación para los fusibles sumergidos en liquido son similares a los de los fusibles tipo expulsión. (ver tabla No. 1).

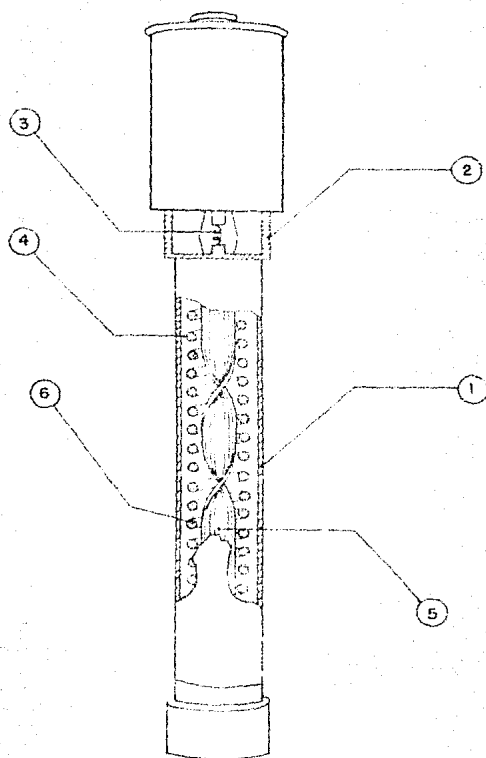


Fig.(5) Partes constitutivas del fusible en líquido

- FUSIBLES EN VACIO

Los fusibles en vacío, tienen un diseño y una operación similar a los fusibles de expulsión, ya que ambos utilizan elementos de fusibles cortos y la relación tiempo - corriente - voltaje son similares.

La principal diferencia consiste en que el fusible en vacío, es una unidad completamente sellada y no utiliza la expulsión de gases.

Los fusibles en vacío constan de las siguientes partes (ver figura No. 6):

- 1) Eslabón.- Es el elemento fundente, de plata, estaño, zinc ó plomo.
- 2) Electrodo.- Son de tungsteno, vanadio ó cromo, y su función es mantener fijo el eslabón.
- 3) Terminales.- Son de placa de latón y tienen la función de asegurar el contacto entre la clavija de conexiones y el fusible.
- 4) Medio.- Es el medio de extinción, que en este caso es el vacío.
- 5) Cubierta.- Contiene al eslabón, electrodos, y parte de las terminales, debe ser capaz de resistir la presión del medio.

El fusible en vacío tiene las mismas características (tensión nominal y capacidad interruptiva) que el fusible de expulsión (ver tabla No. 1).

1.2.2 FUSIBLES DE DESPLAZAMIENTO DE CORRIENTE CERO.

Este tipo de fusible es comúnmente llamado limitador de corriente o limitador de energía, ya que no sólo reduce la magnitud de la corriente de falla que está fluyendo, debido a su capacidad para introducir una alta resistencia en el circuito, sino que también cambia un circuito de factor de potencia bajo a un circuito de factor de potencia relativamente alto y con eso desplaza el punto de corriente cero a un punto cercano al voltaje cero.

Hay tres clases de fusibles limitadores de corriente:

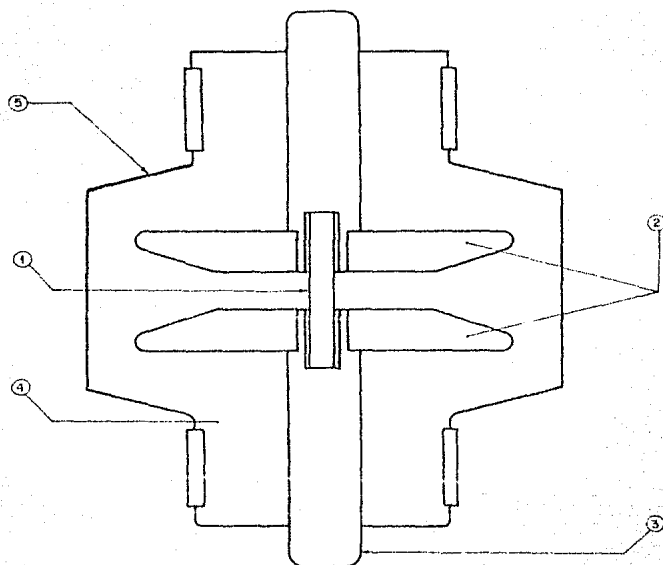


Fig. 1.6 1- Fusible en vacío.

. El fusible limitador de corriente de respaldo que es muy efectivo en altas corrientes de falla, pero siempre tiene un límite de corriente que puede interrumpir exitosamente, inferior al fusible en espera de corriente cero, este fusible debe ser utilizado con algún otro dispositivo.

. Una segunda clase, es un fusible de propósito general, que por definición estandar ANSI, es un fusible limitador de corriente el cual puede interrumpir una corriente que provoca que el fusible opere en una hora o menos.

. La tercera clase (uso común) es un fusible de amplio rango que está diseñado para interrumpir cualquier corriente que origine la fusión del elemento fusible.

Los fusibles limitadores de corriente tienen varias presentaciones, lo cual hace de ellos preferibles en la protección. Además, los fusibles limitadores son completamente silenciosos durante el proceso de interrupción, no expelen gases desionizantes y las corrientes de falla son limitadas a una fracción de la corriente disponible. Es por estas características que son usados en áreas restringidas y en lugares cerrados con personal próximo.

Desafortunadamente los fusibles limitadores tienen una baja capacidad interruptiva, en comparación con otros fusibles, de 3 a 5 veces su corriente nominal (especialmente en el rango 8.3 a 15.5 kV), es por ello necesaria la incorporación en serie con equipo auxiliar, tales como interruptores o fusibles de expulsión.

Dentro de los fusibles limitadores de corriente existen dos tipos básicos: los de elemento sencillo y los de doble elemento. Estos últimos tienen la característica de tener dos elementos fundentes (eslabones) en serie, con diferentes temperaturas de fusión.

Los fusibles limitadores de corriente constan de las siguientes partes (ver figura No. 7):

- 1) Eslabones.-Son listones de plata, zinc ó aluminio.
- 2) Núcleo.-Por lo general es de cerámica, sirve de soporte a los eslabones, manteniéndolos firmes y evitando que el espaciamento varíe, evita la generación de gases inertes y presión.
- 3) Relleno.-La función del relleno es la de absorber el calor generado y de suprimir los arcos. Es de arena sílica.

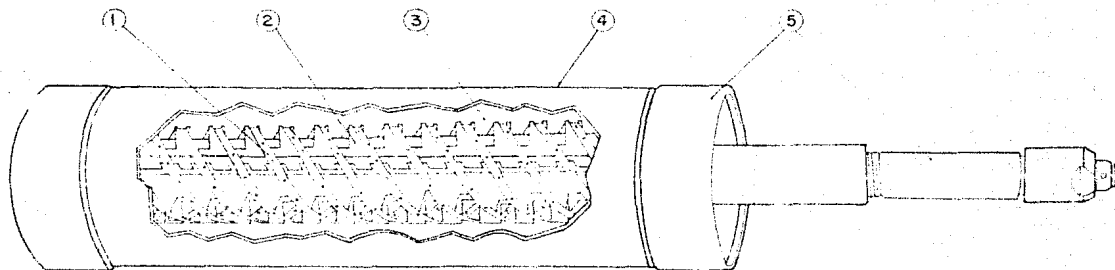


FIG.(7) FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE

- 4) **Cartucho fusible.**—El núcleo junto con el elemento fusible (estación) y el relleno, se encuentran alojados dentro de un tubo capaz de resistir explosiones, como lo es el cartucho fusible, el cual es construido con resinas epóxicas, poliéster, melaminas, fibras de vidrio (telas o hilos) o cerámico.
- 5) **Tapas contactos.**—Se encuentran en los extremos del cartucho fusible y son de latón, aseguran un buen contacto en dos áreas: en la clavija de conexiones y en las paredes laterales.

Las características nominales de operación para los fusibles de alta tensión limitadores de corriente, de acuerdo al Instituto de Normalización Americano ANSI C37-47 y al IEC 282-1, se muestran en la siguiente tabla:

TABLA NO. 3

CARACTERÍSTICAS NOMINALES DE LOS FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE

TENSION NOMINAL MAXIMA	CAPACIDAD INTERRUPTIVA MAXIMA NOMINAL, VALOR SIM. RMS.	NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO
(KV)	(KA)	(KV)
2.8	50	60
5.5	40	75
8.3	40	85
15.5	25	110
27.0	16	150

1.3 FUSIBLES DE BAJA TENSION

En el diagrama No. 2 se muestra la clasificación de los fusibles de baja tensión.

1.3.1 FUSIBLES PARA PROTECCION SUPLEMENTARIA

Son fusibles diseñados para la protección de equipo electrónico y de uso doméstico. No son utilizados para la protección de circuitos derivados.

Estos fusibles se dividen en :

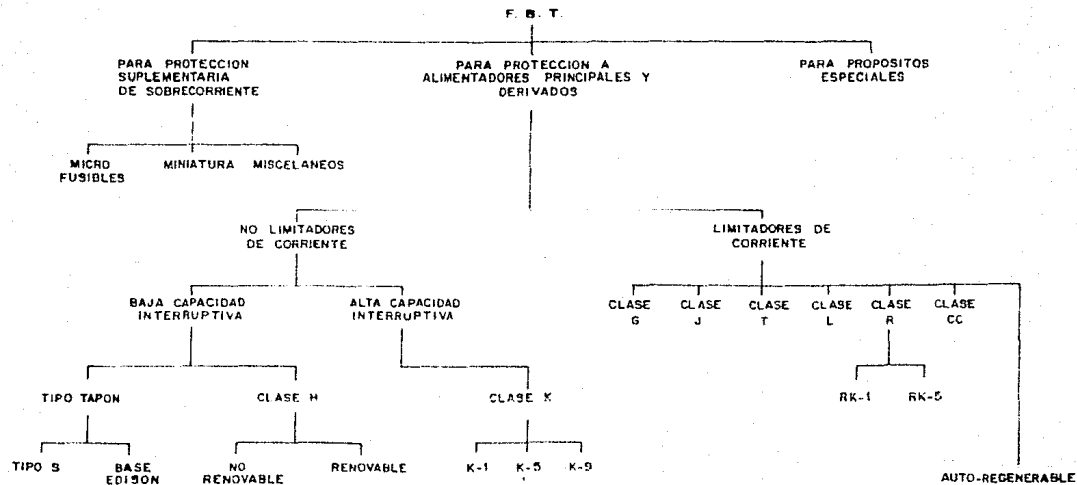
- **Microfusibles.**—Son los fusibles mas pequeños y existe una gran variedad de diseños (tubulares, cilindricos, etc.). Los valores nominales de estos fusibles son: 125V.C.A., de 0 a 10 Amp. y 50 Amp. Sim. de C.I.
- **Miniatura.**—Esta clase de fusibles son de forma tubular, con terminales tipo casquillo y tienen las siguientes capacidades: 125 o 250 V.C.A., de 0 a 50 Amp. nominales y 100,000 Amp. sim. de C.I.
- **Miscelaneos.**—Los fusibles miscelaneos son de construcción tipo casquillo. Su forma de construcción no permite instalarlos en portafusibles diseñados para los de clase G, H, J, K, L, R y I, sus capacidades son: 125 a 600 V.C.A., 0 a 60 Amp. nominales y 10, 50 y 100 kA Sim. de C.I.

A continuación, se describen los componentes del fusible tipo tubular con casquillo en los extremos, (ver figura No. 3).

- 1) **Eslabón.**— Es un hilo de zinc o cobre, con capacidad para la corriente nominal.
- 2) **Tubo.**— Es el aislante que contiene al eslabón y se construye de cerámica o de vidrio.

DIAGRAMA N.º 2

CLASIFICACION DE LOS FUSIBLES DE BAJA TENSION



3) Resorte.-Es de acero y se utiliza para obtener una mayor velocidad de apertura. El resorte es opcional.

4) Tapa.-Es de latón.

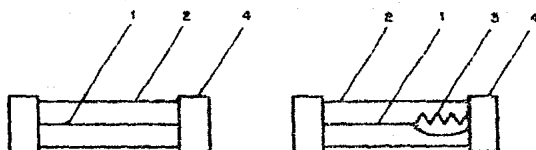


FIGURA No. 8

En la figura No. 8 se observan dos ejemplos de fusibles miniatura, el de la izquierda es con un simple eslabón y el de la derecha muestra un resorte de acero para obtener una rápida apertura del dispositivo de interrupción.

1.3.2 FUSIBLES PARA PROTECCIÓN DE ALIMENTADORES PRINCIPALES Y DERIVADOS.

Dentro de esta división se tienen dos clases, los no limitadores y los limitadores de corriente. Se considera que un fusible es limitador de corriente porque restringe la corriente de corto circuito a un valor medio antes del primer medio ciclo.

- FUSIBLES NO LIMITADORES DE CORRIENTE.

Dentro de estos fusibles se tienen dos tipos: los de baja capacidad interruptiva y los de alta capacidad interruptiva.

A) Fusibles de Baja Capacidad Interruptiva.-Este tipo de fusibles se subdivide a la vez en:

. FUSIBLES TIPO TAPON.

Estos fusibles son utilizados para la protección de circuitos de fuerza y alumbrado en 125 V.C.A. Se fabrican hasta 30 A. y 10 K.A. de C.I. simétricos.

Sólo existen dos diseños (dependiendo de la rosca), el de Tipo Edison y el Tipo S, pero no pueden ser intercambiados entre ellos. El fusible tipo Edison solo se fabrica en 125 V.C.A. y 0 a 30 A. mientras que el fusible tipo S se fabrica de 0 a 15 A., de 15 a 20 A. y de 21 a 30 A.

. FUSIBLES CLASE H.

El fusible clase H, es también apropiado al igual que el tipo tapon, para la protección de circuitos de fuerza y alumbrado, pero los voltajes nominales son: de 250 u 600 V.C.A. y de 0 a 600A. con una capacidad interruptiva de 10 KA. simétricos.

Dentro de los fusibles clase H se tienen dos tipos, los renovables (es un fusible en el cual el elemento sensible a la corriente puede ser reemplazado después que el fusible ha abierto) y los no renovables.

A continuación se describen los elementos que componen estos tipos de fusibles (ver figura No. 9).

- 1) **Eslabón.**—Esta hecho de zinc y tiene secciones de diferente área; unas operan por corto circuito (a) y las otras secciones por sobrecargas (b).
- 2) **Certucho fusible.**—Es de fibra vulcanizada, contiene al eslabón y sirve para aislarlo del medio.
- 3) **Tapas.**—Se encuentran a los extremos del fusible, están conectadas al eslabón, son de latón y pueden tener navajas.

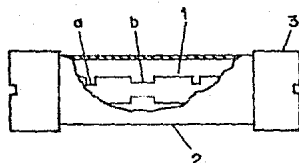


FIGURA No. 9

En la figura 9, se observa un fusible clase H renovable, seccionado para la identificación de los fusores de cortocircuito y sobrecarga.

- B) **Fusibles de Alta Capacidad Interruptiva.**—Dentro de esta subdivisión, se encuentran los fusibles tipo 6 clase K. Estos se fabrican solamente para 250 y 600 V.C.A.

Dependiendo de la capacidad interruptiva de los fusibles, éstos se dividen en:

. FUSIBLES TIPO K-1.

Estos fusibles tienen la mas alta capacidad interruptiva dentro de los fusibles no limitadores, 200KA. Sim., y se fabrican unicamente del tipo rapido.

. FUSIBLES TIPO K-5.

Estos fusibles tienen un grado moderado de capacidad interruptiva, 100 KA. Sim., son fabricados del tipo rapido y del tipo tiempo retardado. La palabra tiempo retardado indica que el fusible debe operar en 10 seg. con una sobrecarga del 500% de su corriente nominal.

. FUSIBLES TIPO K-9

Estos fusibles tienen la menor capacidad interruptiva, entre los fusibles tipo K, 50KA. Sim. Al igual que el fusible K-5, se fabrican del tipo rapido y del tipo tiempo retardado.

En la figura No. 10 se muestra el fusible tipo K, así como las partes que lo componen; y que son:

- 1) Tapa.-Es un casquilla que se encuentra en los extremos del fusible y es de latón.
- 2) Terminal.-También se le conoce como contacto de navaja, se encuentra sobre la tapa. El material con que se fabrica esta parte es de cobre.
- 3) Eslabon.-Es el liston que opera cuando se presenta un corto circuito, se fabrica de cobre, latón o plata.
- 4) Retardo de tiempo.-Opera solamente cuando se presenta una sobrecarga. Se encuentra dentro del eslabon y se fabrica de plomo.
- 5) Extintor del arco.-Es de arena de cuarzo, al presentarse el arco, la arena se funde y se forma el cristal, introduciendo una alta resistencia.
- 6) Tubo.-Es el aislante que contiene al eslabon, al retardo de tiempo y al extintor del arco. Se fabrica de fibra vulcanizada o de vidrio.

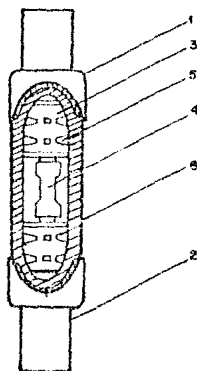


FIGURA No. 10

La figura (10) representa un fusible clase K de doble elemento con terminales o contactos de navajas, seccionado para mostrar la construcción interna de éste.

- FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE.

Consiste en un cortacabo fusible, el cual podrá interrumpir todas las corrientes disponibles dentro de un rango interruptivo, limitando el "tiempo de apertura" a tensión nominal, a un intervalo igual o menor que el primer medio ciclo o primer pico simétrico y limita la corriente pico de fuga a un valor menor que la corriente pico que sería posible si el fusible fuera reemplazado por un conductor sólido de la misma impedancia. Notice que la limitación de corriente únicamente es efectiva a un valor específico de corriente.

Los fusibles limitadores de corriente a su vez, se ramifican en los siguientes tipos:

(Todos ellos etiquetados como "limitadores de corriente" por las normas B.I. (Underwriters Laboratories)).

. FUSIBLES CLASE G.

Estos fusibles son de alta capacidad interruptiva, no renovables, para ser utilizados únicamente en circuitos de corriente alterna donde el corto circuito no es superior a 100 KA. RMS, simétricos (ya que este es el valor de su capacidad interruptiva), tienen una corriente nominal de 0 a 600 amps, y una tensión nominal de 500 volts a tierra.

Estos fusibles no son intercambiables con ninguna otra clase de fusibles, cumpliendo con la norma U.L.-198.2 en las cuales también se determinan los valores de energía I^2t de fuga permitidos. Además determina que el valor de tiempo de retardo no sea mayor de 12 segundos con dos veces la corriente nominal.

Este tipo de fusibles generalmente se utiliza en tableros de alumbrado, con un dispositivo de desconexión del fusible.

. FUSIBLES CLASE J.

Los fusibles clase J son de alta capacidad interruptiva, del tipo no renovables, y cumplen con la norma U.L. - 198.2 (incorporada dentro de la norma ANSI S7.1-1972). Estos tipos de fusibles no son intercambiables con otra clase de fusibles y de acuerdo con las normas U.L. no son del tipo con retardo de tiempo; sus capacidades son 600 V.C.A. máxima y de 0 a 600 A. Su capacidad interruptiva es de 200 E.A. RMS, simétricos.

La aplicación de esta clase de fusibles se encuentra en los circuitos principales o alimentadores, donde la magnitud de la corriente de falla debe ser limitada.

La capacidad de los fusibles clase J de acuerdo al tamaño, desde el mas pequeño hasta el mas grande, es la siguiente:

CAPACIDAD (amperes)	LONGITUD TOTAL (pulgadas)
0-30	9/16
31-60	19/16
61-100	25/16
101-200	23/8
201-400	57/8
401-600	6

. FUSIBLES CLASE T.

Estos fusibles son de alta capacidad interruptiva, no son renovables ni intercambiables con ninguna otra clase de fusibles y sus características de limitación de corriente es similar a los de clase J, pero con valores de energía específica y corriente máxima de paso libre menores que los de esta. De acuerdo con las normas U.I., no poseen retardo de tiempo: sus capacidades son 500 V.C.A. y de 0 a 600 amperes. Su capacidad interruptiva es de 200 K.A. RMS, simétricos.

. FUSIBLES CLASE L.

Los fusibles clase L poseen una alta capacidad interruptiva y son así tipo no renovable, ni intercambiable con ninguna otra clase de fusible. Su diseño es apropiado para ser atornillados a las barras colectoras y no se emplean pernos de fijación. Estos fusibles no tienen retardo de tiempo, de acuerdo a las normas U.I., sin embargo los tiempos de apertura por sobrecarga varían entre un rango de valores determinados. Sus capacidades son: 600 volts, C.A. (únicamente), su corriente nominal varía de 601 hasta 6000 amperes, existiendo valores comerciales de 600, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000, con una capacidad interruptiva de 200 K.A. RMS, simétricos.

Los fusibles clase L tienen las mismas características eléctricas y de diseño que los clase J, excepto por las dimensiones. Algunas aplicaciones su aplicación en circuitos principales o alimentadores, donde la magnitud de la corriente de falla debe ser limitada.

En la figura No. 11 se muestran las características constructivas de los fusibles clase L, los cuales constan de las siguientes partes:

- 1) **Navaja.**—Apropiada para el montaje del fusible, son construidas de cobre electrolítico.
- 2) **Tubo aislante (cartucho).**—Es de fibra de vidrio (tela o hilo) impregnada con melamina o poliestere, con gran resistencia mecánica, para soportar y mantener las altas presiones internas generadas durante la interrupción del arco.

- 3) Discos o bloques refrigerantes.- Son de cobre electrolítico y actúan como drenes térmicos para desalojar el calor de los fines aislaciones posibles y así poder conducir la carga plena sin fundirse o sobrecalentarse.
- 4) Elemento extintor del arco.- Consiste en arena de cuarzo de alto punto, que absorbe la energía calorífica generada bajo una alta corriente de fallo y forma una barrera mecánica entre terminales al convertirse en fulgurita de vidrio.
- 5) Eslabón sensible a la corriente.- Se construye de plata electrolítica.
- 6) Elemento para retardo de tiempo o disparo por sobrecarga.- Consiste en una aleación plomo-estano que reduce el punto de fusión de la plata, evitando un calor excesivo en la apertura por sobrecarga.
- 7) Puente.- Bajo grandes fallas, la energía disponible es suficiente para fundir estas pequeñas áreas en un tiempo extremadamente breve.

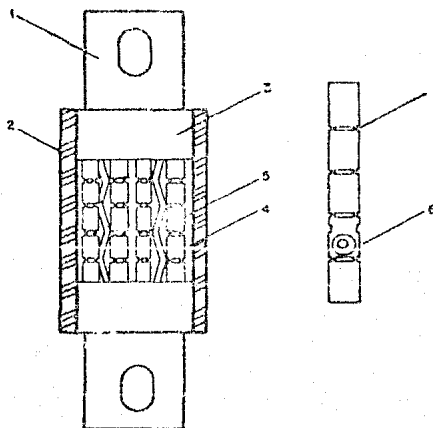


FIGURA NO. 11

. FUSIBLES CLASE R.

Esta clasificación es relativamente nueva y se da a los fusibles que cumplen con la norma U.L. 193.4. Estos fusibles son de alta capacidad interruptiva del tipo no renovables, pero intercambiables con los fusibles clase H y K, sus capacidades son: 250 y 600 volts C.A. únicamente y de 0 a 600 amps. Su capacidad interruptiva es de 200 K.A. RMS, simétricos.

Los fusibles clase R a su vez se clasifican en RK-1 y RK-5, los cuales cumplen con el valor predeterminado de energía de fuga $I^2 t$, que marca la norma U.L. y estos son idénticos a los descritos para los fusibles K-1 y K-5, en la norma U.L. 193.3. Es más, los fusibles RK-1, y RK-5, son los fusibles K-1 y K-5 respectivamente, con la salvedad de tener el elemento de rechazo, tanto en las férulas (en los fusibles de 0 a 60 amps), como en las navajas (en los fusibles de 61 hasta 600 amps).

La muesca en la férula y la ranura en la navaja, cuando se utiliza en conjunto con un portafusible especial, diseñado para recibir únicamente fusibles clase R, previene la intercambiabilidad con los fusibles clase H.

Los fusibles RK-1 poseen un alto grado limitador de corriente y no poseen retardo de tiempo, de acuerdo con las normas U.L.

Los fusibles RK-5 poseen una moderada capacidad limitadora de corriente y pueden ser con tiempo de retardo de 10 segundos para una sobrecarga del 200% de su corriente nominal.

. FUSIBLES CLASE CC.

Esta clase de fusibles es relativamente nueva, por lo cual su normalización está aún pendiente por realizar, es del tipo no renovable ni intercambiable con ninguna otra clase de fusible y además no tiene retardo de tiempo, sus capacidades nominales son: 600 volts, de 0 hasta 20 amps y 200 K.A. RMS, simétricos de C.I.

Las dimensiones de este fusible son reducidas, siendo su intención satisfacer las condiciones de espacio limitado, encontradas en la protección de circuitos de control.

. FUSIBLES AUTORREGENERABLES.

Los fusibles autorregenerables pertenecen a una nueva clase de fusibles que han sido desarrollados recientemente, con la finalidad de aumentar la confiabilidad y efectividad de costos de las instalaciones o sistemas de distribución de baja tensión, su mayor aplicación se encuentra en los centros de motores, se les encuentra también integrados a interruptores termomagnéticos, son aplicables a tensiones de valores nominales, tanto Americanos como Europeos, siendo sus capacidades nominales de 110, 460 y 550 V.C.A.

1.3.3 FUSIBLES PARA PROPOSITOS ESPECIALES.

Quedan comprendidos dentro de este grupo, los fusibles con características especiales que ofrecen protección contra sobrecorriente y/o corto circuito, donde no están involucrados circuitos derivados o cualquier otra aplicación equivalente, estos fusibles son para protección de equipo eléctrico tal como capacitores, rectificadores para uso industrial y fusibles integrados a interruptores termomagnéticos.

1.4 INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS.

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos que se utilizan para proteger circuitos eléctricos de baja tensión (hasta 600 V.C.A. y 250 V.C.D.).

Su apertura se realiza manualmente mediante una palanca de operación, la cual abre y cierra los contactos del interruptor y se efectúa de manera automática al presentarse una falla causada por una sobrecorriente en el circuito.

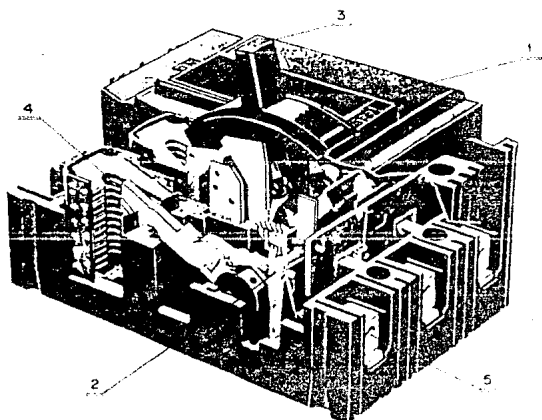
Sus componentes fundamentales son (fig. No. 12):

1) Caja moldeada.

Suministra aislamiento a los componentes internos del interruptor, ofreciendo de esta manera, la característica de "frente muerto". Está fabricada de resina polyester, lo cual proporciona adecuada capacidad dieléctrica y resistencia mecánica.

2) Unidad de disparo.

INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS CLASES 1410 1420
DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA NORMAL, ALTA CAPACIDAD
INTERRUPTIVA Y COMBINADOS CON FUSIBLES (FUSEMATIC)



Interruptor NEE Seccionado

FIG. (12) INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO

MARCOS DIFERENTES Y SUS EQUIVALENTES POR COMPAÑÍAS

Mitsubishi				T - T - E				General Electric				Federal Pacific Electric				Square D			
REMA	Modelo	I Rem	C I (REMA) App Sin RMS	Modelo	I Rem	C I (REMA) App Sin RMS	Modelo	I Rem	C I (REMA) App Sin RMS	Modelo	I Rem	C I (REMA) App Sin RMS	Modelo	I Rem	C I (REMA) App Sin RMS	Modelo	I Rem	C I (REMA) App Sin RMS	Modelo
35 AMP 277V NCA (1 pole)	EA	15-30	277V 10,000	EH	15-100	277V 14,500	TEF	15-60	277V 14,000	NEP	15-60	14,000	YTB	15-60	227V 10,000				
150 AMP 120/240 V 240V CA	EA	15-100	120/240V 10,000	E	15-100	120 y 240V 1,300 (1 pole) 1,500 (2 pole)	TE	15-100	120 y 240V 10,000	NE	15-100	120 y 240V 10,000	AIB	15-100	120 y 240V 10,000				
100 AMP 240V CA 120/240 V CD	ES	15-100	240V 10,000 120/240V 1,000	F		240V 13,200 (1 POLE) 14,700 (2A) (3 POLE)	TE			NE		240V 10,000			240V 10,000 120 y 240V CD				
100 AMP 480V CA 150V CD	EH	15-155	240V 10,000 480V 14,000 150V CD 10,000	EH	15-100	240V 18,000 480V 14,000	TE	15-100	240V 18,000 480V 14,000	NEP	15-100	240V 18,000 480V 14,000	PA	15-100	240V 18,000 480V 14,000 150V CD 10,000				
100 AMP 800V CA 250V CD	EB	15-150	240V 18,000 480V 14,000 800V 14,000 250V CD 10,000	EF		240V 18,000 480V 14,000 800V 14,000	TE	15-110	240V 18,000 480V 14,000 800V 14,000	NEP		240V 18,000 480V 14,000 800V 14,000			240V 18,000 480V 14,000 800V 14,000				
72.5 AMP 800V CA 250V CD	JA	70-225	240V 25,000 480V 22,000 250V CD 10,000	FJ	70-225	240V 22,000 480V 18,000 250V CD 10,000	TE	70-225	240V 25,000 480V 22,000 800V 22,000	MPJ	70-225	240V 25,000 480V 22,000 800V 22,000	KA	70-225	240V 25,000 480V 22,000 800V 22,000				
	FA			FJ		NO ESTA LISTADO	TE			MPJ		NO ESTA LISTADO	KA		NO ESTA LISTADO				
400-500A 600V CA 250V CD	LAB	25-400	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000 250V CD 10,000	JA	250-400	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	TJJ	125-400	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	NJL	70-400	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	LA	250-400	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000				
	LA	125-400		JL	70-400		TJM	125-500	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	NJL		NO ESTA LISTADO	LA		NO ESTA LISTADO				
225-400A 600V CA	MA	125-800	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	AM	250-800	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	TJM	300-800	240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	RM		240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000	MA		240V 42,000 480V 30,000 600V 22,000				
1200 AMP 800V CA	HB	700-1200	240V 42,000 480V 30,000 800V 22,000	HP	600-1200					RMF	400-1200	240V 125,000 480V 87,000 600V 68,000			NO ESTA LISTADO				
1600 AMP 800V CA	FB	800-2500	240V 125,000 480V 87,000 600V 68,000					8-2500	2500			240V 125,000 480V 87,000 600V 68,000	PA	600-2500	240V 125,000 480V 87,000 600V 68,000				
2000 AMP 800V CA												NO ESTA LISTADO							
2500 AMP 800V CA													PA	600-2500	240V 125,000 480V 87,000 600V 68,000				

La protección de los circuitos se efectúa dependiendo del tipo de acción de disparo.

- a) Térmico
- b) Magnético

Acción de disparo térmico.— Ofrece protección contra sobrecargas, se obtiene mediante el empleo de un elemento bimetalico.

Acción de disparo magnético.— Proporciona protección contra corto circuitos, se obtiene al conectar un electroimán en serie con el dispositivo bimetalico por el cual circula la corriente de carga.

La acción termo-magnética.— Es la combinación de los dos casos anteriores.

3) Mecanismo de operación.

- Manual
- Automático.

Sirve para abrir y cerrar los contactos del interruptor en forma manual y opera de manera automática al ocurrir una falla.

4) Cámaras de arco.

Diseñada para suprimir el arco que se forma al abrir los contactos.

5) Zapatas terminales.

Tienen como finalidad conectar el interruptor a la línea de alimentación como a la de carga. Se fabrican de cobre para utilizarlas con conductores de cobre o de aleación de aluminio.

1.5 INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS.

Los interruptores electromagnéticos, están diseñados para controlar y proteger circuitos eléctricos de fuerza que operen a una tensión máxima de 250 V.C.D. ó 600 V.C.A. estos aparatos pueden operar en forma segura conectando y desconectando la carga y actuando automáticamente cuando se presenten condiciones de sobrecorriente.

CORTE LATERAL DEL INTERRUPTOR H-2

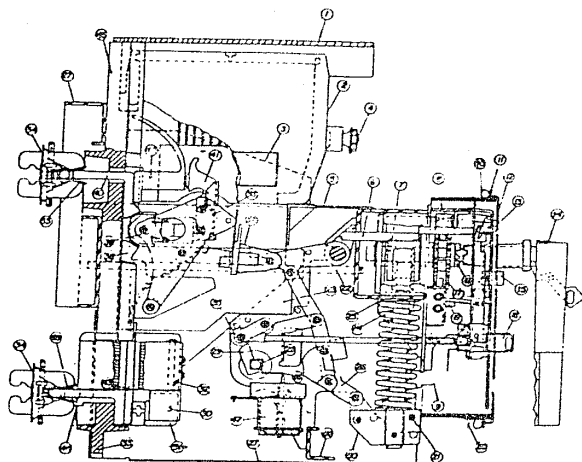


Fig. (13)

1. ENSAMBLE DE LA CUBIERTA
2. ENSAMBLE DE LA CAMARA DE ARQUEO
3. NAMPATA LATERAL
5. BARRERA ROJA (BARRERA FRONTAL ROJA)
6. ESLABON ON-OFF
7. ENSAMBLE DEL CIGÜENAL
8. TRINQUETE
9. ESLABON DEL INDICADOR
10. "CARGADO-DESCARGADO"
11. RESORTE DE LA CAJA NEGRA
12. COLLARIN FLOTANTE
13. CUBIERTA FRONTAL
14. INDICADORES (ON-OFF O CARGADO DES CARGADO)
15. ENSAMBLE DE LA PALANCA
16. COTON DE CERRAR
17. CLUTCH
18. RUEDA DENTADA
19. ENSAMBLE DE LA VARILLA DE DISPARO
20. LEVA DEL CAM LATCH (LEVA DE CIERRE)
21. CAJA NEGRA (CAJA DE LA PLACA INDICADO RA)
22. PERNO DE LA CORREDERA
23. TENSORES
24. BARRERA ENTRE FAJES
25. RESORTE PRINCIPAL
26. BUSHING COJA
27. FUERZA DEL MECANISMO DE CIERRE
28. MARCO DE ACERO
29. FLECHA DE DISPARO
30. LEVA DE DISPARO
31. SOPORTE DEL SENSOR
32. BARRERA AISLANTE
33. SENSOR DE COMPRESION
34. MOLDE INFERIOR
35. ENSAMBLE DE LOS DEDOS (DE ENCHUFAR)
36. BALERO DE AHUJAS
37. TRENZA DE CORRE
38. ESLABON AISLANTE
39. CONTACTO CENTRAL
40. CONTACTO MOVIL
41. CONTACTO DE LINEA
42. CONTACTO DE ARQUEO MOVIL
43. CONTACTO DE ARQUEO FIJO
44. PUNTE
45. TERMINAL DE CARGA
46. MOLDE DEL RESPALDO
47. ALETA DE DISPARO
48. ENSAMBLE DE LA BOBINA DE DISPARO SD
49. CANAL INFERIOR
50. PEINE DE LOS DEDOS
51. MEDIA CANA

Los interruptores pueden ser de montaje fijo ó removible; en los primeros sus terminales han sido diseñadas para atornillarse firmemente a las barras conductoras del tablero, mientras que en los de montaje removible, están montados sobre una base equipada con terminales para conectarse a la barra y con contactos auxiliares para la conexión con los circuitos de control, pudiendo ser sacados de su base para ser examinados o intercambiados por otros del mismo tipo y calibración.

El mecanismo de operación recibe energía mecánica (a través de la palanca o del motor), para almacenarla (en el resorte No. 24 fig. 13) y liberarla a los contactos para cerrar el interruptor cuando se requiera. El mecanismo actúa cuando cualquiera de los mecanismos de disparo ocasionan la apertura de los contactos.

Los elementos conductores están montados sobre bases aislantes individuales de baquelita, las cuales están soportadas en un marco de acero (No. 27), las partes conductoras del sistema son: El ensamble de dedos para enchufar (No. 34), los contactos principales estacionarios (No. 38, 40, 43 y 44) y los contactos principales móviles (No. 39).

El sistema de interrupción está formado por las cámaras de arco y por los contactos de arco fijos y móviles (No. 2, 36, 41 y 42).

El sistema de protección está formado por: el rele transistorizado de sobrecorriente, sensor de corriente y por la bobina de disparo C.A. (No. 32 y 47).

A continuación se da una tabla de las capacidades de estos interruptores.

TABLA No. 4

CAPACIDADES INTERRUPTIVAS

MARCO AMPS.	240 V.	480 V.	600 V.
50-800	42 kA.	30 kA.	22 kA.
50-1600	65 kA.	50 kA.	42 kA.
50-2000	65 kA.	50 kA.	42 kA.
1000-3200	65 kA.	50 kA.	30 kA.
1000-3200	85 kA.	65 kA.	65 kA.
4000	65 kA.	65 kA.	65 kA.
4000	130 kA.	85 kA.	85 kA.
6000	130 kA.	85 kA.	85 kA.

2 PRINCIPIOS DE OPERACION

2.1 OBJETIVO.

En esta sección se realiza un estudio de las variaciones de las características de operación de los fusibles de alta tensión (fusibles de expulsión y limitadores de corriente), cuando en el circuito donde se encuentran instalados cambian de magnitud las: tensión, corriente, impedancia etc., así mismo se describe la operación de los interruptores electromagnéticos y termomagnéticos cuando se utilizan del lado de baja tensión de los transformadores de distribución, para protegerlos contra sobrecargas.

El estudio que se realiza de las variaciones de las características de operación de los fusibles es aplicable a los fusibles de alta y baja tensión. Sin embargo por tener mayor conocimiento de los fusibles de baja tensión se hará alrededor de este tipo de fusibles, y durante el desarrollo del estudio se hacen las indicaciones necesarias cuando es aplicable a los fusibles de alta tensión.

2.2 PRINCIPIOS DE OPERACION DE LOS FUSIBLES.

El estudio de la operación de los fusibles de alta tensión comprende un breve análisis de su comportamiento, ante la aplicación de sobrecorrientes de diferentes magnitudes (intensas, moderadas y pequeñas) cuando estos se encuentran incluidos en un sistema eléctrico. Así como la descripción de los parámetros que definen su comportamiento.

Se procede a realizar un estudio de las curvas características tiempo corriente de los fusibles, y de las variaciones que se tienen en estas curvas por el tipo de fusibles, y por las condiciones de operación.

También se analiza brevemente la relación que guarda la razón X/R con la energía específica $I^2 t$, finalmente se realiza una breve descripción de la operación de los fusibles de alta tensión de expulsión y limitadores de corriente.

2.2.1 CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES.

AMPERES NOMINALES.— Es la corriente que el fusible conduce continuamente sin deteriorarse y sin exceder la sobre elevación de temperatura en los límites especificados para ese fusible.

TENSION NOMINAL.— Es la tensión de la corriente alterna RMS (ó la corriente continua), al cual se diseña el fusible para operar. Es decir, es una magnitud elegida convencionalmente menor que aquella a la cual el fusible interrumpe con seguridad un circuito eléctrico bajo condiciones establecidas.

Normalmente un fusible se diseña para una sola tensión, sin embargo puede funcionar con seguridad en cualquier tensión menor a la asignada. Para altos valores de corriente de corto circuito, un incremento en la tensión, ocasionará un incremento en los tiempos de arco y apertura.

CAPACIDAD INTERRUPTIVA (C.I.).— Es un valor basado en el mayor valor de corriente alterna RMS, el cual debe interrumpir el fusible bajo las condiciones especificadas por las normas. Después de interrumpir la corriente de falla el cortucho no deberá de tener cuarteaduras, no deberá dañar a los portafusibles y no deberá de haber arco de extremo a extremo en la parte exterior del fusible.

TIEMPO DE ARQUEO.— Es el tiempo comprendido entre la fusión del elemento responsable de la corriente (eslabón fusible) a la apertura final del circuito. Este tiempo dependerá de factores tales como tensión y reactancia del circuito.

TIEMPO DE FUSION.— Es el tiempo requerido por la corriente para fundir el elemento sensible a ella en una sobrecarga específica. Cuando un fusible está limitando corriente a menos de 1/2 ciclo, el tiempo de fusión puede ser aproximadamente la mitad o menos del tiempo de apertura (algunas veces es llamado "tiempo de pre-arqueo").

TIEMPO DE APERTURA.— Es el tiempo total transcurrido entre el principio de la sobrecorriente específica y la interrupción final del circuito a tensión nominal. O lo que es lo mismo es la suma del tiempo de fusión y el tiempo de arco. Para tiempo de apertura mayores a 1/2 ciclo, este tiempo es sustancialmente el tiempo de fusión.

I²t. Es la medida de la energía calorífica generada en un circuito durante la fusión o apertura de un fusible. Generalmente se denomina "Fusión I² t". Donde "I" es la corriente efectiva de fuga y "t" es el tiempo en segundos.

CORRIENTE ASIMETRICA. C.A.— la corriente asimétrica es aquella que tiene una onda senoidal fuera del eje de simetría debido a una componente de c.c. superpuesta. Una corriente asimétrica dará como resultado mayores valores de corriente de circuito corto con respecto a una corriente simétrica.

CORRIENTE SIMETRICA.- Es una corriente con una onda simétrica respecto al eje cero (este término se aplica únicamente a corriente alterna).

CORRIENTE RMS.- Literalmente significa "corriente raíz cuadrática media". Es el valor eficaz de una corriente alterna, el cual es calculable como la raíz cuadrada del promedio del cuadrado de todos los valores instantáneos de corriente en un ciclo. La corriente alterna RMS es aquel valor de una corriente alterna la cual produce el mismo efecto de calentamiento que un valor dado de corriente continua.

ESLABON FUSIBLE.- Es el elemento responsable de la corriente en un fusible el cual se diseña para fundirse bajo condiciones de falla y así interrumpir el circuito. Un eslabón fusible renovable, es aquel que se usa en fusibles renovables.

FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.- Se consideran limitadores de corriente aquellos fusibles que interrumpen una corriente de corto circuito, limitando la corriente de pica de fuga a valores inferiores que aquella que circularía por el circuito si el fusible no se incluyera, todo esto durante un tiempo de $1/2$ ciclo o menos.

PUENTE.- Aquellas pequeñas porciones de un eslabón fusible, las cuales se esperan sean las primeras en fundirse. Un eslabón puede tener dos o más puentes en paralelo y en serie también.

RETARDO.- Este término se aplica a los tiempos de apertura de un fusible en exceso de un ciclo donde el tiempo puede variar dentro de las normas establecidas.

TIEMPO RETARDADO.- Este término es en la actualidad empleado por las normas NEMA y UL, para definir en cartuchos fusibles, un tiempo mínimo de apertura de 10 seg. en una sobrecarga de 500% el valor nominal del fusible. Es decir, que durante 10 segundos puede soportar 500% de la corriente nominal del fusible. Este retardo de tiempo es necesario para permitir la corriente de arranque a motor bloqueado de los motores eléctricos.

CASQUILLO O FERULA.- Es la terminal cilíndrica del fusible, en donde se aloja el extremo del eslabón fusible.

CORRIENTE PICO DE FUGA.— Es la corriente máxima instantánea que pasa a través de un fusible durante el tiempo total de apertura. Dado que este es un valor instantáneo, podrá exceder la corriente RMS disponible, pero será menor que la corriente de pico disponible si no hubiera fusible en el circuito.

La figura No. 14 muestra la operación característica de un fusible limitador.

2.2.2 COMPORTAMIENTO DE LOS FUSIBLES DE ACUERDO A LA MAGNITUD DE SOBRECORRIENTE.

En este punto se muestran los efectos que se originan, así como los parámetros que intervienen cuando un fusible opera a diferentes magnitudes de sobrecorriente. Para esto centraremos nuestra atención sobre tres grupos de sobrecorriente; intensas, moderadas y pequeñas. El análisis se efectuará tomando cada grupo por separado.

2.2.2.a OPERACION CON SOBRECORRIENTES INTENSAS.

Comenzaremos por describir que es lo que se entiende por sobrecorriente intensa, para nosotros será el máximo valor de corto circuito que se nos pueda presentar (condición más crítica).

El efecto que produce una sobrecorriente de esta magnitud, consiste en un calentamiento casi inmediato del elemento sensible a la corriente, con lo cual no se le da tiempo a que el calor se disipe hacia el medio ambiente o hacia los demás componentes (varandela, terminal superior, terminal inferior, etc.), lo que origina que el elemento fusible sufra de rompimientos en diversas partes de su longitud. De esta manera la corriente es limitada en su trayectoria y la caída de tensión es considerable en el comienzo del arco, lo que da como resultado un rápida interrupción.

Cabe hacer notar que la elevación máxima de la tensión a través del fusible está en función de su longitud y diseño, por lo que se recomienda usar un elemento corto para interrumpir este tipo de sobrecorriente.

2.2.2.b OPERACION CON SOBRECORRIENTES MODERADAS.

Las sobrecorrientes que no llegan al extremo crítico, se le denomina como moderadas.

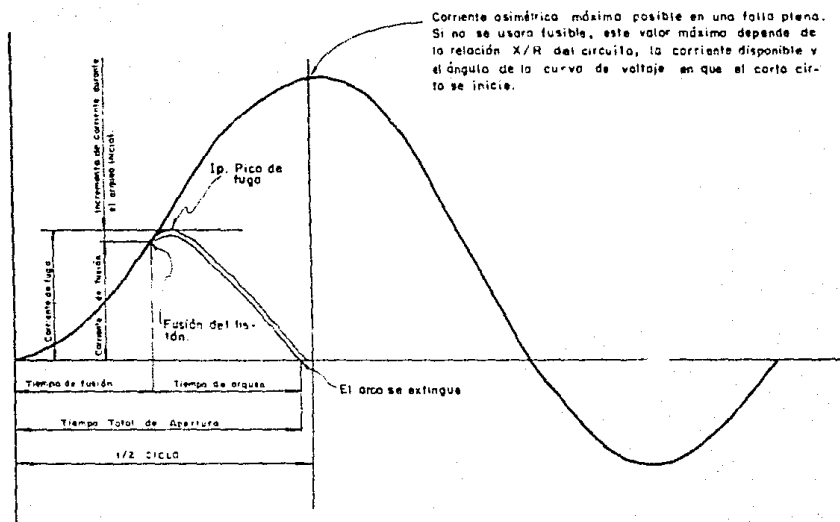


Fig (14).- Operación característica de un fusible limitador.

Esta sobrecorriente es lo suficientemente grande como para lograr la formación de arcos múltiples, lo cual tiende a facilitar la rápida interrupción de la falla.

2.2.2.c OPERACION CON SOBRECORRIENTES PEQUEÑAS.

Este grupo de sobrecorrientes, son aquellas cuya magnitud es un poco mayor que la mínima de fusión del fusible. El efecto que se obtiene con esto es un incremento de temperatura no uniforme, ya que en este caso la parte central es la que más se calienta. El hecho de que esta sobrecorriente no sea de gran magnitud origina que la fusión no se realice en forma instantánea, sino que da origen a que puedan transcurrir varios minutos para que se efectúe. En este caso se recomienda que el elemento sensible a la corriente sea lo suficientemente largo, para que la curva característica combinada (curva de los volts-ampere del fusible durante el comienzo del arco combinada con la línea que representa la resistencia del circuito), quede arriba de la línea que representa la tensión del circuito. Lo anterior se muestra en la figura (15).

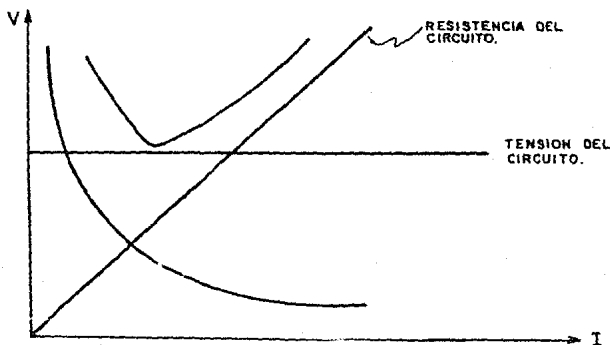


Fig. (15). Características V-I de los fusibles con operación en condiciones de sobrecorrientes bajas.

En base a lo descrito anteriormente podemos concluir que el fusible opera de manera diferente para cada magnitud de sobrecorriente, lo cual nos da la pauta a seguir en cuestión de parámetros a considerar para cada grupo de sobrecorriente. Así por ejemplo, si se espera que un fusible esté sometido a sobrecorrientes de magnitud cercana a la mínima de fusión, se recomienda cuidar los siguientes aspectos:

- a).- Temperatura ambiente
- b).- Materiales conductores y aislantes
- c).- Dimensiones
- d).- Herrajes adicionales
- e).- Tipo de conexión a seleccionar

En el caso de que se trate de una sobrecorriente moderada, lo principal a tomar en cuenta es el ancho de los eslabones fusibles. Y por último en el caso de sobrecorrientes máximas, el parámetro a cuidar es el área de la sección transversal del elemento sensible a la corriente en el caso de que se trate de eslabones troquelados y el diámetro cuando el eslabón sea de alambre.

2.2.3 CURVAS CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES.

2.2.3.a CURVAS CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION.

En estas curvas, se representa la relación entre la corriente simétrica RMS y el tiempo en que operan los fusibles.

- a).- Curvas corriente-tiempo de fusión de fusibles de "baja tensión".

Estas curvas presentan la información de la relación entre la corriente simétrica de prueba y los tiempos de fusión promedio, obtenidos durante los pruebas respectivas.

- b).- Curvas corriente - tiempo de fusión de fusibles de "alta tensión".

Las curvas características corriente tiempo de fusión se obtienen para valores mínimos, determinados, restando la variación en menos permitida que encuentre el fabricante, de los valores promedio.

En la manufactura de los fusibles, se tienen variaciones de sus característicos, estas variaciones en la información disponible se presenta como una tolerancia de corriente, la cual se encuentra comprendida dentro de los rangos $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ ó $\pm 20\%$.

Estas tolerancias se interpretan de la siguiente manera:

En los fusibles de baja tensión, es la variación en más o en menos con respecto a la "curva promedio".

En los fusibles de alta tensión, es la variación en más o en menos con respecto a la "curva mínima de fusión".

Es de particular importancia hacer notar que las variaciones en menos nunca deben desplazar a la curva más a la izquierda de la curva mínima especificada en la norma respectiva, lo cual se obtiene en diferentes puntos normalizados de relaciones corriente - tiempo.

En la fig. (16) se muestran unas curvas típicas de fusibles de alta y baja tensión.

2.2.3.b CURVAS CORRIENTE-TIEMPO DE INTERRUPCION TOTAL.

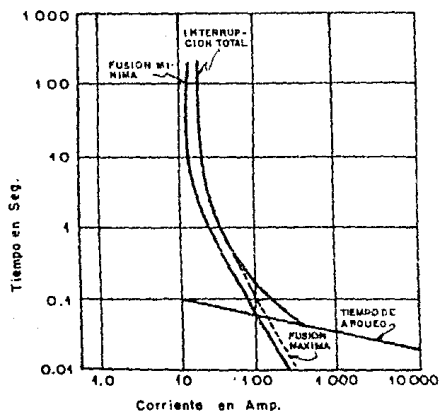
Las curvas de interrupción total en fusibles de alta y baja tensión se obtienen adicionando a las curvas de fusión máxima, los tiempos de arco correspondientes.

A su vez las curvas de fusión se pueden obtener de la siguiente forma:

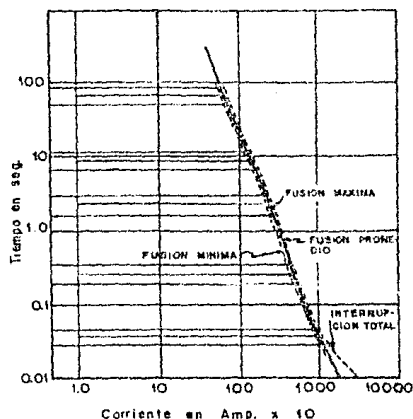
BAJA TENSION.- A partir de la curva promedio considerando la variación porcentual positiva de la corriente.

ALTA TENSION.- Esta se obtiene de la curva mínima adicionando las variaciones debidas a la manufactura.

En la figura (16), se presentan curvas típicas de corriente-tiempo de interrupción total.



a) ALTA TENSION



b) BAJA TENSION

2.2.3.c CURVAS DE ENERGIA ESPECIFICA ($I^2 t$) - CORRIENTE NOMINAL

Estas curvas presentan la relación entre un rango de corrientes nominales de fusibles de una sola clase y el rango de valores de $I^2 t$, correspondiente a la interrupción total.

En ocasiones se presentan dos curvas que muestran la relación entre los rangos de corriente nominal y el rango de valores $I^2 t$ de fusión y de interrupción total, en la figura (17) se muestran estas curvas.

2.2.3.d CURVAS DE ENERGIA ESPECIFICA ($I^2 t$) - CORRIENTE DE FALLA.

Estas curvas relacionan la energía específica $I^2 t$ disponible con la corriente de falla disponible, en la figura (18) se ilustra una curva de un fusible limitador de corriente de 100 amperes nominales, baja tensión. Escogiendo el punto de 1000 amperes arbitrariamente como el punto en donde empieza la acción limitadora de corriente del fusible, se tienen dos zonas, observándose lo siguiente:

CARACTERISTICAS DE LA ENERGIA DE FUGA - Valor I^2t de Prearqueo y Máximo de Apertura
Hasta 600 Amp. 600 Volts.

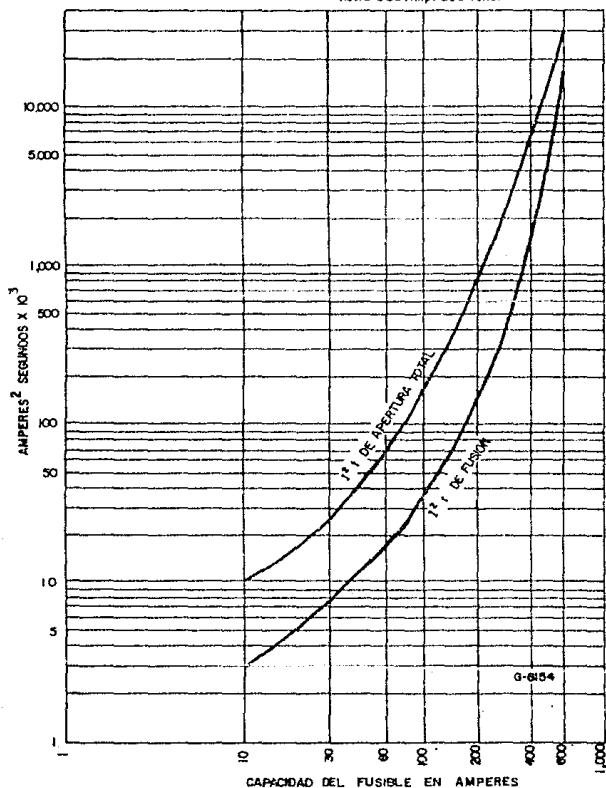


Fig. (17) Curvas I^2t de fusión e interrupción total, para fusibles de baja tensión

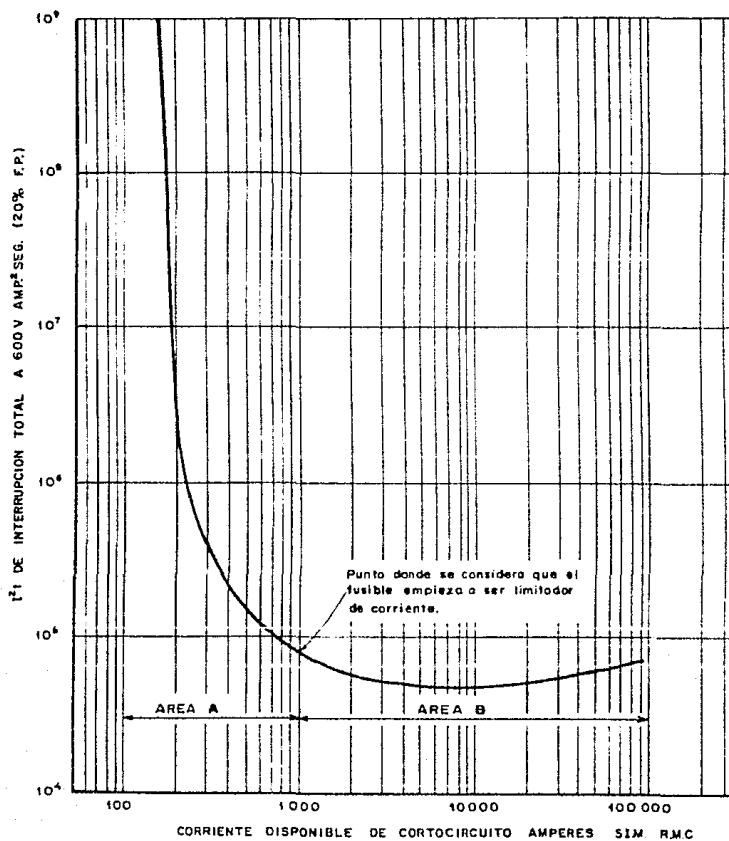


Fig. (18) . Curva que relaciona la energía específica I^2t -corriente de falla disponible de un fusible limitador de corriente de 100 amperes, 600 volts.

1).- En el área A, se puede observar que hay un número ilimitado de valores de $I^2 t$, para cada variación de la corriente disponible de falla. La curva se extiende verticalmente en forma indefinida, lo cual no permite asignar valores $I^2 t$ en esta área. Esta área corresponde a tiempos de operación mayores a 0.01 seg. (relación corriente-tiempo, mostradas en las curvas características corriente-tiempo de fusión).

2).- En el área B, los valores de corriente de falla disponible varían en un rango amplio, mientras que $I^2 t$, varía únicamente en una estrecha banda de valores. La curva termina precisamente en el límite de la capacidad interruptiva del fusible, esta zona corresponde a tiempos de operación iguales o menores a medio ciclo (0.0083 seg.), para estos tiempos de operación la energía de fusión es prácticamente constante. Sin embargo, dependiendo del punto de la onda de tensión en la que comienza el arco, la energía del arco puede tener magnitudes de hasta 20 veces el valor de la energía de fusión. La figura (13) ilustra una curva de la energía específica $I^2 t$ corriente de falla disponible de un fusible limitador de distribución.

2.2.3.e CURVAS DE LIMITACION DE CORRIENTE.

Estas curvas presentan el valor máximo de la corriente instantánea de pico (o corriente de fuga pico), que un fusible limitador de corriente permite circular. Relacionan la magnitud de la corriente de falla disponible en amperes simétricos RMS, la corriente nominal en cuestión y el factor de potencia del circuito utilizado para su obtención.

2.2.4 VARIACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES EN OPERACION.

Las diferentes curvas que se presentaron en puntos anteriores, se han obtenido de pruebas a fusibles totalmente nuevos, sin embargo cuando los fusibles han sido sometidos a sobrecargas, estas curvas presentaron ciertas desviaciones, por lo que se aconseja se tome en cuenta las siguientes situaciones:

1).- Para tiempos de operación mayores de 2 o 3 minutos, el funcionamiento del fusible es afectado considerablemente por factores tales como:

- Temperatura ambiente
- El tipo de conductores utilizados
- Los herrajes, las conexiones, etc.

2).- La carga previa de los fusibles con corriente cuya magnitud sea hasta el valor nominal correspondiente.

3).- Las corrientes asimétricas de falla reducen los tiempos de operación correspondientes a las corrientes nominales simétricas, cuando los tiempos de operación son del orden de 40 ms.

Las características de operación de los fusibles que se utilizan en aplicaciones a circuitos de C.D., son generalmente las mismas que se aplican para C.A., sólo que en el caso de C.D., el tiempo de pre-arqueo (tiempo de fusión) es mayor que aproximadamente 10 veces la constante de tiempo del circuito (L/R).

2.2.5 VARIACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS SEGUN EL TIPO DE FUSIBLE.

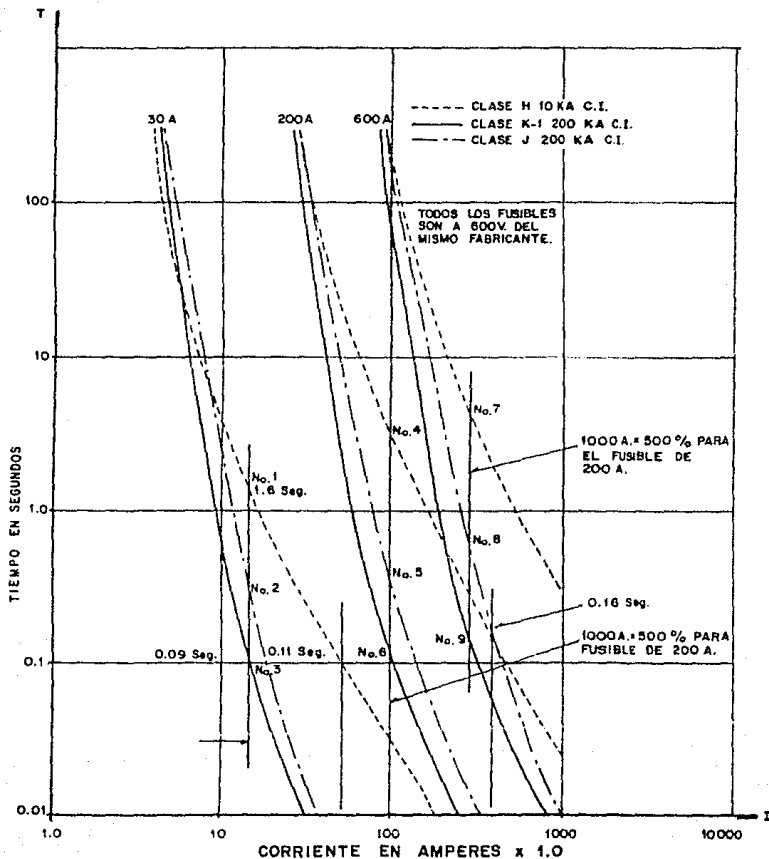
La variación de las curvas características de los fusibles están determinadas por los siguientes factores:

- La clase de los fusibles
- La capacidad interruptiva
- La tensión nominal

Para la manufactura de los eslabones fusibles, cada fabricante tiene su propio diseño, para fusibles de la misma clase, tensión y corriente nominal, razón por la cual sus curvas características tendrán diferencias entre sí.

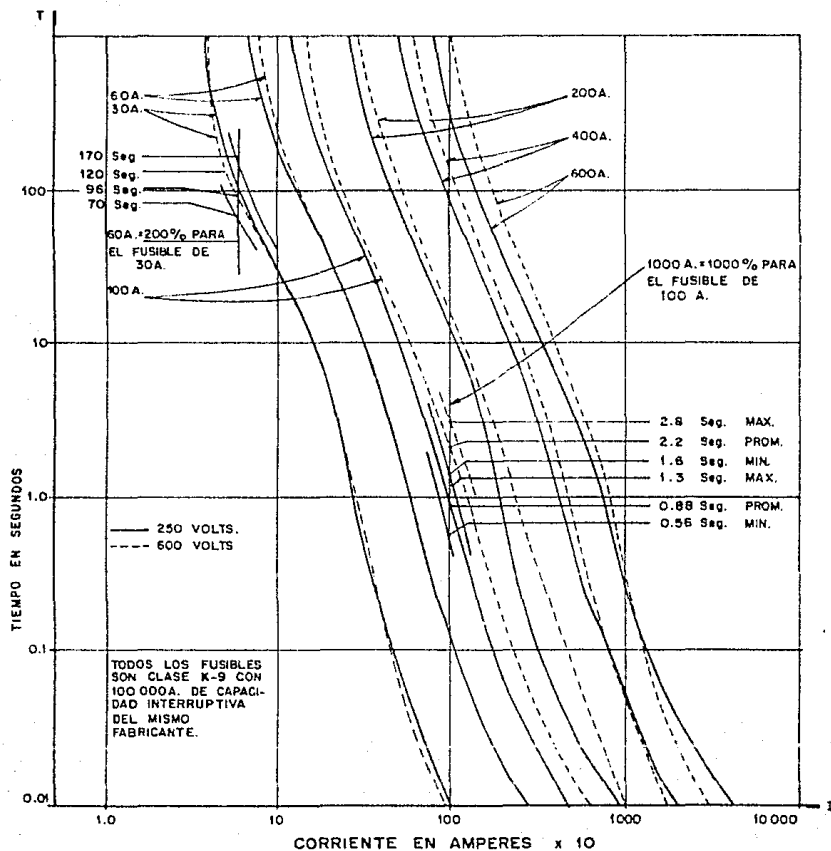
En la figura (19), se presentan las curvas características de 3 fusibles de operación rápida de 200 amperes nominales, 600 volts, pero de diferente clase.

En la figura (20), se presentan las curvas características de dos fusibles de operación lenta, de la misma clase, 200 amperes nominales de 250 y 600 volts.



COMPARACION DE LAS CURVAS DE TIEMPO DE FUSION PROMEDIO DE FUSIBLES DE ACCION RAPIDA

FIG. [19].



COMPARACION DE LA CURVA DE TIEMPO PROMEDIO DE FUSION DE FUSIBLES DE ACCION LENTA
(DOBLE ELEMENTO)

FIG. (20)

2.2.6 VARIACION DE LA RELACION X/R Y LA TENSION APLICADA

En la medida que se reduce la relación X/R del circuito de pruebas, la energía específica $I^2 t$, que debe contemplar el fusible, también se reduce. Esta relación se puede presentar por medio de familias de curvas que relacionan $X/R-I^2 t$, para las diferentes capacidades nominales de los fusibles.

De la misma forma, si la relación X/R se mantiene constante y la tensión aplicada al fusible se varía, la energía total $I^2 t$ que deba contemplar el fusible también sufre un incremento. Debe observarse que la energía $I^2 t$ de fusión, permanece constante para cualquier valor de tensión. Esta variación se presenta en curvas que relaciona la capacidad nominal del fusible en amperes y la energía específica $I^2 t$ en $\text{amp}^2 \cdot \text{seg}$.

2.2.7 TEORIA DE OPERACION DE FUSIBLES EN ALTA TENSION (OPERACION POR CORTO CIRCUITO).

2.2.7.a FUSIBLES DE EXPULSION.

El fusible de expulsión típico, utiliza un pequeño elemento fusible sensor de sobrecorriente el cual al fundirse provoca el arqueo. El arco eléctrico al momento de producirse origina la creación rápida de gases desionizantes de materiales localizados en la proximidad del elemento fusible (fibra vulcanizada, ácido bórico, melamina, etc.), la función principal del gas generado es crear un medio turbulento de gran presión que rodee el área del arco de manera que cuando la corriente pase por el valor cero y el canal del arco se reduzca a un mínimo, los gases generados puedan rápidamente mezclarse con el resto de los gases ionizados, lográndose con esto desionizar y expulsar los gases hacia el exterior del fusible. La finalidad de esto estriba en lograr una rápida reconstrucción de la rigidez dieléctrica que sea capaz de soportar el voltaje transitorio de recuperación y el voltaje del sistema de potencia en estado estable.

Como estos fusibles no limitan la corriente, al final del tiempo de interrupción, la tensión de recuperación alcanza el valor pico de la tensión del sistema, obteniéndose por esto una tensión transitoria de restablecimiento de un valor elevado. Razón por la cual, dichos fusibles deben ser contruidos de tal manera que soporten en forma satisfactoria los esfuerzos provocados.

Dentro de las principales ventajas de este tipo de fusible es que, se puedan recargar con un listón fusible relativamente económico, además en el mismo montaje se pueden usar una gran variedad de tipos y medidas de listones fusibles, con lo que se da un amplio margen a la coordinación y permite usar el mismo montaje para numerosas aplicaciones.

Otra de las ventajas de estos fusibles es que al liberar el fusible líder y con la acción de expulsión de los gases se puede obtener una acción de apertura del montaje del fusible; esto a su vez trae dos beneficios:

- Se produce un alto aislamiento dieléctrico y además de una muy buena indicación visual de que el fusible ha operado.

La figura (21), muestra las relaciones de corriente voltaje-tiempo, que normalmente se encuentran en la interrupción normal de un fusible de expulsión.

2.2.7.b FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE.

Contrariamente a los fusibles de expulsión, en estos fusibles la longitud del elemento sensible a la corriente es muy larga. Generalmente este elemento se instala helicoidalmente sobre un soporte de material aislante, este soporte se instala dentro de un tubo de material aislante, el cual es rellenado posteriormente con arena de cuarzo.

La presencia de la arena de cuarzo en este dispositivo de protección, tiene como finalidad contener el arco y mantener una presión muy alta a lo largo del arco restringido del arco, causado por la prácticamente simultánea fusión del elemento. Con la acción combinada del arco y la función de la arena de cuarzo, se produce una alta resistencia en un período de tiempo muy pequeño.

En la figura (22), se muestra las relaciones de corriente-tensión-tiempo para este tipo de fusible actuando bajo una interrupción de una falla grande.

En la figura (22), se pueden apreciar los siguientes puntos:

- Primero, la máxima corriente que el fusible permite circular es menor que la disponible en el circuito en interés.

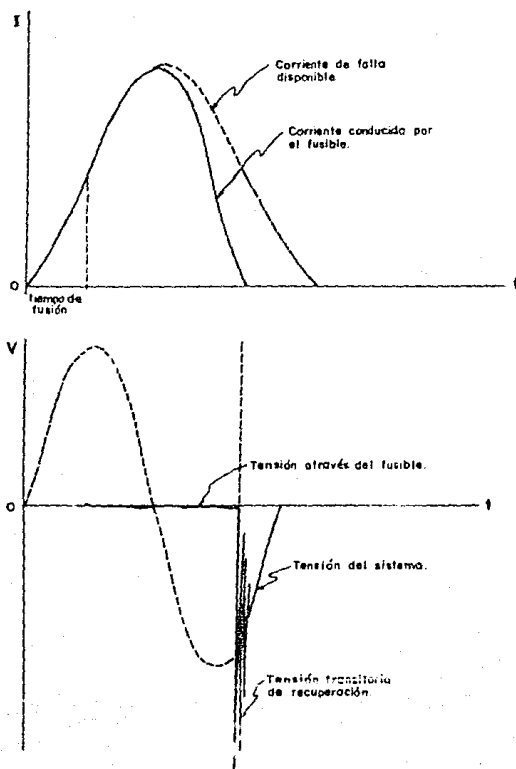


Fig. (21).- Curvas de tensión y corriente presentadas por un fusible tipo expulsión.

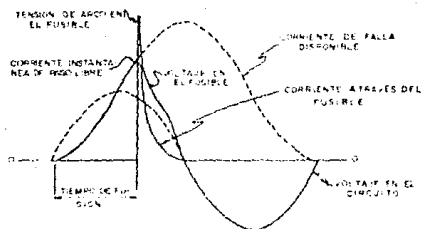


Fig. (22) - Curvas de tensión y corriente presentadas por un fusible tipo limitador de corriente

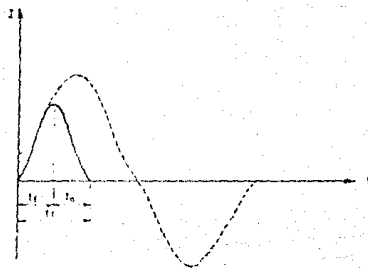


Fig. (23) - Característica de corriente para un fusible limitador de corriente

- Segundo, la rápida inserción de la resistencia por la acción de la fusión, causa un arco de voltaje muy alto a través del fusible cuyo magnitud es mayor al pico de la tensión del sistema.

El hecho de que la resistencia nos limite el aumento de corriente, tiene como consecuencia que el factor de potencia del circuito incremente. Bajo estas condiciones se logra que la corriente alcance su valor cero, muy cerca del cero normal del voltaje, dando como resultado una recuperación total y un voltaje transitorio de recuperación muy pequeña (interrupción eficaz).

En la figura (23), se ilustra la acción limitadora de un fusible de este tipo, en dicha figura se puede observar que existen dos valores de energía a considerar, la energía de fusión y la energía de arco.

La importancia de considerar estos dos valores de energía, consiste en lograr la operación de nuestro fusible en el área limitadora de corriente (deberá extinguirse la corriente total en un periodo de 1/2 ciclo ó menor).

En la misma figura (23), se puede apreciar que el tiempo de interrupción total (t_i), es igual a la suma de los tiempos de fusión (t_f) y arco (t_a). De igual manera la energía de interrupción total es la suma de las energías de fusión y arco.

2.3 PRINCIPIOS DE OPERACION DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS.

Un interruptor termomagnético es un aparato que está diseñado para abrir y cerrar un circuito mediante dispositivos no automáticos, abriendo en forma automática solamente con corrientes de sobrecargas predeterminadas sin dañarse, siempre que esta sobrecorriente se encuentre dentro de su capacidad.

Siendo en esencia un desconectador de alta capacidad interruptiva.

Los interruptores termomagnéticos basan su operación en tres componentes básicos:

a).- Unidad de disparo

b).- Mecanismo de operación

c).- Cámara de extracción.

la operación de cada uno de los componentes anteriores serán tratados y explicados por separado.

2.3.1 UNIDAD DE DISPARO

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

2.3.1.a DISPARO TERMICO

El disparo térmico, se logra con el uso de un bimetal constituido por dos metales de distinto coeficiente de expansión, unidos entre sí, funcionando de la siguiente forma:

Los dos metales de idénticas dimensiones con distintos coeficientes de expansión son unidos entre sí, al registrarse un incremento en la temperatura, el de menor coeficiente de expansión registra una tensión uniforme y el de mayor coeficiente de expansión sufre una compresión uniforme (fig. 24). Estas fuerzas producirán una flexión en el bimetal, asumiendo este la forma de un arco uniforme (fig. 25).

La flexión es la medida que relaciona la distancia que se mueve el metal termostático con el cambio de temperatura, a mayor flexibilidad, mayor es el movimiento.

La acción del bimetal está basada principalmente en la habilidad de flexionarse cuando exista un cambio en la temperatura, registrándose las siguientes condiciones:

a) Flexión debido al cambio en la temperatura.

Al registrarse el cambio de temperatura en el bimetal se origina una libre flexión, la cual es utilizada sin el desarrollo de ninguna fuerza y es considerada como la primera fase en la interrupción de una sobrecorriente, en este caso el bimetal avanza hasta alcanzar el cerrojo.

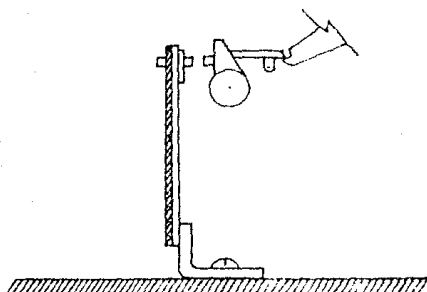


FIG. (24)

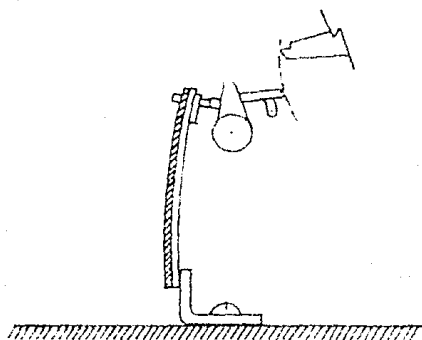


FIG. (25)

MECANISMO DE DISPARO

b).- Fuerza debida al cambio en la temperatura.

En este punto la libre flexión es plenamente restringida, originando que de continúe el desarrollo de una fuerza sobre el cerrojo.

c).- Flexión y fuerza.

El hecho de que parte de la libre flexión potencial sea restringida y transformada en fuerza, hace que el bimetálico desarrolle una fuerza además de una flexión, cumpliéndose con esto la última fase de la actuación del relevador térmico de tiempo inverso, puesto que el bimetálico habrá de conducir el cerrojo hasta el punto en que este último libere el gatillo accionando el interruptor (figs. 24 y 25).

Las unidades de disparo en los interruptores termomagnéticos generalmente son de dos tipos y están en función de las corrientes nominales a manejar como a continuación se detalla.

1) CALENTAMIENTO DIRECTO

Este sistema es el más común de todos. En este caso la corriente es conducida a todo lo largo del bimetálico y debido al efecto Joule se obtiene la flexión. La desventaja que existe es que para corrientes nominales superiores a 100 amperes, el interruptor funciona excesivamente caliente, es decir las temperaturas dentro del interruptor son elevadas, haciendo de éste artículo poco confiable en su operación. En este tipo de relevadores, la capacidad interruptiva depende básicamente del bimetálico.

2) CALENTAMIENTO INDIRECTO

Este sistema cuenta con dos modalidades que son las siguientes:

- a) Bimetálico de derivación. Este mecanismo es encontrado generalmente en los interruptores comerciales y consiste en la fijación por uno de sus extremos del elemento bimetálico a un conector. Al pasar corriente por el conector ésta incrementará su temperatura transmitiéndose del conector al elemento bimetálico, lográndose con esto la flexión. Este tipo de relevadores es usado con corrientes nominales que van de 70 hasta 800 amps.

b) Calentamiento por inducción. Este tipo de unidad es usado para corrientes nominales de 1000 a 2500 amperes y debido a la magnitud de estas corrientes a lo que es sometido el interruptor, los métodos convencionales no pueden ser aplicados, es por ello que se pasó a diseñar un bimetal montado sobre un yugo magnético siendo calentado el bimetal por las corrientes de Eddie, creadas en la "sección superior del yugo".

El bimetal en este caso es el mismo para todas las corrientes nominales de esta marca y con el objeto de lograr las calibraciones, para los distintos valores nominales, se ajusta el yugo magnético proporcionando un aumento o decremento de la reluctancia del yugo.

2.3.1.b DISPARO MAGNETICO

Se ha visto en los párrafos anteriores las características de la unidad térmica de disparo, pero existen mas refinamientos que pueden ser introducidos a la unidad de disparo, como es el disparo magnético.

El tiempo de operación de un interruptor térmico, aun con severas corrientes de cortocircuito, tiene un valor bien definido. Por lo que si se pudiera introducir algún elemento discriminante que operara instantáneamente en corto circuito; pero que no afectara la respuesta térmica en pequeños sobrecargas, se obtendría una respuesta más satisfactoria. Esto es exactamente lo que se ha logrado con la combinación termomagnética del interruptor.

El elemento básico de esta unidad es un yugo magnético, que rodea parcialmente al bimetal. Este yugo está provisto de una armadura de hierro dulce montada sobre un resorte. Las corrientes elevadas consideran un disparo magnético a partir de 10 veces el valor de la corriente nominal, creando un campo magnético que atrae a la armadura, liberando el cerrojo de disparo de la misma forma que lo hace el bimetal en una sobrecarga.

Con el objeto de llevar a cabo una mejor protección contra las sobrecorrientes de corto circuito, la unidad "magnética de disparo" es ajustable. Normalmente el interruptor está provisto de una posición baja y alta y consiste en un acercamiento y alejamiento respectivamente de la armadura con respecto al yugo magnético.

Este movimiento de la armadura hace que varíe el valor de la corriente en que el interruptor dispara, instantáneamente, resultando esto de gran utilidad, especialmente en problemas de coordinación.

2.3.2 MECANISMO DE OPERACION.

El mecanismo de operación proporciona la forma mecánica de abrir y cerrar el interruptor. Este mecanismo está diseñado de tal manera que la velocidad de cierre y apertura de los contactos sea independiente de la velocidad de operación de la palanca.

La palanca de operación señala por medio de 3 posiciones distintas, si el interruptor se encuentra cerrado (1; C00), abierto (0; A310) o disparado (1; P15P).

En la posición de disparado la palanca se localiza en medio de cerrado y abierto, para su restablecimiento, basta con girar la palanca desde su posición central a la posición extrema de abierto.

Esta posición de disparado, es particularmente ventajosa e importante; mas cuando se requiere tener los interruptores agrupados, como lo es en el caso de un tablero "la posición central señalará" claramente que el interruptor se ha disparado debido a una falla en el corto circuito.

El mecanismo de operación basa fundamentalmente su funcionamiento en cuatro movimientos como se muestra en la siguiente figura (fig. 26).

Cuando el mecanismo se encuentra en la posición de "abierto" se puede apreciar dos cosas: primero el punto 2 se fija y el sistema se mueve entonces sobre los pivotes 2 y 5, segunda, existen dos fuerzas una aplicada al punto 3, que es proporcionada por los resortes directamente y otra del gatillo contra el cerrajo (fig. 27).

En la posición de "cerrado", el mecanismo se encuentra cercano al eje del punto muerto, alejado lo suficiente para evitar que cualquier vibración altere su posición y así mismo de que se requiera una fuerza mínima para disparar el interruptor (fig. 28).

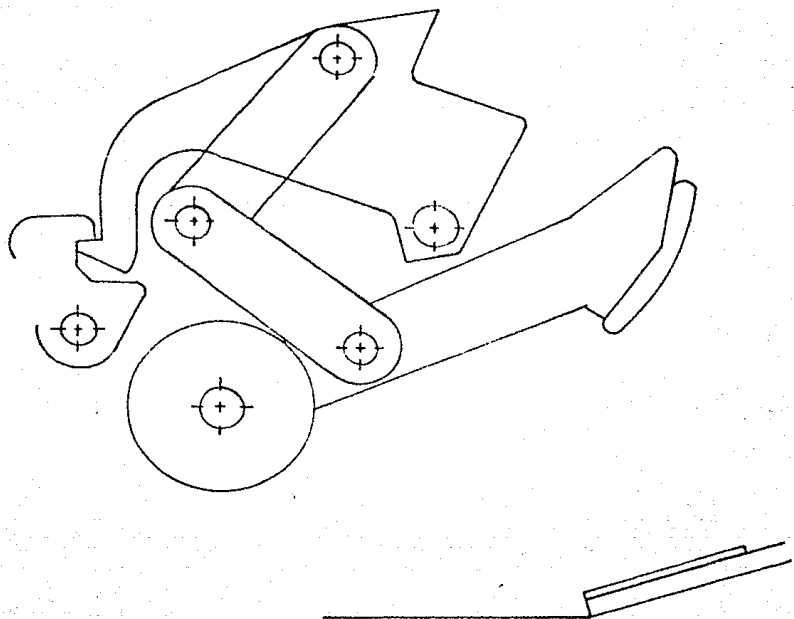


FIG. (26) MECANISMO DE OPERACION

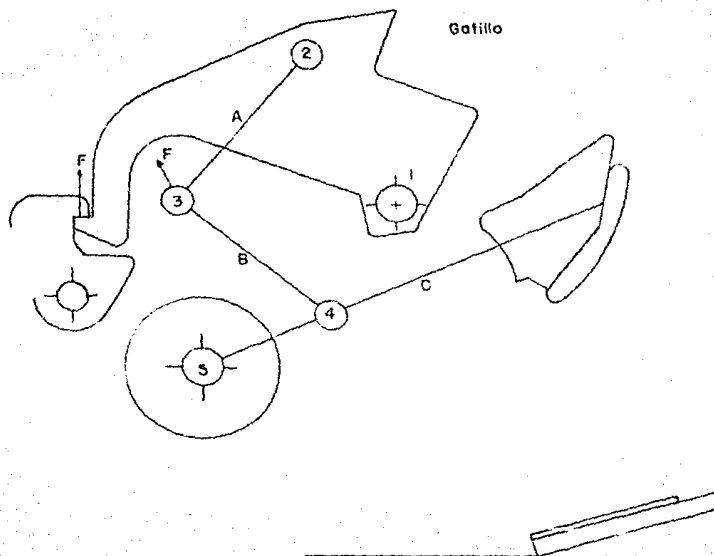


FIG. (27) POSICION DE ABIERTO

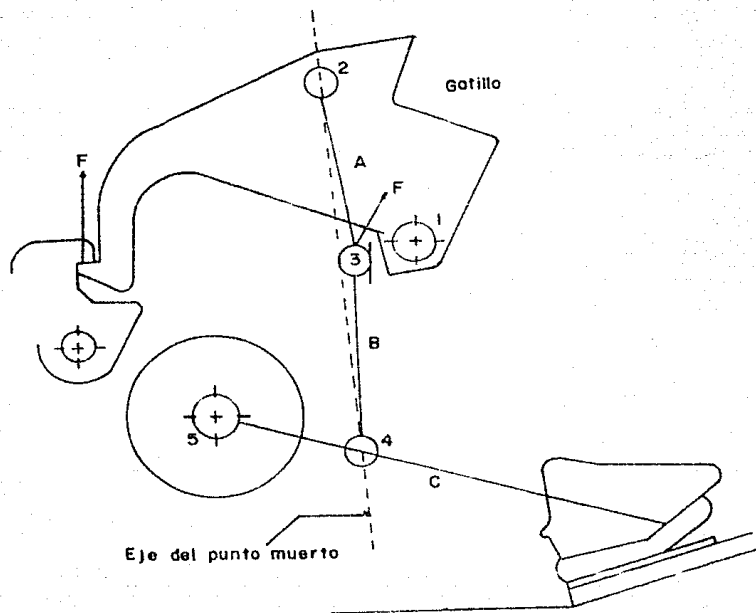


FIG. (28) POSICION DE CERRADO

*Punto muerto Cuando el conductor y el conducido están alineados, la dirección del movimiento de su centro común que está siempre en ángulo recto a la línea del conductor, estará también en ángulo recto a la línea de la barra conducida. Un vector así situado no puede tener componente a lo largo de la línea. Por eso, en tal fase, el conductor no tiene influencia sobre el conducido y de aquí que un punto muerto es alcanzado.

2.3.3 CAMARA DE EXTINCION

La apertura de un circuito se hace separando dos contactos entre los cuales aparece un conductor gaseoso, constituido por electrones y gas ionizado a temperaturas muy altas. Así el problema fundamentalmente de la interrupción de circuitos eléctricos reside en la extinción del arco eléctrico.

Existe una distinción básica entre la interrupción de un circuito de corriente alterna y un circuito de corriente directa. En el segundo no existen pausas en cero en los valores de corriente, no existen valores cero de corriente, entonces, para interrumpir un circuito de corriente directa, la corriente debe ser forzada a cero por medio de un incremento en la resistencia del arco hasta que la caída de potencial a través del arco sea igual al voltaje del circuito.

En el caso de la corriente alterna, los valores cero de corriente ocurren naturalmente y es necesario tan sólo prevenir la reignición del arco después de una corriente cero. Debido a esto la deionización en la corriente cero natural es de vital importancia.

2.3.3.a ELONGACION DEL ARCO ELECTRICO.

El arco eléctrico se inicia por la separación de dos contactos. Este progresivamente se alarga al aumentar el entrehierro en los contactos. De la elongación del arco se obtiene como resultado el entriamiento progresivo de este y la deionización del entrehierro.

Si la rigidez dieléctrica del medio que está entre los contactos que se están separando es mayor que el voltaje que aparece entre los contactos, el circuito queda abierto definitivamente. Si la rigidez dieléctrica no es suficiente para soportar el voltaje que aparece entre los contactos volverá a establecerse el arco.

La elongación del arco eléctrico es un medio de interrupción relativamente inefectivo puesto que el tiempo de desionización se incrementa con el alargamiento del arco eléctrico. Ya que la elongación de un arco de grandes dimensiones conduce a la necesidad de disipar grandes cantidades de energía.

Existen, sin embargo, un gran número de razones que justifican la elongación considerable del arco eléctrico. A mayor separación de contactos y la consecuente elongación, mayor es la facilidad de establecer un medio dieléctrico en el entrehierro formado entre los contactos y menor será la desionización y el enfriamiento por unidad de arco requerida.

2.3.3.b RELACION ENTRE ELONGACION Y ENERGIA DEL ARCO ELECTRICO.

La resistencia del arco eléctrico, o la resistencia del espacio en que éste se realiza, es considerado en forma práctica como una indicación inmediata del grado de ionización del espacio donde el arco eléctrico ocurre y se incrementará según el decremento del grado de ionización de este mismo espacio, lográndose al mismo tiempo que el entrehierro de los contactores recupere su fuerza dieléctrica. Por lo contrario, la resistencia del arco y del espacio del arco decrece cuando la ionización del entrehierro del arco eléctrico crece.

Debido a este paralelismo entre la resistencia del espacio del arco eléctrico y la desionización y la fuerza dieléctrica del entrehierro, muchos problemas pueden ser considerados y resueltos con facilidad en términos de la resistencia del arco o la resistencia del espacio del arco y de la teoría elemental de circuitos, sin necesidad de adentrarse en conceptos más complicados como lo son los del estado de ionización.

2.3.3.c EXTINCIÓN DEIONIZADORA DEL ARCO

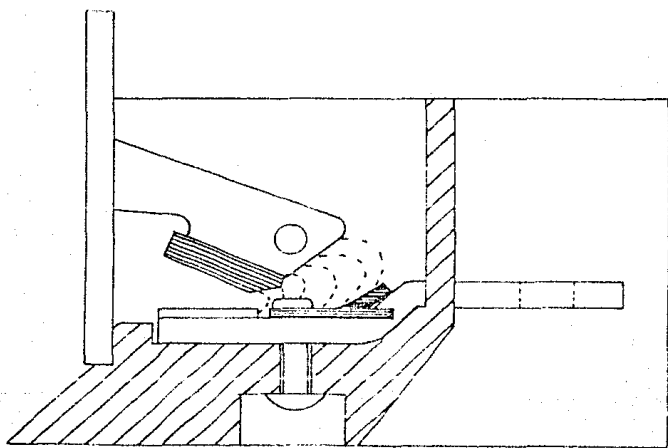
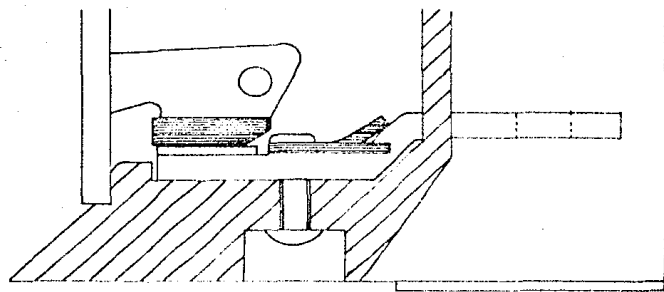
La cámara de extinción basa su funciones en dos componentes muy importantes; el primero de ellos es denominado como "cuernos de arcos", cuya función principal es la de guiar hacia el frente el arco eléctrico, como se muestra en la (fig. 29).

Al momento de la separación de los contactos, se inicia un arco eléctrico cerca del punto más bajo de los mismos. Desde este momento el arco eléctrico se levanta, este desplazamiento se debe a que al momento de iniciarse la interrupción, los contactos dejan de apagarlos, haciendo con esto que la resistencia de contacto aumente y con ello la temperatura, alcanzando hasta 3000 grados centígrados en su inicio. Esto da como resultado un cambio violento de presiones, semejante al de una explosión, luego entonces los gases son lanzados hacia el frente conduciendo con ellos el arco eléctrico.

El segundo componente es un grupo de placas metálicas (acero, fig. 30) eléctricamente aisladas, cuya función es la de extinguir el arco, como a continuación se explica:

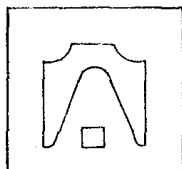
La geometría de las placas hace que el arco induzca un campo magnético en ellas, atrayendo el arco hacia las placas, ayudado por los cuernos de arcos. El arco al alcanzar las placas se divide en pequeños sub-arcos, cada uno de estos sub-arcos tiene a dos placas adyacentes como electrodos teniendo cada uno de ellos caída de potencial entre cátodo y ánodo. Durante el intervalo a la corriente de valor cero los sub-arcos son deionizados de tal manera que cada espacio entre placas requiera cerca de 2000 volts para reiniciar el arco.

Con el objeto de alcanzar un factor de seguridad, la cámara de extinción del arco ha sido provisto por los fabricantes con un cierto número de placas, de tal forma que a cada espacio le corresponde cerca de 100 kv. pico de reiniciación.

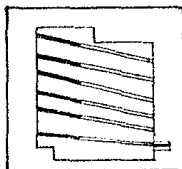


Funcionamiento de los cuernos de arco

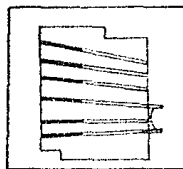
FIG. (29)



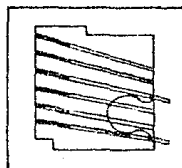
Placas paralelas de acero ra-
deando los contactos móviles y
estacionarios.



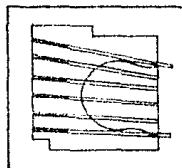
Contactos Cerrados.



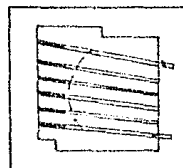
Apertura de los contactos y
y formación del Arco.



Elongación del Arco hacia la
Cámara de arqueo.



El arco Antes de romperse

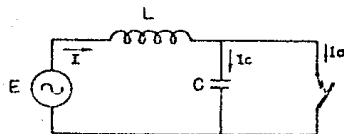


El arco se secciona, -
se enfría y se extingue.

PRINCIPIO DE IONIZADOR PARA LA EXTINCION DEL ARCO

2.3.4 INTERRUPCION DE UNA CORRIENTE ALTERNA

Para analizar en qué forma se logra la interrupción de una corriente alterna, supondremos un circuito, compuesto por una fuerza electromotriz, una inductancia en serie y una capacitancia en paralelo que nos puede representar, en forma muy simplificada un circuito real (fig. 31).



E .— Fuerza Electromotriz

L .— Inductancia

C .— Capacitancia

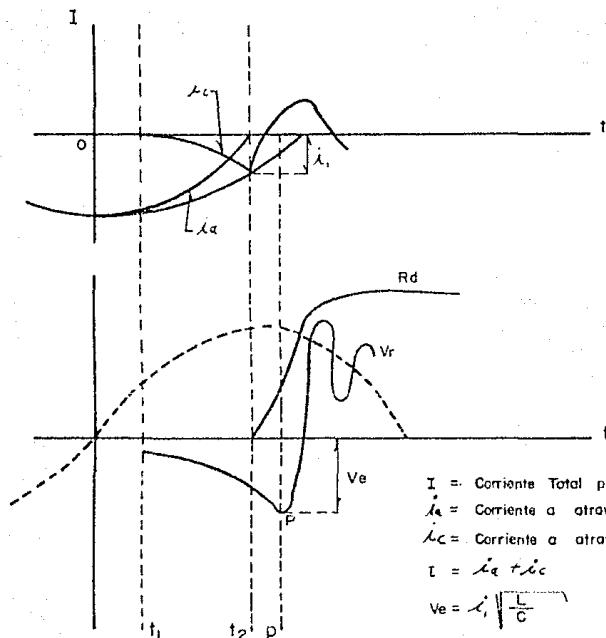
I_a .— Corriente a través del arco

I_c .— Corriente a través del capacitor.

Fig. 31 Circuito equivalente mostrando una interrupción de una corriente alterna

En el instante t_1 (fig.31), se inicia la separación de los contactos del interruptor, apareciendo un arco eléctrico entre ambos, lo cual permite que siga circulando la corriente en el circuito.

La corriente total proporcionada por el generador se divide entre el arco y el condensador. En un principio la caída de voltaje a través del arco es muy pequeña, el voltaje aplicado al condensador es muy pequeño y este toma muy poca corriente. A medida que la caída de voltaje a través del arco aumenta, la corriente en el condensador aumenta y por lo tanto la corriente que atraviesa el arco disminuye, llega un momento en que bajo la acción de los agentes desionizantes, el arco se interrumpe un poco antes del paso natural de la corriente por cero. El voltaje aplicado al condensador aumenta bruscamente y se produce una oscilación del circuito LC, que se amortigua más o menos rápidamente según la resistencia del circuito.



I = Corriente Total proporcionada por el Generador

I_a = Corriente a través del arco.

I_c = Corriente a través del Condensador.

$$I = I_a + I_c$$

$$V_e = I_a \sqrt{\frac{L}{C}}$$

t_1 = Inicio de separación de Contactos

t_2 = El arco se interrumpe

FIG. No. (32)

El voltaje aplicado entre los contactos aumenta primero hasta el punto P, llamado punto de extinción, cuya magnitud depende de la energía electromagnética:

$$\frac{1}{2} Li_1^2 = \frac{1}{2} C V_e^2$$

$$V_e = i_1 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Siendo i_1 , el valor de la corriente en el condensador en el momento de interrumpirse el arco. El voltaje oscila alrededor del valor de cresta del voltaje del generador que está adelantado 90 grados con respecto a la corriente del generador.

Así entonces al voltaje sinusoidal producido por el generador se superpone una oscilación de voltaje a la frecuencia natural del sistema, $f_0 = 1/\sqrt{LC}$. Este voltaje transitorio, llamada voltaje de recuperación, puede alcanzar prácticamente un máximo teórico de dos veces el valor de cresta del voltaje sinusoidal producido por el generador. En un circuito real esta oscilación es amortiguada por la resistencia del circuito.

Y como ya se dijo en párrafos anteriores si la rigidez dieléctrica (R_d) del medio que está entre los contactos que se están separando es mayor que el voltaje que aparece entre los contactos, el circuito queda abierto. Si sucede lo contrario entonces volverá a establecerse el arco.

Por lo tanto vemos que el interruptor debe realizar dos funciones para interrumpir un circuito:

- 1o. Debe ser capaz de disipar la energía producida por el arco sin dañarse el interruptor.
- 2o. Debe ser capaz de restablecer muy rápidamente la rigidez dieléctrica del medio comprendido entre los contactos una vez que se ha extinguido el arco.

2.4 PRINCIPIOS DE OPERACION DE LOS INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS

Los interruptores electromagnéticos en aire para bajo voltaje, están diseñados para controlar y proteger sistemas de distribución (fuerza) que operen a una tensión máxima de 250 volts, C.D., o 600 volts, C.A. Estos aparatos pueden operar en forma segura conectando o desconectando la carga de los circuitos de fuerza y actuando automáticamente cuando se presentan condiciones de sobre corriente en cualquiera de las fases del circuito que protegen.

Este tipo de interruptores está compuesto básicamente de cuatro unidades principales que son:

- Mecanismo de operación
- Sistema de contactos principales
- Sistema de interrupción
- Sistema de protección

Debido a la importancia que representa la última unidad del interruptor se procederá a describir más detalladamente.

2.4.1 SISTEMA DE PROTECCION

El sistema de protección está integrado por un relé transistorizado de sobre corriente, por tres sensores de corriente y por una bobina de disparo.

2.4.1.a DESCRIPCION

Las unidades de disparo (relés de sobre corriente), son totalmente transistorizadas, esto es, no contienen ningún contacto o relé mecánico. Los componentes utilizados son: Semiconductores, Capacitores, Resistencias, Transformadores, etc.

Las unidades de disparo por sobre corriente de tipo transistorizadas actúan sobre el mecanismo de disparo del interruptor cuando la corriente del circuito excede o la corriente de calibración de la unidad dependiendo de los ajustes escogidos, el disparo puede ser instantáneo o a tiempo diferido.

La energía para operar el circuito de disparo se obtiene únicamente del circuito protegido. No se requiere de fuentes de alimentación externas para disparar el interruptor en caso de falla.

Los sistemas de disparo por sobre corriente con reles transistorizados están integrados por las siguientes partes:

- a) Sensores de corriente primaria
- b) Relé de sobre corriente transistorizado
- c) Bobina de disparo por sobre corriente

2.4.1.b SENSORES DE CORRIENTE

Por lo general los sensores de corriente son núcleos de magneto que se encuentran totalmente encapsulados.

Los sensores se instalan en cada uno de los bornes principales del interruptor correspondientes a cada polo del aparato. Cuando se requiere protección por falla a tierra, en circuitos de 4 hilos, es necesario colocar fuera del interruptor un sensor extra en el neutro (ver fig. 33). Este sensor es igual a los que van montados en el interruptor.

Los sensores dan una señal proporcional a la corriente primaria y suministran la energía necesaria para operar el relé transistorizado y a la bobina de disparo.

Los sensores, seleccionados para un interruptor en especial, definen la calibración de este interruptor. Cada sensor tiene 3 ó 4 derivaciones, que permiten el mismo número de calibraciones.

2.4.1.c RELES TRANSISTORIZADOS DE SOBRE CORRIENTE

El relé transistorizado de sobre corriente recibe señales de los sensores de corriente. El relé registra las señales, detecta sobre carga o fallas y determina la operación del interruptor de acuerdo con los ajustes a los que se encuentre sometido.

2.4.1.d BOBINA DE DISPARO POR SOBRE CORRIENTE

Cuando el relé detecta una condición anormal en el circuito que requiere la apertura del interruptor, el switch estático da una señal a la bobina de disparo. Esta bobina actúa sobre el mecanismo de disparo del interruptor ocasionando la apertura.

La bobina de disparo va montada en el mecanismo del interruptor. La bobina de disparo se restablece automáticamente después de que el interruptor abre la falla.

Esta bobina sólo se emplea conectada al propio relé, no admite otra fuente para su operación.

2.4.2 OPERACION

Para comprender la operación básica del relé transistorizado se utilizará el diagrama de bloques de la fig. 35 el cual contiene todos los elementos del relé.

Hay tres sensores de corriente montados en el interruptor, uno para cada fase del circuito primario.

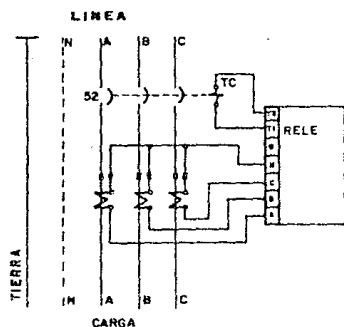
En los sistemas de 3 fases, 4 hilos con protección contra fallas a tierra, se instala un sensor de corriente fuera del interruptor, idéntico a los del interruptor, para que suministre una señal al detector fallas a tierra (ver. fig. 33).

Cada sensor de corriente suministra una señal al relé proporcional a la corriente en el circuito primario. Esta señal pasa a través de transformadores auxiliares conectados en forma residual para inducir voltajes de C.D. proporcionales a los corrientes de línea y a la secuencia cero (falla a tierra).

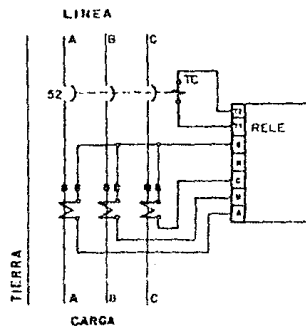
El relé produce una sola señal de corriente directa la cual es proporcional a la magnitud de la máxima corriente detectada en las líneas. Esta señal se compara con una referencia preajustada. Dependiendo de la diferencia en la comparación, el relé actúa en forma diferente. Así por ejemplo, si la señal de los sensores es menor que la referencia escogida, el relé no ejerce ninguna función además de la mera detección. Sin embargo, cuando la señal excede el valor de referencia ajustado, se activa inmediatamente el circuito de disparo. El circuito de disparo activa a su vez al control de tiempo y después del tiempo ajustado se energiza el switch estático del relé, que a su vez excita a la bobina de disparo y abre el interruptor.

El circuito de control de tiempo produce una función $I^2 t$ constante.

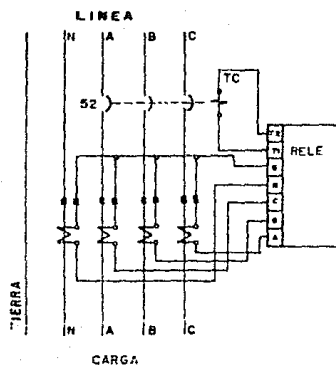
DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LOS RELEVADORES



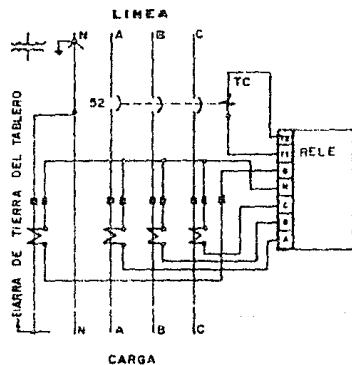
SISTEMAS 3 FASES 3 O 4 HILOS



SISTEMAS DE 3 FASES 3 HILOS CON PROTECCION DE FALLA A TIERRA



SISTEMAS DE 3 FASES 4 HILOS CON PROTECCION RESIDUAL DE FALLA A TIERRA.



SISTEMAS DE 3 FASES 4 HILOS CON PROTECCION DIRECTA DE FALLA A TIERRA.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FUNCIONAMIENTO DEL RELE
TRANSISTORIZADO

84

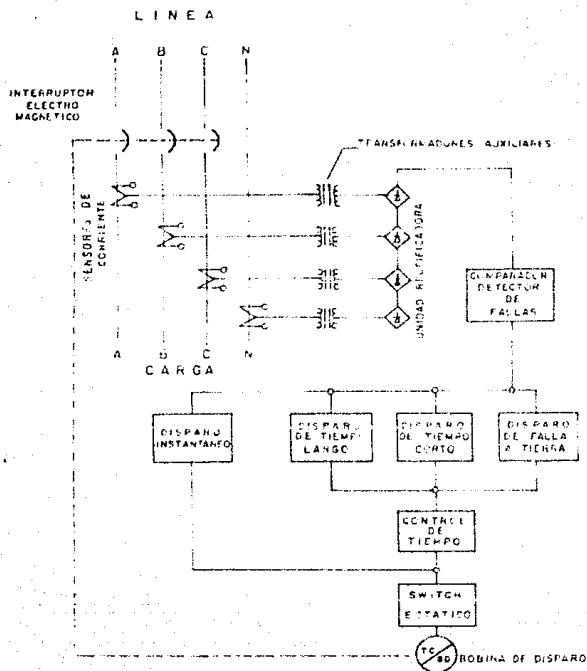


FIG. (35)

Su comportamiento es dinámico de tal forma que durante su operación ajusta el tiempo de disparo, como se aprecia en la figura 34. Si la condición de sobre corriente desaparece y la magnitud de las corrientes en las líneas se reduce al 95% del valor ajustado el relé se restablece automáticamente en 50 milisegundos evitándose que el interruptor dispare innecesariamente.

Cuando el interruptor abre, desaparece inmediatamente la señal mediante la cual los sensores alimentan al relé. El relé se restablece y desconecta el circuito de disparo.

El relé tiene cuatro elementos de disparo:

- instantáneo
- tiempo corto
- tiempo largo
- falla a tierra

Cada elemento opera independientemente y activa su control de tiempo correspondiente (con excepción del instantáneo, el cual no tiene ningún retardo intencional). Con este tipo de construcción se aumenta la confiabilidad del relé y se obtiene protección de respaldo de unos elementos con otros.

2.4.3 SELECCION DE AJUSTES.

Los relés transistorizados están provistos de varios selectores, para escoger el ajuste al cual el interruptor debe disparar en cada condición específica.

La selección de los ajustes debe hacerse en base a un estudio de coordinación con otras protecciones.

Las características de protección que se pueden tener en este tipo de relés son las siguientes:

1) TIEMPO LARGO

-Disparo ajustable de 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 1.1, 1.3 veces la corriente del sensor.

-Curvas de tiempo de 2, 4, 6, 8, 10, 14, 16, 22, 26, y 30 segundos.

2) TIEMPO CORTO.

-Disparo ajustable a 2, 3, 4, 6, 8, y 10 veces la corriente del sensor.

3) INSTANTANEO.

-Disparo ajustable a 4, 5, 6, 10 y 12 veces la corriente del sensor.

4) FALLA A TIERRA.

-Disparo ajustable a 0.2, 0.5, y 0.75 veces la corriente del sensor de falla a tierra.

-Retardo ajustable a 0.03, 0.14, 0.27 y 0.32

3 PARAMETROS A CONSIDERAR EN LA PROTECCION A TRANSFORMADORES

3.1 TRANSFORMADOR

El transformador es un componente indispensable en los actuales sistemas eléctricos de potencia comerciales y un componente vital en muchas aplicaciones de baja potencia.

Es uno de los equipos más importantes de un sistema de distribución, no sólo por su costo si no también por su importancia en cuanto a la continuidad en el servicio eléctrico a los consumidores, por lo cual requiere de una adecuada protección.

La principal función en la protección a transformadores, es la desconexión automática de estos, del sistema eléctrico de potencia.

En forma general podemos resumir que un transformador debe protegerse por las siguientes razones:

- Prevenir grandes incrementos de temperatura que puedan desarrollarse en el transformador por excesiva corriente de gran duración, y de este modo causar un rápido deterioro del aislamiento de los devanados. Lo que previene esta protección es conocida como PROTECCION CONTRA SOBRECARGA.
- Prevenir los efectos mecánicos y térmicos originados por grandes corrientes que causen deformaciones permanentes u otro daño al transformador. Lo que previene esta protección es conocida como PROTECCION CONTRA CORTO CIRCUITO.
- Minimizar la propagación de daños internos contenidos en el transformador fallado, y aislarlo del sistema. Lo que previene esta protección es conocida como PROTECCION CONTRA FALLAS INTERNAS.

3.2 PRINCIPALES FACTORES QUE SE DEBEN CONSIDERAR EN LA PROTECCION A TRANSFORMADORES

- Protección contra sobrecargas pequeñas sostenidas o severas de corta duración.
- Protegerlo contra fallos externos que puedan dañarlo.
- Si existe una falla interna, desconectarlo del sistema previniendo fallas catastróficas cualquiera que sea su origen.

- Protegerlo contra sobretensiones cualquiera que sea su origen.
- Por lo tanto, para obtener una protección adecuada es indispensable al seleccionar fusibles y apartarrayos se tome en consideración las características del sistema, del transformador y de los mismos equipos de protección.

Para la selección de estos equipos de protección se toma en consideración:

- Tensión del sistema.
- Corriente de corto circuito disponible.
- Perfil de la carga asociada a los transformadores.
- Corriente transitoria de energización (Inrush) del transformador, y las corrientes transitorias de energización asociadas con cargas conectadas al secundario del transformador (carga fría) en el momento de la reenergización.
- El grado de protección que puedan dar los fusibles primarios contra sobrecorrientes dañinas.
- Coordinación con dispositivos de protección, ya sea primaria o secundaria.
- Protección a conductores secundarios.
- Características de la tensión transitoria de restablecimiento del sistema.

3.3 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

Las características del sistema que son tomadas en cuenta para la selección y aplicación de los fusibles actualmente utilizados en los sistemas de distribución de estructura radial son:

- Magnitud de la corriente de fallo en el lugar de instalación del fusible.
- Magnitud de la tensión transitoria de restablecimiento.
- Característica de la carga.

3.3.1 CORRIENTE DE FALLA.

La capacidad nominal de interrupción de los fusibles debe ser igual o mayor a la corriente de corto circuito disponible en el punto de instalación, debiéndose verificar la relación X/R y el incremento de la capacidad de corto circuito de la fuente a través del tiempo.

3.3.2 TENSION TRANSITORIA DE RESTABLECIMIENTO

Paralelamente las características de tensión de restablecimiento del sistema, se pueden definir del:

- FACTOR DE AMPLITUD DE LA SOBRETENSION QUE APARECE DURANTE LA INTERRUPCION
- LA FRECUENCIA NATURAL DEL SISTEMA
- LA VELOCIDAD CON QUE AUMENTA LA SOBRETENSION (dv/dt) (KV/ms).

El control de estos valores se puede obtener instalando en lugares adecuados, bancos de capacitores ó resistores. Los valores recomendados por la Norma IEC-282-2 son:

- Factor de amplitud _____ 1.0 a 1.5
(fusibles de potencia)
- Frecuencia natural _____ 1.8 a 2.1 KHz.

3.4 CARACTERISTICAS DE LA CARGA.

El conocimiento de las características de la carga de un sistema eléctrico, permiten al ingeniero de distribución diseñar y operar en forma óptima al mismo.

Los resultados de un adecuado estudio que permita conocer la naturaleza de la carga conectada a los transformadores de distribución, en combinación con otros datos y parámetros del sistema pueden ser usados para determinar la utilización más económica del transformador, así como el diseño más económico del mismo.

Los circuitos eléctricos alimentados por un transformador de distribución, generalmente poseen una gran variedad de cargas, esto es, el carácter de la carga de un transformador puede ser muy diferente, dependiendo de la naturaleza de la carga conectada, los hábitos de los usuarios, las condiciones climatológicas, etc.

El ingeniero de distribución tiene cierta libertad en la selección de algunos factores que intervienen en el diseño del sistema, pero en donde no tiene control es en la carga; sin embargo afortunadamente, las cargas tienen algunas características bien definidas que hacen posible el uso de factores, los cuales ayudan a predecir el comportamiento de la carga y obtener un pronóstico adecuado sobre el crecimiento de la misma.

Por el tipo de utilización que le da a la energía eléctrica al usuario, la carga se puede clasificar en, residencial, comercial e industrial.

Las curvas de carga típica se muestran en las figuras 36, 37 y 38.

Cargas de los transformadores de distribución.— Con el propósito de determinar las causas de falla en transformadores de distribución es necesario conocer su demanda real.

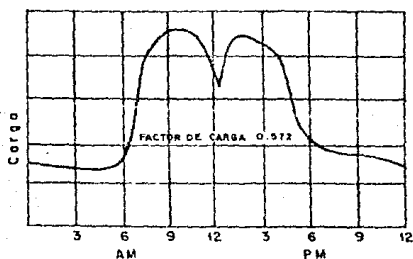
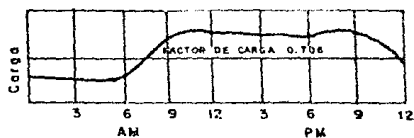
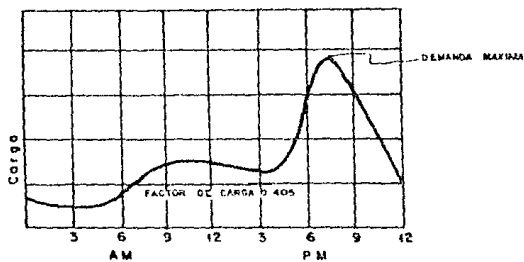
3.5 CARACTERISTICAS DE LOS TRANSFORMADORES.

Las características que se deben considerar para proteger adecuadamente a los transformadores son las siguientes:

3.5.1 CAPACIDAD DE SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES.

La capacidad de sobrecarga de un transformador, es el porcentaje de sobrecarga, permitida para minimizar el daño y al mismo tiempo satisfacer el ciclo de la demanda máxima diaria.

La capacidad de sobrecarga de un transformador depende de su habilidad para disipar los efectos térmicos provocados por las sobrecargas. Esta capacidad depende de la habilidad de enfriamiento, duración de la sobrecarga, construcción del transformador y tipo de conexión en los devanados.



Las guías de protección se basan en estas consideraciones.

Las guías de carga para transformadores tipo seco y transformadores en aceite se indican en las Normas: ANSI C57.96 con título "Guía para carga en transformadores de Distribución y Potencia tipo Seco" en ANSI C57.92 "Guía para carga en transformadores de Distribución y Potencia tipo Sumergido en Aceite".

En la figura 39 se muestra las curvas características corriente tiempo, que se emplean como guías de acuerdo a los parámetros requeridos para operación de equipo de protección.

Cuando no se dispona de la información de estas curvas características de un transformador en especial, es una buena aproximación aplicar los valores de la tabla No. 5.

Cuando operamos un transformador con una temperatura excesiva, llevando una carga mas que su capacidad nominal por un periodo extenso va a resultar una reducción de vida para el transformador.

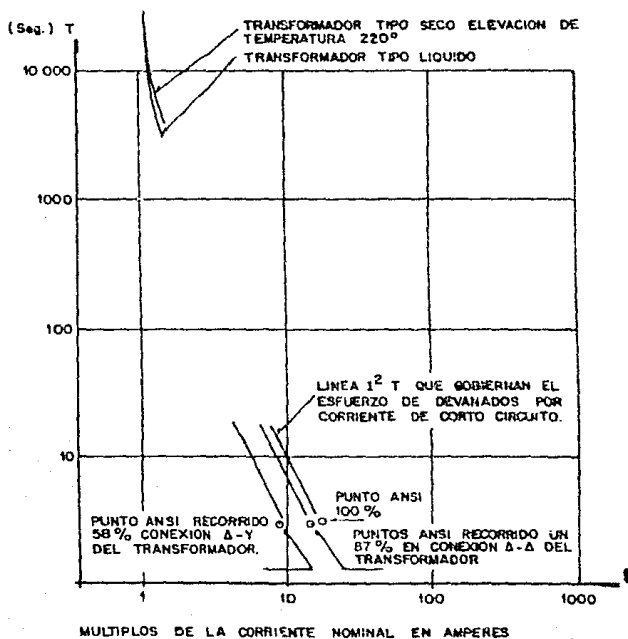
La pérdida de vida de un transformador es calculada, considerando el envejecimiento de aislamiento y deformación interna debido a una temperatura mas alta permitida por el transformador.

Las Normas ANSI C57.92 "Guía para carga en transformadores de Distribución y Potencia tipo Sumergidos en Aceite", considera la pérdida de vida como una función de la temperatura de operación, tiempo, aislamiento del transformador y demanda máxima diaria. La referencia esta basada solamente en la vida esperada debido a sobrecarga.

3.5.2 CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR AL CORTO CIRCUITO (punto ANSI)

La habilidad que posee un transformador de soportar corriente de corto circuito (aquellas que pasan por el transformador y ocasionan una falla del lado de la carga del transformador), se define en ANSI C57.12.10 con título "Transformadores de 118000 Volts y menores".

En esta norma se especifica la magnitud y duración de la máxima corriente permisible que un transformador puede soportar sin sufrir daño. La figura 30, nos muestra los puntos de daño en un transformador.

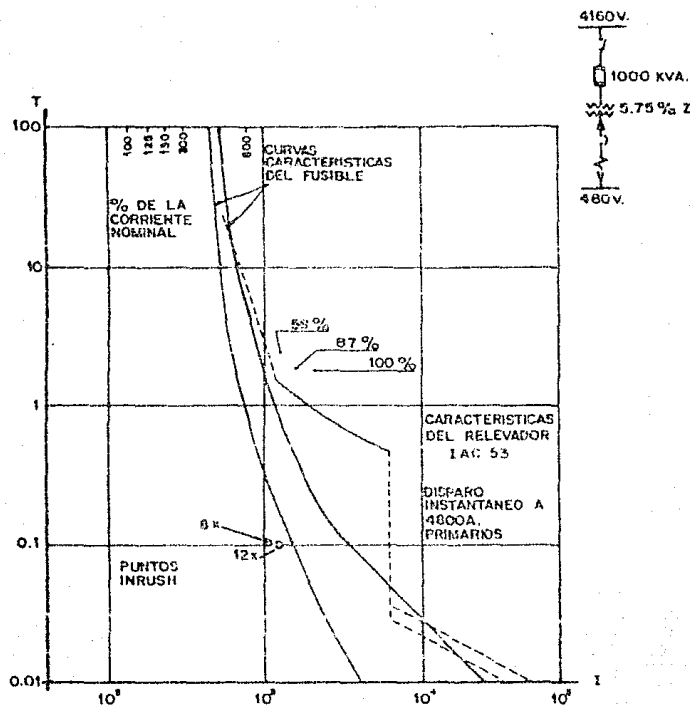


CURVAS CARACTERISTICAS DE DAÑO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.

FIG. (39)

TRANSFORMADORESCAPACIDAD DE SOBRECARGA.- DEPENDE DEL TIPO DE ENFRIAMIENTO
USADO

TIPO	KVA	ENFRIAMIENTO		TEMPERATURA	
		TIPO	FACTOR	ELEVACION	FACTOR
SECO	≤ 2500	AA	1.0	150°C	1.0
		FA	1.3		
LIQUIDO TIPO CENTRO DE CARGA	≤ 2500	OA	1.0	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	≤ 500	FA	1.0	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	≥ 500 ≤ 2000	FA	1.15	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
	≥ 200 ≤ 2500	FA	1.25	55/65°C	1.12
				65°C	1.0
LIQUIDO SUBESTACION PRIMARIA		OA	1.0	55°C	1.0
				55/65°C	1.12
		FA	1.33	55°C	1.0
				55/65°C	1.12
		FOA	1.67	55°C	1.0
				55/65°C	1.12



CORRIENTE EN AMPERES A 4160 V. PRIMARIOS.
VALORES DE CORRIENTE INRUSH Y PUNTOS ANSI.

FIG. (40)

El límite máximo de protección del transformador lo determina el punto ANSI, que establece las características que deben cumplir los devanados para soportar, sin resultar dañados, los esfuerzos térmico y magnético causados por un corto circuito en sus terminales, considerando períodos definidos. Estos puntos en múltiplos de la corriente a plena carga (I_{pc}), se resumen en la tabla 6.

TABLA No. 6

Z (%)	Corriente simétrica R M S en cualquier bobina		t ANSI (seg)
	Múltiplos Conexión $\Delta\Delta$ o YY	Múltiplos Conexión $\Delta-Y$	
4 ó menos	25	14.5	2
5	20	11.6	3
5.25	19.05	11.05	3.25
5.50	18.18	10.55	3.50
5.75	17.39	10.09	3.75
6	16.67	9.67	4
6.50	15.38	8.92	4.5
7.0 ó mayores	14.29	8.29	5

Sin necesidad de recurrir a la tabla puede calcularse la corriente ANSI, con las siguientes ecuaciones:

Conexión $\Delta\Delta$ o YY

$$I_{ANSI} = 100 \times I_{pc} \times \frac{1}{Z (\%)} \quad (1)$$

Conexión $\Delta-Y$

$$I_{ANSI} = 100 \times I_{pc} \times 0.58 \times \frac{1}{Z (\%)} \quad (2)$$

Siempre y cuando $4(Z\%) < 7$

El tiempo ANSI se encuentra:

4(Z%) < 7 tANSI = Z (%) - 2

7(Z%) tANSI = 5

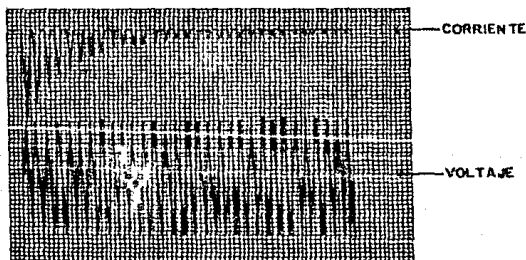
Z (%) < 4 tANSI = 2

Para el rango de cortos circuitos abajo de la máxima corriente especificada, los esfuerzos electrodinámicos varían en función del tiempo y el cuadrado de la corriente ($I^2 t$) luego entonces se debe trazar una curva $I^2 t$ en la fig. 40

3.3.3 CORRIENTE DE MAGNETIZACION DE TRANSFORMADORES (CORRIENTE INRUSH)

La corriente de magnetización, o también conocida como *inrush*, es un fenómeno eléctrico transitorio que ocurre cuando energizamos un sistema de distribución con transformadores o motores eléctricos. En el instante de energización, el flujo magnético aplicado, causa una corriente que es mayor en magnitud que la corriente nominal, decayendo al valor cero y quedando sobre la referencia del eje (ver figura 41).

Su magnitud y duración está determinada por las características magnéticas (flujo residual) del núcleo, el tipo de construcción del mismo y el punto de la onda de tensión en el instante en que se energiza.



CORRIENTE TRANSITORIA DE MAGNETIZACION

Cualquier dispositivo de protección no debe de actuar en el momento de energizar un transformador, debiendo tomar en cuenta los valores de las corrientes de magnetización, de gran valor y en forma instantánea.

Estos valores se determinan por pruebas a transformadores, pueden alcanzar valores de 8 y 12 veces el valor de la corriente nominal para un periodo de 0.1 seg. o bien 25 veces la corriente nominal para un tiempo de 0.01 seg. en transformadores tipo seco.

En transformadores con enfriamientos de OA, FA y FOA se utiliza un múltiplo que varía, dependiendo de la capacidad del transformador como se indica en la tabla 7.

TABLA NO. 7

<u>CAPACIDAD</u>	<u>MÚLTIPLO</u>
KVA < 1500	8
1500 < KVA < 3750	10
3750 < KVA	12

El tiempo de duración de la corriente de magnetización es invariablemente de 0.1 segundos.

En la figura 41 se muestra las curvas de corriente Inrush.

3.5.4 CONSIDERACIONES DE DAÑO DE TANQUE

Cuando en el interior de un transformador de aceite, se producen arcos entre tanque y conductores alimentados de energía, se genera una descomposición de aceite provocando presión en contra de las paredes del tanque, por el gas producido, de tal forma que si no se libera puede ocasionar la explosión del tanque.

Esto dependerá entonces de la energía I^2t que permite pasar el fusible en el momento de presentarse una falla y además de la habilidad del equipo para soportar dicha energía. Entonces, los fusibles limitadores de corriente

son considerados para cuando se tienen valores de corriente de falla superiores a 3000 Amps. en las instalaciones.

La fig. 42 presenta las curvas características de un transformador de 50 KVA monofásico 7.2kV.

3.5.5 CORRIENTE DE RESTABLECIMIENTO DE CARGA FRIA.

Este tipo de corriente resulta de la reenergización de un transformador que hubo sido previamente desconectado.

El valor de estas corrientes depende del tipo de sistema y del tipo de cargas conectadas a ella, como ya se indicó anteriormente.

Cuando energizamos estos equipos, a veces requiere una corriente de 5 a 10 veces la corriente nominal por un lapso de tiempo de varios segundos.

Cuando examinamos la energización de un transformador solamente de distribución, para garantizar que el fusible no opere bajo carga tpe utilizamos 7 veces la corriente nominal durante 10 segundos.

Sin embargo, los valores sugeridos por la experiencia, y que se deben considerar son:

6 x I_n	en 1	seg.
3 x I_n	en 10	seg.
2 x I_n	en 100	seg.
2 x I_n	en 300	seg. (cargas industriales grandes).

3.5.6 DAÑO TERMICO Y MECANICO

Otras de las características importantes de los transformadores que deben tomarse en cuenta para su protección adecuada son los valores de daño térmico y mecánico que pueden sufrir por sobrecargas no aceptables a sus características.

3.5.7 CONEXION Δ-Y DE LOS TRANSFORMADORES

En las figuras 43, 44 y 45, se muestran las relaciones que existen entre las corrientes primarias y secundarias de

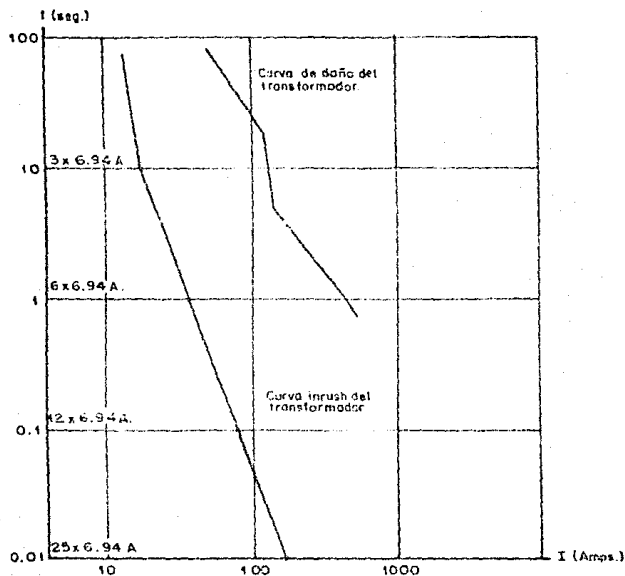
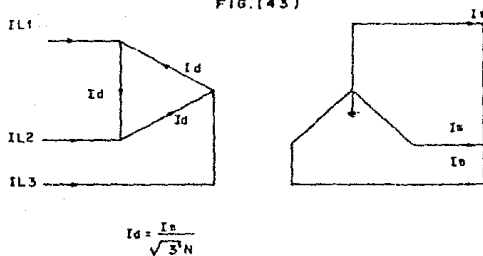


Fig. (42).- Curva característica de un transformador 12.47/7.2 KV conexión estrella-neutro-delta, 6.94 A. nominales

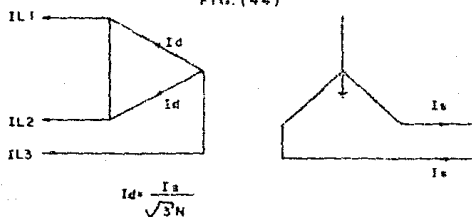
FIG. (43)



$$I_d = \frac{I_s}{\sqrt{3}N}$$

$$IL1 = IL2 = IL3 = \frac{I_s}{N}$$

FIG. (44)

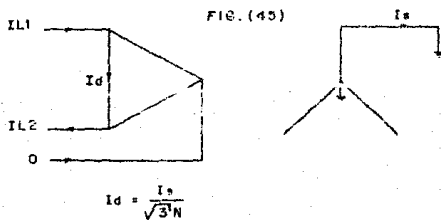


$$I_d = \frac{I_s}{\sqrt{3}N}$$

$$IL1 = IL2 = \frac{I_s}{\sqrt{3}N}$$

$$IL3 = 1.15 \frac{I_s}{N}$$

FIG. (45)



$$I_d = \frac{I_s}{\sqrt{3}N}$$

$$IL1 = IL2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_s}{N}$$

un transformador conectado en Δ/Y para los tres tipos de falla 3 ϕ , 2 ϕ , y 1 ϕ , en el lado secundario del transformador. Estas características se tornan muy importantes en las consideraciones de protección a los transformadores ya que las curvas de daño térmico del transformador se desplazan de acuerdo a la falla a considerar.

Para protecciones secundarias en caso de falla monofásica la curva debe desplazarse 173.2% a la derecha ya que es $\sqrt{3}$ veces mayor; con falla bifásica debe desplazarse a la izquierda 67% ya que se considera $\sqrt{3}/2$ veces menor.

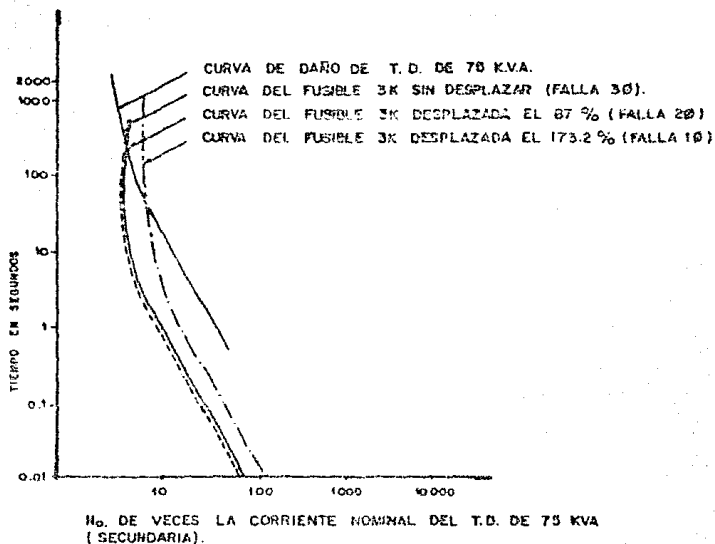
En protecciones primarias, que es el caso en estudio, las curvas de daño térmico deben desplazarse a la izquierda 57.7% al considerar fallas monofásicas y 15% a la derecha con falla bifásica. Estos casos se muestran en las figuras 46 y 47.

3.6 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS FUSIBLES

Las características I-t definen la operación de un elemento fusible en función de la corriente aplicada, y se determinan en pruebas de verificación de características corriente-tiempo, de acuerdo a la Norma ANSI C37.43, a una temperatura ambiente de 25 grados centígrados y sin carga inicial. Sin embargo cuando los fusibles entran en operación, conducen la corriente de carga, lo que origina un incremento de la temperatura en el elemento sensible a la corriente, reduciendo por lo tanto su tiempo de fusión para un valor de corriente fijo. Al entonces es importante hacer notar que dicha reducción origina un desplazamiento de la curva característica, hacia la izquierda. Luego entonces para que el fusible que se encuentra protegiendo al transformador, soporte la corriente de carga corriente y proporcione la coordinación adecuada, es necesario se realice un ajuste de la curva característica corriente mínimo-tiempo de fusión, proporcionada por el fabricante. Por esto se utiliza una curva de ajuste del factor de carga (fig. 50), en la cual se incluyen diversas condiciones de carga para cada tipo de fusibles. Dichos ajustes se realizan en el tiempo de fusión. Para cada nivel específico de corriente de carga.

Así mismo se han detectado varias anomalías en la aplicación de fusibles, como son las siguientes:

- a).- El hecho de que el elemento fusible resiente corrientes de magnitudes cercanas al punto de fusión, hace que dicho elemento incremente su resistencia óhmica (figs. 48 y 47)



DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA CARACTERISTICA CORRIENTE

- TIEMPO MINIMO DE FUSION DEL FUSIBLE 3K CONSIDERANDO TRES TIPOS DE FALLA SECUNDARIA.

FIG. (46)



% DE LA CORRIENTE NOMINAL DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN
A 22 KV.

FIG. (47)

DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA DE DAÑO PARA TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCIÓN EN 22 KV CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA ATERRIZADA CONSI-
DERANDO LOS TRES TIPOS DE FALLAS.

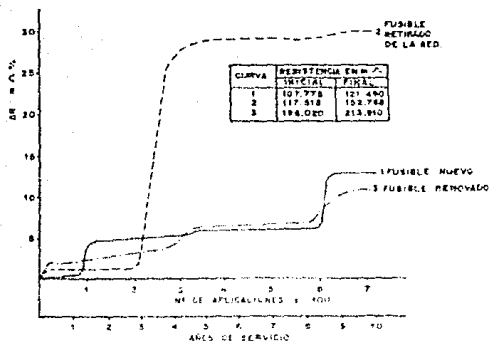


FIG. 48 INCREMENTO DE LA RESISTENCIA OMICA FUSIBLES TIPO EXPULSION

CONSIDERANDO QUE DURANTE SU VIDA ÚTIL SE LE SOMETIÓ ÚNICAMENTE A LA ACCIÓN DE CORRIENTES TRANSITORIAS DE MAGNETIZACIÓN

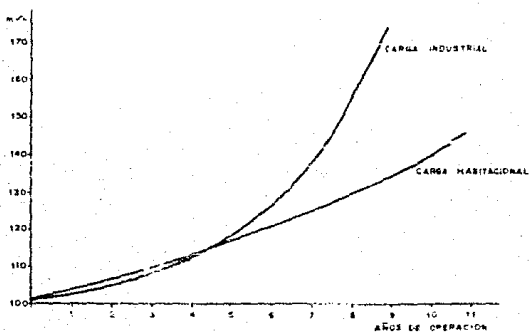
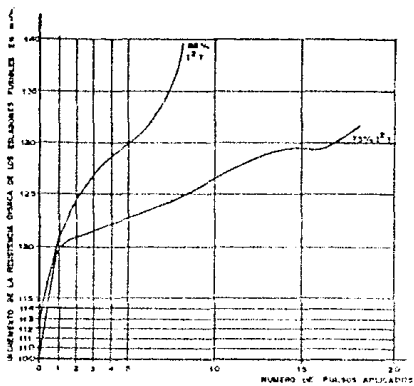
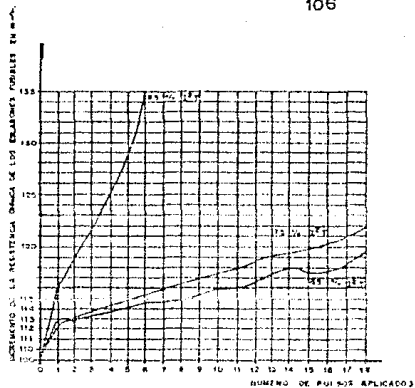


FIG. 49 VARIACION DE LA RESISTENCIA OMICA DE FUSIBLES TIPO EXPULSION



INCREMENTO PROMEDIO DE RESISTENCIA ELECTRICA
DE ISLADONES FUSIBLES CON APLICACION DE
CORRIENTES DE BAYO.



VARIACION PROMEDIO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA
DE ISLADONES FUSIBLES CON APLICACION DE
CORRIENTE A 60 HZ.

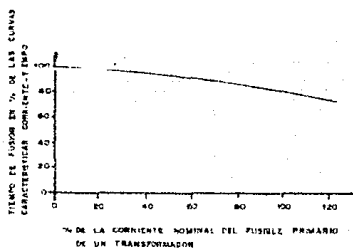


FIG. (50). CURVA DE AJUSTE DEL FACTOR DE CARGA PARA EL FUSIBLE
DE POTENCIA TIPO EXPALCIN, DE ACIDO BENCICO

*b).— Otro de los parámetros que influyen en el envejecimiento de los fusibles son: las características de la carga, operación del sistema y época del año, en los figuras 48 y 49 se muestra lo anterior y en las figuras 51 y 52, se puede observar la relación que existe entre la operación de fusibles y la distribución mensual de transformadores fallados en 1964.

Así mismo se ha verificado que las condiciones de operación de la red que afectan las características de los fusibles son:

- Características de carga de los transformadores.
- Interrupciones o salidas de los alimentadores.
- Operación de los dispositivos de protección contra sobretensiones.
- En lo concerniente a la influencia de las características de carga sobre el comportamiento de los fusibles, fue determinado en base a mediciones de resistencia. Se retiraron fusibles sometidos a diversos regímenes de carga y se observó que el envejecimiento de los fusibles es más acelerado cuando la carga es primordialmente industrial.
- En cuanto a la operación o salidas de los alimentadores, se ha experimentado con los fusibles, simulando corrientes de magnetización durante 10 años y se ha obtenido una tabla (Tabla 8), en la cual se observa la variación sufrida en su resistencia óhmica.

TABLA 8

FUSIBLE	RESISTENCIA	
	R1	R2
NUEVO	107.7	121.5
RETIRADO DEL SISTE. DE DIST.	117.5	153.7
RENOVADO	196.0	213.0

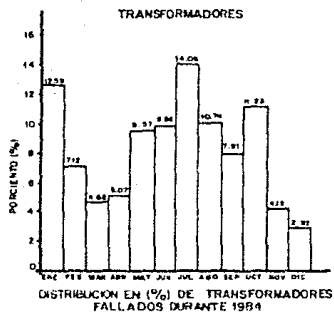


FIG. (51)

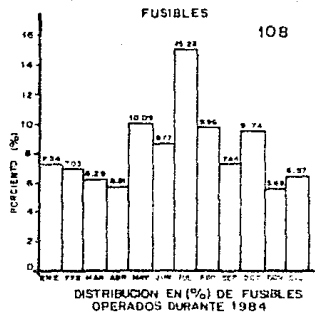
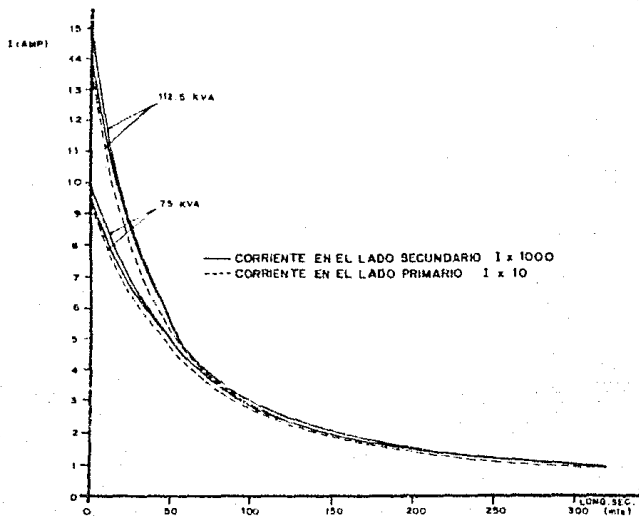


FIG. (52)



CORTO CIRCUITO SECUNDARIO TRIFASICO : CONDUCTOR SECUNDARIO NEUTRAL 3 x 1/0,
 TRANSFORMADORES DE 75 Y 112.5 KVA. SE CONSIDERA LA IMPEDANCIA DEL SISTEMA.

FIG. (53)

- El hecho de que no se encuentren dispositivos de protección contra sobretensiones, causa también un deterioro considerable en las características de los fusibles, debido a la incidencia directa de los impulsos de sobretensiones a que quedan sometidos los alimentadores.

*c).- Otra de las causas que se encontraron, en cuanto a la operación inadecuada de fusibles, fue clasificada como SOBRECARGAS APARENTES, los factores que determinan la operación inadecuada de estos se pueden resumir: Cortos circuitos secundarios, corrientes de magnetización y corrientes magnetizantes de energización. Los cortos circuitos secundarios, considerados como sobrecargas aparentes, no hacen operar a los fusibles con fallas localizadas en los secundarios a distancias mayores de 200 metros, y para longitudes de 200 metros o menores la dispersión muestra alta dispersión en los tiempos de fusión, mostrando características de operación por sobrecarga, como se muestra en la fig. (53).

- * Información obtenida por CI y FC mediante un estudio realizado a las redes de distribución de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

4 SELECCION Y COORDINACION.

4.1 CRITERIO DE SELECCION PARA FUSIBLES.

En la protección a transformadores de distribución al seleccionar fusibles se debe considerar las características del sistema, del transformador y de los mismos equipos de protección.

4.1.1 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA A CONSIDERAR.

- a) Magnitud de la corriente de falla.
- b) Magnitud de la corriente y voltaje nominal del sistema.
- c) Magnitud de la tensión transitorio de restablecimiento.

4.1.2 CARACTERISTICAS DE LA CARGA A TOMAR EN CUENTA.

- a) Residencial.
- b) Industrial.
- c) Cargas pico.

4.1.3 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR A CONSIDERAR.

- a) Capacidad de sobre carga.
- b) Capacidad del transformador al corto circuito (punto ANSI).
- c) Corriente de magnetización (corriente Inrush).
- d) Daño de tanque.
- e) Daño térmico y mecánico.
- f) Corriente de restablecimiento de carga fría.
- g) Conexión Δ - Y de los transformadores.

4.1.4 CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES A CONSIDERAR.

- 1.- Tipo de fusibles (fusible limitador de corriente o de expulsión).
- 2.- Corriente y voltaje de operación.
- 3.- Corriente pico de fuga (fusible limitador de corriente).
- 4.- Energía de fuga $I^2 t$.
- 5.- Tipo de servicio (interior ó intemperie).
- 6.- Curvas características, tiempo-corriente del fusible.

4.2 CRITERIO DE SELECCION PARA INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS.

Los interruptores termomagnéticos tienen su aplicación en sistemas de distribución con voltaje nominal igual ó menor a los 600 volts de corriente alterna y 250 volts de corriente directa. Este tipo de interruptor ha sido diseñado para proteger el conductor. Sin embargo un conductor puede alimentar una gran variedad de equipo y es necesario saber las características operacionales del equipo en la selección del interruptor.

En general podemos considerar dos tipos de circuitos, aquellos que alimentan cargas constantes, tales como sistemas de alumbrado y aquellos que alimentan cargas tales como transformadores, motores, etc.

En un circuito cualquiera, la selección del interruptor se basa en el voltaje nominal y en la corriente disponible en el punto de instalación. No sucediendo lo mismo en los circuitos de alumbrado, donde la carga es determinada y el tamaño del cable alimentador es calculado, por lo cual el interruptor es seleccionado con el valor de corriente nominal, utilizando el valor nominal mayor inmediato del interruptor, en caso de que éste no corresponda exactamente con la corriente nominal del circuito.

En el caso de que el interruptor se instale en un gabinete, se debe tomar en consideración, que dentro del gabinete, existiran temperaturas de 10 grados centígrados, por encima de aquellas fuera del gabinete.

Es por ello que bajo tales condiciones, el interruptor debe ser compensado. El grado de compensación debe ser el suficiente para evitar los disparos innecesarios.

Los interruptores termomagnéticos tienen un valor asimétrico nominal de interrupción en amperes. Este valor es el promedio efectivo de las corrientes de falla en las tres fases, medidas medio ciclo después de ocurrida la falla.

Generalmente la corriente en cada fase tiene un valor distinto, esto significa que un polo del interruptor tiene que soportar, térmica y mecánicamente una corriente mayor que su nominal. Este valor de corriente depende de la relación X/R del circuito.

Realizando un breve resumen de lo anterior podemos decir que en la selección y aplicación efectiva de este tipo de protección, es necesario analizar las características del sistema, como son:

- 1.- Voltaje nominal del circuito.
- 2.- Corriente de carga.
- 3.- Corriente disponible de corto circuito.
- 4.- Temperatura ambiental.
- 5.- Frecuencia.
- 6.- Condiciones de operación.
- 7.- Accesorios.

4-2.1 VOLTAJE NOMINAL.

La norma CONNIE 5.3.1 dicta que "los interruptores no deben usarse en circuitos que tengan tensiones nominales mayores al voltaje nominal del interruptor". Por lo que al seleccionar el interruptor se busca que el voltaje nominal de éste sea igual o mayor que el del circuito.

4.2.2 CORRIENTE DE CARGA.

El Código Nacional Eléctrico (N.E.C.) menciona lo siguiente: "Se considera como corriente de carga continua a aquella que perdura por un lapso mayor de 3 horas". Mas adelante establece que: "La corriente de carga continua suministrada por un circuito derivado no deberá exceder el 80% de la corriente nominal del interruptor". A excepción de aquellos interruptores que indiquen claramente que se pueden utilizar al 100% de su capacidad nominal.

4.2.3 CORRIENTES DISPONIBLES DE CORTO CIRCUITO.

El interruptor deberá ser aplicado con una capacidad interruptiva, en amperes-símbolos, igual o mayor a la corriente simétrica disponible en el punto de aplicación.

4.2.4 TEMPERATURA AMBIENTAL.

La corriente nominal del interruptor de acuerdo a los fabricantes está basada en una operación a 40 grados centígrados de temperatura ambiente, o sea que el interruptor funcionará al 100% de su capacidad nominal cuando la temperatura circundante sea de 40 grados centígrados. En caso contrario tendrá que revalorarse las capacidades nominales tanto del interruptor como la del cable.

4.2.5 FRECUENCIA NOMINAL.

La mayoría de los interruptores termomagnéticos comerciales pueden aplicarse a sistemas de 50 a 60 Hz. sin que tengan problemas con los valores de disparo.

Para frecuencia distintas a estas el fabricante recomienda consultarlos, ya que las características de disparo pueden variar debido a los calentamientos de los metales del interruptor.

4.2.6 CONDICIONES DE OPERACION.

La norma CONNIE S.3.1. de Octubre de 1973, establece como condiciones especiales de servicio las siguientes:

- a) Exposición a ambientes o polvos corrosivos.
- b) Exposición a polvos y vapores.

- c) Operación a temperaturas ambientales mayores de los 40 grados centígrados y menores a 0 grados centígrados.
- d) Vibraciones anormales.
- e) Operación a altitudes mayores a 2400 msnm.
- f) Aplicaciones especiales.

4.2.7 ACCESORIOS

Los fabricantes de interruptores termomagnéticos han desarrollado una gama muy amplia de accesorios, los más comunes en el mercado nacional son los siguientes:

- a) Contactos auxiliares.- Pueden ser abiertos o cerrados según la posición del mecanismo del interruptor.
- b) Alarma.- Puede ser sonora, visual o ambas; se acciona cuando el interruptor opera automáticamente, anunciando que se ha disparado debido a una sobrecorriente.
- c) Bobina de no - voltaje.- Su función es la de mantener disparado al interruptor cuando el voltaje de línea se encuentra por debajo de un valor determinado.
- d) Motor accionador del mecanismo.- Se monta por lo general en el exterior del interruptor, acciona el mecanismo a control remoto.
- e) Disparo en derivación.- Básicamente es un solenoide que al ser energizado dispara el mecanismo del interruptor. Esto es de gran utilidad cuando existe la necesidad de disparar el interruptor a control remoto.

Además de lo anterior, se sabe que la selección del tipo de protección en un sistema de distribución, se transforma en una consideración económica de los factores concernientes con la pérdida en la producción debido a fallas en el sistema. Al hacer estas evaluaciones se debe recordar que los sistemas de distribución en baja tensión son el eslabón en la cadena de la producción y que deben ser considerados en su debida perspectiva pues el costo de una falla debe incluir pérdidas en la producción por el daño ocurrido al material en proceso, el costo por restablecer el ritmo de producción y la posibilidad de daño a la maquinaria ó al edificio.

4.3 CRITERIO DE SELECCION PARA INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS.

Parametros a considerar en la selección de interruptores electromagnéticos.

1.-Tipo de interruptor.

2.-El voltaje y la corriente del sistema.

3.-Corriente de corto circuito disponible (capacidad interruptiva).

4.-El tipo de relevador, los relevadores de estado sólido disponen de los siguientes ajustes.

a).- Tiempo largo.

b).- Tiempo corto.

c).- Instantáneo.

d).- Falla a tierra.

5.-Calibración, ésta es la corriente de operación del sistema ha proteger y esta definido por los sensores de corriente del interruptor.

Además de los parámetros eléctricos es necesario especificar las características relacionadas a su manejo y montaje tales como:

a) Tipo de operación (manual o eléctrico) cuando el interruptor es de operación automática (eléctrica) se especifica el voltaje y la frecuencia del control.

b) Tipo de montaje (fijo o removible).

c) Tipo de gabinete.

d) Accesorios para el control del interruptor tal como: bobina de disparo por no-voltaje, disparo o cierre en derivación.

4.4 COORDINACION.

Además de seleccionar los dispositivos de protección en base a sus capacidades nominales de sobrecarga y corriente interruptiva, se tiene que asegurar la operación selectiva de las protecciones con el fin de aislar una falla de corto circuito de todo el sistema eléctrico, en el punto más cercano a la falla, sin provocar disturbios, es decir, sin provocar la operación anticipada o simultánea de otras protecciones, todo ello con el fin de mejorar la continuidad del servicio al consumidor de energía eléctrica. Esto se logra mediante un estudio de coordinación de protecciones en base a una operación selectiva. La aplicación de este objetivo para lograr un mejor servicio del sistema de distribución eléctrica, requiere un conocimiento completo del sistema y de ciertos cálculos.

4.4.1 OBJETIVO DE UN ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES

El objetivo principal de un estudio de coordinación es determinar las características, rangos y ajustes de los dispositivos de protección de sobrecorriente, que deben interrumpir el corto circuito con rapidez y proporcionar protección a los equipos, aislando la falla.

La coordinación de protecciones es un análisis organizado de todas las curvas tiempo-corriente de los dispositivos que se encuentran en serie, desde la carga hasta la fuente; básicamente es una comparación del tiempo que tarda en operar cada uno de ellos cuando circulan corrientes anormales.

4.4.2 INTERPRETACION DE LAS CURVAS.

En una hoja de coordinación, el tiempo cero es aquel en el que ocurre la falla y todos los demás son posteriores. Las curvas graficadas son tiempos de respuesta; debido a que para un sistema radial, todas las disposiciones que se encuentran entre la falla y la fuente experimentan corrientes anormales hasta que uno de ellos interrumpe el circuito.

En una curva de coordinación la región inferior representa el área de no operación y la superior, a la operación.

Las curvas son una familia de pares de coordenadas tiempo-corriente, que indican el lapso requerido para la operación del dispositivo a un valor determinado. Los curvas de los reléadores de protección comúnmente se representan mediante una sola línea; en tanto que las de los interruptores y las de algunos fusibles, por medio de una banda que representa los límites máximos y mínimos en los cuales se espera la interrupción.

En la figura No. 54, se muestra la curva tiempo-corriente representada por una banda.

En donde:

- t_1 es el tiempo máximo desde que se inicia el flujo de la corriente I , en el que se asegura la operación del dispositivo de interrupción.
- t_2 es el tiempo máximo desde que se inicia el flujo de la corriente I , en el que la corriente debe normalizarse para evitar que el dispositivo bajo consideración opere.

Si se considera cualquier corriente a lo largo de las abscisas, el intervalo de tiempo en el que cualquier dispositivo debe operar corresponde a la ordenada u ordenadas de la curva graficada.

Comúnmente las curvas se inician en la ordenada de los 100 seg. con su corriente inicial de disparo y se terminan en la corriente máxima de corto circuito a la que se sujeta el dispositivo considerado.

4.4.3 ETAPAS DE UN ESTUDIO DE COORDINACION.

Existen una serie de pasos necesarios para poder llevar a cabo un estudio de coordinación y estos son:

4.4.3.a REPRESENTACION UNIFILAR DEL SISTEMA QUE SE DESEA PROTEGER.

El punto de partida consiste en representar mediante un diagrama unifilar el sistema que se desea proteger, el cual debe contener toda la información necesaria, para calcular los límites y ajuste de protección, tal como son: la localización de cada uno de los equipos del sistema (transformadores de corriente, interruptores, seccionadores, fusibles, etc.), indicando las características de cada uno de ellos, es decir:

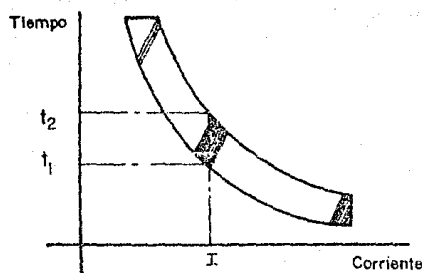


Fig. (54). Curva $t-I$, representada por una banda

- a. Potencia de todos los equipos.
- b. Impedancia, relación de voltaje conexión y enfriamiento de los transformadores.
- c. Relación de transformación de todos los transformadores de corriente.
- d. Capacidad de los fusibles y dispositivos de protección.
- e. Calibre de los conductores.

Además de los KVA conectados y cualquier cargo especial, también se recomienda elaborar una tabla que contenga la marca, tipo y rangos de ajuste de los dispositivos que se van a coordinar. Las curvas características del fabricante son imprescindibles.

4.4.3.b REGISTRO DE IMPEDANCIAS DEL SISTEMA.

Este paso consiste en registrar todas y cada una de las impedancias del sistema, con el fin de poder efectuar los cálculos de cortocircuito en diferentes puntos.

4.4.3.c REALIZACION DE UN ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO.

En este paso se realiza un estudio de cortocircuito, con el fin de obtener para cada punto de la red los siguientes datos:

- a. Corrientes momentáneas de cortocircuito trifásico, las cuales se utilizan para determinar los valores de respuesta de los relevadores con ajuste instantáneo y de los dispositivos con disparo de acción directa. Además, para verificar la capacidad momentánea de interruptores, fusibles, desconectadores, reactores y buses.
- b. Corrientes interruptivas de cortocircuito trifásico, las cuales sirven para verificar la capacidad de interrupción de los dispositivos de protección.
- c. Corriente de cortocircuito trifásico para relevadores con retardo de tiempo, las cuales se utilizan para determinar el valor en el que se terminarán de graficar las curvas de coordinación. Con respecto a este valor deben darse los márgenes de coordinación.

d. Corrientes de cortocircuito de línea a tierra.

4.4.3.d DETERMINACION DE LAS MAXIMAS CAPACIDADES DE CORRIENTE.

También se determinan las máximas capacidades de corriente permisibles bajo carga en todos los circuitos para condiciones normales de operación. Son estos valores junto con los cálculos de cortocircuito los que determinan los límites inferior y superior de sensibilidad de corriente de los dispositivos de protección.

4.4.3.e CALCULO DE AJUSTES.

Finalmente, cumpliendo los cuatro incisos anteriores, se culminará el estudio al determinar los límites de protección, calcular los ajustes correspondientes y graficar las curvas respectivas.

Al graficar las curvas de coordinación, deben considerarse ciertos intervalos de tiempo entre las curvas de los dispositivos de protección, con el propósito de asegurar su operación secuencial correcta. Estos márgenes se requieren ya que los relevadores tienen sobrecorriente; los fusibles, características de daño y los interruptores, ciertas velocidades de operación.

Si se coordinan relevadores de sobrecorriente con retardo de tiempo, su intervalo es comúnmente de 0.3 a 0.4 segundos, distribuidos en:

- a. Tiempo de apertura de los contactos del interruptor 0.08 segundos (para 5 ciclos).
- b. Sobrecorriente 0.10 segundos.
- c. Factor de seguridad de 0.12 a 0.22 segundos.

En los relevadores de estado sólido la sobrecorriente se elimina.

El margen permitido entre un relevador y el dispositivo de protección anterior a este, como en el caso de un fusible o de un interruptor de bajo voltaje con disparo de acción directa, solo requiere de la sobrecorriente del relevador y del factor de seguridad considerada, debido a que el tiempo de apertura de los contactos del interruptor ya se incluye en la curva graficada.

4.4.4 TIPOS DE COORDINACION.

Algunas de las diferentes formas de coordinación que existen, se pueden clasificar tomando en cuenta la tensión en la cual se encuentra operando el equipo de protección, como a continuación se describe:

BAJA TENSION

- Coordinación selectiva:
 - a. Mediante tablas.
 - b. Mediante las curvas características $t - I$.
 - c. Mediante las curvas $I^2 t - I_{nom}$.
- Coordinación de Interruptores en Baja Tensión y Fusible Limitador de Corriente.
- Coordinación de fusibles con interruptores de seguridad.

ALTA TENSION

- Coordinación de Fusible vs. Fusible.
- Coordinación de un Fusible de Expulsión y un Restaurador.
- Coordinación de un Fusible vs. Interruptor Secundario.

4.4.4.a COORDINACIÓN SELECTIVA MEDIANTE TABLAS.

En condiciones de cortocircuito, se dice que, existe coordinación selectiva entre dos fusibles cuando la energía de interrupción total del fusible protector, que es el que se encuentra más cercano al lugar de la falla, es menor que la energía de fusión del fusible protegido (lado de la línea) que se encuentra conectado en serie con el.

A continuación se muestra una representación gráfica de coordinación selectiva con fusibles (ver figura No. 55), donde:

t_m = tiempo de fusión

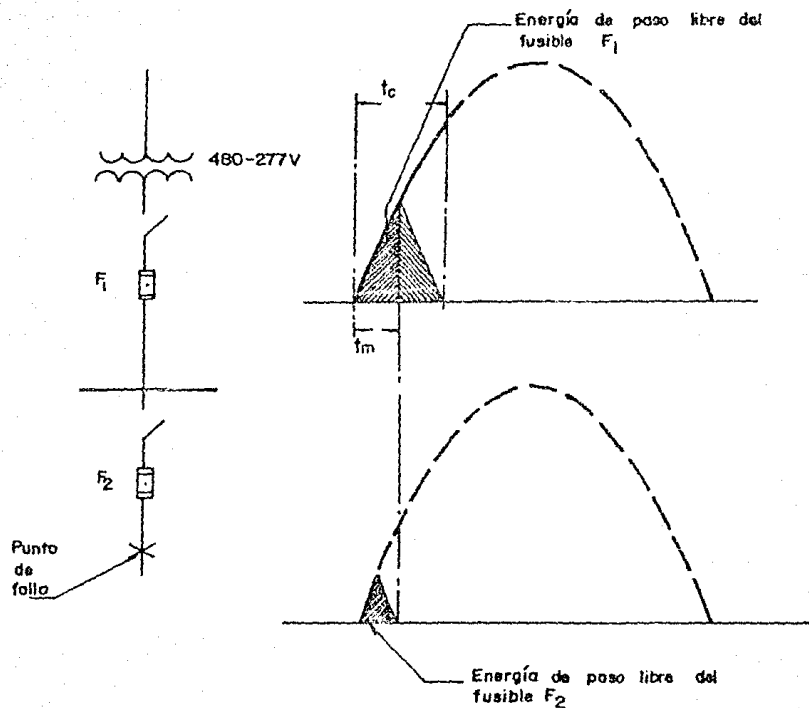
 t_c = tiempo de interrupción total


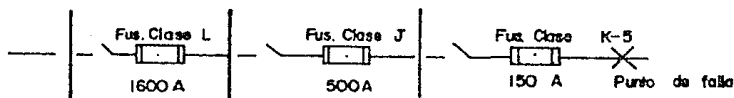
Fig. (55) Coordinación selectiva con Fusibles

t_m = tiempo de fusión

t_c = tiempo de interrupción total

La mayoría de los fabricantes de fusibles, con el fin de proporcionar una ayuda rápida en la selección han elaborado tablas de selectividad para fusibles, las cuales utilizan relaciones de valores nominales. La aplicación de estas tablas nos limita a emplear los fusibles producidos por el mismo fabricante.

A continuación se presenta un ejemplo de coordinación selectiva mediante tablas.



Para el circuito mostrado, se verificará la selectividad entre los fusibles por medio de la tabla de selectividad que se observa en la Tabla No. 9.

TABLA NO. 9
SELECTIVIDAD ENTRE LOS FUSIBLES

Fusible protegido. (lado de la línea)	Relación mínima de selectividad del fusible protegido a fusible protector (lado de la carga).				
	CLASE L 601 A 6000A	CLASE J 0-600A	CLASE K-1 0-600A	CLASE K-5 0-600A	CLASE K-9 0-600A
Clase L 601 a 6000A	2/1	2/1	2/1	3/1	4/1
Clase J 0 - 600A	-	3/1	3/1	4/1	8/1
Clase K-1 0 - 600A	-	3/1	3/1	4/1	8/1
Clase K-5 0 - 600A	-	1.5/1	1.5/1	2/1	4/1
Clase K-9 0 - 600A	-	1.5/1	1.5/1	1.5/1	2/1

- Coordinación entre el fusible clase L y el clase J.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, para que exista una coordinación adecuada entre el fusible clase L y el fusible clase J, se debe tener al menos una relación de 2/1 entre los valores nominales de dichos fusibles. Obteniendo la relación de las capacidades nominales, tenemos que ésta es de $1600/500 = 3.2$, la cual es mayor a 2 y por lo tanto los dos fusibles (clase L y J) coordinan adecuadamente.

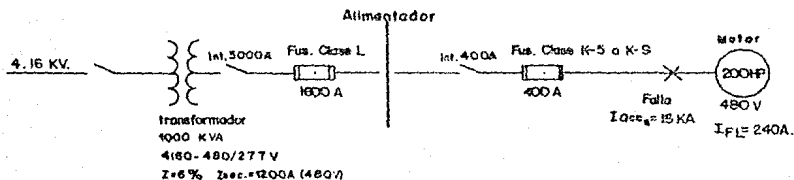
- Coordinación entre el fusible clase J y el clase K-5.

De la misma forma, la relación mínima indicada en la tabla para que exista una buena coordinación entre los fusibles clase J y K-5 es de 4/1. Obteniendo la relación que existe entre las capacidades nominales de dichos fusibles, tenemos que ésta es de $500/150 = 3.33$, la cual es menor a la mínima permisible y por lo tanto tendremos una mala coordinación. La solución a este problema se puede obtener mediante dos formas diferentes:

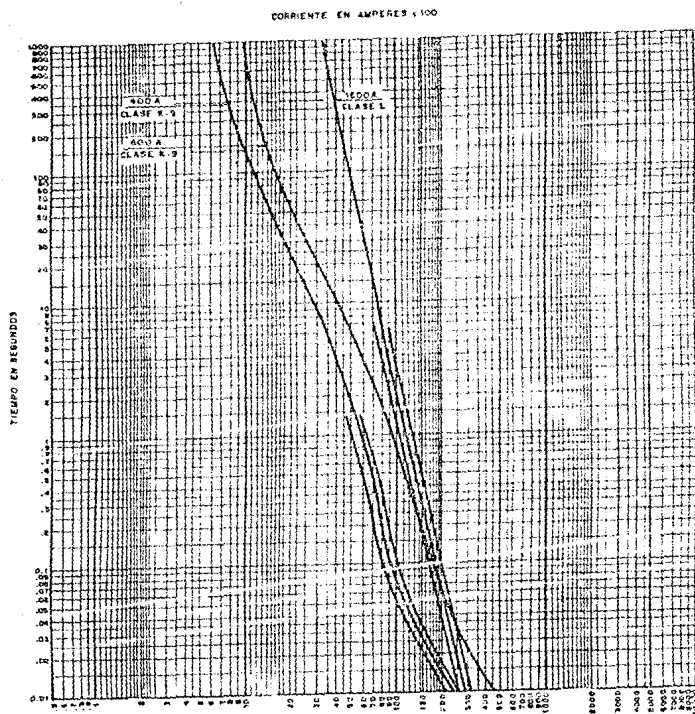
- 1).- La primera consiste en cambiar el valor del fusible K-5 de 150 a 125 Amper. nominales.
- 2).- La segunda consiste en cambiar la clase de fusible de uno K-5 a uno K-1 o J cuya relación mínima de selectividad es de 3:1.

4.4.4.b COORDINACIÓN SELECTIVA MEDIANTE LAS CURVAS CARACTERISTICAS t-I

Elabórese el siguiente diagrama eléctrico:



Considerando primero los fusibles clase K-9 de 800 y 400 Amper. nominales. En la figura No. se operaron las curvas tanto del fusible clase L como de los fusibles clase K-9. No existe coordinación entre el fusible L y el K-9 de 800 Amper., ya que la falla es de 15 KA, y la intersección entre las curvas ocurre en 14 KA; esto es, que para una falla de esta magnitud (15 KA) cualquiera de los dos fusibles operará; mientras que con el fusible K-9 de 400 amper., se presenta la posible coordinación ya que la intersección de la curva de este último fusible con la del fusible clase L es en 26.5 KA (mayor que los 15 KA de falla) y 0.51 segundos.



CURVA CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION, COORDINACION, ENTRE LOS
FUSIBLES CLASE X-9 DE 400 Y 600A. Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1600A.

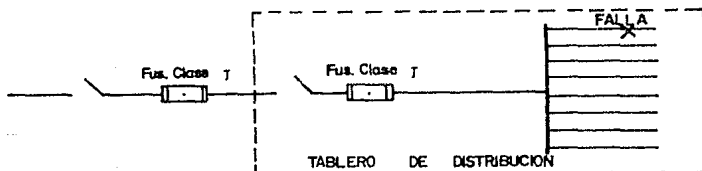
FIG. (56)

Si consideramos ahora los fusibles clase K-5 de 600 y 400 amps. cuyas curvas, al igual que la del fusible clase L, se muestran en la figura No. 57, realizando un análisis en forma similar al anterior (encontrando la intersección entre las curvas de cada uno de los fusibles K-5 con la del fusible L y comparando este valor con la corriente de falla), se observa que la curva de los fusibles K-5 está más a la izquierda de la del fusible clase L, lo cual indica que éstos son más rápidos que el clase L, y por lo tanto hay coordinación entre los fusibles K5 (de 600 y 400 amps.) y el fusible clase L. Por lo que la elección del fusible dependerá de las condiciones de la carga por alimentar.

4.4.4.c COORDINACION SELECTIVA MEDIANTE LAS CURVAS $I^2 t$ - Inom.

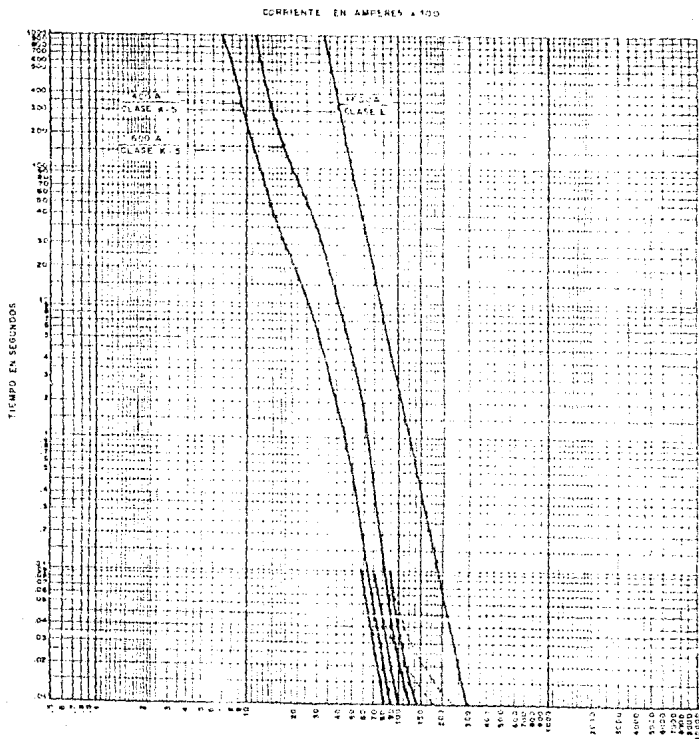
Este tipo de coordinación es utilizado para los fusibles limitadores de corriente y consiste en que el fusible protector tenga una energía ($I^2 t$) menor que la del fusible protegido, para que opere antes que este último.

Por ejemplo, teniendo el siguiente diagrama eléctrico:



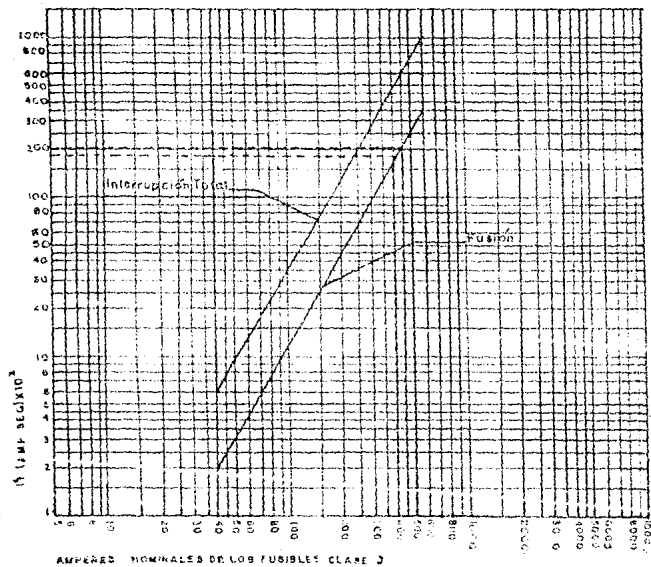
En donde el fusible protector es clase J de 250 amperes nominales, se desea coordinar este fusible con el fusible principal; es decir se seleccionará el fusible protegido.

En la figura No. 58, se muestran las curvas del fusible clase J para 250 y 450 A. nominales. Sobre esta curva y a partir de la corriente nominal del fusible protector, 250 amperes, se traza una línea vertical hasta intersectar a la curva de interrupción total de dicho fusible y de ahí una línea horizontal hasta cortar el eje de energía $I^2 t$, este valor lo comparamos con el del fusible protegido.



CURVA CORRIENTE-TIEMPO DE FUSION, COORDINACION, ENTRE LOS
FUSIBLES CLASE K-5 DE 400 Y 600A. Y EL FUSIBLE CLASE L DE 1000A

FIG. (57)



curvas características I^2t - corriente nominal correspondiente al tiempo de fusión y al tiempo de interrupción total de un fusible clase J, 250 V

FIG. (56)

Suponiendo que el fusible protegido es también de 250 A., entonces no se presenta la coordinación entre los fusibles ya que ambos operarán al mismo tiempo. Si ahora tomamos la curva del fusible de 450 A. y repetimos el procedimiento con su corriente nominal, podemos observar que el valor de la energía $I^2 t$ del fusible de 450 A. es mayor que el valor de la energía del fusible de 250 A., lo cual quiere decir que mientras el fusible de 250 A. ha alcanzado su interrupción total, el fusible de 450 A. ni siquiera ha llegado a alcanzar la energía $I^2 t$ necesaria para fundirlo, dándose como consecuencia una coordinación selectiva entre el fusible protegido de 450 A. y el fusible protector de 250 A.

4.4.4.d COORDINACION ENTRE INTERRUPTORES DE BAJA TENSION Y FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE.

En este tipo de coordinación hay que tener en cuenta ciertas consideraciones sobre la corriente instantánea de paso libre (ip) y la energía $I^2 t$. Si la corriente de paso libre del fusible es mayor que la corriente que puede soportar el interruptor o son iguales, pero la $I^2 t$ del fusible es mayor que el 50% de la energía que puede manejar el interruptor, entonces no es posible una coordinación ya que se presentarán problemas en el disparo o se presentaría la destrucción del interruptor.

Para que exista una adecuada coordinación entre ambos dispositivos es necesario que la corriente ip del fusible sea cuando más el 80% de la corriente máxima que puede manejar el interruptor y la energía $I^2 t$ del fusible sea hasta el 50% de la energía $I^2 t$ del interruptor. Si la relación X/R del circuito es menor de 6.6 el porcentaje deberá reducirse en las siguientes proporciones:

- Para $X/R=3$; los datos del fabricante referente a la corriente de paso (ip) y energía $I^2 t$, deberán de tomarse al 90%.
- Para $X/R=1$; los datos del fabricante referente a la corriente de paso (ip) y energía $I^2 t$, deberán de tomarse al 65%.

Por ejemplo, si se desea seleccionar a un fusible que proteja a un interruptor de potencia en aire, con las siguientes características:

600 amperes de marca
 100 amperes de disparo
 22 kA sim. de capacidad interruptiva para 481 a 600 Volts.
 30 kA sim. " " " " 241 a 480 Volts.
 42 kA sim. " " " " 220 a 240 Volts.

Las características del circuito son: 280 V, 3 fases, 60 Hz., 100 kA sim. de corto circuito y $X/R = 3$.

- Cálculo de corriente instantánea de paso (i_p) del interruptor.

La corriente máxima que puede soportar y manejar el interruptor será:

$$i_p = 2.309 \times 30000 = 69270 \text{ Amperes}$$

Nota:

2.309 es un factor utilizado para obtener la máxima corriente instantánea, considerando un factor de potencia de corto circuito de 15% (condición del circuito de prueba).

- Cálculo de la energía $I^2 t$ del interruptor.

De las características del interruptor se observa que para 280 Volts, se tiene una capacidad interruptiva de 30 kA. con un tiempo de 0.028 seg. de interrupción total, como se puede apreciar en la curva de operación mostrada en la figura No. 59.

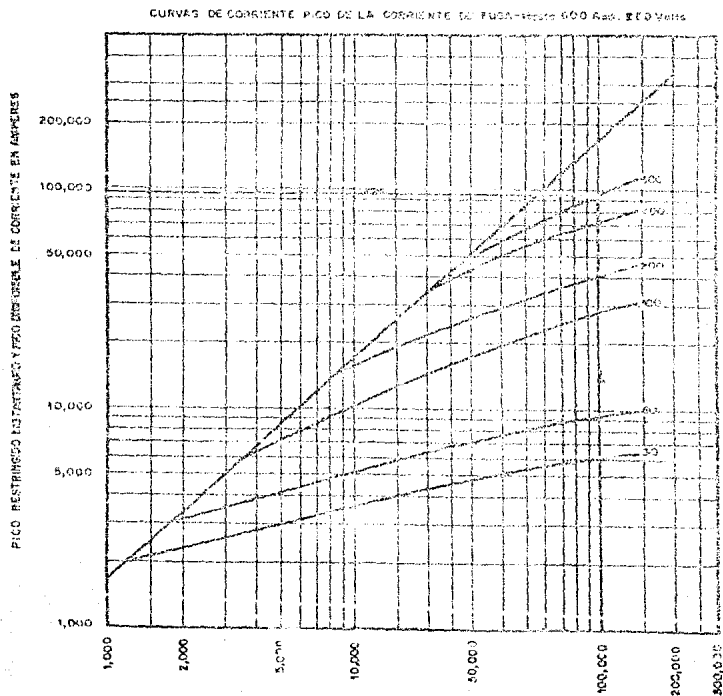
$$I^2 t = (30000)^2 \times (0.028) = 25.2 \times 10^8 \text{ A}^2\text{-seg.}$$

- Seleccionando un fusible clase K-9 doble elemento de 600 Amps., 250 Volts.

Tomando en cuenta los datos del fabricante para este tipo de fusible y una corriente de corto circuito disponible de 100 kA. la corriente de paso será de:

$$i_p = 95000 \text{ Amps. (ver figura No. 57-A)}$$

Fusibles de Cortucho Econ de Doble Elemento.
 Con Retraso de Precisión y
 Capacidad Interruptiva de 200,000 Amperes RCM.



NOTA: AMPS. RCM ASIMETRICOS-AMPS R.C.M. SIMETRICOS X 1.4.

FIG No (59-A).

Fusibles Limitadores Econolim

Símbolo LCL Clase L de U.L.

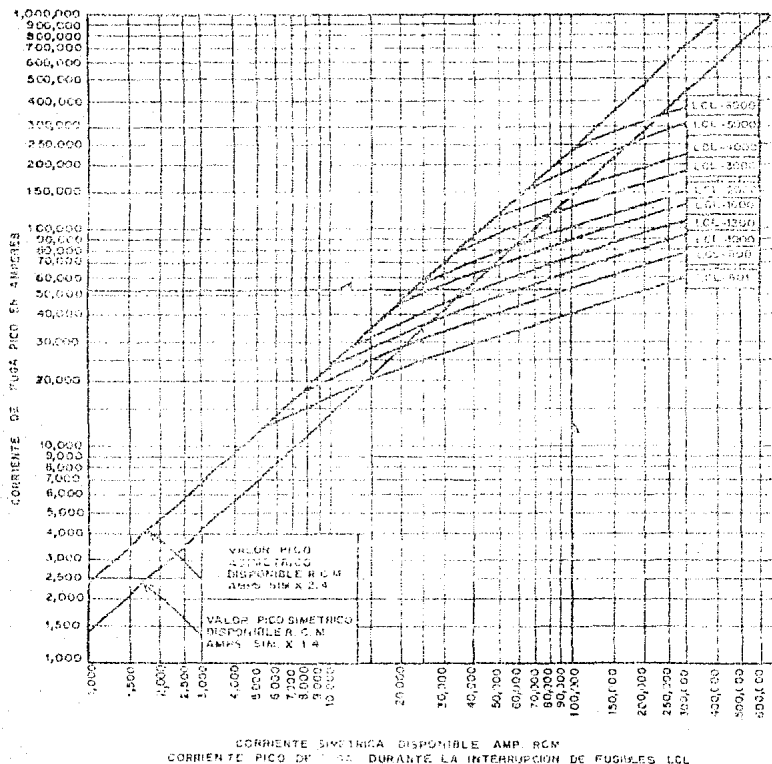
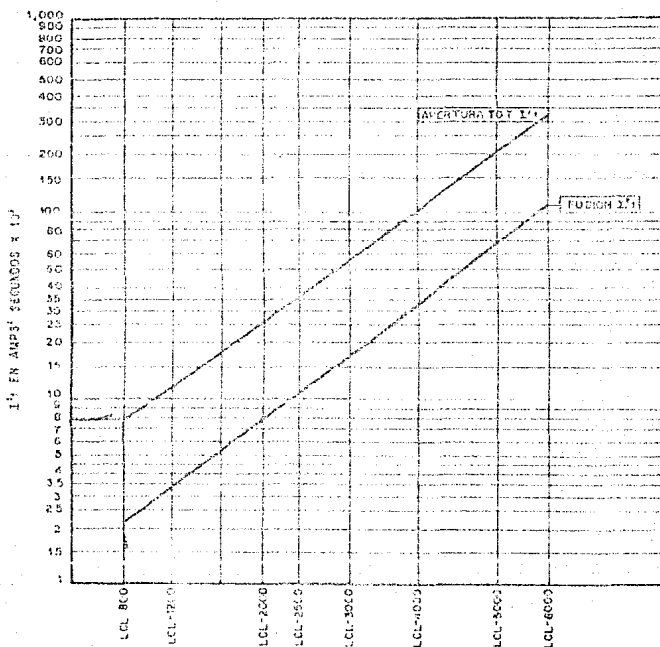


FIG No. (59-B)

Fusibles Limitadores Econolim Símbolo LCL Clase L de U.L.



CALIBRACION DEL FUSIBLE EN AMPERES
ENERGIA TOTAL DE FUSION E INTERRUPTOR I²t (AMP² SEGUNDOS)
BASADOS EN CORRIENTE DISPONIBLE 100,000 AMPS A LA TENSION NOMINAL

FIG. No. (59-C)

Debido a que la corriente de paso del fusible es mayor que la corriente de paso del interruptor, no puede existir una adecuada coordinación.

- Seleccionando un fusible clase L de 800 Amps., 600 Volts.

De la figura No. 59-B, la corriente instantánea de paso libre para 100 kA. de corto circuito es de:

$$i_p = 53000 \text{ Amps.}$$

De la figura No. 59-C, la energía $I^2 t$ para un fusible de 300 Amps. es de:

$$I^2 t = 7.8 \times 10^6 \text{ A}^2 \text{ seg.}$$

Comparando los valores anteriores con los del interruptor tenemos que:

$$(I_p)_{\text{fus.}} = 76.5\% (I_p)_{\text{int.}}$$

$$(I^2 t)_{\text{fus.}} = 50.95\% (I^2 t)_{\text{int.}}$$

De la comparación anterior, se observa que el fusible clase L puede coordinar adecuadamente con el interruptor en cuestión.

4.4.4.e COORDINACION DE FUSIBLES CON INTERRUPTORES DE SEGURIDAD.

Los interruptores de seguridad son dispositivos capaces de abrir y cerrar con carga los circuitos, es por ello, que bajo estas condiciones se presentan el arqueo, cuya magnitud depende de la tensión del sistema, de la magnitud de la corriente y de la rapidez con que se juntan o separan las navajas de los contactos.

Quando se coordinan fusibles con interruptores de seguridad es necesario tener en cuenta que entre ambos dispositivos no debe conducir más del 80% de su corriente nominal en forma continua. El fusible no deberá rebasar las siguientes capacidades, para el clase H, cuatro veces la corriente de plena carga del motor y 1.75 para la clase K.

Se deben considerar las características de la carga conectada, tales como: si, la carga es constante y continua, existencia de sobrecargas momentáneas y la frecuencia con que se suceden, de ello dependerá la clase y el tamaño del fusible a utilizar.

Por último, aún cuando se utilicen fusibles de alta capacidad interruptiva, no se deben utilizar interruptores de seguridad, en circuitos donde la corriente de cortocircuito exceda los 10 kA., sino están fabricados para soportar corrientes de cortocircuito mayores a 10 kA.

4.4.4.1 COORDINACIÓN DE FUSIBLE VS. FUSIBLE

Este tipo de coordinación consiste en hacer que dos fusibles que se encuentran conectados en serie, como se muestra en la figura No. 60, operen de tal forma que el fusible protector A funda e interrumpa el paso de la corriente eléctrica sin que se dañe el fusible protegido B, para lo cual se hace uso de las curvas características tiempo-corriente en el rango de 0.01 seg. a 1000 seg. de manera que se permite la coordinación a partir de un tiempo de 0.010 seg. que equivale a un ciclo de onda completa a una frecuencia de 60 Hz. Ya que para tiempos menores de un ciclo se requiere emplear otro tipo de curvas características.

En el momento en que ocurre un cortocircuito se presenta un efecto de tipo energético, que puede ser evaluado mediante la integral de $100I^2 dt = I^2 t$ y de esta manera podemos conocer la cantidad de energía que genera la corriente de cortocircuito y pueda ser comparada con los valores de energía que puede soportar el fusible. Para el caso de coordinación entre los fusibles de expulsión, este valor de energía se comparará con el valor correspondiente al tiempo mínimo de fusión del fusible protegido, de tal manera que el fusible pueda soportar dicha corriente, mientras que el fusible protector se funda.

La coordinación entre fusibles limitadores de corriente solo es posible si el fusible protector funda antes que el protegido, sin que este último sufra daño.

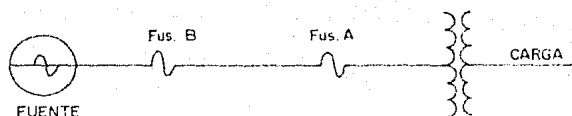


Figura No (60) Coordinación de Fusible vs Fusible

En la figura No. 61 la corriente de falla se inicia en el punto A, incrementándose hasta llegar al punto B donde se inicia la fusión del fusible protector, haciendo que el flujo de corriente disminuya hasta interrumpirse en E; de tal forma que si no hubiese estado dicho fusible, el flujo de corriente seguiría incrementándose en el fusible protegido hasta alcanzar su punto de operación, que ocurre en el punto C, el tiempo AD necesario para que funde el fusible protegido, es menor que el tiempo de interrupción total AE del fusible protector, sin embargo la coordinación es posible si el valor de energía de fusión del fusible protegido (curva B) es mayor que el valor de energía de interrupción total del fusible protector (curva E).

4.4.4.7 COORDINACIÓN ENTRE FUSIBLES DE EXPULSION.

Para la coordinación entre dos fusibles de expulsión conectados en serie, se requiere el empleo de las curvas características tiempo-corriente en donde la curva de interrupción total del fusible protector, dibujada para los valores máximos indicados por los fabricantes, se compara con la curva característica de fusión del fusible protegido, dibujada con las tolerancias mínimas dadas por los fabricantes. En donde es una práctica común el escoger la curva mínima de fusión al 75% del tiempo (hacia la izquierda), para lograr una adecuada coordinación evitando un riesgo que una quimbrera la operación secuencial de los fusibles.

En la figura No. 62 se muestra un ejemplo de coordinación entre fusibles de expulsión, en donde se ilustra el caso en que el fusible protector A se encuentra conectado en serie con otro fusible B o C.

Como se puede apreciar en la figura No. 62, la máxima corriente a la cual el fusible A puede proteger al fusible B está dada por el valor I_1 en donde se observan traslape de curvas. Mientras que la máxima corriente a la que el fusible A puede proteger al fusible C está dada por el valor I_2 .

En este último caso no existe traslape, lo cual indica que antes que la corriente alcance este valor, el fusible A se funde totalmente, quedando protegido por completo el fusible C; mientras que en el primer caso el fusible A solo protegerá al fusible B hasta un valor de corriente no mayor a I_1 , lo cual quiere decir que para valores de corriente mayores a I_1 , el fusible B queda sin protección, dado que éste se puede fundir al mismo tiempo que el fusible A o incluso antes que él.

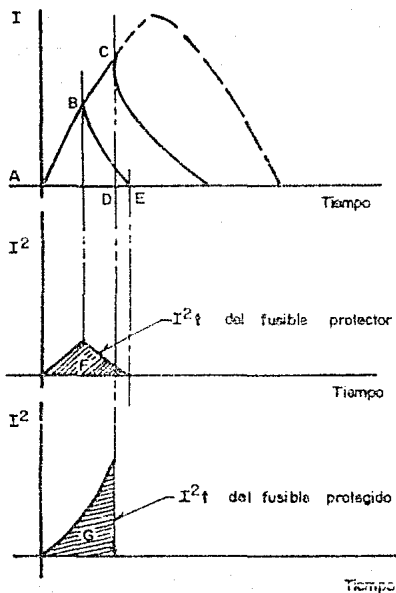


Figura No. (61) Coordinación de Fusible vs. Fusible.

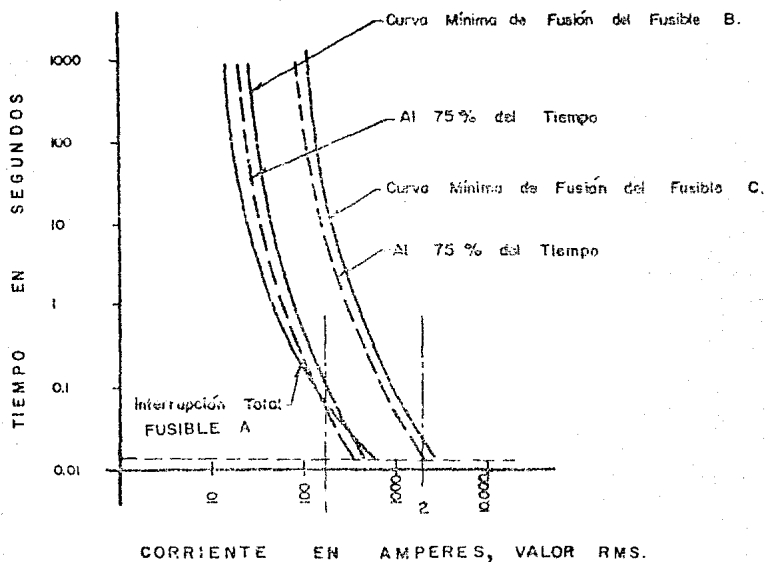


Figura. (62) FUSIBLE A PROTEGIENDO AL FUSIBLE B

4.4.4.2 COORDINACION ENTRE FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE.

Para llevar a cabo la coordinación en el rango limitador de corriente, se reduce a la comparación de los valores mínimos de energía de fusión del fusible protegido contra los valores de energía de interrupción total del fusible protector, como se puede apreciar en la figura No. 53, en la que se muestran las características tiempo-corriente. En general la combinación de este tipo de fusibles nos permite obtener una buena coordinación.

4.4.4.3 COORDINACION DE UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE PROTEGIENDO A UN FUSIBLE DE EXPULSION.

En este caso se compara el valor de energía de fusión del fusible de expulsión, recorrida al 75% del tiempo, con el valor de energía de interrupción total del fusible limitador de corriente, observándose que exista una apropiada coordinación en el rango limitador. En la figura No. 64, se muestran las características tiempo-corriente de la coordinación adecuada entre estos dos tipos de fusibles.

Generalmente existe una buena coordinación cuando se utiliza a los fusibles limitadores de corriente del lado protector.

4.4.4.4 COORDINACION DE UN FUSIBLE DE EXPULSION PROTEGIENDO A UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.

En este tipo de arreglo, la coordinación se logra mediante la comparación de las características totales de interrupción total del fusible de expulsión con las características $t-I$ mínimas de fusión del fusible limitador de corriente y solo es posible hasta un determinado nivel de corriente. Dado que el fusible protector de expulsión, no puede interrumpir el circuito sino hasta aproximadamente el primer tiempo de corriente cero (1/3 ciclo o 0.0133 segundos) donde se interrumpe totalmente, la coordinación solo es posible para valores de tiempo mayores o igual a este nivel, como se muestra en la figura No. 65, donde la curva de interrupción total del fusible de expulsión es paralela al eje de la corriente.

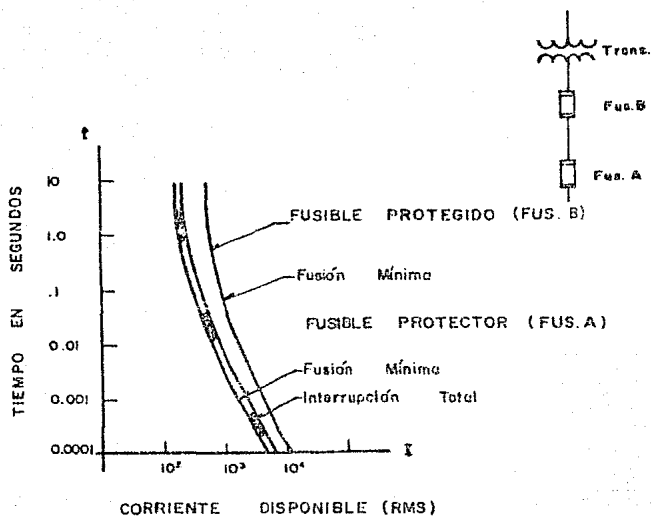


Figura No. (63) Coordinación entre Fusibles Limitadores de Corriente

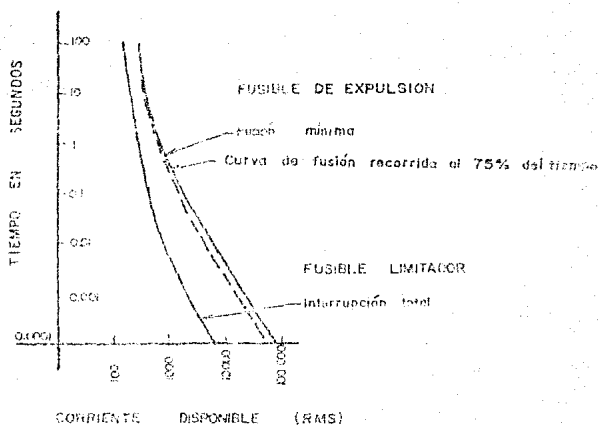


FIG. (64)

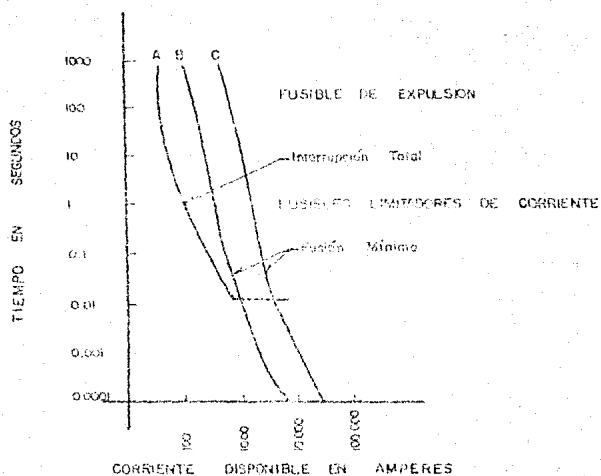


Figura No. (65) Fusible de expulsión protegiendo a un fusible limitador de corriente.

Como se puede apreciar en la figura antes mencionada, la coordinación del fusible de expulsión A con los fusibles limitadores de corriente B y C solo es posible hasta valores de corriente de aproximadamente 350 amperes y 4000 amperes para los curvas mínimas de fusión de los fusibles limitadores de corriente, respectivamente.

4.4.4.k COORDINACIÓN DE UN FUSIBLE DE EXPULSIÓN Y UN RESTAURADOR.

Este tipo de coordinación es en cierto sentido especial, dado que el restaurador obra en varias ocasiones antes de abrir en forma indefinida el circuito. En este caso, el fusible no debe operar, sino momentos antes de que el restaurador abra indefinidamente el circuito.

Esto se logra gracias a que el tiempo entre la apertura y el cierre permite el enfriamiento del fusible. Con cada apertura y cierre del restaurador (operación completa) el fusible irá aumentando su temperatura; templa un comportamiento como el mostrado en la figura No. 86.

Con este aumento e intervalos de la temperatura del fusible, es posible granear o ensayar el plazo de operaciones de las disposiciones.

En la figura No. 87, se muestran las curvas características del restaurador y el fusible.

Estas curvas nos dan la corriente máxima que deben conducir ambas disposiciones para que estén dentro de la coordinación. Esta corriente máxima se determina con la intersección de la curva mínima de fusión del fusible y la curva instantánea del restaurador.

4.4.4.l COORDINACIÓN DE UN FUSIBLE VS INTERRUPTOR SECUNDARIO.

El fusible deberá proteger al transformador contra fallas, mientras que el interruptor operará para la sobrecarga.

Para tener una adecuada coordinación es necesario que la curva del interruptor se encuentre abajo de la curva del fusible, evitando de esta manera que una falla en el lado secundario ocasione algún daño al fusible antes de que opere el interruptor; o que cada vez que se energice la bobina de disparo del interruptor produzca también daño al fusible.

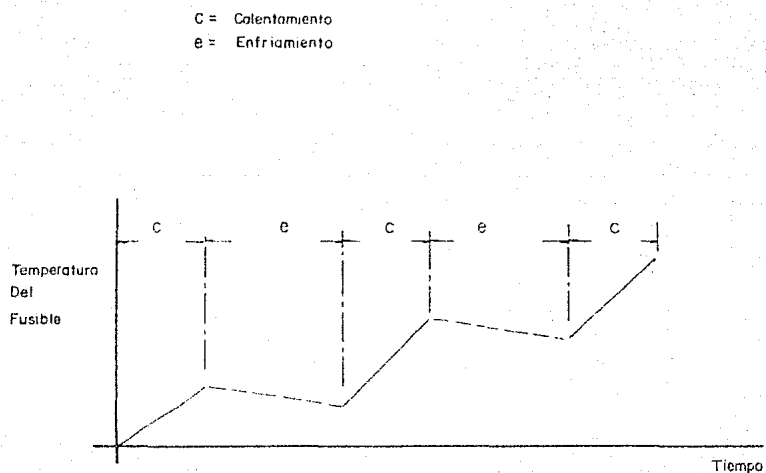


Figura No. (66) Coordinación de un Fusible de expulsión y un Restaurador

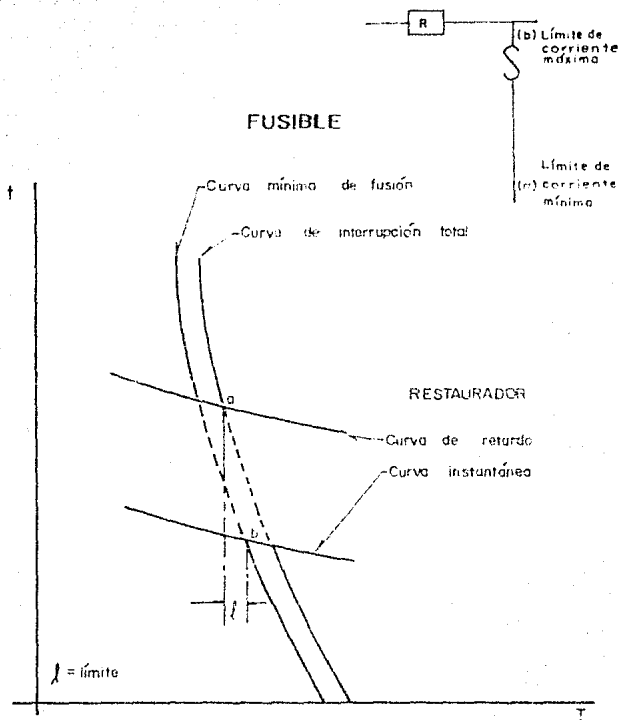


Figura (67) Curvas características de un fusible de expulsión y un restaurador

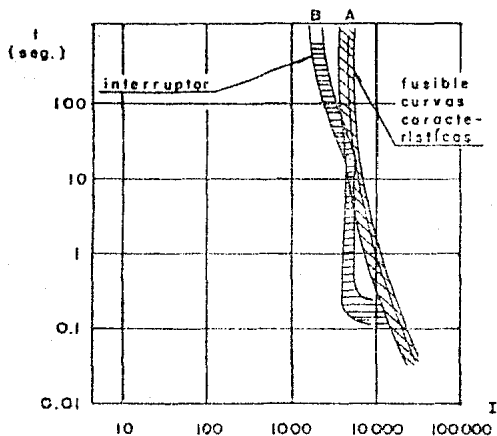
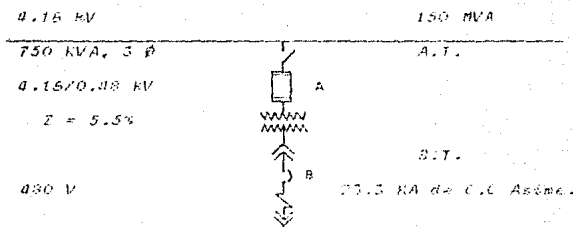


Fig. No. (68). Curvas características de $I - t$
 coordinación para la protec-
 ción de un transformador de
 750 KVA, 3 ϕ , 4.16/0.48 KV.

A = FUSIBLE PRIMARIO

B = INTERRUPTOR SECUNDARIO PRINCIPAL

Teniendo el siguiente diagrama eléctrico:



Primero se obtiene la corriente tanto del lado de alto como del de baja tensión del transformador.

$$I_{pri} = 750 / \sqrt{3} (4.15) = 102 \text{ A}$$

$$I_{sec} = 750 / \sqrt{3} (0.48) = 902 \text{ A}$$

Con la I_{pri} se obtiene el fusible; ya que este debe ser del 200% de la I_{pri} . Con la I_{sec} se puede elegir el interruptor; considerando la capacidad de interrupción (23.3 KA asíncrónico), seleccionando un fusible de 200 A. nominales y un interruptor de 1600 A y 60 kA; siendo este último un interruptor de aire del tipo BR-50.

Por último se trazan las curvas de ambos dispositivos para asegurar que no se presente un traslape en las curvas, quedando en este caso como se muestra en la figura No. 68.

En este caso aunque se presenta un pequeño traslape entre dichas curvas, la curva de interrupción total del interruptor no excede a la curva mínima de fusión del fusible. Lo cual asegura que el interruptor siempre dispondrá para cuando se presenten fallas en buses.

Observe que existe selectividad en el probable rango de corrientes de falla; que el traslape ocurre en un pequeño rango de sobrecorrientes que son considerablemente mayores a las sobrecargas normales y aun abajo de las probables corrientes de cortocircuito en donde el traslape es insignificante.

En este caso el fusible ofrece protección al transformador contra corrientes de cortocircuito o contra fallas de arco en el secundario del transformador. Mientras que el interruptor secundario ofrece protección al transformador contra sobrecarga, cuando es calibrado a corrientes hasta de 1440 A ó 160% de la corriente nominal del transformador (NEC permite un máximo de 250%).

5 EJEMPLO DE APLICACIÓN.

En estudios efectuados por la compañía suministradora de energía eléctrica, a las líneas aéreas de distribución y principalmente a los transformadores, se ha detectado un alto índice de fallos originados principalmente por sobrecargas y fallos en la red de baja tensión.

Lo anterior ha dado pauta para considerar una protección del lado secundario del transformador, pudiendo ser mediante interruptores termomagnéticos o electromagnéticos, dependiendo principalmente de la zona a proteger y de las características técnicas necesarias. Estos equipos de protección serán coordinados con los fusibles de alta tensión, lográndose con esto un gran paso en el ahorro de recursos de materiales y campos.

Para ejemplificar lo anterior, seos considerando un análisis de coordinación entre fusibles de media tensión (23 KV) y un interruptor termomagnético en el lado de baja tensión, de un transformador aéreo de 112.5 KVA, localizado a una distancia no menor de 1000 metros de la subestación "NAUCALPAN", de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.

5.1 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DEL TRANSFORMADOR DE 112.5 KVA.

- | | |
|---|----------------------------------|
| a) Transformador de distribución tipo poste, trifásico. | |
| b) Tensión primaria | :23-20 kV. |
| c) Conexión primaria | :Delta. |
| d) Tensión secundaria | :0.22/0.137 kV. |
| e) Conexión secundaria | :Estrella. |
| f) Frecuencia | :60 Hertz. |
| g) Sobre elevación de temperatura sobre la del ambiente, con una media de 30 °C. y una máxima de 40 °C. | :65 °C. |
| h) Derivaciones a plena capacidad | :12 arriba, 3 abajo de 2.5% c/u. |

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1) Corriente en A.T. | 12.32 amps. |
| 2) Corriente en B.T. | 1295.23
amps. |

5.2 VALORES DE CORRIENTE DE MAGNETIZACION DEL TRANSFORMADOR (INRUSH).

Los valores de este fenómeno eléctrico transitorio, han sido determinados por pruebas a los transformadores, registrándose valores de hasta 12 veces el valor de la corriente nominal para un periodo de 0.1 seg. e bien 25 veces la corriente nominal para un tiempo de 0.01 seg. De igual manera se ha detectado que el tiempo de duración de la corriente de magnetización es generalmente de 0.1 segundos.

5.3 VALORES DE CORRIENTE DE RESTABLECIMIENTO (CARGA FRÍA).

Este valor de corriente resulta de la reenergización de un transformador que hubo sido previamente desconectado, los valores supuestos por la experiencia y que se deben considerar para que el relé no opere bajo carga fría son los siguientes:

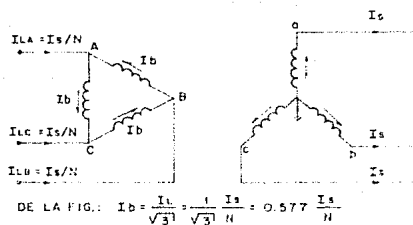
6In en 1 seg.

3In en 10 seg.

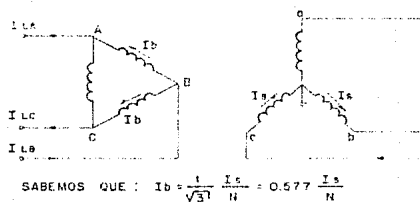
2In en 100 seg.

5.4 VALORES DE CARGO TERMICO Y MECANICO.

Las relaciones que existen entre las corrientes primarias y secundarias de un transformador conectado en Δ/Y , para los tres tipos de fallas 3 ϕ , 2 ϕ , 1 ϕ , en el lado secundario del transformador, son muy importantes en este caso para las consideraciones de protección a un transformador, ya que la curva de daño térmico del transformador se desplaza en función de la falla a considerar. Así por ejemplo, para protecciones secundarias en caso de fallas 1 ϕ , la curva debe desplazarse 171.2 % a la derecha de la curva característica de daño con falla 3 ϕ , ya que es tres veces mayor, con falla bifásica se debe desplazar a la izquierda de la curva característica con falla 3 ϕ , un 57 % ya que se considera 0.866 veces menor, como se demuestra en la fig. 67.



$$\text{Y } I_{La} = I_{Lc} = I_{Lb} = \frac{I_s}{N}$$



$$\text{Y } I_{La} = I_{Lc} = I_b = 0.577 \frac{I_s}{N}$$

$$I_{Lb} = 2I_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{I_s}{N} = 1.15 \frac{I_s}{N}$$

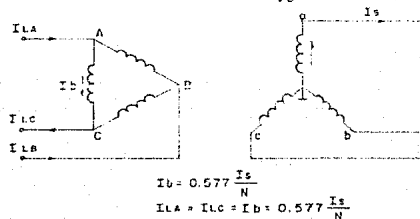


FIG. 69 RELACION DE LAS CORRIENTES DE FALLA EN EL LADO PRIMARIO Y SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR Δ-Y₁.

En protecciones primarias, las curvas de daño térmico deben desplazarse a la izquierda 57.7 % al considerar fallas monofásicas y 15 % a la derecha con falla bifásica, como se muestra en la fig. 69.

CÁLCULO DE LOS VALORES DE ENERGIZACIÓN
Y DAÑO DEL TRANSFORMADOR
DE 110.5 KVA, 23.0-207 0.22-0.127 KV. TIPO AEREO

ENERGIZACIÓN	TIEMPO EN SEGUNDOS	CORRIENTE DE ENERGIZACIÓN
INRUSH	0.01 S	25 Ia = 25x2.82= 70.50 A.
	0.1 S	12 Ia = 12x2.82= 33.84 A.
CARGA FRÍA	1.0 S	6 Ia = 6x2.82= 16.92 A.
	10.0 S	3 Ia = 3x2.82= 8.46 A.

CÁLCULO DE LOS VALORES DE DAÑO DEL TRANSFORMADOR

TIPO DE DAÑO	TIEMPO EN SEGUNDOS	VALOR LÍMITE DE CORRIENTE DE DAÑO
TÉRMICO	2000 S	2 Ia = 2x2.82 = 5.64 A
	500 S	3 Ia = 3x2.82 = 8.46 A
	100 S	4 Ia = 4x2.82 = 11.28 A
	50 S	5 Ia = 5x2.82 = 14.10 A
	35 S	6 Ia = 6x2.82 = 16.92 A
	25 S	7 Ia = 7x2.82 = 19.74 A
	20 S	8 Ia = 8x2.82 = 22.56 A
	15 S	9 Ia = 9x2.82 = 25.38 A
	12.5 S	10 Ia = 10x2.82 = 28.20 A
	9.8 S	15 Ia = 15x2.82= 42.30 A
	5.3 S	20 Ia = 20x2.82= 56.40 A
	2.0 S	25 Ia = 25x2.82= 70.50 A

	1.5 S	30 Ia= $30 \times 2.82 = 84.60$ A
MECANICO	0.8 S	40 Ia= $40 \times 2.82 = 112.80$ A
	0.5 S	50 Ia= $50 \times 2.82 = 141.00$ A

VALORES DE CORRIENTE DE BAJA TENSION DE LOS DISPOSITIVOS
DE PROTECCION Y DEL TRANSFORMADOR REFERIDO A LA ALTA
TENSION.

CAPACIDAD DEL TRANS FORMADOR	CORRIENTE EN S.I.	CORRIENTE EN A.T.	REL. DE TRANSF.	CAP. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
------------------------------------	----------------------	----------------------	--------------------	------------------------------------

112.5 MVA.	295.2 A	2.82 A	100.80
------------	---------	--------	--------

5.5 VALORES DE CORTO CIRCUITO PARA LA SUBESTACION "NAUCAIPAN".

En cálculos realizados por la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A., Departamento de Planeación, Sección de Estudios Eléctricos, los valores de corto circuito para un alimentador de 23 kV, cable AC5R 336, con una longitud no mayor de 500 metros alrededor de la subestación "NAUCAIPAN", son los siguientes:

Subestación	Valores de impedancia en Ω /l (base de 100 MVA y 23 kV)	Angulo	Valores de falla en MVA
Naucaipan	3 F 0.2820 1 F 0.6322	86.31 87.14	trifásica 9.50 una fase 6.51

Con lo anterior y conocidas las características nominales del transformador y los valores correspondientes que tienen las curvas de energización, daño térmico y mecánico, así como el efecto de las fallas del lado secundario del transformador reflejadas en el lado primario del mismo, procederemos a trazar estos valores sobre una base logarítmica, con el objeto de definir la capacidad del fusible de alta tensión y del interruptor termomagnético de baja tensión para la protección por sobrecarga y corto circuito.

5.6 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO SELECCIONADO.

a).- CORTACIRCUITO FUSIBLE DE POTENCIA DE ALTA TENSION.

Nombre:	Portafusible 23220
Volts. nominales:	23000
Volts. max.:	27000
Amps. max.:	200
Catálogo SEC. No.:	92123-0
Terminales utuos cat. SEC. No.:	3095
Capacidad de C.C. simétrico a 23 kV:	500000 KVA.

Uso: Fijado a cruzeta con fusible 23 SC-SM020, se instala uno en cada fase de 23 kV., para proteger transformadores o generador de 23 kV. contra sobrecorriente según fusible empleado y contra corriente de C.C.

b).- FUSIBLES DE POTENCIA EN ALTA TENSION.

Fusible tipo:	23 SC-SM0-20 ó SMU-20
Capacidad:	6 Amps.
Tensión:	23 000 Volts.

Capacidad Interruptiva:	20 000 Amps. asimétricas.
Marca:	S y C. Selmeç, S.A.
Velocidad:	K
Catálogos:	543008
Factor de asimetría:	1.6

c).- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION.

Tipo:	Termomagnético.
Capacidad:	350 Amperes
Tensión:	600 V.C.A.. 250 V.C.D.
No. de polos:	3
Tipo:	LS-200
Capacidad Interruptiva:	42 000 Amps. sin en 240 volts.
Marca:	IEH
Catálogos:	LB-3350

Para realizar este estudio se usó las curvas características corriente tiempo de respuesta de los elementos de protección (mínimo de fusión y máxima de interrupción) referidos todos al lado de alta tensión.

En el ejemplo seleccionado por nosotros se puede observar que para un transformador de 112.5 kVA., la protección más adecuada es la de instalar un fusible de 6 amperes en alta tensión (ya que el de 3 amperes se corre el peligro de que se funda en la energización del transformador) y un interruptor termomagnético de 350 amperes en baja tensión, permitiendo una sobrecarga límite de 18.45% (3.34 amps. en A.T. o 350 amps. en B.T.) y erróneo de este valor lo hará operar en un tiempo mínimo de 10 000 segundos.

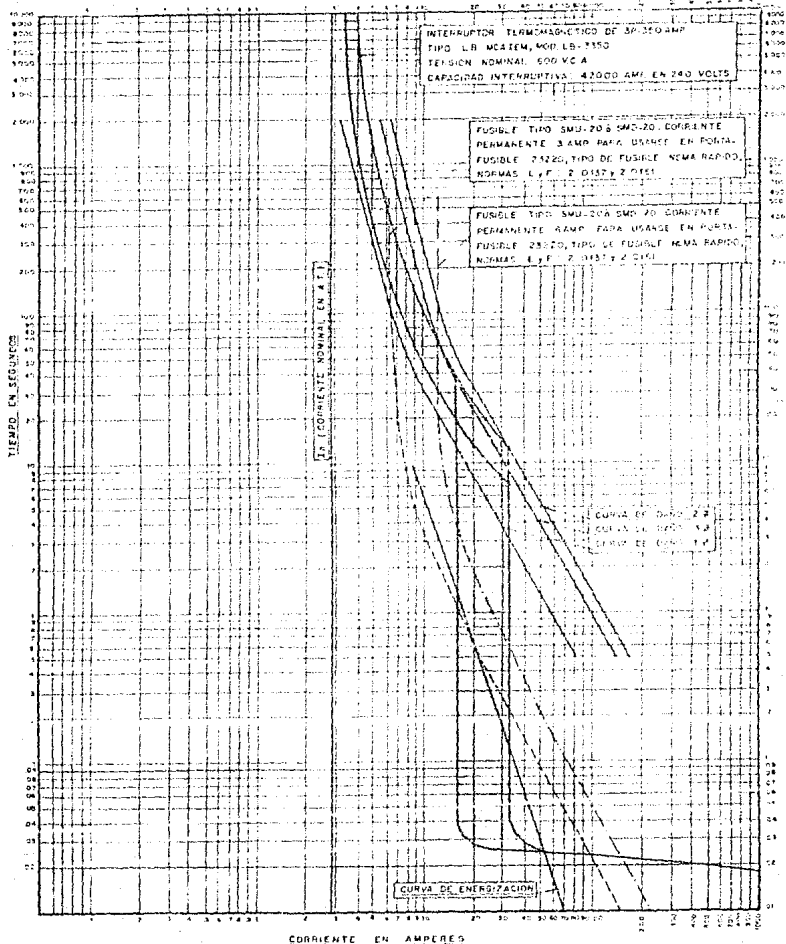


FIG 70 COORDINACION DE PROTECCIONES PARA UN TRANSFORMADOR DE 112.5 KVA.

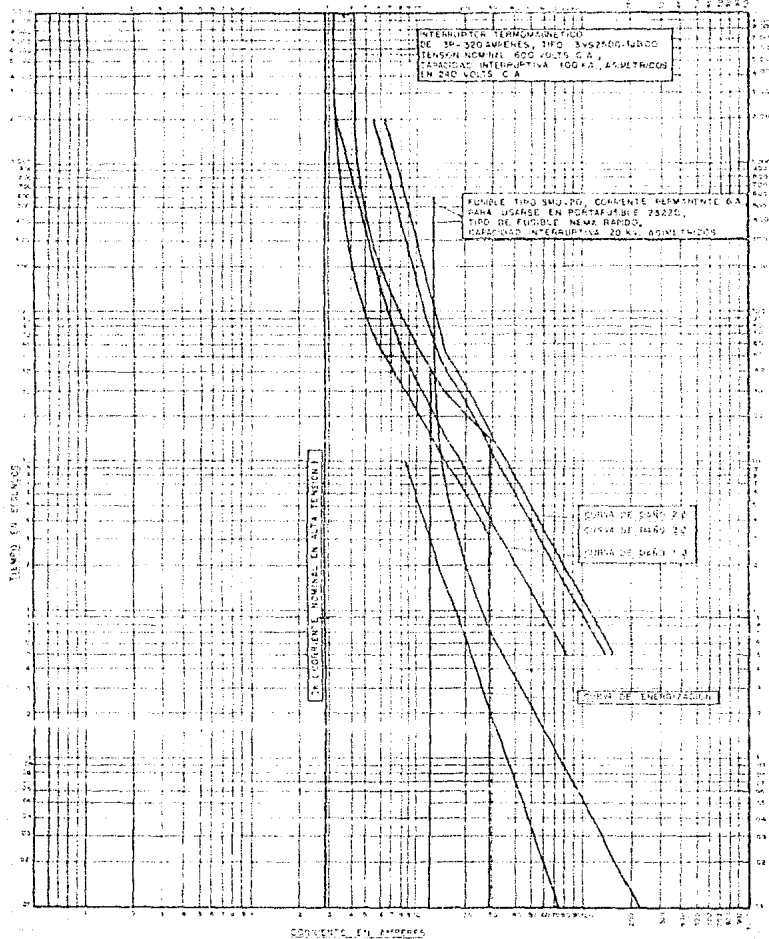


FIG. 71. COORDINACION DE PROTECCIONES PARA UN TRANSFORMADOR DE 112.5 KVA.

Sin embargo, como se observa en la figura 70 la curva del interruptor en cuestión, únicamente nos está protegiendo en forma segura contra corto circuito 3 ϕ y 2 ϕ , dejandonos desprotegido al transformador contra el corto circuito monofásico, por lo cual se realizará otro estudio con un interruptor de manufactura diferente.

Para el fusible de 5 amperes, no existe problema alguno, ya que operará únicamente con un corto circuito en el lado de alta tensión y una corriente mínima de 12.6 amperes en un tiempo de 35 segundos.

En la figura No. 71 podrá observarse que se logra la protección contra las tres fallas (3 ϕ , 2 ϕ y 1 ϕ), ya que la curva de corto circuito monofásico se encuentra dentro del rango de disparo del interruptor.

CONCLUSIONES

Una falla de un transformador de distribución trae inherente enormes pérdidas financieras. Los causas que normalmente originan una falla de esta naturaleza, son principalmente: defectos de fabricación del transformador, mala calidad del equipo de protección, coordinación y protección erróneas, desconocimiento de los parámetros que rigen la operación de los equipos de protección, mantenimiento malo al equipo, todo esto, tiende a contribuir a que las fallas de transformadores cada vez sean más alarmantes.

Para reducir estas fallas sugerimos que sea necesario seguir los criterios que a continuación establecemos:

a) Tomar en cuenta las corrientes de energización y carga fría de los transformadores, así como las interrupciones en los alimentadores debido a sobrecargas, disturbios y maniobras de operación en el sistema de distribución, lo que esto afecta seriamente los característicos de los fusibles primarios, de tal forma que se modifican sus curvas de operación y se acelera el envejecimiento de los mismos.

b) Para la protección de los transformadores de distribución localizados en las zonas conflictivas, recomendamos realizar un estudio de coordinación entre fusibles de mediana tensión (25 kV) e interruptores termomagnéticos en el lado de baja tensión, esto con el fin de proteger el lado de baja tensión contra sobrecargas y corto circuito.

c) Para complementar los dos puntos anteriores, sugerimos se realice una estadística confiable con los valores de corto circuito que se presentan en las diferentes zonas, para la elección del equipo de protección, desde el punto de vista de capacidad interruptiva.

d) Con los resultados que se obtengan de estos criterios elaborar información para hacerla llegar al personal de mantenimiento, con el fin de que sea capaz de elegir el fusible adecuado en cada caso en particular.

Todo lo anterior es con el fin de que en un determinado momento se logre aislar una falla de corto circuito del resto del sistema eléctrico, en el punto más cercano a la falla, lográndose con esto reducir al máximo las pérdidas económicas.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- BOLETIN GENERAL ELECTRIC. CO; SCHELECTADY N.Y.
- 2.- CATALOGO DE FUSIBLES DE BAJA TENSION (CURVAS TIEMPO-CORRIENTE DE FUSIBLES). FEDERAL PACIFIC.
- 3.- CATALOGO DE INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS (CURVAS TIEMPO-CORRIENTE) I.E.M.
- 4.- CATALOGO DE INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS (CURVAS TIEMPO-CORRIENTE). SIEMENS.
- 5.- CURVAS TIEMPO-CORRIENTE DE SEIMEC. S.A.
- 6.- ESTUDIO DEL ESTADO DEL AIRE EN FUSIBLES. NOTAS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS.
- 7.- ESTUDIO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION TIPO POSTE EN LA ZONA METROPOLITANA. COMPANIA DE LUZ Y FUERZA.
- 8.- IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION FOR INDUSTRIAL PLANTS STD 141-1976.
- 9.- IEEE TUTORIAL COURSE, APPLICATION AND COORDINATION OF RECLOSERS, AND FUSES. COURSE TEXT 30 EHO157-S-PWR, CHAPTER 2 (HIGH VOLTAGE FUSES-THEORY OF OPERATION).
- 10.- NOTAS DE INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES. DIVISION DE EDUCACION CONTINUA U.N.A.M.