



42
20j

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO, PRUEBA, FABRICACION Y APLICACION DE
INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N

JOSE ALFREDO GONZALEZ MOLINA
PEDRO ARMANDO CORDOBA SAMANIEGO
JUAN CARRANZA TORRES
SERGIO ARTURO PEREZ TOLEDO

DIR.ING. RODOLFO LORENZO BAUTISTA

MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1-3
CAPITULO I	
CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL INTERRUPTOR EN CAJA MOLEADA...	4
I.1. DEFINICIONES	
I.1.1. Interruptor	4
I.1.2. Interruptor en caja moldeada	4
I.1.3. Operación automática	4
I.1.4. Operación manual	4
I.1.5. Disparo instantáneo	4
I.1.6. Tiempo inverso	4
I.1.7. No-ajustable	4
I.1.8. Ajustable	5
I.1.9. Punto de disparo	5
I.1.10. Sobrecorriente	5
I.1.11. Sobrecarga	5
I.1.12. Corto-circuito	5
I.1.13. Corriente de falla a tierra	5
I.1.14. Marco	5
I.1.15. Tamaño de marco	6
I.1.16. Característica de disparo libre	6
I.1.17. Dispositivos y accesorios auxiliares	6
I.1.18. Valores nominales	6
a) Corriente nominal	6
b) Tensión nominal	6
c) Capacidad interruptiva nominal	6
d) Temperatura de operación nominal	7
e) Frecuencia nominal	7
f) Tensión nominal	7

g) Tensión nominal de control	7
h) Condición de servicio	7
I.2. ESTRUCTURA BASICA DEL INTERRUPTOR EN CAJA MOLDEADA	7
I.2.1. Envolvente	7
I.2.2. Elemento de disparo térmico.....	7
I.2.3. Elemento de disparo magnético	8
I.2.4. Terminales de carga y línea	8
I.2.5. Cámara de arqueo	8
I.2.6. Contactos.....	8
I.2.7. Mecanismo de operación.....	8
I.2.8. Palanca de operación.....	9
I.2.9. Mecanismo de disparo	9
I.3. PRINCIPALES TIPOS DE INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA.....	12
I.3.1. Interruptor termomagnético en caja moldeada.....	12
I.3.2. Interruptor magnético.....	18
I.3.3. Interruptor térmico	21
I.3.4. Interruptor automático.....	24
I.3.5. Interruptor no automático.....	25
I.4. NORMAS APLICABLES EN EL DISEÑO Y PRUEBA DE INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA	28
A) NACIONALES	
I.4.1. CCONNIE	28
B) EXTRANJERAS	
I.4.3. ANSI	29
I.4.4. UL	29
I.4.5. CET.....	30
I.4.6. CSA	30
I.4.7. NEMA	30
I.4.8. JIS	30

	Página
I.5. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	30
I.5.1. Ley de Coulomb	31
I.5.2. Campo Eléctrico	34
I.5.3. Ley de Ohm	35
I.5.4. Ley de Joule	38
I.5.5. Campo magnético.....	40
I.5.6. Ley de Ampere	40
I.5.7. Ley de Biot-Savart	41
I.5.8. Ley de Faraday	42
I.5.9. Ley de Lenz	43
I.6. CONTACTOS	44
a) Resistencia de contacto	44
b) Erosión	46
c) Transferencia	47
d) Soldado o adherencia	48
I.7. PRINCIPIOS DE EXTINCION DE ARCO	50
A) Naturaleza del arco eléctrico	50
B) Extinción del arco eléctrico	52
CAPITULO II	
PARAMETROS DE DISEÑO	54
II.1. ELECTRICOS	54
II.1.1. Cálculo de partes conductoras	54
II.1.2. Espaciamientos dieléctricos	57
II.1.3. Caídas de tensión	61
II.2. MAGNETICOS	64
II.2.1. Cálculo de la fuerza magnética en el entrehierro.....	64
II.2.2. Esfuerzos generados durante la corriente de corto-circuito.....	68

II.3. PARAMETROS DE DISEÑO ELECTROMECHANICO.....	71
II.3.1. Teoría básica y cálculos fundamentales.....	79
A) Radio de curvatura.....	79
B) Flexibilidad y deflexión térmica.....	80
C) Fuerza y deflexión	81
D) Resistividad eléctrica	82
E) Dureza	84
F) Tratamiento térmico estabilizador.....	84
II.4. MECANICOS.....	84
II.4.1. Medios de conexión exterior y pares de apriete.	84
II.4.2. Mecanismo de operación	87
CAPITULO III	
PROCESOS BASICOS DE FABRICACION DE COMPONENTES.....	92
III.1. MATERIALES.....	92
A) Tungsteno.....	94
B) Molibdeno	96
C) Plata	98
D) Aleaciones de plata.....	98
III.2. PROCESOS DE FABRICACION	107
A) Moldeo.....	107
B) Galvanotecnia	111
C) Metalurgia de polvos	113
D) Tratamientos térmicos	116
CAPITULO IV	
PRUEBAS	
A) Pruebas de diseño	118
B) Pruebas de producción	141
C) Pruebas de campo	145

CAPITULO V

SELECCION Y APLICACION..... 147 - 216

APENDICES

A. Métodos simples de cálculo de corriente de corto-circuito	217
B. Interruptores Especiales	
a) Interruptores con unidad de disparo de estado sólido.....	247
b) Interruptores limitadores de corriente.....	251
c) Interruptores automáticos.....	258
C. Dispositivos auxiliares	
a) Bobina de disparo en derivación	260
b) Bobina de disparo por baja tensión	261
c) Microinterruptor de alarma.....	262
d) Microinterruptores auxiliares.....	262
CONCLUSIONES	264
BIBLIOGRAFIA	265

INTRODUCCION

La necesidad de la utilización de los interruptores en caja moldeada nació en 1918, resultado de la creciente demanda de los dispositivos de protección de los motores eléctricos, que garantizaran una operación segura y al mismo tiempo protegieran circuitos eléctricos. Durante este periodo los motores individuales fueron utilizados por primera vez en plantas industriales para operar máquinas herramientas, y en uso doméstico para operar lavadoras, refrigeradores, etc. De estas numerosas aplicaciones surgieron problemas, tales como, un frecuente reemplazo de fusible durante el arranque (debido a las elevadas corrientes de arranque de los motores). El mismo problema de tener que cambiar fusibles existió en las casas conforme se incrementó la carga.

Inspectores de seguridad se percataron de que en la práctica se incurría en reemplazo inadecuado de fusibles, así como, puentear los circuitos de protección, de estas observaciones los inspectores informaron el peligro que representa esta condición de operación, convocando por ello a los fabricantes de equipos eléctricos a realizar un esfuerzo conjunto para satisfacer dicha necesidad.

Se les solicitó el desarrollo de un dispositivo de protección, tal que fuera capaz de interrumpir un circuito cuando existiera una condición de sobrecarga prolongada, dicho dispositivo debería ser seguro, confiable y ser capaz de reutilizarse sin reemplazar alguna de sus partes después de una operación de interrupción. Este fue el inicio del desarrollo de los interruptores en caja moldeada.

Las investigaciones para encontrar una solución adecuada resultó en diferentes alternativas. Por ejemplo, fué diseña-

do un interruptor con fusible de doble elemento tal que, uno de los fusibles fué utilizado para arrancar el motor y el otro en condiciones normales de operación. Sin embargo, dicho interruptor fué tan robusto que su uso fué rápidamente discontinuado.

Durante este período de investigación y desarrollo, la compañía Westinghouse en E.U.A., produjo el extinguidor de arco "De-Ion" para utilizarse como interruptor en aceite. Paralelamente se inició en una forma práctica la aplicación de dicho extinguidor en interruptores pequeños de tal manera que fué acoplado con un mecanismo de disparo térmico. De esta manera la primera unidad compacta se desarrolló en 1923; sin embargo, no fué hasta cuatro más tarde que la compañía Westinghouse encontrara la combinación ideal de materiales y diseños que permitieran a los interruptores interrumpir corriente de falla de 500 Amperes a 120 Volts A C ó D C

Un año después la compañía colocó en el mercado el primer interruptor para esta aplicación.

Según las normas NEMA, un interruptor se define como un dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito por medios no-automáticos, y para abrir el circuito automáticamente a un valor de sobrecorriente predeterminado, sin dañarse a sí mismo, cuando éste es aplicado dentro de su rango nominal.

Un interruptor en caja moldeada, según las normas NEMA, se define como un interruptor que es ensamblado como una unidad integral en una caja de material aislante que lo soporta y lo protege.

Los interruptores en caja moldeada son diseñados para pro

veer protección a circuitos de sistemas de distribución de baja tensión. Ellos protegen los aparatos conectados a dicho sistema contra sobre carga y/o corto circuito.

CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE INTERRUPTORES
EN CAJA MOLDEADA

I. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL INTERRUPTOR EN CAJA MOLDEADA

I.1. DEFINICIONES:

- I.1.1. INTERRUPTOR.- Dispositivo destinado a interrumpir o restablecer la circulación de corriente en un circuito eléctrico.
- I.1.2. INTERRUPTOR EN CAJA MOLDEADA.- Interruptor ensamblado como una unidad integral dentro de una envolvente de material aislante, que lo soporta y protege.
- I.1.3. OPERACION AUTOMATICA.- Operación del interruptor (generalmente apertura) por la acción de sus medios de protección por una variación de la intensidad de corriente, sin la intervención de un operador ni medios de disparo auxiliar.
- I.1.4. OPERACION MANUAL.- Operación del interruptor (cierre, apertura y disparo) por la acción de un medio externo como operador o de un dispositivo auxiliar.
- I.1.5. DISPARO INSTANTANEO.- Característica del elemento de disparo de sobrecorriente que contiene un componente electromagnético calibrado para operar el interruptor a un valor predeterminado de sobrecorriente instantáneamente.
- I.1.6. DISPARO DE TIEMPO INVERSO.- Término que indica que el diseño introduce un retardo en la acción del dispositivo de disparo que disminuye conforme la magnitud de corriente aumenta.
- I.1.7. NO AJUSTABLE.- Característica de un elemento de disparo por sobrecorriente que se fija de fábrica para disparar un interruptor a un valor predeterminado de co-

rriente .

- I.1.8. AJUSTABLE.- Característica de un elemento de disparo por sobrecorriente que puede ser ajustable en el campo para disparar un interruptor a diferentes valores de corriente y/o tiempo, dentro de una gama de valores predeterminados.
- I.1.9. PUNTO DE DISPARO.- Valor de corriente y/o tiempo al cual un interruptor de disparo ajustable es fijado para disparar.
- I.1.10. SOBRECORRIENTE.- Cualquier corriente con exceso de la nominal del equipo o de la capacidad de un conductor. Esta puede resultar de una sobrecarga, un circuito corto o falla a tierra.
- I.1.11. SOBRECARGA.- Condición de operación de un equipo en la que se demanda una potencia en exceso de la nominal o de un conductor por el cual circula una corriente en exceso de su capacidad nominal, cuando dicha condición persiste por cierto tiempo, puede causar el daño al equipo o sobrecalentamientos perjudiciales. Una falla como un circuito-corto o falla a tierra no es una sobrecarga.
- I.1.12. CIRCUITO CORTO.- Es una conexión anormal de impedancia relativamente baja hecha accidental o intencionalmente entre dos puntos de diferente potencial.
- I.1.13. CORRIENTE DE FALLA A TIERRA.- Conexión intencional o accidental por la cual un equipo se conecta a tierra o a algún cuerpo conductor de tamaño relativamente extenso que sirva en lugar de la tierra.
- I.1.14. MARCO.- Ensamble que consiste de todas las partes del interruptor con excepción de la unidad de disparo y los conectores terminales.

I.1.15. TAMAÑO DE MARCO.- Término aplicado a un grupo de interruptores en caja moldeada que son físicamente intercambiables entre sí; el tamaño de marco se expresa en amperes y corresponde al interruptor de mayor capacidad nominal en el grupo. La designación del mismo tamaño de marco puede ser aplicada a más de un grupo de interruptores. Estos grupos pueden o no ser físicamente intercambiables con cualquier otro, en el caso de uno o varios fabricantes.

I.1.16.- CARACTERISTICA DE DISPARO LIBRE.- Es la habilidad de un interruptor para permitir que prevalezca la operación automática de apertura sobre la operación de cierre. Es decir, si se tiene bloqueada la palanca en la posición cerrado y ocurre una sobrecorriente, el interruptor se abre.

I.1.17. DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS AUXILIARES.- Son aquellos que ejecutan una función secundaria, como auxiliares de la función principal del interruptor. En el apéndice "C" se describen estos elementos.

I.1.18. VALORES NOMINALES:

a) Corriente nominal.- Corriente directa o corriente RMS en amperes, a frecuencia nominal que un dispositivo o ensamble llevará continuamente sin exceder el límite especificado de elevación de temperatura observado.

b) Tensión nominal.- Tensión máxima (RMS si es alterna) a la cual el interruptor puede aplicarse.

c) Capacidad interruptiva nominal.- Valor de corriente que se establece bajo condiciones de prueba a una tensión especificada y que es la máxima corriente disponible en que el interruptor puede

ser aplicado. Valor máximo de corriente de corto circuito que un interruptor es capaz de interrumpir sin dañarse.

d) Temperatura de operación nominal.- Temperatura de un interruptor basada en su corriente nominal.

e) Frecuencia nominal.- Frecuencia de un circuito para la que el interruptor está diseñado.

f) Tensión nominal de control.- Tensión designada para ser aplicada a dispositivos de disparo, cierre o señalización (dispositivos auxiliares).

g) Condición de servicio.- Condiciones bajo las que un interruptor va a ser aplicado.

I.2. ESTRUCTURA BASICA DEL INTERRUPTOR EN CAJA MOLDEADA

La estructura básica de un interruptor en caja moldeada está formada de aquellos elementos que en forma general desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento del equipo del que forma parte y que al interactuar conjuntamente proporcionan los medios necesarios para que éste a su vez cumpla con el objetivo para el que fue diseñado (Fig. I.1 y I.2).

I.2.1. ENVOLVENTE (Caja moldeada)

Es aquella parte del interruptor que protege y soporta a todas y a cada una de las demás partes que lo forman. Generalmente es fabricado de materiales termofijos como poliester reforzado con fibra de vidrio o Baquelita.

I.2.2. ELEMENTO DE DISPARO TERMICO

Es un dispositivo que reacciona bajo condiciones

de sobrecarga. Consta de un elemento bimetálico que es sensible al calor cuyo comportamiento presenta la característica de tiempo inverso.

I.2.3. ELEMENTO DE DISPARO MAGNETICO

Es un conjunto de partes que constituyen un circuito magnético, una de cuyas partes es móvil, restringida en su movimiento por la fuerza de un resorte, que se ve vencida al actuar un campo magnético producido por un valor determinado de sobrecorriente.

I.2.4. TERMINALES DE CARGA Y LINEA

Son aquellas partes conductoras del interruptor que entrelazan eléctricamente la carga con la línea de suministro al cerrar los contactos del interruptor y que en estado estable son capaces de conducir la corriente nominal.

I.2.5. CAMARA DE ARQUEO

Consiste en una serie de placas montadas entre soportes paralelos de material aislante.

La forma interior "V" de las placas de acero se extiende directamente sobre los contactos y distorsiona el arco partiendo del contacto móvil hacia arriba y dentro de la cámara múltiple, aprovechando el fenómeno de ionizante.

En esta forma el arco es confinado, dividido y extinguido.

I.2.6. CONTACTOS

Son los elementos sobre los cuales se encuentra el punto de cierre y apertura del interruptor.

I.2.7. MECANISMO DE OPERACION

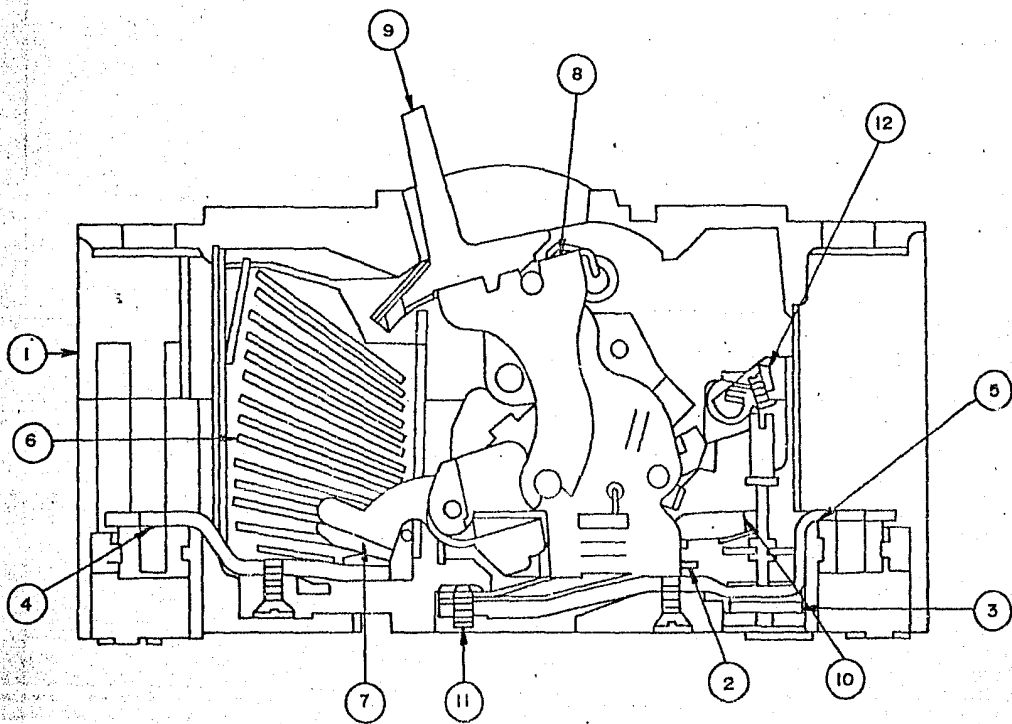
Es el conjunto de partes relacionadas cinemáticamente entre sí, cuya función básica es efectuar la operación mecánica del interruptor, bien sea ésta: apertura, cierre o restablecimiento.

I.2.8. PALANCA DE OPERACION

Es un elemento de operación externa sobre el cual es posible llevar a cabo manualmente las operaciones de cierre, apertura y restablecimiento.

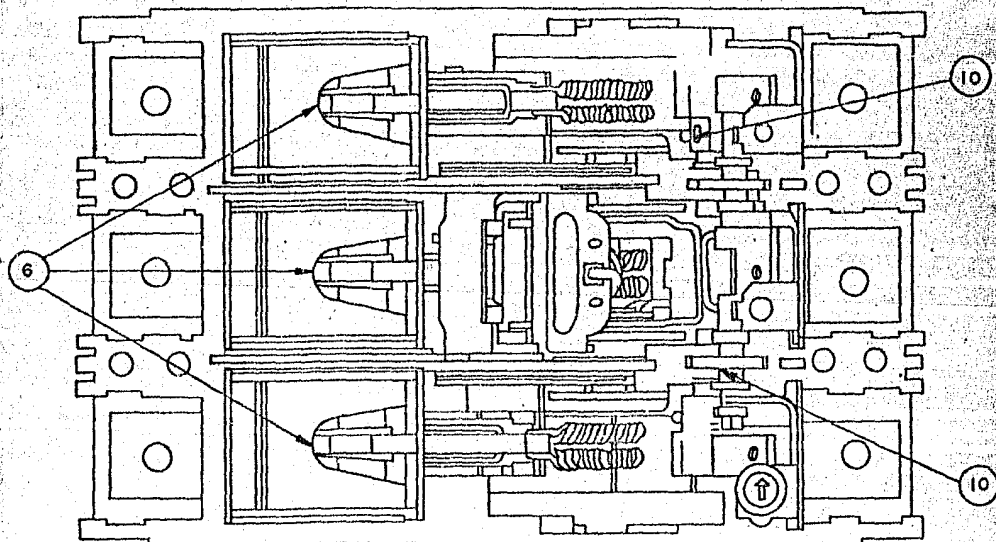
I.2.9. MECANISMO DE DISPARO

Es el conjunto de elementos que interrelacionan mecánicamente la acción de cualquiera de los elementos de disparo y el mecanismo de operación.



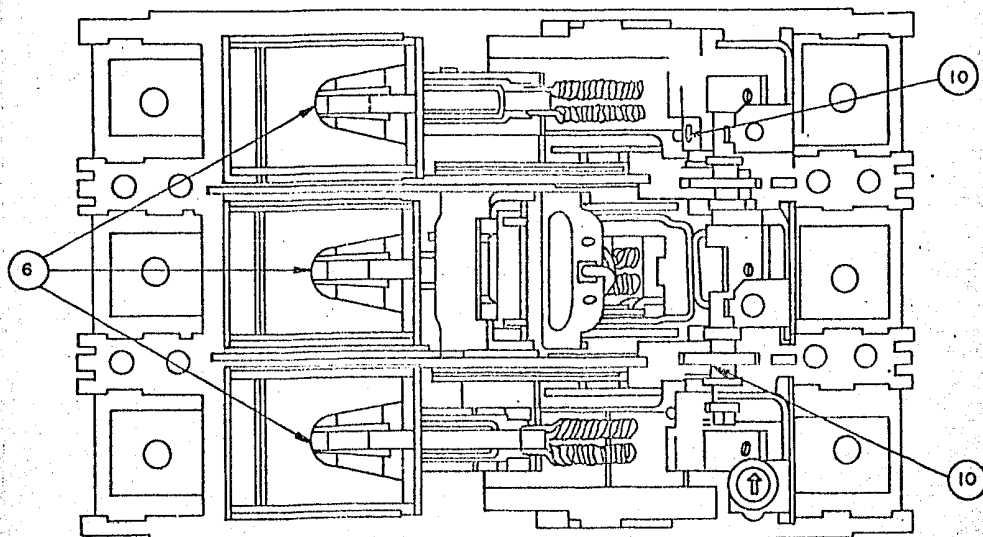
- ① ENVOLVENTE
- ② ELEMENTO DE DISPARO TERMICO
- ③ ELEMENTO DE DISPARO MAGNETICO
- ④ TERMINAL DE LINEA
- ⑤ TERMINAL DE CARGA
- ⑥ CAMARAS DE ARQUEO
- ⑦ CONTACTOS
- ⑧ MECANISMO DE OPERACION
- ⑨ PALANCA DE OPERACION
- ⑩ MECANISMO DE DISPARO
- ⑪ TORNILLO DE CALIBRACION TERMICA
- ⑫ BARRA DE AJUSTE MAGNETICO

Fig. I. I
SECCION TRANSVERSAL



- 6 CAMARAS DE ARQUEO
10 MECANISMO DE DISPARO

Fig. 1.2
VISTA SUPERIOR
SIN CUBIERTA NI PALANCA



- 6 CAMARAS DE ARQUEO
10 MECANISMO DE DISPARO

Fig. I. 2
VISTA SUPERIOR
SIN CUBIERTA NI PALANCA

I.3. PRINCIPALES TIPOS DE INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA

I.3.1. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN CAJA MOLDEADA

DEFINICION

Es un dispositivo de protección capaz de abrir y cerrar un circuito manualmente bajo condiciones normales de operación y abrir un circuito automáticamente bajo condiciones anormales de operación del circuito al cual protege, como es una sobrecarga o bien un corto circuito. Los rangos de ajuste de disparo magnético para estos interruptores generalmente se encuentran de 5 a 10 veces la corriente nominal del interruptor.

El circuito básico de este interruptor se muestra en la Fig. I.3.1.

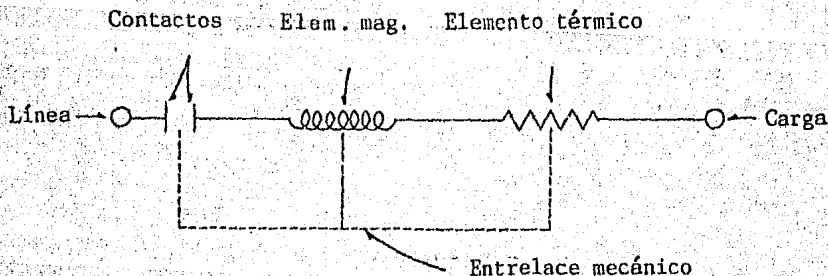


Fig. I.3.1.

ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION

Es el conjunto de partes móviles, que interrelacionadas mecánicamente desarrollan la operación del interruptor termomagnético. Pueden ser representados en forma esquemática como se muestra en la fig I.3.2.

Podemos observar que consta de cuatro unidades fundamentales:

- A) UNIDAD DE DISPARO: Formada a su vez de los siguientes elementos:
 - A') Mecanismo de disparo
 - A'') Elemento de disparo térmico
 - A''') Elemento de disparo magnético
- B) PALANCA DE OPERACION
- C) MECANISMO DE OPERACION
- D) CONTACTOS

CINEMATICA BASICA DE OPERACION

La geometría del movimiento para cada una de las unidades fundamentales, puede ser explicada de la siguiente manera:

A) UNIDAD DE DISPARO

Todo movimiento de A' está condicionado a un movimiento en A'' o bien en movimiento en A'''.

El sentido negativo del movimiento de cualquiera de estos elementos implica un movimiento negativo también de las tres unidades fundamentales restantes simultáneamente, pero no así, si éste fuese un movimiento positivo en cualquiera de sus elementos.

$$\forall (\text{mov } (-) A' \cap \text{Mov } (-) A''') \rightarrow \text{Mov } (-) A'$$

$$\text{y } \forall (\text{mov } (-) A') \rightarrow \text{Mov } (-) (B \cup C \cup D)$$

$$\text{y } \forall (\text{mov } (+) A'' \cap \text{Mov } (+) A''') \rightarrow \bar{0}$$

Donde:

- \forall = para todo
- $(-)$ = movimiento negativo
- $(+)$ = movimiento positivo
- \rightarrow = implica
- \cap = intersección
- \cup = unión
- $\bar{0}$ = No opera

B) PALANCA DE OPERACION

Un Mov. en (B) implica Mov. en (C) y en (D).

Si el interruptor presenta la característica de disparo libre, entonces para que un movimiento (B) implique Mov. en (C) y en (D) se requiere inicialmente un Mov. negativo en (B).

$$\forall \text{ Mov (B)} \longrightarrow \text{Mov (C) } \cup \text{ Mov (D)}$$

Si $X \in U$::

$$\forall \text{ Mov (B)} \longrightarrow \text{Mov. (C) } \cup \text{ Mov (D)}$$

Se requiere: Mov (\neq) (B) inicialmente.

donde X : característica de disparo libre

U : interruptor en caja moldeada

C) MECANISMO DE OPERACION

Un movimiento en (C) implica necesariamente un Mov. similar o en el mismo sentido en (D) y $\forall \text{ Mov. (C)} \longrightarrow \text{Mov. (D)}$

D) CONTACTOS

Un movimiento negativo de los contactos implicaría la apertura del circuito eléctrico, mientras que un movimiento positivo implica el cierre del circuito eléctrico.

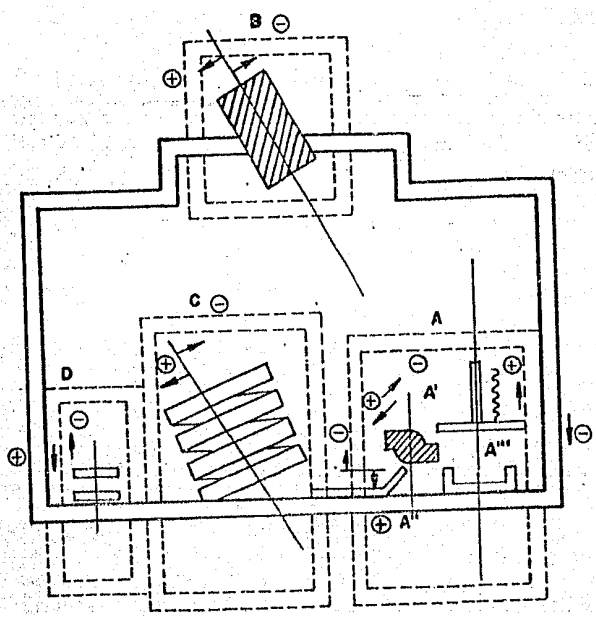
$\forall \text{ Mov. (+) (D)} \longrightarrow \text{cierre del circuito}$

$\forall \text{ Mov. (-) (D)} \longrightarrow \text{apertura del circuito.}$

DINAMICA BASICA DE OPERACION

Las fuerzas que producen los movimientos en todos y cada uno de los elementos cinemáticos definidos anteriormente pueden ser tanto de origen, mecánico, térmico, o electromagnético.

La operación dinámica del interruptor termomagnético puede ser explicada de la siguiente forma:



ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO

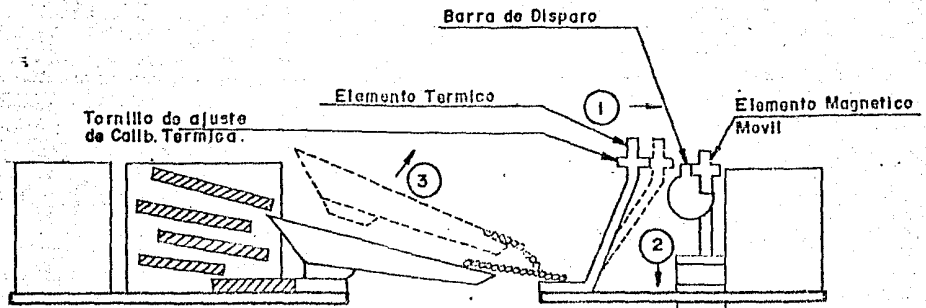
FIG. 1.3-2

Suponiendo condiciones nominales de operación del interruptor, el flujo de corriente seguirá la trayectoria de las partes conductoras tales como terminales, zapatas, contactos y demás componentes conectadas a las partes energizadas del equipo, pudiendo en estas condiciones abrir el circuito al cual se encuentra conectado. Únicamente mediante una operación manual sea esta directa o indirecta.

Conforme la corriente tome valores por encima del valor nominal de operación del interruptor, esto es, se presente una condición de sobrecarga, las corrientes circulantes a través de las partes conductoras producirán un incremento en la temperatura debido ello al flujo del calor generado produciendo la deflexión del elemento térmico, el cual se compone de dos elementos de diferente coeficiente de dilatación térmica, causándose con este movimiento que el mecanismo de disparo libere en un punto de entrelace mecánico la fuerza contenida en el resorte del mecanismo de operación y consecuentemente la apertura de los contactos. (Fig. I.3.3).

Por otro lado, si la corriente que fluye alcanzara un valor mucho mayor que para el caso anterior, el flujo magnético generado en el elemento magnético será suficiente para vencer la fuerza contenida en el resorte que sujeta al elemento magnético móvil causando que el mecanismo de disparo opere de manera similar al efecto anterior, siendo esta operación mucho más rápida que para el elemento térmico, ya que éste se caracteriza por tener un retardo de tiempo.

En algunos casos uno o ambos elementos, esto es, tanto térmico como magnético, pueden ser ajustables, dependiendo esto del fabricante del equipo.



ELEMENTOS TERMICO Y MAGNETICO

- 1 MOVIMIENTO DEL ELEMENTO TERMICO DEBIDO A UNA SOBRECARGA EN UN INT. TERMOMAGNETICO.
- 2 MOVIMIENTO DEL ELEMENTO MAGNETICO DEBIDO A UNA SOBRECORRIENTE (CORTO CIRCUITO)
- 3 MOVIMIENTO DE NAVAJA Y CONTACTO DEBIDO AL MOVIMIENTO DEL MECANISMO DE OP CAUSADO POR LOS ELEMS. DE PROTECCION

FIG. 1.3-3

I.3.2. INTERRUPTOR MAGNETICO

DEFINICION

Es un dispositivo capaz de abrir un circuito manualmente bajo condiciones normales de operación y abrir un circuito automáticamente bajo condiciones de corto-circuito (dentro de un rango de valores ajustables). El rango de ajuste magnético para un determinado valor de corriente nominal se encuentra generalmente de 3 a 10 veces dicha corriente.

El circuito básico que representa este interruptor se muestra en la Fig. I.3.4.

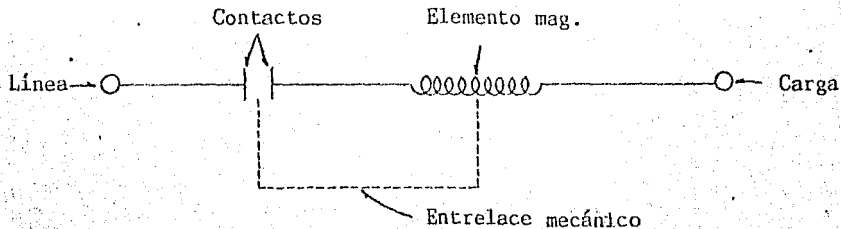


Fig. I.3.4.

ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION

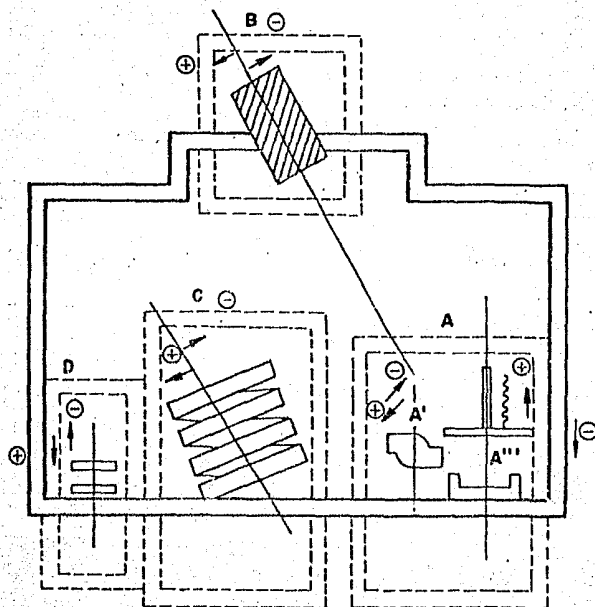
Tomando la Fig. I.3.5. como referencia, podemos observar que es semejante al diagrama esquemático del interruptor termomagnético que se explicó anteriormente. Su aplicación es similar salvo porque en este caso no se presenta elemento térmico y además el rango de disparo del elemento magnético es ajustable.

Así, tenemos los siguientes elementos cinemáticos básicos:

A) UNIDAD DE DISPARO: Formada a su vez de los siguientes elementos:

A''' Elemento de disparo magnético (Cabe hacer notar que para este tipo de interruptor, es ajustable en un rango determinado por el fabricante)

A' Mecanismo de disparo



ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION DEL INTERRUPTOR
MAGNETICO

FIG. 1.3-5

- B) PALANCA DE OPERACION
- C) MECANISMO DE OPERACION
- D) CONTACTOS.

Interrelacionados cinemáticamente entre sí.

CINEMATICA BASICA DE OPERACION

La geometría del movimiento para cada una de las unidades fundamentales es similar a la del interruptor temomagnético, sólo que no se presenta el efecto del elemento de disparo térmico. A continuación se indican las relaciones de movimiento para la unidad de disparo en el interruptor magnético:

A) UNIDAD DE DISPARO

Ψ (Mov (-) A''') \longrightarrow Mov (-) A'
 Ψ (Mov (-) A') \longrightarrow Mov (-) (B U C U D)
 Ψ (Mov (+) A''') \longrightarrow $\bar{0}$

Las demás unidades fundamentales presentan relaciones de movimiento en la misma forma que en el interruptor temomagnético las cuales ya se han explicado en el punto anterior.

DINAMICA BASICA DE OPERACION

Para el interruptor magnético la causa de los movimientos en todos y cada uno de los elementos cinemáticos definidos con anterioridad, puede ser de origen mecánico o electromagnético, y al interrelacionarse entre sí, producen la operación deseada del equipo.

La siguiente explicación corresponde a la operación dinámica del interruptor magnético:

Bajo condiciones nominales de operación del interruptor magnético, como en el caso anterior la trayectoria de la corriente será a través de terminales, zapatas, contactos

y demás componentes conectados a las partes energizadas del equipo, pudiéndose abrir el circuito sólo mediante una operación manual directa o indirecta del interruptor.

Si la magnitud de la corriente se incrementa sobre el valor nominal, ésto no causará ninguna alteración en la operación del Interruptor magnético; sólo si el valor de la corriente llegase a un valor mayor, que se encuentre en el punto (dentro del rango de ajuste del interruptor), predeterminado para su operación, se generará un flujo magnético en el elemento magnético, tal que vencerá la fuerza contenida en el resorte que sujeta al elemento magnético móvil, provocando que el mecanismo de disparo libere en un punto de entrelace mecánico la fuerza contenida en el resorte de mecanismo de operación, lográndose con ello la apertura de los contactos.

I.3.3. INTERRUPTOR TERMICO

DEFINICION

Es un dispositivo capaz de abrir un circuito manualmente bajo condiciones normales de operación y abrir un circuito automáticamente bajo condiciones de sobrecarga.

El circuito representativo es el siguiente:

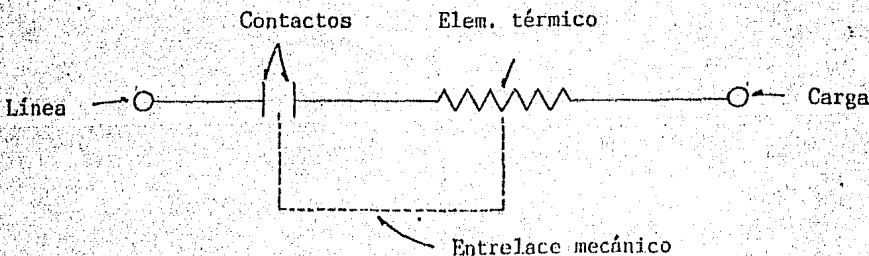


Fig. I.3.6.

ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION

De la Fig. 1.3.7. tenemos que en este tipo de interruptor no se presenta elemento magnético; por lo cual éste interruptor protegerá contra sobrecargas. Si el valor de corriente fuese muy elevado, el interruptor operará, pero no lo hará de manera instantánea, debido al retardo que presenta el elemento térmico (ello puede ocasionar falla en el equipo protegido. si éste no es capaz de soportar sobrecargas altas por lo menos en el tiempo de operación del elemento térmico). Para el interruptor térmico tenemos los siguientes elementos cinemáticos básicos:

A) UNIDAD DE DISPARO.- Formada por los siguientes elementos.

A'' ELEMENTO DE DISPARO TERMICO

A' MECANISMO DE DISPARO

B) PALANCA DE OPERACION

C) MECANISMO DE OPERACION

D) CONTACTOS

Los cuales se interrelacionan cinemáticamente entre sí.

CINEMATICA BASICA DE OPERACION

El interruptor térmico presenta las siguientes relaciones de movimiento para la unidad de disparo:

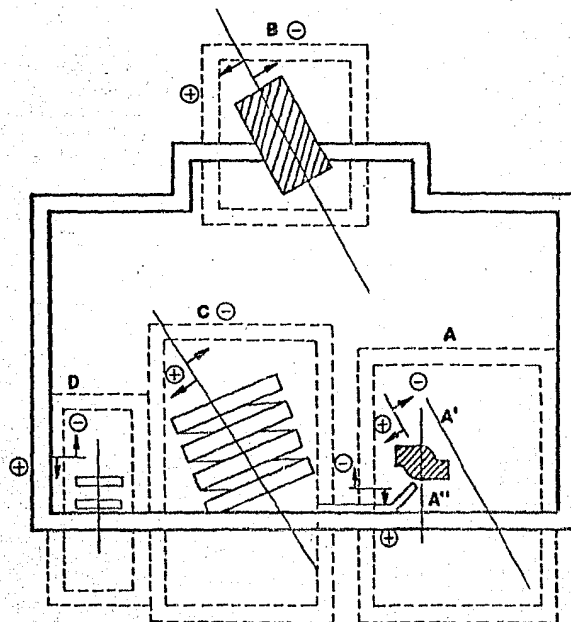
A) UNIDAD DE DISPARO:

Ψ (Mov (-) A'') \longrightarrow Mov (-) A'

Ψ Mov (-) A' \longrightarrow Mov (-) (B U C U D)

Ψ (Mov (+) A'') \longrightarrow $\bar{0}$

Como en los dos tipos de interruptores anteriores, en el interruptor térmico también son similares las relaciones de movimiento para las demás unidades fundamentales.



ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION DEL INTERRUPTOR
TERMICO

FIG. 1.3-7

DINAMICA BASICA DE OPERACION

En el tipo de interruptor térmico los movimientos de los elementos cinemáticos se deben a fuerzas mecánicas o térmicas, las cuales al interrelacionarse entre sí, producen la operación deseada del equipo. Para una mejor comprensión se presenta la siguiente explicación:

Bajo condiciones nominales de operación, el comportamiento es similar al de los dos tipos de interruptores explicado anteriormente. Para este tipo de interruptores, si la corriente se incrementa sobre el valor nominal, se presentará una deflexión del elemento térmico, operando en un tiempo (que es inversamente proporcional al incremento en la corriente) sobre el mecanismo de disparo y éste a su vez operará en la forma explicada en los dos tipos anteriores de interruptores lográndose la apertura de los contactos.

I.3.4. INTERRUPTOR AUTOMATICO

DEFINICION

Es un dispositivo capaz de abrir un circuito manualmente bajo condiciones normales de operación y abrir un circuito automáticamente bajo condiciones de corto circuito (a un valor fijo de corriente). No protege contra corrientes de falla por debajo del valor de disparo magnético fijo.

Su representación eléctrica es la siguiente:

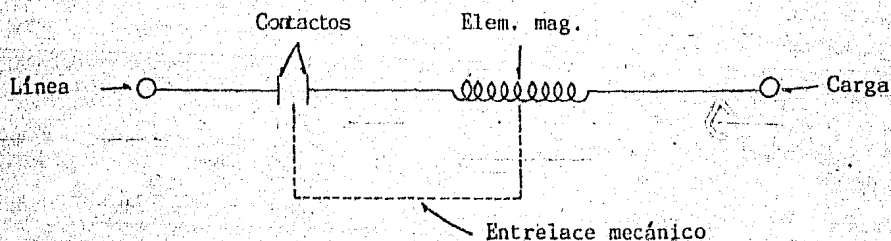


Fig. I.3.8.

ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION

De la Fig. I.3.5. observamos que los elementos cinemáticos básicos son semejantes al interruptor magnético sólo que no tiene rango de ajuste magnético, sino sólo un valor fijo de disparo magnético (para protección exclusiva del interruptor) dependiendo del tamaño de marco, el valor de la corriente de disparo va de 10 a 20 veces la corriente nominal. Siendo los siguientes sus elementos cinemáticos básicos:

A) UNIDAD DE DISPARO FORMADA DE:

- A Elemento de disparo magnético (no ajustable)
- A' Mecanismo de disparo

B) PALANCA DE OPERACION

C) MECANISMO DE OPERACION

D) CONTACTOS

Interrelacionados entre sí.

CINEMATICA BASICA DE OPERACION

Es en la misma forma que el interruptor magnético.

DINAMICA BASICA DE OPERACION

Para el interruptor automático se puede considerar la operación semejante a la explicación presentada para el interruptor magnético, salvo porque este interruptor no tiene rango de ajuste de disparo magnético, sino sólo un punto fijo de disparo magnético.

I.3.5. INTERRUPTOR NO-AUTOMATICO

DEFINICION

Es un dispositivo capaz de abrir un circuito manualmente bajo cualquier condición de operación siempre que se encuentre dentro de los límites de diseño (corriente nominal, tensión nominal, etc.).

Su circuito básico puede representarse como:
contactos

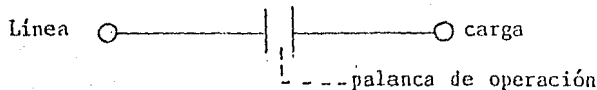


Fig. I.3.9.

ELEMENTOS CINEMATICOS BASICOS

Si observamos la Fig. I.3.10 observaremos que este tipo de interruptor no presenta unidad de disparo, por tanto sus elementos cinemáticos básicos serán:

- B) PALANCA DE OPERACION
- C) MECANISMO DE OPERACION
- D) CONTACTOS

Los que se interrelacionan entre sí.

CINEMATICA BASICA DE OPERACION

Para el interruptor no-automático la geometría del movimiento para sus unidades fundamentales es simple, tal como a continuación se presenta (debido a la carencia de unidad de disparo).

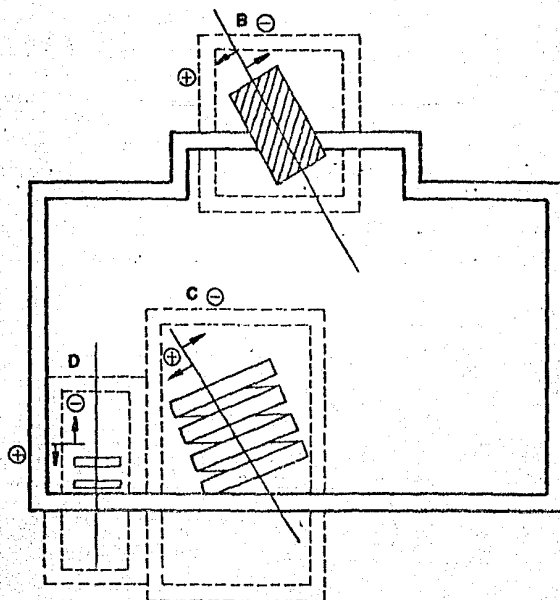
B) PALANCA DE OPERACION

\forall Mov (B) \longrightarrow Mov (C) U Mov (D)

Las demás unidades fundamentales se comportan en la misma forma explicada anteriormente para los tipos anteriores de interruptores.

DINAMICA BASICA DE OPERACION

Para el interruptor no-automático la causa del movimiento de todos sus elementos cinemáticos (ya definidos) sólo puede ser de origen mecánico. Esto es como ya se dijo debido a la carencia de unidad de disparo. El interruptor no-automático es capaz de abrir o cerrar un circuito, a través



ELEMENTOS BASICOS DE OPERACION DEL INTERRUPTOR
NO-AUTOMATICO

FIG. 1.3 - 10

de terminales, zapatas, contactos y demás componentes conectados a las partes energizadas del equipo, mediante una operación manual directa o indirecta y bajo cualquier condición de operación, siempre que ésta no rebase sus límites de diseño como son; corriente nominal, tensión nominal, frecuencia de operación y temperatura, etc.

Este interruptor no presenta ningún tipo de protección automática para el equipo al que se conecta.

La apertura o cierre de los contactos se realiza por el entrelace que existe con el mecanismo de operación y la palanca de operación.

I.4. NORMAS APLICABLES EN EL DISEÑO Y PRUEBA DE INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA

La forma en que es tratada en la actualidad la protección al consumidor en los países de mayor adelanto tecnológico, tiene su fundamento en una política de calidad apoyada necesariamente en la normalización.

Por medio de una norma se establecen las características que deba satisfacer un material, artículo o producto para garantizar la aptitud para el uso al que está destinado y es por tanto, la primera ley de protección al consumidor.

Una norma, es el reflejo más fiel del avance tecnológico de un país. En la medida en que se cubran los requisitos de ésta, se irá mejorando. Al reestructurarse, se obtiene poco a poco una perfección, una mejora en los productos que abarca y que cubren los requerimientos mínimos de calidad indicados en ella.

Las normas aplicables a los interruptores en caja moldeada son los siguientes:

A) NACIONALES

I.4.1. CCONNIE.- Comité Consultivo Nacional de Normalización

de la Industria Eléctrica. Organización mexicana que promueve la creación de normas de interés nacional apoyada por dependencias gubernamentales y la iniciativa privada. Las normas creadas en el seno del CCONNIE son elaboradas por fabricantes, consumidores y representantes del gobierno y propuesta posteriormente para su aceptación oficial a través de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Las normas correspondientes a interruptores son:

NOM-J-266. Interruptores termomagnéticos en caja moldeada

NOM-J-265. Prueba de capacidad interruptiva para interruptores termomagnéticos.

NOM-J-273. Interruptores especiales en caja moldeada.

B) EXTRANJERAS

I.4.2. ANSI.- American National Standards Institute.

Organización que origina normas a nivel general en los Estados Unidos de Norteamérica, compuesta por más de 120 asociaciones comerciales, sociedades técnicas, grupos de profesionistas y organizaciones de consumidores.

I.4.3. UL.- Underwriters' Laboratories, Inc., Es una organización independiente, no lucrativa, de los Estados Unidos de Norteamérica, que prueba para preservar la seguridad pública. Su función es, a través del estudio, experimentación y pruebas, prevenir la pérdida de vidas y propiedades de los riesgos de incendios, accidentes y crímenes.

La norma correspondiente a interruptores es la UL 489.

- I.4.4. C E I.- Comissión Electrotechnique Internationale.- Organización internacional con sede en Ginebra Suiza cuyos comités técnicos, formados por representantes de comités nacionales de diversos países, expresan, tan fielmente como es posible, un concenso internacional de opinión en relación con las normas correspondientes.
- I.4.5. C S A.- Canadian Standards Association.- Es la autoridad que prueba y emite registros de cumplimiento con las normas que se emiten en Canada.
- I.4.6. N E M A.- National Electrical Manufacturers Association. Norma emitida por la asociación de fabricantes de equipo eléctrico de los Estados Unidos de Norteamérica, tendientes a propiciar las bases de entendimiento común dentro de la comunidad de consumo del equipo. La norma correspondiente a interruptores es la AB 1-1975.
- I.4.7. J I S.- Japanese Industrial Standard. Normas de la industria japonesa C8370-1977. Esta norma japonesa define a los interruptores en caja moldeada, como interruptores de protección contra sobrecorrientes, cuya corriente no exceda 2500 Amp., con una capacidad interruptiva no mayor de 200,000 Amperes RMS simétricos C.A. ó 100,000 Amperes de corriente directa, para ser utilizados en la protección de circuitos eléctricos cuyas tensiones no excedan de 600 VCA a 50 ó 60 Hz., ó 250 V C D

I.5. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

En la operación de los interruptores en caja moldeada, se aprovecha un sin número de principios y leyes fundamentales. La operación térmica por ejemplo hace uso del principio

de dilatación volumétrica por efecto de calentamiento de un bimetálico. Este calentamiento se consigue directamente (circulación de la corriente a través del bimetálico) o indirectamente (por inducción principalmente). Ver Fig. I.5.1.

El uso de una u otra forma se determina por la magnitud de la corriente de que se disponga, la relación que rige este efecto es la ley de Joule principalmente.

En la operación del elemento de disparo magnético, se aprovecha entre otros, los principios enunciados por las leyes de campo magnético de Faraday, Lenz, Biot-Savart y Ampere.

Dependiendo de la corriente de operación del interruptor, se tienen diferentes modos de funcionamiento del medio de disparo magnético, así, podrá utilizarse una bobina (si la corriente es baja) para aumentar la fuerza de atracción o hacerlo directamente por medio de un yugo magnético.

En general, el disparo se efectúa por la atracción de una parte móvil (armadura) por inducción magnética que es sostenida en una posición fija mediante un resorte.

Por lo expuesto anteriormente recordaremos las leyes fundamentales que intervienen en la operación de los interruptores en caja moldeada.

I.5.1. LEY DE COULOMB

La ley de Coulomb es básica para comprender el movimiento de partículas cargadas y resulta ser la base en que se fundamentan otras leyes más complicadas.

Esta ley fundamental se establece en la siguiente forma:

La fuerza eléctrica de atracción o repulsión que actúa sobre un par de cuerpos pequeños cargados y separados una

cierta distancia, obedece la siguiente relación:

$$F \propto q_1 q_2 / r^2$$

donde:

q_1 : carga del cuerpo 1

q_2 : carga del cuerpo 2

r^2 : distancia entre sus centros.

Dicha fuerza actúa a lo largo de la línea que une los centros de ambos cuerpos.

La distancia de separación debe ser mucho mayor que las dimensiones de los cuerpos.

En el sistema internacional de unidades la constante de proporcionalidad es:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon}$$

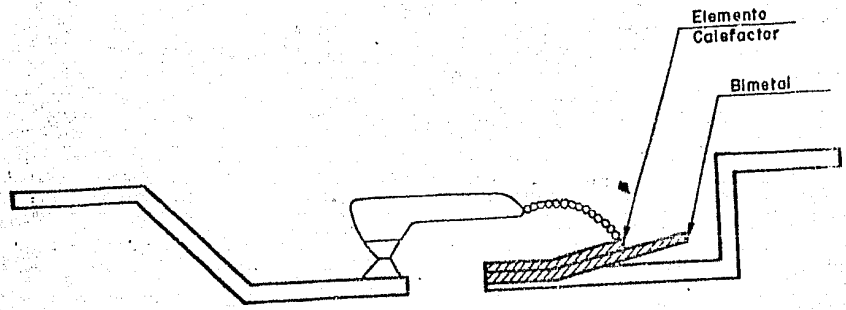
Siendo " ϵ " la permitividad del medio.

En el Sistema Internacional de Unidades, la fuerza se mide en Newton, la carga en coulombs y la distancia en metros; por lo cual las unidades de " ϵ " serán:

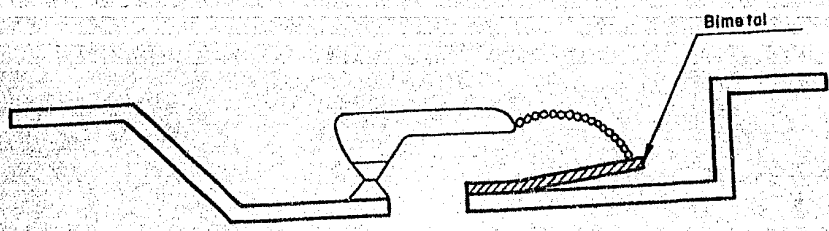
$$\frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

Experimentalmente se ha encontrado que la permitividad del vacío (aproximadamente igual a la del aire) es de $8.8541876 \times 10^{-12} [C^2/N \cdot m^2]$

Es común encontrar (en la bibliografía) permitividades relativas a la del vacío (siendo entonces adimensionales).



CALENTAMIENTO INDIRECTO DEL BIMETAL
(POR INDUCCION)



CALENTAMIENTO DIRECTO DEL BIMETAL

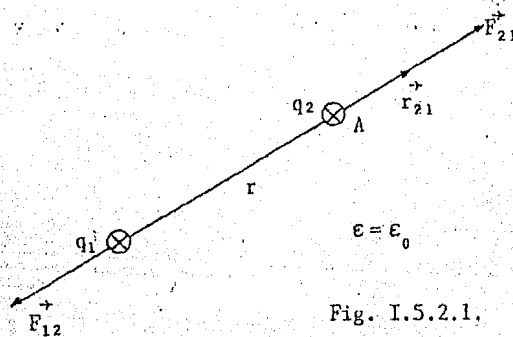
FIG. 1.5-1

I.5.2. CAMPO ELECTRICO

Si partimos del concepto de fuerza eléctrica derivado de la Ley de Coulomb, podemos definir una función vectorial de variable vectorial (definida para cada punto en el espacio), como: la fuerza "F" que experimenta un cuerpo por unidad de carga eléctrica, esto es:

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q}$$

Si desarrollamos la expresión (ver Fig. I.5.2.1.)



$$\vec{E}_a = \frac{\vec{F}_{21}}{q_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} \vec{r}_{12} \text{ en Newton/Coulomb}$$

La expresión anterior podrá tomar diferentes formas, dependiendo del sistema de coordenadas utilizado.

I.5.3. LEY DE OHM

Si aplicamos una diferencia de potencial variable entre los extremos de un alambre conductor, como por ejemplo, el cobre y para cada diferencia de potencial aplicada medimos la corriente i y realizamos una gráfica de ella en función de V como lo muestra la Fig. I.5.3.1. La línea recta que resulta significa que la resistencia de ese conductor es la misma cualquiera que sea el voltaje aplicado para medir la resistencia. Este resultado importantísimo en el uso de la electricidad y por tanto en el diseño de interruptores, se conoce como Ley de Ohm. Hay que hacer notar que este resultado sólo es válido para los conductores metálicos.

No todos los conductores obedecen la Ley de Ohm. La Fig. I.5.3.2, por ejemplo, muestra una gráfica $V-i$ para un tubo al vacío. La gráfica no es recta y la resistencia depende del voltaje usado para medirla. Otra observación que podemos realizar es que la corriente es casi nula si se invierte la polaridad de la diferencia de potencial aplicada. En cambio, para conductores metálicos sólo se invierte el sentido de la corriente, pero su magnitud no cambia.

La electrónica y gran parte de nuestra civilización tecnológica actual, depende de una manera fundamental del hecho de que muchos conductores, tales como el diodo, el transistor, no obedecen la Ley de Ohm.

Un conductor obedece la relación $V=iR$ en el caso de que la gráfica $V-i$ sea lineal, esto es, si R es independiente de V y de i .

El equivalente macroscópico de la relación $V=Ri$ es la ecuación, $E = J\rho$. Se dice que un material conductor obedece la Ley de Ohm si la gráfica de E en función de

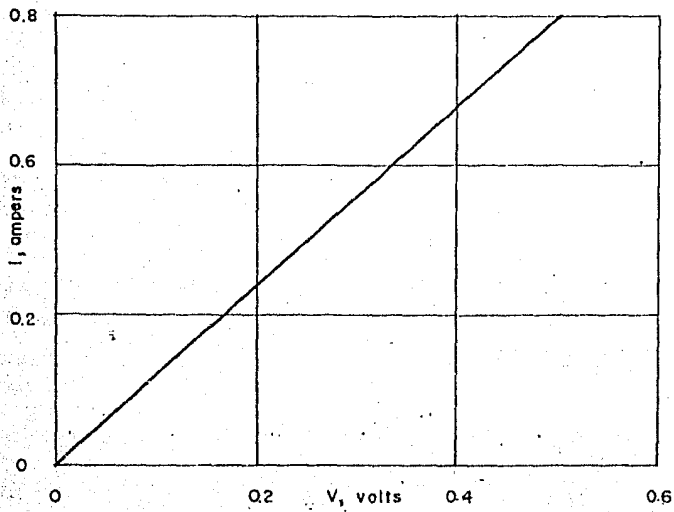


FIG. 1.5.3.1 LA CORRIENTE EN UN CIERTO CONDUCTOR DE COBRE EN FUNCIÓN DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL. ESTE CONDUCTOR OBEDECE A LA LEY DE OHM.

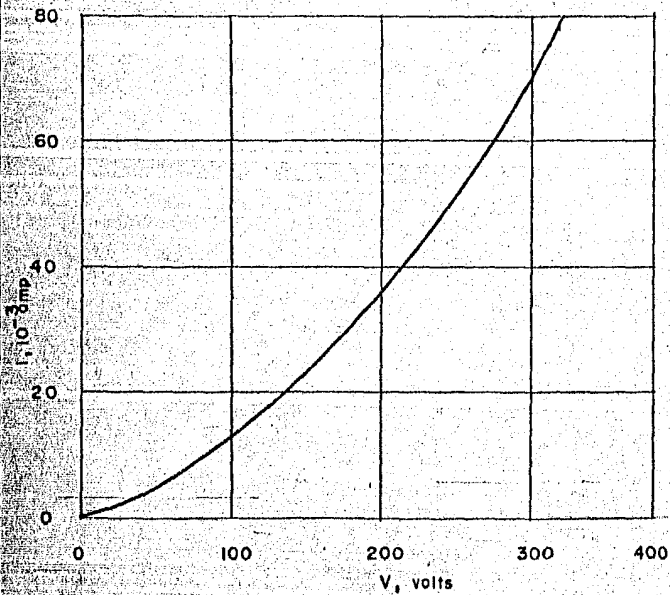


FIG. 1.5.3.2 LA CORRIENTE EN UN TUBO AL VACIO TIPO 2A3 EN FUNCIÓN DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL. ESTE CONDUCTOR NO OBEDECE A LA LEY DE OHM.

J es lineal, esto es, si la resistividad ρ es independiente de E y de J. La resistencia está relacionada con la resistividad ρ , que es una característica de un material y no de una muestra especial del material.

Consideremos un conductor cilíndrico de sección transversal A y longitud ℓ que lleva una corriente constante i. Si aplicamos una diferencia de potencial V entre sus extremos y las secciones transversales del cilindro son superficies equipotenciales, la intensidad del campo eléctrico y la densidad de corriente serán constantes en todos los puntos en el cilindro y tendrán los valores:

$$E = \frac{V}{\ell} \quad \text{y} \quad J = \frac{i}{A}$$

La resistividad ρ puede escribirse entonces así:

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/\ell}{i/A} \quad \text{de manera que se obtiene:}$$

$$R = \frac{\ell}{A}$$

V, i y R son cantidades macroscópicas, que se aplican a un cuerpo en particular. Las cantidades microscópicas correspondientes son E, J, ρ ; éstas tienen sus valores particulares en cada punto de un cuerpo.

Las cantidades macroscópicas V, i y R son de interés primordial cuando efectuamos mediciones eléctricas en objetos conductores reales. Son las cantidades que se leen en los medidores. Las cantidades microscópicas son de importancia primordial cuando nos ocupamos del comportamiento fundamental de la materia, como ocurre en la física del estado sólido.

Las cantidades macroscópicas se pueden encontrar por integración de las cantidades microscópicas usando las relaciones ya dadas, a saber:

$$i = \int J \cdot ds \quad V_{ab} = - \int_a^b E \cdot d\ell$$

La integral de la i es una integral de superficie que se debe obtener en una sección transversal del conductor. La integral de V es una integral de línea que se debe efectuar siguiendo una línea arbitraria trazada a lo largo del conductor, uniendo dos superficies equipotenciales cualesquiera, designadas a y b . La resistencia de un conductor entre a y b puede expresarse en términos microscópicos dividiendo las dos ecuaciones miembro a miembro así:

$$R = \frac{V_{ab}}{i} = \frac{-\int_a^b E \cdot d\ell}{\int J \cdot ds}$$

Si el conductor es un cilindro largo de sección transversal A y longitud ℓ y si los puntos a y b están en sus extremos, la anterior ecuación de R se reduce a:

$$R = \frac{E\ell}{JA} = \rho \frac{\ell}{A}$$

1.5.4 LEY DE JOULE

Es necesario que sea considerado como factor para el diseño (para garantizar que la elevación de temperatura no rebase los límites de diseño) la Ley de Joule. Esta ley nos permite calcular la cantidad de energía que es posible disipar a través de un elemento resistivo por el que circula una corriente.

En un tiempo dt la energía dU transformada al circular una corriente a través de un elemento cualquiera esta dada por la ecuación:

$$dU = dq V_{ab} = idtV_{ab}$$

Esta ecuación se aplica a la transmisión de energía

eléctrica de todas las clases; si el artefacto por el que circula una corriente es una resistencia, se puede asegurar que la energía aparece como calor en la resistencia.

En una escala microscópica este calor puede interpretarse considerando que los choques entre los electrones y la red aumentan la amplitud de las vibraciones térmicas de la red, en cambio, en una escala macroscópica esto corresponde a un aumento de temperatura.

Este efecto, que desde el punto de vista termodinámico es irreversible, se llama calentamiento por efecto joule.

Combinando la ecuación anterior con la Ley de Ohm obtenemos:

$$P = i^2 R \text{ o bien } P = V^2 / R$$

Nótese que las dos últimas ecuaciones se aplican solamente a la transformación de energía eléctrica en energía calorífica en una resistencia.

Esta ley es una manera particular de escribir el principio de la conservación de la energía para el caso especial en el cual la energía eléctrica se transforma en energía calorífica.

La unidad de potencia que se deduce de las ecuaciones anteriores es el Volt-Amp. que es igual a joules/seg. que es una unidad tan común que ha recibido un nombre propio especial; el Watt.

I.5.5. CAMPO MAGNETICO

Se plantea la posibilidad de este tipo de campo, en forma semejante a las leyes de gravitación y campo eléctrico.

Una carga eléctrica en movimiento dentro de un campo magnético establece:

$$\vec{F}_m \propto \vec{V}$$

También:

$$\vec{F}_m \propto q$$

Así pues, si definimos a \vec{B} como la densidad de flujo magnético, tendremos:

$$\vec{F}_m \propto \vec{B}$$

Finalmente:

$$\vec{F}_m \propto q\vec{V}\vec{B}$$

$$\vec{F}_m = q\vec{V} \times \vec{B}$$

Si en la región donde se mueve la carga eléctrica, existe además un campo eléctrico tendremos:

$$\vec{F}_{em} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$

$$\vec{F}_{em} = q(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B})$$

(Conocida esta última expresión como la fuerza de Lorentz)

I.5.6. LEY DE AMPERE

Básicamente esta ley se emplea para el cálculo del campo magnético producido por corrientes magnéticas en aquellos casos que por sus características de simetría, permiten elegir una trayectoria de integración que facilita la integral correspondiente.

La integración a través de una trayectoria cerrada, del vector campo magnético debe ser igual a la suma algebraica de la corriente que atraviesa dicha trayectoria, esto es:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_n$$

Donde:

$$I_n = \sum_{j=1}^n I_j$$

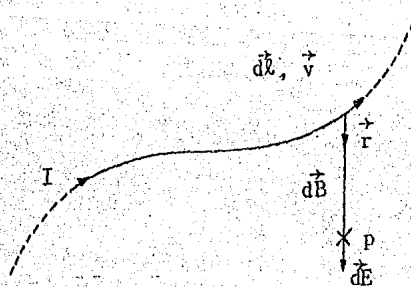
Para este campo no es posible definir potenciales magnéticos, debido a que B es un campo conservativo como se demuestra al observar que su rotacional es diferente de cero:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

I.5.7. LEY DE BIOT-SAVART

Esta Ley fundamental nos es útil para calcular el campo magnético producido por una corriente que fluye por un conductor.

Sea un conductor como el mostrado en la Fig. I.5.7.1



La expresión de la Ley de Biot-Savart es:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^2}$$

Para nuestro caso emplearemos ciertas restricciones

que nos simplifican la fórmula para el caso de un conductor recto muy largo (Fig. I.5.7.2).

Siendo "a" la distancia perpendicular desde el conductor:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

La dirección de este campo es conforme a la "Regla de la mano derecha" (ver Fig. I.5.7.3.)

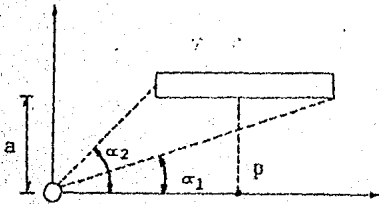


Fig. I.5.7.2.

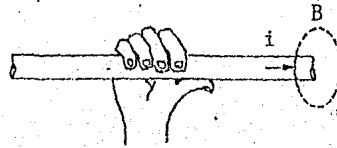


Fig. I.5.7.3.

I.5.8. LEY DE FARADAY

Un caso particular de los interruptores en caja moldeada son aquellos en los cuales no es posible aplicar directamente la corriente a los elementos térmico y magnético debido a los valores de corriente que forzarían al diseño de un equipo sumamente robusto. Por esta razón, en dichos interruptores es utilizado un método indirecto para habilitar a tales elementos, es aquí en donde tienen su aplicación la Ley de inducción de Faraday; ya que al inducir una corriente en una bobina, provocada por un flujo variable, se disminuye la corriente siendo posible la operación del bimetálico, con valores de corriente relativamente bajas, siempre que la tensión no exceda de los límites de seguridad permitidos.

La Ley de inducción de Faraday dice que la fuerza electromotriz inducida en un circuito es igual al valor negativo de la rapidez con la cual está cambiando el flujo que atraviesa el circuito.

$$\epsilon = - \frac{d\Phi_b}{dt}$$

El signo negativo es una indicación del sentido de la fem inducida, si la ecuación anterior se aplica a una bobina de N vueltas aparece una fem en cada vuelta y esas fems se tienen que sumar. Si las bobinas tienen sus espiras bien apretadas que puedan considerarse que todas ellas ocupan la misma región del espacio, el flujo que atraviesa cada espira será entonces el mismo.

Entonces la fem inducida en todos estos dispositivos está dada por la siguiente ecuación:

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi_b}{dt} = - \frac{d(N\Phi_b)}{dt}$$

Como la rapidez del cambio de flujo está en weber/seg., la fem estará en volts.

I.5.9. LEY DE LENZ

La Ley de Lenz se refiere a las corrientes inducidas por lo que sólo se aplica a circuitos cerrados.

El principio de conservación de la energía toma la forma de la Ley de Lenz que nos dice que la corriente inducida aparece en una forma tal que se opone a la causa que lo produce. El signo menos en la Ley de Faraday sugiere esta oposición.

1.6. CONTACTOS

Una perfecta operación de los contactos eléctricos es vital para que, a su vez, operen con éxito infinidad de dispositivos eléctricos; desde los diminutos relevadores de transistores, que manejan microamperes hasta los grandes interruptores de potencia, los cuales interrumpen muchos miles de amperes.

Al efectuar la selección de contactos, es necesario considerar la composición de los materiales que los constituyen (ver capítulo III), así como los problemas que se presentan durante la operación, a fin de estar prevenidos contra ellos.

Los mayores problemas en la operación son:

- a) Resistencia de contacto
- b) Erosión
- c) Transferencia
- d) Soldado o adherencia.

a) Resistencia de contacto

La resistencia a través de un par de contactos, cuando éstos están cerrados, se compone de una resistencia óhmica, una resistencia de constricción y una resistencia de película.

La resistencia óhmica es una función de la resistencia específica y de la geometría del contacto, y generalmente constituye un factor sólo en aquellas aplicaciones en que existe una corriente alta.

Quando dos contactos se cierran, únicamente hacen contacto en un área muy pequeña del total de sus superficies. La resistencia causada por esta aglomeración de corriente a través de un área tan pequeña es llamada la resistencia de constricción y es una parte muy importan

te dentro de la resistencia total. Esta varía según la fórmula:

$$R_c = K\rho\sqrt{H/F}$$

Donde: H = Dureza de contacto

F = Fuerza para mantener los contactos cerrados

ρ = Resistencia específica del material

K = Constante

La resistencia de constricción puede controlarse seleccionando un contacto con la resistencia específica y dureza adecuadas y usando la fuerza necesaria para cerrar los contactos.

La resistencia de película se origina cuando se forman en la cara del contacto capas no conductoras o semiconductoras. Estas resultan de la presencia de óxidos, corrosión, suciedad o aceite. La resistencia de la película puede reducirse seleccionando los metales más nobles y tratando de mantenerlos lo más limpios posible. Los contactos para trabajo ligero que conducen corrientes del orden de los microamperes y los miliamperes son susceptibles a problemas de resistencia de la película y desarrollan resistencias altas y variables que producen ruidos. En algunos casos las películas cortan completamente la conducción de corriente a través de los contactos. En dispositivos de corrientes altas, la resistencia de contacto contribuye al calor generado en los contactos y definido por la expresión I^2R , que es un factor determinante de la cantidad de corriente que estos pueden manejar. Cuando los contactos deben transportar altas corrientes durante largo tiempo, son

características importantes una alta conductividad eléctrica y térmica y una alta resistencia a la oxidación superficial.

b) Erosión

La erosión eléctrica se debe al arqueo en los contactos. La energía del arco calienta la superficie del contacto hasta el punto de ebullición causando pérdidas de metal por vaporización en ambos contactos. En arcos pequeños, gran parte del metal se deposita nuevamente en la superficie del contacto, pero en grandes corrientes, los arcos son más largos y tienen una temperatura más alta perdiéndose mucho material de la superficie de los mismos. La mayor energía se presenta en las cercanías del contacto positivo; por esto se mantiene a mayor temperatura, perdiendo así más material de su superficie que el contacto negativo.

En circuitos de corriente directa es aconsejable abrir los contactos lo más rápidamente posible dejando un orificio lo suficientemente grande para interrumpir el arco. Esto reducirá el tiempo de arco, limitando su energía y el daño del contacto. En circuitos de corriente directa se emplean dispositivos de sople magnético o interruptores múltiples para suprimir el arco.

En circuitos de corriente alterna, el arco se extinguirá en el primer paso por cero de la corriente. De esta manera, la erosión de los contactos será mínima, siempre que la velocidad de apertura no permita la re-ignición del arco. Los puntos de ebullición, calores específicos altos y altas conductividades térmicas son las características metalúrgicas más importantes para mantener una erosión baja.

c) Transferencia

La transferencia es el paso del material de un contacto a otro. Esto deja una cavidad en la superficie de uno de los contactos y forman un montículo en el contacto contrario. El fenómeno que origina la transferencia está relacionado con la polaridad del circuito; por consiguiente, esto ocurre más comunmente en los circuitos de corriente directa. La transferencia puede ocurrir en dos direcciones: al contacto negativo o al contacto positivo. La transferencia negativa ocurre cuando los contactos están operando sin arqueo, es decir, durante la conducción. Cuando los contactos se separan, la resistencia de contacto aumenta rápidamente debido a que la fuerza de contacto disminuye; la temperatura causada por I^2R provoca que la última sección del contacto que se separa se calienta al punto de fusión y ebullición. Se forma un puente de metal fundido entre los dos contactos y las diferencias de temperatura y el proceso de ruptura provocan que el metal emigre y forme un montículo en la cara del contacto negativo. El grado de transferencia se incrementa con el aumento de corriente. Cuando los contactos arquean al abrir el circuito debido a altos voltajes, existe la tendencia a transferir metal hacia el contacto positivo. Si este fenómeno es de mayor influencia que el causado por la transferencia negativa, el resultado será la formación de un montículo de metal en la cara del contacto positivo.

La transferencia positiva deberá controlarse usando circuitos con supresión de arco, tales como condensadores, resistencia o rectificadores, usándolos solos o combinados y además variando la velocidad de apertura de los contactos. La transferencia negativa puede ser controlada con la adición de inductancia en el circuito o reduciendo la flexibilidad de los dispositivos, con lo cual se dismi-

c) Transferencia

La transferencia es el paso del material de un contacto a otro. Esto deja una cavidad en la superficie de uno de los contactos y forman un montículo en el contacto contrario. El fenómeno que origina la transferencia está relacionado con la polaridad del circuito; por consiguiente, esto ocurre más comunmente en los circuitos de corriente directa. La transferencia puede ocurrir en dos direcciones: al contacto negativo o al contacto positivo. La transferencia negativa ocurre cuando los contactos están operando sin arqueo, es decir, durante la conducción. Cuando los contactos se separan, la resistencia de contacto aumenta rápidamente debido a que la fuerza de contacto disminuye; la temperatura causada por I^2R provoca que la última sección del contacto que se separa se calienta al punto de fusión y ebullición. Se forma un puente de metal fundido entre los dos contactos y las diferencias de temperatura y el proceso de ruptura provocan que el metal emigre y forme un montículo en la cara del contacto negativo. El grado de transferencia se incrementa con el aumento de corriente. Cuando los contactos arquean al abrir el circuito debido a altos voltajes, existe la tendencia a transferir metal hacia el contacto positivo. Si este fenómeno es de mayor influencia que el causado por la transferencia negativa, el resultado será la formación de un montículo de metal en la cara del contacto positivo.

La transferencia positiva deberá controlarse usando circuitos con supresión de arco, tales como condensadores, resistencia o rectificadores, usándolos solos o combinados y además variando la velocidad de apertura de los contactos. La transferencia negativa puede ser controlada con la adición de inductancia en el circuito o reduciendo la flexibilidad de los dispositivos, con lo cual se dismi-

nuye el calor generado por la I^2R al desconectarse el aparato.

Para resistir la transferencia en los metales, son propiedades convenientes y deseables altos puntos de fusión y ebullición y altas conductividades térmica y eléctrica. La plata fina resiste mejor la transferencia que muchas aleaciones de plata. El tungsteno, con su alto punto de fusión y ebullición, es muy resistente a la transferencia y es usado en los sistemas de ignición de automóviles, en los reguladores de voltaje y en muchos otros circuitos de corriente directa.

d) Soldado o adherencia

El soldado de los contactos es causado principalmente por el arqueo que funde el metal sobre la superficie de contacto. Cuando este se cierra, el metal fundido se enfria y los contactos se sueldan. Los contactos pueden soldarse también por un proceso similar a la soldadura a tope, en la que el calor generado por el I^2R causa la fusión y mezcla de los metales.

El rebote entre contactos puede causar que se suelden, lo que puede reducirse evitando el rebote excesivo, suprimiendo las corrientes súbitas, teniendo una gran fuerza de cierre para reducir la resistencia de contacto, incrementando las fuerzas de apertura y seleccionando el material adecuado.

La plata fina tiene una tendencia menor al soldado que muchas de las aleaciones de plata. Esto puede atribuirse a su alta conductividad térmica y eléctrica y, en muchos casos a su punto de fusión más alto. Los materiales de plata con semirefractarios tienen una tendencia menor al soldado que la plata fina y resisten el soldado en aplicaciones en que se manejan altas corrientes.

I.7. PRINCIPIOS DE EXTINCION DE ARCO

A) NATURALEZA DEL ARCO ELECTRICO

En el presente análisis se hace un estudio del principio de extinción de arco, por la importancia de este fenómeno en el instante de separación de los contactos.

El Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica, propone la siguiente definición para el arco eléctrico: "fenómeno de descarga a través de un gas, caracterizado por una concentración de la columna conductora y una mancha catódica de fuerte emisión foto y termo eléctrica y poseyendo una característica tensión corriente decreciente".

La conductividad gaseosa de la columna se debe a la ionización producto de la expulsión de uno o más electrones de un átomo o de una molécula. Bajo el efecto de la ionización, los átomos y moléculas de un gas neutro son disociados en electrones libres con cargas negativas y en iones positivos.

La ionización de un átomo requiere de cierta energía (9.5 eV y 5.1 eV para disociar una molécula de N₂ ó O₂, respectivamente) energía que puede ser cedida en diferentes formas.

Un átomo o una molécula neutra puede ser igualmente ionizada por efecto de choques o colisión provocada por un electrón o un ión libre animado de una gran velocidad debida, por ejemplo, a la acción de un campo eléctrico. Este proceso recibe el nombre de ionización por choque.

Para producir y mantener un arco, es necesario disponer de una fuente de electrones. El cátodo es el que suministra la emisión electrónica. En un conductor existen siempre electrones libres que se desplazan de moléculas en moléculas.

Cuando estas llegan a la superficie tienden a salir del conductor pero al franquear dicha superficie dejan en éste una carga positiva equivalente cuya acción los retiene.

Es así que todo conductor en estado neutro se encuentra rodeado de una atmósfera de electrones a la cual corresponde una capa de iones positivos en el interior de la superficie.

En la práctica, la energía que requieren los electrones para emerger el electrodo puede ser obtenida de diferentes maneras.

Al aumentar la temperatura de un conductor se provoca un incremento de energía cinética del electrón. En este caso se dice que hay una emisión termiónica. La intensidad de esa emisión depende de la naturaleza del conductor y crece rápidamente con la temperatura. Si el conductor se encuentra localizado en el vacío, existe un campo eléctrico que absorbe los electrones a medida que estos abandonan el metal, en este momento podremos medir la intensidad de esa emisión.

Otra forma de extraer electrones de un conductor es mediante la emisión fotoiónica, que consiste en exponer el conductor a radiaciones luminosas.

Finalmente una emisión electrónica puede ser provocada por bombardeo del conductor cuando un ión a gran velocidad choca contra una superficie, esta emite un electrón, a esa emisión se le llama secundaria.

En el caso del arco eléctrico estas diferentes formas de emisión existen simultáneamente. La zona incandescente en el medio es necesaria para el mantenimiento del arco.

El arco eléctrico tiene un aspecto de una columna gaseosa incandescente, siguiendo una trayectoria aproximadamente

rectilínea entre los electrodos. De hecho, localizado horizontalmente en el aire se desvía hacia arriba por efecto de la corriente de aire térmico que él mismo crea, siendo esto lo que le dá su nombre.

B) EXTINCION DEL ARCO ELECTRICO

El arco eléctrico se inicia, al momento de la separación de los contactos desde ese instante el arco eléctrico se levanta. El arco en un cuerno de arqueo tiende a subir. La cámara de extinción, que realiza un papel importante para la extinción del arco, consta de un grupo de placas metálicas aisladas eléctricamente. Estas placas tienen una pequeña inclinación entre ellas, la cual se incrementa gradualmente para las placas superiores. La geometría de las placas hace que el arco induzca un campo magnético en éstas, atrayendo el arco hacia estas. El arco al alcanzar las placas se dividen en pequeños subarcos entre las placas. Cada uno de estos subarcos tiene a dos placas adyacentes como electrodos, teniendo cada uno de ellos caída de potencial entre cátodo y ánodo. Ambas incrementan el voltaje que el subarco requiere.

Durante el intervalo de la corriente de valor cero los subarcos son desionizados, de tal manera que cada espacio requiere un voltaje muy elevado para reiniciar el arco.

Con objeto de alcanzar un factor de seguridad, la cámara de extinción de arco está provista de un cierto número de placas, de tal forma que a cada espacio le corresponde cerca de 100 V pico de reignición.

El utilizar una cámara de arqueo ofrece las siguientes ventajas:

- a) Rápidez de extinción de arco
- b) Minimizar desgaste de los contactos

Cuando estas llegan a la superficie tienden a salir del conductor pero al franquear dicha superficie dejan en éste una carga positiva equivalente cuya acción los retiene.

Es así que todo conductor en estado neutro se encuentra rodeado de una atmósfera de electrones a la cual corresponde una capa de iones positivos en el interior de la superficie.

En la práctica, la energía que requieren los electrones para emerger el electrodo puede ser obtenida de diferentes maneras.

Al aumentar la temperatura de un conductor se provoca un incremento de energía cinética del electrón. En este caso se dice que hay una emisión termoiónica. La intensidad de esa emisión depende de la naturaleza del conductor y crece rápidamente con la temperatura. Si el conductor se encuentra localizado en el vacío, existe un campo eléctrico que absorbe los electrones a medida que estos abandonan el metal, en este momento podremos medir la intensidad de esa emisión.

Otra forma de extraer electrones de un conductor es mediante la emisión fotoiónica, que consiste en exponer el conductor a radiaciones luminosas.

Finalmente una emisión electrónica puede ser provocada por bombardeo del conductor cuando un ión a gran velocidad choca contra una superficie, esta emite un electrón, a esa emisión se le llama secundaria.

En el caso del arco eléctrico estas diferentes formas de emisión existen simultáneamente. La zona incandescente en el medio es necesaria para el mantenimiento del arco.

El arco eléctrico tiene un aspecto de una columna gaseosa incandescente, siguiendo una trayectoria aproximadamente

c) Incremento de la capacidad interruptiva del interruptor.

En interruptores de baja capacidad interruptiva (5000 Amp., RMS. Sim.) generalmente no es necesario el uso de las cámaras de arqueo, pero en interruptores de capacidad superior a la mencionada, es indispensable.

Para finalizar, es conveniente hacer una distinción básica entre la interrupción de un circuito de corriente alterna y un circuito de corriente directa. En el segundo no existe pausas en cero en los valores 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.

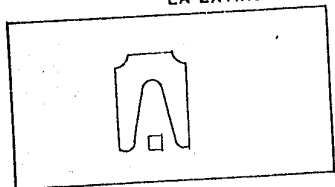
En el caso de corriente alterna, los valores cero de corriente ocurren naturalmente y es necesario tan sólo prevenir la reignición del arco después de una corriente cero. Por esto último, la desionización en la corriente cero natural es de vital importancia.

El arco eléctrico puede ser evitado si los contactos se abren exactamente en un valor de corriente igual a cero.

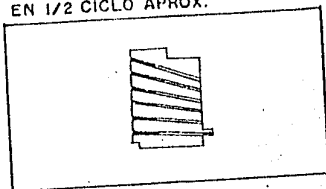
CAMARA DE ARQUEO

53.

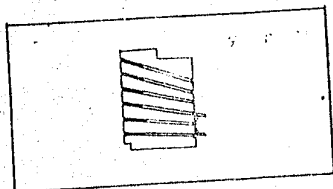
PRINCIPIO DE IONIZADOR PARA LA EXTINCION
DEL ARCO.
LA EXTINCION DEL ARCO SE EFECTUA EN 1/2 CICLO APROX.



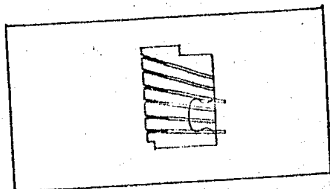
PLACAS PARALELAS DE ACERO
RODEANDO LOS CONTACTOS MO-
VILES Y ESTACIONARIOS.



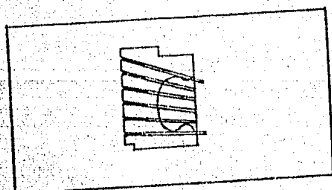
CONTACTOS CERRADOS



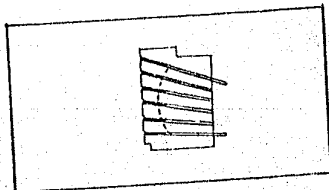
APERTURA DE LOS CONTACTOS
Y FORMACION DEL ARCO.



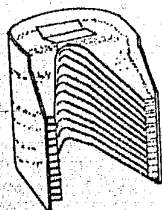
ELONGACION DEL ARCO HACIA
LA CAMARA DE ARQUEO



EL ARCO ANTES DE ROMPERSE



EL ARCO SE SECCIONA, SE ENFRIA
Y SE EXTINGUE



LOS EXTINGUIDORES DE ARCO
REDUCEN LA EROSION DE LOS
CONTACTOS A LA VEZ QUE
PROPORCIONAN ALTA CAPACI-
DAD INTERRUPTIVA.

EL ARCO SE DIVIDE Y SE ENFRIA
PROPIAMENTE EN LOS EXTIN-
GUIDORES DE ARCO Y NO EN LA
SUPERFICIE DE LOS CONTACTOS.

CAPITULO II

PARAMETROS DE DISEÑO

II. PARAMETROS DE DISEÑO

II.1. ELECTRICOS

II.1.1. Cálculo de partes conductoras

Las partes conductoras en los interruptores en caja moldeada son barras de cobre electrolítico (en algunos casos aleaciones de cobre-cadmio); conectores flexibles de cobre y zapatas terminales de aluminio

Existen varios aspectos que se deben tomar en cuenta para diseñar dichas partes conductoras, como son: limitaciones económicas, funcionalidad, facilidad de ensamble y fabricación, requerimientos particulares del diseño y desde luego, las normas técnicas aplicables.

En la actualidad, para el diseño de las barras conductoras (terminales conductoras) se cuenta con tablas proporcionadas por los propios fabricantes de dichas barras conductoras en las cuales se presentan las ampacidades para diferentes barras de varias secciones (ver tabla II.1.1.1.). Así pues, tomando como base los aspectos particulares de un diseño, así como las condiciones a las que se verá sometido dicho interruptor (corriente nominal de operación y elevación máxima permisible en las terminales conductoras), y refiriéndose a la tabla II.1.1.1. es posible determinar las terminales conductoras adecuadas.

Como ejemplo, tomemos el caso de un interruptor del cual se requiere conocer la sección transversal óptima de sus terminales conductoras, tomando en cuenta los siguiente:

La corriente nominal (i) del interruptor será de 400 amperes; la elevación máxima de temperatura permisible en dichas terminales conductoras es de 30°C sobre una

Tabla II.1.1.1.- COBRE DE ALTA CONDUCTIVIDAD, BARRA RECTANGULAR

55

Tamaño Pulg.	Area Sec. Transversal Pulg. ² Cir. Mils Miles		Peso Libras por pies	Alrededor X-X del pivote			Alrededor Y-Y del pivote			Resistencia D.C. Microhm por pies a 20°C Max (a)	60 ciclos ca pacidad de corriente Amps. (c). 30°C Rizo 65°C Rizo.		
	Momento de Inercia Pulg. ⁴	Sección Módulo Pulg. ³		Radio de Giro Pulg.	Momento de Inercia Pulg. ⁴	Sección Módulo Pulg. ³	Radio de Giro Pulg.	Efecto piel ratio (b)	30°C Rizo		65°C Rizo.		
1/8 x 1/8	0.1094	139.3	0.4226	0.006978	0.01595	0.2526	0.0001424	0.002779	0.03608	76.46	1.00	220	360
1/8 x 1	0.125	159.2	0.4830	0.01042	0.02083	0.2887	0.0001628	0.002701	0.03608	66.90	1.00	240	400
1/8 x 1 1/2	0.1875	238.7	0.7245	0.03516	0.04688	0.4330	0.0002441	0.003206	0.03608	44.60	1.01	340	560
1/8 x 2	0.25	318.3	0.9660	0.08333	0.08333	0.5774	0.0003255	0.005208	0.03608	33.45	1.02	440	720
1/8 x 2 1/2	0.3125	397.9	1.208	0.1628	0.1302	0.7217	0.0004069	0.006510	0.03608	26.76	1.02	530	880
1/4 x 1/2	0.125	159.2	0.4830	0.007604	0.01042	0.1443	0.0006510	0.005208	0.07217	66.90	1.00	210	350
1/4 x 3/4	0.1875	238.7	0.7245	0.008789	0.02344	0.2165	0.0009766	0.007813	0.07217	44.60	1.01	290	470
1/4 x 1	0.25	318.3	0.9660	0.02083	0.04167	0.2887	0.001302	0.01042	0.07217	33.45	1.02	360	590
1/4 x 1 1/4	0.3125	397.9	1.208	0.04069	0.06510	0.3608	0.001628	0.01302	0.07217	26.76	1.02	430	710
1/4 x 1 1/2	0.375	477.5	1.649	0.07031	0.09375	0.4330	0.001953	0.01563	0.07217	22.30	1.03	500	820
1/4 x 1 3/4	0.4375	557.0	2.090	0.1117	0.1276	0.5052	0.002279	0.01823	0.07217	19.11	1.04	560	930
1/4 x 2	0.5	636.6	2.532	0.1667	0.1667	0.5774	0.002604	0.02083	0.07217	16.23	1.04	630	1050
1/4 x 2 1/4	0.625	795.8	3.245	0.2325	0.2325	0.7217	0.002955	0.02604	0.07217	13.36	1.05	750	1250
1/4 x 3	0.75	954.9	3.898	0.3625	0.3750	0.8660	0.003306	0.03125	0.07217	11.15	1.07	860	1450
1/4 x 3 1/2	0.875	1114	4.541	0.4922	0.501	1.010	0.003657	0.03646	0.07217	9.56	1.09	990	1650
1/4 x 4	1	1273	5.184	0.622	0.6667	1.155	0.004008	0.04167	0.07217	8.36	1.10	1100	1850
1/4 x 5	1.25	1592	6.483	0.864	1.012	1.443	0.004308	0.05208	0.07217	6.69	1.14	1100	2200
1/4 x 6	1.5	1910	7.782	1.104	1.500	1.732	0.004610	0.06250	0.07217	5.58	1.17	1520	2550
1/4 x 8	2	2546	10.37	1.667	2.000	2.309	0.005012	0.08333	0.07217	4.18	1.22	1970	3250
1/4 x 10	2.5	3182	12.96	2.230	2.667	2.887	0.005414	0.1042	0.07217	3.34	1.25	2400	3950
1/4 x 12	3	3819	15.55	2.800	3.464	3.464	0.005816	0.1250	0.07217	2.79	1.29	2830	4600
3/8 x 3/4	0.2813	358.1	1.087	0.01318	0.02516	0.2165	0.003296	0.01758	0.1083	29.73	1.02	370	610
3/8 x 1	0.375	477.5	1.449	0.02125	0.04250	0.2887	0.004395	0.02344	0.1083	22.30	1.03	460	750
3/8 x 1 1/4	0.4688	596.8	1.811	0.04104	0.09766	0.3608	0.005493	0.02930	0.1083	17.84	1.04	540	890
3/8 x 1 1/2	0.5625	716.2	2.174	0.1055	0.1406	0.4330	0.006592	0.02516	0.1083	14.87	1.05	620	1050
3/8 x 1 3/4	0.6563	835.6	2.536	0.1675	0.1914	0.5052	0.007690	0.04102	0.1083	12.74	1.06	700	1150
3/8 x 2	0.75	954.9	2.898	0.2500	0.2500	0.5774	0.008789	0.04688	0.1083	11.15	1.07	770	1300
3/8 x 2 1/4	0.9375	1194	3.623	0.3883	0.3926	0.7217	0.01099	0.05859	0.1083	8.92	1.10	920	1550
3/8 x 3	1.125	1432	4.347	0.5283	0.5625	0.8660	0.01318	0.07031	0.1083	7.43	1.12	1000	1750
3/8 x 4	1.5	1910	5.796	0.800	1.000	1.155	0.01758	0.09375	0.1083	5.58	1.17	1420	2200
3/8 x 5	1.875	2387	7.245	1.096	1.563	1.443	0.02197	0.1172	0.1083	4.41	1.22	1580	2750
3/8 x 6	2.25	2865	8.694	1.392	2.250	1.732	0.02637	0.1406	0.1083	3.68	1.25	1820	3100
3/8 x 8	3	3819	11.59	1.600	4.000	2.309	0.03516	0.1875	0.1083	2.76	1.31	2360	3600
3/8 x 10	3.75	4774	14.49	2.125	6.250	2.887	0.04395	0.2344	0.1083	2.21	1.35	2850	4700
3/8 x 12	4.5	5728	17.39	2.650	9.000	3.464	0.05273	0.2812	0.1083	1.84	1.39	3460	5400
1/2 x 1	0.5	636.6	1.932	0.04167	0.08333	0.2887	0.01012	0.04167	0.1443	16.56	1.04	550	910
1/2 x 1 1/4	0.625	795.8	2.415	0.06138	0.1302	0.3608	0.01302	0.05208	0.1443	13.24	1.05	630	1050
1/2 x 1 1/2	0.75	954.9	2.898	0.1106	0.1875	0.4330	0.01563	0.06250	0.1443	11.04	1.07	710	1200
1/2 x 2	1	1273	3.864	0.1333	0.3333	0.5774	0.02083	0.08333	0.1443	8.28	1.10	800	1500
1/2 x 2 1/4	1.25	1592	4.820	0.6510	0.5208	0.7217	0.02604	0.1042	0.1443	6.62	1.15	1070	1800
1/2 x 3	1.5	1910	5.796	1.125	0.7500	0.8660	0.03125	0.1250	0.1443	5.52	1.18	1310	2050
1/2 x 4	2	2546	7.728	2.667	1.333	1.155	0.04167	0.1667	0.1443	4.14	1.24	1540	2550
1/2 x 5	2.5	3183	9.660	3.208	2.083	1.443	0.05208	0.2083	0.1443	3.31	1.28	1760	3050
1/2 x 6	3	3820	11.59	4.000	3.000	1.732	0.06250	0.2500	0.1443	2.76	1.33	2000	3500
1/2 x 8	4	5092	15.46	5.133	5.333	2.309	0.08333	0.3333	0.1443	2.07	1.38	2620	4400
1/2 x 10	5	6365	19.32	6.167	8.333	2.887	0.1042	0.4167	0.1443	1.66	1.43	3100	5300
1/2 x 12	6	7638	23.18	7.200	12.00	3.464	0.1250	0.5000	0.1443	1.38	1.48	3730	6100
3/4 x 4	3	3819	11.59	4.000	2.000	1.155	0.1406	0.3750	0.2165	2.76	1.39	1740	3000
3/4 x 6	4.5	5728	17.39	5.500	4.500	1.732	0.2109	0.5625	0.2165	1.84	1.48	2370	4100
3/4 x 8	6	7638	23.18	7.000	8.000	2.309	0.2812	0.7500	0.2165	1.38	1.56	3040	5100
3/4 x 10	7.5	9548	28.98	8.500	12.50	2.887	0.3516	0.9375	0.2165	1.10	1.62	3710	6200
3/4 x 12	9	11457	34.78	10.000	18.00	3.464	0.4219	1.125	0.2165	0.92	1.66	4370	7100

temperatura ambiente de 40°C (este dato puede ser obtenido como limitante por alguna norma oficial). Finalmente como en todo diseño de ingeniería, es necesario que sea obtenida la sección más económica y que satisfaga, a su vez, los requisitos preestablecidos.

Tomando como base la tabla mencionada anteriormente para cobre de alta conductividad observamos que se tienen dos valores próximos a 400 A para elevación de temperatura de 30°C, cuya sección y área trasversal son:

440A	1/8 x 2 [pulg]	.25 [pulg ²]
430A	1/4 x 1 1/4 [pulg]	.3125 [pulg ²]

Con cualquiera de las dos opciones es posible cubrir los requisitos, sin embargo, si se analiza cuidadosamente, observaremos que a pesar de que la primera opción presenta una menor sección (ahorro en material), a su vez sus dimensiones producirán un diseño de mayor tamaño para el interruptor, incrementando con ello las condiciones finales del interruptor.

Es necesario entonces realizar un estudio comparativo entre las dos opciones tomando en cuenta:

- Costo de manufactura (de la terminal)
- Costo de materia prima (de la terminal)
- Inversión en herramienta (de la terminal)
- Límitantes de espacio (del interruptor)
- Incremento en costo (del interruptor por partes afectadas)

Se evalúan las dos opciones y se elige la que cubra mejor los requisitos predeterminados.

En el caso de los conductores flexibles, es posible efectuar un análisis similar, y para tal caso se cuenta con tablas de ampacidades para diferentes tipos de conduc-

tores de cobre flexibles (ver tabla II.1.1.2) en la práctica para los interruptores en caja moldeada se utilizan conectores flexibles de cobre diferenciándose en el calibre, el número de torones, el calibre y número de hilos por torón.

Las zapatas terminales deben soportar la corriente nominal del interruptor sin que exista sobrecalentamientos ni falsos contactos, además de permitir la conexión del interruptor con los circuitos externos aceptando el cable de mayor calibre especificado para el interruptor.

Para cumplir lo anterior, las zapatas son generalmente de un diseño robusto y de un material conductor (generalmente aluminio) al cual se le proporciona estañado con el fin de evitar que se presente un par galvánico al utilizar conductores de cobre.

Es muy importante tomar en cuenta en el diseño de las zapatas, prisioneros y tornillos del montaje de las zapatas el par de apriete requerido según sea el caso para sujetar el conductor ó fijar la zapata a la terminal.

En las normas se encuentran tablas donde se indican los pares de apriete adecuados para diferentes tipos de tornillos y varios calibres de conductores (ver tablas II.4.1.1, II.4.1.2 y II.4.1.3.)

II.1.2. Espaciamientos dieléctricos

Para los dispositivos que tratamos (interruptores en caja moldeada) la tensión máxima para la que son diseñados es 600 volts entre fases.

Ahora bién, en el diseño de los interruptores en caja moldeada para determinar los espesores mínimos que deben tener entre partes conductoras contiguas y de éstas a tierra (gabinete), las paredes internas que separan

TABLA II.1.1.2.- ALAMBRE DE COBRE DE ALTA CONDUCTIVIDAD

Tamaño Conduc- tor AWG	Diametro Alambre Pulg.	Area		Peso por 1000 pies libras	Resistencia a fun- dirse		Resistencia media a fundirse		60 ciclos capacidad		
		Sec. Transversal Pulg.	Circular Mils.		Fuerza minima ultima (a)	Resistencia D.C. a 20°C (68°F) ohms por 1000 pies (b)	Fuerza minima ultima (a)	Resistencia D.C. a 20°C (68°F) ohms por 1000 pies (b).	Fuerza minima ultima (a)	Resistencia D.C. a 20 (68F) ohms por 1000 pies (b)	de con- duccion de corriente Amperes (C)
24	.0201	.000317	404	1.22	—	—	—	—	12.7	25.7	—
23	.0226	.000401	511	1.55	—	—	—	—	15.4	20.3	—
22	.0253	.000503	640	1.94	—	—	—	—	19.4	16.2	—
21	.0285	.000638	812	2.46	—	—	—	—	24.6	12.8	—
20	.0320	.000804	1,070	3.10	—	—	—	—	31.0	10.1	—
19	.0359	.00101	1,290	3.90	—	—	—	—	39.0	8.05	—
18	.0403	.00128	1,670	4.92	85.5	6.64	67.6	6.61	49.1	6.39	—
17	.0453	.00161	2,050	6.21	108.	5.26	84.9	5.23	62.1	5.05	—
16	.0508	.00203	2,560	7.81	135.	4.18	106.	4.16	78.0	4.02	—
15	.0571	.00256	3,260	9.87	170.	3.31	133.	3.29	98.5	3.18	—
14	.0641	.00323	4,110	12.4	214.	2.63	167.	2.61	124.	2.52	—
13	.0720	.00407	5,180	15.7	268.	2.08	209.	2.07	157.	2.00	—
12	.0808	.00513	6,530	19.8	337.	1.65	262.	1.64	197.	1.59	—
11	.0907	.00646	8,230	24.9	423.	1.31	327.	1.30	249.	1.26	—
10	.1019	.008155	10,380	31.43	529.3	1.039	410.5	1.033	310.0	0.9988	66
9	.1144	.01028	13,090	39.61	660.9	0.8241	513.9	0.8199	380.3	.7925	—
8	.1285	.01297	16,510	49.98	826.1	.6532	644.0	.6498	479.8	.6281	88
7	.1443	.01635	20,820	63.03	1030.	.5180	806.7	.5153	605.1	.4981	—
6	.1620	.02061	26,240	79.44	1280.	.4110	1010.	.4088	762.6	.3952	120
5	.1819	.02599	33,090	100.2	1590.	.3260	1265.	.3243	961.5	.3135	—
4	.2043	.03278	41,740	126.3	1970.	.2584	1584.	.2571	1213.	.2485	160
3	.2294	.04133	52,620	159.3	2439.	.2050	1984.	.2039	1529.	.1971	—
2	.2576	.05212	66,360	200.9	3002.	.1625	2450.	.1617	1928.	.1563	215
1	.2893	.06573	83,690	253.3	3688.	.1289	3024.	.1282	2432.	.1239	250
1/0	.3249	.08291	105,600	319.5	4518.	.1022	3731.	.1016	2985.	.09825	290
2/0	.3648	.1045	133,100	402.6	5519.	.08021	4599.	.07980	3763.	.07793	335
3/0	.4096	.1318	167,800	507.8	6720.	.06362	5666.	.06330	4744.	.06182	390
4/0	.4600	.1662	211,600	640.5	8141	.05045	6980.	.05019	5983.	.04901	450

partes conductoras, uno de los aspectos importantes es el aislamiento eléctrico que proporcionan dichas paredes. Lo anterior es una función directa de las características del material utilizado y del espesor de las paredes.

Los materiales utilizados comunmente en la fabricación de la caja moldeada son generalmente materiales moldeables termofijos, los cuales presentan excelentes propiedades dieléctricas y resistencia mecánica alta.

En los dieléctricos las cargas de sus moléculas no pueden sufrir desplazamientos semejantes a los que experimentan los electrones de conducción de un bloque metálico, por consiguiente los desplazamientos originados por fuerzas eléctricas debidas a campos eléctricos externos al dieléctrico son muy pequeños y la magnitud de éstos dependerá de la mayor ó menor rigidez con que las moléculas cargadas de un átomo están unidas.

El efecto de colocar un dieléctrico dentro de un campo \vec{E} es la aparición de cargas inducidas en las caras (ver fig. II.1.2.1.). Esto se debe a la polarización que ha experimentado la sustancia.

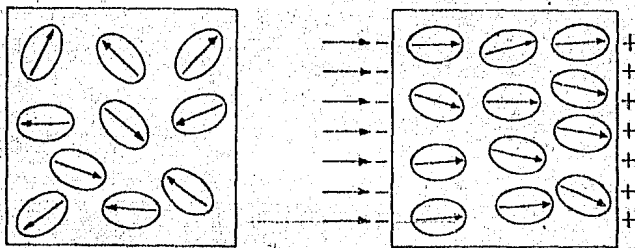


Fig. II.1.2.1.

Podemos concluir que a medida que crece la intensidad de campo eléctrico, se tendrá una mayor densidad superficial de carga inducida. Pero esto no puede incrementarse indefinidamente, ya que si el campo eléctrico llega a ser de una magnitud elevada determinada, las fuerzas de origen eléctrico provocarán que dichos electrones se desplacen y el material pierda sus propiedades dieléctricas, y en algunos casos se destruya por combustión.

A dicho campo eléctrico que origina la ionización del dieléctrico se le conoce como campo eléctrico de ruptura.

En la tabla siguiente se indica el campo de ruptura para diferentes substancias.

TABLA II.1.1.3.

Dieléctrico	Suceptibilidad Eléctrica (χ_e)	Permitividad Relativa (K_e)	Campo eléctrico de Ruptura (MV/m)
Aire	.00059	1.00059	.8
Baquelita	3.8	4.8	12
Mica	2 - 5	3 - 6	160
Neopreno	5.9	6.9	12
Papel	2.5	3.5	14
Polietileno	1.3	2.3	50
Porcelana	5.5	6.5	4
Vacío	0	1.0	-
Vidrio	3.5	4.5	13

Para explicar lo anterior por medio de un ejemplo, supongamos que tenemos que calcular la mínima distancia de rompimiento dieléctrico que deben guardar dos partes

conductoras de diferente polaridad (por ejemplo polos adyacentes de un interruptor) separados únicamente por el aire. Se obtiene:

$$E_{(\text{RUPT. AIRE})} = .8 \text{ MV/m}$$

(Según la tabla anterior)

Consideremos 600 Volts la tensión nominal de operación.

$$d_{\text{mín}} = 600 / (12 \times 10^6) = .375 \text{ mm}$$

Ahora bien, si consideramos un material dieléctrico de baquelita

($E_{(\text{RUP})} = 12 \text{ MV/m}$), se tendrá:

$$d_{\text{mín}} = 600 / (12 \times 10^6) = .5 \times 10^{-4} \times 10^{-3} = .05 \text{ mm}$$

Del ejemplo anterior podemos observar que en cuanto al aspecto de rigidez dieléctrica, no estamos restringidos en el espesor a elegir para el diseño, sino que más bien el aspecto de rigidez mecánica será de mayor peso para determinar el mínimo espesor (por ejemplo durante cortos circuitos se presentan fuertes esfuerzos que limitan el espesor del material que se pretende utilizar).

II.1.3. Caídas de tensión

La caída de tensión en un interruptor está determinada por la impedancia intrínseca de los materiales de las partes por las que circula la corriente.

Aún cuando se procura siempre utilizar materiales de baja resistividad, esto no siempre es posible.

Es muy usual utilizar materiales de relativa elevada resistividad para lograr la operación del elemento térmico, así, suelen emplearse aleaciones de cobre-berilio, cobre-cadmio, latón, bronce fosforado, etc, sobre todo en interruptores de más de 100 amperes.

En interruptores de un solo polo, para cada corriente nominal se tienen diferentes valores de caídas de ten-

sión indicadas por determinado fabricante. Esto en razón de que se logran los diferentes compartimientos térmicos en base a un solo bimetálico y diferentes materiales en las terminales, esto por razones de costos.

Otra fuente que adiciona impedancia son los contactos eléctricos, por ser de materiales de baja erosión y elevados puntos de fusión-evaporación, intrínsecamente poseen elevada resistencia.

Sin embargo, las impedancias de los interruptores no deben exceder determinados límites, toda vez que la habilidad o capacidad de un interruptor para operar adecuadamente, es, en gran medida, indicada por la pérdida de tensión entre sus terminales.

Existen valores típicos de caída de tensión en corriente directa al 100% de corriente nominal para interruptores nuevos y valores de pérdida de potencia a corriente de servicio (en corriente alterna), para interruptores en operación, todos ellos proporcionados por el fabricante.

Es importante notar que los valores de caídas de tensión no están contemplados en ninguna norma nacional o extranjera.

La habilidad de un interruptor para desarrollar la función para la que fué diseñado está en parte, indicada por sus pérdidas bajo sus condiciones de servicios. En la tabla II.1.3.1. se indican las pérdidas que, si se exceden, podrían producir sobrecalentamientos en el interruptor (esta tabla la proporciona el fabricante).

El procedimiento siguiente es utilizado para determinar las pérdidas de un interruptor (tomado de la publica-

TABLA II.1.3.1.

TABLA DE PERDIDAS Y CAIDAS DE TENSION

Marco	I Nominal	Caída de tensión en mili volts 100% I	Pérdidas en Watts
100A	15A	134	7
	20A	146	7.5
	25A	183	7.5
	30A	63	7.6
	35A	54	7.8
	40A	62	7.8
	45A	52	8.5
	50A	58	8.5
	60A	58	8.5
	70A	67	9.3
	80A	48	9.3
250A	90A	54	9.4
	100A	60	9.4
	70A	101	13.6
	80A	115	13.6
	90A	124	15.7
	100A	137	15.7
	110A	57	15.9
	125A	65	15.9
	150A	59	16.4
	175A	57	16.9
	200A	56	17.5
400A	225A	50	18
	250A	56	18
	250A	100	39
	300A	93	42
	350A	87	47
1200A	400A	98	49
	600A	19	38.5
	700A	22	49
	800A	25	52
	1000A	35	63
	1200A	38	77

ción NEMA AB-2 J98X, Parte 4).

- 1.- Medir la corriente de servicio del interruptor
- 2.- Desconectar la fuente de energía y remover el interruptor de servicio
- 3.- Aplicar al interruptor una corriente directa de magnitud equivalente a la corriente de servicio o para cada polo
- 4.- Medir la caída de tensión en cada polo
- 5.- Calcular las pérdidas multiplicando la corriente que pasa a través del interruptor por la caída de tensión de cada polo ($V \times I$)
- 6.- Comparar los resultados con la tabla correspondiente proporcionada por el fabricante.

II.2. MAGNETICOS

II.2.1. Cálculo de la fuerza magnética en el entrehierro

En un interruptor termomagnético, magnético ó automático, es necesario que exista un elemento que reaccione instantáneamente a valores de corrientes muy altas (corto circuito). El elemento magnético es quien cumple tal función, provocando la operación instantánea del interruptor mediante el movimiento de una parte de dicho elemento magnético.

El fenómeno que se aprovecha en la mayoría de los diseños es la atracción magnética de un elemento ferromagnético móvil separado del elemento ferromagnético fijo, por una cierta distancia (entrehierro).

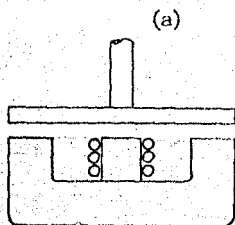
La forma en que es generado el flujo en un elemento ferromagnético fijo puede ser:

- a) Por medio de una bobina con un núcleo ferromagnético (ver fig. II.2.1.1a). Esta opción resulta en

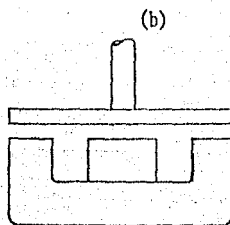
una mayor proporción debido a que se reduce la dispersión del flujo (ya que éste es confinado completamente a través del núcleo ferromagnético) Generalmente es en los interruptores magnéticos en donde se utiliza esta opción.

- b) Por medio de un "yugo magnético". (Ver Fig. II.2.1.b) esto es, se le proporciona una trayectoria al flujo magnético que circunda la terminal conductora, este arreglo no proporciona la precisión del anterior, sin embargo es satisfactorio en diseños donde no se requiere gran precisión cumpliendo con los requerimientos que para estos tipos de interruptores marcan las normas UL, NEMA, NOM. (como son los termomagnéticos, y los automáticos), y la ventaja principal es su facilidad de fabricación y bajo costo.

En la Fig. II.2.1.a y b, se muestran los dos arreglos explicados anteriormente.



El flujo es concentrado a través del núcleo ferromagnético.



El flujo es dispersado más que en el caso anterior.

Es deseable que no sean usados elementos de disparo con bobinas o bien utilizar el menor número de espiras para no introducir en el circuito elementos reactivos.

Para determinar la fuerza de atracción magnética del elemento magnético móvil como una función del entrehierro, procedemos como sigue. (Ver Fig. II.2.1.2).

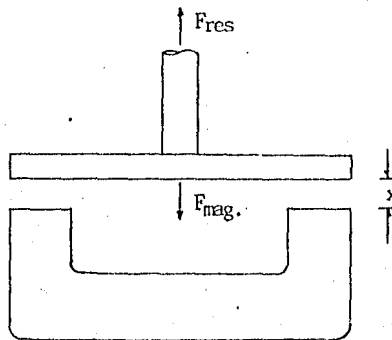


Fig. II.2.12.

Cálculo de la fuerza obtenida en función del entrehierro y la corriente.

Aplicando la Ley de la Conservación de la Energía

ENERGIA ELECTRICA ENTRANDO	+	ENERGIA MECANICA ENTRANDO	=	INCREMENTO ENERGIA DEL SIST.	+	ENERGIA CONVERTIDA EN PERDIDAS
----------------------------------	---	---------------------------------	---	------------------------------------	---	--------------------------------------

Y de acuerdo con la Fig. II.2.1.3.

$$dW_e = N i d\psi$$

$$dW_m = f dx$$

$$dW_{si} = \frac{V_i}{4\pi} \times i dBi$$

$$dW_{sa} = \frac{H_a B_a A_a}{8\pi} dx + \frac{V_a}{4\pi} H_a dB_a$$

$$dW_e + dW_m = dW_{si} + dW_{sa}$$

(Se desprecian pérdidas por histéresis y corrientes de EDDY)

$$4\pi Ni = V_i + V_a = H_i l_i + H_a x$$

$$d\psi = A_a dB_a$$

$$\frac{1}{4\pi} (V_i H_i B_i + V_a H_a B_a) + f dx = \frac{1}{4\pi} (V_i H_i dB_i + V_a H_a dB_a + \frac{H_a B_a A_a}{8\pi} dx)$$

De donde:

$$f = \frac{H_a B_a A_a}{8\pi} = \frac{B_a^2 A_a}{8\pi \mu_0} = \frac{\phi_a^2}{8\pi \mu_0 A_a}$$

De la Fig. II.2.1.3 se deduce que:

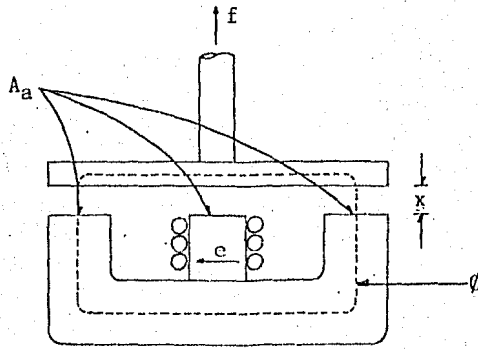


Fig. II.2.1.3.

- Sea: X : Entrehierro long.
 R_n : Reluctancia de la pierna izquierda + 1/2 reluctancia ARM.
 R_1 : Reluctancia de la pierna derecha + 1/2 reluctancia ARM
 R_h : Reluctancia del entrehierro
 R : Longitud de la trayectoria R_1 igual a la de R_1

De donde:

$$N_i = \phi \left(R_n + \frac{R_1}{A_x} + R_h \right)$$

$$N_i = \phi \left[\frac{x}{\mu A_n} + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{\mu A_x} \right) + \frac{x}{\mu_0 A_{\text{proim}}} \right]$$

Despejando ϕ y sustituyendo en la expresión de fuerza:

$$F_{\text{mag}} = \frac{Ba^2 Aa}{4\pi} = \frac{a^2}{4\pi \mu_0 A_a}$$

$$F_{\text{mag}} = \frac{N^2 I^2}{4\pi \mu_0 A_a (a + bx)^2}$$

Esto es, a mayor corriente mayor fuerza y a mayor entrehierro menor fuerza.

Si ahora efectuamos el procedimiento para el interruptor termomagnético, obtendremos:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2 \pi \sqrt{(b/2)^2 + x^2}}$$

$$F = \frac{\mu_0 \Lambda 2 i^2}{4\pi \times 8 \left(\frac{b^2}{4} + x^2\right)}$$

La cual también es una función dependiente directamente de la corriente al cuadrado, e inversamente al cuadrado del entrehierro.

Con el valor de la fuerza calculada de acuerdo con las formulas anteriores, es posible determinar la constante y dimensiones del o los resortes utilizado en un diseño particular.

II.2.2. Esfuerzos generados durante la corriente de corto circuito.

En el diseño de interruptores en caja moldeada es necesario considerar el espesor mínimo que deben tener las paredes de la "caja moldeada" que separan físicamente a las terminales conductoras, ya que, además de proporcionar aislamiento, también soportan esfuerzos mecánicos severos cuando se somete el interruptor a corrientes de corto-circuito.

En realidad entonces, se deben de considerar tanto la limitante de aislamiento, como la de esfuerzo mecánico por corto-circuito. En el diseño, para determinar el espesor mínimo aceptable para las paredes, tomar el valor más crítico de los resultados (el que nos dé el espesor mayor) con el fin de abarcar ambas limitantes.

Consideremos (para el cálculo del espesor mínimo

debido a corto-circuito) las terminales como se muestra en la Fig. II.2.2.1 para un caso trifásico.

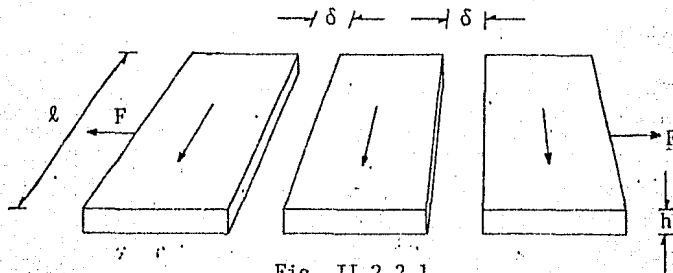


Fig. II.2.2.1.

La magnitud de la fuerza que se presenta en la anterior figura, se obtiene como sigue:

$$F = Bi l$$

El campo magnético en la región ocupada por un conductor, debido a otro conductor, es: (la permeabilidad magnética de un material dieléctrico, puede considerarse aproximadamente igual a la del aire μ_0)

$$B_{12} = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi\delta}$$

Por lo tanto:

$$F_{12} = i_1 l B_{12} \sin \alpha$$

Siendo $\alpha = \pi/2$ para dos conductores paralelos, de donde:

$$F_{12} = i_1 l \frac{\mu_0 i_1}{2\pi\delta}$$

Siendo ambos conductores de igual longitud y la magnitud de las corrientes iguales, las fuerzas experimentadas se

rán iguales.

Por lo anterior, se deduce que:

$$F = \ell \frac{\mu_0 i^2}{2 \pi \delta}$$

Podemos obtener el esfuerzo producido por esta fuerza de acuerdo con la sección del conductor:

$$\gamma = \frac{F}{\ell h} = \frac{\mu_0 i^2}{2 \pi \delta h}$$

(Obsérvese que no dependerá de la longitud, sino sólo la altura (h), la separación (δ) y la corriente (i))

Los fabricantes de los materiales moldeables utilizados en los interruptores en caja moldeada, cuentan con los datos de $\gamma_{\text{máx}}$ que soporta el material (ya moldeado), y dicho $\gamma_{\text{máx}}$ deberá ser siempre mayor que el que se calcule de acuerdo con la fórmula desarrollada anteriormente. Esto es:

$$\gamma_{\text{máx}} = \frac{\mu_0 i^2}{2 \pi \delta h}$$

La cual podemos convertir en igualdad con un factor de seguridad, el cual siempre debe ser mayor que 1

$$\gamma_{\text{máx}} = \text{F.S.} \frac{\mu_0 i^2}{2 \pi \delta h}$$

$$\text{F.S.} > 1$$

Finalmente despejamos :

$$\delta = \text{F.S.} \frac{\mu_0 i^2}{2 \pi h \gamma_{\text{máx}}}$$

$$\text{F.S.} > 1$$

Siendo:

F.S. Factor de seguridad

μ_0 Permeabilidad del vacío

i Corriente simétrica de falla

h Altura de las terminales

$\gamma_{\text{máx}}$ Esfuerzo máximo permisible (del fabricante)

II.3. PARAMETROS DE DISEÑO ELECTROMECHANICO

Como hemos mencionado con anterioridad, el elemento térmico es el medio por el cual un interruptor en caja moldeada con protección contra sobrecargas responde de acuerdo con su curva característica de tiempo inverso.

En los interruptores termomagnéticos en caja moldeada el elemento térmico es generalmente un bimetal.

En la sección B-388 de ASTM se designan los tipos comunes de metales termostáticos según diferentes combinaciones posibles de materiales compuestos. En la Tabla II.3.1, se indican los diferentes tipos de metales termostáticos de acuerdo con ASTM. Las propiedades principales de los tipos de metales termostáticos designados por ASTM se indican en la Tabla II.3.2 y la Tabla II.3.3.

Un metal termostático conforme se indica en ASTM es un material compuesto por la unión de dos o más materiales de naturaleza apropiada, que por virtud de los diferentes coeficientes de expansión térmica de sus componentes, tiende a alterar su curvatura cuando su temperatura es combinada. Por tanto un bimetal es un caso particular de metal termostático.

La forma en que opera un bimetal es la siguiente:

1.-



Sean A y B dos tiras de metal de longitud idéntica (a una temperatura dada), y que presentan diferentes coeficientes de expansión térmica, uno alto y otro bajo.

2.-



Cuando la temperatura se eleva, sus longitudes relativas cambian.

3.-



Cuando se encuentran unidas, y su temperatura se eleva, la tira B con alto coeficiente de expansión estará sometida a compresión y la tira A de bajo coeficiente de expansión estará sometida a tensión.

4.-



Estas fuerzas producen un momento que causa que el elemento se doble en un arco en forma uniforme.

Ahora bien, el cambio en la curvatura de un metal termostático es directamente proporcional a la diferencia en el coeficiente de expansión y el cambio de temperatura de los elementos componentes, e inversamente proporcional al espesor de los componentes combinados.

La "Flecha" provocada por la deflexión no deberá exceder el valor obtenido por la siguiente relación basada a una temperatura de 75°F.

$$CC = 10\%t + \left(\frac{.00025W^2}{t} \right) \text{ ó } 1/16''$$

CC = "flecha"

W = Ancho en pulgadas

t = Espesor en pulgadas

Los métodos de prueba se encuentran normalizados por el comité de la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM). Las secciones correspondientes de ASTM se encuentran listadas en la tabla siguiente:

<u>PRUEBA NUMERO:</u>	<u>PROPIEDAD PROBADA</u>
B-63	Resistividad
B-70	Cambio de resistencia con la temperatura
B-106 †	Flexibilidad
B-223 †	Modulo de elasticidad de metales termostáticos
B-305 †	Máximo esfuerzo de carga de metales termostáticos
B-365 †	Rango de par aplicado a bobinas espirales de metales termostáticos
B-388 †	Especificación para metales termostáticos en hoja y en tira
B-389 †	Rango de deflexión térmica de bobinas espirales y helicoidales de materiales termostáticos
B-478 †	"Flecha" de metales termostáticos
C-351	Calor especifico medio
E-92	Dureza.

† Estas son especificaciones diseñadas para probar las propiedades particulares de metales termostáticos.

TABLE II.3.1.
COMPOSICION

		Elemento	DESIGNACION ASTM							
			TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	TM8
Composición química nominal, peso%	Componente de alta expansión	Niquel	22	10	25	25	25	22	14	10
		Cromo	3	-	8.5	8.5	8.5	3	-	-
		Manganeso	-	72	-	-	-	-	9.5	72
		Cobre	-	18	-	-	-	-	-	18
		Acero	15	-	66.5	66.5	66.5	66.5	71.5	-
		Aluminio	-	-	-	-	-	-	5	-
		Carbon	-	-	-	-	-	-	-	-
	Componente intermedio	Niquel	-	-	-	-	-	-	-	-
		Manganeso	-	-	-	-	-	-	-	-
	Componente de baja expansión	Niquel	36	36	42	45	50	40	36	36
Acero		64	64	58	55	50	60	64	64	
Cobalto		-	-	-	-	-	-	-	-	
Relación de espesor de componentes %	Componente de alta expansión	50	53	50	50	50	50	50	80	
	Componente intermedio	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Componente de baja expansión	50	47	50	50	50	50	50	20	
		Elemento	DESIGNACION ASTM							
			TM9	TM10	TM11	TM12	TM13	TM14	TM15	TM16
Composición química nominal, peso %	Componente de alta expansión	Niquel	22	22	22	22	22	22	22	22
		Cobre	3	3	3	3	3	3	3	3
		Manganeso	-	-	-	-	-	-	-	-
		Cobre	-	-	-	-	-	-	-	-
		Acero	75	75	75	75	75	75	75	75
		Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-
		Carbon	-	-	-	-	-	-	-	-
	Componente Intermedio	Niquel	100	100	100	100	100	100	100	100
		Manganeso	-	-	-	-	-	-	-	-
Componente de baja expansión	Niquel	36	36	36	36	36	36	36	36	
	Acero	64	64	64	64	64	64	64	64	
	Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	-	
Relación de espesor componentes %	Componente de alta expansión	27	34	36	40	42	44	47	48	
	Componente intermedio	46	32	28	20	16	12	6	4	
	Componente de baja expansión	27	34	36	40	42	44	47	48	

Continuación Tabla II.3.1

Elemento	DESIGNACION	ASTM							
		TM17	TM18	TM19	TM20	TM21	TM22	TM23	
Composición química nominal, peso % :	Componente de alta expansión	Niquel	22	19.4	19.4	18	18	100	10
		Cromo	3	2.25	2.25	11.5	11.5	-	-
		Manganeso	-	-	-	-	-	-	72
		Cobre	-	-	-	-	-	-	18
		Acero	75	78.3	78.3	70.5	70.5	-	-
		Aluminio	-	-	-	-	-	-	-
		Carbon	-	0.5	0.5	-	-	-	-
Componente Intermedio	Niquel	100	-	-	-	-	-	-	
	Manganeso	-	-	-	-	-	-	-	
Componente de baja expansión	Niquel	36	42	39	36	42	36	42	
	Acero	64	58	61	64	58	64	58	
	Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	
Relación de espesor de componentes %	componente de alta expansión	DESIGNACION		ASTM					
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	TM8
	Componente intermedio	49	50	50	50	50	50	50	54
	Componente de baja expansión	2	-	-	-	-	-	-	-
		49	50	50	50	50	50	50	46

Continuación Tabla II.3.2

Propiedades	Unidades	TM17	TM18	TM19	TM20	TM21	TM22	TM23
Máximo rango de sensibilidad térmica	°F	0 a 300	200 a 600	150 a 450	0 a 400	200 a 600	0 a 300	200 a 600
Máxima temperatura recomendada	°F	900	900	900	900	900	900	900
Flexibilidad x 10 ⁶	50 a 200°F	15.4±6%	12.0±6.5%	14.3±7%	13.9±5%	10.6±6.5%	10.2±5%	18.0±5%
	100 a 300°F	14.6±6%	12.0±6.5%	14.1±7%	13.9±5%	10.9±6.5%	10.2±5%	18.0±5%
Tratamiento térmico	°F	700	700	700	700	700	700	500
Resistividad eléctrica 75°F	Ω.cmil/ft	400±5.5%	420±4%	456±5%	472±4%	430±4%	95±6%	565±4%
	Ω.mil ² /ft	314±5.5%	330±4%	358±5%	371±4%	338±4%	75±6%	444±4%
Modulo de elasticidad	psi x 10 ⁶	25	25	25	25	25	26	20
Calor específico	Btu/lb.°F	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Densidad	lb/in ³	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29

TABLA II.3.3.

PROPIEDADES DE ELEMENTOS TERMOSTATICOS
(Sistema Internacional de Unidades)

Propiedades	Unidades	DESIGNACION ASTM							
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	TM8
Máximo rango de sensibilidad térmica	°C	-18 a 149	-18 a 204	-93 a 316	-121 a 371	-149 a 454	-38 a 288	-18 a 149	-18 a 204
Máxima temperatura recomendada	°C	538	260	538	538	538	538	482	260
Flexibilidad x 10 ⁶	10 a 93°C	27.0±5%	38.7±5%	18.7±6%	15.1±6%	11.3±6%	23.2±5%	26.1±7%	28.6±8%
	38 a 149°C	26.3±5%	38.0±5%	19.1±6%	15.5±6%	11.5±5%	23.2±7%	26.1±7%	28.6±8%
Tratamiento térmico	°C	371	260	371	371	371	371	371	260
Resistividad eléctrica 25°C	μΩ.m	0.790±4%	1.12±5%	0.732±4%	0.665±4%	0.582±5%	0.732±4%	0.91±4%	1.41±5%
Modulo de elasticidad	MPa	172 000	138 000	172 000	172 000	176 000	172 000	165 000	134 000
Calor específico	J/Kg.K	500	500	500	500	500	500	500	500
Densidad	Kg/m ³	8030	7750	8030	8030	8030	8030	7750	7470

Continuación Tabla II.3.3.

Propiedades	Unidades	DESIGNACION ASTM							
		TM9	TM10	TM11	TM12	TM13	TM14	TM15	TM16
Máximo rango de sensibilidad térmica	°C	-18 a 149	-18 a 149	-18 a 149	-18 a 149	-18 a 149	-18 a 149	-18 a 149	-18 a 149
Máxima temperatura recomendada	°C	482	482	482	482	482	482	482	482
Flexibilidad x 10 ⁶	10 a 93°C	20.2±6%	22.3±6%	24.3±5.5%	24.8±5.5%	25.2±5.5%	26.5±5.5%	26.8±5.5%	27.0±5.5%
	38 a 149°C	18.9±6%	22.9±6%	23.9±5.5%	24.7±5.5%	25.2±5.5%	25.7±5.5%	25.9±5.5%	26.1±5.5%
Tratamiento térmico	°C	371	371	371	371	371	371	371	371
Resistividad eléctrica 25°C	μΩ.m	0.166±5%	0.208±5.5%	0.249±5.5%	0.291±5.5%	0.332±5.5%	0.416±5.5%	0.488±5.5%	0.582±5.4%
Modulo de elasticidad	Mpa	179 000	179 000	179 000	176 000	176 000	176 000	172 000	172 000
Calor específico	J/Kg.K	500	500	500	500	500	500	500	500
Densidad	Ig/m ³	8580	8300	8300	8300	8300	8300	8300	8000
		TM17	TM18	TM19	TM20	TM21	TM22	TM23	
Máximo rango de sensibilidad térmica	°C	18 a 149	93 a 316	65 a 232	-18 a 149	93 a 316	-18 a 149	93 a 316	
Máxima temperatura recomendada	°C	482	482	482	482	482	482	260	
Flexibilidad x 10 ⁶	10 a 93°C	27.7±6%	21.6±6.5%	25.7±7%	25.0±5%	19.1±5%	18.4±5%	32.4±5%	
	38 a 149°C	26.3±6%	21.6±6.5%	25.4±7%	25.0±5%	19.6±6.5%	18.4±5%	32.4±5%	
Tratamiento térmico	°C	371	371	371	371	371	371	260	
Resistividad eléctrica 25°C	μΩ.m	0.665±5.5%	0.698±4%	0.758±5%	0.785±4%	0.715±4%	0.158±6%	0.939±4%	
Modulo de elasticidad	MPa	172 000	172 000	172 000	172 000	172 000	179 000	138 000	
Calor específico	J/Kg.K	500	500	500	500	500	500	500	
Densidad	Kg/m ³	8030	8030	8030	8030	8030	8580	7750	

II.3.1. TEORIA BASICA Y CALCULOS FUNDAMENTALES

A) Radio de curvatura

La curvatura en los bimetales está regida por la siguiente relación:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{6 (\alpha_2 - \alpha_1) (T_1 - T_0) (1 + m)^2}{t [3(1 + m)^2 + (1 + mn) (m^2 + 1/mn)]}$$

Donde:

α_1 y α_2 = Coef. de expansión térmica

E_1 y E_2 = Modulo de elasticidad

t_1 y t_2 = Espesor de componentes

t = Espesor del conjunto

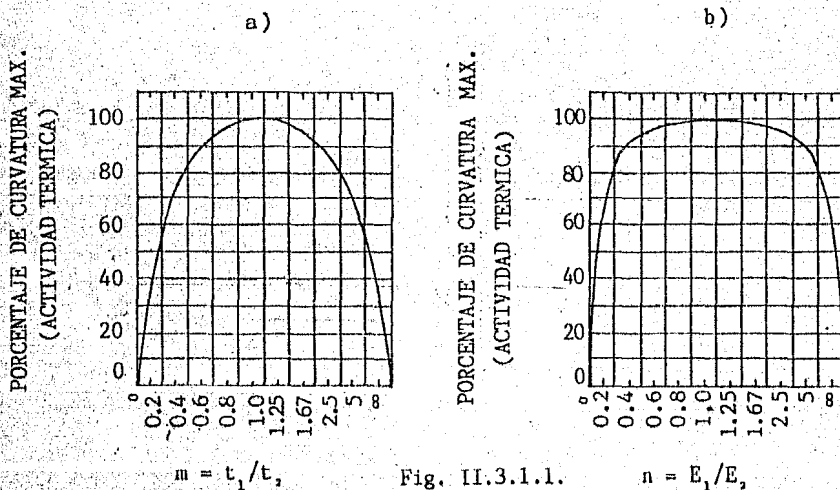
ρ = Radio de corvatura del conjunto

T_1 y T_0 = Temperatura

$m = t_1/t_2$

$n = E_1/E_2$

Las gráficas de la Fig. II.3.1.1, indican la variación de la deflexión máxima (curvatura), en función de: a) la relación de espesores; y b) la relación de los módulos de elasticidad.



B) Flexibilidad y deflexión térmica

La flexibilidad es la propiedad más importante de un metal termostático (es una medida del rango de deflexión). Podemos definir la flexibilidad como:

"El cambio de curvatura de la línea central longitudinal del espécimen por unidad de cambio de temperatura y por unidad de espesor".

Se puede obtener por medio de la siguiente fórmula (ver fig. II.3.1.2.)

$$F = \frac{(1/R_2 - 1/R_1)t}{T_2 - T_1}$$

Donde:

$$\frac{1}{R} = \frac{8B}{\ell^2 + 4Bt + 4B^2}$$

F = Flexibilidad

R_2 y R_1 = Radio de curvatura, pulg.

T_2 y T_1 = Temperatura, °F

t = Espesor, pulg.

B = Movimiento en pulg.

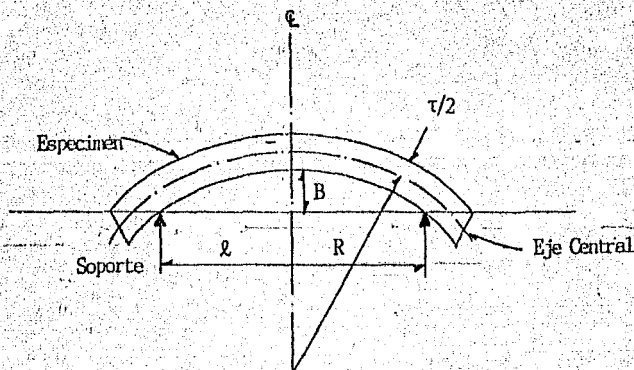


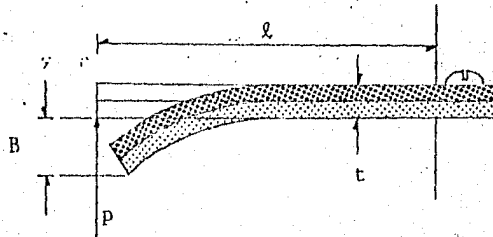
Fig. II.3.1.2.

C) Fuerza y deflexión

La fuerza mecánica ejercida por un material termostático es una función directa de la fuerza térmica e inversa de la deflexión térmica.

En nuestro caso, nos referimos a sólo dos tipos de elementos que son comúnmente utilizados en el diseño de interruptores en caja moldeada:

a) Tiras en cantiliver



Las siguientes relaciones se cumplen:

Deflexión térmica:

$$B = \frac{0.53 F (T_2 - T_1) l^2}{t}$$

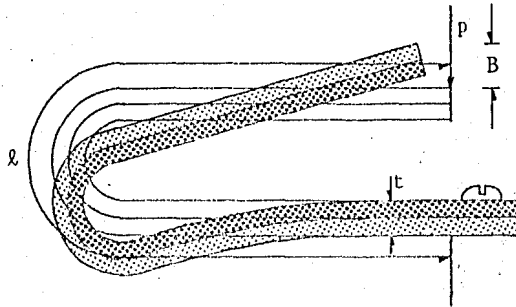
Fuerza mecánica:

$$p = \frac{4EBWt^3}{l^3}$$

Fuerza térmica

$$p = \frac{2.12EF(T_2 - T_1) Wt^2}{l}$$

b) Elementos en U



Deflexión térmica:

$$B = \frac{.265 F (T_2 - T_1) l^2}{t}$$

Fuerza mecánica:

$$p = \frac{16 E B W t^3}{l^3}$$

Fuerza térmica:

$$p = \frac{4.24 E F (T_2 - T_1) W t^2}{l}$$

Con las relaciones anteriores, y los datos y gráficas complementarias de los fabricantes, según tipo de material y ASTM, es posible determinar para un incremento de temperatura y un ancho de material, una deflexión y una fuerza requeridos; el espesor y la longitud activa necesarias para cubrir los requerimientos antes mencionados.

D) Resistividad eléctrica

La relación entre la resistividad y la resistencia en metales termostáticos, esta dada por:

$$R = \frac{12 \times 10^5 rWt}{.7854L}$$

Donde:

R = Resistividad (Ohms circular mil por pie)

r = Resistencia en Ohms

W = Ancho en pulgadas

L = Longitud en pulgadas

t = Espesor en pulgadas

Si una corriente eléctrica circula por el metal termostático producirá un flujo de calor:

$$H = \frac{ri^2\theta}{4.18}$$

Donde:

H = Calor, calorías

r = Resistencia, Ohms

i = Corriente, Amperes

θ = Tiempo, seg.

La elevación de temperatura está dada por:

$$\Delta T = \frac{.43ri^2\theta}{MS}$$

Donde:

ΔT = Elevación de temperatura, °F.

M = Masa, Gramos

S = Calor específico

O bien:

$$\Delta T = \frac{1.73 \times 10^{-9} i^2 R \theta}{(Wt)}$$

Donde:

R = Resistividad eléctrica en Ohms circular mil por pie

ΔT = Cambio de temperatura °F.

W = Ancho, pulgadas

t = Espesor total, pulgadas

E) Dureza

Puesto que los metales termostáticos se componen de aleaciones que no pueden normalmente ser endurecidos por tratamientos térmicos, el endurecimiento es obtenido por rolado en frío. Las propiedades elásticas en metales termostáticos están controlados por el rolado en frío. Una dureza alta usualmente es asociada con propiedades elásticas altas.

F) Tratamiento térmico estabilizador

Se requiere un tratamiento térmico para aliviar esfuerzos residuales, debidos al rolado, formado, corte, etc.

El tratamiento, tiene la finalidad de redistribuir estos esfuerzos para mantener la estabilidad, exactitud y uniformidad en la operación.

II.4. MECANICOS

II.4.1. MEDIOS DE CONEXION EXTERIOR Y PARES DE APRIETE

De acuerdo a normas, un interruptor debe contar con los medios de conexión apropiados para dar alojamiento a los conductores de capacidad de corriente acorde a la capacidad normal de corriente del interruptor.

Los medios más frecuentes son una terminal de cobre o aluminio fijada a las terminales del interruptor que cuenta con un tornillo opresor. A estas terminales comunmente se les llama zapatas.

Un interruptor no puede contar con zapatas si tiene los medios adecuados para utilizarse con barras de conexión o conectores de enchufar si el diseño para conexión de estos puede ser usado adecuadamente.

La posibilidad de usarse conductores o barras de conexión, deja la posibilidad de usar zapatas removibles.

De existir pares de apriete por debajo de los indicados

por el fabricante, se crean puntos de falso contacto originando sobrecalentamientos que pueden dañar un interruptor. Si los valores de apriete, recomendados son superados se obtienen deformaciones en las partes.

TABLA II.4.1.1:

PAR DE APRIETE PARA TORNILLOS CON CABEZA RANURADA
VALORES EN FUNCION DEL LARGO Y ANCHO DE LA RANURA

Largo de la ranura Pulg.(mm)	Par de apriete, Libras-Pulg.(N-m)	
	Tornillos de ranura ancha, Pulg (mm)	
	Más pequeño que 3/64 (1.2)	Más grande que 3/64 (1.2)
Menor de 5/32 (4)	7 (0.79)	9 (1.0)
5/32 (4)	7 (0.79)	12 (1.4)
3/16 (4.8)	7 (0.79)	12 (1.4)
7/32 (5.6)	7 (0.79)	12 (1.4)
1/4 (6.4)	9 (1.00)	12 (1.4)
9/32 (7.1)		15 (2.3)
Sobre 9/32 (7.1)		

TABLA II.4.1.2.

PAR DE APRIETE PARA TORNILLOS CON ENTRADA HEXAGONAL (ALLEN)

Tamaño del hexágono entre caras paralelas		Par de apriete, Libras-Pulg.(N-m)	
1/8	(3.2)	45	(5.1)
5/32	(4.0)	100	(11.3)
3/16	(4.8)	120	(13.6)
7/32	(5.6)	150	(16.9)
1/4	(6.4)	200	(22.6)
5/16	(7.9)	275	(31.1)
3/8	(9.5)	375	(42.4)
1/2	(12.7)	500	(56.5)
9/16	(14.3)	600	(67.8)

TABLA II.4.1.3
PARES DE APRIETE PARA TORNILLOS

Calibre del conductor instalado en el conector	Par de apriete, Libras-Pulg.		Cabeza con entrada hexagonal (ALLEN)	
	Cabeza ranurada No. 10 y mayores		Cabeza con entrada hexagonal (ALLEN)	
	Ancho de ranura, Pulg.(mm)			
	3/64 (1.2) y menos	más de 3/64 (1.2)		
	Longitud de ranura, Pulg.(mm)		Conector	Otro tipo de Conector
	3/64 (1.2) y menos	más de 3/64 (1.2)	Atomillable	Conector
18-10 AWG	20	35	80	75
8	25	40	80	75
6	35	45	165	110
4	-	45	165	110
3	-	50	275	150
2	-	50	275	150
1	-	50	275	150
1/0	-	50	385	180
2/0	-	50	385	180
3/0	-	50	500	250
4/0	-	50	500	250
250 MCM	-	50	650	325
300	-	50	650	325
350	-	50	650	325
400	-	50	825	325
500	-	50	825	375
600	-	50	1000	375
700	-	50	1000	375
750	-	50	1000	375
800	-	50	1100	500
900	-	50	1100	500
1000	-	50	1100	500
1250	-	-	1100	600
1500	-	-	1100	600
1750	-	-	1100	600
2000	-	-	1100	600

EQUIVALENCIA ENTRE VALORES DE APRIETE SISTEMA INGLES-SISTEMA INTERNACIONAL

Libras-Pulg.	Newton-Metros (N-m)	Libras-pulg.	(N-m)	Libras-Pulg.	(N-m)
15	1.7	110	12.4	375	42.4
20	2.3	125	14.1	385	43.5
25	2.8	135	15.3	400	45.2
30	3.4	150	16.9	500	56.5
35	4.0	165	18.6	550	62.1
40	4.5	180	20.3	600	67.8
45	5.1	200	22.6	650	73.4
50	5.6	225	25.4	675	76.3
60	6.8	250	28.2	800	90.4
65	7.3	275	31.1	825	93.2
75	8.5	300	33.9	900	111.7
80	9.0	315	35.6	1000	113.0
90	10.2	325	36.7	1100	124.3

II.4.2.- MECANISMO DE OPERACION

Primer estado.- Al mover la palanca de operación del interruptor de la posición de "disparo" a la posición "abierto" se efectúan movimientos en el brazo (A), el elemento de trabe (B) y el elemento de trabe (C), entrelazándose mecánicamente estos dos últimos y cuando esto ocurre, un elemento que entrelaza la unidad de disparo con el mecanismo de operación sujeta al elemento de trabe (B) lográndose con ello que los dos elementos de trabe (B) y (C) permanezcan entrelazados mecánicamente.

Segundo estado. Bajo la condición anterior si la palanca de operación es movida hacia la posición de "cerrado" y al estar trabados mecánicamente los elementos de trabe (B) y (C), el resorte de operación del mecanismo se tensará y a la vez existirá movimiento de navajas operándose el circuito eléctrico y quedando entonces el interruptor en la posición de "cerrado". Esta estrictamente condicionado al movimiento del elemento de entrelace entre el mecanismo de operación y la unidad de disparo. Es a esta característica a lo que se le denomina característica de disparo libre, la cual fué definida en el tema I. El elemento de entrelace del mecanismo de operación y la unidad de disparo en este estado, sólo tiene posibilidad de efectuar movimiento en un solo sentido; y este movimiento dependerá únicamente de dos opciones:

1) La aplicación de una fuerza por medio de un elemento de disparo manual (esto es utilizado para verificar la operación correcta del mecanismo de disparo del interruptor y es realizado por medios manuales directamente sobre el interruptor).

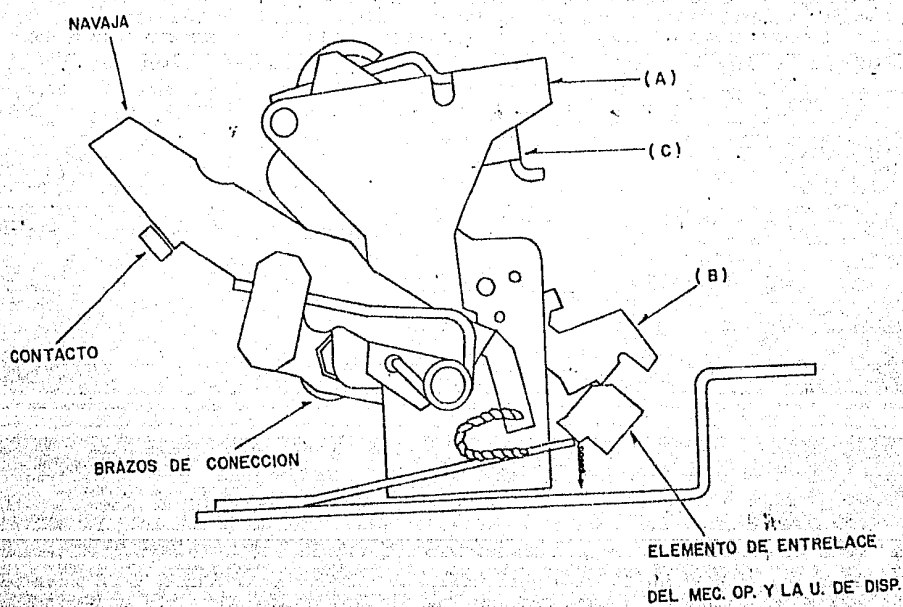
2) La aplicación de una fuerza que dependerá de la acción

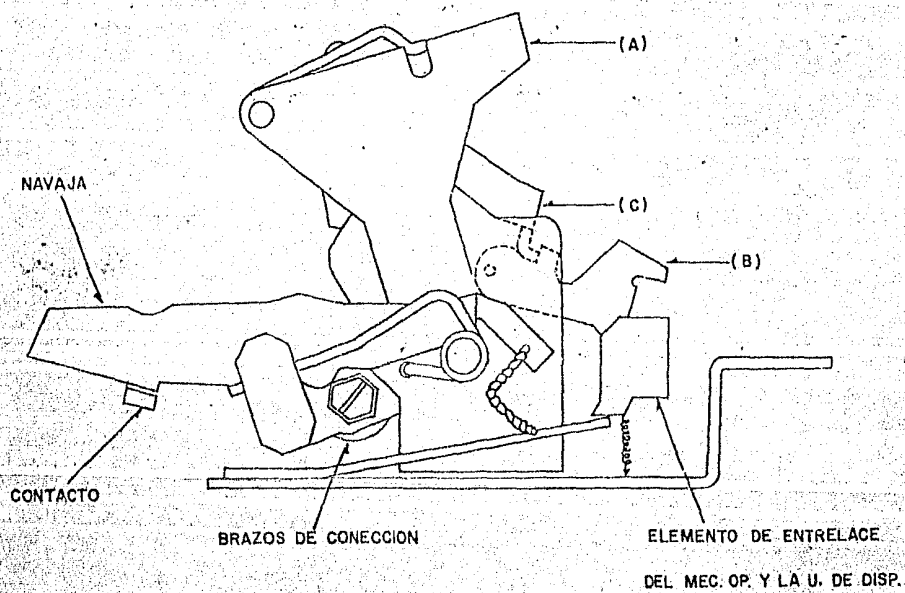
del elemento térmico (debido a una sobrecarga) o del elemento magnético (debido a un corto-circuito).

Bajo cualquiera de las dos opciones mencionadas, el elemento de entrelace del mecanismo de operación y la unidad de disparo, se moverá y liberará del entrelace que existía entre los elementos de trabe (B) y (C) y con ello el resorte de operación (que se encuentra tenso) jalará (por medio de los brazos de conexión) a las navajas, pasando con ello el interruptor a la posición de disparo (primer estado).

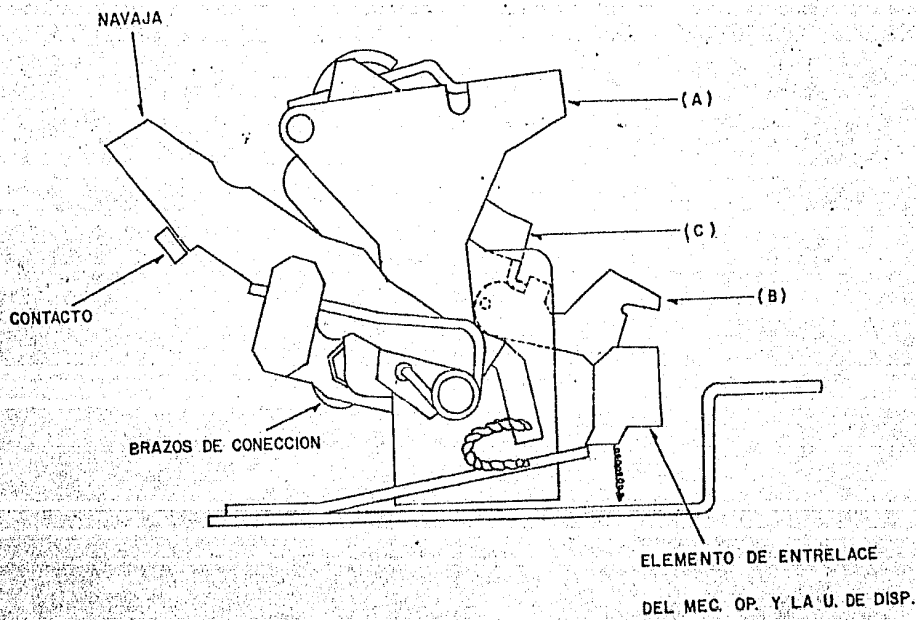
Tercer estado.- Es posible para un interruptor en caja moldeada pasar del segundo estado al primer estado únicamente operando la palanca hacia la posición "abierto", esto se logra debido a que los elementos de trabe permanecen entrelazados.

En realidad cada diseño en particular tiene variantes, pero puede considerarse la explicación anterior como un caso general.





SEGUNDO ESTADO



TERCER ESTADO

CAPITULO III
PROCESOS BASICOS DE FABRICACION DE COMPONENTES

III. PROCESOS BASICOS DE FABRICACION DE COMPONENTES

III.1. MATERIALES

En el proceso de fabricación de los interruptores en caja moldeada intervienen una variedad considerable de materiales.

Según la función que desempeñan, pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

1. Materiales conductores.- Comprenden principalmente el cobre puro o en aleación (por ejemplo, cobre electrolítico, cobre-berilio, cobre-cadmio), siempre en atención a sus propiedades eléctricas aunque también atendiendo sus características mecánicas. Las presentaciones más usuales de estos materiales son: láminas, soleras, barras, cables flexibles perfiles especiales,

El aluminio es utilizado principalmente en la fabricación de las partes que proveen medios de conexión exterior (zapatas), se utiliza en forma de perfiles especiales.

2. Materiales aislantes.- En este grupo quedan comprendidos una diversidad de materiales. Entre los más usuales figuran el poliéster con fibra de vidrio, usado para moldear la caja de interruptores de capacidad interruptiva alta, este material es usado con diferente porcentaje de fibra de vidrio como refuerzo, que le confiere resistencia mecánica. La fibra de vidrio se usa en proporciones del 6, 8, 10, 12, 18 y 20% dependiendo de la resistencia deseada.

La baquelita es usada para el moldeo de cajas de interruptores de capacidades interruptivas baja y mediana, se utiliza también para el moldeo de diferentes partes internas, como por ejemplo barras de disparo, palancas de operación, levas de ajuste de disparo magnético, perillas de ajuste de disparo magnético entre otros. Se utilizan diferentes tipos de baquelita de acuerdo con los requerimientos de operación mecánica y/o eléctrica.

Laminados fenólicos. Son usados en diferentes espesores para la fabricación de barreras de protección y soportes mecánicos de partes vivas.

Papel pescado, fibra vulcanizada; en la fabricación de aisladores eléctricos.

Laminados poliéster con fibra de vidrio; en la fabricación de soportes de cámaras de arqueo (deben resistir la erosión generada durante la interrupción del arco eléctrico). Las placas de la cámara de arqueo son de lámina de acero, generalmente niqueladas.

- 3.- Materiales de operación mecánica.- En este grupo figura principalmente el acero, usado en diferentes formas (lámina, barra, cinta, alambre, solera, etc.). La más usual es la lámina, utilizada para la elaboración en el mecanismo de operación. El acero en barra es utilizado en la fabricación de pernos, remaches y tornillos especiales. Las aleaciones más usuales son: 1018, 12114, 1010. El acero inoxidable es utilizado en la fabricación de partes troqueladas, tornillos, remaches y pernos, entre otros.

Las relaciones más usuales son: 301, 302 y 304.

4. Materiales utilizados en la fabricación de contactos.

Los materiales utilizados en la fabricación de contactos son:

- a) Tungsteno
- b) Molibdeno
- c) Plata
- d) Aleaciones de plata

a) Tungsteno

El tungsteno es uno de los metales básicos en la fabricación de contactos eléctricos, posee propiedades físicas con "gran dureza y un elevado punto de fusión y de ebullición, lo que proporciona a los contactos una excelente resistencia al desgaste mecánico, al soldado y a la erosión eléctrica.

Los contactos fabricados de tungsteno, debido a su resistencia de contacto relativamente alta, tienen limitaciones en la cantidad de corriente que pueden conducir e interrumpir, por lo tanto, el tungsteno está indicado para aplicaciones en las cuales la cantidad máxima de corriente sea de 5 amperes aproximadamente, sin embargo, posee gran resistencia al cierre y apertura, resistiendo operaciones del orden de varios millones.

Generalmente, se requiere una fuerza de cierre de 2 kilogramos y/o un potencial eléctrico de varios volts a fin de romper la película de óxidos que se forma a la temperatura ambiente y bajo condiciones normales de humedad.

El tungsteno no es dúctil y no puede trabajarse en frío como en la mayoría de los metales. Generalmente, es necesario usar un diseño compuesto en el cual el

disco de tungsteno se adhiere a un soporte ya sea remache o tornillo, para ser después ensamblado o montado al dispositivo donde se usará. Es muy común que los discos de tungsteno se monten directamente a la parte funcional, ya sea ésta el brazo de un interruptor, un soporte o un resorte. El acero níquelado o sin níquelar es el material preferido para el soporte del contacto de tungsteno; sin embargo, en casos especiales se usa con soporte de níquel, cobre o acero inoxidable.

Los contactos de tungsteno normalmente se cortan de barra. En algunas aplicaciones se hace necesario troquelar los discos de cinta de tungsteno.

Para facilitar la alineación es recomendable en algunos dispositivos, usar un contacto de superficie convexa contra uno de superficie plana. La superficie convexa se obtiene, ya sea por rectificado o por medio de una técnica especial de acuñado.

Los contactos de tungsteno, son utilizados con las superficies pulidas, algunas aplicaciones hacen necesario una superficie químicamente pura lograda con un tratamiento electroquímico, obteniendo así una superficie de acabado limpio y brillante que ofrece una resistencia mayor a la oxidación superficial, originada por la atmósfera. El tratamiento electroquímico, se recomienda en aquellos casos en que los contactos de tungsteno están sujetos a condiciones de humedad excesiva y la función de contacto se ve afectada por la corrosión.

En la industria, se manejan cinco grados básicos para el tungsteno: MK, K, HA, PK y Hp.

Esta clasificación está basada en la estructura y tamaño del grano.

Tungsteno MK: Posee una estructura fibrosa de grano fino en donde la relación entre la longitud y el diámetro del grano es muy grande. Este metal, se produce en forma de barra forjada y los discos para contacto se cortan transversalmente a la dirección del grano.

Tungsteno K: Tiene una estructura granular fibrosa similar a la del tungsteno MK, sin embargo, tiene una mayor amplitud en el tamaño promedio del grano. El tipo de producción y corte es similar al MK.

Tungsteno HA. De estructura granular entrelazada en la cual la relación entre la longitud del grano y su diámetro es pequeña. También se obtiene en forma de barra forjada y los discos se cortan transversalmente a la dirección del grano.

Tungsteno PK. Presenta estructura laminar de grano mediano. Se produce en forma de cinta laminada, de la que se troquelan los discos para contacto. La dirección del grano es paralela a la cara de operación.

Tungsteno HP. Estructura laminar de grano grande. Se produce en forma de cinta laminada, de la cual se troquelan los discos para contacto de manera similar que con el tungsteno PK. La dirección del grano es paralela a la cara de operación.

b) Molibdeno

El molibdeno es un metal similar al tungsteno de gran dureza y elevado punto de fusión y de ebullición. Sin embargo, estos valores son menores que los del tungsteno.

Se considera al molibdeno un material que puede reemplazar al tungsteno para aquellos usos en los cuales

es necesaria la resistencia al desgaste mecánico, al soldado y a las erosiones eléctricas.

El molibdeno como el tungsteno tiene limitada la cantidad de corriente que puede controlar por su conductividad eléctrica relativamente baja y su tendencia a formar óxidos de gran resistencia sobre la superficie de funcionamiento bajo condiciones de arqueo.

El molibdeno no se usa tanto como el tungsteno para contactos eléctricos debido a que éste proporciona un rendimiento superior. Sin embargo, aquel posee una densidad específica mucho menor que el tungsteno y, en diseños donde la masa del contacto es un factor importante, el molibdeno lleva definitivamente la ventaja.

El molibdeno es más dúctil que el tungsteno, pero no se puede trabajar en frío como la plata, el cobre o el acero. Debido a esto, los contactos por lo general, se componen de discos de molibdeno soldados a soportes.

El acero niquelado o sin niquelar es el metal más apropiado para el soporte. El molibdeno puede usarse en combinaciones de muelle-contacto para dispositivos que experimentan vibraciones elevadas.

El molibdeno básicamente, se fabrica en dos formas; en barra y en cinta. Las barras y discos de molibdeno, tienen una estructura granular de tipo fibroso. Los discos se cortan en barras transversalmente a la dirección del grano. Los discos de molibdeno, troquelados

de cinta laminada poseen una estructura granular de tipo fibroso. La dirección del grano es paralela a la cara de funcionamiento.

c) Plata

Los contactos de plata fina se usan indistintamente en dispositivos de corriente alterna y corriente directa.

La industria de aparatos domésticos, la industria automótrix y la industria eléctrica en general, ha usado ampliamente la plata fina como material para contactos en interruptores y relevadores. Los resultados son muy satisfactorios debido a su excelente conductividad eléctrica y térmica. La plata, que tiene baja resistencia superficial, hace que su uso sea lo más aconsejable para conducir corrientes eléctricas de varios amperes con un mínimo de presión en la superficie de contacto. La plata fina es muy ductil y puede conseguirse con este metal una gran variedad de diseños: contactos en forma de remache sólido, remache tubular, remache compuesto, en forma de botón sólido con respaldo de acero, además de otros productos como tornillos con cara de plata, etc.

d) Aleaciones de plata:

1. Plata-cobre
2. Plata-cadmio
3. Plata con refractarios
4. Plata con semirefractarios

1. Plata-cobre

Las aleaciones de plata-cobre, se usan frecuentemente cuando se necesita combinar baja resistencia de contacto con mayor dureza, característica que no ofrece la plata fina. Cuando se incrementa el porcentaje de cobre,

aumenta considerablemente la dureza de la aleación, al mismo tiempo, aumenta ligeramente la resistencia eléctrica, la cual se mantiene relativamente constante si se compara con otras aleaciones de plata. La presencia de cobre aumenta la tendencia a la oxidación, y la resistencia de la película superficial será mayor si la aleación de plata contiene un mayor porcentaje de ese metal. Generalmente se recomienda tener una fuerza de contacto de 56 gramos o más, y posibilidad de deslizamiento al efectuarse el toque entre las superficies de contacto, lo cual ayuda a romper las películas superficiales de considerable resistencia óhmica que se forman cuando se usan aleaciones de cobre y plata.

La plata-cobre es una aleación dúctil y puede trabajarse de una manera muy similar a la plata fina, lo que proporciona una ventaja económica.

2. Plata-cadmio

La adición de cadmio a la plata, ha creado un grupo de materiales que poseen buenas propiedades para la extinción de arco eléctrico. Estas aleaciones poseen propiedades de alta resistencia a la transferencia de material, a la resistencia mecánica, a la del soldado y a la erosión eléctrica. La resistencia específica y la dureza de las aleaciones de plata y cadmio se incrementan con el porcentaje de cadmio agregado. Estas aleaciones se usan tanto en circuito de corriente alterna como de corriente directa de intensidades altas y bajas.

La composición de 77% de Ag - 22.6% Cd - 0.4 Ni tiene aplicaciones muy variadas: en medidores eléctricos, reguladores de voltaje para automóviles, reforzadores y donde el diseño requiere el uso de pequeñas fuerzas de contacto, además de una resistencia superficial esta-

ble y baja transferencia de material.

3) Plata con refractarios

Los materiales refractarios no pueden alearse con plata o cobre, por lo que son indispensables los compuestos desarrollados por técnicas de pulvimetalurgia. Existen varios procedimientos para fabricar partes con polvo de metal y todos tienen ciertas ventajas y desventajas. El proceso de sinterizado e infiltrado se usa para fabricar materiales con una escala de refractarios del 35 al 85% por volumen. El contenido mínimo de refractario en estos materiales debe ser suficiente para alcanzar una densidad que permita su manejo, y el punto máximo de contenido de refractario se identifica cuando la porosidad evita la liga mecánica, quedando por lo tanto restringido el proceso de infiltrado. Cuando el volumen de refractario es menor del 35%, es necesario usar el método de prensado, sinterizado y reprensado, sin embargo, este método también puede usarse cuando se fabrican materiales con porcentajes más altos de componentes refractarios.

Estos procesos desarrollados por algunas empresas proporcionan materiales para contactos que poseen una combinación de propiedades favorables, tales como una buena conductividad eléctrica, resistencia a la erosión por arqueo, gran resistencia mecánica y resistencia a soldarse o adherirse. Esto se ha logrado mezclando materiales resistentes al arqueo, como tungsteno y molibdeno o sus carburos con materiales de buena conductividad eléctrica y térmica, como plata o cobre. Las gráficas III 1,a,b,c muestran como varían la densidad de estos materiales en relación a su composición. Cuando se

desea una alta conductividad eléctrica se aumenta la cantidad de plata y si lo que se requiere es mayor dureza o mayor resistencia al soldado, debe disminuirse la cantidad de plata en la composición.

Hay además otros factores que determinan también las propiedades físicas de estos materiales, como son su proceso de fabricación, el tamaño de las partículas del polvo refractario y el uso de aditivos.

Plata-carburo de tungsteno.

El carburo de tungsteno es otro material refractario resistente al arco eléctrico que se usa en la fabricación de contactos.

El carburo de tungsteno es un compuesto estable el cual posee mayor resistencia a la corrosión y un grado más bajo de oxidación que el mismo tungsteno.

Los materiales de plata con carburo de tungsteno son fabricados con técnicas de pulvimetalurgia.

El porcentaje más alto de refractario es el de la composición 40.0 Ag - 50 Wc.

Se usa en interruptores termomagnéticos y relevadores de alta velocidad para telétipos. Este material se caracteriza por su alta dureza y su buena resistencia al soldado.

Otra composición de plata carburo de tungsteno es la que contiene 50 Ag - 50 Wc. Contiene suficiente material refractario para proporcionar al contacto características tales como buena resistencia al arco eléctrico y capacidad suficiente para conducir e interrumpir corriente, en condiciones de corto circuito.

Esta última composición se usa tanto en interruptores termomagnéticos como en interruptores industriales montados en gabinetes metálicos. (Interruptores de seguridad).

Existen otros materiales de plata con carburo de tungsteno prensados, sinterizados y repsados, los cuales tienen composiciones similares a las de los materiales normales.

Estos materiales no tienen las propiedades físicas o las características de resistencia al arco eléctrico de los materiales infiltrados. Sin embargo, son más económicos y se les debe tomar en consideración para aplicaciones menos críticas.

Plata molibdeno

El molibdeno es otro material refractario resistente al arqueo que se usa en la fabricación de contactos. Las propiedades eléctricas de un contacto de plata molibdeno, con un volumen de plata equivalente, son más o menos las mismas que las de un contacto de plata con tungsteno y el carburo de tungsteno. Los materiales de plata con molibdeno son más ventajosos en aplicaciones donde la masa y la aceleración son los factores esenciales.

La composición de 40 Ag - 60.0 Mo tiene el porcentaje más elevado de material refractario y se usa principalmente en interruptores de corriente.

Este material tiene buena resistencia a la erosión por arqueo y se usa tanto en dispositivos operados tanto en aceite como en aire. Tiene una alta resistencia a adherirse y a soldarse y se usa en relevadores y contactores que controlan corrientes súbitas muy altas. También se usa en los interruptores de uso doméstico.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA
SELECCION DEL MATERIAL DE CONTACTO

ELECTRICOS

Corriente	Magnitud C D o C A Necesidades de sobrecarga
Voltaje	El voltaje a través de los contactos al abrir y cerrar
Tipo de carga	Resistiva Inductiva Capacitiva Carga de lámpara Carga de motor
Protección del Contacto o Supre sión del Arco	Circuito con condensadores Circuito con resistencias Circuito con rectificadores

MÉCANICOS

Fuerza de contacto	Fuerza de cierre Fuerza de apertura Fuerza de impacto al cerrar y abrir
Frecuencia de Operaciones	
Rangos de Cierre y Apertura	
Acción de Contacto	Flotamiento o deslizamiento al abrir o cerrar Rebote del contacto al cerrar Vibración del contacto al abrir
Factores de Espacio	Espacio entre los con- tactos abiertos Otros espacios que pue dan afectar el dieléctrico

Existen otros materiales compuestos de plata-molibdeno que no tienen las mismas propiedades físicas y las características de erosión por arqueo que tienen los materiales infiltrados. Estos son más económicos en su fabricación y se deben tomar en consideración para aplicaciones menos críticas.

Plata-tungsteno

Pueden producirse materiales de plata con tungsteno en una gran variedad de composiciones y por diversas técnicas; sin embargo, para uso en contactos eléctricos, el contenido de tungsteno varía hasta en un 75%. Al elegir una determinada composición de material, lo que generalmente se trata de obtener es el más alto porcentaje refractario que permita un funcionamiento satisfactorio, con un aumento de temperatura permisible dentro de las especificaciones. A menudo es necesario usar más de un par de contactos por polo para satisfacer todas las especificaciones de un dispositivo.

La composición de 35% Ag- 65% de tungsteno tiene un alto contenido de tungsteno y normalmente se usa en contactos de arqueo o de corto circuito, cuando su función principal consiste en interrumpir arcos de alta energía o evitar que los contactos se suelden.

DEL MEDIO AMBIENTE

Atmósfera	Aire, otros gases o aceite Elementos corrosivos Polvo o suciedad Desgaste por partículas de partes adyacentes Humedad
Temperatura	
Presión	

CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS

Propiedades Químicas	Composición Características de resistencia a la oxidación superficial Velocidad de oxidación
Propiedades Mecánicas	Dureza Esfuerzo a la tensión Módulo de elasticidad Módulo de ruptura
Propiedades Eléctricas	Conductividad eléctrica Función de Trabajo
Propiedades Térmicas	Calor específico Conductividad térmica Calores de fusión y vaporización

III.2. PROCESOS DE FABRICACION

La variedad de materiales indicados en el párrafo anterior, deja entrever la necesidad de transformarlos en partes, subensambles y ensambles a fin de obtener el producto terminado. Principalmente, son utilizados los siguientes procesos de fabricación:

- a) Moldeo
- b) Galvanotécnia
- c) Metalurgia de polvos
- d) Tratamientos térmicos

a) Moldeo

A fin de comprender con mayor claridad los diferentes métodos o sistemas de moldeo, daremos una breve descripción de lo que son los plásticos.

Es una denominación genérica de un grupo de productos artificiales cuyo constituyente principal es un alto polímero natural o sintético, capaces de afectar a la temperatura ordinaria, el estado sólido. Suceptibles de moldeo y de modelado mediante la acción de temperatura y presión convenientes con o sin la presencia de solventes. Las materias primas utilizadas para la preparación de las materias plásticas son diversas: aparte de la cola, gelatinas, resinas naturales y proteicas que fueron los primeros productos usados industrialmente, se emplean derivados de la celulosa y resinas sintéticas.

Según las resinas sintéticas que las constituyen las materias plásticas pueden dividirse en dos grupos:

1. Materias plásticas derivadas de la modificación de altopolímeros naturales, a los que pertenecen los

plásticos celulósicos, a base de ésteres o éteres de la celulosa y los protinoplásticos derivados de la condensación de sustancias protéicas (caseína, etc., con formaldehído).

2. Materias plásticas sintéticas cuyo componente es un alto polímero sintético.

La síntesis de los altopolímeros puede obtenerse por policondensación, por polimerización propiamente dicho y por poliadición. Partiendo de sus reacciones de obtención, las materias plásticas sintéticas se subdividen en tres grupos: policondensadas, polimerizadas, poliadicionadas.

Por su comportamiento respecto al calor las materias plásticas tanto naturales como artificiales se subdividen en dos clases: termoplásticas y termoestables.

Las termoplásticas en virtud de una elevación de temperatura pasan del estado sólido duro al líquido viscoso, recuperando su estado primitivo al ascender la temperatura, durante el calentamiento no ocurre reacción química alguna, sólo una transformación física temporal (reembrandecimiento) por lo cual este ciclo puede repetirse teóricamente infinidad de veces.

Las termoestables en cambio sometidas a calentamiento prolongado, de temperaturas más o menos elevadas y en presencia o no de catalizadores y de sustancias adecuadas (endrecedores) sufren una transformación química irreversible, en virtud de la cual el material pasa del estado plástico al de sólido insoluble e infusible. En estos materiales el estado de plasticidad no es reproducido pues el endurecimiento una vez producido es permanente.

Basándonos en la última clasificación, en la fabricación de interruptores se utilizan tanto los materiales termoplásticos como los termoestables, en mayor número éstos últimos.

En el primer grupo quedan comprendidos el formaldehído, policarbonato.

En el segundo grupo, la baquelita, poliéster con fibra de vidrio en contenido de 5, 10, 15, 18 y 20% para obtener diferentes niveles de resistencia mecánica.

Existen una variedad de procesos de moldeo para los termoplásticos y termofijos que sólo por mencionarlos diremos que son: inyección, compresión, transferencia, soplado, por capas, formación al vacío, formación a presión y película soplada principalmente, en interruptores son utilizados sólo los tres primeros; compresión, inyección y transferencia.

Estos métodos difieren principalmente por la forma en que es cargado el material y entra al molde. Existen grandes diferencias en la fluidez y colado de los materiales, que dictan la variación de los métodos para carga.

Moldeo por inyección

Este método es utilizado tanto para los termoplásticos como para los termoestables.

El material se carga en partículas sólidas en la tolva de alimentación, el sinfín alimentador produce suficiente calor para ablandar las partículas y formar una masa viscosa, después el sinfín hace entrar el material reblandecido a la cavidad del molde en la cual se conforma.

Después de inyectar el material en la cavidad, se suelen enfriar los moldes con agua o aceite para provocar

rebaba que se debe eliminar en una operación adicional, debido a ésto, las partes no son dimensionalmente muy estables.

Moldeo por transferencia

Este proceso abarca los mismos principios y materiales que el moldeo por compresión, la diferencia principal entre los dos procesos está en el método con el cual se alimenta el material para moldeo en la cavidad. En el moldeo por compresión la resina se coloca directamente en la cavidad del molde y la presión de una mitad del molde hace que el material se extienda en toda la cavidad. En el moldeo por transferencia la presión para obligar al material a entrar en la cavidad del molde se aplica desde una cavidad diferente llamada crisol de transferencia, un émbolo comprime el material del crisol de transferencia hacia un bebedero y por canales hacia la cavidad del molde. El material se calienta en el crisol de transferencia a presión aplicándose una presión mayor para enviar el material reblandecido a la cavidad del molde, pueden agregarse fibras o telas de refuerzo en la pieza. Se tiene la pequeña desventaja de quitar los bebederos, canales del molde y del crisol antes de agregar la siguiente carga porque el termofijo no puede volverse a usar.

b) Galvanotecnia

En general todas las partes metálicas (tornillería, partes troqueladas, etc.), requieren una protección contra la corrosión; para ello se utilizan revestimientos metálicos. Entre los procesos más comunes para revestimiento está la inmersión en caliente, la electrodeposición (galvanoplastia o galvanotécnia), la deposición sin electrodo, la electroformación, el anodizado, la

la metalización al vacío y la aspersion con metal.

Electrodeposición

Este método es utilizado en un 65% de las partes que requieren revestimiento, el otro 35% utiliza la deposición sin electrodos (en particular las piezas pequeñas como tornillería). La deposición sin electrodos también es conocida como galvanizado por inmersión.

La electrodeposición es el proceso en el cual un material se cubre con una superficie metálica. Es el proceso más común para deposición de metales, su característica principal es un control exacto del espesor de revestimiento que puede variar entre 0.0005 y 0.25 mm. (0.00002 y 0.101 pulg.) y una capa uniforme en piezas en superficie sin desigualdad.

El proceso se basa en la Ley de la electrodeposición de Faraday, la cual expresa que un farad produce un equivalente de un gramo de material aplicado. En la práctica, la corriente continúa desde el ánodo que es el material para revestir, ioniza electrolitos y los iones positivos del metal para revestir, atraviesan el electrolito hasta el cátodo que es la pieza que se va a revestir; cuando éstos iones metálicos se desplazan del ánodo al cátodo a través del electrolito, se depositan en el cátodo y liberan su carga eléctrica, por tanto el espesor y la rapidez de la electrodeposición se determina por densidad de la corriente. La deposición inicial en el cátodo empieza en ciertos lugares y cubren en forma gradual toda la superficie, es importante que toda la superficie esté perfectamente limpia y libre de raspaduras; las piezas se lavan en un baño de disolvente o ácido, se enjuagan y se someten a la electrodeposición.

Entre los metales más usados están el cromo, el níquel, el zinc, el plomo, el cadmio, el estaño y la plata.

C) Metalurgia de polvos

Por ser el punto de cierre y apertura propiamente dicho, los contactos deben poseer baja resistencia eléctrica y muy buena resistencia mecánica, además de soportar temperaturas elevadas que se generan en el momento de la apertura (sobre todo en el corto circuito) así como resistir la erosión por la acción del arco eléctrico que se genera en apertura a tensión y corrientes nominales.

En la elaboración de los contactos son utilizados en mayor número las aleaciones plata-tungsteno y en menor número plata-óxido de cadmio. Dependiendo de la corriente y tensión nominales y de las corrientes susceptibles de interrupción, se utilizan aleaciones de: 65-35, 70-30, 50-50, 75-25, % tungsteno-plata, siendo más común la de 50-50%. En plata-óxido de cadmio es muy usual 90-10% ésta última se utiliza en combinación con contactos plata-tungsteno en corrientes nominales mayores de 400 amperes.

La incorporación de dos metales como son la plata y el tungsteno es difícil cuando no es imposible en una aleación propiamente dicha, debido a sus puntos de fusión y evaporación tan diferentes; la plata tiene un punto de fusión de 960.5°C y de evaporación de 2210°C mientras que para el tungsteno son de 3410°C de fusión y 5930°C de evaporación.

El método para lograr incorporar los dos metales en cuestión consisten en mezclar éstos en las proporciones

deseadas, en forma de partículas finísimas, prácticamente en polvo (entre más pequeño sea el tamaño se logrará una mayor homogenización de la mezcla y una mejor densidad).

La mezcla así lograda, es prensada en troqueles especiales para darle la forma deseada, este proceso es reconocido como la metalurgia de polvo o pulvimetalurgia. El prensado se hace con prensas similares a la de los procesos normales de formado; pero en la metalurgia de polvos se utilizan matrices más complejas y los polvos prensados para conformarlos se deben someter a tratamientos térmicos en un horno para sinterizar y poder usarlos. Este proceso ha sido descubierto varias veces en la historia desde el antiguo Egipto pasando por Inglaterra y llegando hasta la Inglaterra Victoriana. La primera aplicación moderna fue en la formación de alambres con materiales en polvo que eran muy duros para trabajarlos y fundirlos con los procesos existentes en esa época.

Se cuenta actualmente con tres diferentes procesos de fabricación de contactos:

- Infiltrado
- Sinterizado
- Exudado

La selección de uno de ellos depende de la severidad de la aplicación, la composición, el diseño de los contactos y la economía.

Infiltrado

La mezcla pulverizada es prensada y sinterizada para formar cuerpos fuertemente unidos y con una determinada cantidad de porosidad. Estos poros son llenados con plata, para así formar cuerpos completamente densos.

Existirá usualmente un exceso de plata en una de las caras del contacto que, en la mayoría de los casos, es removida por el maquinado. Los contactos obtenidos por medio de este proceso tienen normalmente la más alta resistencia a la erosión del arco.

Sinterizado

Este es un proceso económico (utilizado generalmente en interruptores pequeños) contactos de 0.500 pulg de diámetro y espesores de 0.032 pulg.) En este proceso la mezcla compactada con el metal de alta conductividad son prensados y sinterizados hasta conseguir una alta densidad. Suele utilizarse una pequeña cantidad de un metal adicional para activar el sinterizado. La mayoría de los contactos fabricados por medio de este proceso, tendran estrias en el respaldo.

Durante el sinterizado, el exceso de plata se aloja en estas estrias. Esta plata puede ser usada como metal de relleno para uniones por soldadura con resistencia. En interruptores pequeños con contactos sinterizados se observa que la erosión es similar a la de los contactos infiltrados.

Exudado

Este proceso es más económico para hacer contactos pequeños. Los contactos fabricados por este proceso tienen los siguientes tamaños: 0.125 de ancho, 0.156 pulgadas de diámetro y 0.1040 pulg. de espesor.

En este proceso el material refractario y el material de alta conductividad se combinan, son prensados y sinterizados y con el propósito de lograr más alta densidad, se vuelve a prensar. La erosión por arqueo en estos contactos es generalmente mayor que la de los

que se obtienen por infiltrado. Presentan baja resistencia de contacto.

En este proceso la plata tiende a quedar en la superficie del contacto, con lo cual no existe una homogeneidad y por ello no es muy utilizado en donde es requerida una alta conductividad.

d) Tratamientos térmicos

Durante la manufactura, todos los materiales metálicos y algunos no metálicos se someten a procesos de calentamiento por muchas razones que quizás no estén en directa relación con el tratamiento térmico. Los materiales pueden calentarse para fundirlos, formarlos o fabricarlos; también para vaporizar, cocimiento o cerado y tratamiento térmico. Aunque todos los procesos de calentamiento pueden tener efectos de calentamiento térmico en el material, el calentamiento y enfriamiento controlados, para obtener propiedades específicas, es un proceso muy especializado.

El cambio o modificación de las propiedades de un material con calentamientos o enfriamientos controlados se denomina tratamiento térmico y es un término genérico que influye en los procesos de reblandecimiento, endurecido y tratamiento de superficies. El reblandecimiento incluye por ejemplo liberar esfuerzo, recocido, normalización y esferoidización. La eliminación de esfuerzos es necesaria principalmente en los resortes. El endurecimiento abarca procesos como templado y endurecimiento en sí. Entre los procesos para tratamiento de superficie se encuentran nitruración, cianuración, carburación y endurecimiento por inducción y a la flama. Los endurecimientos superficiales proveen a las partes tratadas gran resistencia al desgaste por fricción mecánica.

nica a la que están sometidas en operación normal.

Estos procesos se efectúan para aumentar la resistencia y dureza, mejorar la ductibilidad, cambiar el tamaño de granos y composición química, mejorar la facilidad de trabajo, liberar esfuerzos y modificar las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales.

Como todos estos procesos implican cambios o modificaciones en la estructura del material son necesarios conocimientos de metalurgia para conocerlos a fondo.

CAPITULO IV

PRUEBAS

IV. PRUEBAS

Las pruebas aplicables a interruptores en caja moldeada se clasifican en los tres grupos siguientes:

- a) Pruebas de diseño
- b) Pruebas de producción
- c) Pruebas de campo.

Desarrollo de cada tipo de prueba:

a) Pruebas de diseño

Son de los tres grupos el conjunto de pruebas que más exige de un interruptor en caja moldeada. El objetivo principal de estas pruebas es determinar la capacidad de diseño de un tipo particular, estilo o modelo de interruptor, de cubrir sus características nominales asignadas y que operen satisfactoriamente bajo condiciones normales de servicio, condiciones de aplicación o bajo condiciones especiales si así se especifica. Las pruebas de diseño son hechas básicamente a interruptores de nuevo diseño representativos del diseño para sustentar las capacidades nominales asignados a todos los interruptores de diseño similar y no son contempladas bajo producción normal.

Es decir, se elaboran cuando se presenta un nuevo diseño de interruptor, o bien cuando se elaboran cambios importantes en el diseño que pueden afectar el comportamiento de éste.

Por considerar la norma UL 489, la más completa se tomará como base para la descripción de la secuencia de pruebas de diseño. La norma UL 489 propone que el número de muestras, esté conforme a la tabla IV.1.

TABLA IV.1

TABLA DE SELECCION DE MUESTRAS

Corriente nominal del marco.	¿Tiene unidad de disparo intercambiable?	Cantidad de muestras	Observaciones
0 a 225	No	3 ó 4	Ver nota 1
0 a 225	Si	3 marcos, 3 unidades de disparo	
226 a 400	No	3	Ver nota 2
226 a 400	Si	2 marcos, 3 unidades de disparo	Ver nota 2
401 a 1600	No	3	Ver nota 3
401 a 1600	Si	1 marco, 3 unidades de disparo	Ver nota 3
1601 ó mayor	No	1	
1601 ó mayor	Si	1 marco, 1 unidad de disparo	

NOTAS:

- 1.- En interruptores de un polo para 120/240 VCA ó 125/250 VCD. se probaran dos interruptores juntos como si fuesen un interruptor de dos polos con disparo independiente en las pruebas de sobrecarga, de vida, capacidad interruptiva y rigidez dieléctrica, es decir dos interruptores formarán una muestra.
- 2.- Si se tienen unidades de disparo intercambiable, dos muestras del marco y 3 de las unidades de disparo constituyen una muestra para prueba de calibración a 200, 135 y 125% a 25°C. Las 2 unidades de disparo

El procedimiento de cada una de las pruebas es básicamente el mismo, solamente la secuencia difiere. Puede observarse que en la norma NOM-J-266 y NEMA 4B-1, se tiene la misma secuencia, por la razón de que esta última es la base de la primera.

SECUENCIA DE PRUEBAS DE DISEÑO

PRUEBAS	NORMA UL - 489		NORMA NEMA AB1-1975		NORMA NOM - J - 266	
	De dispo- nibilidad magnética	Sin compen- sación 25°C / 40°C	Compensa- ción cos. 40°C	Interrup- tor de tiempo inverso		Interrup- tor de disparo magnético
A) Calibración al 200% a 25°C	1	1	1	-	-	
B) Calibración al 125% a 25°C	2	-	-	-	-	
C) Calibración al 135% a 25°C	-	2	2	-	-	
D) Calibración al 200% a 40°C	-	-	3	2,6	2,6	
E) Calibración al 125% a 40°C	-	-	4	-	-	
(Después de conducir su Inom.)						
F) Calibración de unidad de dispa- ro magnético (si se tiene)	3	3	5	-	-	
G) Prueba de sobrecarga	4	4	6	3	3	
H) Carga de lámpara de tungsteno	5	5	7	-	-	
I) Calibración al 100% a 40°C	-	-	8	4	4	
J) Prueba de temperatura y cali- bración al 100% a 25°C	6	6	9	4	4	
K) Prueba de vida	7	7	8	5	5	
L) Calibración al 200% a 25°C	8	8	9	-	-	
M) Calibración al 125% a 25°C	9	9	-	-	-	
N) Calibración al 135% a 25°C	-	-	10	-	-	
O) Calibración al 125% a 40°C	-	-	13	-	-	
P) Prueba de circuito corto	10	10	11	7	7	
Q) Apertura al 200% a 25°C	11	11	12	-	-	
R) Rigidez dieléctrica	12	12	13	1	1	
S) Calibración al 135% a 40°C	-	-	-	2,6	2,6	

¶ Repetición.

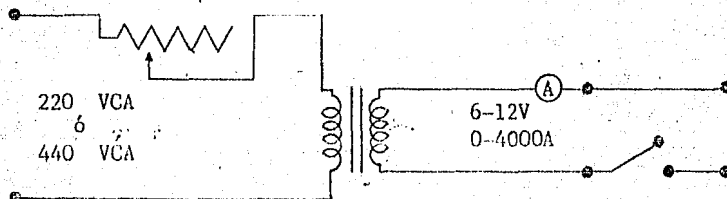
NOTAS:

- 1.- En las columnas 2 a 9 se indica el tipo y secuencia de pruebas para cada interruptor según la norma de referencia.
- 2.- Interruptores de disparo magnético. Su operación no es afectada por el efecto de calentamiento de la corriente ni por cambios en la temperatura ambiente.
- 3.- Interruptores sin compensación térmica. Su operación depende del efecto de calentamiento de la corriente y son afectados también por cambios en la temperatura ambiente. La secuencia de prueba estará de acuerdo con cualquier columna a opción del fabricante.
- 4.- Interruptores compensados térmicamente: Su operación automática depende del efecto de calentamiento de la corriente y tiene incorporados medios para contrarrestar los efectos de cambio en la temperatura ambiente.
- 5.- Se podrá elegir la 3a. columna si el grado de compensación utilizada en un interruptor es tal que no puede conducir su corriente nominal a 40°C.
- 6.- Si el interruptor incluye cualquier medio de compensación térmica en su mecanismo de disparo y si el fabricante tiene el interruptor marcado "40°C", la secuencia de prueba será la indicada en la cuarta columna.
- 7.- La prueba de carga de lámpara de tungsteno es hecha a interruptores de 50 amperes de corriente nominal o menores y 125 ó 125/250 volts., o menores.
- 8.- La prueba de calibración al 125% a 40°C (inciso 0) puede omitirse si la compensación no es afectada durante la prueba de sobrecarga y de vida.

- 9.- La prueba de temperatura y 100% de calibración a 40°C., puede ser hecha después de la de temperatura y 100% de calibración a 25°C (incisos I y J).

DIAGRAMA I

DIAGRAMA BASICO PARA PRUEBAS DE CALIBRACION



Pruebas:

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 200% A.D.L.Q. | 100% I.J. |
| 135% C.N.S. (Ver tabla IV.2) | Rigidez Dieléctrica |
| 125% B.E.M.O. | Disparo magnético |

Equipo necesario para las pruebas de calibración al 200%, 135%, 125% y 100%.

- Fuente de corriente graduable con indicador de corriente aplicada de 0 a 4000 amperes.
- Cronómetro.
- Cuarto de temperatura controlada con ajustes a $25 \pm 3^\circ\text{C}$, y $40 \pm 3^\circ\text{C}$
- Cables de pruebas, tramos de 1.22 metros, 4 de cada uno para conexión, según tabla IV.3 ó medios de conexión similares que produzcan la impedancia similar a los conductores.
- Medidores de par de apriete ("torquímetros") es deseable tener dos con diferentes escalas.

TABLA IV.3

TAMAÑO DE CONDUCTOR PARA CONEXION DE INTERRUPTORES

Corriente nominal de interruptor amps.	Cable de cobre paralelo tamaño	Cable de aluminio paralelo tamaño
15 ó menos	14 AWG	12 AWG
20	12 AWG	10 AWG
30	10 AWG	8 AWG
40	8	6
50	8	4
70	4	2
100	3	1/0
125	1	2/0
150	1/0	3/0
175	2/0	4/0
200	3/0	250 MCM
225	4/0	300 MCM
250	250 MCM	350 MCM
300	350 MCM	500 MCM
350	500 MCM	4/0 AWG
400	3/0 AWG	250 MCM
500	250 MCM	350 MCM
600	350 MCM	500 MCM
700	500 MCM	350 MCM
800	300 MCM	400 MCM
900	400 MCM	350 MCM
1000	400 MCM	350 MCM
1200	350 MCM	500 MCM
1400	500 MCM	500 MCM
1600	400 MCM	600 MCM
1800	400 MCM	600 MCM
2000	400 MCM	600 MCM

Tamaño de conductores conforme a National Electrical Code (N.E.C.) para conductores a 75°C. tamaños de conductor recomendados por N.E.C. 1984 tabla 310-16 y UL.489 tabla 8.1.

Para corrientes nominales no listadas usar el tamaño de conductor próximo siguiente, por ejemplo, para 90 amps., usar cable # 3 A W G

Pruebas de calibración al 200% (Incisos A, D, L y Q).

Esta prueba se hace polo por polo en el caso de interruptores de dos o tres polos.

Se inicia la prueba a la temperatura ambiente indicada en cada inciso. Los pares de apriete se ajustan de acuerdo con lo indicado por el fabricante (ver diagrama I). Los tiempos de disparo deberán estar de acuerdo a la tabla IV.4. Se debe cuidar que en la prueba de polos contiguos al polo probado inicialmente, esté a temperatura ambiente para evitar falsas lecturas.

TABLA IV.4.

TIEMPOS DE DISPARO A 200% DE CORRIENTE

Corriente nominal en amperes	Máximo tiempo de disparo en minutos
0 - 30	2
31 - 50	4
51 - 100	6
101 - 225	8
226 - 400	10
401 - 600	12
601 - 800	14
801 - 1000	16
1001 - 1200	18
1201 - 1600	20
1601 - 2000	22
2001 ó mayor	24

Prueba de calibración al 125% y 135% (Incisos C, N, S, B, E, M y O)

Esta prueba se hace con los polos en serie en el caso de interruptores de 2 ó 3 polos.

Se efectúa a la temperatura ambiente indicada en cada inciso con el 125 ó 135% de la corriente nominal

según proceda.

El interruptor bajo prueba debe disparar dentro de una hora para interruptores de 50 amperes o menores y en el lapso de dos horas para interruptores de más de 50 amperes.

Prueba de calibración de disparo magnético. (Inciso F)

La prueba de disparo magnético se hará según el siguiente procedimiento:

Se utiliza el diagrama I tomando en cuenta los valores de disparo nominal especificados por el fabricante, se tomarán de los valores de ajuste, el máximo y el mínimo. Para verificar el valor máximo de disparo, se ajusta el valor de corriente de la fuente al 70% de este valor, se incrementa rápidamente hasta lograr que el interruptor dispare por medio del disparo magnético. Se toma el valor de disparo.

Para verificar el valor de disparo en el ajuste máximo de corriente, el valor de la corriente de prueba se incrementa rápidamente desde cero hasta lograr que el interruptor dispare por sus medios magnéticos. Se toma el valor del disparo.

En ambos casos se debe cuidar que no opere el disparo térmico.

Cada polo es probado separadamente tres veces en los ajustes máximo y mínimo, el promedio de éstas es considerado el valor de disparo de este polo.

Las variaciones permisibles con respecto a los valores de disparo indicados por el fabricante son $\pm 10\%$ en el ajuste en baja y $\pm 15\%$ en el ajuste en alta.

Prueba de sobrecarga

Tanto en la prueba de sobrecarga como en la de vida y corto circuito, se debe conectar un fusible entre el gabinete o superficie de montaje y una de las líneas para detectar un arqueo entre esas partes. El fusible será de 30 amperes del tipo no renovable sin retardo de tiempo y de tensión nominal no menor que la del interruptor bajo prueba. Ver diagrama II

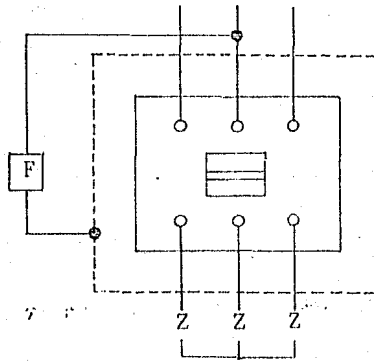
El interruptor debe ser capaz de operar satisfactoriamente bajo las condiciones de sobrecarga al 500% de su corriente nominal, pero no menos de 150 amperes. En todo caso, debe soportar el número de operaciones y ciclos de operaciones por minuto, indicados en la tabla IV.5. No deben ocurrir fallas mecánicas o eléctricas, ni fundirse el fusible.

TABLA IV.5.

PRUEBA DE SOBRECARGA NUMERO DE OPERACIONES

Tamaño de marco amp.	Cierre y apertura manual	Cierre y apertura automática	Número de ciclos de ops. por minuto
50	35	15	6
100	35	15	6
225	50	--	5
400	50	--	4
1000	50	--	1
2000	25	--	1
2500	25	--	1

DIAGRAMA II
 DIAGRAMA DE CONEXIONES



Prueba con carga de lámpara de tungsteno

Esta prueba se practica a interruptores de 50 amperes o menores que operen a tensiones de 125 ó 125/250 volts o menos. El interruptor no debe disparar estando conectado a su tensión nominal y con el 100% de su corriente nominal con carga de lámparas de tungsteno.

Para determinar si el interruptor cubre este requisito el banco de lámparas debe estar integrado por lámparas de 200 watts, podran usarse una o dos lámparas menores si es necesario para lograr la corriente nominal. Con el interruptor en el cuarto de temperatura y el 100% de carga nominal se mantiene cerrado por dos segundos y se abre durante dos minutos para permitir que se enfrien las lámparas. Esta prueba se repite 3 veces con los periodos de enfriamiento de dos minutos en cada caso. Si se desea, la carga de lámparas puede aplicarse en cada polo por separado.

Prueba de calibración al 100% a 40°C

En esta prueba el interruptor deberá ser capaz de conducir su corriente nominal durante tiempo indefinido a una temperatura

de 40°C.

Generalmente esta prueba se corre durante 8 horas, de no disparar en ese lapso de tiempo se da por bueno. Un interruptor que esté mal calibrado difícilmente supera sin dispararse dos horas, se usa el Diagrama I. (Página 124).

Prueba de temperatura y calibración al 100% a 25°C

En esta prueba se toman las temperaturas de diferentes partes del interruptor cuando lleva su corriente nominal a 25°C. Si pasó la prueba anterior, no tendrá problemas de disparo, toda vez que un interruptor que no dispara al 100% a 40°C no le hará al 100% a 25°C, de manera que permite sin problemas tomar las lecturas de temperatura.

El procedimiento es el siguiente:

Se conectan termopares en los puntos elegidos para tal efecto, generalmente en: zapatas, conductores, partes moldeadas, barras de conexión.

A una temperatura ambiente de 25°C cuidando que no existan corrientes de aire en el lugar, se alimenta el interruptor a su corriente nominal.

Se toman lecturas de temperatura de los diferentes puntos cada 20 minutos. Al obtener tres lecturas consecutivas sin cambio apreciable, se considera que el interruptor ha alcanzado su límite de temperatura. Entonces se toman las lecturas de los diferentes puntos, estos no deben superar los límites indicados en la tabla IV.6.

TABLA IV.6.

TEMPERATURAS MAXIMAS PERMISIBLES

Temperatura °C	Punto de prueba
50	Conductores con aislamiento termoplástico.
50	En cualquier parte del interruptor (partes moldeadas, barras de conexión, etc.)
35	Partes metálicas u otras superficies que tengan contacto con el usuario.
60	Partes no metálicas que tengan contacto con el usuario (palancas, botones etc.)

Se usa Diagrama de conexiones I.

Prueba de vida

En esta prueba, el interruptor deberá mostrar su capacidad de soportar una serie de operaciones con y sin carga según se indica en la tabla IV.7. Puede usarse cualquier medio eléctrico o neumático diseñado para efectuar los ciclos, cierre y apertura indicados.

El diagrama de conexiones I, es usado para alimentar la corriente nominal del interruptor. Se conecta un fusible de 30 amperes como se indicó en el diagrama II de la prueba de sobrecarga.

El interruptor no deberá sufrir daño alguno ni observar falla eléctrica o mecánica, el fusible no deberá dañarse.

TABLA IV.7.

OPERACIONES DE LA PRUEBA DE VIDA

Tamaño del marco en amps.	No. de ciclos de operaciones			No. de ciclos de operaciones por minuto
	Con corriente	Sin corriente	Total	
50	6,000	4,000	10,000	6
100	6,000	4,000	10,000	6
125	4,000	4,000	8,000	5
150	4,000	4,000	8,000	5
200	4,000	4,000	8,000	5
225	4,000	4,000	8,000	5
400	1,000	5,000	6,000	4
1000	500	3,000	3,500	1
2000	500	2,000	2,500	1
2500	500	2,000	2,500	1

Prueba de corto circuito

Esta es la prueba de operación eléctrica que más exige al interruptor, se prueba ni más ni menos la mayor corriente que es capaz de interrumpir sin sufrir daño alguno eléctrico o mecánico.

A continuación se desarrollará la secuencia del procedimiento y requerimientos especificados por la norma UL 489 para la prueba en cuestión. (Ref. UL 489, sección 21).

Un interruptor en caja moldeada deberá ser capaz de responder satisfactoriamente cuando es operado bajo las condiciones que se desarrollan a continuación, sin que se presenten daños mecánicos, eléctricos u operación

del fusible indicado en el diagrama de conexiones. El algodón indicador[?](si es utilizado) que se muestra en la figura de referencia no se deberá quemar. (Figura A y B)

No deberán existir daños en los conductores, en el aislamiento de estos para ser utilizados en la prueba. Al finalizar la prueba el interruptor deberá tener continuidad cuando esté en la posición de "cerrado" y su tensión nominal.

Un interruptor en caja moldeada deberá sujetarse al número y tipo de operaciones indicadas en la tabla IV.8, cuando éste sea conectado como se muestra en la figura A y deberá interrumpir la corriente que se indica en la tabla IV.10. La operación trifásica o la común deberá ser elegida a opción como inicio por el fabricante.

El intervalo de tiempo entre las operaciones de interrupción deberá ser de dos minutos máximo.

Un interruptor para uso dentro de un gabinete ventilado deberá ser probado dentro de su gabinete. El algodón en este caso deberá colocarse sobre el gabinete por la parte de afuera cubriendo completamente todas las aberturas.

Cualquier impedancia que pueda ser necesaria para limitar la corriente, deberá conectarse en el circuito en el lado de línea del interruptor. El voltaje de circuito abierto de la fuente de suministro no deberá ser menor que 100% y no más del 105% de la tensión nominal del interruptor.

? El algodón indicador puede omitirse, sí, con la palanca en cualquier posición, no existe alguna apertura alrededor de la palanca, por la cual puede introducirse un alambre de .010" de diámetro.

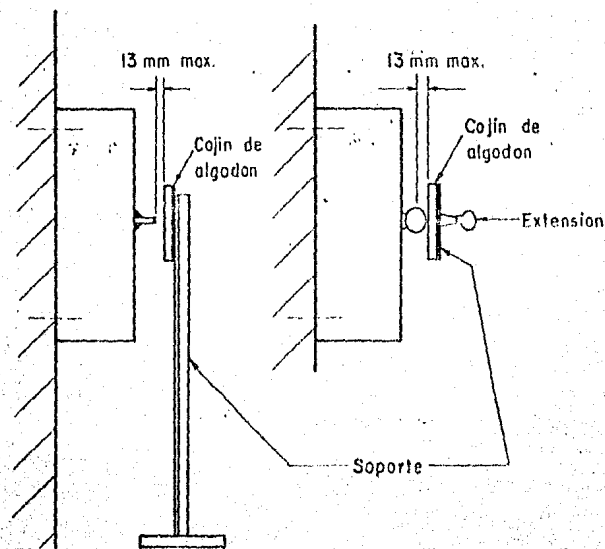
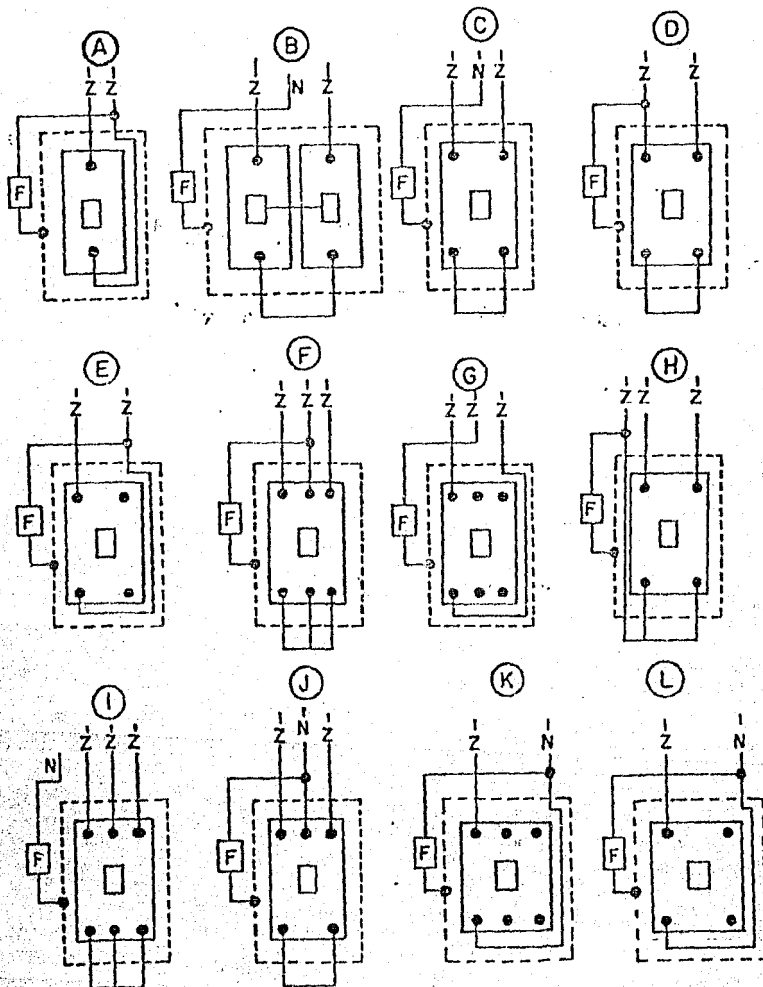


FIGURA A.

**LOCALIZACION DEL COJIN DE ALGODON PARA PRUEBAS DE
CAPACIDAD INTERRUPTIVA**

FIGURA B.

DIAGRAMA DE CONEXION PARA LA PRUEBA DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA



N - Neutro

Z - Impedancia limitadora

F - Fusible de 30 amperes

----- Gabinete

TABLA IV.8

OPERACIONES PARA LA PRUEBA DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA

Polos	Marco	Tensión C.A. nom. del interruptor	Letras indicativas del diagrama de la figura A						Número total de operaciones
			Operación en cada pólo			Operación común			
			O	CO	O	O	CO	O	
1	Todos	120, 240, 277, 480, 600	A	A	A	-	-	-	3
1	Todos	120/240 (prueba en par)	-	-	-	B	B	B	3
2	Todos	240/480 ó 600	E	E	-	D	-	-	5
2	Todos	120/240	-	-	-	C	C	C	3
2	0-1200A	480 y/277	L	L	-	C	-	-	5
2	Todos	10 - 10	E	E	-	H	-	-	5
3	0-1200	240, 480 ó 600	G	G	-	F	-	-	7
3	1201	240, 480 ó 600	G	G	-	F	F	-	8
3	Todos	120/240	-	-	-	J	J	J	3
3	0-1200	480 y/277	K	K	-	I	-	-	7
3	1201	480 y/277	K	K	-	I	I	-	8

NOTA: Para la tensión de 250 VCD el número de operaciones es el mismo que para 240 VAC

El conductor utilizado en la prueba de capacidad interruptiva deberá estar de acuerdo con la corriente nominal del interruptor (Ref. UL 489 secc. 121.8).

Un interruptor para uso con corriente directa deberá ser probado con corriente directa y será conectado de tal manera que el gabinete sea positivo en potencial con respecto al punto de arqueo próximo.

Un interruptor para uso con corriente alterna será probado con corriente alterna a frecuencia nominal. El

factor de potencia deberá ser de acuerdo con la tabla IV.9.

TABLA IV.9.
FACTOR DE POTENCIA PARA LA PRUEBA

Corriente de prueba (Amp.)	Factor de potencia
10,000 ó menos	.45 - .50
10,002 - 20,000	.25 - .30
más de 20,000	.15 - .20

Para el caso de un interruptor de corriente directa deberá utilizarse la tabla IV.10, para la determinación de la constante de tiempo del circuito. Ver figura C.

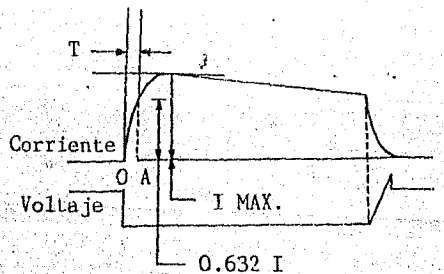


Figura C.

El valor de la constante de tiempo está dado por las abscisas OA que corresponde a la ordenada $0.632 I$.

La capacidad de corriente directa del circuito no deberá ser menor que el valor que se indica en la tabla IV.10.

TABLA IV.10
DISPONIBILIDAD DE CORRIENTE EN CIRCUITOS DE PRUEBA

Tens. nom. Corr. nom.	Corriente sim. RMS ó DC Amperes				
	1 polo	2 polos		3 polos	
		Individual	Común	Individual	Común
250 v máx.					
100 A máx.	5000	5000	5000	4330	5000
251 - 600 V					
100 A máx.	10000	10000	10000	8660	10000
*					
101 - 800 A	10000	10000	10000	8660	10000
801 - 1200 A	-	14000	14000	12120	14000
*					
1201 - 1600 A	-	14000	20000	14000	20000
*					
1601 - 2000 A	-	14000	25000	14000	25000
*					
2001 - 2500 A	-	20000	30000	20000	30000
*					
2501 - 3000 A	-	25000	30000	25000	35000
*					
3001 - 4000 A	-	30000	45000	30000	45000
*					
4001 - 5000 A	-	40000	60000	40000	60000
*					
5001 - 6000 A	-	50000	70000	50000	70000
*					

* Cualquier tensión.

Para un circuito en corriente alterna y corriente de 5000 a 10000 amperes, la determinación del factor de potencia deberá estar de acuerdo con lo siguiente:

La corriente en cada fase deberá ser verificada de acuerdo con la figura D (verificar el valor RMS)

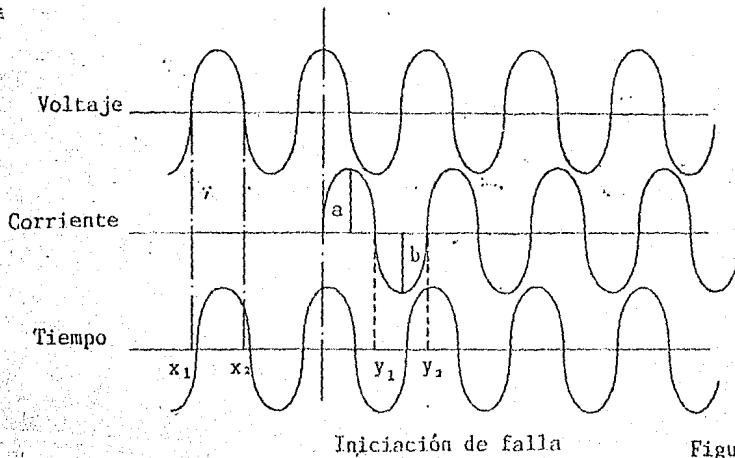


Figura D

Corriente = $(a + b/2)$ por calib. rms del interruptor.

Factor de potencia = $\cos[(Y_1 + X_1) 180^\circ] + \cos[(Y_2 + X_2) 180^\circ]/2$

Determinación de la corriente RMS y del factor de potencia para circuitos de 10000 Amp. ó menos.

Para circuitos de corriente alterna y corrientes de más de 10000 Amp. la corriente y el factor de potencia es determinado de acuerdo con lo siguiente:

La corriente simétrica es determinada con las terminales de suministro cortocircuitadas, y midiendo la componente de la onda alterna en el medio ciclo después

de la iniciación del corto - circuito. La corriente será calculada de acuerdo con lo indicado en la figura 2 de la norma ANSI C37.05-1979 (métodos para la determinación de valores de una onda senoidal para interruptores de alta tensión).

El circuito de prueba y sus transitorios serán tales que:

- 1) Tres ciclos después de la iniciación del corto circuito la componente simétrica no será menor que el 90% del valor después del primer medio ciclo.
- 2) La componente simétrica en el tiempo en que el interruptor interrumpe la corriente se encuentra en el 100% del rango de corriente para el cual el interruptor es probado.

En circuitos trifásicos la componente simétrica es el promedio de las tres fases.

El factor de potencia será determinado en el primer medio ciclo después de ocurrido el corto - circuito. A continuación se calculan las siguientes relaciones:

$$M_A \text{ (Para 3 } \emptyset) = \frac{3 \text{ fases total - RMS asim. Amps.}}{3 \text{ fases total - RMS sim. Amps.}}$$

$$M_M \text{ (Para 1 } \emptyset) = \frac{\text{RMS asim. Amps.}}{\text{RMS sim. Amps.}}$$

Con dichas relaciones y guiándose con la tabla IV.11 se obtendrá el factor de potencia.

El factor de potencia de cualquier fase no será mayor que lo que se indica en la tabla IV.11.

El valor de pico del voltaje de recuperación dentro del medio ciclo después de haber abierto el interruptor

TABLA IV. 11.

FACTOR DE POTENCIA DE CORTO CIRCUITO

Factor de potencia, de corto circuito %	Relación M_M	Relación M_A	Factor de potencia, de corto circuito %	Relación M_M	Relación M_A
0	1.732	1.394	30	1.130	1.064
1	1.697	1.374	31	1.122	1.062
2	1.662	1.354	32	1.113	1.057
3	1.630	1.336	33	1.106	1.053
4	1.599	1.318	34	1.098	1.050
5	1.569	1.302	35	1.091	1.046
6	1.540	1.286	36	1.085	1.043
7	1.512	1.271	37	1.079	1.040
8	1.486	1.256	38	1.073	1.037
9	1.461	1.242	39	1.068	1.034
10	1.437	1.229	40	1.062	1.031
11	1.413	1.216	41	1.058	1.029
12	1.391	1.204	42	1.053	1.027
13	1.370	1.193	43	1.049	1.025
14	1.350	1.182	44	1.045	1.023
15	1.331	1.172	45	1.041	1.021
16	1.312	1.162	46	1.038	1.019
17	1.295	1.152	47	1.035	1.017
18	1.278	1.144	48	1.032	1.016
19	1.262	1.135	48	1.029	1.014
20	1.247	1.127	50	1.026	1.013
21	1.232	1.119	55	1.016	1.008
22	1.219	1.112	60	1.009	1.004
23	1.205	1.105	65	1.005	1.002
24	1.193	1.099	70	1.002	1.001
25	1.181	1.092	75	1.0008	1.0004
26	1.170	1.087	80	1.0002	1.0001
27	1.159	1.081	85	1.00004	1.00002
28	1.149	1.076	100	1.00000	1.00000
29	1.139	1.071			

y para los próximos cinco picos sucesivos deberá ser igual a 1.414 veces el valor rms del voltaje nominal del interruptor. Cada pico estará desplazado por no más de 10 grados eléctricos.

Prueba de rigidez dieléctrica

Un interruptor en caja moldeada deberá ser capaz de soportar por un minuto sin sufrir daño alguno, la aplicación de una onda senoidal de 1000 volts más dos veces la tensión nominal, entre las siguientes partes:

- a) Entre terminales de línea y carga con el interruptor abierto (posición de disparado o posición de OFF).
- b) Entre terminales de polaridad opuesta con el interruptor cerrado.
- c) Entre partes vivas y el gabinete con el interruptor, tanto en la posición de abierto, como en la de cerrado.

La señal de prueba aplicada deberá empezar desde cero hasta el valor predeterminado y entonces se sostendrá éste por un minuto.

b) Pruebas de producción

Estas pruebas son establecidas por el fabricante con el propósito de asegurar que los interruptores cumplan con las pruebas de diseño.

A continuación se desarrollan algunas pruebas de producción, que son comunmente aplicadas.

Rigidez dieléctrica entre partes de polaridad opuesta

Esta prueba es realizada normalmente al ensamble de las navajas con la barra de entrelace (de material aislante). Esto es debido a que dicha barra de entrelace generalmente consta de un refuerzo metálico interno necesario para soportar operaciones intermitentes (prueba de operaciones con y sin carga; prueba de diseño). En la práctica se aplican 5000 VCA a una frecuencia de 60 Hz entre las navajas (ver figura E)

Cabe hacer notar que en las normas se especifican 1000 volts más el doble de la tensión nominal como mínimo que debe soportar un interruptor en caja moldeada.

Esta prueba es destructiva y es realizada a muestras representativas de cada lote de producción.

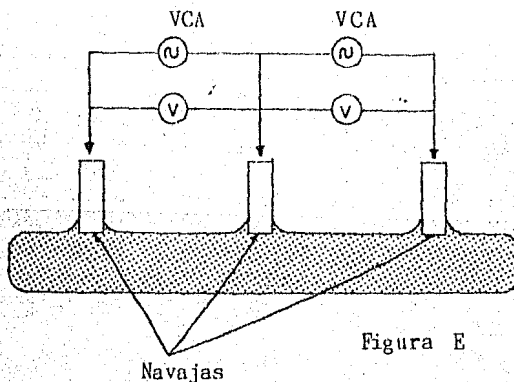


Figura E

Continuidad y presión mínima de contacto

Esta prueba, la cual es muy sencilla, se realiza comúnmente en la línea de ensamble al 100% de la producción ya que a pesar de ser tan simple, es de suma importancia que el interruptor tenga la presión de contacto adecuada con el fin de evitar desgaste excesivo durante su operación normal, así como sobrecalentamientos y operaciones indeseadas.

Básicamente consiste en colocar el interruptor (semiterminado de ensamblar) en un dispositivo y operarlo hacia la posición de cerrado. En estas condiciones se verifica la continuidad eléctrica y al mismo tiempo con un "tensiometro", es medida la tensión de contacto jalando la navaja hacia arriba con el tensiómetro y tomando la lectura en el momento en que el dispositivo indica el instante de separación de los contactos.

La tensión mínima aceptable dependerá del diseño particular que se trate, sin embargo, conforme el tamaño de marco se incrementa también aumenta la tensión mínima requerida.

Existen diseños en los cuales se requiere el uso de dos tipos de navajas para cada fase, con el objetivo de que una de ellas conduzca la corriente nominal durante la operación normal y a la vez una apertura o cierre, el otro conjunto de navaja y contacto reciba el arqueo y el desgaste. En este caso a las navajas y contactos "de arqueo" se les da una mayor presión de contacto con el fin de que estas cierren antes que las navajas y contactos "principales".

Verificación de calibración magnética y térmica

De las pruebas de producción, consideramos a éstas las más importantes, ya que es aquí donde se verifica que el interruptor cumplirá con la curva de disparo que se especifica y desde luego con los valores indicados en las normas.

Se aplican al porcentaje de interruptores que considera el departamento de control de calidad; pero generalmente -por su rapidez- las de verificación magnética se aplican al 100% de la producción.

Consisten en lo siguiente:

a) Verificación de disparo magnético

Se aplican pulsos de corriente de 1, 2 ó 3 ciclos según sea establecido por el departamento de diseño, al interruptor en la posición de cerrado. Se prueba tanto el límite alto como el bajo del rango de ajuste.

La prueba se hace polo por polo.

Los valores extremos del rango no son sujetos a ninguna norma, se establecen de acuerdo a criterio del fabricante, generalmente son de 5 veces el valor de la corriente nominal para el límite inferior y de 10 veces para el superior. Sin embargo, lo que sí establecen las normas son las tolerancias a los valores asignados por los fabricantes. Así, para el valor inferior es permitido un $\pm 10\%$ de variación y $\pm 20\%$ para el valor superior en caso de los interruptores de disparo magnético. En los interruptores termomagnéticos las variaciones permisibles son $\pm 20\%$ y $\pm 25\%$ respectivamente.

b) Verificación de disparo térmico.

Consiste en aplicar al interruptor una corriente de valor mayor que la nominal, pero sin llegar a ser lo suficientemente altas como para que opere el elemento magnético. Con el propósito de que el tiempo utilizado en la prueba no sea excesivo (por razones de producción) se aplica 200 ó 300% de la corriente nominal del interruptor bajo prueba. De utilizar corrientes cercanas al 100% el tiempo de disparo sería mayor. Esta prueba es hecha polo por polo.

Se toman como base valores (rangos de tiempo) dentro de los cuales debe abrir el interruptor de acuerdo con su curva de disparo. Dichos valores de tiempo siempre deben caer dentro de la curva de disparo del interruptor y garantizar el cumplimiento de las pruebas al 135 y 200% de la corriente nominal, indicadas en las normas.

c) Pruebas de campo

En ocasiones se requiere verificar al interruptor en el campo para determinar su capacidad de cubrir las funciones que se ofrecen (tipo de protección). El siguiente procedimiento es recomendado.

1. Interruptores nuevos (detección de posibles daños durante el empaque y traslado)
 - a) Inspección visual para detectar daños físicos, golpes, fracturas, humedad, etc.
 - b) Efectuar operaciones mecánicas de cierre y apertura.
 - c) Verificación de continuidad en cada polo con el interruptor en posición cerrado.
 - d) Si se dispone de equipo, se puede, si se desea, aplicar el 300% de corriente nominal en cada polo para verificar que el interruptor disparará en sobrecarga.
2. Interruptores que han estado en servicio
 - a) Retirar el interruptor del circuito asegurándose que este desenergizado.
 - b) Inspeccionar visualmente el interruptor para detectar daños físicos o evidencias de sobrecalentamiento en las terminales, daños por corrosión, suciedad, etc.
 - c) Efectuar operaciones de cierre-apertura manual.
 - d) Aplicar 300% de la corriente nominal en cada polo, para comprobar que el interruptor disparará en sobrecarga.
 - e) De ser posible, efectuar lectura de caída de

tensión; para procedimiento de prueba y valores de caída de tensión máximos consultar al fabricante. En caso de obtener valores de caída de tensión arriba de los indicados por el fabricante, verificar que las conexiones tengan los pares de apriete recomendados.

- f) Efectuar prueba de resistencia de aislamiento usando un Megger. La lectura obtenida no deberá ser mayor que un Megohm.
- g) Al instalar el interruptor, asegurarse que todas las conexiones estén de acuerdo a recomendaciones del fabricante.

CAPITULO V
SELECCION Y APLICACION

V. SELECCION Y APLICACION

SELECCION:

La selección del dispositivo protector adecuado, consiste por lo general de los dos pasos siguientes:

1.- Determinar las capacidades requeridas.

La capacidad continua del dispositivo debe ser adecuada para manejar la corriente de carga normal. La capacidad interruptiva debe ser adecuada para interrumpir con seguridad la corriente de corto circuito disponible en el punto del sistema donde el dispositivo se encuentra instalado. La tensión nominal del dispositivo no debe ser excedida por la tensión del sistema.

2.- Otros requerimientos

Tomando como base las capacidades requeridas del dispositivo de protección puede ser aparente que dos o más tipos de dispositivos puedan satisfacer una aplicación determinada. Por tanto el segundo paso en la selección de estos dispositivos, es determinarlos desde el punto de vista práctico y que cumpla mejor con las características siguientes:

Flexibilidad.- Los dispositivos varían respecto su habilidad para satisfacer ciertas condiciones que cambian con el tiempo, así como en su habilidad para cubrir las necesidades de coordinación que el sistema pueda tener. Allí donde la carga y otros parámetros del sistema no pueden ser determinados fácilmente o están sujetos a cambios relativamente frecuentes, se presenta la necesidad de tener máxima flexibilidad. Por otro lado, en esos casos en que toda la información necesaria se encuentra a la mano, la flexibilidad del dispositivo resulta de menor

importancia.

Confiabilidad.- El dispositivo debe satisfacer, en forma apropiada, las funciones requeridas dentro de sus valores de calibración, durante toda su vida normal de operación, de modo que proporcione máxima continuidad en el servicio sin riesgos peligrosos, interrupciones innecesarias o interrupción parcial de una de las líneas.

Robustez.- Los dispositivos de protección de circuitos varían en su capacidad de operar frecuentemente en su vida, y en su resistencia para soportar condiciones anormales del circuito. La vida inherente del dispositivo en la razón del número de operaciones para el cual es diseñado, es particularmente importante cuando el dispositivo se usa en ciclos repetitivos de operación tales como los que se presentan en motores que arrancan a menudo. Pero esta característica tiene poca importancia cuando el dispositivo se usa como un alimentador común y corriente, el cual es operado raras veces.

Mantenimiento.- El mantenimiento que los diversos dispositivos de protección de circuitos requieren durante su vida normal de trabajo puede ser muy variado. Por un lado la vida útil de operación de algunos dispositivos puede ser completamente renovada al dársele el servicio de mantenimiento requerido, mientras que por otro lado, algunos dispositivos no admiten reparación alguna y deben ser reemplazados totalmente.

Accesorios.- La selección del dispositivo algunas veces está condicionada por la posibilidad de obtener ciertos accesorios tales como: indicación auxiliar de alarma, entrelaces de seguridad, operación remota, sensibilidad al voltaje, etc.

Ambiente.- En algunos casos el uso de los dispositivos en cierto medio ambiente puede requerir cubiertas especiales o reducción en su capacidad normal.

Economía en la aplicación.- Todos los factores anteriores deberán ser tomados en cuenta por el comprador para la selección más económica que satisfaga la aplicación particular de que se trate. En este caso, las características propias del sistema de distribución en el cual se usará el dispositivo de protección de circuitos, serán las que determinen la selección. Los dispositivos de protección de circuitos se fabrican en diferentes tipos y capacidades con el propósito específico de satisfacer, de la mejor manera, las necesidades particulares de cada sistema de distribución. Estas características deben estar de acuerdo por consiguiente con la economía requerida para la instalación y la sencillez de operación que las instalaciones modernas exigen.

Guía general de selección.

Partiendo de la descripción del dispositivo requerido y de sus características de operación (tensión y corriente), pueden ser satisfactorios dos o tres tipos de dispositivos para una aplicación dada. La selección final de uno de ellos depende de sus características físicas y eléctricas adicionales.

A continuación se tratan las consideraciones más importantes para la selección:

CARACTERISTICA

INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA

Flexibilidad

Ajuste de la característica de protección

El valor de disparo instantáneo es ajustable en los interruptores mayores. Las características de sobrecarga son fijas y no pueden ajustarse.

Posibilidad de intercambiar el dispositivo de disparo.

La posibilidad de intercambiar los dispositivos de disparo en los marcos mayores, permite al interruptor manejar los incrementos de la carga dentro de su capacidad.

Adecuados para arrancar motores

Pueden ser usados para arrancar esporádicamente motores pequeños

Posibilidad de coordinación

Se aplica a plena capacidad.

Características de disparo para usos especiales

Se pueden obtener con característica de tiempo diferido e instantáneo, sólo instantáneo, térmico solamente, o no automático.

Accesorios

Pueden añadirse fácilmente ciertos accesorios en el lugar de instalación a la mayoría de los interruptores, otros sólo pueden añadirse en la fábrica.

Confiabilidad

Disparo común

La operación de uno de los dispositivos de sobrecorriente abre los tres polos

Efectos de la temperatura ambiente sobre la característica de disparo.

El dispositivo térmico de sobrecarga es sensible a los cambios de la temperatura ambiente afectando sus característi

Envejecimiento	cas; el disparo magnético instantáneo no es afectado por la temperatura ambiente. El tiempo en el servicio no afecta la calibración.
----------------	---

Robustez

Capacidad de desconexión Operación bajo condiciones anormales	Adecuada para abrir bajo carga Puede operar con seguridad bajo cualquier condición de sobrecarga o de falla dentro de su capacidad máxima interruptiva.
--	--

Mantenimiento

Mantenimiento requerido por servicio de desconexión	No se requiere darle mantenimiento normalmente. Si el número de operaciones excede al indicado en la tabla de requerimiento NEMA de resistencia, el interruptor debe ser revisado pudiendo requerirse el cambio de algunas de sus partes.
---	---

Necesidades de reparaciones después de la interrupción de una falla	Es recomendable la inspección de un interruptor después de la interrupción de una falla cerca de su capacidad interruptiva. Si los interruptores son dañados deberán ser reemplazados.
---	--

Provisiones para el mantenimiento	Diseñados para recibir un número mínimo de mantenimiento en el lugar de instalación.
-----------------------------------	--

Conveniencia de llevar partes de repuesto en existencia	Se requiere tener en existencia marcos completos de reposición, unidades de disparo y zapatas terminales.
---	---

 Otras peculiaridades

Tipos de cubiertas	Pueden obtenerse cubiertas para <u>práctica</u> mente cualquier medio ambiente.
Costo inicial	Costo inicial moderado
Dimensiones	Relativamente compacto.

Aplicación de interruptores en caja moldeada para dar protección a circuitos individuales con motores.

Para los motores de inducción de jaula de ardilla trifásicos, 60 ciclos, abiertos a prueba de goteo y totalmente cerrados, enfriados por ventilador, (incluyendo los diseños NEMA B, C y D) son adecuados los interruptores en caja moldeada para desempeñar las siguientes funciones:

- a) Protección de circuitos derivados
- b) Como medio de desconexión.

(Ver tabla V.1.)

Las capacidades recomendadas de los interruptores son las que, por experiencia, han sido satisfactorias para las condiciones comunes de operación de motores de inducción. Por lo general los arrancadores combinados que se suministran individualmente o en los centros de control para motores tienen sus interruptores de acuerdo con las capacidades recomendadas en la tabla V.1, con excepción de los casos en que se especifiquen condiciones especiales de carga o de temperatura ambiente.

Si el centro de control para motores o el arrancador combinado en su caja individual se hayan instalado en un ambiente cuya temperatura sea mayor de 40°C o si el

TABLA V.1.

APLICACION DE INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA PARA DAR PROTECCION A CIRCUITOS INDIVIDUALES CON MOTORES

C.p del Motor	Corriente trifásica a plena carga del motor				Arranque a pleno voltaje a voltaje reducido por resistencias o a voltaje reducido por reactor Motores trifásicos de jaula de ardilla			Arranque o voltaje reducido por autotransformador. Motores trifásicos de jaula de ardilla		
	208 Voltios	220 Voltios	440 Voltios	550 Voltios	208 / 220 Voltios	440 Voltios	550 Voltios	208/220 Voltios	440 Voltios	550 Voltios
1 1/2	5.3	5	2.5	2.0	15	15	15	15	15	15
2	6.9	6.5	3.3	2.6	20	15	15	15	15	15
3	9.5	9	4.5	4.0	30	15	15	20	15	15
5	15.9	15	6	6	50	20	20	40	15	15
7 1/2	23	22	11	9	50	30	30	50	30	20
10	29	22	14	11	50	40	30	50	30	30
15	42	40	20	16	70	50	50	70	40	40
20	55	52	26	21	100	50	50	100	50	50
25	68	64	32	26	100	70	70	100	50	50
30	83	78	39	31	150	70	70	125	70	50
40	110	104	52	41	175	100	100	150	100	70
50	133	125	63	50	225	100	100	200	100	100
60	159	150	75	60	225	125	100	225	125	100
75	196	185	93	74	300	150	125	300	150	125
100	261	246	123	98	400	200	175	300	200	150
125	329	310	155	124	...	225	225	...	225	200
150	382	360	180	144	...	300	225	...	200	225
200	509	480	240	192	...	350	350	...	300	300

ciclo de trabajo es muy severo, debe considerarse el uso de interruptores con capacidades mayores que las indicadas en esta tabla.

Cómo utilizar los factores de reducción de la capacidad:

Los interruptores termomagnéticos se prueban y se calibran al aire libre y a una temperatura ambiente de 25°C, a menos que se indique lo contrario. Ahora bien, debido a que el elemento de disparo por sobrecorriente es un dispositivo térmico, éste disparará al interruptor a corrientes iguales o menores que la nominal cuando éste opere a una temperatura mayor que la especificada como temperatura nominal de operación.

Cuando se seleccionen los interruptores termomagnéticos en caja moldeada, deben considerarse cuidadosamente el efecto de la temperatura ambiente y de la cubierta al determinar la capacidad requerida, con el objeto de evitar que ocurran disparos innecesarios.

Los factores que afectan la capacidad de conducción de corriente en interruptores en caja moldeada, se aplican a la corriente nominal de operación del interruptor independientemente de las consideraciones y restricciones indicadas en las Normas de instalaciones eléctricas.

Las tablas de factores de reducción de capacidad, han sido tomadas de información de dispositivos de protección de circuitos de baja tensión de un fabricante de equipo. Sin embargo, nos da una idea de los factores de reducción de capacidad en general. (Ver Tabla V.2 y Tabla V.3).

TABLA V.2.

FACTORES DE REDUCCION DE CAPACIDAD PARA INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA

Temperatura ambiente del compartimiento interior -Factor A

Temp. ambiente interior		Interruptores en caja moldeada. Factor multiplicador A				
°C	°F	Tipos TQ y TQ (todas las capacidades.	Tipo TE (terminales asimétricas) (20-100 Amps.)	Tipo TJJL (250-400 Amperes)	Tipo TE (terminal asimétrica) TEF y TF (30-100 Amps.) TJ y TK, TRM (400-1200 Amps.)	Tipo TE (15-20 Amps.) TEF y TF TRM (125-350 Amps.)
0	32	....	0.90	0.88	0.86	0.84
10	50	....	.92	.91	.90	.88
20	68	....	.97	.96	.96	.95
25	77	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	86	....	1.03	1.04	1.04	1.06
40	104	....	1.10	1.13	1.15	1.20
50	122	....	1.20	1.23	1.30	1.43
60	140	....	1.33	1.41	1.59	1.88

Cajas o cubiertas - Factor B

Condición de la cubierta	Factor multiplicador B
Sin cubierta al aire libre	1.0
Interruptores alimentadores en centros de control para motores.....	1.15
Interruptores en tableros de frente muerto.....	1.15
Cajas de tipo industrial para interruptores individuales (tipos NEMA 1, 3, 2, 5, 7)	1.15
Interruptores en tableros de alumbrado:	
1 a 20 interruptores.....	1.15
Interruptores en la mitad superior de tableros con más de 20 interruptores.....	1.25
Interruptores en tableros de distribución:	
En caja mayor de 1.20 mts. de alto (4 pies).....	1.15
Interruptores en la mitad superior de cajas mayores de 1.20 mtrs..	1.25
Interruptores en unidades enchufables para ductos.....	1.15

Clasificación del tipo de cargas o ciclo de trabajo - Factor C

Carga o ciclo de trabajo	Factor multiplicador C
Cargas continuas y uniformes (incluyendo alumbrado) (Según secciones NEC 210-23, 220-2, 220-3, 384-16).....	1.25
Condensadores (NEC 460-8)	1.35 (mín)
Soldadoras eléctricas de resistencia.....	3.0 (máx.)
Dos o más motores (NEC 430-62).....	*
Motores y Lámparas (NEC 430-63).....	?

* El valor del dispositivo del interruptor de protección del alimentador no debe ser mayor que la corriente del más grande de los motores, según se desprende de las tablas NEC 430-152-153, añadida a la suma de las corrientes a plena carga del resto de los motores del grupo.

° El valor de disparo del interruptor protector del alimentador se determina sumando los valores del disparo calculados para la carga de motores y el alumbrado, después de que estos se determinan individualmente.

TABLA V.3.

CAPACIDAD NORMAL DE INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS EN CAJA
MOLDEADA AL SER AFECTADA POR CUBIERTAS Y TEMPERATURA
AMBIENTE SOLAMENTE.

Interruptores termo- magnéticos en caja moldeada (Grupo VI del Manual de pro- ductos industriales)	Capacidad continua-amps.								
	Capacidad continua al aire libre - amps.			En tableros de maniobra, tableros universales y tableros de distribución (excepto lo indicado en la columna a la derecha)			En la mitad superior de: 1. Tableros de alumbrado con más de 20 interrupto- res. 2. Tableros de distribu- ción mayores de 1.20 m.		
	25C	30C	40C	25C	30C	40C	25C	30C	40C
Tipo TR	20	....	....	....	....	....	....	....	....
Tipo RQL y TQ	70	....	....	....	....	....	....	....	....
Tipo TE	100	97	91	87	84.5	79	80	77.5	72.5
Tipo TEF	100	96	87	87	83.5	76	80	77	70
Tipo TF	100	96	87	87	83.5	76	80	77	80
Tipo TJ y IK	225	216	196	195	188	170	180	173	157
Tipo TJL	400	384	354	348	334	308	320	307	283
Tipo TKM	800	770	696	695	670	605	640	616	556

Nota 1. Los interruptores en Aire AK-2 no requieren reducción en su capacidad por temperatura ambiente o cubiertas como es el caso en esta tabla.

Nota 2. Para cargas continuas y estables NEC especifica que el dispositivo protector del circuito debe ser 25% mayor que el valor de la carga. Este factor debe considerarse en adición a los factores de esta tabla y corresponde al factor C en la lista de factores de reducción de capacidad.

Coordinación de protecciones

Se pretende desarrollar los puntos principales que deben considerarse en un estudio de coordinación de protecciones aplicable en sistemas de potencia industriales y comerciales en baja tensión.

Desarrollando un ejemplo para un sistema eléctrico donde es utilizado un procedimiento de prueba y error para determinar la coordinación final.

Un estudio de coordinación de protección es un esfuerzo organizado para determinar los rangos apropiados, tipo y ajustes de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un sistema eléctrico. El objetivo de un estudio de coordinación es efectuar la coordinación tiempo-corriente entre los dispositivos que protegen el sistema, garantizando una máxima continuidad del servicio, entendiéndose por esto, que los dispositivos requeridos sean seleccionados y ajustados de tal modo que sólo el dispositivo más cercano a la falla sea el que opere para aislar esta parte del sistema del resto del mismo de tal modo que esta parte continúe con servicio (a esto se le denomina comúnmente coordinación selectiva).

Los factores que nos indican la necesidad de un estudio de coordinación de protección son:

- a) Seguridad personal
- b) Consideraciones económicas (en la industria se reflejan costos adicionales debido a las fallas de energía).
- c) Cuando se ha modificado la instalación.
- d) Cuando se trata de una nueva instalación.

Procedimiento para un estudio de coordinación de protecciones.

El procedimiento siguiente es recomendable para un estudio de coordinación de protección.

1. Diagrama unifilar.

Se debe indicar en un diagrama unifilar todos los datos pertinentes incluyendo tipos y rangos para todos los dispositivos de protección contra sobrecorriente, datos de carga, datos de transformadores, datos de conductores y valores de corto circuito.

2. Requerimientos especiales.

Para cada circuito, determinar los requerimientos especiales indicados por las características de la carga. Por ejemplo, los requerimientos para protección de cables, puntos ANSI, corrientes de arranque de motores.

3. Selección de escalas.

Examinar el valor nominal de corriente de los dispositivos, generalmente el valor nominal de corriente del dispositivo más pequeño es el factor limitante en el lado izquierdo de la gráfica del estudio y la corriente de falla disponible máxima es el factor limitante en el lado derecho de la gráfica del estudio de coordinación de protecciones. Seleccionar una escala que abarque los rangos de corriente que se calcularon.

4. Puntos fijos.

Localizar los puntos de protección pertinentes en la gráfica (generalmente es una gráfica LOG-LOG).

5. Donde comenzar.

En general lo mejor es comenzar con los dispositivos

Procedimiento para un estudio de coordinación de protecciones.

El procedimiento siguiente es recomendable para un estudio de coordinación de protección.

1. Diagrama unifilar.

Se debe indicar en un diagrama unifilar todos los datos pertinentes incluyendo tipos y rangos para todos los dispositivos de protección contra sobrecorriente, datos de carga, datos de transformadores, datos de conductores y valores de corto circuito.

2. Requerimientos especiales.

Para cada circuito, determinar los requerimientos especiales indicados por las características de la carga. Por ejemplo, los requerimientos para protección de cables, puntos ANSI, corrientes de arranque de motores.

3. Selección de escalas.

Examinar el valor nominal de corriente de los dispositivos, generalmente el valor nominal de corriente del dispositivo más pequeño es el factor limitante en el lado izquierdo de la gráfica del estudio y la corriente de falla disponible máxima es el factor limitante en el lado derecho de la gráfica del estudio de coordinación de protecciones. Seleccionar una escala que abarque los rangos de corriente que se calcularon.

4. Puntos fijos.

Localizar los puntos de protección pertinentes en la gráfica (generalmente es una gráfica LOG-LOG).

5. Donde comenzar.

En general lo mejor es comenzar con los dispositivos

de circuitos derivados con características fijas y dirigiéndose hacia la fuente.

6. Dispositivo de mayor corriente.

Cuando se tengan que coordinar un dispositivo con otros dispositivos de corriente más baja determinar el dispositivo para coordinar con el dispositivo de más alta corriente. Esto automáticamente coordinará con todos los dispositivos más pequeños.

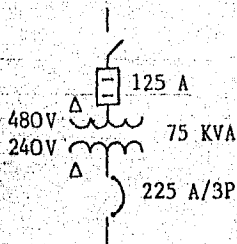
7. Los dispositivos involucrados tienen diferentes rangos nominales, curvas y están especificados a diferentes niveles de tensión del sistema. Así pues, para comparar las diferentes curvas es mejor utilizar una caja de luz y trazar las curvas individuales dentro de una hoja maestra de coordinación tiempo-corriente.

8. Traslape de característica de dispositivos con el mismo nivel de tensión.

Para comparar las características de los dispositivos al mismo nivel de tensión, traslapar la característica tiempo-corriente y alinearla en la hoja tal que los valores de corriente y tiempo de cada dispositivo coincidan en ambas hojas.

Dispositivos a diferentes niveles de tensión.

Para este caso se requiere que los valores de corriente de una de las curvas tiempo-corriente de uno de los dispositivos sea convertida a su valor equivalente al nivel de tensión del otro dispositivo. El siguiente ejemplo ilustra este procedimiento:



Para convertir el valor de 225 a 240 V. a un valor correspondiente a 480 V.

Amperes a baja tensión $\times \frac{V_{baja}}{V_{alta}} = \text{Amperes a alta tensión.}$

$$225A \text{ a } 240V \times \frac{240V}{480V} = 112.5A \text{ a } 480V.$$

Comparar ahora al mismo nivel de tensión los dispositivos.

9. Selección de rangos de ajustes.

La selección de los rangos y ajustes de los dispositivos de protección contra sobrecorriente para proveer protección al sistema y una operación selectiva es frecuentemente un procedimiento de prueba y error. Para lograr la optima protección del sistema seleccionar el dispositivo de sobrecorriente de más pequeña corriente nominal que permita que circule la corriente normal de la carga, incluyendo alguna sobrecarga permisible. Para coordinación selectiva de los dispositivos de protección por sobrecorriente, ajustar las curvas tiempo-corriente tan lejos de la izquierda como sea posible sin traslaparse o cruzarse con otra curva. En algunos casos, existirá un compromiso entre la protección y la coordinación debido a las necesidades de protección.

Datos requeridos para un estudios de coordinación de protecciones.

1. Datos de la carga

Máxima corriente de carga en todos los circuitos. Consideraciones especiales tales como corriente de arranque.

2. Transformadores

Potencia nominal
Tensión primaria
Tensión secundaria
conexión (delta-delta, delta estrella, etc)
Porcentaje de impedancia
Corriente de magnetización
Tipo de enfriamiento (AA, OA, etc.)
Capacidades de sobrecarga.

3. Motores.

Potencia nominal
Corriente a plena carga
Corriente a rotor bloqueado
Factor de servicio
Tiempo de operación en frío y en caliente
Tiempo de arranque
Tipo de arranque
Curva de daño térmico

4. Suministro

Rangos y tipos de ajustes de los dispositivos de protección de la compañía suministradora.

5. Corriente de corto-circuito

La máxima corriente disponible trifásica en amperes RMS simétrico en cada localización de dispositivos de protección contra sobrecorriente.

6. Curvas característica tiempo-corriente.

Las curvas tiempo-corriente de todos los dispositivos a ser coordinados. Estos deben estar disponible por los fabricantes en papel transparente LOG-LOG.

7. Interruptores

Tipo de interruptores y fabricante

Tamaño de marco

Amperes nominales

Rango de ajuste de tiempo largo

Rango de ajuste de tiempo corto

Rango de ajuste instantáneo

8. Relevadores de sobrecorriente

Tipo de relevador y fabricante

Rango de ajuste (TAP) de corriente

Rango de ajuste de retardo de tiempo

Rango de ajuste instantáneo

Relación de transformación del T.C.

9. Fusibles

Tipo y fabricante

Corriente nominal continua

10. Cables

Número por fase

En conduit o al aire libre

Tipo de conductor (Al ó Cu)

Tipo de aislamiento

Ampacidad (NEC 310)

Característica de tiempo - corriente

11. Electroducto

Ampacidad

12. Tableros de fuerza y alumbrado

Ampacidad

Dispositivos de protección contra sobrecorriente comúnmente utilizados en la construcción de sistemas eléctricos comerciales e industriales.

- Interruptores

- Fusibles

- Relevadores de sobrecorriente

(Sus curvas pueden obtenerse de los fabricantes)

Ya hemos mencionado características de los interruptores en caja moldeada, por lo que solo mencionaremos lo referente a fusibles y relevadores.

Coordinación y curvas de tiempo-corriente de fusibles

Sus curvas características de tiempo-corriente se encuentran disponibles por los fabricantes de la forma de mínimo tiempo de fusión y tiempo de libramiento total en papel transparente. El mínimo tiempo de fusión es el tiempo existente entre la iniciación de una corriente alta (suficiente para provocar la fusión del elemento fusible) y el instante cuando comienza el arqueo. El tiempo de libramiento total es el lapso de tiempo desde el comienzo de una sobrecorriente hasta la interrupción final. Este tiempo es igual a la curva del tiempo de fusión y el tiempo de arqueo. Cuando se coordinan fusibles de mediana tensión algunos fabricantes recomiendan que se aplique un margen de daño o seguridad a la curva de fusión mínima para compensar variables como tolerancias, precargas, y temperatura ambiente. Para tales margenes se deberá consultar al fabricante.

Se tienen tres métodos para verificar la coordinación entre fusibles:

1. Utilizar un esquema de selectividad del fabricante (ver tabla V.4 para ejemplificar)
2. Gráfica de las curvas tiempo-corriente en papel gráfico LOG-LOG (ver figura V.1)

Tabla V.4.- Selectividad Tipica, Secuencia

Lado de Línea	Lado de Carga							
	Clase L Tiempo-demora Fusible 601-6000 A	Clase L Fusible 601-6000 A	Clase K1 Fusible 0-600 A	Clase J Fusible 0-600 A	Clase K6 Tiempo-demora Fusible 0-600 A	Clase K5 Tiempo-demora Corriente- Limite Fusible 0-600 A	Clase J Tiempo-demora Fusible 15-600 A	Clase G Fusible 0-60 A
Clase L Tiempo-Demora Fusible 601-6000 A	2:1	2:1	2:1	2:1	4:1	3:1	3:1	-
Clase L Fusible 601-6000 A	2:1	2:1	2:1	2:1	6:1	5:1	5:1	-
Clase K1 Fusible 0-600 A			3:1	3:1	8:1	4:1	4:1	4:1
Clase J Fusible 0-600 A			3:1	3:1	8:1	4:1	4:1	4:1
Clase K5 Tiempo-Demora Fusible 0-600 A			1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Clase K5 Tiempo-Demora Corriente-limite fusible 0-600 A			1.5:1	1.5:1	4:1	2:1	2:1	2:1
Clase J Tiempo-demora fusible 15-600 A			1.5:1	1.5:1	4:1	2:1	2:1	2:1

CURVAS DE COORDINACION
TIEMPO-CORRIENTE, FUSIBLES.

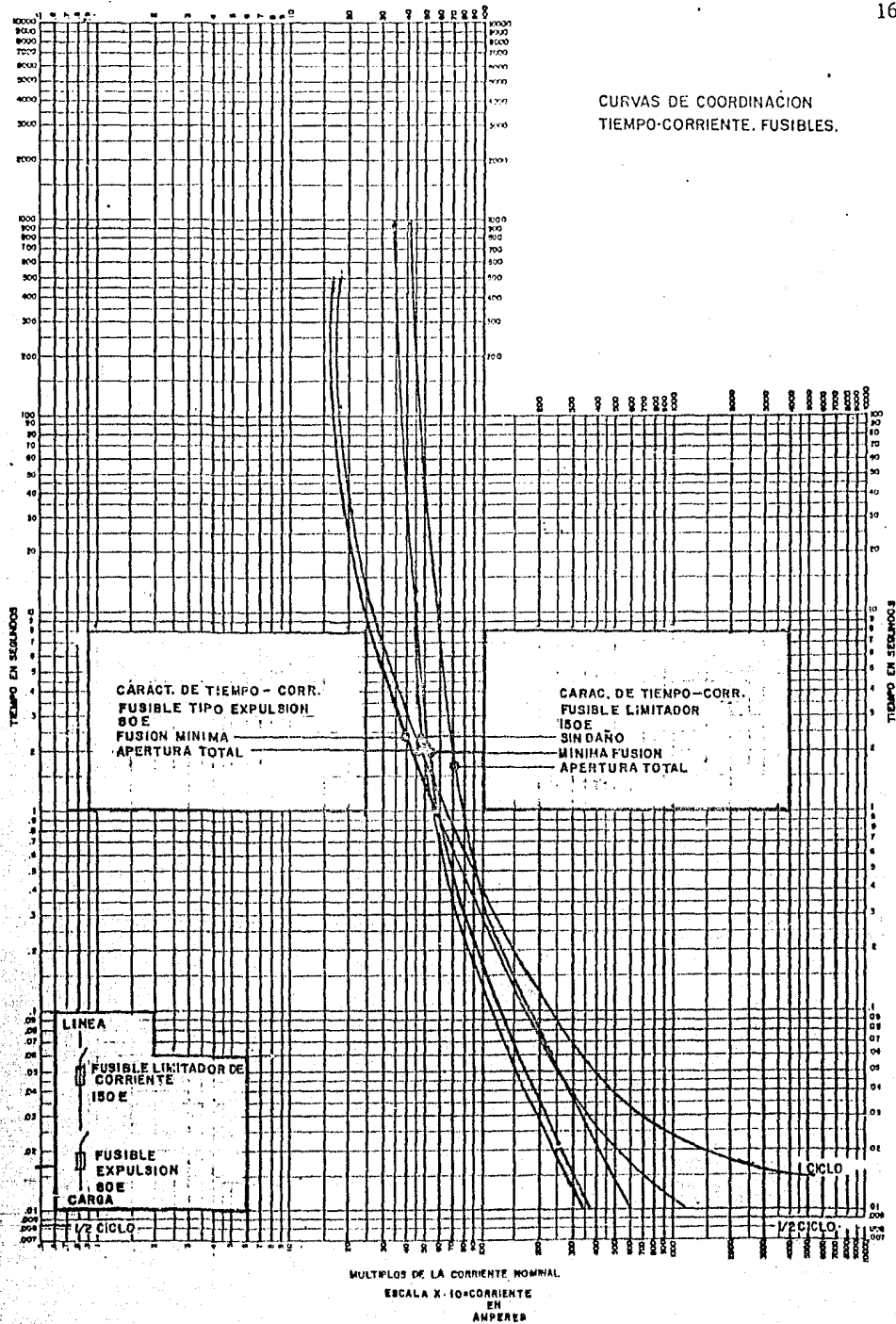


Fig. V. 1.

3. Comparar la energía de fusión con la energía de libramiento total para tiempos menores que 0.01 segundos.

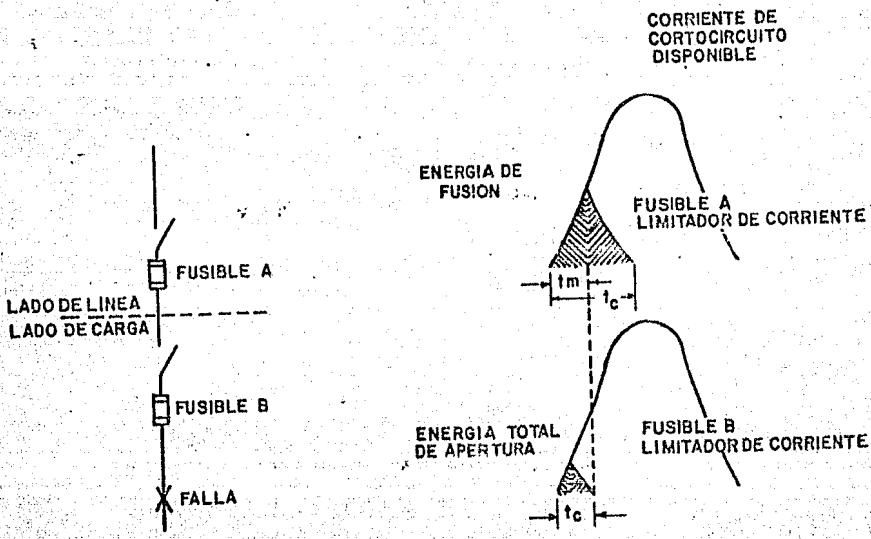
Los esquemas de selectividad se publican solamente para fusibles de baja tensión y presentan algunas limitantes. Estos, no pueden ser aplicados cuando los fusibles están verificados a diferentes voltajes (por ejemplo, fusibles en lado opuesto de un transformador). No pueden utilizarse para la coordinación de fusibles con interruptores, relevadores o con fusibles de otros fabricantes. Debido a tales limitantes los esquemas de selectividad son usualmente de poco valor al efectuar un estudio de coordinación.

Las gráficas de curvas de tiempo-corriente es el mayor camino para verificar la coordinación. Dos fusibles en serie se coordinaran selectivamente si el total de la curva de tiempo de libramiento del fusible de menor corriente está debajo y hacia la izquierda de la curva de fusión mínima del fusible de mayor corriente.

De cualquier modo, las curvas tiempo-corriente de fusible están limitadas a 0.01 segundos. Para la coordinación a tiempos menores que 0.01 segundos, es necesario utilizar valores de energía. Dos fusibles en serie se coordinarán efectivamente si el total de la energía de libramiento del fusible de menor flujo de corriente es menor que la mínima energía de fusión del fusible de mayor flujo de corriente (ver fig. V.2).

Coordinación y curvas de tiempo-corriente de relevadores de sobrecorriente.

Los más comunmente utilizados en sistemas eléctricos comerciales e industriales son los de atraso de tiempo y los instantáneos que responden sólo a magnitudes de corriente.



SELECTIVIDAD. LA ENERGIA TOTAL DE APERTURA DEL FUSIBLE B DEBE SER MENOR QUE LA ENERGIA DE FUSION DEL FUSIBLE A

Fig. V.2

Los relevadores de corriente son usualmente del tipo de atracción electromagnética y pueden montarse en el mismo gabinete que los de atraso de tiempo.

Los de atraso de tiempo pueden ser de estado sólido o tipo disco de inducción (siendo estos los más comunes). Existe gran variedad de tipos de relevadores. En la figura V.3, se indica una comparación entre relevadores de sobrecorriente.

Los relevadores de sobrecorriente presentan dos ajustes: el ajuste de tiempo de atraso (DIAL) y el ajuste de disparo de corriente (TAP) (ver. fig. V.4).

Al coordinar relevadores de sobrecorriente con fusibles, interruptores y otros relevadores debe incluirse un margen de tiempo para compensar tolerancia, sobreviaje del disco de inducción, tiempo de operación del interruptor y un margen de seguridad.

En la figura V.5, se indican los márgenes de tiempo utilizados para relevadores de sobrecorriente de disco de inducción.

Ejemplo de estudio de coordinación de protecciones.

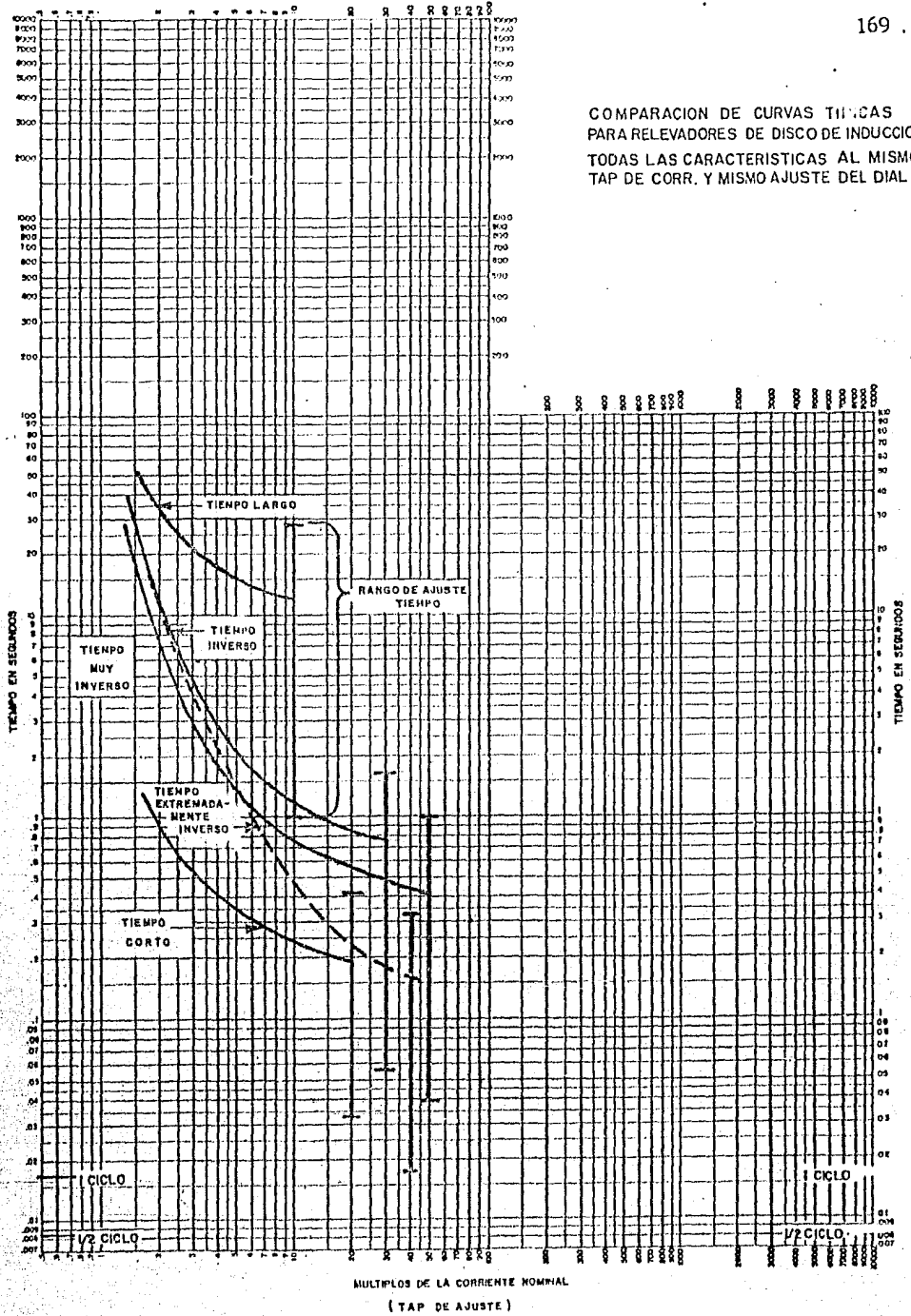
Sea el diagrama que se muestra en la figura V.6.

A. Diagrama unifilar.

El diagrama unifilar con los datos del sistema y los cálculos de corto circuito, así como el tamaño de los fusibles seleccionados en el estudio son también indicados en el diagrama de la figura V.6.

B. Selección de fusibles de lado primario del transformador 2000 KVA.

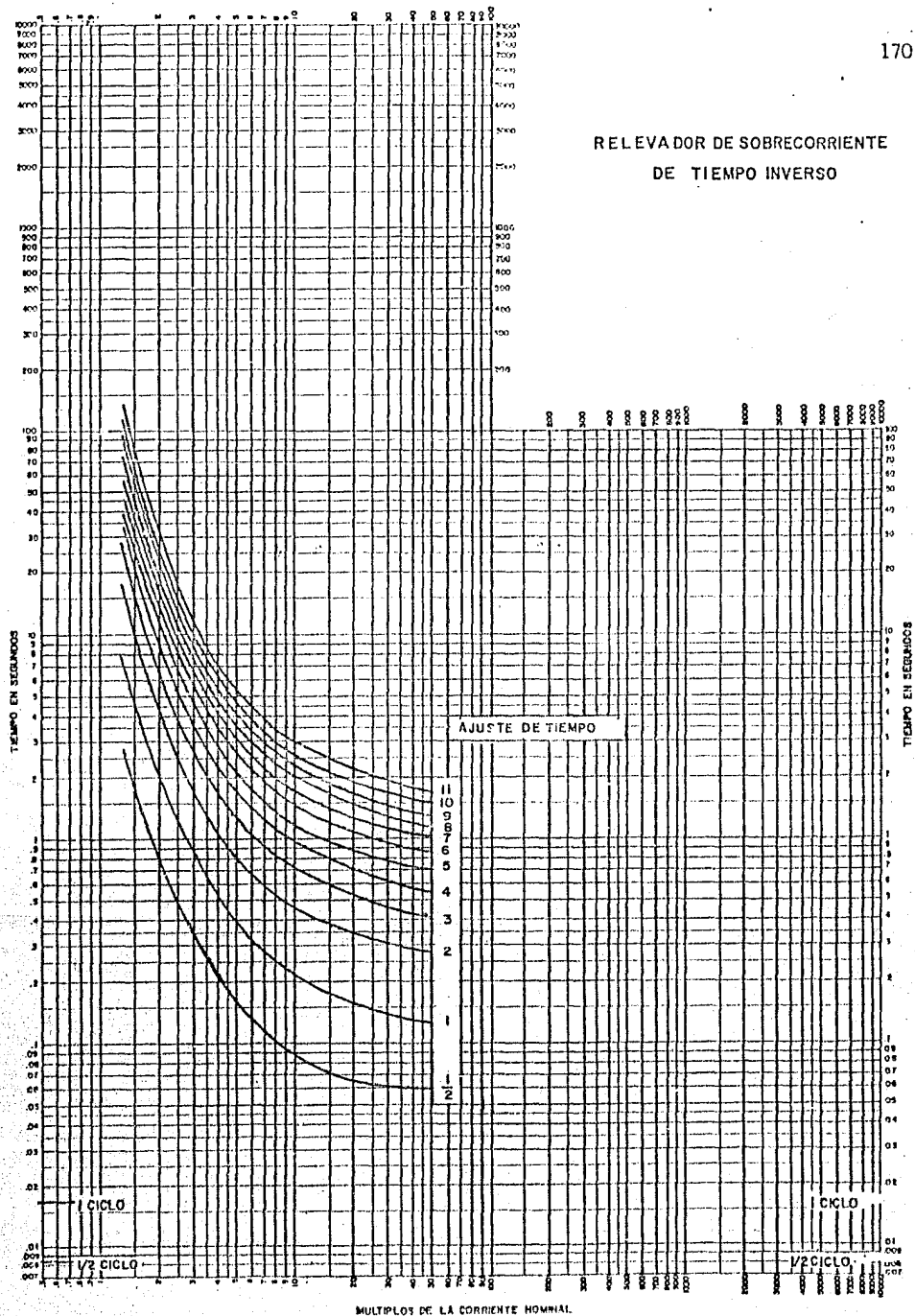
COMPARACION DE CURVAS TIICAS
 PARA RELEVADORES DE DISCO DE INDUCCION
 TODAS LAS CARACTERISTICAS AL MISMO
 TAP DE CORR. Y MISMO AJUSTE DEL DIAL



MÚLTIPLOS DE LA CORRIENTE NOMINAL
 (TAP DE AJUSTE)

Fig. V. 3

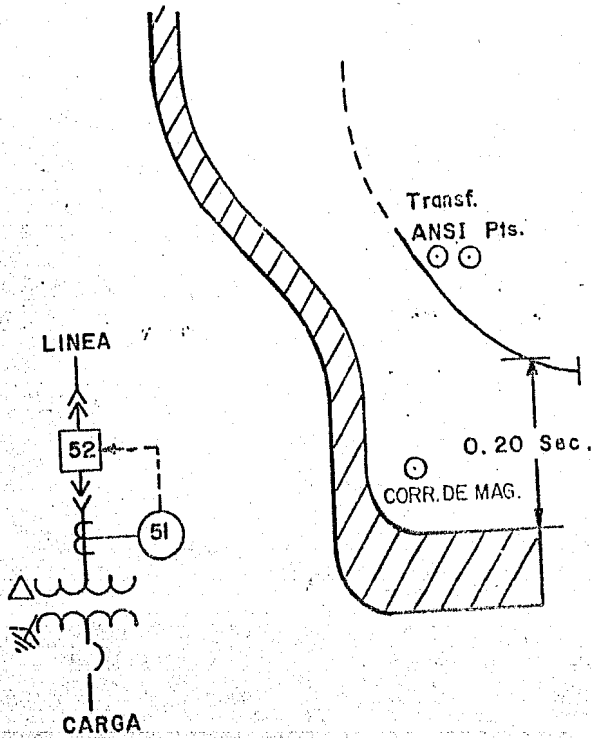
RELEVA DOR DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO



MÚLTIPLOS DE LA CORRIENTE NOMINAL

Fig. V.4

RELEVADOR A INTERRUPTOR EN CAJA MOLDEABLE (BAJA TENSION)



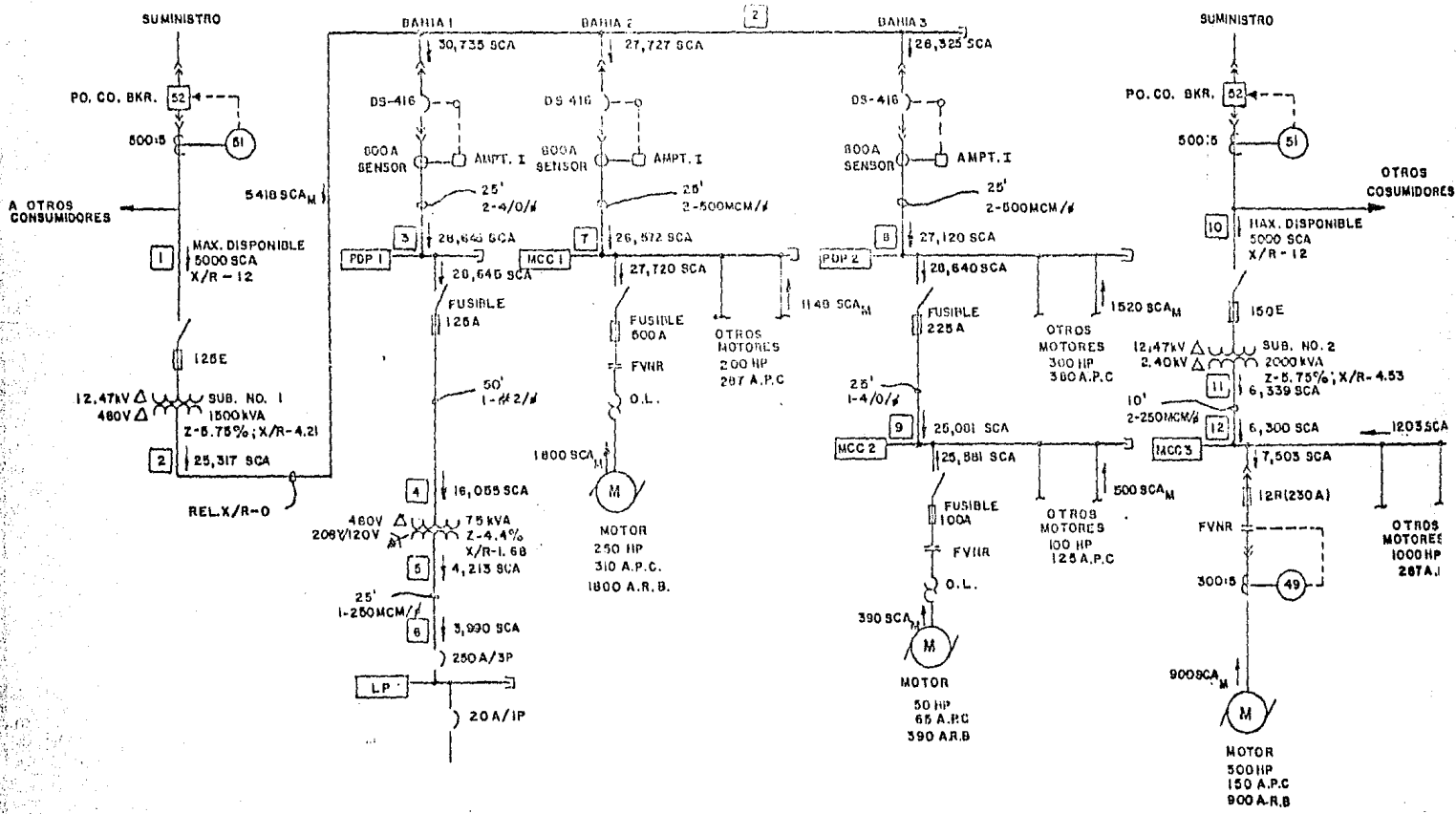
MARGEN DE TIEMPO RECOMENDADO PARA COORDINACION CON RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE

INCLUYE LOS SIGUIENTES MARGENES DE TIEMPO:

SOBREVIAJE DEL DISCO DE INDUCCION : .10 Seg.

MARGEN DE SEGURIDAD : .10 Seg.

**DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO PARA ESTUDIO
DE COORDINACION TIEMPO-CORRIENTE DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION
CONTRA SOBRECORRIENTE**



PO. CO. BKR. : INT. DE POTENCIA
FVNR : ARRANCADOR A TENSION PLENA NO REVERSIBLE

Datos 2000 KVA sumergido en líquido, conexión delta delta, 12.47KV - 2.4KV, 5.75% Z.

Calculos del transformador

$$I_{p1} \text{ carga} = \frac{2000}{1.732 \times 12.47} = 92.6A \text{ a } 12.47KV$$

$$I_{\text{magn.}} = 92.6A \times 12 = 1111A \text{ a } .1 \text{ seg.}$$

Requerimiento para el transformador

$$I_{\text{ANSI}} = \frac{92.6 \times 100}{5.75} = 1610.4A$$

$$I_{\text{ANSI}} \text{ ajustada} = 0.866 \times 1610.4 = 1394.6 A$$

Tiempo = 2 segundos (para transf. en líquido)

De acuerdo con el NEC 450-3(a)(1) el máximo tamaño del fusible es:

$$92.6A \times 1.50 = 138.9A \text{ ó el próximo mayor.}$$

Procedimiento:

Seleccionar el nivel de tensión de la gráfica a 12.47 KV debido a que todos los dispositivos están determinados a dicha tensión.

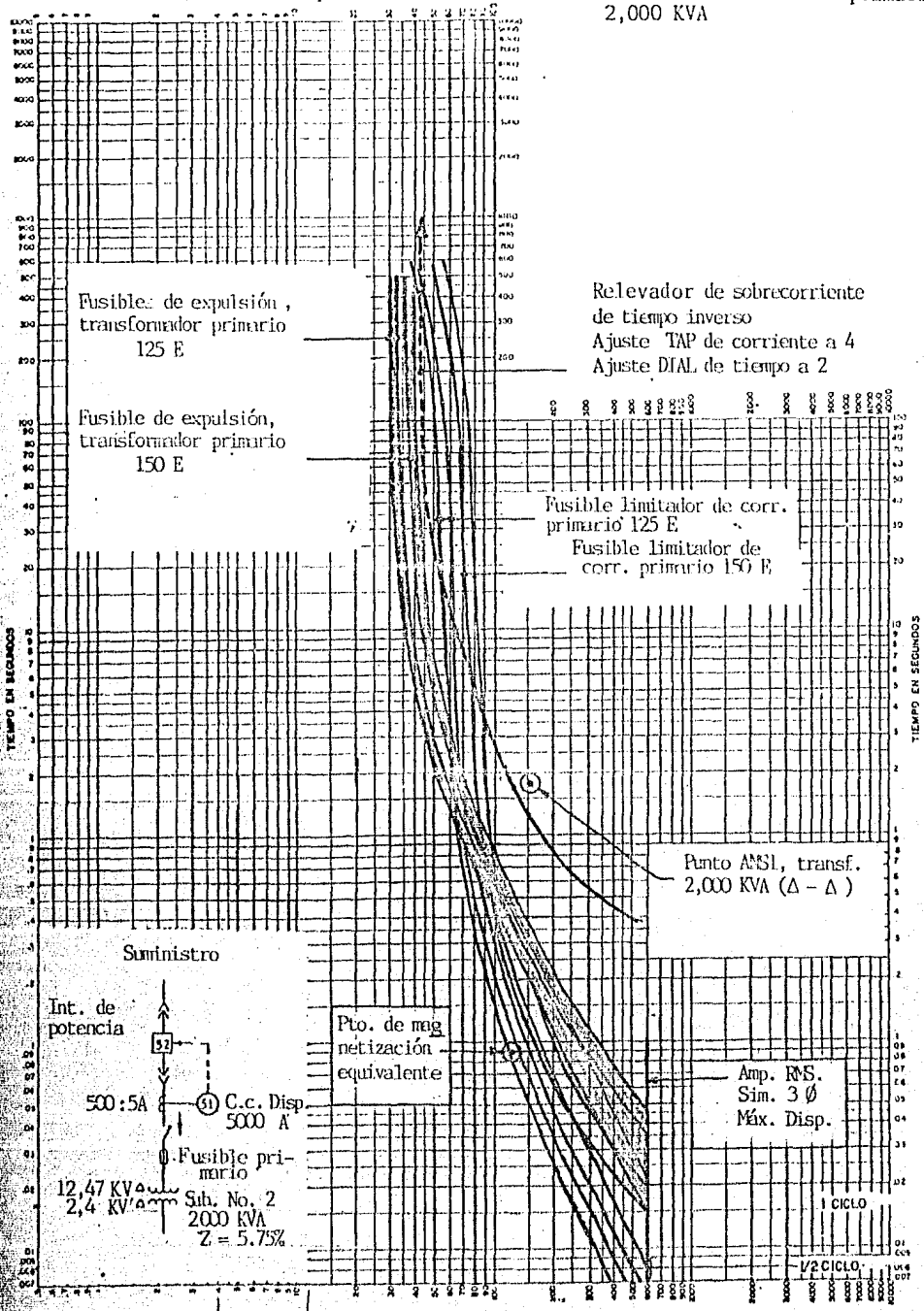
Localizar el punto ANSI y el punto magnético para el transformador.

Localizar los relevadores de la compañía suministradora.

Análisis

Los fusibles limitadores de corriente no se coordinan bien con los relevadores de la compañía suministradora.

Se decide utilizar fusibles de expulsión. Hasta este punto el rango (125E ó 150E) no ha sido seleccionado. Ver gráfica pág.168a.



Fusible de expulsión,
transformador primario
125 E

Fusible de expulsión,
transformador primario
150 E

Relevador de sobrecorriente
de tiempo inverso
Ajuste TAP de corriente a 4
Ajuste DIAL de tiempo a 2

Fusible limitador de corr.
primario 125 E
Fusible limitador de
corr. primario 150 E

Punto ANSI, transf.
2,000 KVA ($\Delta - \Delta$)

Suministro

Int. de
potencia

500 : 5A

C.c. Disp.
5000 A

Fusible primario

12,47 KV
2,4 KV

Sih. No. 2
2000 KVA
Z = 5.75%

Pto. de mag
netización
equivalente

Amp. RMS.
Sim. 3 ϕ
Máx. Disp.

1 CICLO

1/2 CICLO

C. Selección de fusibles para motores de 500 H.P.

Datos

500 H.P. 150A a plena carga, 900 A Rotor bloqueado y
F.S. = 1, tiempo de aceleración de 10 seg.

Calculos:

Se permite una tolerancia en la tensión del sistema y variaciones en la corriente de rotor bloqueado debido a cierta tolerancia del fabricante de 10% por lo que

$$900 \times 1.1 = 990 \text{ A Rotor bloqueado.}$$

Procedimiento:

Seleccionar el nivel de tensión de la gráfica a 2.4KV debido a que los demás dispositivos se indican a esta tensión.

Localizar la característica de arranque del motor aproximada.

Localizar la característica de los relevadores de sobrecarga.

Análisis:

Se selecciona el fusible 12 R debido a que intercepta a la característica del relevador de sobrecarga en una corriente mayor de 110% de la corriente de rotor bloqueado para prevenir innecesaria operación del fusible debido a la corriente de arranque.

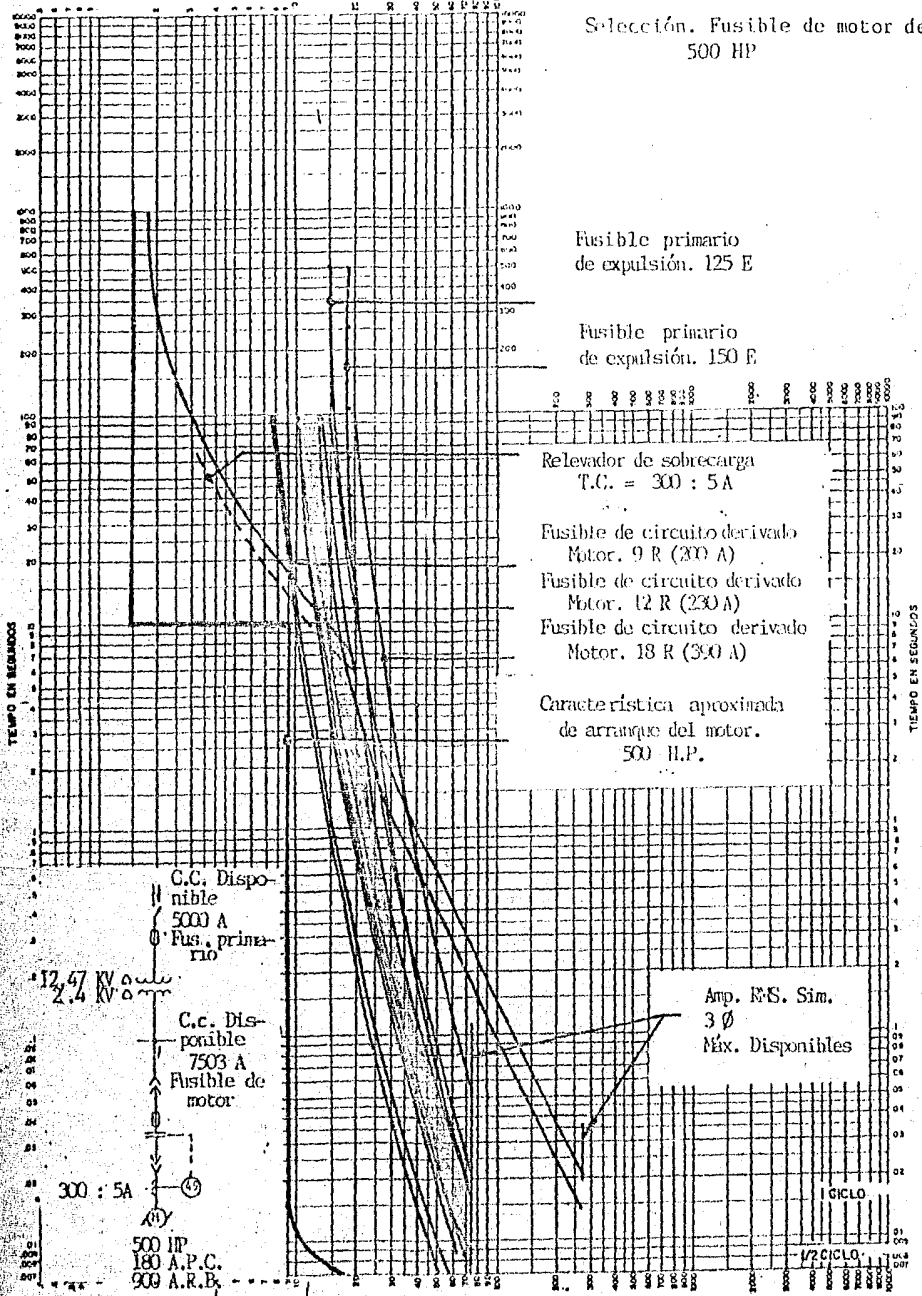
Se dibuja la curva de mínima fusión de los fusibles de expulsión 125E y 150E a 12.4KV.

Se seleccionaran fusibles de 150E para mejor coordinación.

D. Coordinación del subalimentador número 2.

Esc. x 100 = Amp a 2.4KV

Selección. Fusible de motor de 500 HP



Fusible primario de expulsión. 125 E

Fusible primario de expulsión. 150 E

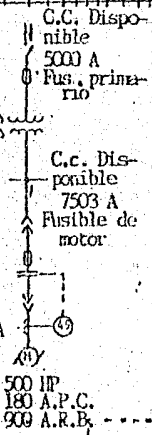
Relevador de sobrecarga T.C. = 300 : 5 A

Fusible de circuito derivado Motor. 9 R (300 A)

Fusible de circuito derivado Motor. 12 R (230 A)

Fusible de circuito derivado Motor. 18 R (300 A)

Característica aproximada de arranque del motor. 500 H.P.



Amp. R.M.S. Sim. 3 Ø Máx. Disponibles

Esc. x 100 = Amp. a 2.4 KV

Coordinación final del subalimentador
Número 2

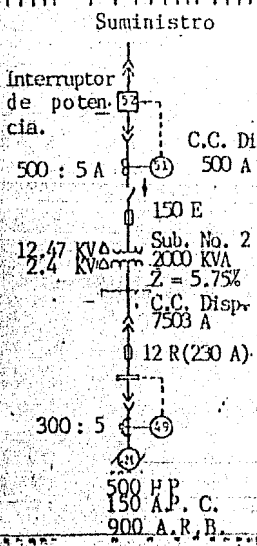
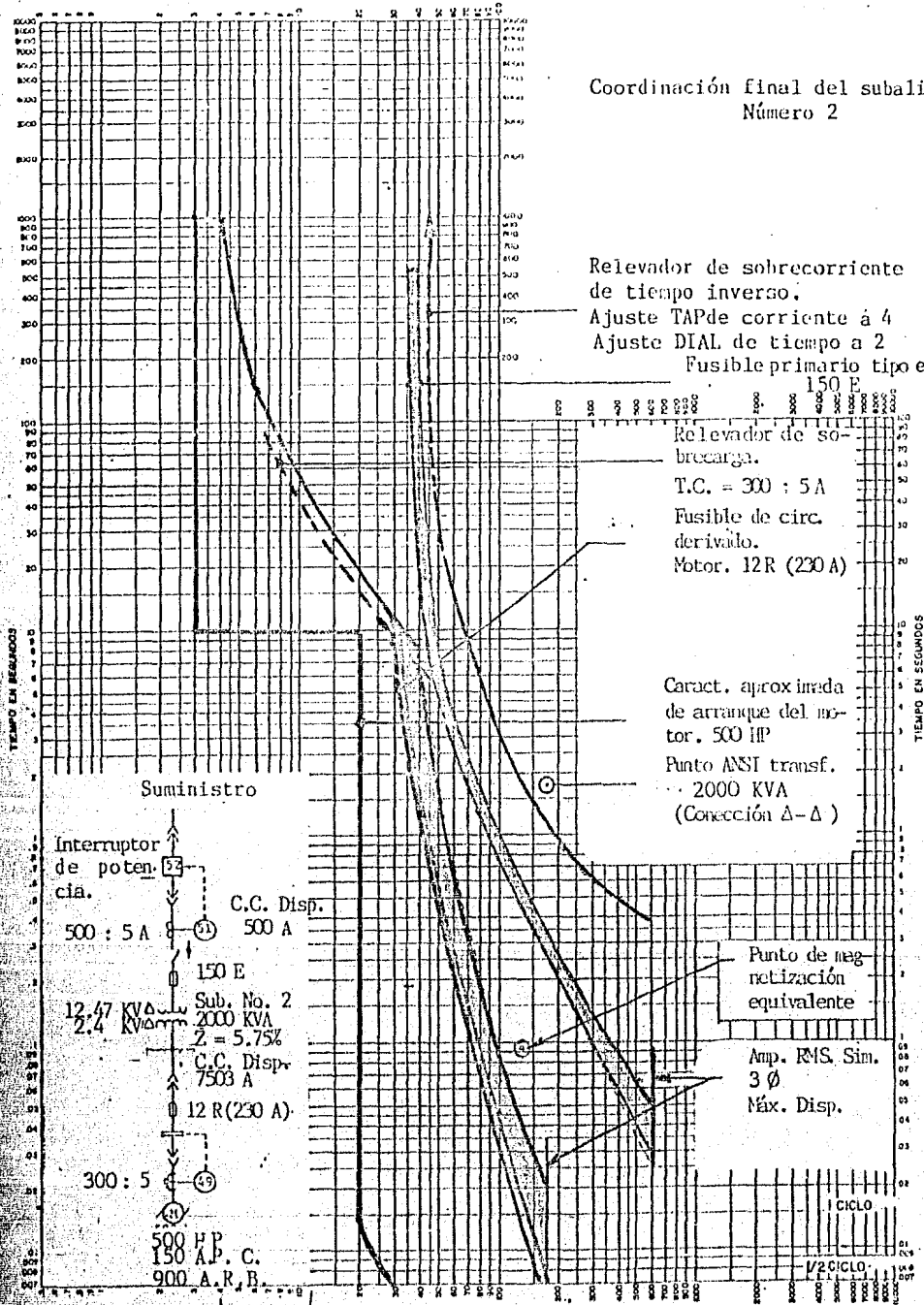
Relevador de sobrecorriente
de tiempo inverso.
Ajuste TAP de corriente a 4
Ajuste DIAL de tiempo a 2
Fusible primario tipo expulsión.
150 E

Relevador de sobrecarga.
T.C. = 300 : 5 A
Fusible de circ. derivado.
Motor. 12 R (230 A)

Caract. aproximada
de arranque del motor.
500 HP
Punto ANSI transf.
2000 KVA
(Conexión Δ-Δ)

Punto de magnetización
equivalente

Amp. RMS. Sim.
3 Ø
Máx. Disp.



E. Dispositivos de sobrecorriente del lado de carga mayores e interruptor alimentador bahia 1.

Datos:

75 KVA conexión delta estrella,

480V - 208 Y/120V 4.4%

Calculos:

$$I_{pl} \text{ carga prim} = \frac{75}{1.732 \times .480} = 90.2A \text{ a } 480V$$

$$I_{pl} \text{ Carga sec} = \frac{75}{1.732 \times 0.208} = 208A \text{ a } 208V$$

$$I_{mag} = 90.2A \times 12 = 1082.4A$$

Requerimientos

$$I_{ANSI} = \frac{90.2 \times 100}{4.4} = 2050A$$

$$I_{ANSI} \text{ ajuste} = .577 \times 2050 = 1183.6A$$

$$\text{Tiempo} = 4.4 - 2 = 2.2 \text{ seg (Transformador tipo seco)}$$

Se determinó el tamaño del dispositivo de sobrecorriente secundaria según el NEC 450-3(b)(2)

$$90.2A \times 2.5 = 225.5A \text{ (Tamaño del fusible primario máximo)}$$

$$208A \times 1.25 = 260A \text{ (Máximo tamaño del interruptor secundario ó proximo superior)}$$

Procedimiento:

Se seleccionó el nivel de tensión a 480V por facilidad para seleccionar un interruptor de baja tensión.

Se localizó el punto ANSI el de corriente magnética para el transformador. Se trazó la característica del dispositivo derivado mayor (20A) en el panel y el rango de ajuste del interruptor secundario principal. Se trazó el fusible primario que operara de respaldo.

Se seleccionarán ajustes de los interruptores de baja tensión tan bajo como sean posibles sin que se traslaparan con las características de los dispositivos de corrien

te baja

Análisis:

No existe camino libre de corte para seleccionar el ajuste de disparo magnético del interruptor principal secundario de 250A, un ajuste bajo provee la mayor protección de corto-circuito y coordinación con los fusibles primarios, por otro lado, un ajuste alto provee la mejor coordinación con los interruptores derivados, donde es más factible la falla.

F. Interruptor alimentador bahía 2 y dispositivo de sobrecorriente del lado de carga mayor.

Datos:

250H.P., 310A plena carga, 1800 rotor bloqueado F.S. = 1
Tiempo de Acl. = 11 seg.

Requerimiento de protección motor:

Determinamos el máximo tamaño del fusible según NEC tabla 430 - 152

$$310A \times 1.75 = 542.5A$$

Procedimiento:

Seleccionamos el nivel de tensión de la gráfica 480V debido a que los dispositivos a ser estudiados están a 480V.

Se localiza la característica de arranque aproximado del motor.

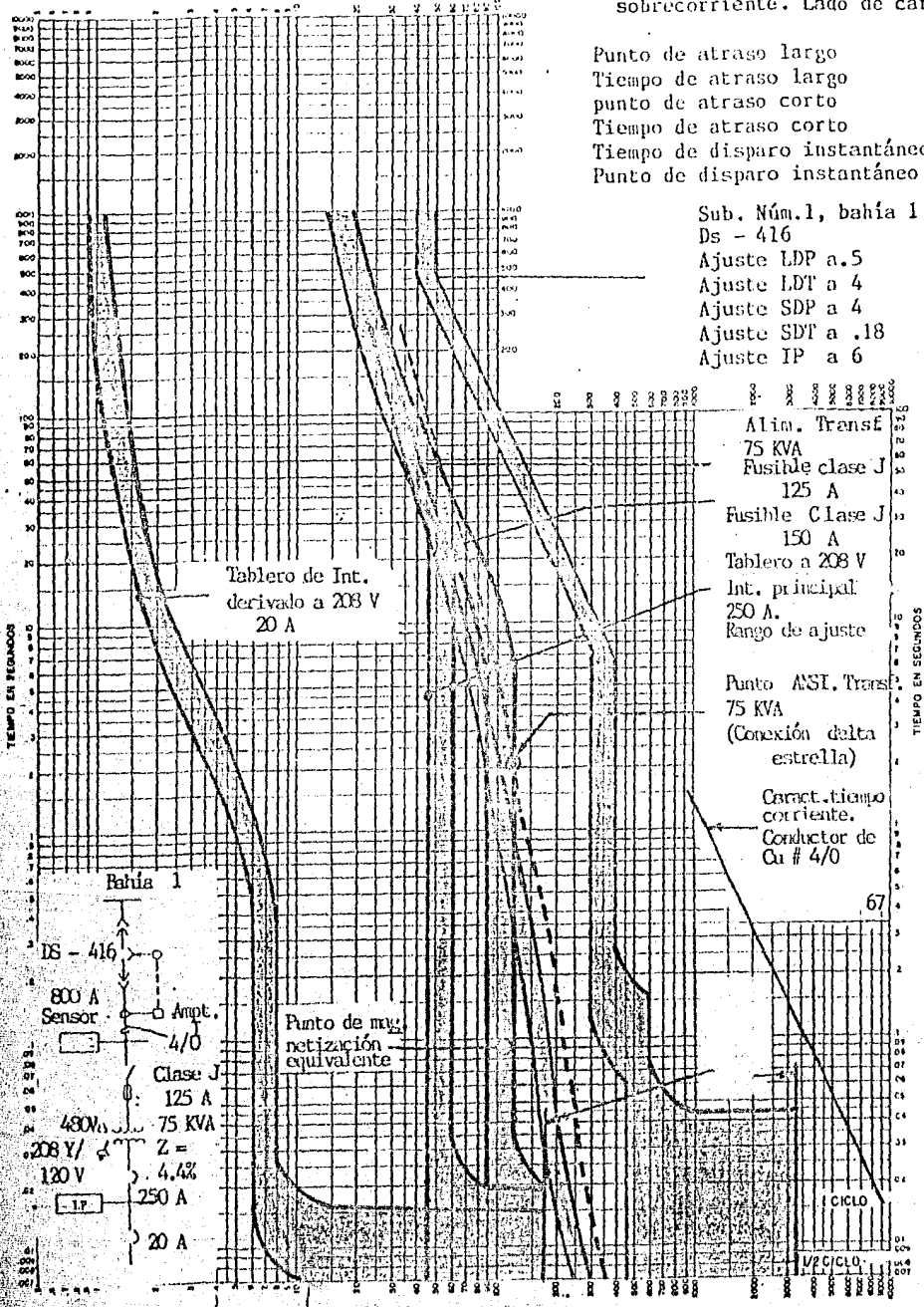
Se traza la característica de sobrecarga. Se selecciona un fusible (500A) que intercepta la característica de S.C. (sobrecarga) en una corriente mayor de 110% de la corriente de rotor bloqueado de los motores para prevenir innecesaria operación del fusible por arranque del motor.

Esc. x 10 = Amp. a 480 V

Alim. bahía 1 y disponibilidad de sobrecorriente. Lado de carga

Punto de atraso largo
 Tiempo de atraso largo
 punto de atraso corto
 Tiempo de atraso corto
 Tiempo de disparo instantáneo
 Punto de disparo instantáneo

Sub. Núm.1, bahía 1
 Ds - 416
 Ajuste LDP a .5
 Ajuste LDT a 4
 Ajuste SDP a 4
 Ajuste SDT a .18
 Ajuste IP a 6

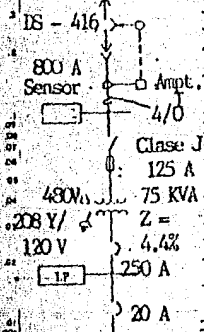


Alim. Transf. 75 KVA
 Fusible clase J 125 A
 Fusible Clase J 150 A
 Tablero a 208 V
 Int. principal 250 A.
 Rango de ajuste

Punto ASI, Transf. 75 KVA
 (Conexión delta estrella)
 Caract. tiempo corriente.
 Conductor de Cu # 4/0

Tablero de Int. derivado a 208 V 20 A

Bahía 1



Punto de magnetización equivalente

1 ciclo

1/2 CICLO

67

Se selecciona el ajuste de interruptor de baja tensión para coordinar tanto como fuera posible con los fusibles de 510A.

Análisis.

Los fusibles de 500A y los interruptores de baja tensión no coordinan selectivamente para corrientes mayores de 8,700A como se indicó por el traslape de sus curvas. Si esto no es aceptable, omitir el disparo instantáneo en el interruptor y utilizar solo dispositivo de tiempo de atraso corto y largo. Estas funciones coordinarán selectivamente con los fusibles.

G. Interruptor alimentador bahía 3 y dispositivos de sobrecorrientes del lado de carga mayor

Datos:

50H.P. 65A plena carga 390A rotor bloqueado
F.S. = 1.0, Tiempo de aceleración 7 seg.

Requerimiento de protección motor :

Máximo tamaño de fusible según NEC, tabla 430-152

$$65 \times 1.75 = 113.7A$$

Procedimiento:

Se seleccionó el nivel de tensión de la gráfica a 480V debido a que todos los dispositivos a ser estudiados están a 480V.

Se localizó la característica de arranque del motor aproximada.

Se trazo la característica de sobrecarga

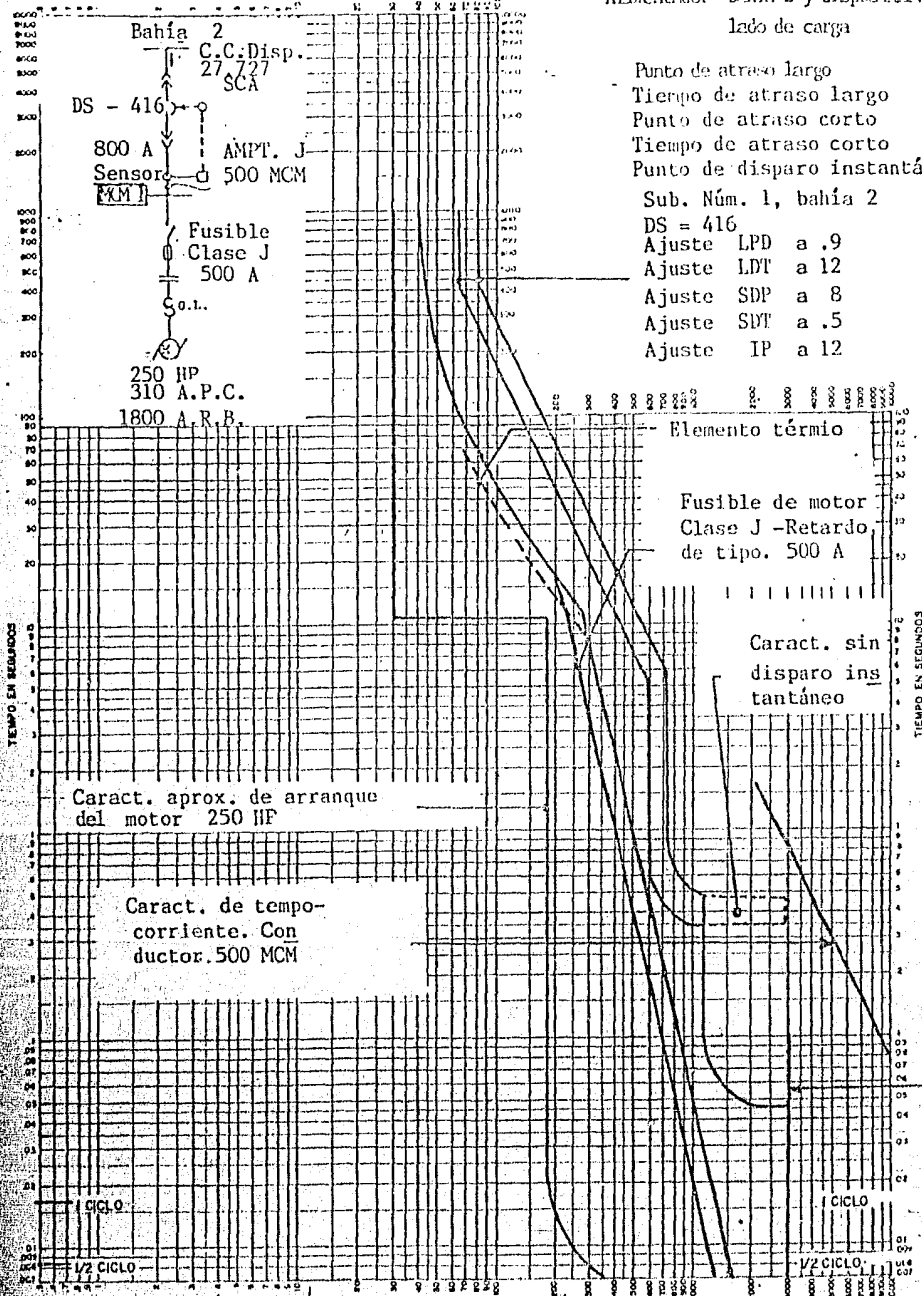
Se trazo el fusible opcional.

Se seleccionó un fusible de (100 A) que intercepta la característica de sobrecarga del relevador a una corriente mayor de 110% de la corriente de rotor bloqueado de los motores para prevenir innecesaria operación del fusible por arranque del motor.

Esc. x 10 = Amp. a 480 V

Alimentador bahía 2 y dispositivos del lado de carga

182



- Punto de atraso largo
- Tiempo de atraso largo
- Punto de atraso corto
- Tiempo de atraso corto
- Punto de disparo instantáneo
- Sub. Núm. 1, bahía 2
- DS = 416
- Ajuste LPD a .9
- Ajuste LDT a 12
- Ajuste SDP a 8
- Ajuste SDT a .5
- Ajuste IP a 12

Amp. RMS. Sim.
3 Ø
Máx. Disponible.

Esc. x 10 = Amp. a 480 V

Se trazo el fusible para el alimentador de 225A en la gráfica.

Se seleccionó el interruptor de baja tensión ajustado para coordinarse con fusible de 225A.

Análisis.

Todos los dispositivos se coordinarán selectivamente.

H. Transformador de 1500 KVA

Selección del fusible preliminar

Datos:

1500 KVA, sumergido en líquido, conexión delta delta
12.47 KV- 480V 5.75%.

Calculos:

$$\text{IPL carga prima} = \frac{1,500}{1.732 \times 12.47} = 69.4\text{A a } 12.47\text{KV}$$

$$\text{Imag} = 69.4\text{A} \times 12 = 832.8\text{A}$$

Cálculo de requerimiento de protección del transformador

$$\text{IANSI} = \frac{69.4 \times 100}{5.75} = 1206.9\text{A}$$

$$\text{IANSI ajuste} = 0.866 \times 1206.9\text{A} = 1045.2\text{A}$$

Tiempo = 2 seg para transformador sumergido en líquido

El máximo tamaño para fusible según NEC 450-3 (a)(1)

$$69.4\text{A} \times 1.50 = 104.1\text{A o el próximo superior.}$$

Procedimiento:

Se seleccionó el nivel de tensión de la gráfica a 12.47KV debido a que todos los dispositivos a ser localizados están a 12.47KV. Se localizó el punto de ajuste ANSI y el de corriente de magnetización para el transformador.

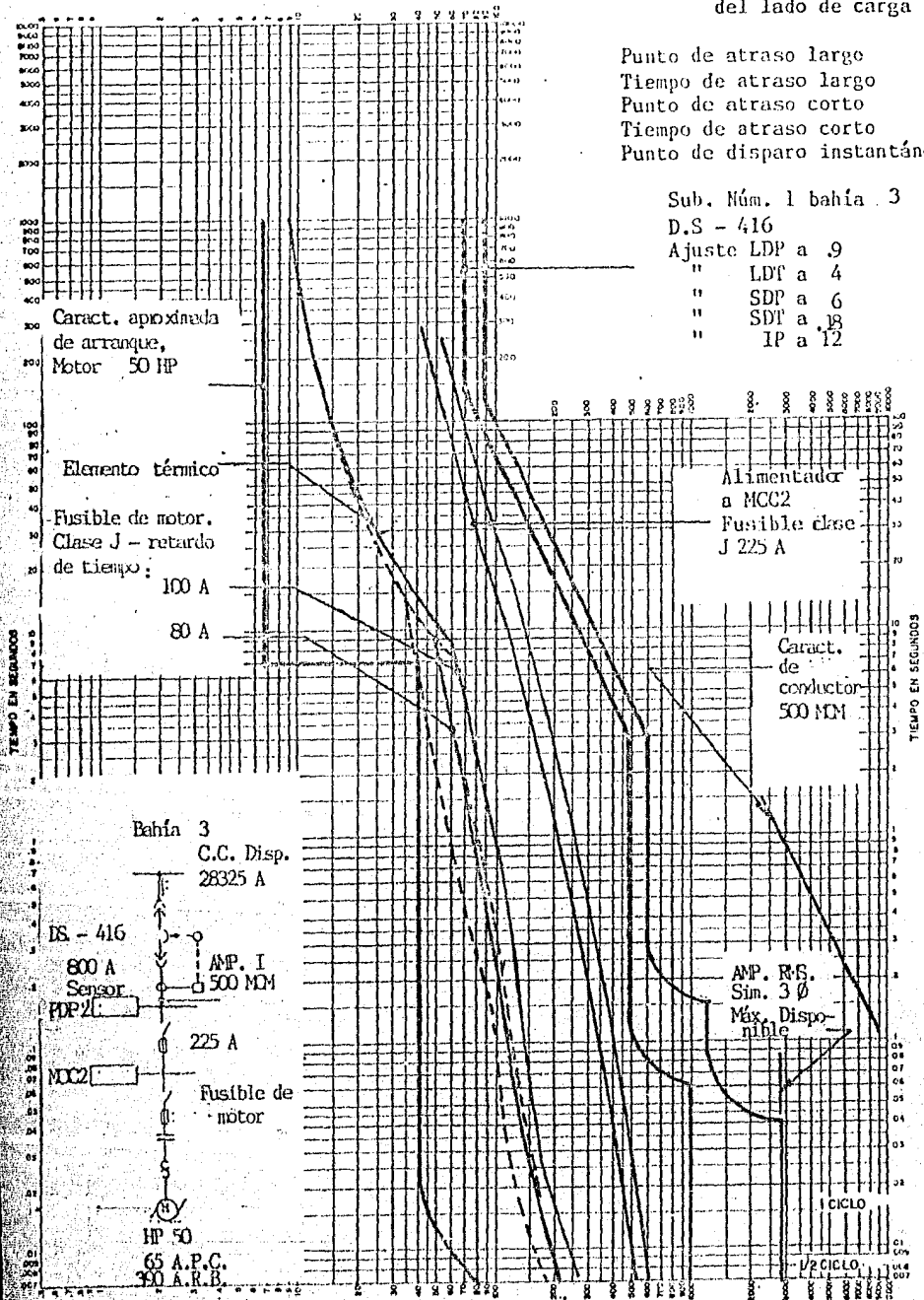
Se localizó el fusible limitador de corriente y el de

Esc. x 10 = Amp. a 480 V

Alimentación bahía 3 y dispositivos del lado de carga

Punto de atraso largo
 Tiempo de atraso largo
 Punto de atraso corto
 Tiempo de atraso corto
 Punto de disparo instantáneo

Sub. Núm. 1 bahía 3
 D.S - 416
 Ajuste LDP a 9
 " LDF a 4
 " SDP a 6
 " SDI a 18
 " IP a 12



Esc. x 10 = Amp. a 480 V

expulsión opcional.

Se trazo la curva del relevador de la compañía suministradora.

Análisis:

Se rechazaron los fusibles 80E y 100E debido a la falta de coordinación con el interruptor de baja tensión.

Si el disparo instantáneo está a la izquierda en el interruptor de baja tensión, entonces se coordinara con el fusible rápido 125E.

De cualquier forma, si el disparo instantáneo es omitido del interruptor de baja tensión, el fusible 125E no es completamente coordinable. En este caso, el fusible lento 125E será considerado.

J. Coordinación final sub. Alim. Num. 1

General:

Para propósito de este ejemplo la falta de coordinación entre el interruptor de baja tensión y los fusibles de 500A de corriente baja no es aceptable. Así entonces el disparo instantáneo es omitido desde el interruptor de baja tensión. De esta forma solo los fusibles rápidos coordinaran selectivamente con los interruptores de función de disparo de tiempo de corto atraso.

Procedimiento:

El punto ANSI y el de corriente magnética para el transformador de 1500 KVA fueran localizados para examinar la adecuación de estos fusibles para protección del transformador.

El relevador de la compañía suministradora fue dibujado para verificar la coordinación entre este y los fusibles.

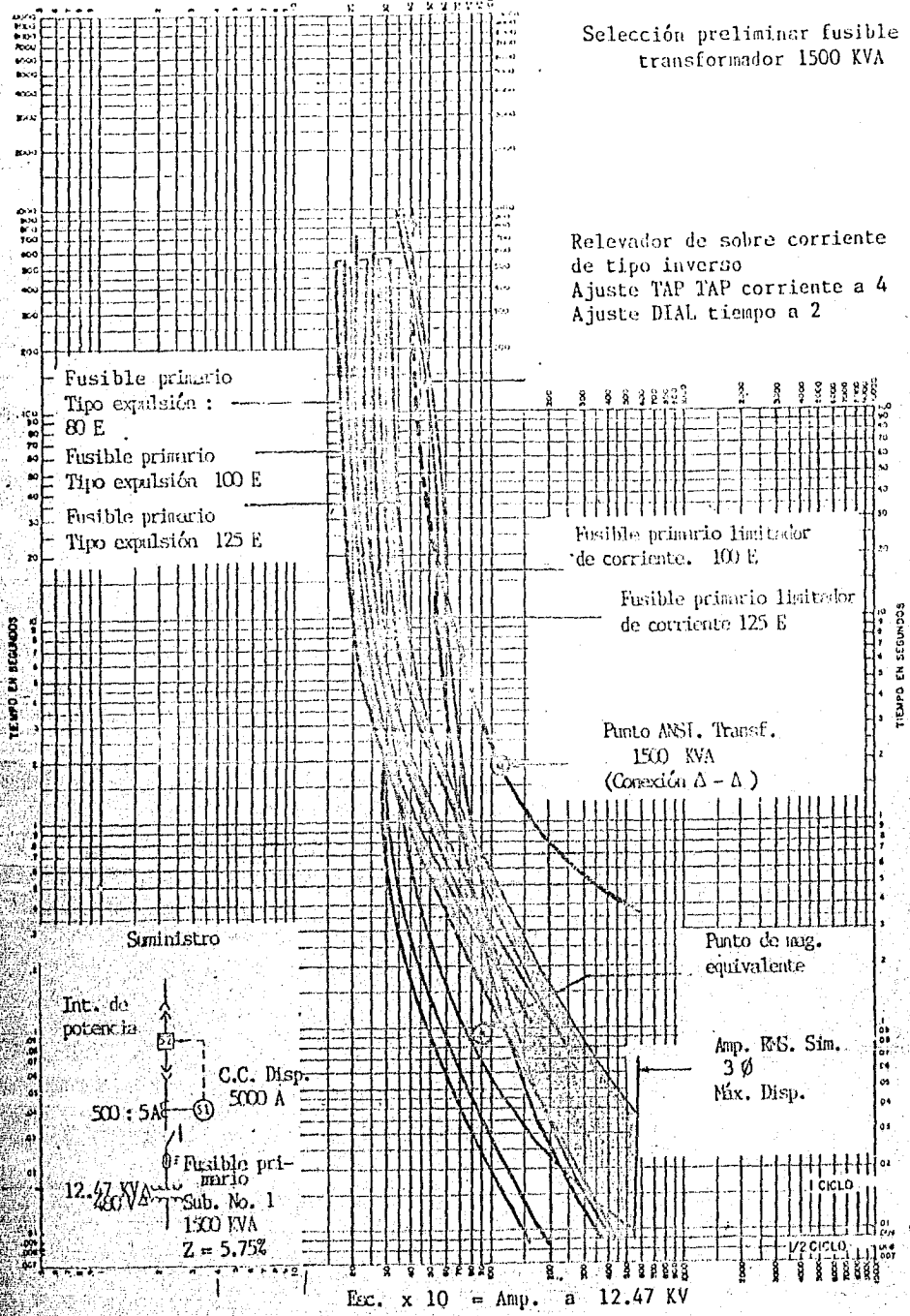
Análisis:

Los fusibles suministrados 125E abarcan la protección del transformador y presentan coordinación selectiva con

Esc. x 10 = Amp. a 12.47 KV

Selección preliminar fusible transformador 1500 KVA

Relevador de sobre corriente de tipo inverso
Ajuste TAP TAP corriente a 4
Ajuste DIAL tiempo a 2



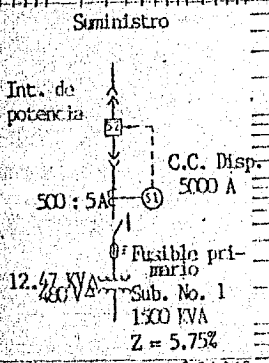
Fusible primario
Tipo expulsión :
80 E
Fusible primario
Tipo expulsión 100 E
Fusible primario
Tipo expulsión 125 E

Fusible primario limitador
de corriente. 100 E
Fusible primario limitador
de corriente 125 E

Punto ANSI. Transf.
1500 KVA
(Conexión Δ - Δ)

Punto de mag.
equivalente

Amp. R.S. Sim.
3 Ø
Máx. Disp.



Esc. x 10 = Amp. a 12.47 KV

Esc. x 10 = Amp. a 12.47 KV

Selección del fusible primario.
Transformador KVA

Punto de atraso largo
Tiempo de atraso corto
Tiempo de atraso largo
Punto de atraso corto
Punto de disparo instantáneo

Fusible tipo expulsión:

- 80 E Estandar
- 100 E Estandar
- 125 E Estandar

125 E Lento

Sub. Número 1, bahía 2
Alim a MCC 1
DS - 416
Ajuste LDP a .9
" LDT a 12
" SDP a 8
" SDT a .5
" IP a 12.

Caract. sin disparo instantáneo

C.C. Disp.
5000 A

Fusible prim.

12.47 KV Sub. No. 1
480 V 1500 KVA

Bahía 2

C.C. Disponi-
ble 27,727 Amp.

DS - 46

Sensor

800 A

ART. I

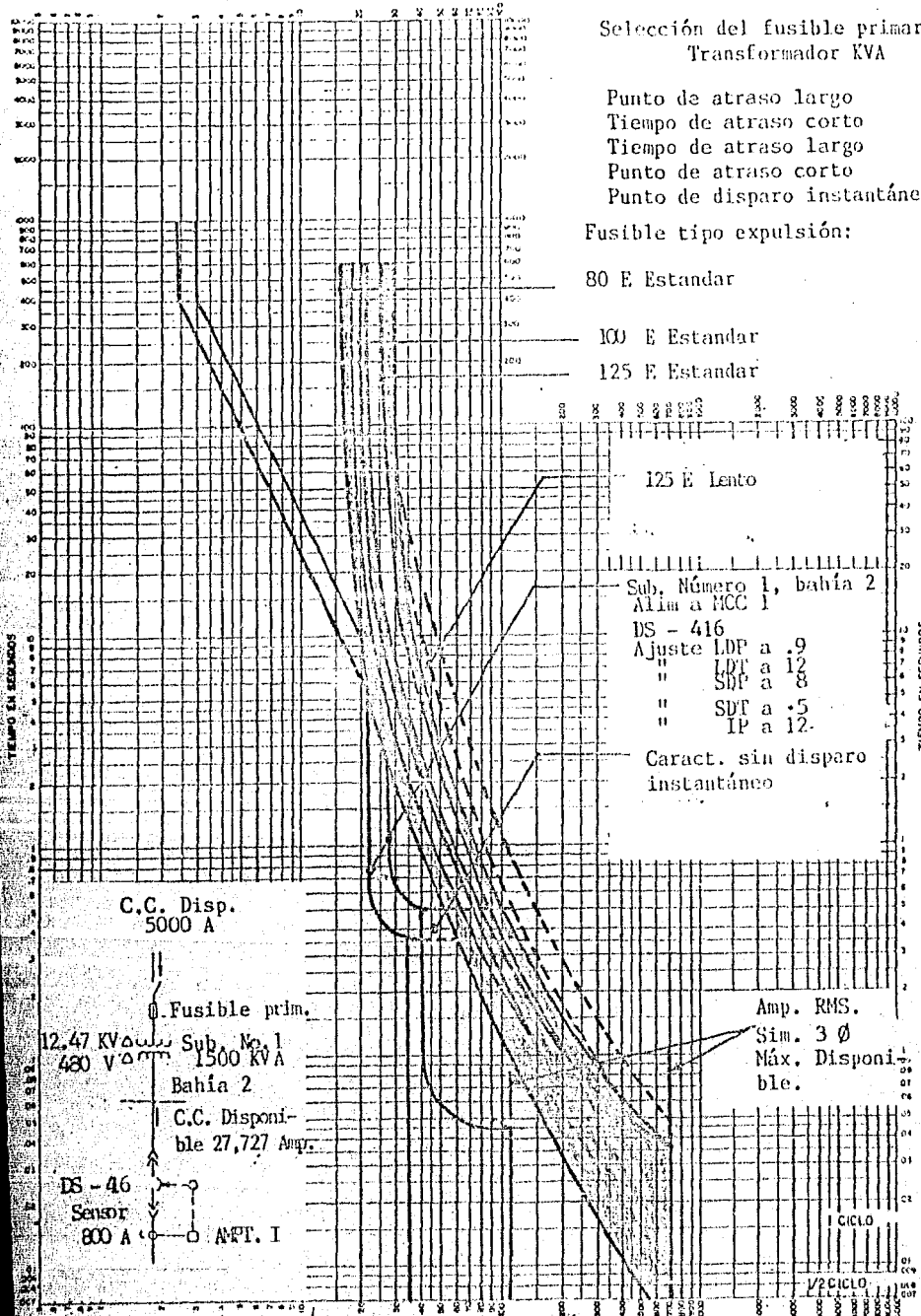
Amp. RMS.

Sim. 3 Ø
Máx. Disponi-
ble.

1 CICLO

1/2 CICLO

Esc. x 10 = Amp. a 12.47KV



Esc x 10 = Amp. a 12.47 KV

Coordinación final de Sub. No. 1

188

Punto de atraso largo
 Tiempo de atraso largo
 Punto de atraso corto
 Tiempo de atraso corto

Relevador de sobrecorriente
 tiempo inverso.
 Ajuste TAP de corriente a 4
 Ajuste DIAL de tiempo a 2

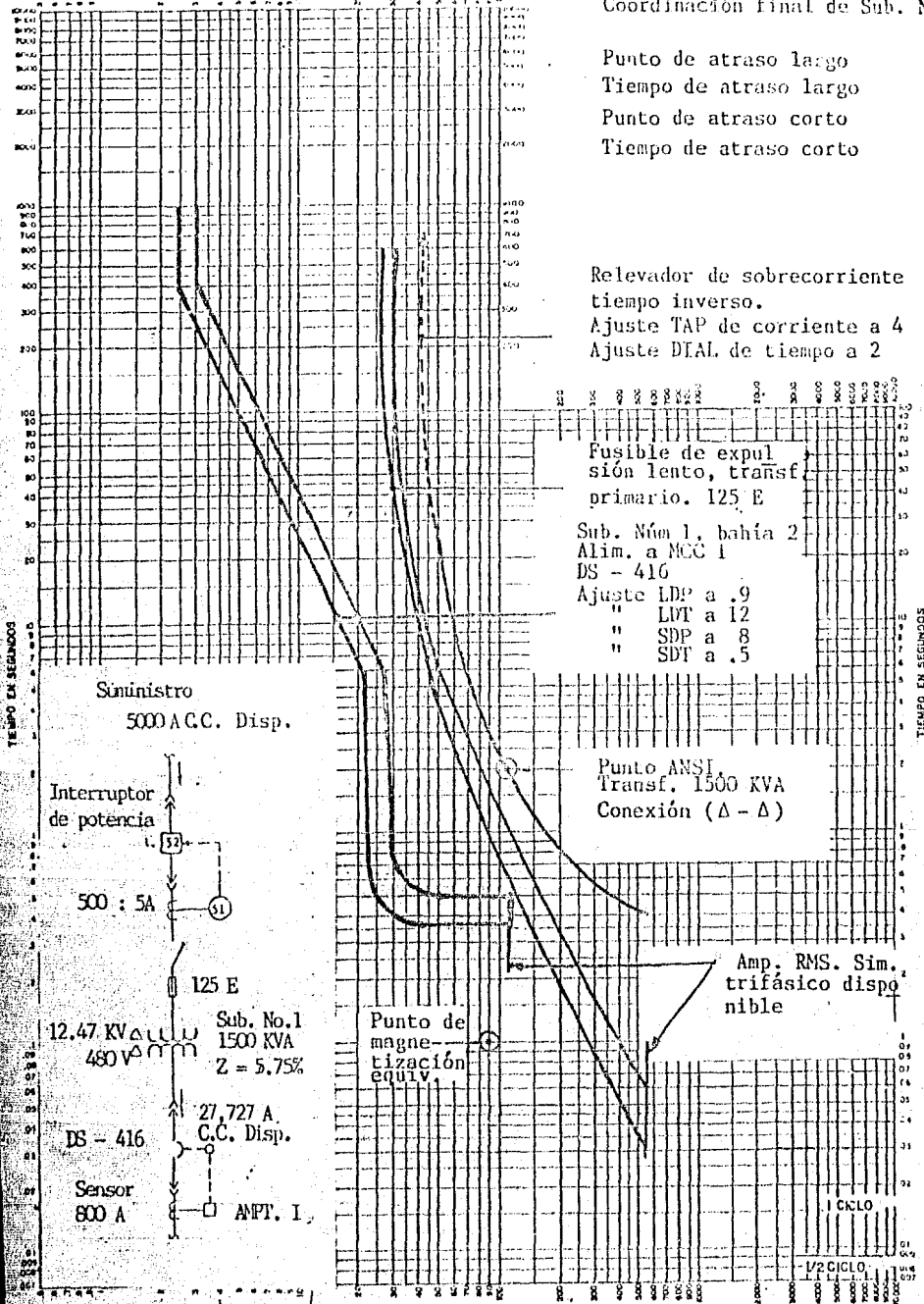
Fusible de expulsión lento, transf. primario. 125 E

Sub. Núm 1, bahía 2
 Alim. a MCC 1
 DS - 416
 Ajuste LDP a .9
 " LWT a 12
 " SDP a 8
 " SDT a .5

Punto ANSI
 Transf. 1500 KVA
 Conexión ($\Delta - \Delta$)

Amp. RMS. Sim.
 trifásico disponible

Punto de magnetización equiv.



Suministro
 5000 A.C.C. Disp.

Interruptor de potencia

500 : 5A
 125 E

12.47 KV Δ U Δ U
 480 V Δ M N
 Sub. No.1
 1500 KVA
 Z = 5.75%

DS - 416
 27,727 A.
 C.C. Disp.

Sensor
 800 A
 ANPT. I.

Esc. x 10 = Amp. a 12.47 KV

los dispositivos de sobrecorriente del lado de línea y carga.

Protección secundaria de transformadores de distribución.

El objeto de proveer protección secundaria a los transformadores de distribución aéreos, puede resumirse en los siguientes tres puntos:

1. Reducir el número de transformadores dañados. Se considera que las causas principales de fallas en los transformadores de distribución son las siguientes:

- a) Sobrevoltajes
- b) Sobrecargas
- c) Fallas de aislamiento
- d) Cortocircuitos
- e) Daños mecánicos
- f) Defectos de manufactura.

De las causas anteriores, la que mayor incidencia tiene es la originada por "cortocircuitos" en el secundario, en virtud de la deficiente protección primaria de los transformadores de distribución, considerándose estimativamente que el 60% de los transformadores dañados pueden atribuirse a esta causa.

La deficiencia de la protección primaria es originada por la excesiva longitud de los secundarios y los calibres de conductor delgados, que provocan que los cortocircuitos entre fase y neutro sean tan pequeños que el fusible primario no alcanza a fundirse y el transformador tiene que soportar sobrecargas sostenidas hasta provocarse la falla del mismo.

2. Reducir a su mínima expresión el reemplazo de listones fusibles en transformadores de distribución, ya que dicho reemplazo presenta un costo muy elevado.

3. Una selección adecuada del interruptor termomagnético, reducirá el tiempo en que el sobrevoltaje en las fases no falladas, originado por el cortocircuito, afecte los aparatos eléctricos del consumidor.

En la Tabla V.5, se muestra para los conductores secundarios de norma en transformadores de distribución, la máxima longitud secundaria permitida para cada capacidad de transformador, determinada en base a limitaciones por regulación y pérdidas, tanto para el 100% como para el 150% de carga de los transformadores.

Como consecuencia de lo anterior, deberá buscarse la mejor solución para respetar estas longitudes de secundarios y que a la vez se proteja a los transformadores contra cortocircuitos secundarios aún en el extremo de los mismos, los cuales se presentarían como sobrecargas sostenidas, en caso de no existir una protección adecuada.

Se considera que las distancias mostradas en la Tabla V.5. anteriormente mencionada, no deben reducirse para asegurar la operación de los fusibles primarios por cortocircuito, ya que esta alternativa representaría una inversión elevada comparada con la instalación de interruptores termomagnéticos coordinados con los fusibles primarios del transformador para proveer protección a todo el secundario.

Variación del cortocircuito en baja tensión con la distancia. Graficas para transformadores de 15, 30, 45 y 75 KVA.

En virtud de lo laborioso que resulta efectuar cálculos analíticos para la determinación de las corrientes de cortocircuito en algún punto del secundario de los

TABLA V.5 .
 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION - CARACTERISTICAS
 DE OPERACION AL 100% y 150% DE CARGA

CAPACIDAD KVA	CALIBRE CONDUCTOR ACSR	LONGITUD MAXIMA MTS .	100% CARGA			150% CARGA					
			% Reg. (Carga)	Pérdidas KW	% pérdidas	% Reg	Incre- mento	KW pérdidas	Incre- mento	Pérdidas	Incre- mento
15	2	400	1.781	0.197587	1.43	2.69	0.909	0.444548	0.245951	2.195	0.735
30	1/0	300	2.16	0.454124	1.68	3.54	1.380	1.066	0.6119	2.632	0.952
45	3/0	250	2.21	0.65564	1.71	3.34	1.13	1.475	0.8198	2.428	0.718
75	3/0	200	3.28	1.65612	2.61	5.01	1.73	3.748	2.0818	3.702	1.092
112.5	265.8	200	3.45	2.10866	2.08	5.27	1.82	4.744	2.635	3.125	1.045

transformadores de distribución se han elaborado gráficas de variación del cortocircuito en baja tensión con la distancia para transformadores de distribución típicos de 15, 30, 45 y 75 KVA para una tensión primaria de 13200 volts y 220/127 volts en el secundario.

Estas gráficas son el resultado de pruebas realizadas en el campo provocando un cortocircuito entre fase y neutro a lo largo del secundario en cada poste, a partir del transformador de distribución.

Conviene hacer énfasis en que estas pruebas corresponden a áreas unitarias, es decir con el mismo calibre de conductor a todo lo largo del secundario, tanto en fases como en neutros y considerando sistema de distribución radial sin anillo tanto en las fases como en el neutro, es decir un esquema secundario que proporcione corrientes de cortocircuito mínimas.

Estas gráficas servirán para seleccionar y localizar interruptores termomagnéticos (ITM) a lo largo de la red secundaria o en la salida del transformador, a fin de que una falla en el extremo opere la protección permitiendo utilizar longitudes de secundarios equivalentes a las definidas por regulación de voltaje.

A continuación se presenta una tabla comparativa, en la cual se indican las longitudes máximas permisibles por cortocircuito y por regulación.

TABLA V.6.

Capacidad KVA	Fusible prim. Tipo H	% Carga admisible (fusible)	Conduc. sec. ACSR	Long. Máx. Mts (corto circuito)	Long. Máx. Mts. (Regu- lación)
15	1	792	2AWG	160	400
30	1.5	594	1/OAWG	152	300
45	2	528	3/OAWG	169	250
75	3	475	3/OAWG	110	200

Para determinar la corriente de cortocircuito en áreas secundarias de sección piramidal, es decir con tramos de calibres diferentes, pueden utilizarse las gráficas de variación del cortocircuito, convirtiendo cualquier número de tramo a un solo calibre de conductor.

La Tabla V.7, contiene los factores de conversión para longitudes equivalentes de líneas de cobre en 220/127 volts y para mayor ilustración se indica un ejemplo.

La Tabla V.8, contiene los factores de conversión para longitudes equivalentes de líneas de ACSR en 220/127 volts.

Selección de interruptores termomagnéticos. Coordinación entre fusible primario, interruptor termomagnético y curva de sobrecarga de corta duración del transformador.

En virtud de que la protección primaria con listones fusibles, protege al transformador de distribución contra corrientes de falla de fase a neutro que se presenten a distancias relativamente cortas (en promedio 150 mts) tal como se muestra en la Tabla V.6. con el objeto de obtener una mayor longitud en los secundarios, limitando esta por regulación de voltaje, se procedió a la selección de interruptor termomagnético para instalarlos de preferencia a la salida del secundario.

Selección interruptor termomagnético transformador de 15 KVA trifásico (gráfica número 5).

Para este transformador se seleccionó un interruptor termomagnético monofásico de 50 amperes tipo Q.O. 5000 amperes de capacidad interruptiva. 120 VCA un polo.

TABLA V.7.

FACTORES APROXIMADOS DE CONVERSION PARA LONGITUDES
EQUIVALENTES DE LINEAS DE COBRE 220/127 V

CONDUCTOR EQUIVALENTE

	#6	#4	#2	#1	1/0	2/0	3/0	4/0
#6	1	1.53	2.22	2.63	3.08	3.52	4.01	4.38
#4	0.653	1	1.45	1.72	2.01	2.30	2.62	3.00
#2	0.449	0.688	1	1.18	1.38	1.58	1.80	1.97
#1	0.380	0.582	0.846	1	1.17	1.34	1.52	1.66
1/0	0.325	0.497	0.723	0.855	1	1.14	1.30	1.42
2/0	0.284	0.435	0.632	0.747	0.874	1	1.14	1.24
3/0	0.249	0.382	0.554	0.656	0.767	0.878	1	1.09
4/0	0.228	0.349	0.507	0.600	0.702	0.803	0.915	1

Longitud equivalente = Longitud conductor original x factor
del nuevo conductor de conversión del conductor equivalente.

100 m	200m	300m
3/0	1/0	#6

Convertir el conductor del alimentador a un solo calibre, 1/0
AWG

$$\begin{aligned}
 100 \times 0.767 &= 76.7 \\
 200 \times 1.0 &= 200.0 \\
 300 \times 3.08 &= 924.0 \\
 \hline
 &1,200.7
 \end{aligned}$$

El alimentador equivale a 1,200.7 m de conductor 1/0
AWG

TABLA V.8.

FACTORES APROXIMADOS DE CONVERSION PARA LONGITUDES
EQUIVALENTE DE LINEAS DE ACSR 220/227 V

CONDUCTOR EQUIVALENTE

	#6	#2	1/0	2/0	3/0	4/0	266.8	336.4
#4	1	1.46	2.06	2.43	2.83	3.45	4.51	5.04
#2	0.682	1	1.41	1.66	1.93	2.35	3.08	3.44
1/0	0.485	0.711	1	1.18	1.37	1.67	2.19	2.44
2/0	0.412	0.603	0.848	1	1.17	1.42	1.86	2.07
3/0	0.353	0.517	0.727	0.857	1	1.22	1.59	1.78
4/0	0.289	0.424	0.597	0.703	0.821	1	1.31	1.46
266.8	0.221	0.324	0.456	0.538	0.627	0.764	1	1.11
336.4	0.198	0.291	0.409	0.482	0.562	0.685	0.896	1

Longitud equivalente del nuevo conductor = Longitud conductor original x factor de conversión del nuevo conductor.

100 m	200m	300m
266.8	3/0	#2

Convertir el conductor del alimentador a un solo calibre, 3/0

$$\begin{aligned}
 100 \times 0.727 &= 62.7 \\
 200 \times 1.0 &= 200.0 \\
 300 \times 1.93 &= 579.0 \\
 \hline
 &841.7
 \end{aligned}$$

El alimentador equivale a 841.7 m de conductor 3/0 AWG

La corriente de cortocircuito de fase a neutro en la salida del transformador es de 1328 amperes, por lo que la capacidad interruptiva del interruptor seleccionado se encuentra sobrada.

En la gráfica de coordinación número 5 correspondiente al transformador de 15 KVA, se muestra la coordinación existente entre el interruptor termomagnético seleccionado. La curva de sobrecarga de corta duración del transformador y el fusible primario 1H (velocidad standard).

Se podrá observar que el fusible primario no proporciona protección al transformador para bajas corrientes de cortocircuito o para sobrecargas elevadas cruzándose su curva de operación con la curva de sobrecarga de corta duración del transformador, operada cuando el transformador alcanza una carga equivalente a 7.92 veces su capacidad nominal.

El interruptor termomagnético protege el transformador contra sobrecargas, operando en 8.1 minutos con una carga equivalente al 150% de su capacidad nominal.

Considerando que la longitud máxima de secundario por regulación de voltaje es de 400 mts, para conductor ACSR No. 2 de acuerdo con la gráfica de variación del cortocircuito con la distancia (gráfica No. 1) la corriente correspondiente es de 145 amperes; se podrá observar que con esta corriente de falla el ITM opera en 8 segundos, por lo que puede considerarse que el interruptor termomagnético seleccionado proporciona una protección ejecutiva contra sobrecargas y contra cortocircuitos de fase a neutro en el extremo del secundario.

Selección interruptor termomagnético para transformador de 30 KVA trifásico (gráfica No. 6). Para este transformador se seleccionó un inte-

ruptor termomagnético monofásico de 70 amperes, tipo All, 10000 amperes de capacidad interruptiva, 120 VCA un polo.

La corriente de cortocircuito de fase a neutro en la salida del transformador es de 2232 amperes.

En la gráfica de coordinación No. 6 correspondiente al transformador de 30 KVA, se muestra la coordinación existente entre el interruptor termomagnético seleccionado, la curva de sobrecarga de corta duración del transformador y el fusible primario 1.5H (velocidad standard).

Se podrá observar que el fusible primario no proporciona protección al transformador, cuando alcanza una carga equivalente a 5.94 veces su capacidad nominal.

El interruptor termomagnético protege el transformador contra sobrecargas, operando en 4 minutos con una carga equivalente al 150% de su capacidad nominal.

Considerando que la longitud máxima de secundario por regulación de voltaje es de 300 mts, para conductor ACSR No.1/0 de acuerdo con la gráfica de variación de cortocircuito con la distancia (gráfica No.2), la corriente correspondiente es de 276 amperes; se podrá observar que con esta corriente de falla el ITM opera en cuatro segundos, por lo que puede considerarse que el interruptor termomagnético seleccionado proporciona una protección efectiva contra sobrecargas y contra corto-circuitos de fase a neutro en el extremo del secundario.

Selección interruptor termomagnético para transformador de 45 KVA trifásico (gráficas números 7 y 8)

Para el transformador de 45 KVA con corriente nominal de 113 amperes es necesario utilizar ITM de 125 amperes en adelante, en virtud de que los interruptores termomagné

ticos monofásicos únicamente se fabrican hasta 100 amperes, no es posible instalar este tipo de interruptores a la salida del transformador de 45 KVA, pero con el objeto de aprovechar la selectividad que nos brinda la utilización de interruptores termomagnéticos monofásicos, se analizará esta alternativa mediante la instalación de interruptores a ambos lados del secundario a partir del transformador y la instalación de interruptores termomagnéticos trifásicos a la salida del transformador.

a). Instalación interruptor termomagnético de un polo a cada lado del secundario.

Para esta alternativa se supone que la carga total del transformador se divide en partes iguales en la salida del secundario.

En este caso se instalará un juego de interruptores termomagnéticos en primer poste siguiente al transformador, a cada lado, con el objeto de evitar el trabajo adicional que significa abrir el secundario en el propio transformador para colocar en la estructura del transformador los dos juegos de interruptores termomagnéticos.

Se seleccionarán interruptores termomagnéticos de 100 amperes tipo AIL de 1000 amperes de capacidad interruptiva, 120 VCA, un polo.

La corriente del cortocircuito de fase neutro a 63 m. del transformador es de 1700 amperes.

En la gráfica de coordinación No. 7 correspondiente al transformador de 45 KVA, se muestra la coordinación existente entre el interruptor termomagnético seleccionado, la curva de sobrecarga de corta duración del transformador y el fusible 2H (velocidad standard).

Suponiendo una distribución simétrica de la carga a ambos lados del transformador cada interruptor termomagnético operará (abrirá) con una carga equivalente a la capacidad nominal del transformador (120 amperes) en 16 minutos; teóricamente podría afirmarse que esta protección protegerá al transformador operando en el tiempo arriba indicado, cuando alcance una carga equivalente a dos veces su capacidad nominal, lo cual representa ventaja adicional, comparada con la operación del fusible primario.

Considerando que la longitud máxima de secundario por regulación de voltaje es de 250 metros para conductor ACSR 3/0, de acuerdo con la gráfica de variación del cortocircuito con la distancia (gráfica 3), la corriente correspondiente es de 425 amperes; se podrá observar que con esta corriente de falla el interruptor termomagnético operará en 5 seg. por lo que puede considerarse que el interruptor termomagnético seleccionado proporciona una protección efectiva contra sobrecargas y contra cortocircuitos de fase a neutro en el extremo del secundario.

b) Instalación interruptor termomagnético trifásico a la salida del transformador de 45 KVA.

Para este transformador se seleccionó un interruptor termomagnético trifásico de 150 amperes, tipo KA, 25000 amperes de capacidad interruptiva simétrica, 220 VCA.

La corriente de corto circuito de fase a neutro en la salida del transformador es de 2953 amperes. Por lo que la capacidad interruptiva seleccionada es la adecuada.

En la gráfica de coordinación No. 8 correspondiente

al transformador de 45 KVA, se muestra la coordinación existente entre el interruptor termomagnético seleccionado, la curva de sobrecarga de corta duración del transformador y el fusible primario 2H (velocidad standard).

El interruptor termomagnético protege al transformador contra sobrecargas, operando en 12 minutos con una carga equivalente al 150% de su capacidad nominal.

Considerando que la longitud máxima de secundario por regulación de voltaje es de 250 m., para conductor ACSR No. 3/0, de acuerdo con la gráfica de variación del cortocircuito con la distancia (gráfica No. 3), la corriente correspondiente es de 445 amperes; se podrá observar que con esta corriente de falla el interruptor termomagnético operará en 50 segundos sin llegar a alcanzar la curva de sobrecarga de corta duración del transformador, por lo que puede considerarse que el interruptor termomagnético seleccionado proporciona una protección efectiva contra sobrecargas y contra cortocircuitos de fase a neutro en el extremo del secundario.

Selección interruptor termomagnético para transformador de 75 KVA trifásico (gráfica No. 9)

Para este transformador cuya corriente nominal en el secundario es de 197 amperes, es necesario utilizar un interruptor termomagnético trifásico a la salida del transformador, ya que los interruptores termomagnéticos de un polo únicamente se fabrican hasta 100 amperes.

Para este transformador se seleccionó un interruptor termomagnético trifásico de 200 amperes, tipo K.A, 25000 amperes de capacidad interruptiva simétrica, 220 VCA.

La corriente de corto circuito de fase a neutro

en la salida del transformador es de 4012 amperes, por lo que la capacidad interruptiva seleccionada cubre nuestras necesidades.

En la gráfica de coordinación No.9, correspondiente al transformador de 75 KVA, se muestra la coordinación existente entre el interruptor termomagnético seleccionado, la curva de sobrecarga de corta duración del transformador y el fusible primario 3H (velocidad standard).

Se podrá observar que el fusible primario no proporciona protección al transformador para bajas corrientes de cortocircuito o para sobrecargas elevadas cruzándose su curva de operación con la curva de sobrecarga de corta duración del transformador, operando cuando el transformador alcanza a 4.75 veces su capacidad nominal.

Considerando que la longitud máxima secundaria por regulación de voltaje es de 200 m para conductor ACSR 3/0, de acuerdo con la gráfica de variación de cortocircuito con la distancia (gráfica No. 4), la corriente correspondiente es de 605 amperes; se podrá observar que con esta corriente de falla el interruptor termomagnético operará en 50 segundos, por lo que proporciona una protección efectiva contra sobrecargas y contra cortocircuitos de fase neutro en el extremo del secundario.

Para la selección de la capacidad interruptiva de los interruptores termomagnéticos, se consideró una potencia de cortocircuito trifásico simétrico de 3 MVA en el primario del transformador de distribución.

Se anexan curvas de interruptores en caja moldeada al final de este capítulo.

RESULTADO DE LA SELECCION DE ITM EN SECUNDARIOS DE TRANSFORMADORES
DE DISTRIBUCION

Cap. KVA	Sec. ACSR.	Amps. Nóm. Prim.	Amps. Nóm. Sec.	Long.Máx. Mts. Sec.	Fus. Prim. 13.2 KV -II	ITM Tipo	I.C.C: extremo sec. Amps.	Tiempo Operac. (c.c.extremo)
15	2	0.66	39.4	400	1	AIL-50	145	8 seg.
30	1/0	1.31	78.82	300	1.5	AIL-70	276	4 seg.
45	3/0	1.97	118.2	250	2	2-AIL-100	445	5 seg.
						KA-150	445	50 seg.
75	3/0	3.28	197	200	3	KA-200	605	50 seg.

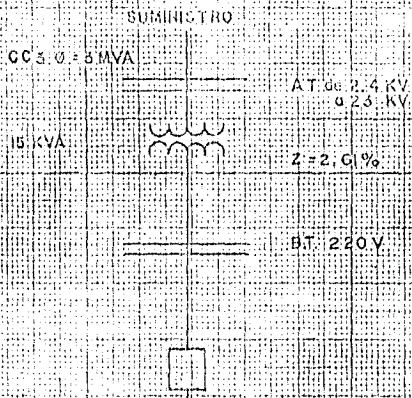
VARIACION DEL CORTOCIRCUITO CON LA DISTANCIA EN LINEAS SECUNDARIAS DE 220/127 V

1954

AMPERES DE CORTOCIRCUITO

900
800
700
600
500
450
320
300
200
100

203



CURVA	CONDUCTORES	
	ACSR	COBRE
1	4	0
2	2	4
3	1/0	2

Diversos calibres de Conductores ACSR - Cu

LONGITUD MA.P = 1.56

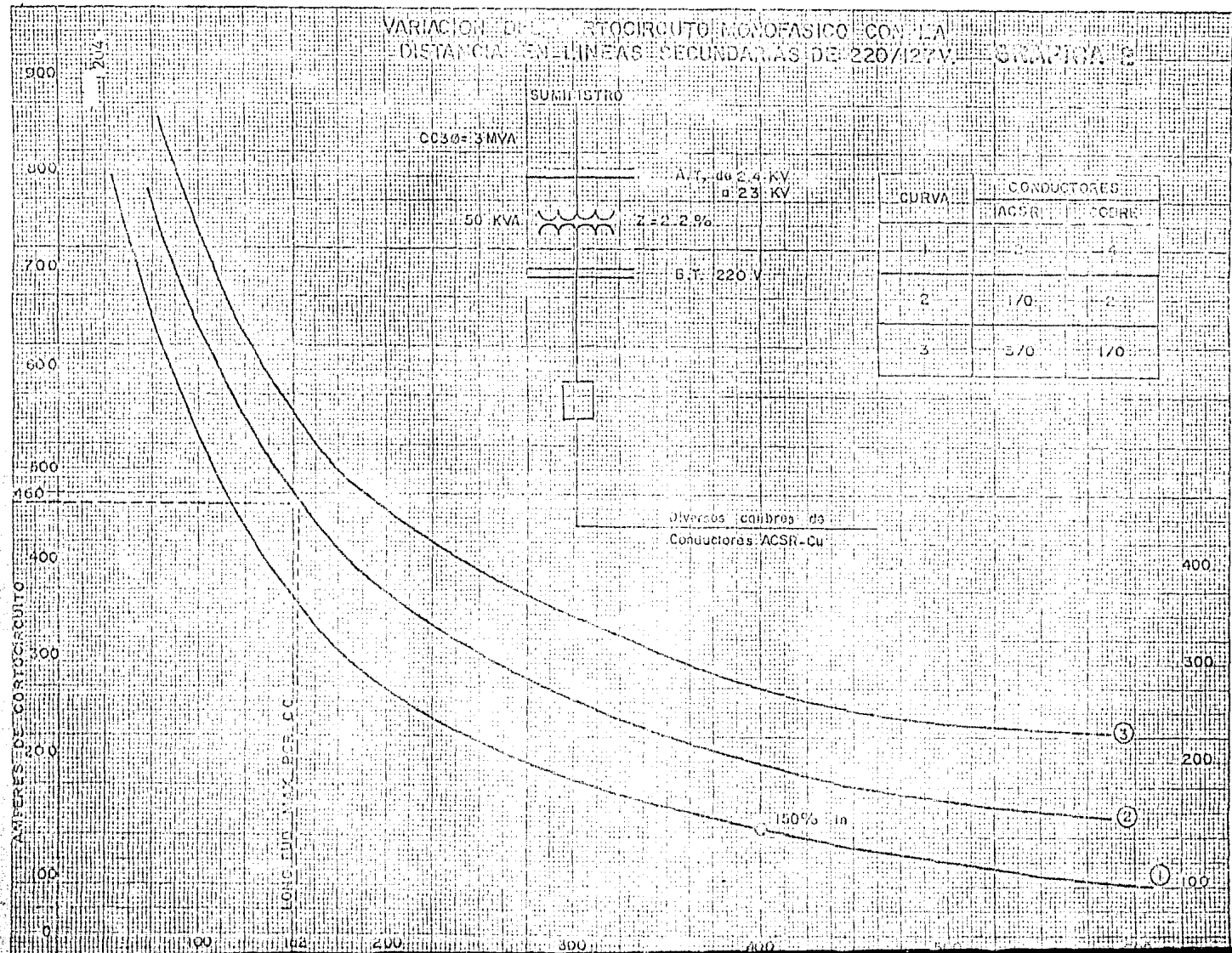
LONGITUD DEL SECUNDARIO

METROS

400
300
200
100

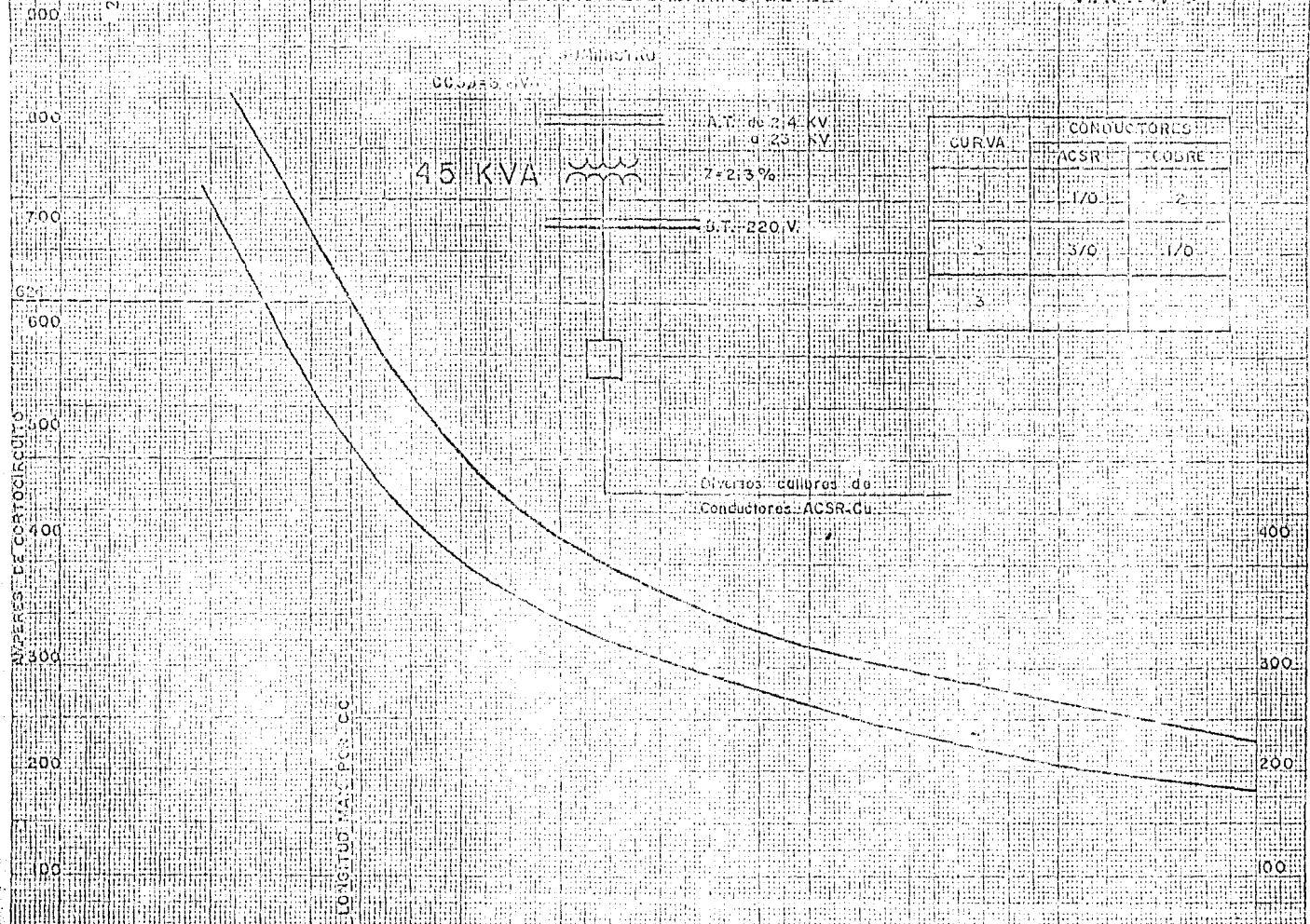
VARIACION DEL CORTOCIRCUITO MONOFASICO CON LA DISTANCIA EN LINEAS SECUNDARIAS DE 220/127V

GRAFICA 2

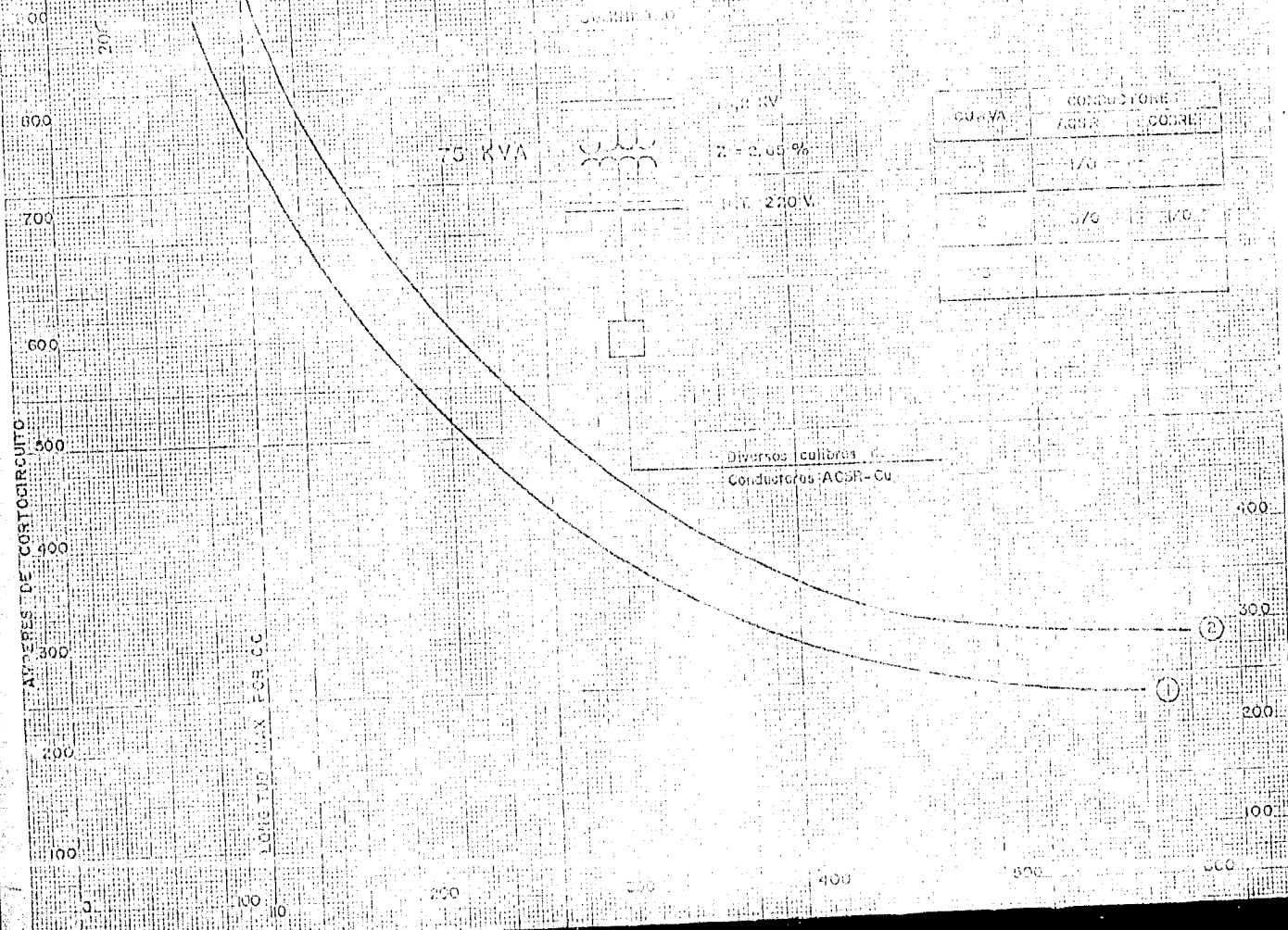


VARIACION DEL COEFICIENTE DE PENSAMIENTO CON LA DISTANCIA EN LINEAS SECUNDARIAS DE 220 V. M.

W. R. ...



VARIACION DEL $\% \Delta V$ CON LA DISTANCIA DE LOS CONDUCTORES AL CORTOCIRCUITO



CU - KVA	CONDUCTORES	
	ACSR	COBRE
10	1/0	
20	2/0	3/0
30		

400

300

200

100

0

100

200

300

400

500

600

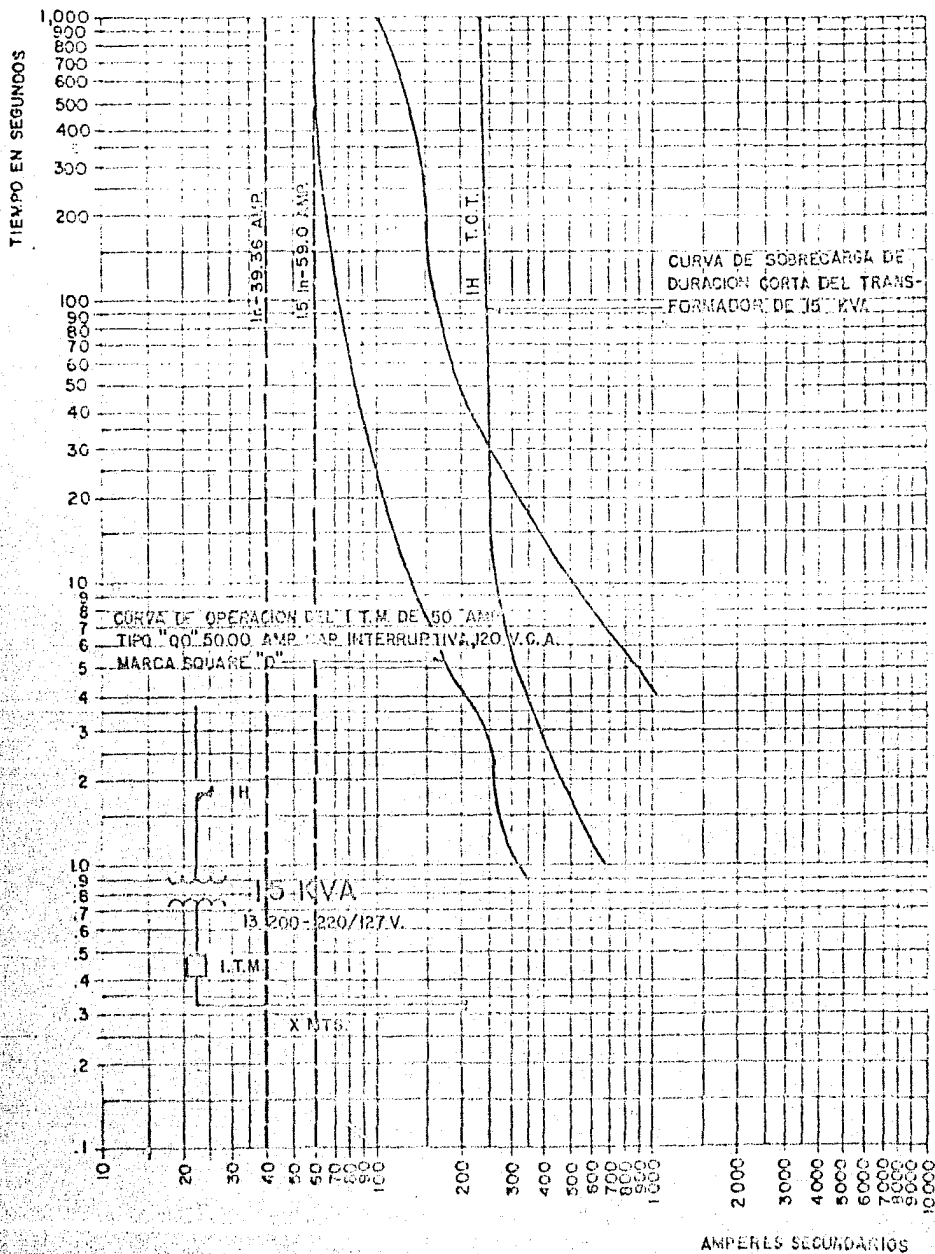
700

800

900

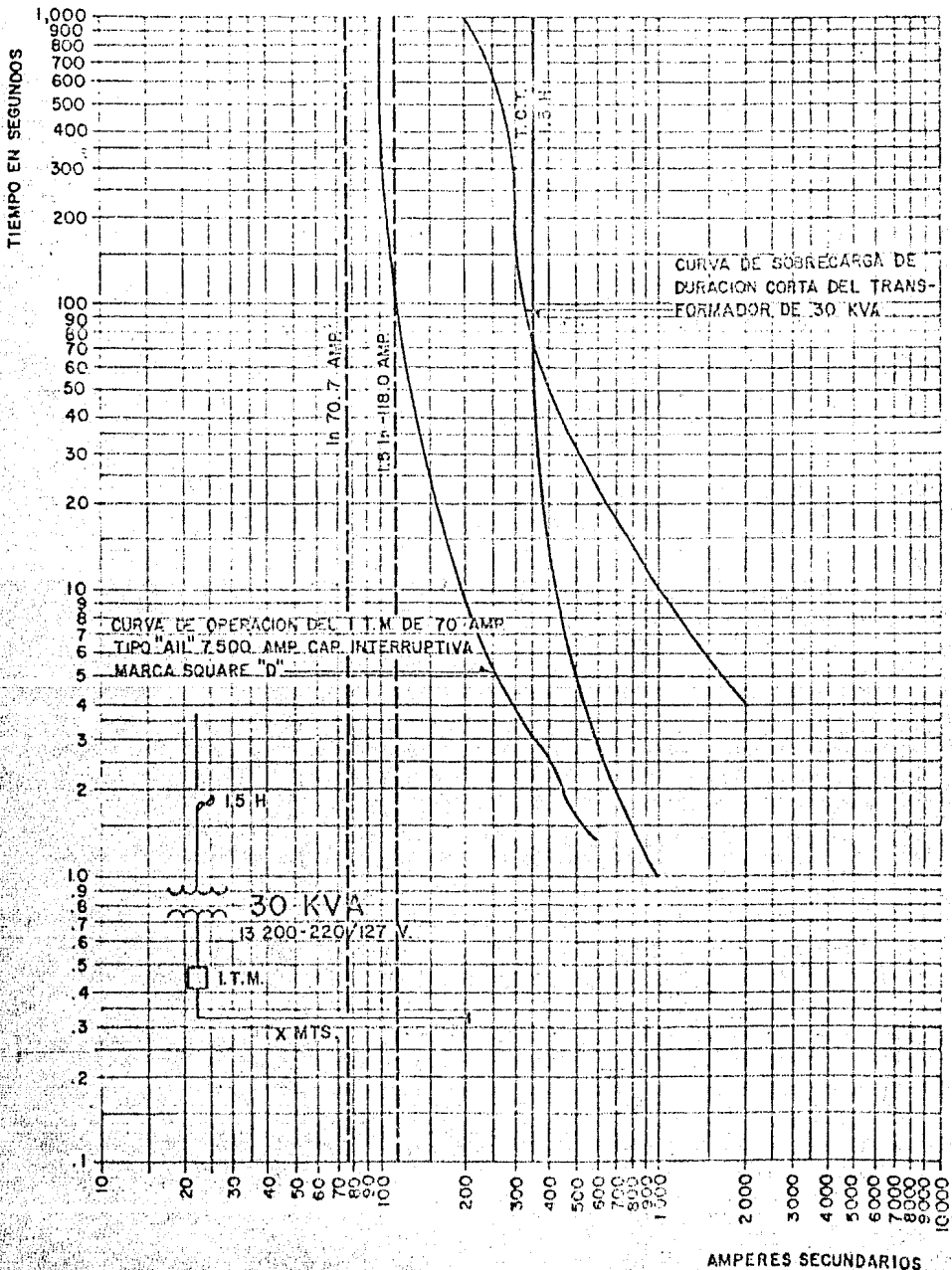
GRAFICA 5

COORDINACION FUSIBLE PRIMARIO IH E INTERRUPTOR
T.M. DE 50 AMP. 120 V.C.A. A LA SALIDA DEL -
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.



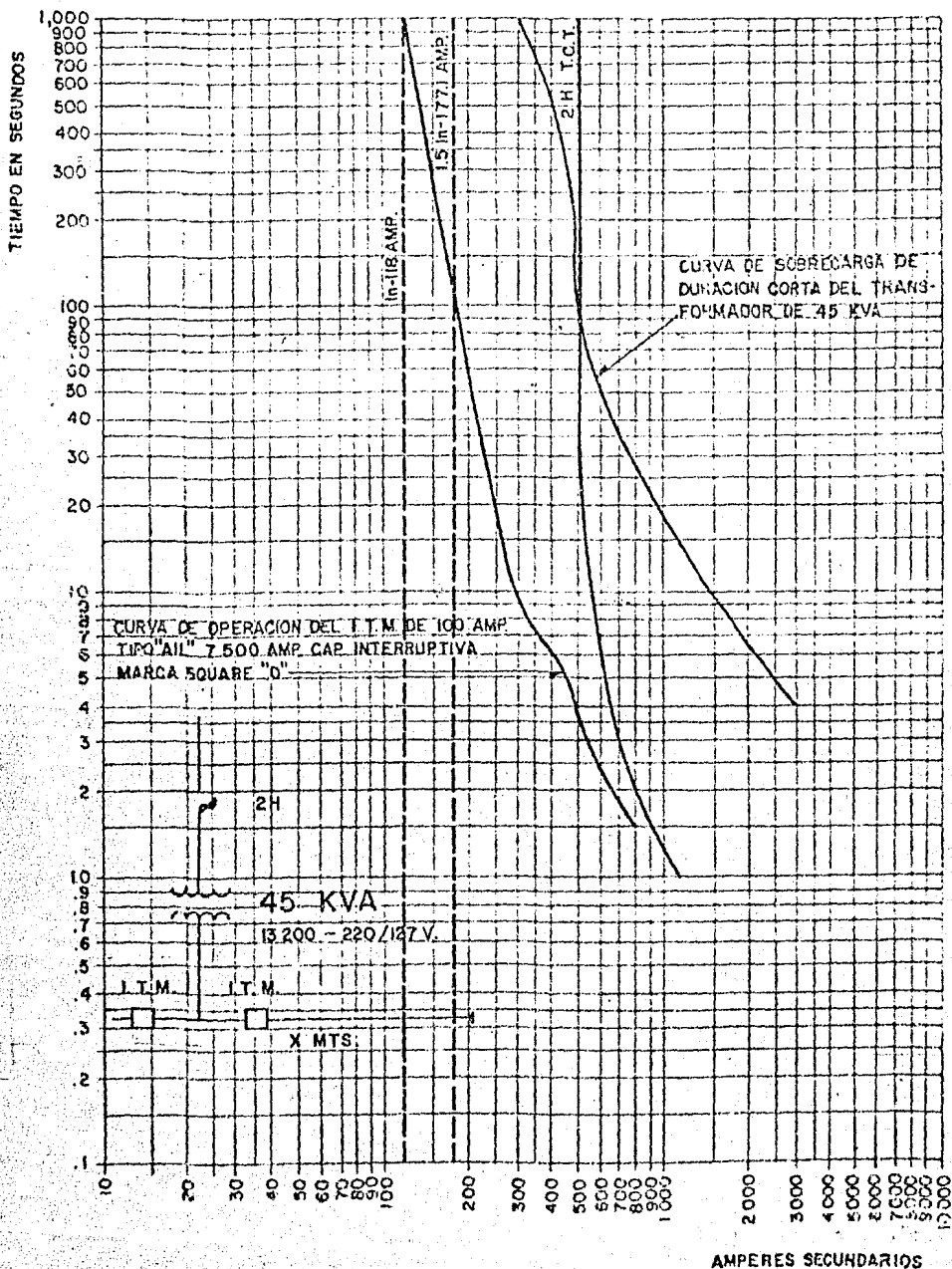
GRAFICA 6

COORDINACION FUSIBLE PRIMARIO 15H E INTERRUPTOR T.M. DE 70 AMP. 120 V.C.A. A LA SALIDA DEL - TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.



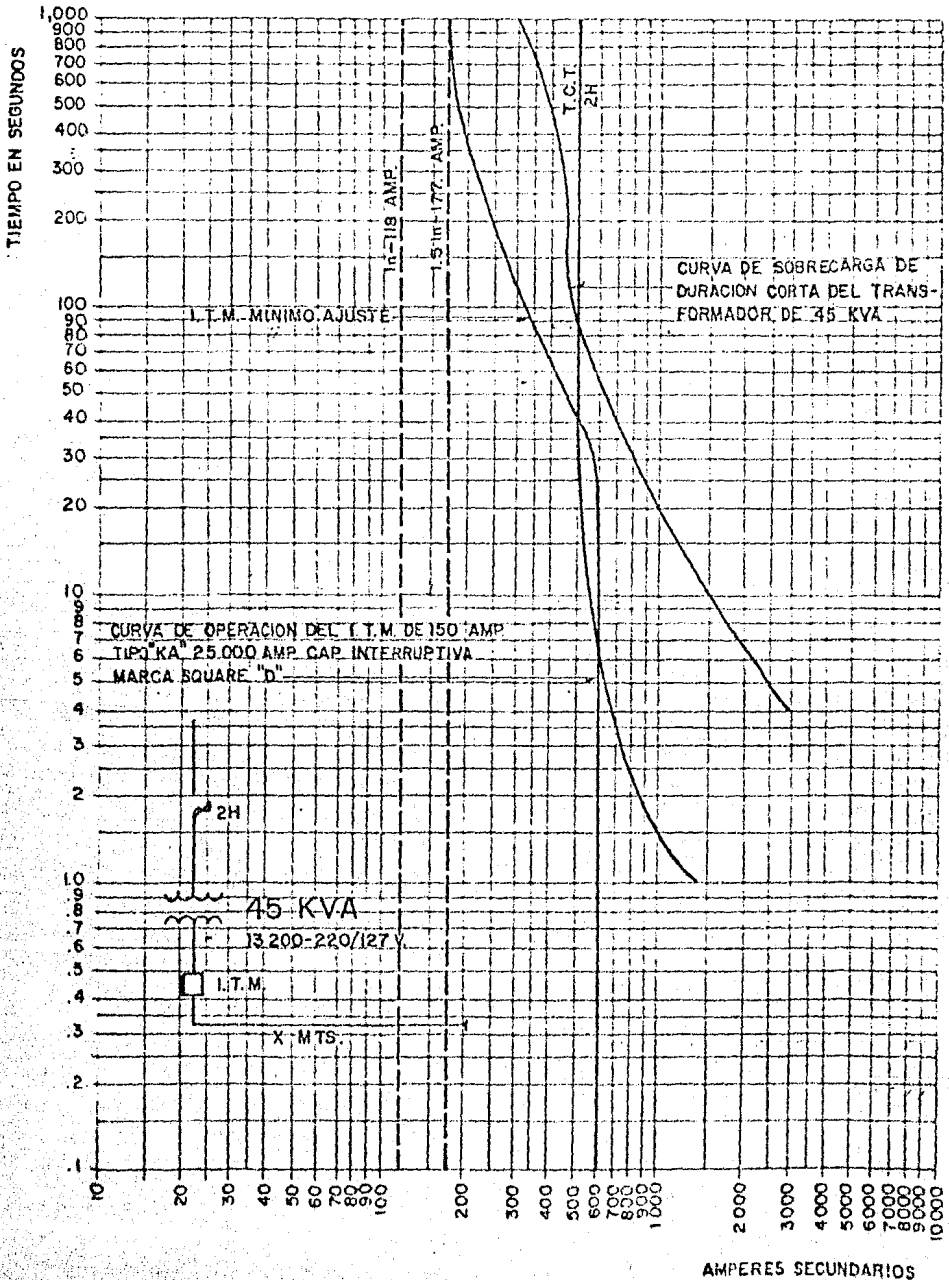
GRAFICA 7

COORDINACION FUSIBLE PRIMARIO 2H E INTERRUPTOR T.M. DE 100 AMP. 120 V.C.A. A LA SALIDA DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.



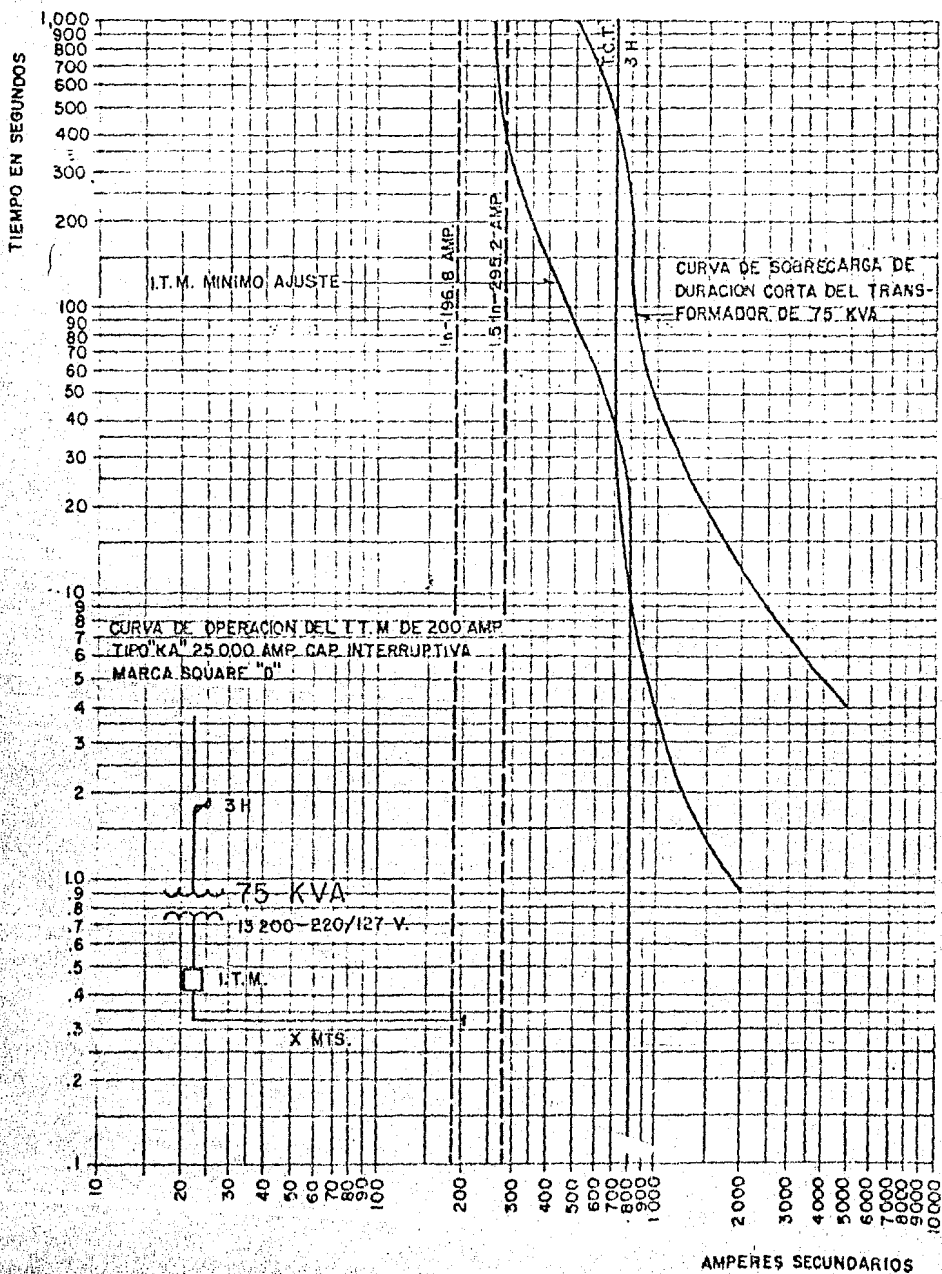
GRAFICA 8

COORDINACION FUSIBLE PRIMARIO 2H E INTERRUPTOR T.M. DE 150 AMP. 220 V.C.A. A LA SALIDA DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.



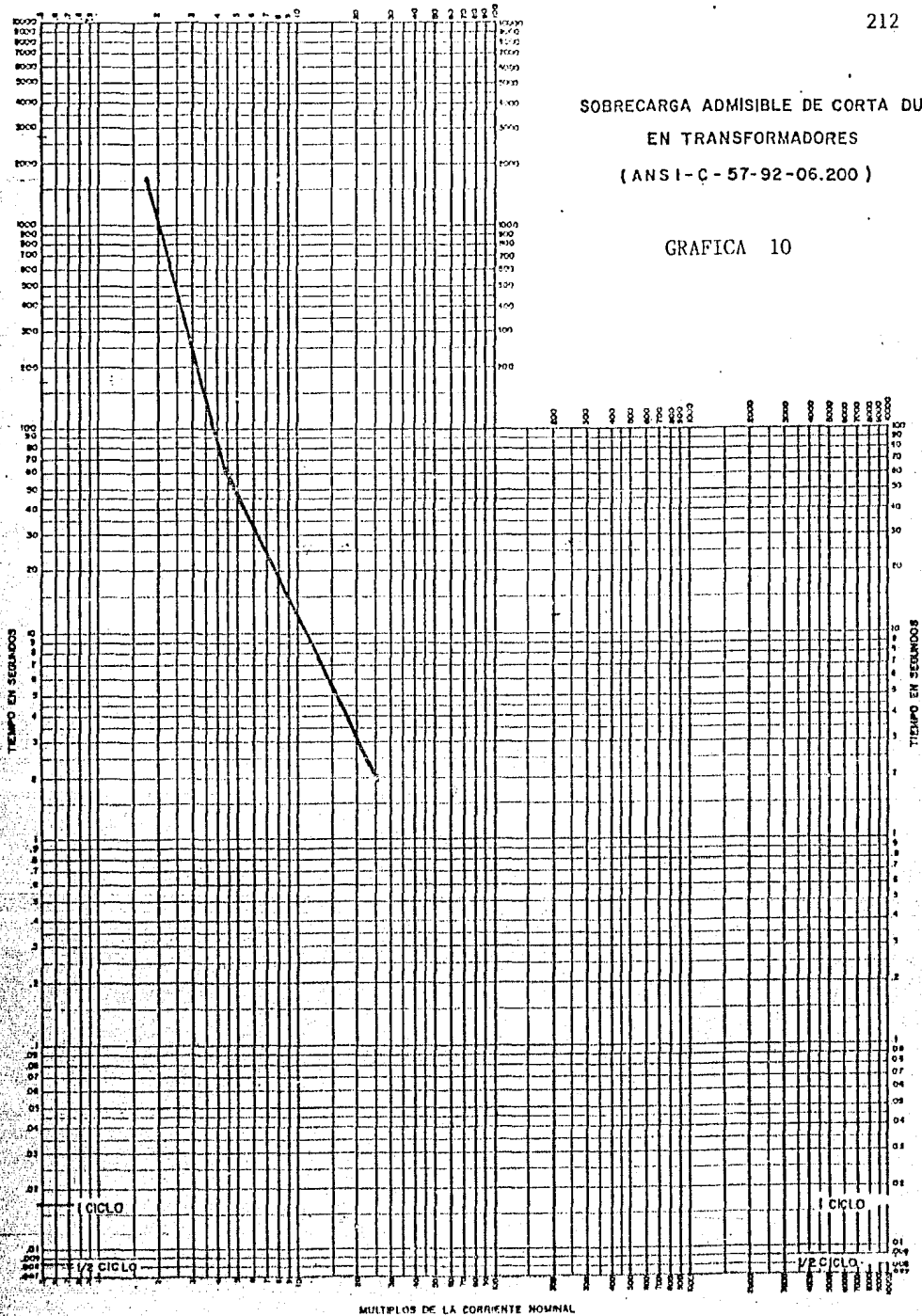
GRAFICA 9

COORDINACION FUSIBLE PRIMARIO 3H E INTERRUPTOR
T.M. DE 200 AMP. 220 V.C.A. A LA SALIDA DEL -
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.



SOBRECARGA ADMISIBLE DE CORTA DURACION
EN TRANSFORMADORES
(ANSI-C-57-92-06.200)

GRAFICA 10



CURVAS DE DEGRADACION

Estas curvas son proporcionadas por el fabricante con el objeto de determinar la corriente de operación cuando ocurren variaciones en la temperatura y/o presión.

Las curvas de degradación por temperatura se aplican a los interruptores tipo termomagnéticos solamente, ya que estos son sensibles a los cambios de temperatura.

En un interruptor en caja moldeada su capacidad de corriente nominal está basada a una temperatura ambiente de 40°C y se ve afectada si se encuentra a otra temperatura fuera de la nominal de operación, para determinar la corriente nominal en una determinada aplicación desde el punto de vista térmico, se tienen los tres siguientes casos:

- 1.- Temperatura ambiente dentro del rango de 25°C y 40°C.

No se requiere degradación (ya que es el rango nominal de operación).

- 2.- Temperatura ambiente dentro de 10°C y 24°C.

En este caso un interruptor podría llevar más de su corriente nominal sin que se dispare, lo cual en algunos casos podría causar daños al equipo protegido. En este caso se procede a utilizar las curvas de degradación por temperatura (ver el procedimiento de degradación por temperatura que se explica más adelante y la gráfica 11).

- 3.- La temperatura ambiente dentro de 40°C y 60°C.

Un interruptor que opere en este ambiente podrá llevar menos de su corriente nominal puesto que de llevar corriente nominal de operación se disparará al cabo de un tiempo sin motivo aparente.

En este caso, se deberá seleccionar el interruptor

de acuerdo con las curvas de degradación para la temperatura que se desee.

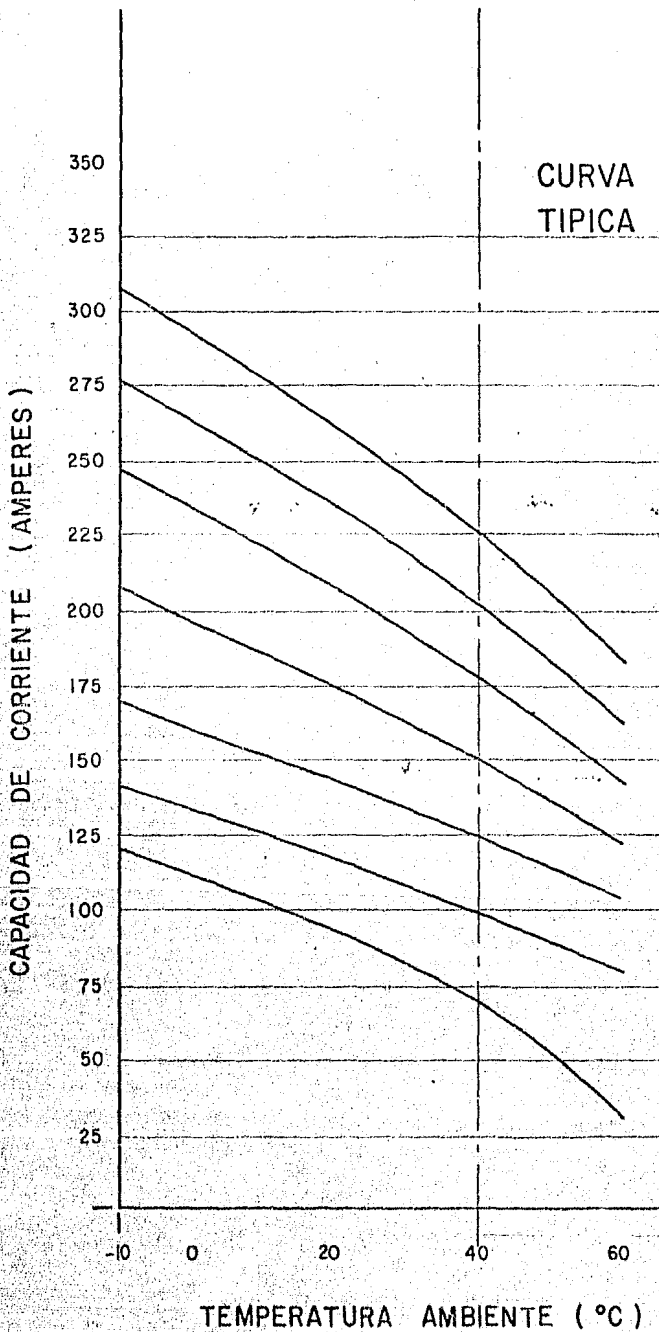
Procedimiento de degradación de interruptor tipo termomagnético por temperatura.

Para determinar la capacidad de corriente nominal a la cual se deberá especificar un interruptor en caja moldeada tipo termomagnético que operará a una temperatura ambiente diferente del rango de 25°C a 40°C, se deberá proceder como sigue:

- 1) Elegir las curvas de degradación para la familia (o marco) del interruptor que se trate.
- 2) Buscar (a la temperatura ambiente deseada) el valor de la corriente nominal que deberá llevar el interruptor. En el cruce se encontrará la curva de degradación de un interruptor de la familia (ó marco). Elegir la curva próxima superior.
- 3) Se debe seguir la curva hasta la temperatura nominal de 40°C.
- 4) En este punto de cruce se podrá leer la corriente nominal a 40°C a la cual se deberá especificar el interruptor.

La aplicación de interruptores en caja moldeada a altitudes mayores de 2000 metros (6,600 pies) requieren degradación de su corriente nominal y su tensión nominal de operación. La reducción de corriente se explica debido a la reducción de la densidad del aire y con ello de su capacidad de enfriamiento, mientras que la reducción de la tensión se basa en la reducción de la rigidez dieléctrica del aire.

GRAFICA 11



La siguiente tabla (tomada de la publicación ANSI/IEEE C37 - 13 - 1981), proporciona los factores aplicables a corriente nominal y tensión nominal para diferentes altitudes:

FACTORES DE CORRECCION POR ALTITUD

Metros	ALTITUD ^g		FACTOR DE CORRECCION	
	Pies		Corriente	Tensión
2000 (y menos)	6600 (y menos)		1.00	1.00
2600	8500		0.99	0.95
3900	13000		0.96	0.80

^g Para altitudes intermedias se puede utilizar interpolación lineal.

APENDICES

A. METODOS SIMPLES DE CALCULO DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.

INTRODUCCION.

Para obtener una operación selectiva, segura y que todos los componentes y la vida humana estén protegidos contra daños, debemos determinar la corriente de falla disponible en varios puntos de nuestro sistema eléctrico. Sólo cuando los niveles de corto circuito han sido determinados, podremos especificar los requerimientos propios de interrupción, coordinación selectiva y proveer protección de los componentes.

Los términos de capacidad interruptiva y corriente de corto circuito ya han sido definidos en el capítulo I; usualmente una corriente de falla es una corriente asimétrica, la cual puede ser descompuesta (hablando en términos matemáticos) en una componente simétrica (o estado estable) y una componente transitoria generalmente representada por una exponencial decreciente. En la Figura A.1., puede observarse lo expresado anteriormente.

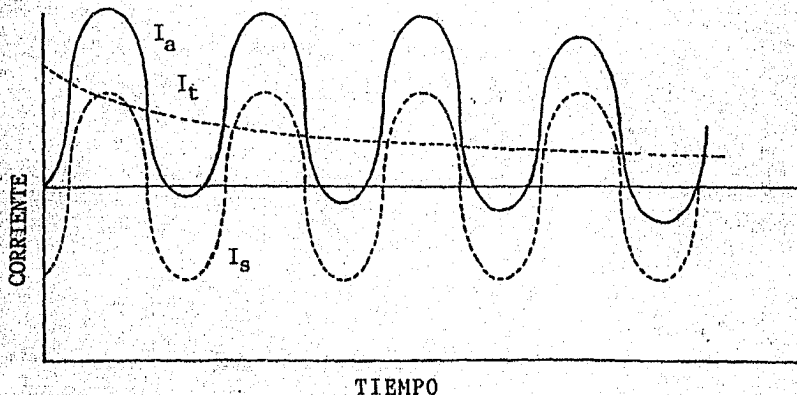


Figura A1.- I_a Corriente asimétrica, I_t Corriente transitoria, I_s Componente simétrica.

El valor rms de la componente simétrica puede ser determinado mediante el uso de la Ley de Ohm. Para determinar la componente transitoria es necesario el conocimiento de la relación X/R del sistema, y para determinar dicha relación deberán obtenerse la reactancia total y la resistencia total en el punto de falla del sistema.

Para ser capaz de determinar la corriente de falla en cualquier punto del sistema, se empieza por hacer un diagrama unifilar del sistema, indicando las posibles fuentes de contribución a la corriente de falla de corto circuito, así como las impedancias correspondientes a cada uno de los componentes del circuito. La impedancia de los componentes puede ser representada en "por unidad", en "ohms", o en "por ciento". Los métodos usuales en el cálculo de las fallas trifásicas y monofásicas son el método ohmico y en por unidad, para sistemas de distribución.

Para hacer el estudio, todos los componentes del sistema, incluyendo la compañía suministradora en su caso, deberán ser representados en el diagrama de impedancia.

Antes de continuar, conviene mencionar de que el cálculo del corto circuito en general cuenta en la actualidad con poderosos auxiliares por medio de programas de computadoras, los cuales tienen variantes dependiendo de la magnitud de los sistemas, de la exactitud y de otros parámetros. Sin embargo, para nuestro caso, sólo serán mostrados dos métodos de cálculos simples y rápidos que nos proporcionarán un resultado satisfactorio y práctico. No es la intención demostrar los métodos computacionales de cálculo de corto circuito, para ello pueden consultarse las referencias que se indican en la parte final de este

trabajo.

Dicho lo anterior, nos limitaremos a hacer mención de los siguientes métodos: el método por unidad y el método ohmico \varnothing .

Se desarrollará un sistema "a" como ejemplo inicial, ejemplo para ambos métodos, el cual puede observarse en la Figura A.2.

Considérese un sistema alimentado por un transformador de 1000 KVA, trifásico y con una corriente a plena carga de 2400 amp. a 240 volts.

Para comenzar, debemos obtener los KVA de corto circuitos disponibles de la compañía suministradora.

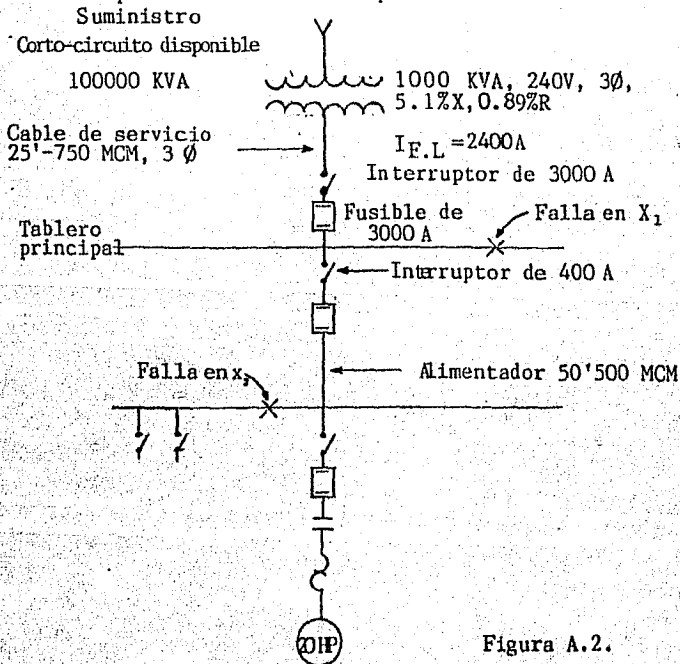


Figura A.2.

\varnothing Método "simplificado por unidad" y método "por unidad" para el caso de tener doble transformación de tensión.

Suponiendo que la compañía suministradora estima que en este punto se tiene una disponibilidad de potencia de corto circuito de 100,000 KVA en el transformador. Puesto que la relación X/R para la compañía suministradora generalmente es grande, se considera únicamente la reactancia para los cálculos.

Con la información anterior, podemos iniciar los cálculos necesarios para la determinación de la corriente de falla en cualquier punto de un sistema eléctrico.

a.1. Procedimiento de calculo de corto circuito trifásico por medio del método ohmico.

La mayoría de las impedancias de los componentes de un sistema, están dadas en ohms, excepto las impedancias del transformador y del suministro (compañía suministradora). El siguiente procedimiento deberá seguirse. (Nótese que los ohms del transformador y del servicio ó suministros, están referidos al lado secundario por medio de la multiplicación de la tensión al cuadrado del secundario).

Procedimiento.

Paso 1.

X del servicio (en ohms) = $[1000 (KV \text{ sec.})^2] / (KVA \text{ corto-circuito serv.})$.

Paso 2.

X trans. (ohms) = $[(10) (\%X) (KV \text{ sec.})^2] / KVA \text{ trans.}$

R trans. (ohms) = $[(10) (\%R) (KV \text{ sec.})^2] / KVA \text{ trans.}$

Paso 3.

La impedancia en ohms dada para cada uno de los demás elementos componentes puede ser obtenida de manera rápida por medio de las tablas que se encuentran al final

de este apéndice.

Paso 4.

La impedancia del cable y del bus deberán ser obtenidas en ohms (consultar tablas al final de este apéndice).

Paso 5.

Se deberá obtener la X y la R totales en el punto de falla, considerando la teoría de reducción de redes. (Teorema de Thevenin).

Paso 6.

Determinar la impedancia (en ohms) del sistema por medio de la siguiente fórmula:

$$Z_t = \sqrt{(R_t)^2 + (X_t)^2}$$

Paso 7.

Calcular los amperes rms simétricos de corto circuito en el punto de falla.

$$I_{sc} \text{ rms sim} = (\text{volts línea sec.}) / \sqrt{3} (Z_t)$$

Paso 8.

Determinar la carga del motor. Adicionar las corrientes de los motores a plena carga. La corriente de plena carga del motor es generalmente un porcentaje de la corriente de plena carga del transformador, dependiendo del tipo de carga. Generalmente se acepta un 50% de carga del motor cuando las cargas resistivas y el motor son consideradas.

Paso 9.

La corriente de contribución del motor al corto circuito es una corriente asimétrica, usualmente semejante a la de rotor bloqueado (para una mejor aproximación se puede utilizar la reactancia subtransitoria). Como una

aproximación con un margen de seguridad puede utilizarse la siguiente expresión:

$$I_{\text{asim. cont. motor}} = 5 \times (I_{\text{motor a plena carga}})$$

Paso 10.

La contribución simétrica del motor puede ser obtenida utilizando el factor de asimetría asociado con los motores en el sistema. Este factor de asimetría varía dependiendo del diseño del motor y en este trabajo se elige como 1.25 para propósitos de cálculos aproximados. La siguiente expresión debe utilizarse, entonces:

$$I_{\text{sim. cont. motor}} = (\text{asim. cont. motor})/1.25$$

(El factor de asimetría para motores es diferente dependiendo de los diferentes tipos de motores).

Paso 11.

La $I_{\text{sim. s.c. total}}$ es:

$$I_t \text{ sim} = (I_{\text{sc rms sim}}) + (\text{Cont. motor sim.})$$

Paso 12.

Determinar X/R del sistema en el punto de falla.

$$X/R = X \text{ Total (Ohms)} / R \text{ Total (Ohms)}$$

Paso 13.

El factor asimétrico correspondiente a la relación X/R en el paso 12 se encuentra en la tabla A.6 columna M_m : Este multiplicador previene que la asimetría ocurra en el primer medio ciclo. Donde sea deseado el multiplicador trifásico, utilizar la columna M_a .

Paso 14.

$$\text{Calcular la } I_{\text{asim de s.c.}} = (I_{\text{sc rms sim}}) (\text{factor asim.})$$

Paso 15

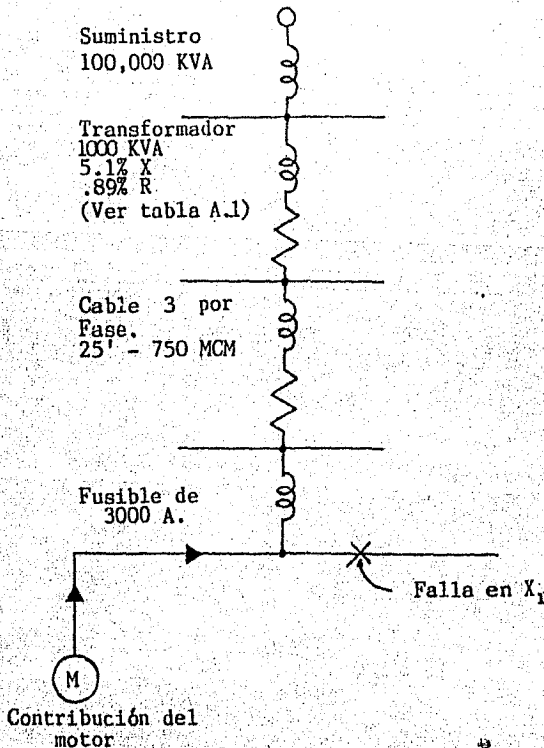
Calcular la corriente asimétrica total de corto circuito:

$$I_{t \text{ sc asim rms}} = (I_{\text{sc asim rms}}) + (\text{Cont. asim. motor})$$

Nota: Todos los ohms componentes del circuito están referidos al mismo valor de tensión. Si existe más de un voltaje de transformación, esto es, más de un transformador en el sistema, el método óhmico se complica. Cuando ocurre que existen más de una tensión de transformación en el sistema, se recomienda el método por unidad.

Ejemplo:

METODO OHMICO
CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO - FALLA EN X_1
DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



$$X = \frac{100(.240)^2}{100000} = .000575$$

$$X = \frac{(10)(5.1)(.240)^2}{1000} = .002940$$

$$R = \frac{10(.89)(.240)^2}{1000} = .000512$$

$$(Tabla A.7) X = \frac{25'}{1000} \times \frac{.0356}{3} = .000300$$

$$(Tabla A.7) R = \frac{25'}{1000} \times \frac{.0194}{3} = .000162$$

$$(Tabla A.3) X = .000040$$

R	X
	.000575
	.002940
.000512	
	.000300
.000162	
	.000040
TOTAL	.000674
	.003855

$$Z_{total} = \sqrt{(.000674)^2 + (.003855)^2} = .00392 \Omega/\text{Fase.}$$

$$\text{Amp's. RMS. Sim. c.c.} = \frac{240}{\sqrt{3}(.00392)} = 35300 \text{ Amps.}$$

$$\text{Cont. Asim. del motor}^* \left(\frac{100\% \text{ de carga}}{1.25} \right) = 5 \times 2400 = 12000 \text{ Amps}^{**}$$

$$\text{Cont. Sim. del motor}^* = \frac{12000}{1.25} = 9600 \text{ Amps.}$$

$$\text{Amps. total sim. de c.c. (falla en } X_1) = 35300 + 9600 = 44900 \text{ Amps.}$$

$$\text{Relac } X/R = \frac{.003855}{.000674} = 5.72$$

$$\text{Factor asim}^{\circ} = 1.290 \text{ (tabla A.6.)}$$

$$\text{Amps. RMS. asim. de c.c.} = 1.290 \times 35300 = 45500 \text{ Amps.}$$

$$\text{Amps. RMS. asim. de c.c. (falla en } X_1) = 45500 + 12000 = 57500 \text{ Amps.}$$

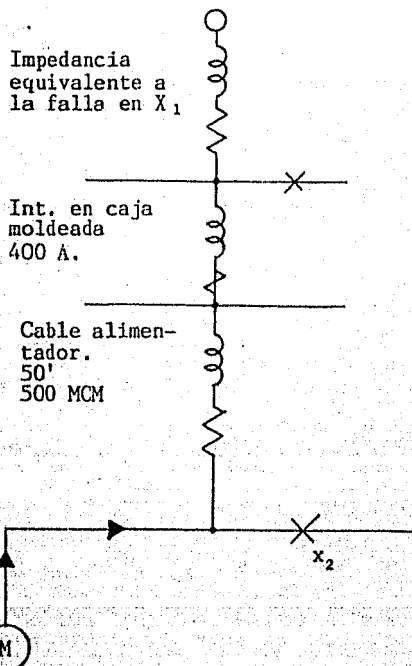
^v Factor para la corriente máxima en una fase a medio ciclo.

^{**} La contribución real del motor es más pequeña que la calculada, debido a la impedancia del cable.

* Grupo de motores, cuya capacidad es equivalente a la del transformador.

METODO OHMICO
CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO - FALLA X₁

DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



Contribución
del motor

$$X = .003855$$

$$R = .000674$$

$$(Tabla A.4) X = .00039$$

$$(Tabla A.4) R = .00031$$

$$(Tabla A.7) X = \frac{50'}{1000'} \times .0466 = .00233$$

$$(Tabla A.7) R = \frac{50'}{1000'} \times .0294 = .00147$$

R	X
	.003855
.000674	
	.00039
.00031	
	.00233
.00147	
TOTAL	.006575

$$Z_{\text{total}} = \sqrt{(.002454)^2 + (.006575)^2} = .007018 \Omega/\text{Fase}$$

$$\text{Amps RMS. sim. c.c.} = \frac{240}{\sqrt{3}(.007018)} = 19744.096 \text{ Amps.}$$

$$\text{Cont. asim. del motor}^*(100\%) = 5 \times 2400 = 12000 \text{ Amps}^{\circ};$$

$$\text{Cont. sim. del motor}^* = \frac{12000}{1.25} = 9600 \text{ Amps}^{\circ}.$$

$$\text{Amps. totales RMS. sim. de c.c. (falla en } X_2) = 19744.096 + 9600 = 29344.096 \text{ Amps.}$$

$$\text{Relación X/R} = \frac{.006575}{.002454} = 2.67929$$

$$\text{Factor asimétrico}^{\circ}_1 = 1.092 \text{ (tabla A.6.)}$$

$$\text{Amps. RMS. asm. de c.c.} = 1.092 \times 19744.096 = 21560.55 \text{ Amps.}$$

$$\text{Amps. Totales asim. de c.c. (falla en } X_2) = 21560.55 + 12000 = 33560.55 \text{ A}$$

° La contribución real del motor es un poco menor que la calculada debido a la impedancia del alimentador.

°₁ Factor multiplicador para la máxima corriente RMS de una fase a medio ciclo.

* Grupo de motores, cuya capacidad es equivalente a la del transformador.

a.2. Procedimiento de cálculo de corto circuito trifásico por medio del método por unidad.

En general este método es utilizado para sistemas eléctricos más complejos que el caso del ejemplo.

Después de establecer el diagrama unifilar del sistema, procedemos a hacer lo siguiente:

Paso 1.

$$X \text{ del serv. (p.u.)} = \text{KVA base} / \text{KVA corto circuito serv.}$$

Paso 2.

$$X \text{ transf. (p.u.)} = (\%X) (\text{KVA base}) / (100) (\text{KVA transf.})$$

$$R \text{ trans (p.u.)} = (\%R) (\text{KVA base}) / (100) (\text{KVA transf.})$$

Paso 3.

$$X \text{ componentes (p.u.)} = (X \text{ ohms}) (\text{KVA base}) / (1000) (\text{KV})^2$$

(Cable, Interruptor, etc.).

Paso 4.

$$R \text{ componentes (p.u.)} = (R \text{ ohms}) (\text{KVA base}) / (1000) (\text{KV})^2$$

(Cable, Interruptor, etc.)

Paso 5.

Obtener mediante la sumatoria de todos los elementos involucrados, la X total y la R total en el punto de falla.

Paso 6.

Determinar la impedancia p.u. del sistema:

$$Z_t(\text{p.u.}) = \sqrt{\frac{(R_t)^2}{\text{p.u.}} + \frac{(X_t)^2}{\text{p.u.}}}$$

Paso 7.

Cálculo de la corriente simétrica de falla en el pun

to de falla:

$$I_{sc \text{ rms.sim}} = \text{KVA base} / \sqrt{3} \text{ (KV)} (Z)_t \text{ (p.u.)}$$

Paso 8.

Determinar la carga del motor. Adicionar la corriente de plena carga del motor. (Dondequiera que las cargas de un motor y cargas ligeras son consideradas al mismo tiempo, tal como en sistemas de suministro de 4 hilos, 120/208 y 277/480 volts, 3 \emptyset , se acepta generalmente 50% de carga del motor basada en la corriente de plena carga del transformador.

Paso 9.

La corriente de corto circuito asimétrica, con la que contribuye un motor, usualmente se aproxima a la de rotor bloqueado (para una mejor exactitud, se puede hacer uso de la reactancia sub-transitoria del motor en cuestión y la impedancia del circuito asociado). Nosotros utilizaremos con buen margen de seguridad, la siguiente expresión:

$$I \text{ cont. asim. mot.} = 5 \times (I \text{ p.c. mot.})$$

Paso 10.

La corriente de contribución simétrica del motor puede aproximarse mediante el uso del factor de asimetría promedio asociado con los motores en el sistema. Este factor de asimetría varía de acuerdo con el diseño del motor y para nuestro ejemplo será tomado como 1.25 (este factor varía por ejemplo dependiendo de si es de jaula de ardilla, de rotor devanado, etc.).

$$I \text{ cont. sim. mot} = (I \text{ cont. asim. mot.}) / 1.25$$

Paso 11.

La corriente de corto circuito rms simétrica total se calcula por:

$$I_{t \text{ sc rms sim}} = (I_{\text{sc rms sim}}) + (I_{\text{cont. sim. mot.}})$$

Paso 12.

Determinar la relación X/R del sistema en el punto de falla:

$$X/R = X_t \text{ (p.u.)} / R_t \text{ (p.u.)}$$

Paso 13.

De la tabla No. A.6. columna Mm, obtener el factor asimétrico correspondiente a la relación X/R determinada en el paso 12. Este multiplicador (factor) prevee que la asimetría ocurre en el primer medio ciclo. Si es deseado el promedio 3 Ø del factor usar la columna Ma.

Paso 14.

La corriente de corto circuito asimétrica puede calcularse por:

$$I_{\text{sc asim rms}} = (I_{\text{sc rms sim}}) \times (\text{factor asim.})$$

Paso 15.

La corriente total de corto circuito rms asimétrica se calcula por medio de:

$$I_{t \text{ sc rms asim.}} = (I_{\text{sc rms asim}}) + (I_{\text{cont. asim. mot.}})$$

Notas: Los KVA base se tomaron como 10,000 KVA. En el último punto para obtener una mejor exactitud, es conveniente efectuar una suma vectorial de los dos componentes, más que una suma algebraica.

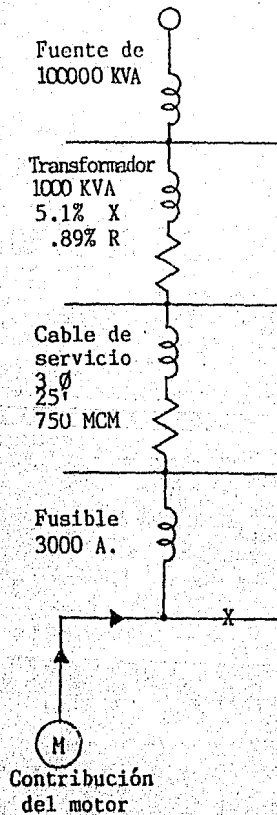
Tanto en el punto 7 de este método, como en el del

método de ohms., el factor $\sqrt{3}$ indica que se está obteniendo el valor trifásico

METODO POR UNIDAD

CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO - FALLA X_1

DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



$$X \text{ (P.U.)} = \frac{10000}{100000} = .1000$$

$$X \text{ (P.U.)} = \frac{5.1 (10000)}{100 (1000)} = .5100$$

$$R \text{ (P.U.)} = \frac{.89 (10000)}{100 (1000)} = .0890$$

$$X \text{ (P.U.)} = \frac{(.0003) (10000)}{1000 (.240)^2} = .052$$

$$R \text{ (P.U.)} = \frac{(.00016) (10000)}{1000 (.240)^2} = .0281$$

$$X \text{ (P.U.)} = \frac{(.00004) (10000)}{1000 (.240)^2} = .0069$$

TOTAL

R (P.U)	X (P.U.)
	.1000
	.5100
.0890	
	.0520
.0281	
	.0069
.1171	.6689

$$Z \text{ total} = \sqrt{(.117)^2 + (.6689)^2} = .6800$$

$$\text{Amps. RMS. sim. de c.c.} = \frac{10000}{\sqrt{3} (.240) (.68)} = 35300 \text{ Amps.}$$

$$\text{Cont. asim. del motor (100\%)} = 5 \times 2400 = 12000 \text{ Amps.}$$

$$\text{Cont. sim. del motor} = \frac{12000}{1.25} = 9600 \text{ Amps.}$$

$$\text{Amps. RMS. sim. totales de c.c. (falla en } X_1) = 35300 + 9600 = 4900 \text{ Amps.}^{**}$$

$$\text{Relac. X/R.} = \frac{.6689}{.1171} = 5.72$$

$$\text{Factor asim.}^{\circ} = 1.290$$

$$\text{Amps. RMS. asim. de c.c.} = 1.290 \times 35300 = 45500 \text{ Amps.}$$

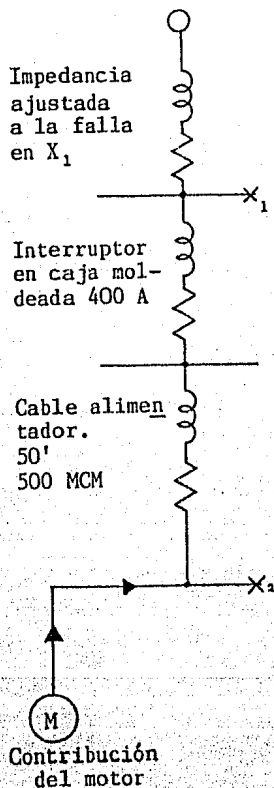
$$\text{Amps. RMS. asim. de c.c. totales (falla en } X_1) = 45500 + 12000 = 57500 \text{ Amps.}$$

^o Factor multiplicador para la máxima corriente RMS de una fase a medio ciclo.

** La corriente de contribución del motor es más pequeña en la realidad.

CALCULO POR UNIDAD
CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO - FALLA X₁

DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



	R (P.U.)	X (P.U.)
$X (P.U.) = .6689$		.6689
$R (P.U.) = .1171$	.1171	
$X (P.U.) = \frac{(.00039)(10000)}{1000 (.240)^2} = .0677$		.0677
$R (P.U.) = \frac{(.00031)(10000)}{1000 (.240)^2} = .0538$	.0538	
$X (P.U.) = \frac{(.00233)(10000)}{1000 (.240)^2} = .4050$		.4050
$R (P.U.) = \frac{(.00147)(10000)}{1000 (.240)^2} = .2551$	.2551	
TOTAL	.4260	1.1416

$$Z \text{ total (P.U.)} = \sqrt{(.426)^2 + (1.1416)^2} = 1.2185$$

$$\text{Amps. RMS. sim. de c.c.} = \frac{10000}{\sqrt{3} (.240) (1.2185)} = 19742.52 \text{ Amps.}$$

$$\text{Cont. asim. del motor (100\%)} = 5 \times 2400 = 12000 \text{ Amps}^{??}$$

$$\text{Cont. sim. del motor} = \frac{12000}{1.25} = 9600 \text{ Amp}^{??}$$

$$\text{Amps. RMS. sim. totales de c.c. (falla en } X_2) = 19742.52 + 9600 = 29342.52$$

$$\text{Relac. } X/R = \frac{1.1416}{.426} = 2.6798$$

$$\text{Factor asimétrico}^{\circ} = 1.092$$

$$\text{Amps. RMC. asim. de c.c.} = 1.092 \times 19742.52 = 21558.832$$

$$\text{Amps. RMS. asim. totales de c.c. (falla en } X_2) = 21458.83 + 12000 = 33558.83$$

?? La contribución real del motor es un poco menor que la calculada debido a la impedancia del alimentador.

? Factor multiplicador para la máxima corriente RMS de una fase a medio ciclo.

a.3.- Método simplificado 'por unidad' (uso de constante y tablas)

Las tablas que se presentan al final del apéndice A, se han derivado tomando como base de potencia 10000 KVA. Tales tablas simplifican el procedimiento que anteriormente se ha explicado.

a.4.- Método 'por unidad' para cálculo de corto circuito en el caso de tener doble transformación de tensión.

Para ilustrar la relativa facilidad que da el método de 'por unidad' para cálculo de corto circuito donde existe más de una transformación de tensión, se presentará el siguiente ejemplo (ver figura A.3.)

METODO POR UNIDAD
 CASO DE DOBLE TRANSFORMACION DE TENSION
 DIAGRAMA UNIFILAR - FALLA EN X_1 y X_2

Sea el sistema mostrado:

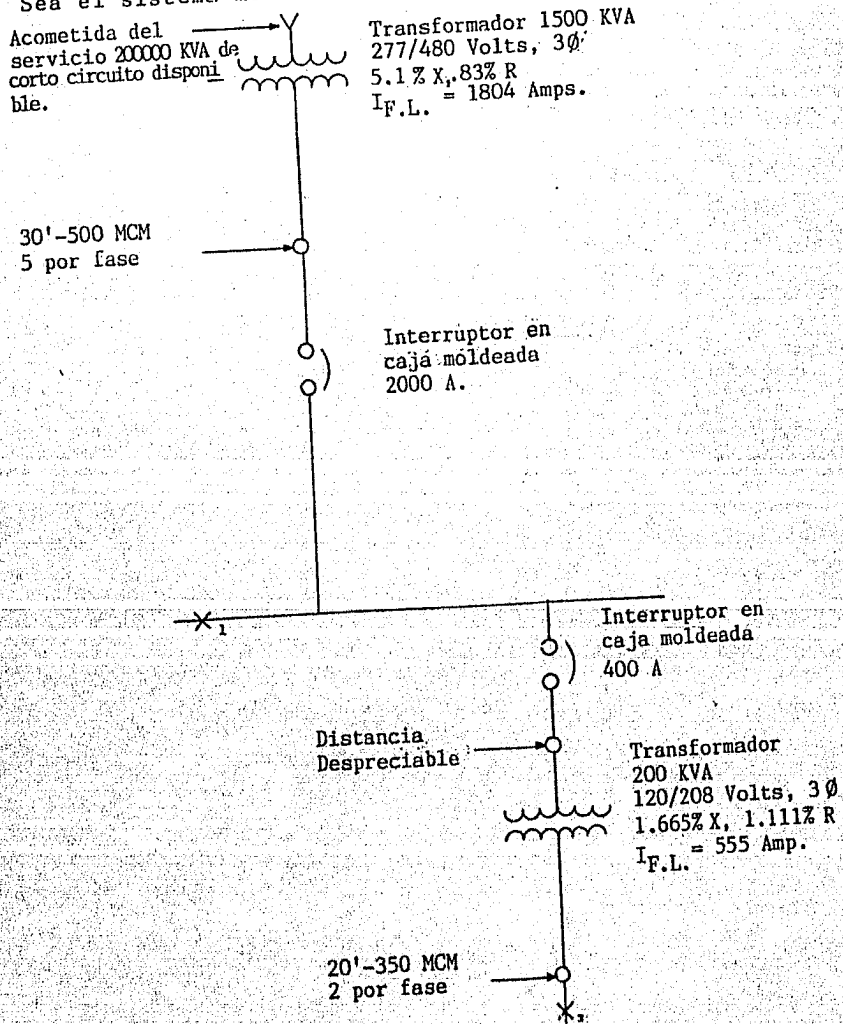


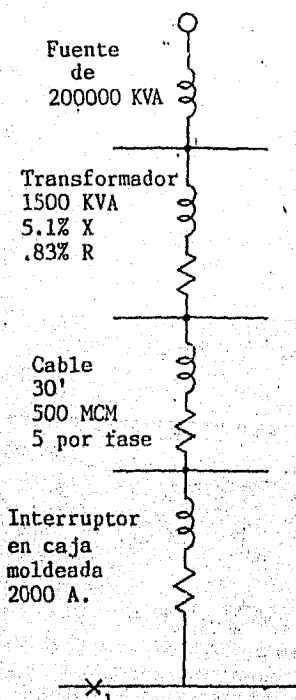
FIGURA A.3.

METODO POR UNIDAD

CASO DE DOBLE TRANSFORMACION DE TENSION
CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO - FALLA EN X_1

La falla en X_1 se localiza en el sistema de 277/480 volts; así pues, la base de tensión para los cálculos es 480 volts.

DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



$$X \text{ (P.U.)} = \frac{10000}{20000} = .0500$$

$$X \text{ (P.U.)} = \frac{5.1 (10000)}{100 (1500)} = .3400$$

$$X \text{ (P.U.)} = \frac{.83 (10000)}{100 (1500)} = .0553$$

$$X \text{ (P.U.)} = \left[\left(\frac{30'}{1000'} \right) \left(\frac{-.0466}{5} \right) \right] \times \frac{10000}{1000 (.480)^2} = .0121$$

$$R \text{ (P.U.)} = \left[\left(\frac{30'}{1000'} \right) \left(\frac{-.0294}{5} \right) \right] \times \frac{10000}{1000 (.480)^2} = .0077$$

$$P.U.X = (.00008) \frac{10000}{1000 (.480)^2} = .0035$$

$$R \text{ (P.U.)} = \text{[Despreciable]}$$

$$Z \text{ total (P.U.)} = \sqrt{(.0630)^2 + (.4056)^2} = .4105$$

$$\text{Amps. RMS. sim.c.c. (falla en X)} = \frac{10000}{\sqrt{3} (.480) (.4105)} = 29,301.17 \text{ Amps.}$$

R (P.U.)	X (P.U.)
	.0500
	.3400
.0553	.
	.0121
.0077	.
	.0035
TOTAL	.0630
	.4056

METODO POR UNIDAD

CASO DE DOBLE TRANSFORMACION DE TENSION

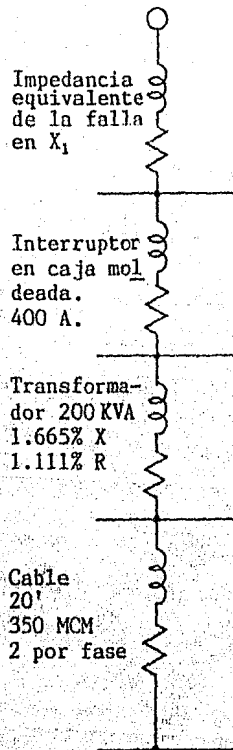
CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO - FALLA X₂

La falla en X₂ está localizada en el sistema a 120/208 volts. El método por unidad hace más simples los cálculos. La base de tensión es 208 volts para los componentes del sistema en 120/208 volts. Estos valores de impedancia en P.U. pueden adicionarse directamente al valor de impedancia P.U. determinado en el sistema a 480 volts, utilizando la tensión base de 480 volts.

Si para este caso se usara el método óhmico, los calculos serían

considerablemente más complejos para hallar la falla en X_1 , los ohms del sistema en el lado primario del transformador de 200 KVA pudiera ser ajustado por el cuadrado de la relación de vueltas. Sin embargo, el método por unidad efectúa automáticamente este ajuste. En los cálculos que siguen, la atención particular debe centrarse en la tensión en P.U. de los multiplicadores.

DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



$$X \text{ (P.U.)} = .4056$$

$$R \text{ (P.U.)} = .0630$$

$$R \text{ (P.U.)} = (.00039) \frac{10000}{1000 (.480)^2} = .0169$$

$$R \text{ (P.U.)} = (.00031) \frac{10000}{1000 (.480)^2} = .0135$$

$$X \text{ (P.U.)} = \frac{(1.665)(10000)}{100 (200)} = .8325$$

$$R \text{ (P.U.)} = \frac{(1.111)(10000)}{100 (200)} = .5555$$

$$X \text{ (P.U.)} = \left[\left(\frac{20'}{1000'} \right) \left(\frac{.0491}{2} \right) \right] \times \frac{10000}{1000 (.208)^2} = .1135$$

$$R \text{ (P.U.)} = \left[\left(\frac{20'}{1000'} \right) \left(\frac{.0378}{2} \right) \right] \times \frac{10000}{1000 (.208)^2} = .0874$$

TOTAL

R (P.U.)	X (P.U.)
.0630	.4056
	.0169
.0135	
	.8325
.5555	
	.1135
.0874	
.7194	1.3685

$$Z \text{ total (P.U.)} = \sqrt{(.7194)^2 + (1.3685)^2} = 1.5372$$

$$\text{Amp's. RMS. sim. de c.c. (falla en } X_2) = \frac{10000}{\sqrt{3} (.208) (1.5372)} = 18057.00 \text{ Amps.}$$

TABLA A.1.- IMPEDANCIA DE TRANSFORMADORES

% R, X y Z en transformadores

Transformador KVA	X/R	R %	X %	Z %
150	3.24	1.28	4.0	4.19
225	3.35	1.19	4.0	4.17
300	3.50	1.14	4.0	4.16
500	3.85	1.04	4.0	4.12
750	5.45	0.94	5.1	5.19
1000	5.70	0.89	5.1	5.19
1500	6.15	0.83	5.1	5.18
2000	6.63	0.77	5.1	5.17
150	1.5	1.111	1.665	2.0
225	1.5	1.111	1.665	2.0
300	1.5	1.111	1.665	2.0
500	1.5	1.111	1.665	2.0

TABLA A.2.- REACTANCIA DE TRANSFORMADORES
DE CORRIENTE

Corriente primaria Amperes	Reactancia en Ohms para varios voltajes		
	600-5000V	7500V	15,000V
100-200	0.0022	0.0040	
250-400	0.0005	0.0008	0.0002
500-800	0.00019	0.00031	0.00007
1000-4000	0.00007	0.00007	0.00007

TABLA A.3.- REACTANCIA DE DESCONECTADORES DE CUCHILLAS

REACTANCIA
APROXIMADA

Tamaño Switch (Amps)	X (Ohms)
200	.0001
400	.00008
600	.00008
800	.00007
1200	.00007
1600	.00005
2000	.00005
3000	.00004
4000	.00004

TABLA A.4.- REACTANCIA DE INTERRUPTORES

Interruptores de potencia
Reactancia de bajo voltaje

Cap. Interrup. Rango-Amps.	Amps.- Rango	Reactancia Ω
15,000	15 a 35	0.04
y	50 a 100	0.004
25,000	125 a 225	0.001
	250 a 600	0.0002
50,000	200 a 800	0.0002
	1000 a 1600	0.00007
75,000	2000 a 3000	0.00008
100,000	4000	0.00008

Interruptores en caja moldeada
impedancia

Interruptores en caja moldeada Amps. Rango	Resistencia Ω	Reactancia Ω
20	.00700	Despreciable
40	.00240	" "
100	.00200	.00070
225	.00035	.00020
400	.00031	.00039
600	.00007	.00017

TABLA A.5.- IMPEDANCIA DE ALIMENTADORES
OHMS POR 1000 PIES
(LINEA A NEUTRO, 60 CICLOS)

a) Alta impedancia

Amperes	Bus Barra de Cobre			Bus Barra de Cobre		
	Resistencia	Reactancia	Impedancia	Resistencia	Reactancia	Impedancia
225	.0262	.0229	.0348	.0398	.0173	.0434
400	.0136	.0218	.0257	.0189	.0216	.0288
600	.0113	.0216	.0244	.0179	.190	.0261
800	.0105	.0190	.0217	.0120	.0126	.0174
1000	.0071	.0126	.0144	.0080	.0080	.0112
1200	.0055	.0091	.0106	.0072	.0074	.0103
1350	.0040	.0072	.0084	.0065	.0070	.0096
1600	.0036	.0068	.0077	.0055	.0062	.0083
2000	.0033	.0062	.0070	.0054	.0049	.0074
2500	.0032	.0062	.0070	.0054	.0034	.0064
3000	.0031	.0062	.0069	.0054	.0018	.0057
4000	.0030	.0062	.0069	-	-	-
5000	.0020	.0039	.0044	-	-	-

b) Baja Impedancia

Amperes	Barra de Cobre			Barra de Cobre		
	Resistencia	Reactancia	Impedancia	Resistencia	Reactancia	Impedancia
225	.0425	.0323	.0534	.0767	.0323	.0832
400	.0291	.0301	.0419	.0378	.0280	.0470
600	.0215	.0170	.0274	.0305	.0099	.0320
800	.0178	.0099	.0203	.0212	.0081	.0227
1000	.0136	.0082	.0159	.0166	.0065	.0178
1200	.0110	.0070	.0130	.0133	.0053	.0143
1350	.0090	.0065	.0111	.0110	.0045	.0199
1600	.0083	.0053	.0099	.0105	.0034	.0110
2000	.0067	.0032	.0074	.0075	.0031	.0080
2500	.0045	.0032	.0055	.0055	.0023	.0060
3000	.0041	.0027	.0049	.0049	.0020	.0053
4000	.0030	.0020	.0036	.0036	.0015	.0039
5000	.0023	.0015	.0027	-	-	-

Continuación Tabla A.5.

c) Limitador de corriente

Amperes	Resistencia	Reactancia	Impedancia	X/R Razón
1000	.013	.063	.064	4.85
1350	.012	.061	.062	5.08
1600	.009	.056	.057	6.22
2000	.007	.052	.052	7.45
2500	.006	.049	.049	8.15
3000	.005	.046	.046	9.20
4000	.004	.042	.042	10.50

TABLA A.6.- FACTORES ASIMETRICOS

%	Factor de potencia de corto circuito	Relación X/R	(Amp's. RMS. simétricos. Relación)		
			Máximo piconofásico M_p	Máx. Amp. a medio ciclo, monofásicos RMS. M_n (factor asimétrico)	Amps. prom. 3 \emptyset RMS. a medio ciclo M_a
0		∞	2,828	1,732	1,394
1		100.00	2,785	1,696	1,374
2		49.993	2,743	1,665	1,355
3		33.322	2,702	1,630	1,336
4		24.979	2,663	1,598	1,318
5		19.974	2,625	1,568	1,301
6		16.623	2,589	1,540	1,285
7		14.251	2,554	1,511	1,270
8		13.460	2,520	1,485	1,256
9		11.066	2,487	1,460	1,241
10		9.9301	2,455	1,436	1,229
11		9.0354	2,424	1,413	1,216
12		8.2733	2,394	1,391	1,204
13		7.6271	2,364	1,372	1,193
14		7.0721	2,336	1,350	1,182
15		6,5912	2,309	1,330	1,171
16		6,1695	2,282	1,312	1,161
17		5,7947	2,256	1,294	1,152
18		5,4649	2,231	1,277	1,143
19		5,1672	2,207	1,262	1,135
20		4,8990	2,183	1,247	1,127
21		4,6557	2,160	1,232	1,119
22		4,4341	2,138	1,218	1,112
23		4,2313	2,11	1,205	1,105
24		4,0450	2,095	1,192	1,099
25		3,8730	2,074	1,181	1,093
26		3,7138	2,054	1,170	1,087
27		3,5661	2,034	1,159	1,081
28		3,4286	2,015	1,149	2,075
29		3,3001	1,996	1,139	1,070
30		3,1798	1,978	1,130	1,066
31		3,0669	1,960	1,121	1,062
32		2,9608	1,943	1,113	2,057
33		2,8606	1,926	1,105	1,053
34		2,7660	1,910	1,098	1,049
35		2,6764	1,894	1,091	1,046
36		2,5916	1,878	1,084	1,043
37		2,5109	1,863	1,078	1,039
38		2,4341	1,848	1,073	1,036
39		2,3611	1,833	1,068	1,033
40		1,1913	1,819	1,062	1,031
41		2,2246	1,805	1,057	1,028
42		2,1608	1,791	1,053	1,026
43		2,0996	1,778	1,049	1,024
44		2,0409	1,765	1,045	1,022
45		1,9845	1,753	1,041	1,020

Continuación Tabla A.6.-

46	1.9393	1.740	1.038	1.019
47	1.8780	1.728	1.034	1.017
48	1.8277	1.716	1.031	1.016
49	1.7791	1.705	1.029	1.014
50	1.7321	1.694	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3333	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.002	1.001
75	0.8819	1.486	1.0008	1.0004
80	0.7500	1.460	1.0002	1.00005
85	0.6198	1.439	1.00004	1.00002
100	0.0000	1.414	1.00000	1.00000

TABLA A.7.- IMPEDANCIA DE CABLES DE COBRE

OHMS POR 1000 PIES

Resistencia, Impedancia y Reactancia

Tres conductores simples

AWG o MCM	En ducto magnético						En ducto no magnético					
	600 V y 5 KV No protegido			5 KV y 15 KV Protegido			600 V y 5KV No protegido			5KV y 15 KV Protegido		
	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z
8	.811	.0754	.814	.811	.0860	.816	.811	.0603	.813	.811	.0688	.814
8	.786	.0754	.790	.786	.0860	.791	.786	.0603	.788	.786	.0688	.789
6	.510	.0685	.515	.510	.0796	.516	.510	.0548	.513	.510	.0636	.514
6	.496	.0685	.501	.496	.0796	.502	.496	.0548	.499	.496	.0636	.500
4	.321	.0632	.327	.321	.0742	.329	.321	.0506	.325	.321	.0594	.326
4	.312	.0632	.318	.312	.0742	.321	.312	.0506	.316	.312	.0594	.318
2	.202	.0585	.210	.202	.0685	.214	.202	.0467	.207	.202	.0547	.209
1	.160	.0570	.170	.160	.0675	.174	.160	.0456	.166	.160	.0540	.169
1/0	.128	.0540	.139	.128	.0635	.143	.127	.0432	.134	.128	.0507	.138
2/0	.102	.0533	.115	.103	.0630	.121	.101	.0426	.110	.102	.0504	.114
3/0	.0805	.0519	.0958	.0814	.0605	.101	.0766	.0415	.0871	.0805	.0484	.0939
4/0	.0640	.0497	.0810	.0650	.0583	.0929	.0633	.0398	.0748	.0640	.0466	.0792
250	.0552	.0495	.0742	.0557	.0570	.0797	.0541	.0396	.0670	.0547	.0456	.0712
300	.0464	.0493	.0677	.0473	.0584	.0736	.0451	.0394	.0599	.0460	.0451	.0644
350	.0378	.0491	.0617	.0386	.0562	.0681	.0368	.0393	.0536	.0375	.0450	.0586
400	.0356	.0490	.0606	.0362	.0548	.0657	.0342	.0392	.0520	.0348	.0438	.0559
450	.0322	.0480	.0578	.0328	.0538	.0630	.0304	.0384	.0490	.0312	.0430	.0531
500	.0294	.0466	.0551	.0300	.0526	.0605	.0276	.0373	.0464	.0284	.0421	.0508
600	.0257	.0463	.0530	.0264	.0516	.0580	.0237	.0371	.0440	.0246	.0412	.0479
750	.0216	.0445	.0495	.0223	.0497	.0545	.0194	.0356	.0405	.0203	.0396	.0445

Tres cables

AWG o MCM	En ducto magnético y Int. Acero						En ducto no magnético y Int. Alum.					
	600 V y 5KV No protegido			5KV y 15Kv Protegido			600 V y 5 KV No protegido			5KV y 15 KV Protegido		
	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z
8	.811	.0577	.813	.811	.0658	.814	.811	.0503	.812	.811	.0574	.813
8	.786	.0577	.788	.786	.0658	.789	.786	.0503	.787	.786	.0574	.788
6	.510	.0525	.513	.510	.0610	.514	.510	.0457	.512	.510	.0531	.513
6	.496	.0525	.499	.496	.0610	.500	.496	.0457	.498	.496	.0531	.499
4	.321	.0483	.325	.321	.0568	.326	.321	.0422	.324	.321	.0495	.325
4	.312	.0483	.316	.312	.0508	.317	.312	.0422	.315	.312	.0495	.316
2	.202	.0448	.207	.202	.0524	.209	.202	.0390	.206	.202	.0457	.207
1	.160	.0436	.166	.160	.0516	.168	.160	.0380	.164	.160	.0450	.166
1/0	.128	.0414	.135	.128	.0486	.137	.127	.0360	.132	.128	.0423	.135
2/0	.102	.0407	.110	.103	.0482	.114	.101	.0355	.107	.102	.0420	.110
3/0	.0805	.0397	.0898	.0814	.0463	.0936	.0766	.0346	.0841	.0805	.0403	.090
4/0	.0640	.0381	.0745	.0650	.0446	.0788	.0633	.0332	.0715	.0640	.0389	.0749
250	.0552	.0379	.0670	.0557	.0436	.0707	.0541	.0330	.0634	.0547	.0380	.0666
300	.0464	.0377	.0598	.0473	.0431	.0640	.0451	.0329	.0559	.0460	.0376	.0596
350	.0378	.0373	.0539	.0386	.0427	.0576	.0368	.0328	.0492	.0375	.0375	.0530
400	.0356	.0371	.0514	.0362	.0415	.0551	.0342	.0327	.0475	.0348	.0366	.0505
450	.0322	.0361	.0484	.0328	.0404	.0520	.0304	.0320	.0441	.0312	.0359	.0476
500	.0294	.0349	.0456	.0300	.0394	.0495	.0276	.0311	.0416	.0284	.0351	.0453
600	.0257	.0343	.0429	.0264	.0382	.0464	.0237	.0309	.0389	.0246	.0344	.0422
750	.0216	.0326	.0391	.0223	.0364	.0427	.0197	.0297	.0355	.0203	.0332	.0389

B) INTERRUPTORES ESPECIALES

Estos interruptores constan de varios componentes comunes a los interruptores en caja moldeada, pero presentan alguna característica que los diferencia en cuanto a su operación y por ello se les denomina especiales.

A continuación se presenta una explicación de las características de cada uno de ellos.

a) Interruptores con unidad de disparo de estado sólido

Estos interruptores utilizan transformadores de corriente y circuitos de estado sólido para medir niveles de corriente y disparar el interruptor a un nivel y tiempo predeterminado. Los interruptores de estado sólido son utilizados especialmente para propósitos de coordinación debido a sus amplias características de ajustes de disparo.

Los interruptores de estado sólido ofrecen mucho más confiabilidad y exactitud al sensar sobre corrientes e iniciar el disparo del interruptor. Los niveles de corriente son medidos y comparados con valores predeterminados. Cuando dichos niveles han sido alcanzados, la unidad de disparo de estado sólido envía una señal a un solenoide interno y éste provoca el disparo del interruptor.

Además de lo anterior los interruptores de estado sólido ofrece versatilidad en el ajuste que se puede hacer a varias porciones de la curva "tiempo-corriente" del interruptor.

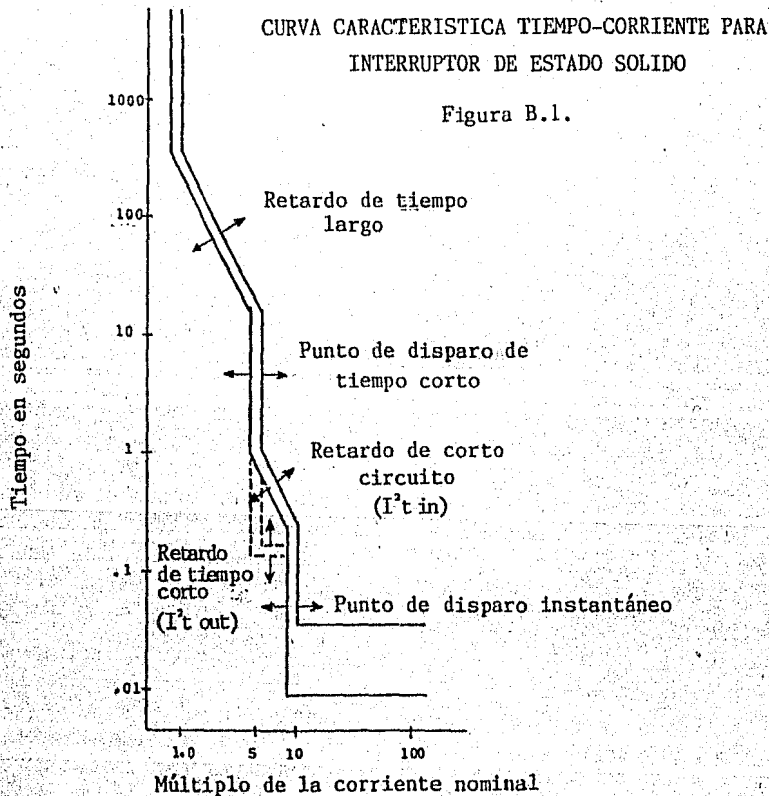
Curvas de Disparo.

Las curvas características de los interruptores de estado sólido son similares a las de los interruptores termomagnéticos excepto que las diferentes acciones de disparo son más claramente definidas y pueden ajustarse.

La acción de disparo para interruptores de estado sólido incluye disparo de tiempo largo, disparo de tiempo corto, disparo instantáneo y disparo por fallas a tierra. Estas acciones de disparo son descritas a continuación.

Función de tiempo largo

Esta característica de ajuste se denota en la parte superior de la curva (Ver figura B.1.)



Esta función simula la acción térmica de los interruptores termomagnéticos. El punto de ajuste en el que el interruptor comienza a responder está determinado aproximadamente a 1.10 -1.15 veces el valor de la corriente nominal.

Función de tiempo corto

Esta función se encuentra justamente abajo de la característica de tiempo largo. Esta función se utiliza para detectar condiciones de corto circuito de nivel bajo y disparar el interruptor después de un tiempo especificado. El punto de disparo se ajusta en el punto en el que el interruptor sensa el menor corto circuito y el atraso en el disparo es ajustable. Dicho atraso puede ajustarse con o sin considerar la función I^2t lo cual contribuye a lograr una mejor coordinación con otros equipos (por ejemplo, fusibles).

Función de disparo instantáneo

La función de disparo instantáneo provee protección contra corrientes de corto circuito. Por medio de esta función se determina el nivel en el que el interruptor disparará a un valor de corriente alto y en forma instantánea. Esta función es equivalente a la porción magnética de un interruptor tipo termomagnético.

Función de disparo por fallas a tierra.

En esta función al igual que en las explicadas anteriormente, se cuenta con ajuste de retardo. Dado que es la parte esencial en los interruptores de fallas a tierra, se explicará esta función en la sección de interruptores de protección contra fallas a tierra.

Interruptores con protección contra fallas a tierra

Una falla a tierra existirá cuando una trayectoria se establezca entre conductor no aterrizado y la tierra.

El cuerpo humano tiene un valor de resistencia entre manos (promedio) de 2800 ohm, con lo cual se obtiene una corriente de 43mA a 120 VCA...

Los efectos que la corriente puede producir en el cuerpo humano se resumen a continuación:

Más de 5mA - Choque eléctrico ligero.

Más de 15mA - Suficiente para causar espasmos.

Más de 30mA - Dificultad para respirar.

50 a 100mA - Posible fibrilación ventricular [?]

100 a 200mA - Fibrilación ventricular [?]

más de 200mA - Severas quemaduras, contracciones musculares, paro cardíaco.

¿ Muy rápidas contracciones no coordinadas de los ventrículos del corazón, resultando en pérdidas de sincronismo y después de unos minutos ocurre la muerte.

Ahora bien, 43mA es sólo el 0.29% de la corriente requerida para abrir un interruptor de 15A, o un fusible y sí puede causar fibrilación ventricular.

Las normas UL definen un dispositivo protector clase A como uno que abrirá a corriente de falla a tierra de 6mA ó más. El tiempo de apertura no debe exceder el valor obtenido por la siguiente ecuación:

$$T = \left(\frac{20}{I}\right)^{1.43}$$

Donde:

T : Tiempo en segundos

I : Corriente de falla a tierra en mA.

Un interruptor con protección contra fallas a tierra es un interruptor el cual consta de un sensor que compara el balance existente entre el conductor vivo y el neutro. Cuando ocurre una diferencia entre las corrientes que pasan por estos conductores, es decir, cuando ocurre una

falla a tierra, el sensor, que es un transformador diferencial, envía una señal a los circuitos de estado sólido y estos a su vez activan el solenoide de disparo por fallas a tierra y abre el interruptor.

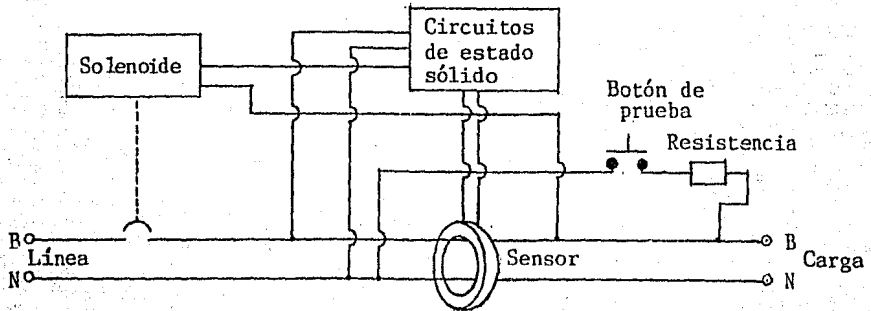


Figura B.2.

Diagrama esquemático de un interruptor de fallas a tierra de un polo.

B = Conductor de fase
N = Neutro

Figura B.3.

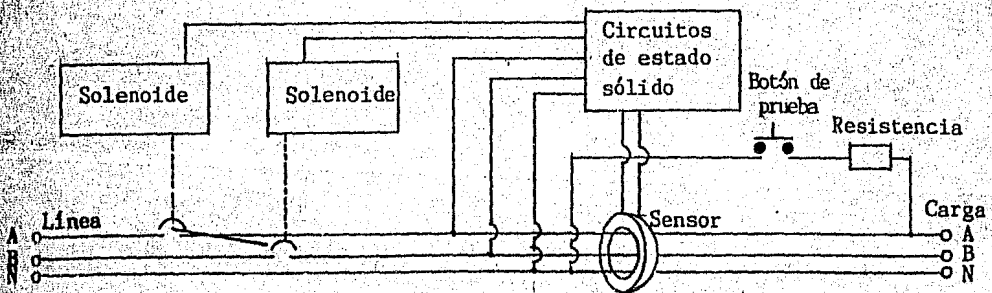
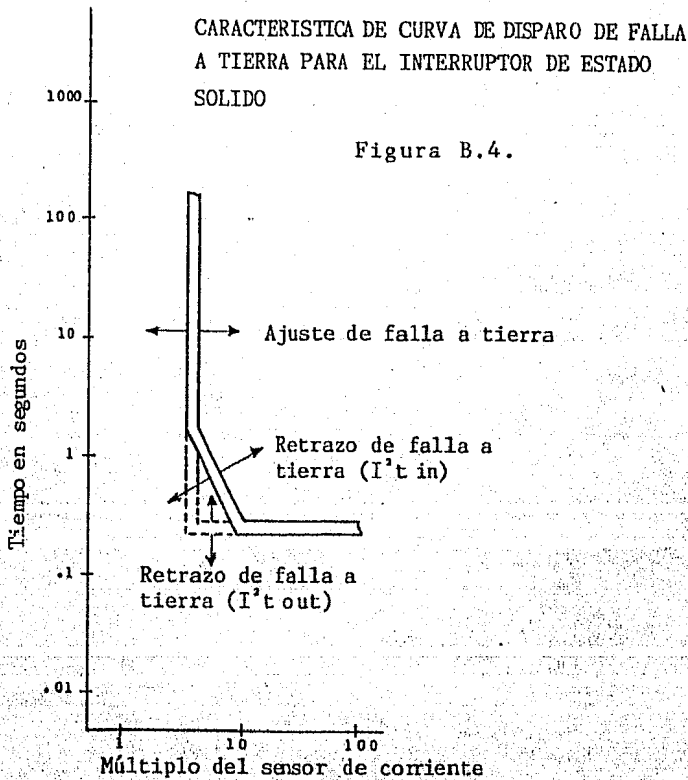


Diagrama esquemático de un interruptor contra fallas a tierra de dos polos.

Curva característica.

Estos interruptores además de los de estado sólido cuentan con ajuste del punto de disparo deseado (por fallas a tierra) así como un cierto retardo de tiempo (si se desea). (Ver figura B.4)



b) Interruptores limitadores de corriente

Conforme los sistemas eléctricos de distribución se incrementan en tamaño y capacidad para poder cubrir la expansión de la demanda de servicio eléctrico y aunado a lo anterior, al uso cada vez más común de transformadores de baja impedancia con el propósito de reducir pérdidas, problemas de regulación y costo. Todo esto, hace que la

corriente de corto circuito disponible de dichos sistemas se incrementa.

Para proteger contra los picos de corriente tan altos que se pueden alcanzar, tradicionalmente se han utilizado los fusibles y recientemente los interruptores limitadores de corriente. Dichos dispositivos son capaces de reducir a niveles tolerables los picos de corrientes de falla y la energía térmica (I^2t). Con esto se evitan fuertes daños a los equipos instalados ya que las fuerzas mecánicas y magnéticas que se presentarían son capaces de destruir el equipo dado, ya que éstas son proporcionales a $(I_p)^2$, mientras que el daño térmico es proporcional a (I^2t) .

Underwriters Laboratories (UL) ha definido a un interruptor limitador de corriente en caja moldeada (párrafo 2.4A de norma UL-489) como:

"Un interruptor que no requiere un elemento fusible y que cuando opera dentro de su rango de corriente, limita la característica I^2t a un valor menor que el I^2t de 1/2 ciclo de una onda de corriente simétrica prospectiva".

El NEC define un dispositivo protector limitador de corriente (ver NEC. SECC. 240-II) como:

"Un dispositivo protector de sobrecorriente que, cuando la corriente a interrumpir se encuentra dentro de sus límites de corriente, reducirá el flujo de corriente en el circuito fallado a una magnitud substancialmente menor que la obtenible en el mismo circuito si el dispositivo fuese reemplazado con un conductor sólido teniendo impedancia comparable".

Consideraciones de diseño y operación.

Para poder cubrir los requisitos de limitación de corriente, el interruptor debe responder extremadamente

rápido (dentro de 1 milisegundo) a corrientes de falla.

Para lograr una alta rapidez de separación de contactos, los brazos donde van los contactos llevan corrientes en direcciones opuestas (Ver Fig. B.5 y B.6.)

La fuerza de repulsión F es proporcional a I^2L/d .

Básicamente los fabricantes de este tipo de interruptores se basan en este concepto variando en la construcción, extinción del arco y método de reducción de corriente (Ver Fig. B.7).

De la Figura B.7, podemos ver lo siguiente: el interruptor superior utiliza un motor que acelera la apertura de los contactos.

El interruptor del centro utiliza dos tipos de contactos. Los contactos principales para operación normal y los de corrientes de falla alta. Durante una alta corriente estos últimos abren rápidamente asistiendo a los contactos principales. Cuando esto ocurre una resistencia es insertada en la trayectoria de la corriente para ayudar a limitar la falla.

El interruptor inferior también utiliza dos tipos de contactos pero con otra configuración y sin resistencia limitadora.

En cuanto al arco que se genera, como ya hemos mencionado en el capítulo I, se utilizan cámaras de arqueo hacia las cuales se forza el arco y en las cuales es seccionado, enfriado y extinguido.

Uno de los requisitos importantes en los interruptores limitadores de corriente es que el mecanismo de disparo opere rápidamente de acuerdo al movimiento de los contactos.

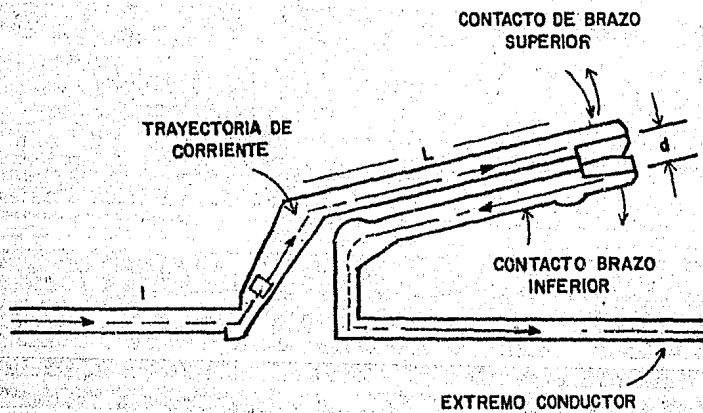


FIGURA B. 5

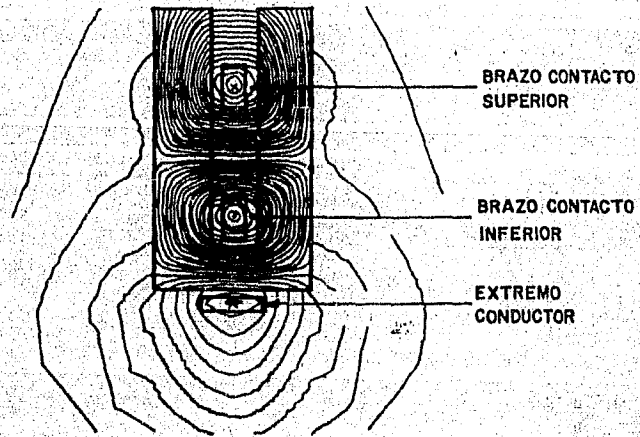
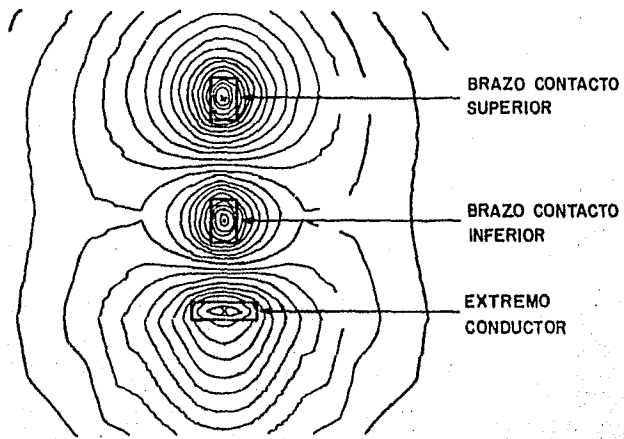


FIGURA B. 6

Comparación de Interruptores Limitadores de Corriente (I.L.C.)
contra fusible.

Los rangos de corriente en que se encuentran disponibles los fusibles son todavía mayores que los rangos para los I.L.C. ; por ejemplo, los fusibles llegan a 6000 amperes nominales, mientras que los I.L.C a 400 amperes máximo. Sin embargo, en los rangos en que se tiene disponibilidad de ambos, los interruptores limitadores de corriente (I.L.C.) presentan las ventajas ya conocidas:

- Costo inicial y de operación más bajo
- Tiempo de vida mayor
- Flexibilidad
- Facilidad de mantenimiento

Los rangos de corriente en que se encuentran disponibles los interruptores limitadores de corriente se indican en la siguiente tabla:

Marco: Rango (Amperes)	Tensión (Nominal (Volts))	Cap. Int. (Amp.RMC.Sim.)		
		A	B	C
100; 15-100	240	200000	200000	200000
	480	150000	200000	200000
	600	N.D.	N.D.	100000
250; 70-250	240	200000	200000	200000
	480	200000	200000	150000
	600	100000	N.D	N.D
400; 200-400	240	200000	200000	N.D
	480	200000	200000	N.D
	600	100000	N.D	N.D

Donde:

A, B Y C corresponden a los tipos de interruptores indicados en la Fig. B. 7.

N.D : Significa "No Disponible".

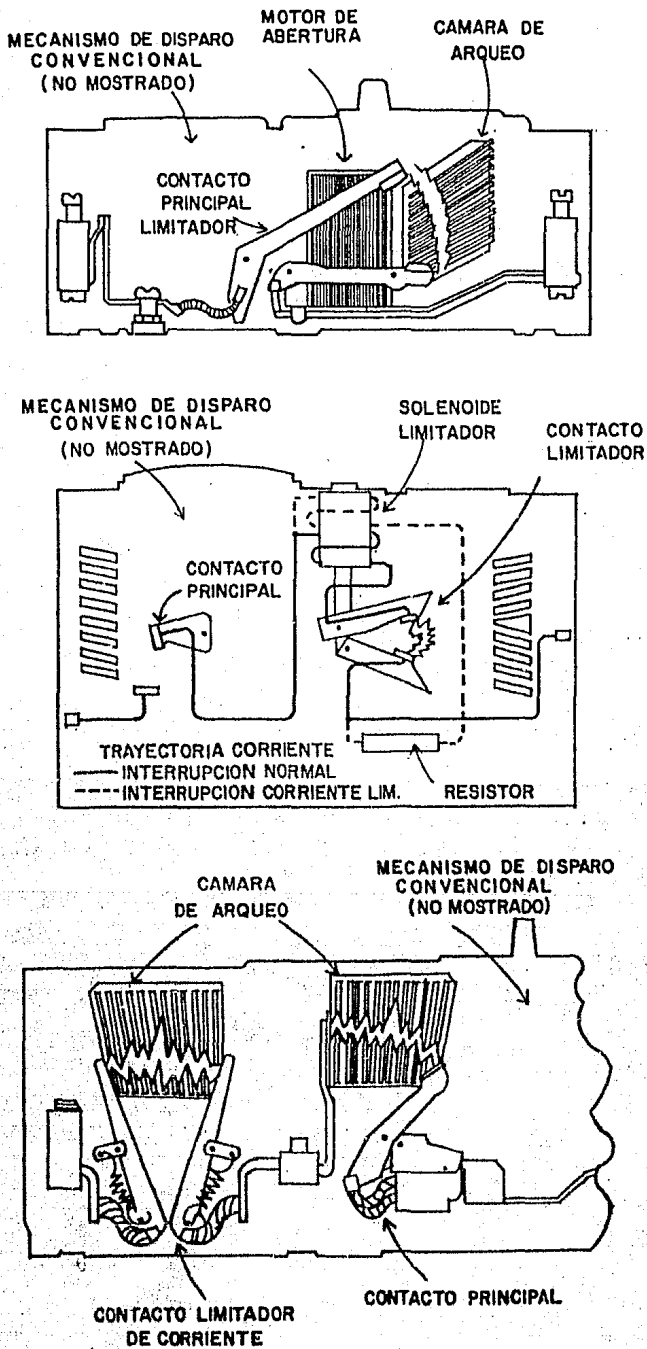


FIGURA B. 7

Curvas características de operación

Básicamente las curvas de operación son semejantes a la de los interruptores termomagnéticos en caja moldeada, excepto por la acción limitadora (Ver Fig. B.8).

En la Figura B.9., se indica la corriente de falla disponible y la corriente reducida por el limitador de corriente.

En la Figura B.10, se indica la disponibilidad de energía I^2t y la energía reducida por el limitador de corriente.

c) Interruptores automáticos

Un interruptor en caja moldeada automático, es un interruptor cuya aplicación es similar a la de los interruptores tipo no automáticos, pero en los automáticos se cuenta con una protección para el interruptor solamente contra corrientes altas de falla que pudieran dañarlo.

Es un dispositivo que no provee protección contra sobrecorriente o corto circuito y puede ser operado manualmente en la misma forma que un interruptor no automático.

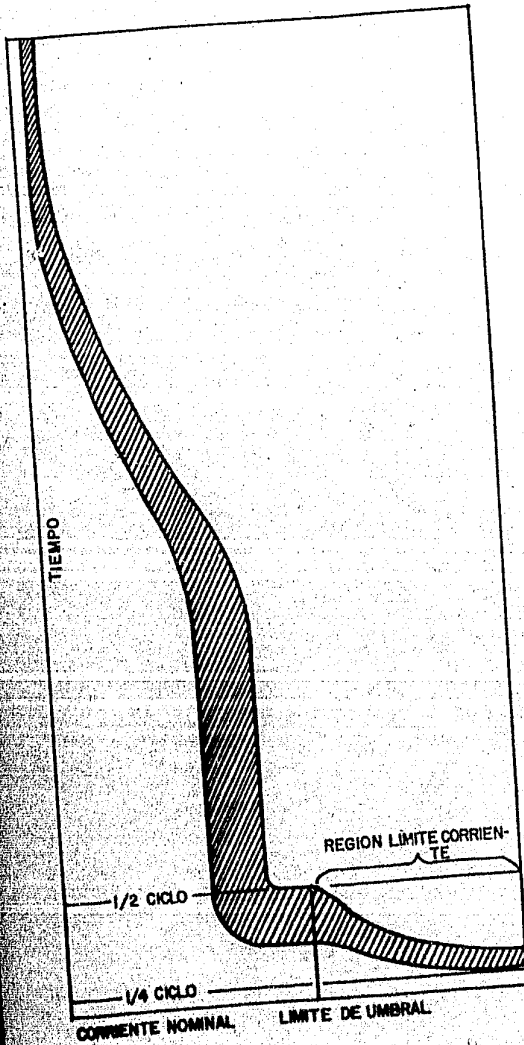


FIG. B. 8

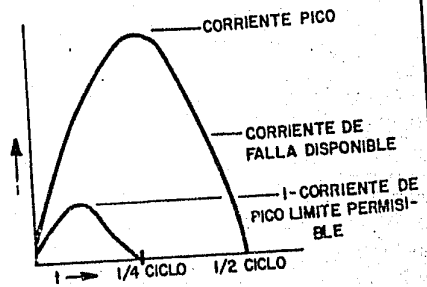


FIG. B. 9

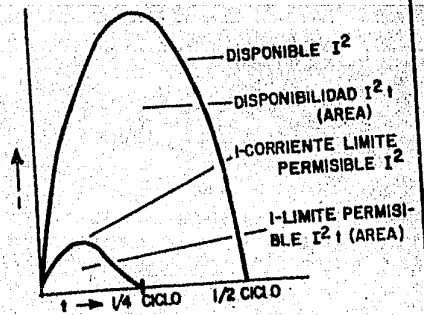


FIG. B. 10

C) DISPOSITIVOS AUXILIARES

a) Bobina de disparo en derivación

La bobina de disparo en derivación es probablemente el dispositivo utilizado con mayor frecuencia. Su función es abrir el interruptor desde una posición remota.

Cuando la bobina de disparo es energizada, un émbolo que es atraído por la fuerza magnética generada, golpea el mecanismo de disparo abriendo el interruptor. El interruptor debe ser restablecido manualmente.

La energización de la bobina puede efectuarse manualmente haciendo uso de un botón de contacto momentáneo, interruptor de contacto sostenido, alarma contra robos o bien en forma automática por medio de un relevador, termostato, portador con sensor de fallas a tierra o dispositivo similar.

El dispositivo de disparo en derivación requiere de una fuente de tensión externa y están disponibles en una amplia gama de tensiones (12, 24, 48, 125 y 250 volts DC) y de 110 a 600 VAC.

Algunos fabricantes recomiendan un transformador de control y un dispositivo de disparo de 110 volts para tensiones mayores de 240 volts en corriente alterna.

Todos los dispositivos están equipados con un microinterruptor normalmente cerrado y conectado en serie con la bobina. Cuando el dispositivo es operado al disparar al interruptor, el microinterruptor es accionado, abriendo el circuito, desenergizando la bobina. Al restablecer el interruptor, el microinterruptor es vuelto a su condición original.

El micro interruptor es necesario ya que la bobina no es diseñada para soportar en forma continua la alimentación. El hecho de contar con el microinterruptor en serie, deja ver que la tensión de disparo puede ser sostenida o momentánea.

Una bobina de disparo en derivación debe ser capaz de operar a tensiones tan bajas como el 55% de la tensión nominal ya que una falla a tierra puede causar severos daños en el sistema de tensión disponible.

b) Bobina de disparo por baja tensión

La función de la bobina de disparo por baja tensión es disparar el interruptor cuando la tensión de alimentación disminuye entre el 30 y el 70% de la nominal.

Este dispositivo es de accionamiento inverso al de la bobina de disparo en derivación.

En el caso del disparo en derivación se opera el interruptor al energizar la bobina, en este caso, la operación ocurre al disminuir la tensión. Naturalmente se debe mantener energizado el dispositivo para el cierre del interruptor.

Es de suponerse que la bobina debe estar diseñada para soportar la tensión de operación en forma permanente. El tener energizada la bobina mantiene atraído un émbolo hacia esta, superando la fuerza de un resorte que tiende a regresarlo hacia su posición de reposo, al desenergizar la bobina el resorte jala al émbolo golpeando el mecanismo de disparo abriendo el interruptor.

Cuando la tensión regresa alrededor del 80-85% de la normal el interruptor puede ser restablecido manualmente. Es muy usual al conectar la bobina de disparo por

baja tensión al lado de la línea del interruptor para censurar la tensión de entrada, logrando así proteger contra baja tensión el sistema conectado al lado de la carga del interruptor. Si se desea, puede ser conectada a cualquier parte del sistema usando una adecuada tensión de la bobina.

c) Micro-interruptor de alarma

El micro-interruptor de alarma es diseñado para operar exclusivamente cuando el interruptor dispara, nunca cuando él es operado manualmente.

En el diseño se utiliza un sólo microinterruptor tipo miniatura, regularmente se provee con un sólo contacto normalmente abierto que al operar automáticamente el interruptor (disparo) se cierra, por ello, sólo se proporcionan dos terminales de conexión externa.

Algunos fabricantes ofrecen como opcional un contacto normalmente cerrado. Aún cuando lo más usual sea el contacto normalmente abierto, por condiciones de operación en derivación o interconexiones de un circuito de control, se requiere ocasionalmente el contacto de tipo normalmente cerrado, de no tener esta opción, se haría necesario el uso de relevadores para invertir la señal de aquí la importancia de esta opción.

d) Microinterruptores auxiliares

Los microinterruptores auxiliares son usados para proporcionar una indicación remota del estado del interruptor. En su fabricación, se utilizan microinterruptores de un polo, doble tiro, un contacto normalmente abierto (contacto "A") y uno normalmente cerrado (contacto "B").

La posición de los contactos es determinada por el estado del interruptor; los contactos "A" cierran y los contactos "B" abren cuando el interruptor es cerrado.

Externamente se proporcionan tres terminales una común y otra para cada contacto.

Es importante que los valores de tensión y corriente nominales de los contactos no sean excedidos.

El máximo número de juegos de contactos que un fabricante puede ofrecer, depende tanto del tamaño del interruptor como del diseño de cada fabricante. Por lo regular interruptores mayores permiten el uso de un mayor número de contactos. En interruptores de hasta 400 amperes nominales se ofrecen uno o dos juegos de contactos y en interruptores mayores un máximo de tres.

Además de la indicación remota del estado abierto o cerrado, los microinterruptores auxiliares pueden utilizarse para la interconexión eléctrica o de cualquier otra función deseada.

Es importante hacer notar que los microinterruptores indican la posición abierto o cerrado, no indican si la apertura fué manual o automática.

CONCLUSIONES

La fabricación en México de interruptores en caja moldeada bajo diseño nacional no existe. En gran parte se debe a la falta de tecnología en el área misma de fabricación, así como en las áreas de insumos, principalmente en fabricación de bimetales (no se fabrican en México) y contactos (solo existen dos compañías).

En la actualidad existen cuatro compañías fabricantes de interruptores en caja moldeada en nuestro país, todos con tecnología extranjera (tres americanas y una europea). En algunos tipos de interruptor un 90% de partes son de importación (para interruptores de 2000 amperes o mayores) para el caso de interruptores menores de 100 amperes, el porcentaje de integración nacional llega hasta el 80-90%.

Interruptores intermedios (150-1800 amperes) tienen porcentajes de integración que varía de 20 a 70%.

El desarrollo de un diseño propio de interruptores lleva consigo un gran respaldo técnico, humano y económico. Requiere de laboratorios de prueba complicados.

Los principales problemas que tendría que afrontar el diseño serían confiabilidad, calidad y economía entre otros.

BIBLIOGRAFIA

FREUNA, Arthur

Overcurrent Protection

Mc Graw - Hill

1981.

FEYNMAN/LEIGHTON/SANDS

The Feynman Lectures on Physics

Mainly Electromagnetism and Matter. Volumen II

Addison-Wesley. 1972.

GOURI SHANKAR, Vembu.

Conversión de Energía Electromecánica

Representaciones y Servicios de Ingeniería

México, 1979.

HALLIDAY David y RESNICK Robert

Física, Parte 2

Compañía Editorial Continental, S.A.

México, 1972.

H.C. KAZANAS, Glenn E. Baker y GREGOR Thomas G.

Procesos Básicos de Manufactura

Mc Graw-Hill

1983.

ENCICLOPEDIA DE LA TECNICA Y DE LA MECANICA

Volumenes VI y VII

Ediciones Nauta

Barcelona España, 1969

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-J-266 (CONNIE 5.3-1)

Interruptores Termomagnéticos en Caja Moldeada

Octubre, 1973.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-J-265 (CONNIE 5.3-2)
Prueba de capacidad interruptiva para interruptores
termomagnéticos
Junio, 1976.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-J-273 (CONNIE 5.3-3)
Interruptores especiales en caja moldeada
Abril, 1977.

NORMA OFICIAL MEXICANA, DGN-R-50-1975
Guía para la redacción, estructuración y presentación
de las normas oficiales mexicanas
1975.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION
Molded Case Circuit Breakers
Standars Publication/No. ABI. Última Edición.

NATIONAL ELECTRICAL CODE
National Fire Protection Association
1984, Edition.

UNDERWRITERS LABORATORIES
Molded-Case Circuit Breakers and Circuit Breaker
Enclosures
UL 489.

BOLETINES

A SIMPLE APPROACH TO SHORT CIRCUIT CALCULATION
Bulletin EDP-1
Mc Graw-Edison Bussman
1968

SELECTIVE COORDINATION OF OVERCURRENT PROTECTIVE
DEVICES FOR LOW VOLTAGE SYSTEMS

Bulletin EDP-2

Mc Graw-Edison Bussman

1969

COMPONENT PROTECTION FOR ELECTRICAL SYSTEMS

Bulletin EDP-3

Mc Graw-Edison Bussman

1971

METAL LAMINATES DIVISION

GTE Products Corporation

Design Catalog

Chace Thermostatic Metals

Gte Clad Metals

THERMOSTAT METALS

Texas Instruments

Designer's Guide.

INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS

SQUARE D

Boletín No. 2

Febrero 1984