

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



---

**INTERRUPCION TERMOMAGNETICA  
ELECTROMAGNETICA Y EN VACIO.**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**P r e s e n t a:**

**AURELIO SOTO CORREA**

**MEXICO, D. F.**

**1984**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CAPITULO I INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS

GENERALIDADES Y DEFINICIONES - - - - -	6
CONTACTOS - - - - -	18
CAMARA DE ARQUEO - - - - -	25
INTERRUPCION TERMICA Y MAGNETICA - - - - -	33
ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO - - - - -	39
EJEMPLO ILUSTRATIVO DE LA SELECCION DE UN INTERRUPTOR - - - - -	43

CAPITULO II INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS

DESCRIPCION DEL INTERRUPTOR - - - - -	48
TEORIA BASICA PARA LA INTERRUPCION ELECTROMAGNETICA - - - - -	51
INTERRUPTORES EN AIRE - - - - -	58
PRINCIPALES COMPONENTES DEL INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO - - - - -	64
DISPARA POR SOBRECORRIENTE - - - - -	66
SELECCION DE INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS - - - - -	74

CAPITULO III INTERRUPCION EN VACIO

EL VACIO COMO MEDIO - - - - -	84
MATERIALES DE LOS CONTACTOS - - - - -	94
CORTE ABRUPTO (CHOPPING) MINIMA DE LA CORRIENTE - - - - -	98
BOTELLAS DE CORTE Y CONEXION DE LOS CONTACTORES EN VACIO - - - - -	100
INFORMACION GENERAL - - - - -	101

VENTAJAS DEL USO DE CONTROLES CON CONTRACTORES EN VACIO - - - - -	112
APERTURA DEL CONTACTOR Y METODO DE CONTROL - - - - -	114
COORDINACION CON OTROS ELEMENTOS - - - - -	115
EJEMPLO ILUSTRATIVO DE APLICACION DEL DESCONECTADOR EN VACIO -- -	120
VENTAJAS DE LA INTERRUPCION DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN EL VA --	131
CIO.	
APLICACION DE LOS INTERRUPTORES EN VACIO - - - - -	132

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

La función de un interruptor consiste en conectar e interrumpir, una o repetidas veces, en condiciones normales y anormales de trabajo, los diferentes elementos de los circuitos eléctricos. Al establecer o deshacer el contacto de los elementos de interrupción, hay una etapa transitoria de arqueo entre los contactos, regida por las descargas eléctricas que ocurren entre ellos. Si la corriente está pasando por un circuito, antes de que éste sea abierto por el interruptor, en el instante de separación se forma un arco entre los contactos y la corriente puede continuar por el circuito hasta que cese la descarga. El estudio de este fenómeno aunque muy complejo, tiene gran importancia para el diseño y las características de operación de los interruptores.

Un interruptor debe realizar tareas muy arduas en diferentes circunstancias. El funcionamiento del interruptor depende, en gran parte de la naturaleza del circuito al que esté conectado.

El tipo de interruptor se decide por el método mediante el cual la corriente residual se desioniza a la corriente cero y por la capacidad de la condición dieléctrica para soportar el voltaje

transitorio de restablecimiento, el cual aparece después de que cesa de pasar la corriente. Para controlar esta desionización - en el menor tiempo posible, se han adoptado varias técnicas, --- tales como la interrupción en aire, la interrupción en aceite, - en vacío, etc.

En el primer capítulo se analizan los interruptores termomagnéticos los cuales ofrecen protección para circuitos de distribución de baja tensión. Son apropiados para usarse como interruptores generales o derivados para protección de la alimentación principal o sus derivaciones y los aparatos conectados a ésta, se recomiendan para ser usados en tableros de pared, tableros autosopor tados, centros de control de motores, combinaciones para arrancadores de motores, unidades de enchufar para electroducto y en gabinetes individuales. Integrados en estos distintos tipos de -- equipo, los interruptores cumplen con la función de proteger circuitos de alumbrado, distribución y otros circuitos de potencia.

En el segundo capítulo, se hace referencia a aquellos interruptores electromagnéticos para bajo voltaje y que están diseñados pa ra controlar y proteger circuitos eléctricos de fuerza que ope-- ren a una tensión máxima de 250 volts c.d. o 600 volts c.a. es-- tos aparatos pueden operar en forma segura, conectando o desco--

nectando la carga de los circuitos de fuerza y actuando automáticamente cuando se presentan condiciones de sobre corriente en cualquiera de las fases del circuito que protegen.

En el capítulo tercero, se analiza a los desconectores en vacío. Desde 1897 se reconoció que la desconexión en vacío era el método ideal para la interrupción de una corriente eléctrica, pero los problemas técnicos limitaron su uso hasta la segunda mitad del Siglo XX. En algunas de las aplicaciones más recientes, los contactores en vacío han sido instalados para sustituir interruptores existentes de operación en aire, cuyo comportamiento ha sido problemático o que ha requerido mantenimiento excesivo. En los últimos años los contactores en vacío se han aplicado a una gran diversidad de circuitos, tales como: el arranque de motores a tensión plena o tensión reducida; protección primaria, actuando como dispositivos desconectores de hornos eléctricos; arrancadores removibles; frenado dinámico; protección en la alimentación de transformadores de aplicaciones y desconectores de capacitores.

Más recientemente, la aplicación de botellas en vacío se ha efectuado en los cambiadores de derivaciones con carga de transformadores de potencia.

El presente estudio, no pretende de ninguna manera abarcar todo lo referente a la desconexión en aire y vacío. Sin embargo, - es un marco de referencia que pretende ser de utilidad a aquellos que desean iniciarse en el tema. Cabe hacer mención que - en la actualidad estos tipos de interrupción son ideales técnica y económicamente, pero también se sabe que existen nuevas -- técnicas en investigación, pero que en la actualidad tienen demasiadas restricciones por lo cual no es costeable su explotación comercial.



INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS

GENERALIDADES Y DEFINICIONES

Este estudio abarca a los interruptores termomagnéticos de uno y más polos, para tensiones nominales hasta de 600 volts de co rriente alterna; 250 volts de corriente directa y con una capa cidad interruptiva nominal superior a 1000 amperes, ensambla-- dos como una unidad integral en una caja de material aislante.

ACCESORIOS.- Son aquellos dispositivos que ejecutan una fun--- ción secundaria como auxiliares de la función principal del in terruptor.

CAPACIDAD INTERRUPTIVA NOMINAL.- Es el valor de la corriente - disponible, a una tensión especificada, que el dispositivo es capaz de interrumpir, bajo determinadas condiciones de prueba.

CARACTERISTICAS DE DISPARO LIBRE.- Es la habilidad de un inte- rruptor, para permitir que prevalezca la operación automática de apertura sobre la operación de cierre.

CONDICIONES DE SERVICIO.- Son aquellas bajo las cuales un inte rruptor va a ser utilizado.

**CONTACTO DE ALARMA.**- Es un contacto auxiliar que opera a un circuito de señalización al dispararse automáticamente el interruptor.

**CONTACTO.**- Son las partes conductoras de un interruptor que --- abren o cierran el circuito.

**CONTACTOS AUXILIARES.**- Son aquellos operados mecánicamente por el interruptor, utilizados para señalización entrelace o cualquier otro propósito. Los contactos auxiliares pueden ser:

**CONTACTOS "a"** Están abiertos cuando los contactos del interruptor están abiertos y cerrados - cuando los contactos del interruptor es tan cerrados.

**CONTACTOS "b"** Están cerrados cuando los contactos del interruptor están abiertos, y abiertos cuando los contactos del interruptor es tán cerrados.

**CORRIENTE NOMINAL.**- Es la máxima corriente directa o alterna -- eficaz a frecuencia nominal, en amperes, que puede circular permanentemente en un dispositivo sin exceder los límites de tempe

ratura especificados.

DESIGNACION DEL MARCO.- Es un término aplicado a un grupo de interruptores, que son físicamente intercambiables entre sí, cuando corresponden a un fabricante está expresado en amperes y coresponde al de máxima capacidad del grupo. El mismo término puede ser aplicado a más de un grupo de interruptores, que pueden ser o no, físicamente intercambiables entre sí, cuando -- procedan de distintos fabricantes.

DISPARO AUTOMATICO.- Es la apertura automática de un interruptor, debido a una sobrecorriente.

DISPARO AUTOMATICO DE TIEMPO INVERSO.- Disparo automático de - tiempo inverso significa el disparo del interruptor por medios automáticos, siendo la acción de disparo retardada por un dispositivo que tenga características de tiempo inverso.

DISPARO INSTANTANEO.- Indica que no hay dilación intencional, en la acción del dispositivo de disparo.

DISPARO MAGNETICO AJUSTABLE.- Es una característica del elemento de disparo por sobrecorriente, cuyo componente electromag-

nético, es ajustable para disparar un interruptor a un valor de corriente, dentro de límites predeterminados.

DISPARO MAGNETICO INSTANTANEO.-Es una característica del elemento de disparo por sobre corriente, cuyo componente electromagnético está calibrado para disparar el interruptor instantáneamente al alcanzar o sobrepasar un valor particular predeterminado de corriente.

DISPOSITIVO DE DISPARO EN DERIVACION.- Es un accesorio que al ser energizado dispara el interruptor. La energía puede ser obtenida del circuito principal o de otro independiente.

DISPOSITIVO DE DISPARO MECANICO.- Es un medio manual para disparar un interruptor.

ELEMENTO DE DISPARO POR SOBRECORRIENTE.- Es un dispositivo que para un determinado polo de un interruptor, detecta una sobrecorriente y transmite la energía necesaria para disparar el interruptor automáticamente. Puede accionar el mecanismo de operación del interruptor directamente o puede formar parte de una unidad de disparo.

ENTRELACE MECANICO.- Es un dispositivo mecánico que acopla normalmente 2 interruptores, de manera que solo uno de ellos puede ser cerrado a la vez.

ESPACIAMIENTO ELECTRICO.- Es la distancia mínima entre partes conductoras de diferente potencial.

FRECUENCIA NOMINAL.- Es aquella para la cual ha sido diseñado el interruptor.

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO.- Es aquel que reúne las siguientes características:

- a). Abre y cierra en aire
- b). Está ensamblado como una unidad integral en una caja de material aislante.
- c). Cierra e interrumpe manualmente un circuito eléctrico.
- d). Interrumpe un circuito eléctrico automáticamente a una pre determinada sobre-corriente, sostenida un tiempo especificado.
- e). Permite restablecer el servicio sin necesidad de remplazar ninguna de sus partes.

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE POLOS MULTIPLES.- Es aquel con -

dos o más polos, para dos o más líneas de conducción separadas. Los polos están aislados electricamente y acoplados mecánicamente para que puedan operar en forma simultánea.

MECANISMO DE OPERACION.- Es el que acciona los contactos móviles del interruptor.

PRUEBA DE CALIBRACION.- Es la que se hace para verificar las características de disparo de un interruptor; aplicando para ello determinados porcentajes de la corriente nominal.

PRUEBA DIELECTRICA.- Es la prueba efectuada para determinar la capacidad de los materiales aislantes y de los espaciamentos, para resistir sobretensiones predeterminadas, sin que se presenten flameos o descargas disruptivas.

SEGURO DE LA MANIJA.- Es aquel que impide la operación de la manija de un interruptor en las posiciones de abierto o cerrado, pudiendo tener medios para colocar un candado, cerradura o dispositivo similar.

TEMPERATURA AMBIENTE.- Es la temperatura del medio exterior (ai-

re, vapores, etc.), que están en contacto directo con el aparato.

Para interruptores en gabinete es la temperatura del medio exterior que está en contacto directo con éste último.

TENSION NOMINAL.- Es la máxima tensión a la que puede usarse el interruptor. En el caso de corriente alterna, se refiere a su valor eficaz.

TENSION NOMINAL DE CONTROL.- Es la tensión aplicada a los dispositivos de cierre o de disparo, para cerrar o abrir el interruptor.

N O T A .- La tensión de control puede variar en más o en menos, con respecto a la tensión nominal de control, dentro de cierta tolerancia especificada. La tensión de control se mide en las terminales de los dispositivos eléctricos cuando estos están en operación.

TIEMPO INVERSO.- Es un término calificativo, que indica que el diseño introduce una dilación en la acción del dispositivo de disparo, que disminuye conforme la magnitud de la corriente au-



menta.

UNIDAD DE DISPARO.- Es aquella con los medios necesarios para accionar el mecanismo de operación abriendo los contactos del interruptor automáticamente. Contiene uno o más elementos de disparo por sobrecorriente y puede incluir otras características, tales como un dispositivo de disparo en derivación.

VALOR DE CALIBRACION.- Es el valor que se establece en el ajuste del mecanismo de disparo de un interruptor para que funcione, de acuerdo con sus características prescritas de operación.

#### C L A S I F I C A C I O N

De acuerdo a sus características más importantes, los interruptores termomagnéticos se clasifican en:

- a). Por su designación de marco
- b). Por su tensión nominal.
- c). Por su capacidad interruptiva. Hay 2 designaciones por capacidad interruptiva: Normal y Alta.
- d). Por su número de polos: unipolar, bipolar y tripolar
- e). Por su forma de montaje: atornillable o enchufable.

## CONDICIONES DE SERVICIO

CONDICIONES NORMALES DE SERVICIO.- Se consideran condiciones -- normales de servicio las siguientes:

- a). Temperatura ambiente de 0 a 40°C. Los interruptores se calibran para una temperatura ambiente nominal especificada. La operación a temperaturas diferentes puede afectar el valor de la corriente nominal de algunos interruptores.
- b). Altitud hasta de 2,400 MSNM. La altitud a la que trabaje el interruptor afecta ligeramente el valor de la calibra--ción, pero para altitudes hasta de 2,400 m., la experien--cia indica que no amerita hacerse ninguna corrección.

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS

TAMAÑOS NOMINALES DE MARCOS.- Los tamaños nominales de marco -- son 30, 50, 70, 100, 150, 225, 400, 500, 600, 800, 1,000, 1,200, 1,600, 2,000 y 2,500 amperes.

FRECUENCIA NOMINAL.- La frecuencia nominal de los interruptores termomagnéticos de corriente alterna debe ser 50/60 HZ.

TENSION NOMINAL.- Las tensiones nominales, a menos que se especifiquen como interruptores de corriente alterna o directa los - interruptores deben operar en ambos sistemas, son las siguientes:

CORRIENTE ALTERNA	CORRIENTE DIRECTA
127 V ..	125 V
240 V	250 V
277 V	
480 V	
600 V	

CAPACIDAD INTERRUPTIVA NOMINAL (EN AMPERES), 60 HERTZ EN CORRIENTE ALTERNA Y DIRECTA

La capacidad interruptiva en amperes RMC o asimétricos para corto circuito debe ser:

SIMETRICOS	ASIMETRICOS	SIMETRICOS	ASIMETRICOS
5,000 *	5,000	42,000	50,000
7,500 *	7,000	50,000	60,000
10,000 *	10,000	65,000	75,000
14,000	15,000	85,000	100,000
18,000	20,000	100,000	120,000
22,000	25,000	125,000	150,000
25,000	30,000	150,000	-
30,000	35,000	200,000	-
35,000	40,000		

\* Aplicable solamente a interruptores que tengan tamaño de marco hasta de 100 amperes, corriente nominal de 100 amperes o menores y tensiones nominales de 240 volts o menos.

El valor nominal de capacidad interruptiva de un interruptor debe darse en amperes simétricos o asimétricos (valor eficaz en - el caso de corriente alterna) a una tensión nominal especificada.

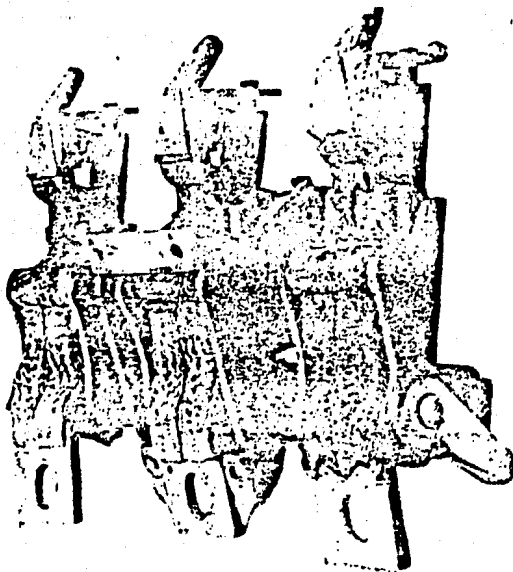
Al terminar una prueba de capacidad interruptiva, el interruptor debe estar en las siguientes condiciones:

- a). Mecánicas: en condiciones mecánicas de operación satisfactorias.
- b). Eléctricas: el interruptor debe ser capaz de soportar la prueba dieléctrica especificada en normas.

## TIEMPOS MAXIMOS DE DISPARO

CORRIENTE NOMINAL.	CON 200% DE LA CORRIENTE NOMINAL	CON 135% DE LA CORRIENTE NOMINAL
AMPERES	TIEMPO EN MINUTOS	TIEMPO EN MINUTOS
0 - 30	2	60
31- 50	4	60
51- 100	6	120
101- 225	8	120
226- 400	10	120
401- 600	12	120

C O N T A C T O S



Como se recordará los contactos son las partes conductoras de un interruptor, que abren o cierran un circuito. De una manera muy general se observa en los bornes de un contacto por el que circula una corriente, una caída de tensión a la cual corresponde una resistencia denominada "Resistencia de Contacto". Esta se escapa totalmente de los métodos usuales del cálculo de resistencia eléctrica de conductores homogéneos. Esto proviene del hecho que los conductores en cuestión no se apoyan uno sobre otro más que a través de un número de puntos de superficie muy pequeña a través de los cuales debe pasar la totalidad de la corriente. Es decir, cuando dos contactos se cierran, únicamente hacen contacto en un área muy pequeña del total de sus superficies. La resistencia causada a través de un área tan pequeña se le conoce con el nombre de resistencia de "Constricción" y es una parte esencial de la resistencia de contacto y con ello de la resistencia total del interruptor. Y varía de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$R = Cr \frac{D}{F}$$

Donde

r = Resistividad

c = Constante

D = Dureza

F = Fuerza para mantener los contactos cerrados

Otra parte esencial de la resistencia de contacto es la resistencia de la película que se origina en las caras de contacto, formada por capas no conductoras o semiconductoras, resultantes de la presencia de óxidos, corrosión, suciedad y aceite.

Convencionalmente la expresión resistencia de contacto se preserve irrespectivamente ya sea meramente una resistencia de constricción pura, o que una resistencia de película contribuya en el área de conducción.

La erosión eléctrica, se debe al efecto térmico del arco eléctrico sobre los contactos. La energía del arco calienta la superficie del contacto hasta el punto de ebullición, causando pérdidas de masa por vaporización en ambos contactos. En arcos pequeños, gran parte del metal se deposita nuevamente en la superficie del contacto, pero con grandes corriente, la energía del arco es mayor y su temperatura más elevada. En interrupciones de corriente directa la mayor parte de la energía se concentra en el ánodo, - perdiendo éste más masa que el cátodo.

Es común ver en los circuitos de corriente directa el uso de dispositivos de soplo magnético para la extinción del arco.



Entre los factores mecánicos, es importante considerar la naturaleza de la fuerza de contacto, la frecuencia de las operaciones, la velocidad del cierre y apertura de los contactos, la manera -- como se lleva a cabo el contacto (frotando, chocando o deslizando), el entrehierro de los contactos cuando estos se encuentran plenamente abiertos y su mecanismo de operación, ya sea hecho -- por bielas, por manibelas, por un electroimán, etc.

En el caso de los interruptores comerciales, el uso de materiales sintetizados como elementos de contacto es muy común. Las -- mezclas de metal tales como plata con grafito, níquel, tungsteno molibdeno, u óxido de cadmio son elaborados con métodos de pulve -- rización metalúrgica.

Las propiedades de tales mezclas dependen de las características de los constituyentes, siendo éstos proporcionales de concentra -- ción. Las propiedades son también influenciadas por su método -- de fabricación.

Las mezclas de Ag-Cdo tienen gran conductividad eléctrica y una alta resistencia a soldarse. Las mezclas de plata-grafito tie -- nen una regular resistencia a la erosión eléctrica y una gran re

sistencia a soldarse, pero su ventaja mas importante se encuentra en los contactos deslizantes, donde las propiedades de lubricación del grafito son de gran ayuda.

Las mezclas de plata-tungsteno y plata-molibdeno tienen gran resistencia a la erosión eléctrica y a soldarse. Se le encuentra en concentraciones que varían de 35% Ag-65 W, 50 Ag-50 W, 60% Mo-40 Ag o 50% Mo-50% Ag.

Por cada polo del interruptor existen (en interruptores cuya corriente nominal es menor a los 400 AMP) un par de contactos que deben abrir o cerrar el circuito. Lo mismo que conducir la corriente demandada por la carga. Para interruptores cuyo marco indique que su corriente nominal puede ser igual o mayor que 400 amperes, incluirán en cada polo uno o mas pares de contactos; - cada uno de estos tiene una distinta concentración de plata según la aplicación de cada contacto. Para estos interruptores - incluyen dos o más pares de contactos principales. Estos distintos de los contactos de arqueo.

Cuando los contactos son diseñados para trabajar bajo la acción de un arco eléctrico (contactos de arqueo) su concentración en plata es reducida 65% Ag-35 W comparados con aquellos que no se

rán sometidos a arcos (de contacto solamente, por lo que el problema de la erosión eléctrica no existe, es por ello que su contenido en plata alcanza en numerosas ocasiones el 100%).

En síntesis; los factores que influyen en el diseño de los contactos son: "eléctricos y mecánicos".

#### ELECTRICOS:

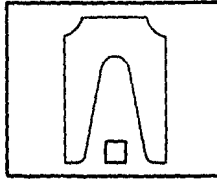
- a). Corriente
  - Magnitud
  - C.D. o C.A.
  - Necesidades de Sobrecarga
  
- b). Voltaje
  - El voltaje de los contactos al abrir o cerrar
  
- c). Tipo de Carga
  - Resistiva
  - Inductiva
  - Capacitiva
  - Mixta
  
- d). Protección del Contacto o supresión del arco
  - Circuito con capacitores
  - Circuito con resistencias
  - Circuito de rectificadores

## MECANICOS:

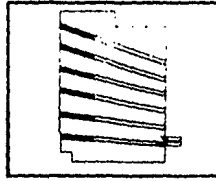
- a). Fuerza de Contacto
  - Fuerza de cierre
  - Fuerza de Apertura
  - Fuerza de Impacto al Cerrar o Abrir
  
- b). Frecuencia de Operaciones
  
- c). Rangos de Cierre y Apertura
  
- d). Acción de Contactos
  - Rebote de Contactos al Cerrar
  - Vibración del Contacto al Abrir
  - Frotamiento o Deslizamiento al Abrir o Cerrar.
  
- e). Factores de Espacio
  - Entrehierro de los Contactos en su Máxima Apertura
  - Otros espacios que afectan el Dieléctrico.

## C A M A R A   D E   A R Q U E O

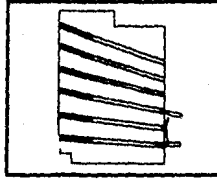
**Principio Delonizador para la Extinción del Arco**  
 La Extinción del arco se efectúa en 1/2 ciclo aproximadamente.



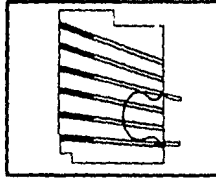
1 Placas paralelas de acero rodeando los contactos móviles y estacionarios.



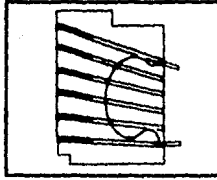
2 Contactos cerrados.



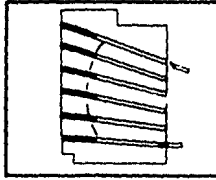
3 Apertura de los contactos y formación del arco.



4 Elongación del arco hacia la cámara de arqueo.



5 El arco antes de romperse.



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



Los extinguidores de arco reducen la erosión de los contactos a la vez que proporcionan alta capacidad interruptiva. El arco se divide y se enfría propiamente en los extinguidores de arco y no en la superficie de los contactos.

En el presente análisis se hace un estudio de la cámara de arco ya que eléctricamente es una parte del interruptor que -- más importancia tiene en el momento de la 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. Resulta 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 li---bres 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  $N_2$  o  $O_2$  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 provocado por un electrón - o un ión libre animado de una gran velocidad debida, por -- ejemplo, a la acción de un campo eléctrico. Este proceso se llama ionización por choque".

Para producir y mantener un arco, es necesario disponer de - una fuente de electrones. Es la emisión electrónica del cá-- todo la que suministra. En un conductor existen siempre - - electrones libres que se desplazan de molécula en molécula. Cuando éstos 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 ro-- deado de una atmósfera de electrones a la cual corresponde - una capa de iones positivos en el interior de la superficie. Resulta de este exceso de potencial del conductor sobre el - medio ambiente y para franquear la doble capa, un electrón - deberá poseer una energía cinética superior al producto de-- su carga por el exceso de potencial. En la práctica, la - -- energía que requieren los electrones para emerger del elec- trodo puede ser obtenida de diferentes maneras.

Una elevación de la temperatura del conductor provocando un incremento de la agitación, aumenta la energía cinética del electrón. Se dice que hay "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, podremos medir la intensidad de esa emisión.

Se puede también extraer electrones de un conductor exponiéndolas a radiaciones luminosas; habrá una emisión fotoiónica.

Finalmente una "Emisión Electrónica" puede ser provocada por bombardeo del conductor. Cuando un electrón o un ión a gran velocidad choca contra una superficie, ésta emite un electrón, esa emisión es secundaria.

Estas diferentes causas de emisión que se pueden encontrar separadamente en ciertos fenómenos de descargas, existen simultáneamente en el caso del arco eléctrico. La existencia de una zona incandescente en el medio es necesaria para el mantenimiento del arco.



El arco tiene el 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.

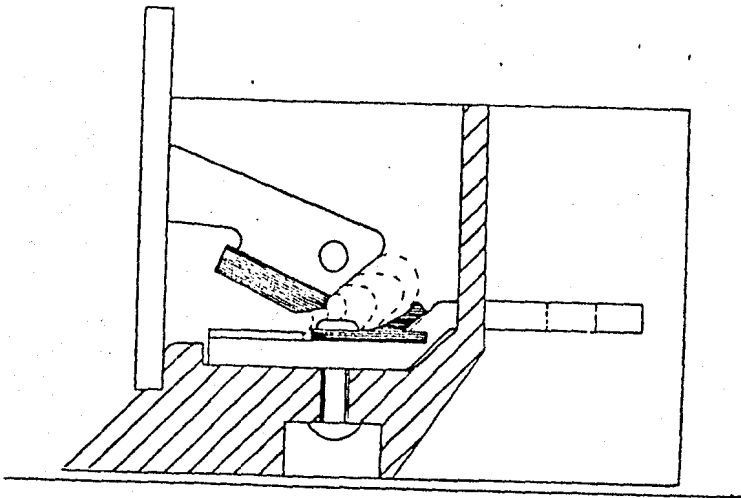
#### ELONGACION DEL ARCO ELECTRICO.

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

La resistencia del arco eléctrico o la resistencia del espacio - en que este se realiza; es una indicación inmediata del grado de ionización del espacio donde el arco eléctrico ocurre y se incrementa según el decremento del grado de ionización de este mismo espacio, al mismo tiempo que el entrehierro de los contactos recupera su fuerza dieléctrica.

## CUERNOS DE ARQUEO

Al momento de la separación de los contactos, se inicia un arco eléctrico cerca del punto más bajo de los mismos. Desde ese momento el arco eléctrico se levanta. El arco en un cuerno de arqueo tiende a subir.



La cámara de extinción consta de un grupo de placas metálicas eléctricamente aisladas. La geometría de las placas hace que el arco induzca un campo magnético en éstas, atrayendo el arco hacia éstas. El arco al alcanzar las placas se divide en pequeños subarcos entre estas últimas. Cada uno de estos subarcos tiene a dos placas adyacentes como electrodos, teniendo cada --

uno de ellos caída de potencial entre cátodo y ánodo. Ambos incrementan el voltaje que el subarco requiere. Durante el intervalo de la corriente de valor cero los subarcos son desioniza--dos, 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 del arco está provista de un cierto número de placas, de tal forma que cada espacio le corresponde cerca de 100 V pico - de reignición.

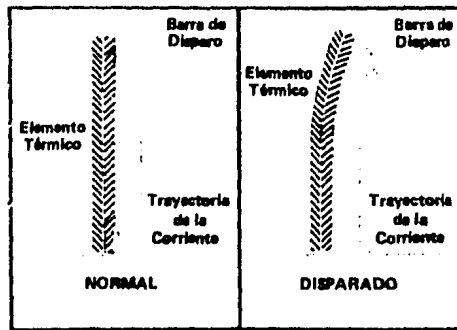
Existe una distinción básica entre la interrupción de un circuito de corriente alterna y un circuito de corriente directa. En el segundo no existen pausas en cero en los valores de corriente, no existen valores cero de corriente; entonces para interrumpir un circuito de corriente directa, la corriente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

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

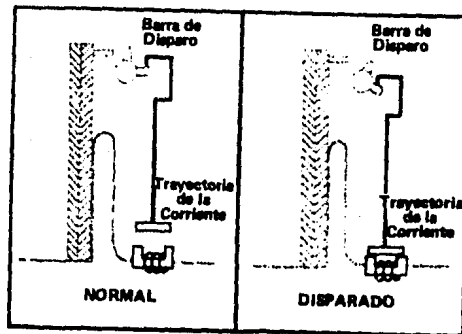
desionización en la corriente cero natural es de vital importancia.

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

INTERRUPCION TERMICA Y MAGNETICA



**DISPARO TERMICO**



**DISPARO MAGNETICO**

Las funciones básicas de un sistema de protección y de la coordinación son:

- Prevenir daños a vidas y propiedades.
- Reducir daños al sistema y sus componentes.
- Limitar el crecimiento y la duración de las interrupciones de servicio cuando una anomalía se presenta en el sistema.

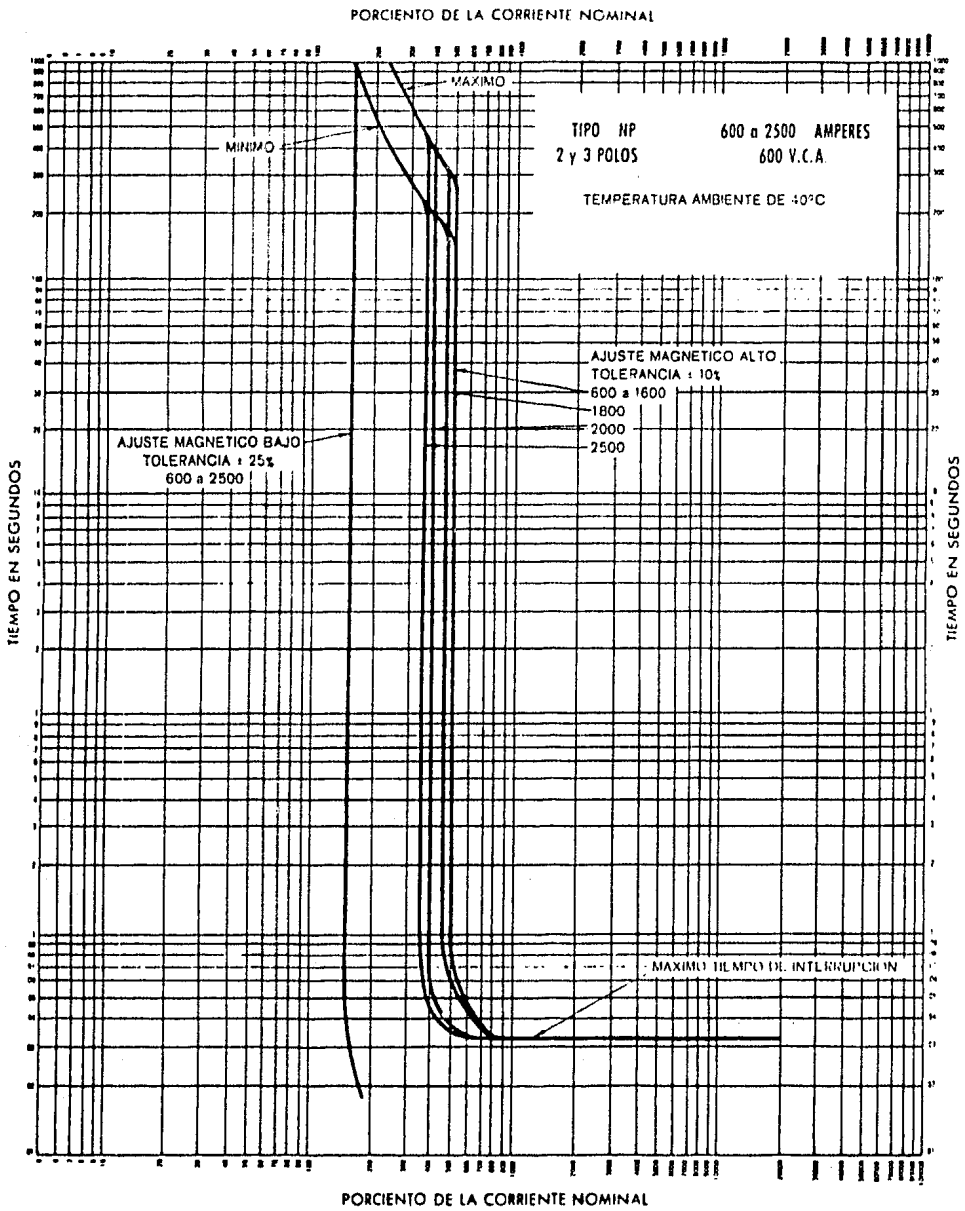
El tiempo de interrupción depende de la corriente que circula a lo largo del interruptor y ese tiempo es dado de acuerdo a la curva que se muestra en la figura siguiente.

# Interruptores Termomagnéticos en caja moldeada

CLASE 1000

## CURVA CARACTERISTICA DE DISPARO

Marco: NP



En general la unidad de disparo de tiempo inverso en los interruptores comerciales es de respuesta bajo un efecto térmico. Es comúnmente utilizado para este propósito un elemento bimetalico por cada fase del interruptor. Este relevador actúa únicamente como protección para corriente de sobrecarga, debido a que en caso de corto circuito su respuesta es demasiado lenta.

El bimetálico está constituido por dos metales de diferente coeficiente de expansión, unidos entre sí, funcionando de la siguiente forma:

Los dos metales de idénticas dimensiones, con distintos coeficientes de expansión son unidos entre sí, al haber un incremento de temperatura aquel de menor coeficiente de expansión experimenta una tensión uniforme. Aquel con mayor coeficiente de expansión, sufre una compresión uniforme. Estas fuerzas producen una flexión en el bimetálico, asumiendo éste la forma de un arco uniforme.

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



La acción del bimetálico está basada principalmente en la habilidad de flexionarse cuando exista un cambio en la temperatura. - Las siguientes condiciones deben tomarse en consideración:

- Flexión debido al cambio en la temperatura
- Fuerza debido al cambio por la temperatura
- Flexión y fuerza.

Las unidades de disparo pueden ser de 2 tipos:

- De calentamiento directo
- De calentamiento indirecto

De calentamiento directo.- Este sistema es el más común de todos. En este caso la corriente es conducida a todo lo largo del bimetálico, debido al efecto Joule se obtiene la flexión.

De calentamiento indirecto.- Se divide en: bimetálico derivación y calentamiento por inducción. En el primero el elemento bimetálico está fijo en uno de sus extremos a un conductor, transmitiendo éste la temperatura al elemento bimetálico, que con el incremento en la temperatura se flexionará. Este tipo de relevadores es usado de corrientes nominales de 70 a 800 amps. El

calentamiento por inducción es aplicado a interruptores de corrientes nominales de 1,000 a 2,500 amperes. Debido a las corrientes a las que habrá de ser sometido el interruptor, los métodos convencionales no puede ser aplicados, es por ello que se pensó en diseñar un bimetálico montado sobre un yugo magnético, - siendo calentado el bimetálico por las corrientes de Eddie, creadas en la sección "superior del yugo".

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

La protección magnética opera instantáneamente en corto circuito pero no altera la acción térmica en pequeñas sobrecargas.

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

Con objeto de llevar a cabo una mejor protección contra las corrientes de corto circuito, la unidad magnética de disparo es ajustable. Esto provee una posición baja y alta, que es un acercamiento y alejamiento respectivamente de la armadura con respecto al yugo magnético.

Este movimiento de la armadura varia el valor de la corriente en que el interruptor disparará instantaneamente. Esto es de gran ayuda en problemas de coordinación.

#### ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

Principios básicos de la protección de corriente:

1. Sobrecargas.- Corrientes originadas principalmente en los motores y varían desde el valor a plena carga hasta el valor de estar bloqueado.
2. Corto circuito.- Son usualmente del orden de 10 veces la corriente nominal o mayores, aunque la excepción puede ser las corrientes de falla a tierra, limitada por la impedancia de arco o de la trayectoria de retorno a tierra.

Los cortos pueden ocurrir como fallas de aislamiento en general y en particular debidas a excesiva humedad, sobrecarga en un -- circuito o daños mecánicos a conductores o equipo eléctrico.

Una vez conocidos los valores de corto circuito en el sistema - eléctrico, la secuencia de la protección es la siguiente:

- seleccionar las capacidades de corriente nominal y de corto circuito de cada uno de los elementos del sistema.
- Aplicar el equipo de protección correspondiente.
- Hacer los ajustes necesarios en los equipos y el estudio de coordinación correspondiente.

Cuando se presente una falla, debe operar la protección más cer cana a la falla, sin dejar de alimentar a otras áreas del siste ma. Esto es selectividad. Si no opera este, debe actuar otro en serie con él, actuando como respaldo. Esto es coordinación.

Todos los elementos de un sistema tienen sus límites de corrien te. La protección no debe sobrepasar estos límites.

Equipo de Protección:

Fusibles.- En tensión media existen dos tipos principalmente

fusibles de potencia limitadores de corriente y fusibles tipo-expulsión. Los primeros están diseñados de tal manera que al fundirse el elemento fusible se introduce una alta resistencia de arco en el circuito, antes de la corriente de pico del primer medio ciclo. Un aspecto importante en el uso de fusibles es prevenir la operación monofásica del sistema, esto puede crear problemas muy serios de desbalanceo en equipos. Por lo anterior un dispositivo debe hacer operar en grupo el seccionador al operar un fusible. En los fusibles tipo expulsión, la interrupción del arco se realiza con los propios gases presurizados dentro del tubo, al salir hacia una de las aberturas abiertas del cartucho. Se usan básicamente en exteriores para proteger contra sobrecorrientes (y algunos diseños contra sobrecargas) alimentadores primarios de transformadores, bancos de capacitores. Usados dentro de gabinetes, hay que tener cuidado con ventilar los gases ionizados, de manera tal que no contaminen las partes vivas internas.

Fusibles en baja tensión no limitadores de corriente, clase H y K. Los primeros pueden ser renovables o no, hasta 600 A. pueden tener doble elemento (inst. y tiempo) o sólo instantáneo.

No tienen capacidad interruptiva pero deben de haber sido probados a 10,000 amperes "Los fusibles renovables pueden ser riesgo

sos.

Los clase K de alta capacidad interruptiva son de igual tamaño que los clase H pero son garantizados a 50,000, 100,000 o ---- 200,000 amperes. Pueden tener elemento de tiempo.

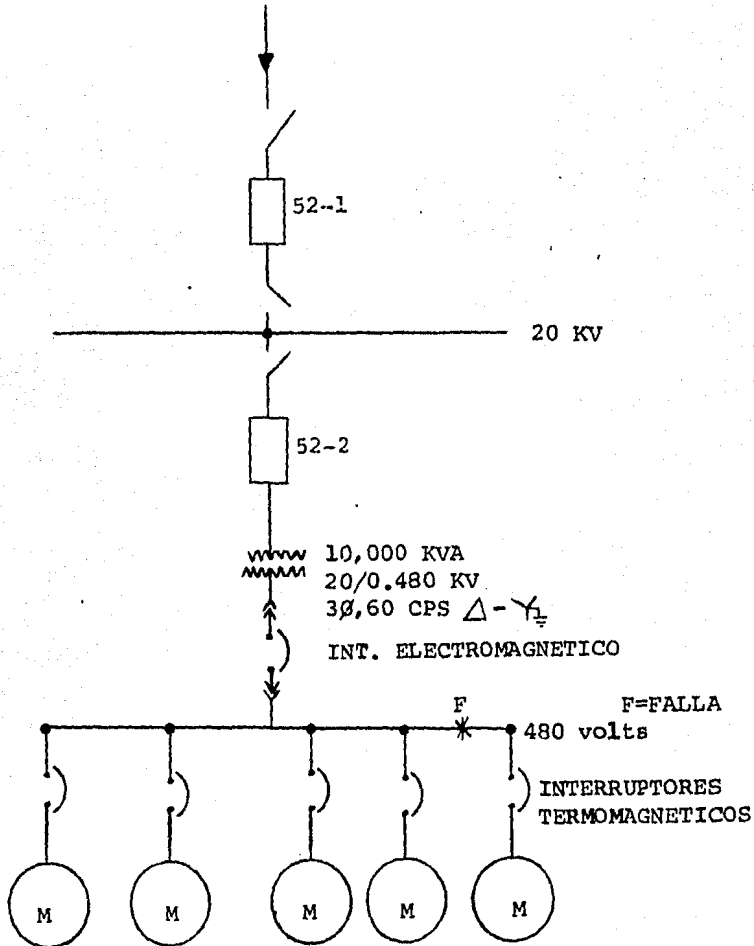
Fusibles limitadores de corriente clase "J" y "L". Su uso más frecuente es cuando la corriente de corto circuito disponible está más allá de la capacidad del equipo. Se coordinan con interruptores.

Clase J. Hasta 600 A. No es intercambiable con clase H, ni clase K, 200,000 amperes de corto circuito. La corriente de pico de fuga y los valores de  $I^2T$  dependen de cada caso.

Clase L de 601 a 6,000 amperes con 200,000 amperes de corto circuito.

EJEMPLO ILUSTRATIVO DE LA SELECCION DE UN INTERRUPTOR.

Consideremos el siguiente diagrama unifilar



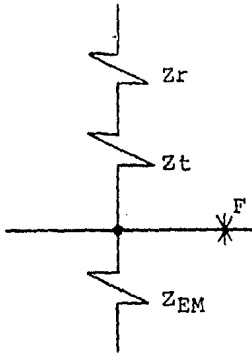
La capacidad interruptiva del interruptor 52-1 fue dada por la compañía suministradora y es 100,000 KVA.

La impedancia del transformador 5.5%

Impedancia equivalente de los motores a 480 V. 25%

Se tomará el método porcentual para solucionar el problema.

## 1.- Diagrama de Impedancias



El porcentaje de reactancia se define como el porcentaje de voltaje nominal que es consumido por la caída de voltaje en la reactancia cuando circula la corriente nominal.

$$\% \text{ Reactancia} = \frac{I_n \times \text{OHMS}}{V_n} \times 100$$

$I_n$  = Corriente Nominal

$V_n$  = Voltaje Nominal

Empleando la misma definición, el porcentaje de resistencia es:

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{I_n \times \text{OHMS}}{V_n} \times 100$$

Si se utiliza una potencia en KVA como base común en lugar de un voltaje base.

$$Z_2 = \frac{\text{KVA Base}}{\text{KVA}_1} \times Z_1$$

$\text{KVA}_1$  = KVA Nominales (Base 1)

Para un sistema Trifásico.

$$I_1 = \frac{100 \times \text{KVA Base 2}}{\sqrt{3} \text{ Zeq KV}}$$

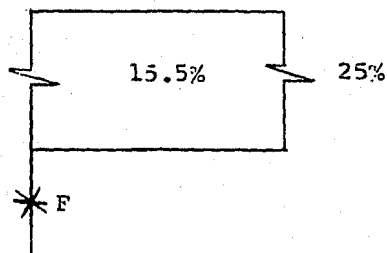
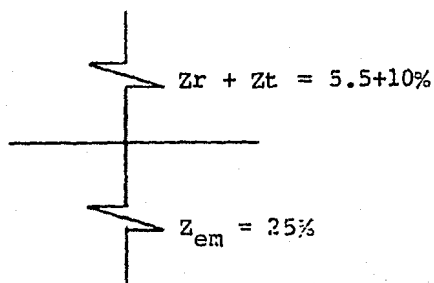


Para calcular la impedancia de la red.

$$Z_r = \frac{\text{KVA Base} \times 100}{\text{KVA Régimen}}$$

Si KVA Base = 10,000

$$Z_r = \frac{10,000 \times 100}{100,000} = 10\%$$



$$Z_{eq. Total} = \frac{15.5 \times 25}{15.5 + 25} = 9.56\%$$

2.- Cálculo de las Corrientes de Corto Circuito como ya sabemos.

$$I_{cc_{sim.}} = \frac{100 \text{ KVA Base}}{Z_{eq. Tot.} \sqrt{3} \text{ KV}} = \frac{100 \times 10,000}{9.56\% \sqrt{3} \times 0.48}$$

$$I_{cc_{sim.}} = 125.81 \text{ KAMP.}$$

Considerando un factor de multiplicación de 1.25 para este sistema industrial, se obtiene la corriente de corto circuito asimétrica.

$$I_{cc \text{ asim.}} = 1.25 \times 125.81$$

$$I_{cc \text{ asim.}} = 157.25 \text{ KAMP.}$$

#### POTENCIA DE CORTO CIRCUITO.

$$P_{cc \text{ Simétrica}} = \frac{100}{\% X} \times \text{KVA Base}$$

$$= \frac{\text{KVA Base}}{X \text{ por Unid.}}$$

$$= \frac{100 \text{ KVA Base}}{\% Z_{eq.}} \quad \text{Para nuestro caso}$$

$$= \frac{100 \times 10,000}{9.56}$$

$$P_{cc \text{ Simétrica}} = 104,602 \text{ MVA}$$

$$P_{cc \text{ Asim.}} = 1.25 \times 104.602 =$$

$$P_{cc \text{ Asim.}} = 130.75 \text{ MVA}$$

En base a estos valores de  $I_{cc}$  y  $P_{cc}$  se seleccionará el interruptor que cumpla con las características tiempo-corriente de nuestras necesidades.

"INTERRUPTORES, ELECTROMAGNETICOS"

CAPITULO IIDESCRIPCION DEL INTERRUPTOR

El interruptor puede dividirse en cuatro unidades funcionales - principales:

Mecanismo de Operación

Sistema de Contactos Principales

Sistema de Interrupción

Sistema de Protección.

El mecanismo de operación está diseñado para recibir energía mecánica (a través de la palanca o del motor); almacenarla (en el resorte) y liberarla a los contactos para cerrar el interruptor --- cuando se requiera. El mecanismo es de disparo libre y al actuar cualquiera de los dispositivos de disparo, ocasionará la apertura inmediata de los contactos del interruptor.

## CORTE LATERAL DEL INTERRUPTOR H-2

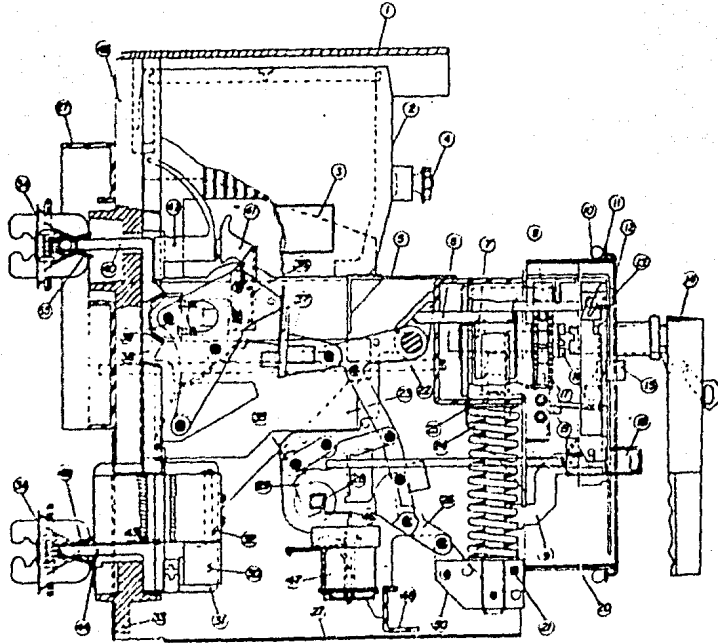


FIGURA 1

- 1 ENSAMBLE DE LA CUBIERTA
- 2 ENSAMBLE DE LA CAMARA DE ARQUEO
- 3 MAMPARA LATERRAL
- 4 BARRERA ROJA Y BARRERA FRONTAL ROJA
- 5 ESILABON ON-OFF
- 7 ENSAMBLE DEL CIGUEÑAL
- 8 TRINQUETE
- 9 ESILABON DEL INDICADOR "CARGADO-DESCARGADO"
- 10 RESORTE DE LA CAJA NEGRA
- 11 COLLARIN FLOTANTE
- 12 CUBIERTA FRONTAL
- 13 INDICADORES (ON-OFF O CARGADO DES CARGADO)
- 14 ENSAMBLE DE LA PALANCA
- 15 BOTON DE CERRAR
- 16 CLUTCH
- 17 RUEDA DENTADA
- 18 ENSAMBLE DE LA MANILLA DE DISPARO
- 19 LEVA DEL CAM LATCH (LEVA DE CIERRE)
- 20 CAJA NEGRA (CAJA DE LA PLACA INDICADORA)
- 21 PERNO DE LA CORREDERA
- 22 TENSORES
- 23 BARRERA ENTRE FAJES
- 24 RESORTE PRINCIPAL
- 25 BUSHING COPA
- 26 FOILIA DEL MECANISMO DE CIERRE
- 27 MARCO DE ACERO
- 28 FLECHA DE DISPARO
- 29 LEVA DE DISPARO
- 30 SOPORTE DEL SENSOR
- 31 BARRERA AISLANTE
- 32 SENSOR DE CORRIENTE
- 33 MOLDE INTERIOR
- 34 ENSAMBLE DE LOS DEDOS (DE ENCUJFARI)
- 35 BALEHO DE AHUJAS
- 36 TRENZA DE COBRE
- 37 ESILABON AISLANTE
- 38 CONTACTO CENTRAL
- 39 CONTACTO MOVIL
- 40 CONTACTO DE LINEA
- 41 CONTACTO DE ARQUEO MOVIL
- 42 CONTACTO DE ARQUEO FIJO
- 43 PUENTE
- 44 TERMINAL DE CAIGA
- 45 MOLDE DEL RESORTE
- 46 ALETA DE DISPARO
- 47 ENSAMBLE DE LA BOBINA DE DISPARO SO
- 48 CANAL INTERIOR
- 49 PEINE DE LOS DEDOS
- 50 MEDIA CANA

Los elementos conductores están montados sobre bases aislantes individuales construidas con baquelita de alto impacto, las -- cuales son soportadas en un marco de acero. Las partes conductoras del sistema de contactos principales son:

El ensamble de dedos para enchufar (Pza. No. 34, Fig. 1) (en las unidades de montaje removibles) o las zapatas (en los -- interruptores de montaje fijo).

Los contactos principales estacionarios (Pzas.No. 38, 40, 43 y 44, Fig. No. 1).

Los contactos principales móviles (Pza. No. 39, Fig. 1).

El sistema de interrupción está formado por las cámaras de ar-- queo y por los contactos de arqueo fijos y móviles (Pzas. No. - 2, 36, 41 y 42, Fig. 1).

El sistema de protección está integrado por un rele transistorizado de sobre corriente, por tres sensores de corriente y por -- la bobina de disparo (Pzas. No. 32 y 47, Fig. 1).

Además de las unidades funcionales básicas, estos aparatos pue-

den ir equipados con algunos accesorios y dispositivos de bloqueo adicionales.

### TEORIA BASICA PARA LA INTERRUPCION ELECTROMAGNETICA

#### 1). Fenómeno físico del arco.

La interrupción de un circuito eléctrico de fuerza de co rriente alterna trae como consecuencia un arco eléctrico y se presenta en el momento en el cual se separan los -- contactos principales, el arqueo es posible aún cuando - la fuerza electromotriz del circuito se encuentre abajo del voltaje mínimo de interrupción, ésto es producto del aumento del voltaje producido por la autoinductancia del circuito.

Este arqueo es común, tanto para los interruptores de co rriente directa, como para los de corriente alterna, en los interruptores de corriente alterna, el arco tiende a extinguirse cuando el valor de la corriente tiende a ce- ro y a recuperarse cuando el voltaje transitorio de recu- peración alcanza un valor alto, cuando la separación en- tre los contactos aumenta, el valor del voltaje de recu- peración no es suficiente para restablecer el arco y el

circuito se interrumpe.

El fenómeno del arco depende de:

- a). La naturaleza y presión del medio.
- b). Los agentes ionizantes y desionizantes.
- c). El voltaje entre los contactos y su variación con el tiempo.
- d). La naturaleza, forma y separación de contactos.
- e). Diseño y naturaleza del interruptor y posición de -- sus contactos.

Un gas es un dieléctrico puro, formado por moléculas eléctricamente neutras. Conduce energía cuando el medio es adecuado para crear electrones libres y iones libres. Como se sabe, el -- gas está formado por moléculas que se mueven a gran velocidad y chocan entre sí. Sin embargo, la energía cinética de estas moléculas depende de la temperatura absoluta.

A temperaturas elevadas algunas moléculas y átomos liberan electrones y el gas caliente llamado plasma se convierte en conductor.

Esta ionización térmica que resulta de las colisiones de un gas



caliente, debe distinguirse de la ionización de impacto, causada por electrones acelerados en un campo eléctrico, la cual puede ocasionar la descomposición dieléctrica aún en un gas frío.

Los electrones son acelerados en el campo del arco y la energía que adquieren la ceden al gas cuando chocan sus átomos o moléculas. Si la velocidad con que los electrones transmiten energía del campo al plasma es pequeña, comparada con la rapidez de intercambio de energía en las partículas, todo el plasma estará muy cerca del equilibrio térmico y las moléculas, iones y electrones, tendrán la misma temperatura.

Las condiciones en el instante de la separación de los contactos conduce a la emisión de electrones, disminuyendo el área y la presión entre los contactos, lo cual incrementa la resistencia eléctrica, produce un calentamiento local, proporcional al cuadrado de la corriente, suficiente para la emisión termoiónica. Aunque esta resistencia sólo puede ser una fracción de - - - OHM. La corriente puede ser muy alta, de cientos o miles de amperes, lo que ocasiona un descenso del voltaje de unos cuantos volts entre la distancia de separación, provocando una emisión de electrones, conocida como emisión de campo, esta emisión varía de acuerdo a la naturaleza, forma y separación de los contactos.

## PRINCIPALES PROPIEDADES DEL ARCO ELECTRICO

Hasta este punto se sabe como se forma el arco. Al aumentar la corriente del arco, la temperatura se eleva y la ionización se vuelve activa, aumentando la conductividad del medio y como consecuencia, disminuye el voltaje del arco. Si la corriente cambia rápidamente en función del tiempo, se dice que las características del arco son dinámicas, pero si el cambio de corriente es pequeño la característica es estática.

Si la corriente que pasa por el arco cambia súbitamente, el voltaje entre los extremos del arco no toma el valor correspondiente; siendo las características estáticas debido a que a cualquier corriente el arco y sus alrededores tienen un contenido de calor, representado por el gas calentado, disociado e ionizado que completa el régimen del arco.

Cuando la corriente desciende desde un valor alto, este cambio se debe a que la temperatura desciende a diversos valores instantáneos de corriente, es decir, cuando la corriente desciende en forma rápida, el cambio puede ser menor que la corriente en descenso. Mas sin embargo, este cambio no se observa en los interruptores de C.A. para corriente alta. En los interruptores con

soplo de aire, la temperatura del núcleo del arco se mantiene a un valor alto hasta que la corriente se hace cero. La distribución del voltaje a lo largo del arco no es lineal, ya que en el cátodo hay una carga positiva y una carga negativa en el ánodo, estas producen un alto voltaje comparado con la corriente del arco y también, fuertes bajos voltajes. Este bajo voltaje es proporcional a la longitud del arco, dependiendo de la propiedad del gas y las condiciones en que se encuentra el gas.

Los gases con valores altos de voltaje a lo largo de la corriente del arco, tiene mejores propiedades para la extinción del arco.

La temperatura de los arcos en electrodos metálicos es alrededor de 2,000 a 3,000°C, mientras que la de los electrodos de carbón se eleva de 3,000 a 4,000°C.

La temperatura del gas en el arco anda alrededor de 500 a 800°C. correspondiendo los valores bajos a las corrientes pequeñas y viceversa.

#### TEORIA DE LA INTERRUPCION DEL ARCO.

En los interruptores puede haber dos formas de interrupción del arco:

- Interrupción de alta resistencia
- Interrupción de baja resistencia o de corriente cero.

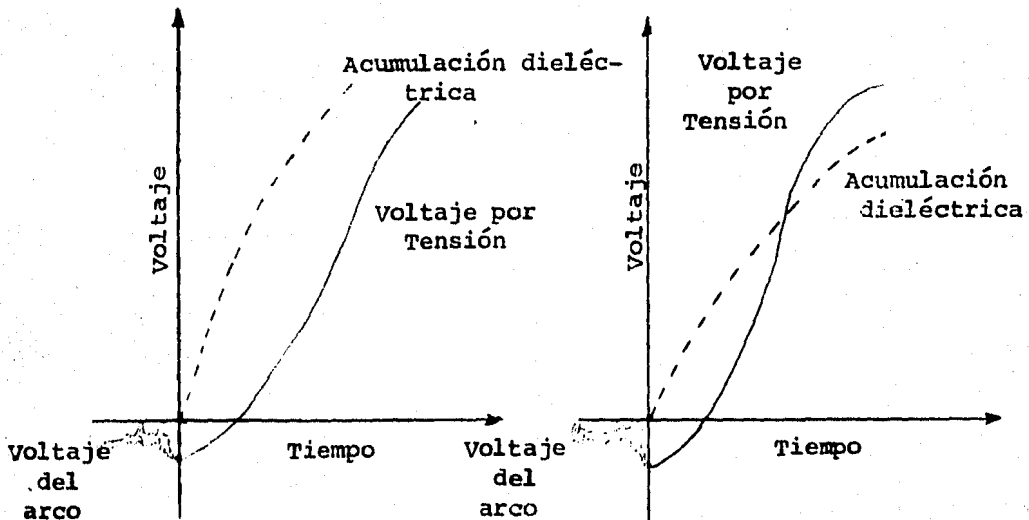
En la primera, el arco se controla aumentando su resistencia con el tiempo, reduciendo su corriente a un valor insuficiente para mantenerlo. La resistencia del arco puede aumentar por alargamiento, enfriamiento y por división del arco. La desventaja de este método es que la energía disipada es alta y, por lo tanto, sólo se usa en interruptores de potencia baja y mediana y en interruptores de corriente directa.

En el segundo método o forma de interrupción de arcos de corriente alterna, se aprovecha la frecuencia natural de la corriente alterna. Una corriente alterna de 60 HZ. pasa por cero 120 veces por segundo, en cada paso por cero, el arco se extingue un momento y se restablece al elevarse la corriente. El fenómeno de extinción del arco se puede aplicar por diferentes teorías:

- 1). Teoría Slepiana
- 2). Teoría del Equilibrio de la Energía

Teoría Slepiana.- El arco en forma de plasma tiene un esfuerzo de voltaje con el cual desvía electrones de las órbitas atómicas,

liberando una gran cantidad de calor. Para detener este proceso es necesario remover el gas ionizado o producir un estado de inestabilidad, haciendo que los electrones se recombinen aún más, de acuerdo a como se están liberando. Por cualesquiera de los dos métodos, la resistencia de la trayectoria del arco aumenta rápidamente hasta que la trayectoria se convierte en un aislador. La posición cero de la corriente ofrece la situación más favorable, es decir, el problema básico consiste en acumular la resistencia dieléctrica entre los contactos del interruptor. Si el valor al que aumenta la resistencia dieléctrica es más elevada que el valor a que se eleva el esfuerzo de voltaje, el arco se extinguirá; de lo contrario, el arco puede interrumpirse por un instante, pero se restablece nuevamente.



La acumulación de la resistencia dieléctrica y del esfuerzo de voltaje entre los contactos de un interruptor, a partir del instante de corriente cero, es mostrado en las dos Fig. anteriores en la primera se presenta un caso en el que el arco se extingue y el segundo es una interrupción la cual vuelve a condiciones - iniciales ya que la resistencia acumulada no es suficiente para interrumpir el arco eléctrico.

Teoría del Equilibrio de Energía.- Se considera que el período después de presentarse un valor de corriente cero está en función de un equilibrio de energía. Aquí está considerado que si la alimentación de energía al arco después que la corriente toma un valor cero sigue aumentando, el arco se restablece, si no sucede así, el arco se interrumpe. La interrupción del arco implica un incremento del voltaje.

#### INTERRUPTORES EN AIRE

La extinción del arco en los interruptores en aire se basa en la desionización natural de los gases por una acción enfriadora. El arco puede alargarse y su resistencia aumenta tanto por elongación como por confinamiento. Por lo tanto, el incremento de la resistencia del arco es tan alta que la corriente de cortocircuito desciende, la corriente y el voltaje entran en fase. - Reduciendo la diferencia de fase entre el voltaje del sistema y

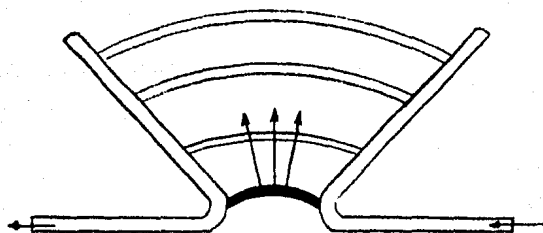
la corriente de corto circuito, se asegura que cuando la corriente del arco tiende a cero, el voltaje de recuperación tiene un valor muy BAJO.

#### Métodos para Incrementar la Resistencia del Arco.

- 1). Alargamiento del arco.- En este caso la resistencia es proporcional a la longitud del arco.
- 2). Enfriamiento del arco.- El voltaje requerido para mantener la ionización, aumenta cuando la temperatura disminuye por lo que, logrando un enfriamiento efectivo se aumenta la resistencia.
- 3). División del Arco.- Se absorbe el voltaje en las dos superficies de contacto, al dividirse el arco en un número de pequeños arcos en serie, esto hace que el voltaje en el arco se reduzca.
- 4). Constricción del arco.- Para esto se necesita un canal muy angosto, para esto se tendrá que aumentar el voltaje para mantenerlo.

## MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN DEL ARCO.

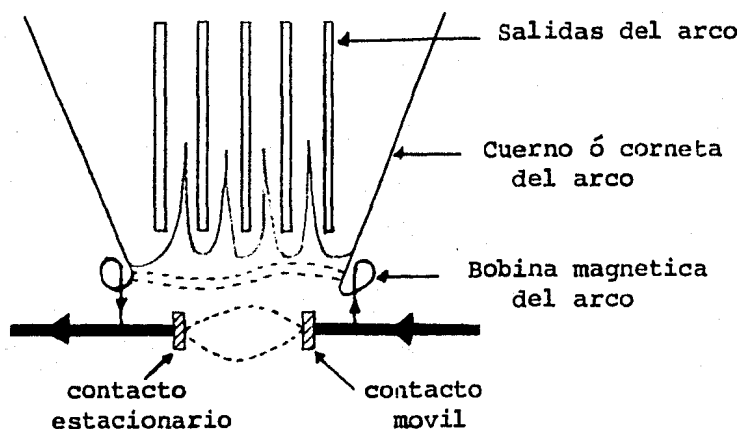
Interrupción simple.- En este método, los contactos tienen forma de cuernos y el arco se establece en principio entre la distancia más corta para después sufrir desplazamiento lateral como se muestra en Fig., debido esto a las corrientes de convección debidas al calentamiento del aire durante el arqueo y a la interacción del campo electromagnético. El arco se extiende desde una punta a la otra, cuando los cuernos se encuentran una distancia que permita esta situación. La lentitud del proceso y la posibilidad de que el arco se extienda a las partes metálicas, limita la aplicación a alrededor de 500 volts y a circuitos de baja potencia.





### INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS O DE SOPLO MAGNETICO.

El sistema de interrupción empleado en los interruptores electromagnéticos, consiste en que el arco es atraído por un campo magnético. Para lograr esto, el arco se sujeta a la acción de un campo magnético por medio de bobinas conectadas en serie con el circuito que se va a interrumpir. A estas bobinas se les llama bobinas de soplo porque ayudan a desintegrar el arco, alejándolo de la distancia más corta entre contacto móvil y fijo.



Cuando el contacto móvil se desplaza se presenta el arco, el cual es empujado o soplado por las bobinas magnéticas de soplo tocando el centro de los cuernos de arqueo, de tal forma que la parte central del arco esté en paralelo con las bobinas de ex--

tinción. El arco es dividido en arcos en serie e impulsado dentro de la cámara de arqueo.

La forma de las ranuras de la cámara de arqueo ocasiona que el arco se alargue mientras asciende. Esto hace que gran parte -- del arco sea expuesto a las paredes relativamente frías de las placas refractarias, creando un fuerte efecto de desionización.

Este principio ha permitido aumentar las capacidades interruptivas de los interruptores a valores mayores.

La cámara de arqueo con sus placas de acero que dividen el arco en pequeños subarcos, enfriándolo en el aire, realizan tres funciones interrelacionadas entre sí:

1. Confina el arco dentro de un espacio restringido.
2. Controla magnéticamente el movimiento del arco, de manera que la extinción se efectúa dentro del dispositivo.
3. Enfría en forma rápida los gases del arco, lo que asegura su extinción por desionización.

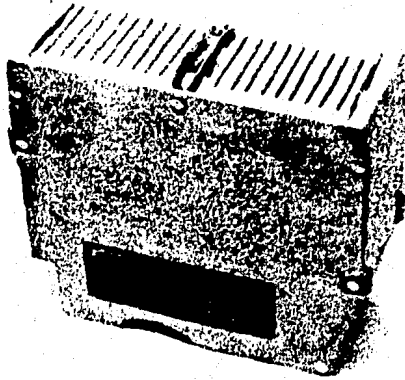
## INTERRUPTOR EN AIRE TIPO DIVISOR DEL ARCO.

En este tipo de interrupción el soplo magnético consiste en insertos de acero alojados en los chutes de arqueo. Estos están dispuestos de manera que el campo magnético inducido en ellos - por corriente del arco, se mueva hacia arriba con mayor rapidez. Las placas de acero dividen el arco en pequeños arcos en serie. La distribución del voltaje a lo largo del arco total no es lineal, va acompañado por caídas del ánodo y el cátodo. Si la suma de las caídas del ánodo y el cátodo de todos los arcos cortos en serie es mayor que el voltaje del circuito que se va a interrumpir, se establecen automáticamente las condiciones para la extinción rápida del arco. El arco se enfría con rapidez y eficacia cuando se pone en contacto con las superficies frescas de las placas de acero.

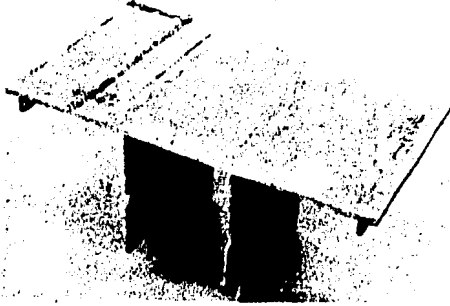
Aplicación.- Los interruptores en aire son adecuados para el control de los elementos auxiliares de las plantas generadoras de energía y para las plantas industriales. Cuando se seleccionan se hace en base a que da seguridad con un mínimo de mantenimiento. Además no requiere ningún equipo auxiliar, tal como compresores, etc., debido a que no contienen aceite, se recomienda en áreas con peligro de incendio o de explosión.

PRINCIPALES COMPONENTES DEL INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO.

Cámaras de arqueo.- Las cámaras de arqueo deben manejarse con mucho cuidado. El interior de las cámaras de arqueo se mancha debido a la interrupción de los arcos eléctricos y necesitan reemplazarse únicamente en caso de encontrarse rotas, deformadas o cuando se encuentren muy salpicadas interiormente con metales fundidos por el arco eléctrico.

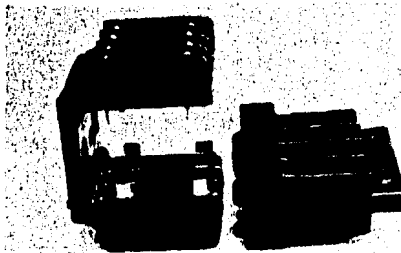


Cubierta de asbesto.- Las cubiertas de asbesto se instalan en los interruptores para evitar que los gases ionizados producidos durante la interrupción, entren en contacto con las paredes metálicas de la celda. Las cubiertas de asbesto sirven también como barreras aislantes para aumentar el aislamiento entre fases.

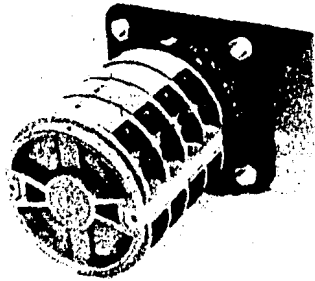


Contactos secundarios para conexión de los circuitos de control. Los contactos secundarios se instalan en las unidades de montaje removible para conectar o desconectar automáticamente los circuitos de control cuando el interruptor se mueve de posición en la cuna. Los contactos secundarios están diseñados en tal forma -- que los circuitos de control puedan quedar, según se desee, conectados o no en la posición de prueba. Las conexiones de los contactos secundarios pueden ser modificadas en el campo para -- operar de acuerdo a las necesidades de cada caso en particular.

Los receptáculos de los contactos auxiliares para la conexión -- del control se instalan en el respaldo de la cuna.



Switch Auxiliar.- El switch auxiliar es de tipo rotatorio para 20 AMP. 600 VOLTS de corriente alterna y está provisto de un mecanismo de cierre y apertura rápida. El switch auxiliar es actuado por un brazo que va acoplado directamente a la flecha de cierre del interruptor.



#### DISPARO POR SOBRECORRIENTE.

Las unidades de disparo por sobrecorriente son totalmente transistóricas, esto es, no contienen ningún contacto o rele mecánico. Los componentes utilizados son semiconductores, los circuitos están diseñados para operar con una carga mayor a la nominal. La unidad de disparo por sobrecorriente actúa sobre el mecanismo de disparo del interruptor cuando la corriente del circuito excede a la corriente de calibración de la unidad. Dependiendo del ajuste elegido, el ajuste puede ser instantáneo o a tiempo diferido.

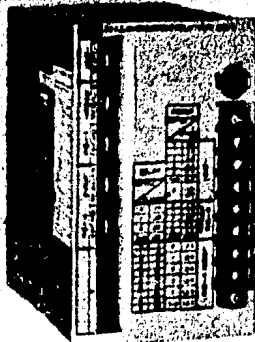
La energía para operar el circuito de disparo se obtiene únicamente del circuito protegido. No se requiere de fuentes de alimentación externas para disparar el interruptor en caso de falla.

El sistema de disparo por sobrecorriente con reles transistorizados está integrado por las siguientes partes:

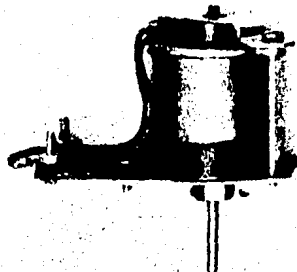
- a). Sensor de Corriente Primaria.



- b). Relé de Sobrecorriente Transistorizado.



c). Bobina de Disparo por Sobrecorriente.



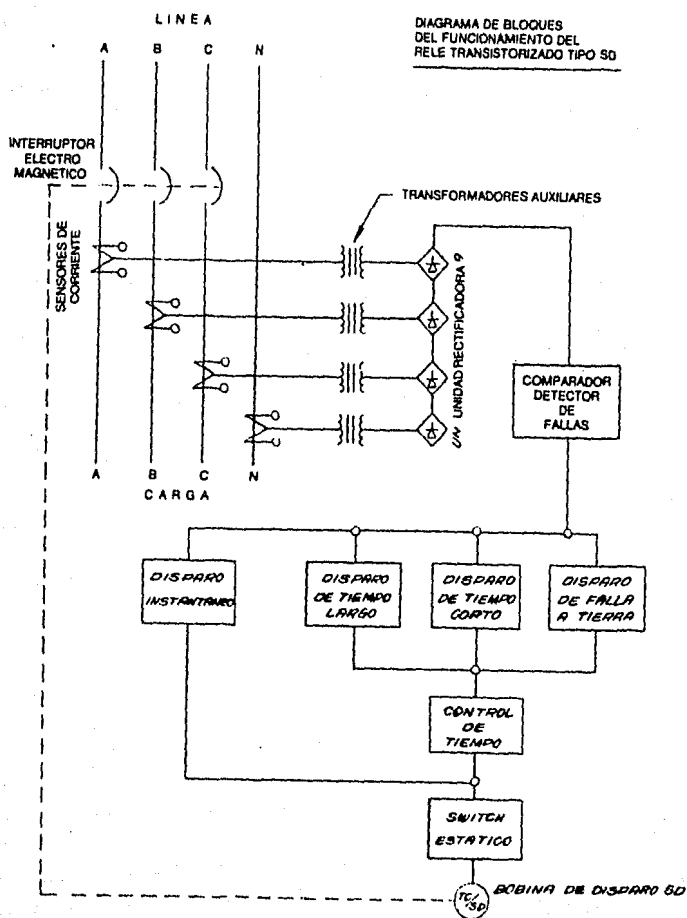
Sensores de corriente.- Los sensores de corriente tienen núcleo devanado y son totalmente encapsulados. Los sensores se montan en cada una de las barras del interruptor correspondientes a cada polo del aparato. En la aplicación de protección por falla a tierra, en circuitos a cuatro hilos, es necesario colocar -- fuera del interruptor un sensor en el neutro.

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

Relevador transistorizado de sobrecorriente.- El rele transistorizado de sobrecorriente recibe señales de los sensores de corriente. El relevador registra señales, detecta sobrecargas o fallas y determina la operación del interruptor de acuerdo con los ajustes a que se encuentre calibrado.

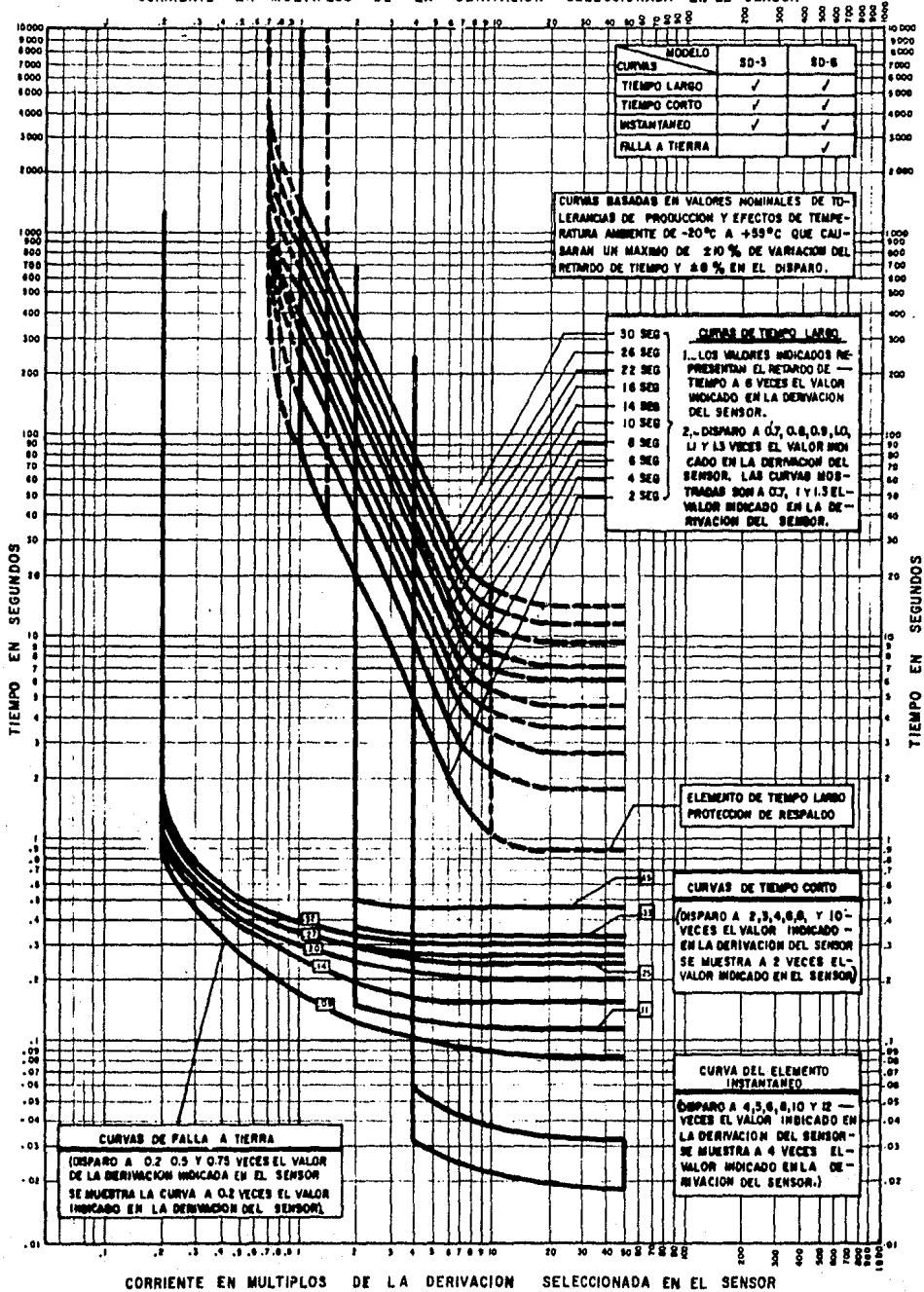


Bobina de Disparo.- Cuando el relevador detecta una condición anormal en el circuito que requiera la apertura del interruptor, el switch estático dá una señal a la bobina de disparo, esta bobina actúa sobre el mecanismo de disparo del interruptor ocasionando la apertura. La bobina se restablece automáticamente después de que el interruptor abre la falla.



**RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE ESTADO SOLIDO TIPO SD**

CORRIENTE EN MULTIPLOS DE LA DERIVACION SELECCIONADA EN EL SENSOR



## RELE DE DISPARO SD

La operación básica del rele SD (marca federal pacific electric) puede entenderse fácilmente sin necesidad de analizar el diagrama esquemático, utilizando para este objetivo un diagrama de bloques como el de la Fig. anterior que contenga todos los elementos del rele.

Cada tipo de rele tiene diferentes elementos, pero la aplicación de cada caso es similar.

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

En los sistemas de 3 fases, 4 hilos con protección contra fallas a tierra, se instala un sensor de corriente fuera del interruptor, idéntico a los del interruptor para que suministre una señal al detectar fallas a tierra. Cada sensor de corriente suministra una señal al rele SD proporcional a la corriente en el circuito primario, esta señal pasa a través de transformadores auxiliares conectados en forma residual para inducir voltajes de C.D. proporcionales a las corrientes de línea y a la de secuencia cero.

El rele produce una sola señal de corriente directa, la cual es proporcional a la magnitud de la máxima corriente detectada en las líneas. Esta señal se compara con una referencia preajustada. Dependiendo de la diferencia en la comparación, el rele actúa en forma diferente. Así por ejemplo, si la señal de los sensores es menor que la referencia escogida, el rele no ejerce ninguna función además de la de mera detección.

Sin embargo cuando la señal excede el valor de referencia ajustado, se activa inmediatamente el circuito de disparo. El circuito de disparo activa a su vez el control de tiempo y después del tiempo ajustado se energiza el switch estático del rele, -- que a su vez excita a la bobina de disparo y abre el interruptor.

El circuito de control de tiempo produce una función  $I^2 T$  constante. Su comportamiento es dinámico de tal forma que durante su operación ajusta el tiempo de disparo. Si la condición de sobrecorriente desaparece y la magnitud de las corrientes en las líneas se reduce al 95% del valor ajustado el rele se restablece automáticamente en 50 milisegundos, evitándose que el interruptor dispare innecesariamente.

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

El rele tiene cuatro elementos de disparo: instantáneo, tiempo corto, tiempo largo y falla a tierra. Cada elemento opera independientemente y activa su control de tiempo correspondiente - (con excepción del instantáneo el cual no tiene ningún retardo intencional). Con este tipo de construcción se aumenta la confiabilidad del rele y se obtiene protección de respaldo de unos elementos con otros.

### SELECCION DE INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS

Un interruptor electromagnético se selecciona considerando los factores y características del sistema de fuerza, también deberá considerarse el lugar que este ocupe en el sistema de distribución. Considerando como influye su operación con respecto a otras protecciones y cual es la capacidad interruptiva requerida en el lugar que ocupa en el sistema eléctrico.

Sistema de Plena Capacidad no Selectivo.- Es aquel en el cual todos los interruptores que lo integran son de capacidad interruptiva mayor al valor de corto circuito máximo en sus terminales de línea. Los interruptores de este tipo de sistema están equipados con unidades de disparo para protección de sobrecorriente a tiempo largo, tiempo corto e instantáneo. Al ocurrir una falla en alguno de los elementos del sistema, disparan todos los interruptores que alimentan dicho elemento si la corriente de falla excede de los ajustes de sus protecciones de sobrecorriente.

Sistema Selectivo.- Se utiliza en instalaciones en las cuales es importante mantener la continuidad del servicio eléctrico.

En un sistema selectivo la falla se desconecta por el interrup-

tor más próximo a ella, de esta forma el sistema de protección dá la máxima continuidad posible siempre y cuando se observen los siguientes requisitos:

- Los interruptores deben ser de una capacidad interruptiva mayor o igual al máximo valor de corto circuito disponible.
- Los disparos de sobrecorriente de los interruptores deben coordinarse con los interruptores derivados, de tal forma, que estos últimos desconecten las fallas de sus circuitos.
- El interruptor general operará al presentarse una falla en el bus o en el caso de que alguno de los interruptores derivados no desconecte la falla de su circuito.
- Para coordinar todo el sistema deben tomarse en cuenta las características de operación de los interruptores electromagnéticos con las de los relevadores o fusibles conectados en el lado de alta tensión.
- Cada interruptor debe estar equipado con relevador para protección de sobrecarga, con disparo selectivo.

Para lograr la operación secuencial de los interruptores, se dispone de los siguientes parámetros: la magnitud de la corriente

te; la corriente mínima de operación y el tiempo de operación. Los ajustes de los relevadores deben ser seleccionados en orden ascendente, partiendo de la carga hacia la fuente de suministro.

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

Todos los factores referentes a las características del sistema de fuerza y condiciones de servicio, bajo los cuales el interruptor debe operar pueden ser determinados por una inspección cuidadosa. Sin embargo, es necesario conocer el valor del corto-circuito. Las características de la carga alimentada y la coordinación con otros interruptores del sistema, determinan el tipo de relevadores que deben usarse para cada interruptor en particular.

En condiciones de servicio en que existe demasiado polvo, goteo



de líquidos, gases corrosivos o explosivos, debe elegirse el gabinete adecuado al medio ambiente y proporcionar mantenimiento periódico para asegurar el funcionamiento confiable del interruptor.

Al seleccionar un interruptor electromagnético deberán considerarse las siguientes características y condiciones de trabajo del sistema:

- Voltaje del Sistema
- Corriente de Plena Carga
- Frecuencia del Sistema
- Altitud Sobre el Nivel del Mar
- Condiciones Difíciles de Operación
- Ciclo Repetitivo
- Capacidad Interruptiva

**Voltaje del Sistema.-** En condiciones normales de operación, - - el voltaje no es constante en ningún punto del sistema de fuerza. Debido a esto, el voltaje nominal del interruptor debe ser mayor o igual al del sistema en el que se va a instalar.

**Corriente de Plena Carga.-** Los interruptores electromagnéticos

en aire, están especificados de acuerdo a la máxima corriente que conducen. Estos aparatos son desconectores y dispositivos de protección, los cuales deben abrir bajo condiciones de sobrecorriente, aislando a otros equipos o alimentadores. Por lo tanto, la corriente de plena carga es la máxima que el interruptor puede conducir sin exceder un límite máximo de temperatura en las partes del aparato. Para interruptores instalados en alojamientos cerrados, la elevación de la temperatura se basa en la temperatura ambiente del alojamiento, la cual no debe exceder de 40°C, si los interruptores tienen contactos de cobre con cobre, o de 55°C si los interruptores tienen contactos de plata o de otra aleación especial.

Debe tenerse cuidado en considerar la elevación de la temperatura de los contactos al aire, debido a la oxidación de las superficies de contacto; ya que de esta manera el interruptor retendrá su capacidad nominal siempre que se le dé mantenimiento adecuado para conservar la elevación de temperatura dentro de los límites especificados.

Específicamente en este tipo de interruptores, la capacidad de conducción está limitada por el tamaño y sección del cobre y por el ajuste del rele de sobrecorriente.

Frecuencia del Sistema.- La frecuencia nominal del interruptor es la frecuencia para la que está diseñado y construido, las aplicaciones en diferentes frecuencias deben recibir consideración especial.

Altitud Sobre el Nivel del Mar.- De acuerdo con las normas "Ansi" la capacidad de corriente y voltaje nominal del interruptor se ven afectados si la altura de instalación excede de 1,000 mts. - sobre el nivel del mar.

<u>ALTURA</u>	<u>FACTOR CORRIENTE</u>	<u>FACTOR VOLTAJE MAXIMO Y NIVEL AISLAMIENTO</u>
1,000 m.s.n.m.	1.00	1.00
1,500 m.s.n.m.	0.99	0.95
3,000 m.s.n.m.	0.96	0.80

Condiciones difíciles de Operación.- Se recomienda que se tomen las medidas necesarias para contrarrestar los efectos que pueden causar deterioro y que se encuentran en las condiciones difíciles de operación, tales como exposición a atmósferas o vapores corrosivos, polvo, polvos abrasivos, vapor de agua, atmósferas saladas, polvo magnético, mezcla de gases explosivos, vibraciones anormales, climas calientes y húmedos, etc.; instalando

el interruptor en celdas apropiadas al medio ambiente..

Ciclo Repetitivo.- Los interruptores electromagnéticos tienen una vida mecánica limitada. El ciclo repetitivo para el que es tán diseñados les permite aplicarse en la protección de la ma-- yor parte de los elementos del sistema, tales como generadores, transformadores, alimentadores, etc.

No son adecuados para el ciclo repetitivo exigido por equipo, -- tal como motores de una línea de proceso o por hornos industriales. El aparato cierra a gran velocidad sus contactos.

Las presiones elevadas de los resortes, así como las cargas de impacto imponen un límite a la vida operacional del interruptor.

Capacidad Interruptiva.- La capacidad interruptiva en amperes - simétricos escogida, debe ser mayor o igual al máximo corto cir- cuito calculado en el punto en que se instalará el interruptor.

Esta capacidad se determina mediante una serie de pruebas que - se efectúan al interruptor, interrumpiendo corrientes de alta - intensidad a la tensión de operación.

La capacidad interruptiva expresada en amperes para el mismo -- aparato varía con respecto al voltaje, siendo mayor entre menor sea este.

Electricamente debe pasar las pruebas de aislamiento y conducir la corriente máxima del marco admitiéndose sobrecalentamientos.

A continuación se muestra una tabla con marcos y capacidades de interrupción de corto circuito para interruptores electromagnéticos marca federal pacific electric.

TIPO	MARCO	CALIBRACIONES	CAP. INTERRUPTIVA AMPERES SIMETRICOS.		
			240 V	480 V	600 V
25H-2	600	50, 70, 100, 150, 250, 400, 600,	30,000	25,000	25,000
50H-2	1600	50, 70, 100, 150, 250, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600,	65,000	50,000	50,000
65H-2	2000	50, 70, 100, 150, 250, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000	65,000	50,000	50,000
75H-2	3000	1200, 2000, 3000	85,000	65,000	65,000
	4000	1600, 3000, 4000	85,000	65,000	65,000
100H-2	4000	1200, 1600, 2000, 3000, 4000,	130,000	85,000	85,000
	6000	4000, 6000	130,000	85,000	85,000

Basándonos en las tablas de aplicación de interruptores de aire en sistemas de baja tensión a diferentes voltajes, podemos seleccionar los interruptores adecuados dependiendo como ya se dijo de su capacidad interruptiva y para ello se siguen los siguientes pasos:

- Se verifica la corriente a plena carga que debe conducir cada interruptor, para determinar su capacidad de conducción.
- Se checa el valor de corto circuito en las terminales de línea de cada interruptor, asegurándose de que la corriente disponible no exceda a la capacidad de corriente mo--mentánea de cada interruptor.

Al calcular la corriente de falla debe considerarse la -  
contribución a la corriente de corto circuito por parte  
de los motores conectados en el sistema. Cuando no se -  
dispone de información, se considera que la carga de los  
motores es igual al 100% la capacidad de los transforma-  
dores.

"INTERRUPCION EN VACIO"

EL VACIO COMO MEDIO

Se considera que Torricelli fué el primer hombre que logró evacuar un espacio al construir su barómetro de mercurio. Las presiones bajas se miden en Torr, siendo 1 Torr = 1 mm. de mercurio. En la actualidad, con las diversas técnicas mejoradas, -- pueden lograrse presiones de  $10^{-7}$  Torr.

El valor de la presión del medio tiene un marcado efecto sobre la estructura molecular del mismo. En los intervalos de alta presión de los sistemas de vacío, la trayectoria libre media es muy pequeña y las moléculas se encuentran en un estado de constante intercolisión; el gas se comporta como un fluido y se dice que está en un estado de flujo viscoso. A medida que se reduce la presión, la trayectoria libre media aumenta. Eventualmente, se alcanza un punto en el que la trayectoria libre media es igual o mayor que las dimensiones de la cámara confinadora. En esta condición, las moléculas chocan contra las paredes de la cámara con mayor frecuencia que entre sí. En esta región se dice que el gas está en un estado de flujo molecular.

La división entre las dos regiones se especifica por medio de un parámetro sin dimensiones, al que se conoce como número de --



Knudsen. Para un tubo cilíndrico, el número de Knudsen se define como la relación de la trayectoria libre media ( $L_m$ ) de las moléculas del gas, al radio ( $R$ ). Cuando  $L_m/R$  es menor que 0.01, el flujo de gas es viscoso; si la relación es mayor que 1, el flujo es molecular. Al intervalo entre estos dos límites se le llama intervalo de transición. En los dispositivos de interrupción al vacío, el medio gaseoso está, generalmente en el rango del flujo molecular.

#### COMPORTAMIENTO DEL ARCO EN EL VACÍO

Cuando la separación de los contactos se efectúa en el aire, -- las moléculas ionizadas son, probablemente, las principales portadoras de las cargas eléctricas y a ellas se debe el bajo valor de interrupción. Con el arco al vacío, los átomos neutrales, los iones y los electrones, deben provenir finalmente, de los electrodos mismos y no del medio en el que se forma el arco. A medida que se separan los contactos portadores de la corriente, la corriente se concentra en unos cuantos sitios altos de las superficies de los contactos. La conducción normal a través del metal cesa cuando se evapora el último puente entre los dos contactos. En el arco que se forma al vacío, la emisión ocurre solamente en las manchas o regiones del cátodo, y no provie

ne de su superficie entera. Por esta razón, el arco en el vacío se le conoce también como arco de cátodo fijo. De hecho, - la emisión de los electrones y de los iones procedentes de los sitios del cátodo, pueden deberse a uno cualquiera o a la combi- nación de los siguientes mecanismos:

- a). Emisión termoiónica
- b). Emisión del Campo
- c). Emisión Termoiónica y de campo (TC)
- d). Emisión Secundaria Resultante del Bombardeo de iones positivos.
- e). Emisión Secundaria por Fotones
- f). Emisión de Restricción.

A corrientes alta, el valor de metal ionizado se extiende en un volumen bastante grande en torno a los electrodos. A corrientes bajas, la cantidad de vapor que se produce se reduce considerablemente. Como el vapor que se desprende de las manchas o regiones del cátodo se expande rápidamente en el vacío, se vuelve --- crecientemente pequeña la probabilidad de mantener una densidad portadora de carga suficiente para retener la conductividad adecuada en la columna y sostener el proceso de emisión. En el --- cero de la corriente, las manchas del cátodo se extinguen a ve---

ces en tiempo del orden de  $10^{-8}$  segs.

#### ESTABILIDAD DEL ARCO EN EL VACIO

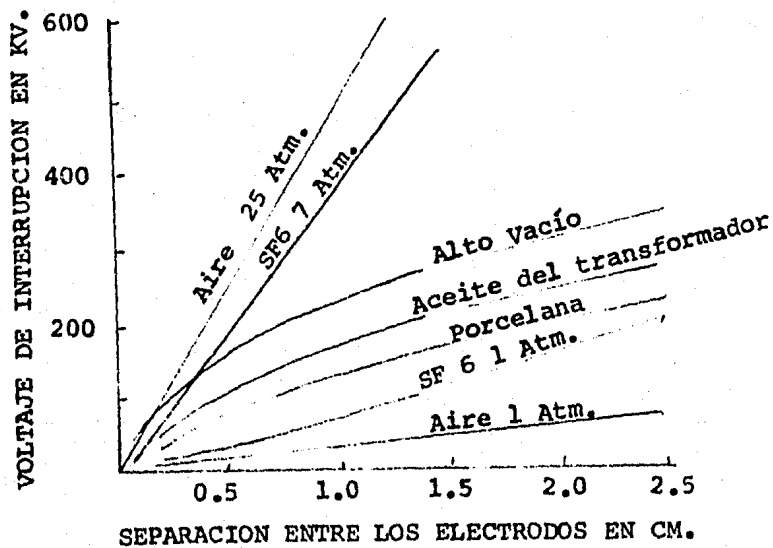
En una red de corriente alterna de 50 HZ, la corriente disminuye hasta cero una vez cada 10 MS. Si se interrumpe el circuito en el pto. de corriente cero, no habrá sobre voltaje alguno. - Por lo tanto, para que la interrupción sea eficaz, es necesario que el arco sea estable durante medio ciclo y, sobre todo, que continúe en existencia con corrientes que se aproximen a cero. Se ha demostrado que la estabilidad del arco depende de 1), el material de los contactos y su presión de vapor, y 2), parámetros del circuito tales como el voltaje, la corriente, la capacitancia y la inductancia. En los circuitos de corriente baja, la mayor parte de la evaporación se realiza en puntos discretos conocidos como manchas o regiones del cátodo; a corrientes más altas, el gas se evapora en las manchas o regiones del cátodo y del ánodo.

Se ha demostrado que la presión del vapor y la estabilidad del arco guardan una relación. Mientras mayor es la presión del vapor a temperaturas bajas, mayor es la duración del arco.

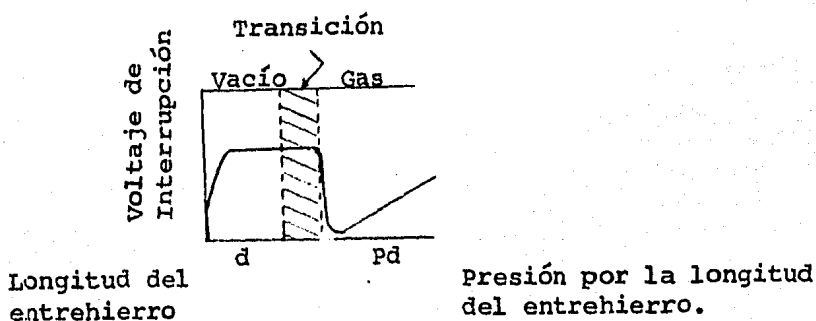
El nivel de corte depende de la presión del vapor y de la conductividad térmica del material del cátodo. Un buen conductor del calor se enfría muy rápidamente, por lo cual baja la temperatura de la superficie del contacto. Esto reduce el régimen de evaporación y el arco se corta por insuficiencia de vapor. Por otra parte, un mal conductor de calor mantiene su temperatura y vaporización durante un tiempo más prolongado con lo que el arco es más estable.

#### INTERRUPCION EN VACIO

Los principales medios aislantes son el aire atmosférico, el aceite, el papel y la porcelana. Estos pueden soportar un voltaje apreciable, pero su capacidad es muy pequeña si se compara con el voltaje que puede soportar un entrehierro al vacío. En la Fig. se ilustra la resistencia a la interrupción de diversos materiales aislantes.



Típicamente, el voltaje que puede soportar un entrehierro disminuye cuando la presión (en realidad densidad) se reduce a un mínimo y luego comienza a elevarse rápidamente cuando hay una reducción ulterior de la densidad del gas ambiente. Esto se ilustra en la Fig. donde se muestra una curva de Paschen idealizada, en la que el voltaje de interrupción está trazado como función de la presión por la longitud del entrehierro.



Cuando la presión se reduce abajo del punto en el que la trayectoria libre media de las moléculas del gas residual es del orden de las dimensiones del tubo, aproximadamente 1 micron en muchos casos prácticos, el voltaje de interrupción deja de depender del gas contenido dentro del recipiente y es influenciado, con más intensidad, por la composición, la condición y la disposición de las superficies de los electrodos y de las paredes del tubo. Este intervalo de transición aparece sombreado en la Fig. anterior. El alto vacío, del orden  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  Torr, y la trayectoria libre media de las moléculas del gas residual, son

los que vuelven muy grandes en comparación con el entrehierro - entre los electrodos.

En un entrehierro de 1 cm., sólo unos cuantos electrones de entre un millón, llegan a chocar con las moléculas y formar iones. A este hecho es al que se debe la muy alta resistencia del vacío a la interrupción. En este intervalo, la resistencia a la interrupción es independiente de la densidad del gas, sólo varía -- con la longitud del entrehierro. Por esto, la resistencia a la interrupción en esta región se traza en función del entrehierro.

La iniciación de la interrupción al vacío, como la del arco formado al vacío, debe depender de los productos que se forman bajo la acción de campos altos, desde los electrodos y las pare--des, que son bombardeados por los electrones emitidos por el campo, más que de el medio en el que están sumergidos los electrodos.

El valor real del voltaje de interrupción para un entrehierro - dado, depende en alto grado del estado en que se encuentren las superficies de los electrodos. Se ha demostrado que los elec--trodos de alto pulimiento, y los perfectamente desgasificados, logran voltajes de interrupción particularmente altos. Los con

tactos se vuelven rugosos después de arquear y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la interrupción. En general la resistencia a la interrupción después del arco, puede mejorarse - aplicando impulsos en sucesión de alto voltaje. Esto no altera en grado apreciable las superficies que se han vuelto rugosas - por el arco pero, probablemente, separa las partículas metálicas de la adherencia deficiente en los electrodos, depositadas en ellos por el soplo de vapor durante el arqueo.

#### CORTE DE LA CORRIENTE

Al disminuir la intensidad de la corriente, el arco tiende a extinguirse a un valor finito de la corriente, cuyo valor depende de la presión del vapor y de las características de la emisión de electrones del material de los contactos a diferencia de lo que sucede en los interruptores en aceite y en los de soplo de aire, en los que el concenso general es que el corte de la corriente se origina por una inestabilidad en la columna del arco. El corte conduce a sobrevoltajes excesivos que ponen en peligro el aislamiento del sistema y que ocasionan el reencendido del arco. Es conveniente disipar energía en el arco mismo y después del corte. Sin embargo, básicamente debe evitarse el corte. El nivel de la corriente al que ocurre el corte se puede redu--

cir escogiendo un material para los contactos que dé el suficiente vapor metal para permitir que la corriente llegue a un valor muy bajo o a cero; pero raras veces se hace esto porque puede afectar otras propiedades, sobre todo a la resistencia dieléctrica.

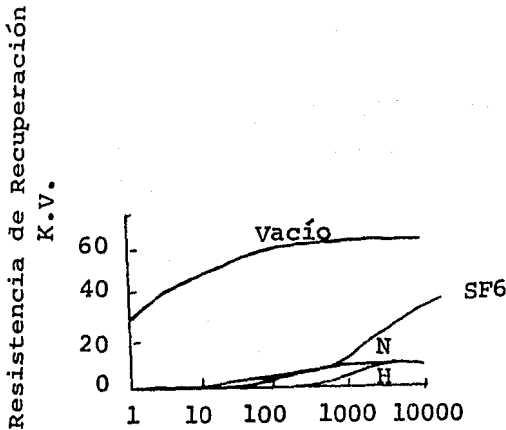
#### CARACTERISTICAS DE RECUPERACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS AL VACIO

Ya se dijo que el alto vacío posee una resistencia dieléctrica extremadamente alta. A la corriente cero, la mancha del cátodo se extingue dentro de  $10^{-8}$  segundos y, después de esto, se establece la resistencia dieléctrica original. Este rápido retorno de la alta resistencia dieléctrica se debe, por supuesto, al hecho de que el metal vaporizado que se encuentra entre los contactos se difunde rápidamente, debido a la ausencia de moléculas del gas. Las moléculas metálicas son sopladas a altas velocidades, hacia las paredes de vidrio donde se condensan.

El régimen de recuperación dieléctrica de un entrehierro al vacío, en los primeros microsegundos que siguen a la interrupción del arco, es aproximadamente de  $1 \text{ KV}/\mu \text{ seg.}$  para una corriente de arco de 100 A, en comparación de  $50 \text{ V}/\mu \text{ seg.}$ , en el caso de



un entrehierro en aire. En la sig. Fig. se muestran los regí--  
menes de recuperación de diferentes gases y del vacío. Los ga--  
ses están a la presión atmosférica y la corriente es de 1,600 A,  
con entrehierro de 6.35 MM.



Tiempo a partir de la corriente cero, en microsegundos.

Por las propiedades mencionadas de los interruptores al vacío, éstos pueden utilizarse sin reservas, para el despeje de fallas en cualquier lugar de un sistema. Se pueden controlar sin dificultad graves fenómenos transitorios de recuperación relacionados con las fallas de línea corta o con fallas próximas a un transformador. También, todas las formas de interrupción con carga pueden efectuarse con la misma facilidad.

### MATERIALES DE LOS CONTACTOS

Las consideraciones anteriores revelan que la parte más importante de un desconectador en vacío es la selección del material de los contactos. Las propiedades del material de los contactos - convenientes para un interruptor al vacío, pueden aumentarse como sigue:

- a). Buena conductividad eléctrica para pasar corrientes de -- carga normales sin sobrecalentamiento.
- b). Buena conductividad térmica para disipar rápidamente el gran calor generado durante el arqueo.
- c). Alta dureza al frío y al calor para prevenir el desgaste durante la operación normal y las operaciones de cierre.
- d). Alta densidad.
- e). Presión de vapor lo suficientemente baja para reducir -- en la cámara la cantidad de vapor de metal inseparable.
- f). El calor de vaporización debe ser tal que i) la energía

del arco genere el suficiente vapor de metal para sostener el arqueo hasta el primer cero natural de la corriente.

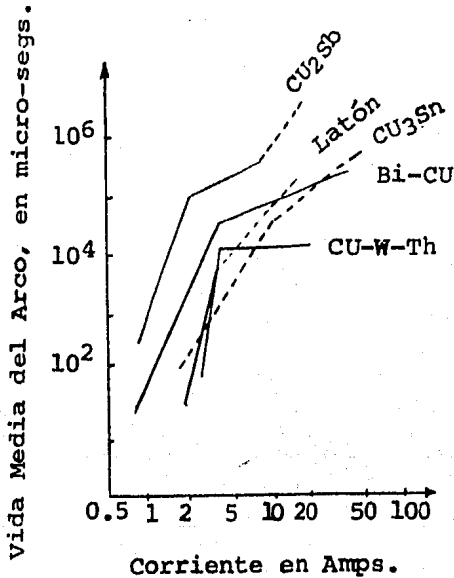
- g). Alta función termoiónica para permitir la temprana extinción del arco.
- h). Resistencia de los contactos a la soldadura.
- i). Alto punto de ebullición para reducir la erosión del arco. Alto punto de ebullición significa alto calor de vaporización y mayor disipación de la energía del arco en la evaporización del material de la mancha del cátodo.
- j). De preferencia, el material no debe tener una película superficial. Si no puede evitarse la película, ésta debe ser conductora.
- k). Bajo contenido de gas.
- l). Suficiente resistencia mecánica para retener la integridad estructural bajo gradientes de alta tensión en la superficie.

El requisito más importante del material de los contactos es -- que ceda la baja-presión de vapor en el momento del arqueo. -- Aunque los metales de baja presión de vapor son mejores desde los puntos de vista de la extinción del arco, los metales de alta presión de vapor y baja conductividad parecen ser más convenientes para limitar las consecuencias desfavorables, debidas -- al corte de la corriente.

En vista de la multiplicidad de requisitos que debe llenar un material para los contactos de interrupción en el vacío, y en vista de la amplia variedad de materiales de que se dispone ahora, puede decirse que no hay un sólo metal en el que se combinen todas las propiedades anotadas antes. Los metales con buenas conductividades térmicas y eléctricas tienen, invariablemente, bajos puntos de fusión y de ebullición, alta presión de vapor, alta temperatura, bajas funciones de electrones y son considerablemente blandos.

Los materiales que tienen altos puntos de fusión y de ebullición, tienen bajas presiones de vapor a altas temperaturas, pero son malos conductores. Por lo tanto, para combinar estas propiedades contradictorias en un sólo material, tienen que hacerse compuestos de dos o más metales, o de un metal y uno no metal. Al

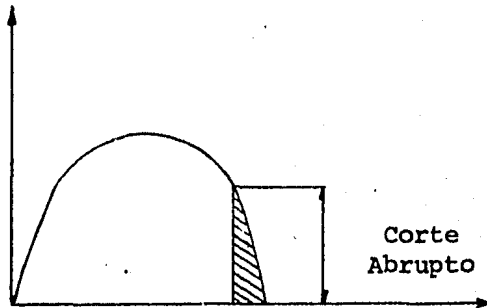
gunos ejemplos son las aleaciones de cobre-bismuto, cobre-plomo y plata-telurio. En la figura se muestran las características de algunos de estos metales.



Los metales que se producen comercialmente tienen trazas de otros elementos y gases atrapados en su seno. Una vez que se sella un disyuntor no es posible extraer los productos gaseosos liberados durante las operaciones repetidas, por que esto destruiría el va cío del interruptor. Además, la presencia de dichos gases afecta características como el voltaje de interrupción y el régimen de recuperación. Se han desarrollado métodos para desgasificar los metales que se usan comunmente en las industrias eléctrica y electrónica. Los metales libres de gases se preparan por fusión al vacío en hornos de inducción y, subsecuentemente, su óxidos - se eliminan con anhídrido sulfuroso.

CORTE ABRUPTO (CHOPPING) MINIMO DE LA CORRIENTE.

El corte abrupto de la corriente es la depresión forzada de la corriente al valor cero, antes de que este ocurra naturalmente.



REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE CORTE ABRUPTO DE LA CORRIENTE.

El colapso instantáneo del flujo, debido a esta depresión, genera un voltaje transitorio cuyo pico está en proporción directa a la corriente cortada y a la impedancia transitoria de la carga. El corte abrupto de la corriente no es una cantidad constante, sino que varía en cada interrupción, siendo afectada por los siguientes factores:

- Cantidad de corriente que se interrumpe.
- El punto en particular de los contactos donde se verifica

el arqueo.

- Temperatura en la superficie de los mismos.

El corte abrupto de la corriente es entonces expresado en una curva de probabilidad. Ambas, la probabilidad y la magnitud de la corriente cortada abruptamente, se determinan con el diseño y materiales usados en los contactores en vacío. Los contactos principales tienen un anillo de metal auxiliar incrustado en su superficie. Los vapores de este metal tienen una alta presión y baja conductividad térmica. El anillo auxiliar proporciona la estabilidad del arco que es necesario hasta una fracción de amperes para eliminar virtualmente el corte abrupto.

Los contactores en vacío, están provistos de desconectores que han sido aprobados para determinar sus niveles probables de corte abrupto. La probabilidad es que en un 90% de la corriente cortada abruptamente, sea de 0.4 AMPS. con un 1% de probabilidad de 0.55 AMP. y con una probabilidad teórica de 0.75 AMP. entre cada 1,000 operaciones. Aún con un nivel de corte abrupto de 0.75 AMPS. aplicado a la impedancia transitoria de motores pequeños de alta tensión, entre 50 y 250 H.P., no producirán picos de tensión que puedan exceder los picos normales a tierra a 60 ciclos por más de 5 a 10%. Consecuentemente, el efecto y el

corte abrupto de la corriente en los contactores pueden ser ignorados.

#### BOTELLAS DE CORTE Y CONEXION DE LOS CONTACTORES EN VACIO.

Las botellas en vacío tienen contactos de operación a tope, diseñados para una vida larga, con el mínimo de erosión y resistencia máxima a ocasionar soldaduras, buena capacidad de sobrecarga y corte abrupto de corriente (Current Chopping). Los contactos rodeados por un escudo contra salpicaduras, están confinados y sellados con un envolvente tubular de vidrio, el cual preserva el aislamiento del recinto del desconectador. Para permitir el movimiento entre los contactos fijos y móviles, se incluye un fuelle de acero inoxidable que también sella el recinto y lo separa de la atmósfera. Durante la manufactura se hace un alto vacío ( $10^{-6}$  Torr), mediante un proceso especial para extraer el aire, los gases de los contactos y partes internas.

Debido a que los contactos principales del desconectador operan en vacío y se encuentran totalmente cerrados, quedan libres de la influencia de condiciones ambientales adversas.

Cada desconectador o botella, está provista de una chumacera au



tolubricada, en la cual se desliza el conector de cobre. Esta chumacera tiene por objeto asegurar que la superficie de los -- contactos permanezca paralela y que el desgaste sea uniforme. La vida del desconectador se considera terminada cuando el espacio entre los contactos abiertos aumenta más de 0.10 a 0.12 de pulgada. La prueba de vida efectuada a plena capacidad, muestra que el desgaste de los contactos se encuentra entre 0.007A 0.014 de pulgada por cada millón de operaciones. El contactor puede efectuar con plena confiabilidad un millón de operaciones a capacidad plena.

#### INFORMACION GENERAL.

El contactor tiene 3 polos. Cada polo consiste en un par de -- contactos, los cuales operan al vacío.

Cuando el contactor se utiliza para arrancar motores, el arco -- que se forma en los contactos principales se extingue en el ins tante en el que la onda de la corriente de línea pasa por cero.

No se requieren cámaras de arqueo en este tipo de contactores. Por su construcción modular el contactor al vacío es de fácil -- instalación.

## DESCRIPCION.

El estudio aquí tratado será referente al producto que suministra la Cía. Federal Pacific Electric.

El contactor está compuesto por dos moldes principales y una base de lámina de acero para el montaje.

El molde principal del marco proporciona aislamiento adecuado entre fases y partes metálicas conectadas a tierra y circuitos de control. Las terminales principales inferiores se fijan en este molde y están colocadas en la parte posterior en los contactores.

El molde en el que está soportada la armadura tiene forma de "T". La placa de la armadura va montada en la parte central del molde. Esta placa es atraída horizontalmente hacia los polos del electroimán al energizar las bobinas. Este movimiento se transmite por medio de un mecanismo de balancín para cerrar los switches en vacío. Los switches en vacío son actuados por medio de vástagos móviles, montados en baleros universales que se encuentran colocados en el extremo posterior del molde, en el miembro horizontal del molde en forma de "T".

Los switches en vacío se mantienen abiertos por medio de dos resortes de compresión, colocados en forma horizontal, los cuales mantienen separada la placa de la armadura de los polos del electroimán, empujando en contra de la base del birlo, colocado entre las bobinas de cada switch al vacío, consiste en una cápsula de vidrio que contiene un par de contactos eléctricos rodeados por una pantalla metálica. El vástago del contacto móvil está guiado por una chumacera autolubricada y está acoplado a la cápsula de vidrio al vacío por medio de un fuelle flexible.

Los switches en vacío están sujetos firmemente al molde por su extremo inferior y se encuentran colocados sobre un asiento esférico que permite posicionar el switch en el contactor en forma tal que los rodillos guía que se atornillan en el vástago -- del contacto móvil pasen libremente (con un pequeño juego radial) a través de los baleros universales del molde de la armadura.

Los vástagos de los contactos móviles de cada switch en vacío se conectan a las terminales en la barra del molde superior por medio de una trenza flexible de cobre. La conexión entre los contactos fijos y las terminales inferiores se hace por medio de tiras delgadas de cobre semiflexibles.

Se proporcionan dos switches auxiliares del tipo TQM con cada - contactor, conteniendo un total de 5 contactos 3 NC y 2 NA disponibles para bloqueos eléctricos, encendido de lámparas piloto, etc. Estos contactos auxiliares pueden ser modificados en el - campo para obtener cualquier combinación de contactos NA o NC. Cuando se requiere mayor número de contactos, la fábrica puede suministrar un switch de 11 contactos.

Los switches auxiliares son operados por medio de un mecanismo de eslabones ajustables, accionados por la placa de la armadura.

Pueden instalarse bloqueos mecánicos entre dos o tres contacto-- res montados en forma vertical o una al lado de otro.

Es posible instalar en los contactores un seguro que se libera- mecánica o eléctricamente. Este seguro incluye un contacto nor- malmente abierto y otro normalmente cerrado.

El sistema de electroimanes del contactor utiliza dos bobinas - conectadas en serie y una resistencia para reducir la corriente de operación. La resistencia va montada en el contactor y es - intercalada en el circuito de las bobinas por medio de un contac- to del switch auxiliar (normalmente cerrado de apertura retardada).

La capacidad de las bobinas está sobrada, lo cual permite la --  
operación correcta del contactor en su celda hasta temperaturas  
del orden de los 60°C.

Los contactores estándar con bobinas y resistencias economiza-  
doras para 250 V. CD o con bobinas y resistencias para 110 V. -  
CA rectificadas.

#### INSTALACION

El contactor debe montarse siempre de tal forma que los ejes de  
los switches en vacío queden en posición vertical y los contac-  
tos móviles hacia arriba.

Los agujeros para fijar el contactor están localizados en las -  
orillas de los dobleces de la charola de acero colocada en la -  
parte anterior del contactor.

Al instalar el contactor y conectar los cables, se asegura mante-  
ner una distancia mínima de 51 mm. (2 pulgadas) en sistemas de -  
3.3 KV y 64 mm. (2 1/2 pulgadas) para sistemas de 6.6 KV, entre  
las partes energizadas con alta tensión y tierra o entre estas -

partes y cables de control.

En ocasiones llega a ser necesario aumentar estas distancias, - sobre todo en el caso en el que el contactor y el equipo conectado a éste deba pasar una prueba de impulso para cumplir con - un nivel de aislamiento en particular.

#### PARA PONER EL CONTACTOR EN SERVICIO.

Antes de poner el contactor en servicio se recomienda efectuar una prueba dieléctrica rutinaria mediante un probador de aislamiento para alta tensión. Antes de salir de la fábrica o antes de formar parte de un tablero en particular deberán ser sometidos a una serie de pruebas dieléctricas (flameo en seco) aplicando una tensión de 11.5 KV. eficaces durante 1 minuto (fuerza). La tensión en esta prueba es aplicada alternativamente entre todas las partes conductoras del circuito de fuerza y tierra, entre fases y entre los contactos de cada uno de los switch al vacío.

#### PRUEBA DIELECTRICA CON ALTA TENSION.

Con el paso del tiempo los materiales contenidos en el interior

de los switches al vacío se desgaseifican provocando que las propiedades dieléctricas del switch se deterioren. Esto sucede -- particularmente cuando el switch no ha sido operado en un período de 3 o 4 meses. La capacidad dieléctrica del switch al vacío en posición de abierto, se recupera rápidamente cuando se le aplica alta tensión entre los contactos, como sucede durante una prueba dieléctrica o bien cuando el switch abre con carga -- debido a la acción limpiadora que el arco provoca durante la interrupción de la corriente. Consecuentemente, es posible iniciar la prueba de aislamiento y que se presenten síntomas de fallas parciales intermitentes. Algunos momentos después de haber iniciado la prueba, la tensión aplicada restaurará las propiedades dieléctricas del switch al vacío, pudiéndose completar normalmente la prueba de un minuto.

#### OPERACION.

El contactor opera cuando se energizan las bobinas de cierre -- lo cual provoca que la armadura sea atraída hacia los polos del electroimán y que comprima los resortes de apertura. Con esta acción se liberan las fuerzas de tensión en los contactos móviles de los switches al vacío. Cuando esto sucede, la presión atmosférica actúa sobre los extremos móviles de los switches cerrando los contactos y dándoles la presión de contacto requerida.

Para abrir los switches del contactor es necesario desenergizar las bobinas con lo cual los resortes empujan a la armadura regresándola hasta la posición de abierto.

Durante la acción de cierre del contactor, la armadura se des--plaza una distancia superior a la necesaria para cerrar los --switches al vacío, lo cual origina un pequeño espacio de aproxi--madamente 1.0 mm. (0.04 pulgadas) entre la parte inferior de la tuerca en el extremo del rodillo guía y la roldana de plástico colocada junto a ésta. Al desenergizar las bobinas, la armadura es liberada y adquiere suficiente energía cinética para abrir los switches y despegar los contactos que se hubieran soldado --ligeramente, debido a condiciones severas de operación.

#### MANTENIMIENTO.

Este contactor es muy confiable y requiere normalmente de poco mantenimiento. Sin embargo, cuando se le dé mantenimiento rutinario será necesario seguir los siguientes pasos:

##### Switches al Vacío.

El desgaste en los contactos de los switches en vacío debe revisarse cada 500,000 operaciones, usando un escantillón que se --proporciona junto con el contactor. El procedimiento a seguir



es el siguiente:

Después de desconectar el contactor de la fuente de alta tensión, inserte los escantillones de prueba en las cavidades localizadas en la orilla del molde superior entre las barreras que separan las fases, de tal forma que la parte metálica de los escantillones marcada como desgaste "wear" queden colocadas directamente abajo de los extremos de los tornillos de ajuste sellados, que se localizan en la orilla posterior del molde de la armadura.

Cierre el entrehierro en la armadura del contactor manual o eléctricamente, de tal forma que los escantillones queden atrapados.

Cheque con una lámpara de baterías que los contactos en cada switch al vacío hayan cerrado. En el caso de que uno o más de los switches no cierren es necesario reemplazar los 3 switches.

Un switch se ha desgastado cuando el espesor de cada contacto se ha reducido en 0.25 mm. (0.01 in) o sea un total de 0.5 mm. (0.02 in) en los dos contactos del switch.

Este desgaste es comparable con el que sufren los contactos en

un contactor que abra y cierre durante 1 (un) millón de veces -- el circuito de un motor de inducción cuya corriente de plena -- carga sea de 400 AMPS. y corriente de arranque sea 6 veces la -- corriente nominal. A menor corriente de operación aumenta la -- vida de los contactos, por ejemplo a 300 AMPS., la vida útil -- del contactor puede aumentarse hasta 2 (dos) millones de opera-- ciones. No olvidar retirar los escantillones después de checar el desgaste.

#### Cambio de Bobinas.

Si se requiere cambiar el voltaje de control de corriente directa o si alguna bobina llegara a fallar, puede hacerse el cambio de las bobinas sacando los polos completos sin desajustar el contactor. Con objeto de no cambiar de posición los polos en el -- contactor, sólo debe sacarse un polo a la vez, cambiarle la bobina e instalarlo nuevamente.

#### SWITCHES AUXILIARES

Los switches auxiliares se ensamblan en unidades de tres, cuatro o seis contactos plateados del tipo de doble apertura sobre una barra moldeada se soportan los contactos móviles y sobre el molde estacionario, se colocan los contactos fijos. El arreglo de

Los contactos puede cambiarse fácilmente, esto es, los contactos normalmente abiertos pueden convertirse en normalmente cerrados o viceversa. Los contactos fijos pueden invertirse para formar contactos normalmente abiertos o de cierre rápido o normalmente cerrados de apertura retardada. Para efectuar estos cambios se requiere utilizar un contacto especial en lugar del estandard.

Para modificar el arreglo de los contactos en un switch auxiliar, los contactos móviles deben voltearse de lado, sacarse de la ranura del molde e insertarse nuevamente en la posición deseada. Los contactos fijos deben cambiarse de acuerdo al arreglo buscado.

#### Apertura y Desplazamiento de los Contactos.

La apertura normal entre contactos es de 6.35 mm. (1/64 de pulgada), y el desplazamiento normal es de 3.18 mm. (1/8 de pulgada)  $\pm$  0.4 mm. (3/8 de pulgada).

#### Mantenimiento de los Switches Auxiliares.

Los contactos plateados requieren de poco mantenimiento pero deben mantenerse libres de mugre y polvo. El color negrusco que

aparece en la superficie de los contactos no debe limpiarse, ya que no reduce la conductividad.

Los contactos que tengan desgastada o quemada la superficie de plata hasta mostrar el cobre, deben ser reemplazados.

Por último, operar el contactor para cerciorarse que los contactos se abren y cierran correctamente y que se mueven libremente.

#### VENTAJAS DEL USO DE CONTROLES CON CONTACTORES EN VACIO.

El uso de unidades y desconectores en vacío, en equipo de control, presenta las siguientes ventajas sobre otros tipos de equipo de control:

- 1). Cuando los contactos son sellados, prácticamente eliminan el mantenimiento una vez que estén protegidos contra la corrosión y contra atmosferas contaminantes; por lo que la vida mecánica y eléctrica es expresadamente larga. El desgaste de los contactos puede ser verificado fácilmente, mediante un escantillón, después de 500 mil operaciones. Debido a que los contactos se encuentran en vacío, no existe la necesidad de supresores de arco; esto

elimina el reemplazo de partes frágiles y caras y reduce considerablemente el peso y tamaño del equipo de control.

- 2). Puesto que un vacío proporciona el medio más eficiente - para la interrupción del arco, no se requieren bobinas - de soplo.

El contactor en vacío está diseñado de manera que la energía de interrupción se genera hasta que la corriente pasa por el primer cero después de que los contactos se han separado.

- 3). El contactor en vacío tiene un mecanismo compacto y simple. El mecanismo de cierre es una unidad magnéticamente sostenida que consiste de una armadura y dos bobinas de corriente directa con amplia capacidad para proveer - una operación eficiente y exenta de fallas. El contactor puede ser probado mediante cualquier suministro monofásico de 120 V, 60 Hz y su correspondiente fuente rectificadora.

APERTURA DEL CONTACTOR Y METODO DE CONTROL.

El transformador de control que actúa como fuente para operar - el contactor debe tener normalmente una capacidad de 300 V.A. - Esta capacidad es el doble de la que se requiere para operar el contactor, de manera que se proporcione un exceso de 150 V.A. - disponible para otro uso. El paquete de control asociado consiste de un capacitor, un rectificador y una resistencia economizadora.

Todos los controles que se suministran, para sistemas sólidamente conectados a tierra, tienen un retardo de tiempo de 30 ciclos (0.50 seg.) siguientes a la apertura iniciada por un relevador de protección. La apertura de estos contactores mediante cualquier otro dispositivo como el botón de parada de una estación o cualquier dispositivo de disparo monofásico es instantáneo. - Cuando se utilizan relevadores de protección por falla a tierra, en sistemas aterrizados mediante resistencias de conexión a tierra de menos de 1,000 A, o en sistemas aislados, la apertura -- del contactor será instantánea. En contactores para esa aplicación, se suprime el retardo de tiempo para minimizar los daños ocasionados por las corrientes de falla a tierra.

Es importante tener en cuenta los métodos de conexión a tierra empleados cuando se aplican relevadores de protección de falla a tierra.

#### COORDINACION CON OTROS ELEMENTOS.

Disparo de monofaseo. Cada fusible principal, contiene un alfiler que es expulsado con cierto poder cuando el fusible estalla. Se suministran tres brazos, uno por cada fusible y son operados independientemente por el alfiler en caso de que un fusible estalle; el brazo de disparo emplea una flecha, la cual actúa sobre un micro-switch para abrir el contactor, proporcionando protección por monofaseo. Cuando este dispositivo opera, el contactor no puede ser restablecido hasta que se efectúe la reposición del fusible.

Protección por Baja Tensión. El contactor se mantiene cerrado eléctricamente y esta inherentemente protegido contra bajas de tensión. Con el alambrado normal el contactor se desconecta en 30 ciclos (0.05 segs.) cuando la tensión baja al 20% de la tensión nominal, en caso de que requiera un retardo en exceso a -- ese tiempo, puede usarse un relevador de tiempo mecánico o eléctrico, el cual proporciona un retardo de 2 a 4 segs. o más, de

acuerdo con lo que se haya seleccionado si se requiere un control exacto de la tensión a la luz, debe abrir el contactor, -- por ejemplo al 80% de la tensión normal de la línea, existe una amplia gama de marcas para este tipo de protección (Rele No. 27).

#### FUSIBLES.

Una de las aplicaciones principales es la que se le dá en centros de control de motores, para obtener protección adecuada del circuito del motor, debe existir una coordinación correcta entre los fusibles, el contactor y los relevadores de sobrecarga (para la coordinación de los tres elementos se estudiará su ejemplo).

La selección del fusible más adecuada se determina mediante:

- a). La magnitud de la corriente de arranque.
- b). El tiempo de aceleración.
- c). El número de arranques por hora.

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



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

Estas condiciones están interrelacionadas necesariamente y deben trasladarse suficientemente en condiciones tales que el fusible y el contactor opere dentro de los amplios márgenes de seguridad. Una idéntica relación se aplica también entre la misma corriente interruptiva del fusible y el relevador de sobrecarga. La coordinación correcta en este caso asegura que en todo tiempo el fusible no necesitará operar en corrientes menores que su capacidad interruptiva mínima.

Deberá tenerse en consideración que cuando el fusible está en -

servicio, sometido a condiciones de arranque más severas que -- las previstas cuando fueron seleccionados, la fatiga es elemento que puede cooperar para el debilitamiento del fusible. El fusible operará en corrientes menores que las que bajo otras -- condiciones pudieran provocar su operación, dentro del límite de seguridad, y que pudiera darse el caso de que el fusible explotara. Cuando se usa protección de falla a tierra instantánea para abrir el contactor, el rele de falla a tierra normalmente operará antes que el fusible, con excepción de las fallas de alta intensidad. Para estar seguros de que el contactor no va a abrir con corrientes arriba de su capacidad interruptiva, se suministra un retardo de tiempo en la apertura del contactor; este retardo se suministra normalmente cuando el contactor va a abrirse mediante relevadores de protección en un sistema sólidamente conectado a tierra.

La apertura del contactor mediante la operación de algún otro disparo (diferente del relevador de protección), tal como un botón de arranque y parada o cualquier dispositivo monofásico, será instantánea. Cuando se usan reles de protección contra falla a tierra, en sistemas con capacidad menor a 1,000 A y conectados a tierra mediante resistencias o en sistemas aislados, la apertura instantánea del contactor minimiza el daño ocasionado

por este tipo de corrientes de falla.

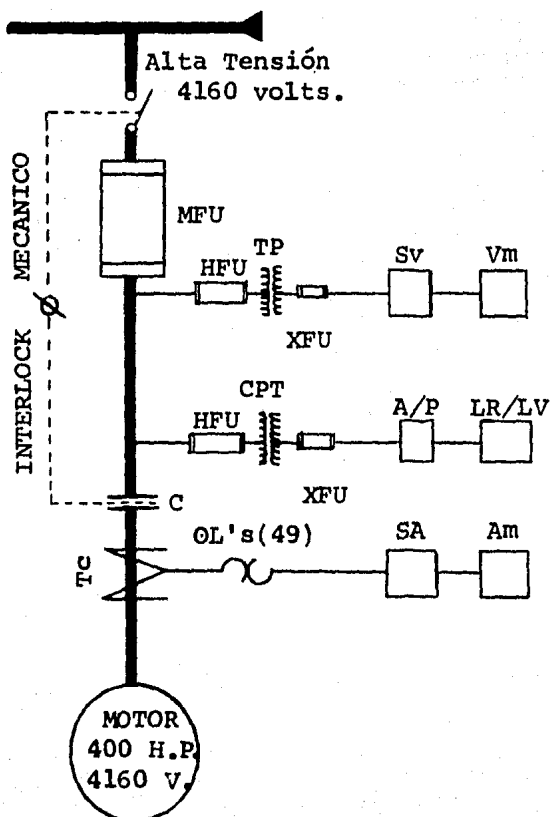
Los fusibles de alta tensión usados en circuitos de motores, deberán tener capacidad suficiente para resistir sin deteriorarse, los transitorios repetitivos asociados con el arranque del mo--tor. La confiabilidad a este respecto es esencial, la limita--ción de la energía de falla para minimizar los resultados de fallas eléctricas, la capacidad para coordinar con precisión el -contactor y dispositivo de protección, en el lado de la alimenta--ción del control en el mismo sistema, juntos con la capacidad interruptiva adecuada, son esenciales para la seguridad.

EJEMPLO ILUSTRATIVO DE APLICACION DEL DESCONECTADOR

EN VACIO

Se desea diseñar un arrancador a tensión plena no reversible -- (TP/NR) montaje removible, para motor jaula de ardilla de 400 - H.P. con amperímetro y voltmetro, los cuales nos deberán indicar carga y tensión en el mismo. Voltaje en el motor 4,160 -- volts.

DIAGRAMA UNIFILAR



La potencia del motor es de 400 H.P. y para calcular la corriente nominal que maneja nos ayudamos de la siguiente relación.

$$I_n = \frac{\text{H.P.} \cdot 746}{1.73 \times V \times \% \text{ EF} \times \text{F.P.}}$$

H.P. Potencia del motor

V. Voltaje del sistema

% EF. Eficiencia del motor en porcentaje

F.P. Factor de potencia del sistema

$$I_n = \frac{400 \times 746 \text{ H.P.}}{1.73 \times 4160 \text{ V} \times 0.85 \times 0.98}$$

Se supone una eficiencia de 0.85

$$I_n = 49.77 \text{ Amp.}$$

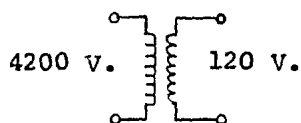
Para calcular la corriente a rotor bloqueado, multiplicamos ---

$I_n \times 6$  (de acuerdo con Código F).

$$I_{rb} = I_n \times 6$$

$$I_{rb} = 298.65$$

El transformador de control y potencial sería de una relación -- igual a 4,200/120, esto implica una relación de 35 para prote-- ger el lado de alta tensión de los transformadores anteriores.



Si la potencia del transformador se toma como 500 VA (Valor Co-- mercial).

$$P = VI$$

$$P = 500 \text{ VA}$$

$$V = 4,200 \text{ v}$$

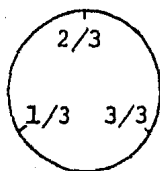
$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = 0.11$$

Un valor comercial de capacidad de conducción en alta tensión es de 2 amperes.

Para calcular el fusible del lado de baja tensión se sigue el -- mismo procedimiento llegándose al valor de 4.16 A. Para este va-- lor no hay restricciones, existen fusibles (Comercialmente) de -- 5, 10, 15, 20, etc.

Para calcular el amperímetro nos ayudamos del siguiente procedimiento:



CARATULA

$$E = \frac{3}{2} I_{pc}$$

E = Escala grabada sobre la carátula

$I_{pc}$  = Corriente a plena carga.

$$E = \frac{3}{2} \times 49.77 \text{ Amp.}$$

$$E = 74.65 \text{ Amps.}$$

Esto nos lleva a seleccionar un amperímetro con escala de 0 a 75 amperes y con ello saber que en el momento que se presente la corriente de plena carga la aguja se deflejará sobre la carátula al 66.6%.

NOTA.- En el momento del arranque, se deberá seleccionar la posición cero en el selector del amperímetro, ésto con el fin de cortocircuitar el secundario de los transformadores de corriente y así evitar daños que ocasionarían la destrucción del amperímetro.

El análisis anterior nos lleva a seleccionar los transformado--

res de corriente con una relación de 75/5 R=15. Por norma se sabe que la medición es con bobinas a 5 Amps.

Para seleccionar el relevador térmico de sobrecarga

$$V_a = \frac{I_n}{R}$$

$V_a$  = Valor de Ajuste

$I_n$  = Corriente Nominal

$R$  = Relación de Transformación (Tc's)

$$V_a = \frac{49.77 \text{ Amps.}}{15}$$

$$V_a = 3.318 \text{ Amp.}$$

Con este valor de ajuste sabemos que el relé bimetálico no disparará el contactor antes de alcanzar su valor de  $I_{pc}$ . Al final se muestra una gráfica de comportamiento del bimetal en caso de sobrepasar estos valores.

En la selección del voltmetro sabemos que tenemos una relación de transformación de 35 por lo cual debemos buscar un voltmetro que cumpla con esta restricción. Sabemos que comercialmente existen voltmetros para tensión media de 0 - 5.25 KV, con bobina de 150, los cuales tienen una relación de 35 en la selección de fusibles - limitadores de corriente es necesario considerar la capacidad tér-



mica de los fusibles asociados. El valor máximo asociado  $I^2T$  del contactor es  $20 \times 10^6$  AMPS<sup>2</sup> segundos y el fusible usado no deberá exceder el valor  $I^2T$  a que se ha referido, ésto debe ser una característica individual del fusible. Deberá tenerse cuidado con la porción de la curva del fusible para valores de corriente arriba de la capacidad interruptiva del contactor.

si el contactor se abre por alguna razón con corrientes arriba de su capacidad interruptiva, las botellas en vacío podrán resistir solamente un valor límite  $I^2T$ , sin sufrir daños y arriba de este valor los daños pueden repercutir aún en el mismo contactor.

Para seleccionar el fusible graficamos las curvas del comportamiento de los fusibles sobre la curva del relevador bimetálico -- (en este caso marca Brown Boveri) y de esta manera nos damos cuenta que el que cubre nuestras necesidades es el de 100 Amps. 3R. - Con esto aseguramos que en sobrecargas actuará la protección bimetálica y para corto circuito el fusible.

El selector de voltmetro necesario es el que cumpla con las siguientes características, según tabla.

CONTACTOS	POSICIONES			
	L <sub>1</sub> - L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> - L <sub>3</sub>	L <sub>2</sub> - L <sub>3</sub>	O
1 — 2 ○—  —○	X	X		
3 — 4 ○—  —○	X		X	
5 — 6 ○—  —○		X		
7 — 8 ○—  —○			X	

Este selector de voltmetro nos permitirá sensar el voltaje entre cualquiera de las líneas.

Para el selector de amperímetro, la selección se hará en base al siguiente conmutador.

CONTACTOS	POSICIONES			
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	O
1 — 2 ○—  —○		X	X	X
3 — 4 ○—  —○	X	X		X
5 — 6 ○—  —○	X			
7 — 8 ○—  —○			X	
9 — 10 ○—  —○		X		
11 — 12 ○—  —○	X		X	X

La selección de las dimensiones del bus principal serán:

$$D = \frac{\text{Amperes}}{\text{Area}}$$

Si  $D = 1,000 \text{ Amp/Pulg.}^2$

Y Considerando que la máxima capacidad de conducción para el contactor es de 400 Amps.

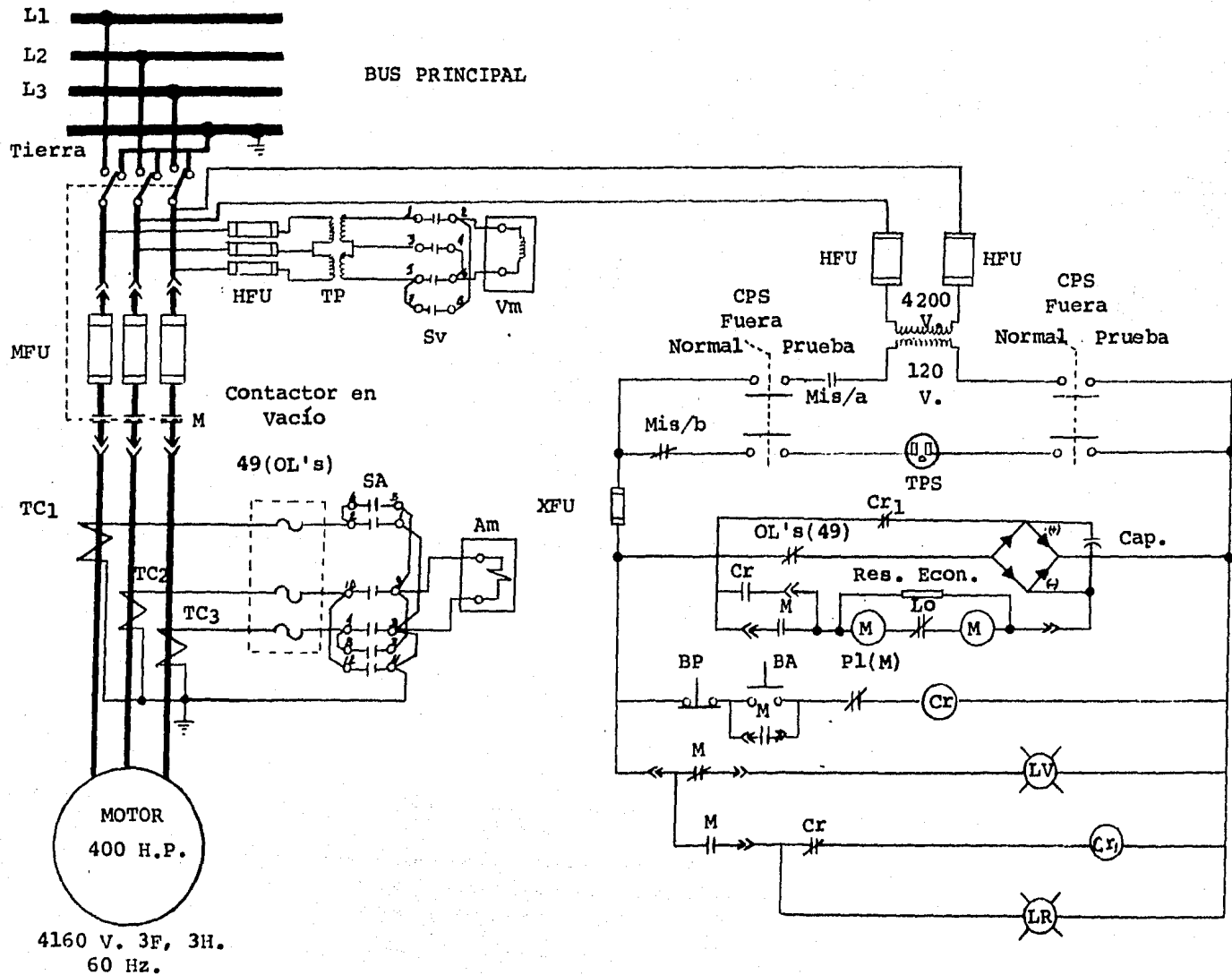
$$\text{Area} = \frac{\text{Amperes}}{D}$$

$$\text{Area} = \frac{400 \text{ Amp.}}{1,000 \text{ Amp/Pulg.}^2}$$

$$\text{Area} = 0.4 \hat{=} 1/4" \times 1.6"$$

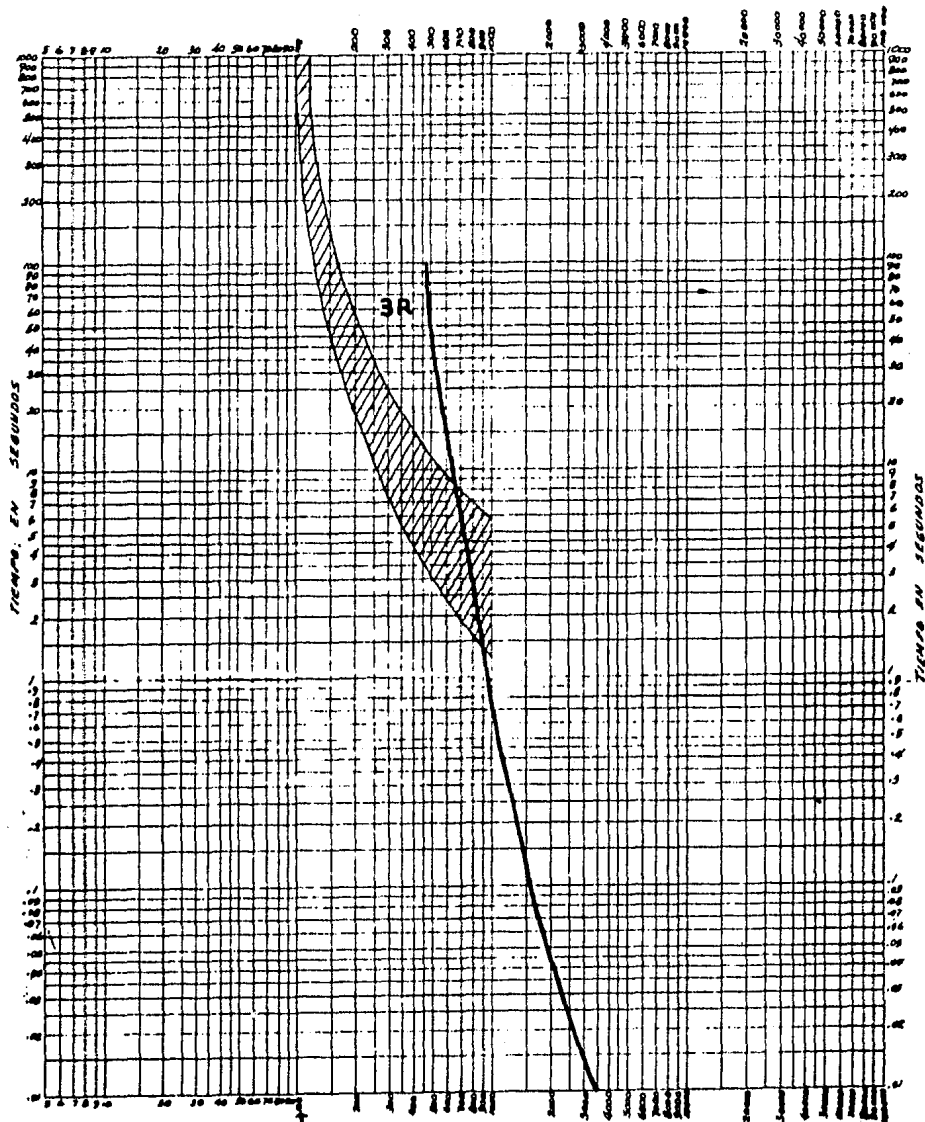
Se necesita una barra de 6.35 mm. de espesor y 40.64 mm. de ancho.

A continuación se muestra el diagrama esquemático y de coordinación para el arrancador a tensión plena no reversible.



L E Y E N D A S

- HFU - Fusible de Alta Tensión 2 Amp.
- Mis - Switch Principal de Aislamiento
- a - Abierto para 10 A.
- b - Cerrado para 10 A.
- RECT. Rectificador con diodos de alta capacidad interruptiva  
15 amperes, 1,600 volts. de pico inverso.
- Cr<sub>1</sub>, Cr- Relevador auxiliar, 120 v. 60 Hz. (4Na + 4 Nc)
- M - Bobina de C.C. Principal 65 V mínimo
- Cap.- Capacitor 250 VCC y 1,200 Microfaradios.
- TPS - Receptáculo para 20 A.
- CPS - Selector Normal - Fuera-Prueba.
- BP - Botón de Paro para 10 Amp.
- BA - Botón de Arranque para 10 Amp.
- P<sub>1</sub>(M) Contacto de Posición 10 Amp.
- LV - Lámpara verde, 120 V, 60 Hz.
- LR - Lámpara roja, 120 V, 60 Hz.
- Sv - Selector de Voltmetro
- SA - Selector de Ampermetro



100%  
**AJUSTE EN % DE MULTIPLOS DE CORRIENTE**  
**EJEMPLO 100% = 1 VEZ CORRIENTE DE AJUSTE**

CURVA DE AJUSTE DE LOS ELEMENTOS FENÓMICOS  
 AOS. 6/11/1954 Y 6/12/54. 40111111 101111

VENTAJAS DE LA INTERRUPCION DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN EL VACIO

Cuando se interrumpe una corriente eléctrica alterna mediante la separación de un par de contactos confinados en un espacio, en el que se ha practicado el vacío, se forma un arco provocado por el vapor del metal de los contactos y este arco continúa hasta que la corriente pasa por su primer valor natural cero; en este instante el arco es reemplazado por una región de alta resistencia dieléctrica, capaz de soportar la alta tensión de recuperación. La mayor parte del vapor del metal se condensa en los contactos y permanece disponible para subsecuentes arcos; el resto, aunque se pierde en el contactor se deposita en el escudo metálico que rodea los contactos y el escudo protector del aislamiento del recipiente que forma el cuerpo del contactor. El período de arqueo no excede de  $1/2$  ciclo y la longitud del arco es tan pequeña que la energía del mismo en el vacío es considerablemente menor que la que se genera en los arcos provocados en los interruptores en aire. Por lo tanto, los contactos sufren mucho menor daño y con la pequeña carrera de los contactos, permisibles por razón del alto poder interruptor del vacío y la ausencia de supresores de arco (cámaras de arqueo) el contactor en vacío puede ser una unidad compacta, silenciosa y que requiere una fuerza magnética mínima para su operación.

APLICACION DE LOS INTERRUPTORES EN VACIO

Estos prometen tener aplicación en el campo de la interrupción de alta tensión, específicamente en donde se requiera bajo costo y - baja capacidad interruptiva de falla, capacidad para un cierto número de operaciones de interrupción con carga sin mantenimiento y en algunas aplicaciones donde se requiera equipo que pueda interrumpir cargas de línea o corriente de capacitores. Si el costo es bajo, tales interruptores serían ideales para controlar los bancos de capacitores de alta tensión en derivación, que se usan tanto en las subestaciones pequeñas como en las grandes, en las que la interrupción de fallas pueda manejarse mediante otro interruptor. Estos son interruptores para conexión a alta velocidad y pueden tener muchas aplicaciones industriales.