



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CONSIDERACIONES TECNICAS Y PRACTICAS PARA LA  
SELECCION DE INTERRUPTORES EN ALTA TENSION**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

AREA: INGENIERIA ELECTRICA

P R E S E N T A N

**AGUSTIN RODRIGUEZ CASTRO**

**MARTIN FELIPE AVILA ROUGON**

**EDUARDO REYES ZEPEDA**

ASESOR: ING. JUAN VICENTE LEDUC RUBIO



MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

### PROLOGO

### CAPITULO I

#### LOS INTERRUPTORES

1.1	Definición y funcionamiento	1
1.2	Accesorios y componentes	2
1.3	Parámetros y capacidades	3
1.4	Tipos de interruptores	
	*Interruptores en baño de aceite	7
	*Interruptores en reducido volumen de aceite	11
	*Interruptores neumáticos	14
	*Interruptores de hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	19
	*Interruptores en vacío	23

## CAPITULO II

### OPERACION DEL INTERRUPTOR

2.1	Fallas en interruptores	28
2.2	Fenómenos de interrupción	32
2.3	Generalidades sobre los arcos eléctricos	34
2.4	Conceptos básicos generales del diseño de las cámaras de extinción	36
2.5	Extinción de los arcos en corriente alterna	40

## CAPITULO III

### SELECCION DE INTERRUPTORES

3.1	Consideraciones técnicas para los interruptores	43
3.2	Pruebas a interruptores	72
3.3	Datos prácticos a considerar en la adquisición de un interruptor	80
3.4	Reglamentación de compra-venta de interruptores	83

## CAPITULO IV

### EJEMPLO Y CONCLUSIONES

EJEMPLO 85

CONCLUSIONES 89

APENDICE 91  
Normatividad para adquisición de  
interruptores

BIBLIOGRAFIA

## P R O L O G O

El tema de los Interruptores en alta tensión adquiere un papel sumamente importante ya que día a día su sofisticación y grado tecnológico se debe ver afectado para cubrir la demanda de potencia de los sistemas eléctricos actuales.

El interruptor es un elemento indispensable y clave para satisfacer las necesidades de confiabilidad, continuidad, seguridad y estabilidad del sistema eléctrico, garantizando la protección de todo el sistema en sí: Generadores, Transformadores, Líneas de transmisión, Subestaciones y Cargas.

Durante el desarrollo del presente trabajo fue muy difícil obtener la información fuente, debido a la complejidad del tema, y debido a que gran parte de esta información y datos escritos sólo la manejan personas específicas dentro de la "Comisión Federal de Electricidad"; y siendo el objetivo del presente trabajo "Mostrar las Consideraciones Técnicas y Prácticas para la Selección de Interruptores de Alta Tensión", se presentan los diferentes tipos de interruptores más recomendables, sus características de operación y factores a considerar para la buena selección de un interruptor.

Basado lo anterior en libros, catálogos, opiniones profesionales, tablas, gráficas y sobre todo, en un resumen del comportamiento de los diferentes tipos de interruptores que operaron durante una década utilizados por la C.F.E.

De este modo se presenta al lector, información de los interruptores para que, según las condiciones a considerar donde se requiera seleccionar un interruptor, se valoren las ventajas y desventajas de estos y se tome la mejor decisión.

## CAPITULO I

### LOS INTERRUPTORES

#### 1.1 DEFINICION DE INTERRUPTOR Y FUNCIONAMIENTO

El interruptor es un dispositivo destinado a la conexión y desconexión de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales; así como, y ésta es su función principal, bajo condiciones de falla (corto circuito.)

Es uno de los elementos más importantes dentro de una subestación, ya que su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia (Continuidad de servicio, regulación de voltaje, regulación de frecuencia, no interrupciones, y potencia). Su buen funcionamiento ayuda a tener un nivel de energía "bueno" en cuanto a varios factores, como por ejemplo: seguridad, continuidad, regulación, confiabilidad, mantenimiento y economía.

La función de un interruptor es aislar el punto de falla para que el sistema no se afecte, así como proteger elementos de una subestación, cableado y los usuarios; ya que si no opera el interruptor, puede verse afectado todo el sistema.

Los interruptores deben ser capaces de interrumpir corrientes eléctricas de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas (adelantadas) de varios cientos de amperes a las inductivas (atrasadas) de varias decenas de kiloamperes.

En todas las fases de los sistemas eléctricos, como son: generación, transformación, transmisión y distribución de energía eléctrica; los interruptores de potencia cubren una muy importante función, no sólo energizan y desenergizan circuitos de alta tensión o conmutan la corriente eléctrica de un circuito a otro en estado normal, sino que principalmente el interruptor de potencia es el elemento que corta la corriente eléctrica en un circuito en estado de falla, aislando la zona dañada y protegiendo así a los componentes del sistema eléctrico (generadores, transformadores, líneas de transmisión y cargas).

Para poder actuar, el interruptor recibe una señal proveniente de un conmutador, una computadora o bien de un dispositivo de protección.



Normalmente el interruptor de potencia permanece cerrado o abierto durante varios meses, incluso años sin ser tocado ni ser atendido, pero cuando recibe una señal, por ejemplo de algún dispositivo de protección, debe ser capaz de librar cualquier falla de 30 a 50 milisegundos, lo cual implica una gran tecnología en su diseño.

La operación más difícil que el interruptor de potencia debe cumplir es la interrupción de cortos circuitos. La severidad de esta operación ha crecido inmensamente durante los últimos 60 años, como resultado del crecimiento en tamaño de las redes eléctricas de potencia.

Las tensiones nominales de las redes han crecido de 132 KV hasta 800 KV y llegan en plan experimental hasta 1000 KV.

Las potencias de interrupción nominales han crecido de aproximadamente 10 KVA (5 KA, 132 KV) con bajos factores de severidad en el circuito, asociados con técnicas de prueba y medición sumamente imprecisas hasta 110KV, 10 KVA (80 KA, 800 KV) en redes que involucran factores muy severos en los circuitos asociados con técnicas de investigación del comportamiento del arco eléctrico, el uso de la fotografía de extra-alta velocidad y técnicas de prueba muy elaboradas.

Respecto al tiempo total de interrupción requerido para cortar corrientes de corto circuito se ha disminuido radicalmente en interés de la estabilidad del sistema eléctrico y a la mejor protección de sus componentes.

## 1.2 ACCESORIOS Y COMPONENTES

Desde el diseño de los interruptores se analizan todos los avances tecnológicos para lograr un mejor empleo de los mismos en términos generales; y esto se logra considerando principalmente:

- Materiales
- Medios de extinción
- Técnicas de interrupción
- Accionamientos eficaces

Para visualizar más ampliamente el concepto, consideremos que el interruptor consta de tres partes principales:

**Parte activa:** Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación.

**Parte pasiva:** Formada por una estructura (que soporta uno o tres depósitos de aceite; si el interruptor es de aceite), en la que se aloja la parte activa:

Las funciones de la parte pasiva son:

- a). Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
- b). Ofrece puntos para el levantamiento y transporte del interruptor, - así como espacio para la instalación de los accesorios.
- c). Soporta los recipientes de aceite, si los hay, y el gabinete de - - control.

**Accesorios:** Estos son partes como boquillas terminales, válvulas de llenado, descarga y muestreo de fluido aislante, conectores a tierra, placa de datos y gabinete (el cual contiene los dispositivos de control, protección, medición, accesorios, como: compresora, resorte, bobinas de cierre o de disparo, calefacción, etc.).

### 1.3 PARAMETROS Y CAPACIDADES

Para poder visualizar en términos generales las condiciones de trabajo de los interruptores es necesario conocer los valores característicos que los definen; esto es que los interruptores deben poder transmitir, en forma continua, la corriente de plena carga sin una elevación de temperatura y deben de poder soportar las fuerzas electrodinámicas. Además, deben estar en posibilidad de interrumpir, en condiciones seguras, las corrientes de falla. Las capacidades nominales de las diferentes clases de interruptores se presentan en estándares nacionales e internacionales. Así que un interruptor de C.A. tiene los siguientes conceptos de capacidad nominal:

- a). Voltaje nominal, corriente nominal.
- b). Frecuencia nominal.
- c). Capacidad nominal de interrupción, simétrica y asimétrica.
- d). Capacidad nominal de restablecimiento.
- e). Corriente nominal de tiempo corto o máxima duración del corto circuito.
- f). Servicio nominal de operación

A). Voltaje nominal: considerando que el voltaje no es constante en ningún punto del sistema de fuerza, se tiene que el fabricante garantiza la operación perfecta del interruptor a un voltaje nominal máximo que por lo general, es un poco mayor que el voltaje nominal del aparato.

Asimismo, no se debe ignorar que la corriente nominal de un interruptor es el límite de diseño para corriente en amperes RMS. Este límite es la corriente que puede conducir el interruptor en forma continua, sin rebasar el límite de elevación de la temperatura observable.

La elevación de la temperatura de cada una de las distintas partes de un interruptor, cuando se prueba la corriente nominal continua, no debe exceder del límite dado para esa parte; así con la siguiente tabla mostraremos los límites de elevación de temperatura para las diferentes partes de un interruptor.

Límites de la elevación de temperatura para las diversas partes de un disyuntor.

	Límite de la elevación de temperatura, °C	
	CC en aceite	CC sin aceite
a) Contacto en aire, estando limpio y brillante	30	35
b) Contactos en aceite	30	
c) Aceite	30	
d) Bobinas de potencial, aislamiento de clase 0	35	35
e) Bobinas en serie, aislamiento de clase 0	50	50
f) Bobinas de serie y de potencial, aislamiento de clase A	50	50
g) Bobinas de serie y de potencial, desnudas o con aislamiento de clase B	70	70
h) Todas las demás partes	70	70

FIGURA 1

- B) Frecuencia nominal: La frecuencia nominal del interruptor es la frecuencia para la que está diseñado y construido.
- C) Capacidad nominal de interrupción, simétrica y asimétrica y lo veremos más claro en la siguiente gráfica.

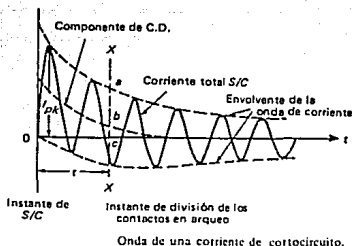


FIGURA 2

Después del instante de la falla, la corriente de corto circuito comienza a descender desde un valor inicial alto hasta un valor sostenido. Además, debido al tiempo de relevación, el interruptor comienza abrir sus contactos en arqueo sólo un poco después de la iniciación del corto circuito. Por tanto, la corriente real que interrumpe el disyuntor es menor que el valor inicial de la corriente de corto circuito. Donde la corriente de interrupción de un polo de un interruptor es la corriente que pasa por ese polo en el instante de separación de los contactos y esta corriente se expresa con dos valores.

1. La corriente simétrica de interrupción. Este es el valor RMS de la componente de C.A. de la corriente que pasa por el polo en el instante de separación de los contactos.

1. La corriente simétrica de interrupción. Este es el valor RMS de la componente de C.A. de la corriente que pasa por el polo en el instante de separación de los contactos.

$$I_{SYM} = \frac{ab}{\sqrt{2}}$$

2. La corriente asimétrica de interrupción. Esto es el valor RMS de la corriente total, que comprende los componentes de C.A y C.D de la corriente que pasa por ese polo en el instante de separación de contactos.

$$I_{ASYM} = \sqrt{\left[\left(\frac{ab}{2}\right)^2 + (bc)^2\right]}$$

D) Capacidad nominal de restablecimiento, donde a, b y c se obtienen de la figura anterior. Este valor caracteriza la capacidad de los interruptores para cerrar sus contactos contra corrientes de corto circuito.

E) Corriente nominal de tiempo corto. Esta corriente es el valor RMS de la corriente que puede conducir en su posición totalmente cerrado, sin sufrir daño, para el intervalo especificado de tiempo corto y bajo las condiciones preescritas.

Normalmente se expresa en función de KA para un periodo de 1 segundo ó de 4 segundos y se le conoce como la capacidad nominal a 1 segundo y la capacidad nominal a 4 segundos respectivamente. Dichas capacidades están basadas en las limitaciones térmicas del equipo.

F) Servicio nominal de operación. El servicio de operación de un interruptor es el número preescrito de operaciones unitarias a intervalos establecidos.

De acuerdo con las recomendaciones del IEC para el servicio nominal de operación de interruptores cuya utilización no es para autorrestablecimiento, existen dos alternativas.

a) o - t - co - t' - co

b) o - t" - co

Expresiones en las cuales:

o = operaciones de apertura

c = operación de cierre

co = cierre seguido de apertura

t, t', t" = intervalos de tiempo

t y t' = están expresados en minutos y t" en segundos.

Los interruptores con autorrestablecimiento tienen un servicio de operación : 0-0-c0 donde:

0 es el tiempo muerto de interruptor expresado en ciclos.

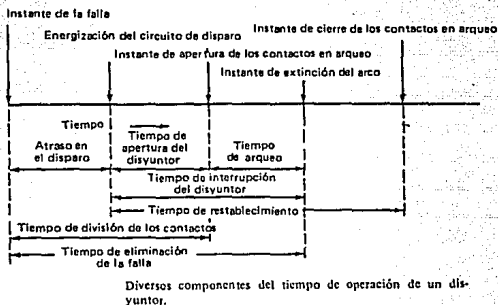


FIGURA 3

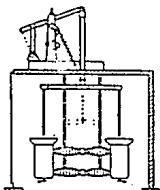
#### 1.4 DIFERENTES TIPOS DE INTERRUPTORES

##### INTERRUPTORES EN BAÑO DE ACEITE

Estos interruptores, debidos a Ferrati, que utilizó el aceite para la extinción del arco, fueron los primeramente empleados en las instalaciones de alta tensión, habiéndose llegado al cabo de numerosos ensayos con potentes instalaciones que permitían producir corto circuitos de grandes intensidades, a determinadas características y dimensiones que precisan los interruptores para poderes de ruptura que alcanzan varios miles de megavoltamperios.

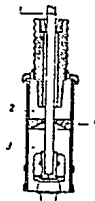
La figura 4 se refiere a un interruptor "OERLIKON" fabricado en el año 1904, con dos contactos en

aceite por polo. La figura 5 muestra el detalle del contacto, siendo en ella: 1. Varilla de acoplamiento; 2. Cámara de amortiguamiento por aire; 3. Cámara de presión (llena de aceite) y 4. Un orificio destinado a limitar la presión. Posteriormente, todos los polos (tres para corriente trifásica) se colocaron en la misma cuba que afectaba la forma de un paralelepípedo; pero después se han empleado de sección circular para poder resistir mejor la presión a que da origen la vaporización del aceite.



Interruptor en aceite construcción Oerlikon (1904) con dos contactos por polo.

Figura 4.



Sección de uno de los contactos del interruptor de la figura anterior.

Figura 5.

En el interruptor ordinario, el gas producido por la acción del arco se acumula en forma de una burbuja esférica alrededor del punto de interrupción, de modo que el arco persiste en una atmósfera de gas (figura 6) y recibe una refrigeración insuficiente, por lo que puede alcanzar longitudes considerables.

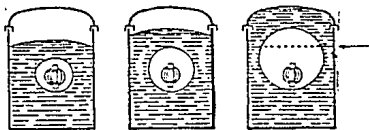
En la figura referida, se reproducen tres dibujos concernientes a la teoría de M. Bruchlman, que ha sido admitida universalmente, llamada el "pistón de aceite" y muestra la sucesión de movimientos de una esfera gaseosa y del aceite del recipiente, en un disyuntor de contactos libres.

Es evidente que las presiones a que da lugar el efecto de los golpes de ariete del aceite contra la cuba, inmediatamente después de la ruptura, se traducen en trepidaciones del disyuntor y en la expulsión violenta de aquél, cuyos fenómenos presentan ciertos peligros.

Por la influencia de las altas temperaturas del arco, el aceite que lo rodea se evapora, descomponiéndose a la vez en hidrógeno, hidrocarburos ligeros gaseosos y carbono en pequeñas partículas (hollín). Una parte de este último, se escapa con los gases, y es la causa del humo negro que se aprecia en el proceso de la interrupción del aceite, la otra parte queda en el aceite y disminuye su poder aislante, pero esta disminución es poco importante por cuanto las partículas carbonosas no quedan en suspensión en el aceite, sino que se precipitan formando un lodo en el fondo de la cuba.

Los gases que se escapan y que son combustibles, dan lugar con el aire a una mezcla gaseosa más o menos explosiva y es la causa de las explosiones en los interruptores. Para evitarlas, es necesario prever una capa de aceite suficiente sobre los contactos, con el objeto de impedir que la llama remonte la superficie del aceite y contribuya al propio tiempo al enfriamiento de las burbujas de gas, de forma que su temperatura quede por debajo del punto correspondiente a la autocombustión, antes de que entren en contacto con el aire.

Los chorros de aceite y las humaredas no pueden ser considerados inadmisibles, siempre que se produzcan en reducidas proporciones. No sería razonable pretender que las dimensiones del interruptor fuesen tan grandes, que aún con los cortos circuitos más violentos no diesen lugar a la formación de chorros de aceite, si bien es cierto, por otra parte que la pérdida de éste debe ser pequeña para no comprometer el funcionamiento seguro del disyuntor después de un limitado número de cortos circuitos.



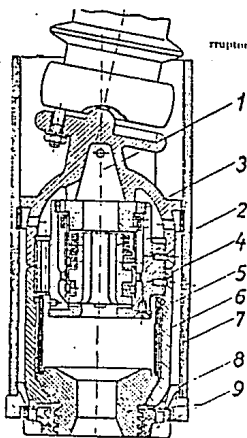
Proceso de la formación de gases por vaporización del aceite al interrumpir el circuito (teoría de Bruchman).

Figura 6.



Los interruptores en baño de aceite con contactos libres sólo pueden emplearse para interrumpir cortos circuitos de reducida potencia, y ello debido, conforme a lo expuesto, a que el arco no se haya en contacto con el aceite, sino que se mantiene en la burbuja gaseosa, de lo que resulta un enfriamiento insuficiente.

Se evita este inconveniente empleando para grandes potencias de ruptura, interruptores con cámaras de extinción como la de la figura 7 que se refiere a un tipo de fabricación A. E. G., en dicha figura son:



Cámara de extinción de un interruptor en aceite para grandes potencias de ruptura (A.E.G.).

1. Parte superior de la cámara de extinción.
2. Contacto de tulipa en seis partes con resortes de presión.
3. Guía de contacto.
4. Cuerpo de la cámara de extinción.
5. Anillo de protección del contacto.
6. Cilindro aislante interior.
7. Cilindro aislante exterior.
8. Anillo sostén de aislamiento para el revestimiento exterior.
9. Cierre de la cámara de extinción de material aislante.

Figura 7.

En la cámara de extinción, el arco producido dá también lugar a una formación de gases muy intensa, pero el aceite no puede escapar debido a la pared

de la cámara que rodea estrechamente el punto de ruptura y en aquella se producen fuertes corrientes que lanzan seguidamente el aceite contra el arco, contribuyendo así al eficaz enfriamiento de éste. Por esta razón la extinción se efectúa rápidamente.

El proceso de interrupción termina por regla general, antes de que el vástago o contacto móvil salga de la abertura del fondo de la cámara, y en este momento se extingue el arco porque el aceite, debido a la alta presión que reina en la cámara, sale impetuosamente por la abertura y rebota contra el vástago de contacto. Ello es la causa de la corta duración del arco en los interruptores con cámara de extinción.

#### INTERRUPTORES DE REDUCIDO VOLUMEN DE ACEITE

En América, donde existe abundancia de materias primas, los interruptores de aceite construidos son empleados corrientemente hasta para las más altas tensiones.

En Europa, por el contrario y con miras a reducir el costo de estos aparatos, se utilizan interruptores de "reducido volumen de aceite".

Por la razón de su costo, los interruptores en baño de aceite se construyen para tensiones hasta 30 000 voltios. Este tipo fué adoptado por primera vez en Suiza y debido al Dr. J. Landry, para el equipo para la central de Chandoline. Considerando los interruptores en baño de aceite y de reducido volumen de aceite.

Refiriéndose a dos construcciones de la casa "Oerlikon" para una tensión de 150 000 voltios y con capacidad de ruptura de 150 megavolts amperios para el primero, se precisan 12000 litros de aceite en los 3 polos, mientras que el de reducido volumen

de aceite necesita únicamente 240 litros, es decir, el 2% del primero.

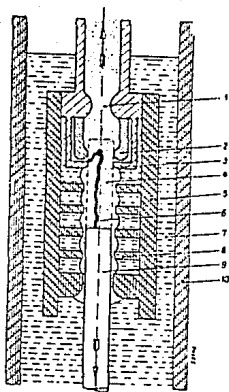
El efecto de extinción en este tipo de interruptor, también provisto de cámara de extinción es elástico, o sea, que se adopta a la intensidad de la corriente que se interrumpe, siendo muy elevado para grandes intensidades y más débil para las que tienen menor amplitud, por esta razón no son de temer las sobretensiones que se originan cuando se interrumpen corrientes de débil intensidad.

Por otra parte, la potencia de ruptura está limitada solamente por la presión de los gases desarrollados por el arco, de forma que dicha presión no debe exceder de la resistencia mecánica de la cámara de extinción. La construcción especial de dicha cámara y su funcionamiento se indican a continuación, partiendo de los datos de la figura 8 que representa un tipo de cámara de extinción de fabricación "Oerlikon".

En el momento de la desconexión, la varilla móvil 9 deja el contacto fijo 2 y un arco 6 se enciende entre dicha varilla y el anillo apagachispas 3. Los discos de material aislante intermedios 8 impiden que el aceite que se encuentra entre ellos pueda escaparse.

Una burbuja de gas sólo puede formarse en el espacio cilíndrico 4 de la cámara, de tal modo que asegura un contacto íntimo entre el arco y la superficie del aceite.

El gas desprendido en gran cantidad por la vaporización del aceite, se escapa hacia arriba por la abertura 1. Se produce así en la cámara de extinción una sobrepresión que contribuye al reestablecimiento de la rigidez dieléctrica después de la extinción del arco y se mantiene dentro de los límites admisibles por la admisión de la abertura de escape de los gases 1.



Cámara de extinción de los interruptores de reducido volumen de aceite, de la casa Oerlikon.

Figura 8.

Esta clara separación entre el aceite y el gas presenta la ventaja de que la varilla 9 al desplazarse hacia abajo, lo hace en aceite fresco inmediatamente después de la extinción del arco y ello permite que el espacio o distancia disruptiva vuelva a ser ocupado por aceite exento de gas. En la actualidad este tipo de cámara, formado por discos agujerados, de diámetros interiores alternativamente diferentes y de material aislante,

Este proceso de funcionamiento está basado en el principio de la "contracorriente" fundamento en el hecho de que la varilla 9 de acoplamiento se desplaza de arriba a abajo, mientras que los gases producidos circulan de abajo a arriba y salen al exterior sin mezclarse con el aceite que se encuentra fuera de la cámara de extinción.

es utilizado también en los interruptores en baño de aceite para grandes potencias de ruptura y elevadas tensiones.

#### INTERRUPTORES NEUMATICOS

Los interruptores neumáticos, llamados también de aire comprimido, utilizan la propiedad que tiene el aire a presión, de extinguir el arco al expandirse. El principio de corte por soplado de aire consiste en enviar una fuerte corriente de aire al centro del arco, que, por esta causa, se desioniza después del paso de la corriente por cero, por lo general esta corriente de aire es provocada por la expansión de cierta cantidad de aire que previamente se ha comprimido en un depósito independiente; es decir, en los interruptores neumáticos el aire comprimido se emplea no solamente para el mando de estos interruptores.

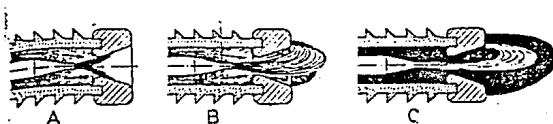
El corte del arco por aire comprimido puede utilizarse para todas las tensiones y para todas las potencias de ruptura, tanto para interruptores de montaje exterior como de montaje interior. Por otro lado presenta muchas menos probabilidades de peligro de incendio que los disyuntores que utilizan el aceite como medio de extinción del arco. Entre los inconvenientes de este tipo de interruptor pueden enumerarse:

a). La necesidad de una instalación de aire comprimido, con los correspondientes compresores, depósitos y tuberías. Lo cual en los casos de instalaciones con pequeñas potencias de ruptura implica unos importantes gastos de primera instalación.

b). Los inconvenientes inherentes al propio aire comprimido, es decir, el mantenimiento que llevan consigo los compresores, las canalizaciones y especialmente las válvulas, así como, la necesidad de disponer en cada momento de aire suficientemente seco y limpio.

En la figura 9 se muestra esquemáticamente el proceso de extinción de un arco eléctrico por medio de un chorro de aire comprimido: un cilindro aislante lleva una tobera metálica que constituye uno de los contactos del disyuntor, el otro contacto esta constituido por un perno o espiga que

al desconectar el disyuntor se retira. El arco eléctrico formado en el momento de la separación de los contactos es soplado hacia afuera por la acción del aire comprimido, energéticamente refrigerado y apagado después del primero o del segundo semiperiodo cuando la corriente pasa por un valor nulo. La extinción del arco se obtiene gracias a la alta rigidez dieléctrica del aire comprimido suficientemente seco, y a la gran velocidad de circulación de este aire por toberas apropiadas constituidas muchas veces por los propios contactos.



Proceso de extinción de un arco eléctrico por medio de un chorro de aire comprimido: A—Arco eléctrico durante el valor máximo de la corriente. B—Arco eléctrico poco antes del paso de la corriente por cero. C—Arco eléctrico inmediatamente después de la desconexión.

Figura 9.

El arco desarrollado entre los contactos calienta considerablemente el aire que se encuentra en la tobera, este aire se dilata y se forma una contrapresión que se opone al paso del aire de soplado. La contrapresión formada es tanto menor cuanto mayor es la abertura de la tobera, y tanto mayor cuanto más elevada es la energía del arco. En el momento en que la corriente pasa por su valor máximo, la contrapresión, debida al calentamiento del aire de soplado, es también máxima y el caudal del aire de soplado es mínimo, el soplado puede llegar a anularse, e incluso invertirse su sentido si la contrapresión en la tobera se hace superior a la presión en el depósito de aire comprimido. Por lo contrario cuando la corriente pasa por cero, el caudal de aire de soplado es máximo y máximo

también, por lo tanto, el efecto extintor de la corriente de aire.

Por otra parte, incluso admitiendo que no haya retroceso del aire desde la tobera al depósito, el arco formado por conductividad térmica y por radiación ioniza parcialmente el aire de la tobera, no solamente en la parte donde se forma el arco, sino también en los alrededores.

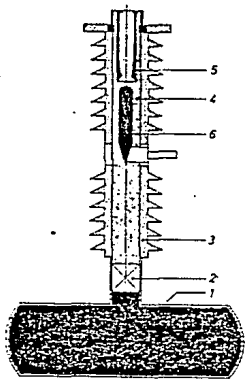
A medida que la corriente se aproxima a cero disminuye la energía del arco y aumenta el caudal del aire, tal como se ha dicho anteriormente, de tal forma que disminuye la profundidad de aire necesario en la tobera por encima del arco. Como consecuencia, el aire que rodea el arco se des-ioniza progresivamente, si en las proximidades del paso de la corriente por su valor cero es tal que durante el reestablecimiento de la tensión el aire de la tobera está suficientemente des-ionizado para que no pueda producirse el recebado del arco, este arco se extinguirá definitivamente. Por consiguiente, la capacidad de ruptura de un interruptor neumático es tanto mayor cuanto mayor es la presión del aire de soplado y cuanto mayor es la sección de la abertura de la tobera.

#### DISPOSITIVO DE RUPTURA.

El aire a presión, que como hemos visto, es el agente de extinción del arco, puede enviarse a éste por soplado axial o longitudinal y por soplado transversal.

Veamos como está constituida una cámara de ruptura de soplado axial, figura 10. En caso de desconexión el aire almacenado en un depósito 1 es expansionado al aire libre por la abertura de una válvula 2 y conducido por un aislador hueco 3, hasta la cámara de ruptura 4, el contacto móvil 5 es hueco y tiene la forma de una tobera. El arco formado entre este contacto y el contacto fijo 6 está en gran parte situado en el cuello de la tobera, de esta forma, se encuentra sometido a la acción de un chorro de aire que se desplaza a la velocidad del sonido y cuya presión es función directa de la presión en el depósito de almacenamiento del aire comprimido.

En los interruptores de soplado axial, un estudio preciso de las condiciones de soplado demuestra que ésta alcanza su máxima eficacia para una distancia bien determinada entre la tobera que constituye el contacto móvil y el vástago que forma el contacto fijo.



Cámara de ruptura de soplado axial: 1—Depósito de aire comprimido. 2—Válvula. 3—Aislador hueco. 4—Cámara de ruptura. 5—Contacto móvil. 6—Contacto fijo.

Figura 10.

Por otra parte en el principio del soplado transversal, el arco es soplado en una gran longitud entre pantallas gigantes que lo subdividen en varios arcos parciales, ayudando de esta forma a su extinción.

Asimismo, para tensiones muy altas se utilizan generalmente dispositivos de ruptura múltiple mediante el reparto de la tensión que debe cortarse. Esto es en el dispositivo de ruptura múltiple figura 11.

Los dispositivos de corte A están puenteados por las resistencias B y se monta además un dispositivo de corte auxiliar C, que a su vez, puede ser de ruptura simple o múltiple; para simplificar la explicación, supondremos que es de ruptura simple.

En la maniobra de desconexión del interruptor, se abre primero A y después C, transcurrido cierto intervalo de tiempo se vuelve a cerrar A,



permaneciendo abierto C. El dispositivo auxiliar C asegura el aislamiento en la posición de "interruptor abierto", así como el cierre de este mismo interruptor. Los contactos de A y C deben proveerse para soportar la corriente nominal, así como todas las sobreintensidades.

El dispositivo de ruptura múltiple paralelo figura 12, está constituido, como el anterior por dispositivos de corte principales A, resistencias de puentes B y dispositivos de corte auxiliares C; pero en este caso los dispositivos de corte auxiliares están montados en serie con cada resistencia de los puentes y, por lo tanto, en paralelo con los contactos principales. Cuando el interruptor está abierto, los contactos A y C permanecen también abiertos y la rigidez dieléctrica entre la entrada y la salida del interruptor se obtiene manteniendo éste bajo presión. Cuando se cierra el interruptor, solamente se cierran los contactos A, permanciendo abiertos los C. Si se quiere desconectar el interruptor, los contactos C se cierran, insertando las resistencias de puenteado B y después se abren los contactos A. Cuando se han abierto estos contactos se abren también los contactos C; así únicamente los contactos principales A, deben proveerse para asegurar el paso de la corriente nominal y soportar las sobreintensidades.

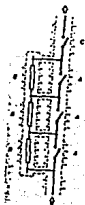


Figura 11

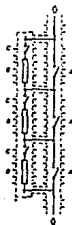


Figura 12

## INTERRUPTORES DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE SF<sub>6</sub>

Con la idea de poder hacer frente, más adecuadamente a los requisitos presentes y futuros, los constructores han buscado un nuevo fluido extintor que posea las ventajas de los existentes y que, al mismo tiempo, no tenga ninguno de sus inconvenientes. Hace algunos años, la firma "Westinghouse", pionera de la nueva técnica, realizó un examen sistemático de las características de los gases adecuados para la extinción del arco, seleccionó el hexafluoruro de azufre. Este es el único gas que posee reunidas las propiedades físicas, químicas y eléctricas favorables para la extinción de los arcos de los interruptores.

El uso del SF<sub>6</sub> en los equipos de interrupción de alta tensión han ido en constante progresión, empezando a ser utilizados en U.S.A. y actualmente está difundiendo en algunos países de Europa.

El SF<sub>6</sub> gaseoso es incoloro, inodoro, no tóxico y no flamable; es uno de los compuestos químicos más estables y también uno de los gases más pesados: a 20°C y presión atmosférica, su densidad es cinco veces la del aire.

Su coeficiente de transmisión del calor, a presión atmosférica, es 1.6 veces mayor que el del aire y a una presión de 2Kg/cm<sup>2</sup>, este coeficiente es, aproximadamente, 25 veces el del aire a presión atmosférica. Esta es una propiedad muy interesante, pues facilita una rápida disipación del calor y reduce de esta manera el aumento de temperatura del equipo.

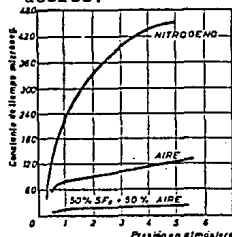
El hexafluoruro de azufre es un gas halógeno, cuya estructura molecular comprende un átomo de azufre central unido a seis átomos de fluor dispuestos en los vértices de un octaedro. El hexafluoruro de azufre es una de las sustancias más inertes conocidas; no ataca ningún material estructural a temperaturas inferiores a 500°C, y permanece estable a temperaturas a las cuales el aceite se oxida y descompone. A la temperatura del arco eléctrico se descompone en fluoruros de azufre inferiores, pero el grado de descomposición es muy pequeño debido a que la mayoría de productos

resultantes se recambian inmediatamente para formar de nuevo el hexafluoruro de azufre con el resultado de que este permanece intacto después de sucesivas rupturas. Las pequeñas cantidades de subproductos que puedan permanecer son absorbidas por alumina activada, dispuesta a tal efecto. Durante el paso del arco se producen fluoruros metálicos, los cuales se depositan como un polvo blanco, pero debido a que poseen una gran rigidez dieléctrica no causa perturbación desde el punto de vista eléctrico.

La rigidez dieléctrica del SF<sub>6</sub>, a presión atmosférica, es más del doble de la del aire (anhídrico carbónico o nitrógeno).

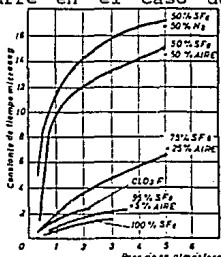
Como se puede ver, en la figura 13 y 14 la rigidez dieléctrica que es un 30% menor que la del aceite a presión atmosférica, aumenta rápidamente con el incremento de presión, alcanza un valor igual al del aceite a una presión de 650 g/cm<sup>2</sup> y a 1.25 kg/cm<sup>2</sup>, la rigidez dieléctrica del SF<sub>6</sub> es aproximadamente un 15% mayor que la del aire.

Un arco en hexafluoruro de azufre no produce ningún depósito de carbón, como ocurre en el caso del aceite.



Constantes de tiempo del nitrógeno, aire y una mezcla a partes iguales de hexafluoruro de azufre y aire.

Figura 13.



Constantes de tiempo, en función de la presión, de varias mezclas de hexafluoruro de azufre y aire.

Figura 14.

Como la densidad de SF<sub>6</sub> es cinco veces mayor que la del aire, la velocidad de difusión es extremadamente lenta. Una pequeña cantidad de aire no tiene, prácticamente, ninguna influencia en la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre.

El SF6 es uno de los gases más electronegativos, es decir: sus moléculas tienen una gran afinidad para los electrones libres, con los cuales se combinan para formar hexafluoruro de azufre (SF6) cargado negativamente junto con iones de pentafluoruro de azufre (SF5). Como estos iones son pesados y por lo tanto prácticamente inmóviles, no actúan como portadores de corriente, es esta cualidad excepcional del hexafluoruro de azufre la que le otorga sus excelentes propiedades dieléctricas y también su gran poder de extinción del arco.

Como las tensiones disruptivas (de perforación del aislamiento) en hexafluoruro de azufre, son 24 veces las observadas en el aire, es posible cortar en SF6, corrientes 100 veces mayores que aquellas que podrían ser cortadas en el aire bajo condiciones idénticas. La figura 16 muestra los resultados experimentales obtenidos, a varias presiones para una distancia de ruptura, de 7.5 mm a 2.3 KV. El problema de las velocidades de crecimiento de la tensión de reencendido, las cuales pueden alcanzar valores excesivamente elevados en el momento del corte (por ejemplo, en el "efecto kilométrico") ha sido especialmente estudiado.

M. Mayr ha deducido una fórmula que da el valor límite de la tensión de reencendido, después de que la corriente ha pasado por cero, por encima de la cual el arco se cerrará de nuevo.

$$E = \frac{E_0}{2^{1.75} (\Theta V)^2} \quad \text{voltios}$$

$E_0$  = Tensión del arco estabilizado.

$\Theta$  = Constante de tiempo de la columna del arco (tiempo que tarda la tensión del arco en tomar un valor inicial después de la perturbación).

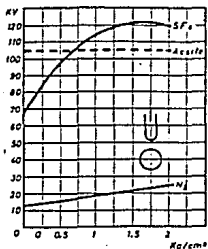
$$V = 2 \pi f \phi$$

La constante de tiempo  $\Theta$ , para el SF6 es 100 veces menor que la del aire, luego la tensión del reencendido permisible puede ser 100 veces mayor, en las figuras 15 y 16 vemos las constantes de tiempo para distintas sustancias y para diversas

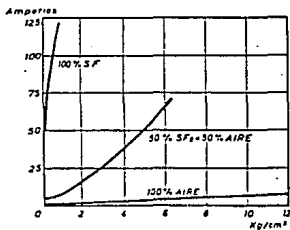
mezclas de SF<sub>6</sub> y otros cuerpos gaseosos. Como se ve, todas ellas son considerablemente mayores que en el SF<sub>6</sub> y bajo valor de la constante de tiempo se explica por la gran rapidez con que los electrones libres en el arco son capturados por las moléculas del gas. Esto explica porque un interruptor SF<sub>6</sub> no es influenciado por la frecuencias propias de la red, incluso las más elevadas.

Debido a las notables propiedades inherentes a este gas, el proceso de ruptura en los interruptores de SF<sub>6</sub> es completamente diferente al de las unidades de aire comprimido en un interruptor de aire comprimido. El principal factor que influye para la extinción del arco es la violenta distorsión de la columna del arco en una boquilla, la distorsión es proporcional a la longitud del arco, a la presión y a la velocidad del sonido. La velocidad del sonido en el SF<sub>6</sub> es un 40% menor que en el aire y como los arcos en los interruptores de SF<sub>6</sub> extinguen, al menos, tan rápidamente como en los de aire comprimido, necesariamente los fenómenos físicos que tienen lugar son diferentes.

En un interruptor de hexafluoruro de azufre, el arco se extingue por la disipación de calor radial en una cámara de soplado cilíndrica de un diámetro relativamente grande.



Curvas comparativas de la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre, aceite y nitrógeno.



Curvas comparativas de las corrientes cortadas a 2.3 kV en el aire, con una mezcla en partes iguales de hexafluoruro de azufre y con hexafluoruro de azufre puro.

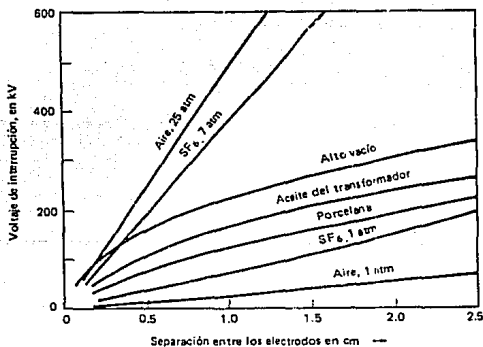
Figura 15

Figura 16

## INTERRUPTORES EN VACIO

Los principales medios aislantes son el aire atmosférico, algunos gases, 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 figura 17 se ilustra la resistencia a la interrupción de diversos materiales aislantes.



Resistencia a la interrupción de varios materiales aislantes.

Figura 17.

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.

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 de tubo, 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.

Abajo del intervalo tradicional, el alto vacío, y la trayectoria libre media de las moléculas del gas residual, son los que se vuelven muy grandes en comparación con el entrehierro entre los electrodos.

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 de la longitud 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 paredes, que son bombardeados por los electrones emitidos por el campo, más que de el medio en el que están sumergidos los electrodos.

Los contactos se vuelven rugosos después de arquear y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la interrupción.

Tal característica permite el empleo de entrehierros cortos en los interruptores al vacío y esto se traduce en la simplificación del mecanismo de operación y en el aumento de la velocidad de operación, en comparación con los interruptores convencionales.

#### CORTE DE LA CORRIENTE

Al disminuir la intensidad de la corriente, el arco tiende a extinguirse a un nivel 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 sople 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.

El nivel de la corriente al que ocurre el corte se puede reducir 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.

#### CARACTERISTICAS DE RECUPERACION DE LOS DISPOSITIVOS AL VACIO

Ya se dijo que el alto vacío posee una resistencia dieléctrica extremadamente alta. Al paso por la corriente cero, la mancha del cátodo se extingue dentro de 10 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 sopladadas a altas velocidades, hacia las paredes de vidrio donde se condensan.



Por las propiedades mencionadas de las características de interrupción al vacío, los interruptores que utilizan este medio de extinción pueden usarse 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.

### CONSTRUCCION DE LOS INTERRUPTORES DE VACIO

El interruptor de vacío es un dispositivo muy sencillo, en comparación con los interruptores en aceite y los de sople de aire. En éste van instalados dos contactos dentro de un alojamiento aislado y sellado al vacío. Uno está fijo y el otro puede moverse una distancia corta. Una protección metálica rodea los contactos y protege el aislamiento.

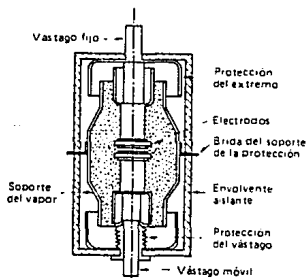


Figura 18.

En la figura 18 se ilustra el conjunto típico de interruptor al vacío, que consta de dos subensambles: a) la cámara de vacío y b) el mecanismo de operación.

a) Cámara de vacío.

Esta se fabrica de un material sintético: por ejemplo, espuma de uretano, la cual se aloja en un tubo exterior de plástico reforzado con fibra de vidrio o, simplemente, de vidrio o de porcelana; dentro de la cámara están dos contactos, una protección metálica y un fuelle metálico, estando la cámara sellada. Por razones que ya se mencionaron, los contactos deben ser puros y estar perfectamente desgasificados.

b) Mecanismo de operación.

El extremo inferior está fijo a un mecanismo accionado por resorte o por solenoide, de manera que el fuelle metálico que está dentro de la cámara se mueva hacia arriba y hacia abajo durante las operaciones de cierre y apertura, respectivamente.

#### 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 sin restablecimiento.

Estos son interruptores para conexión a alta velocidad y pueden tener muchas aplicaciones industriales.

## CAPITULO II

### OPERACION DEL INTERRUPTOR

#### 2.1 FALLAS EN INTERRUPTORES

En condiciones normales un sistema de generación, transmisión y distribución no experimenta otros cambios radicales que la natural conexión y desconexión de las cargas.

Para estos fines basta el empleo de apagadores y "switches" entendiéndose con estos nombres los interruptores de capacidad interruptiva igual a su capacidad conductora permanente, o sea, aquellos que al abrir el circuito cortan la corriente normal. Ningún sistema está a salvo de fallas de diversa índole por tiempo indefinido y tarde o temprano se presenta una situación insostenible que obliga a la desconexión inmediata de elementos dañados, o inservibles y perjudiciales para el resto del sistema, que solamente un verdadero interruptor puede efectuar, cortando en ese momento una corriente de intensidad muy superior a la normal, sin quedar destruido a su vez.

En consecuencia el estudio de las fallas es antecedente básico para la buena selección y operación de los interruptores principales.

En base al origen y naturaleza de las fallas, éstas pueden ser clasificadas en tres categorías: de aislamiento, de conducción y de operación.

#### A) FALLAS DE AISLAMIENTO

Se dice que hay fallas de aislamiento cuando una parte del material aislante o aire, que normalmente separa dos conductores distintos, o dos puntos de un mismo conductor o potenciales diferentes ceden a la presión eléctrica y deja pasar volúmenes indefinidos de corriente que no sigue la trayectoria normal señalada por la carga o por los elementos del circuito original.

1). Entre conductores aéreos y tierra, causada por desprendimientos del conductor del amarre que lo sostenía en el aislador, y contacto con la cruceta en postes o torres

de fierro, ruptura del aislador por causa mecánica y arco entre el alfiler y el conductor, contacto con ramas húmedas de árboles cercanos, techos metálicos, etc.

2). Entre el devanado de un transformador o sus terminales y tanque causadas por descenso excesivo del nivel del aceite o falta de rigidez de éste debido a humedad, carbón y gases.

3). Entre conductor y conductor de una línea aérea, causadas por: contacto directo, o acercamiento excesivo de ellos durante una tormenta o huracán, ruptura de conductores y caída de ellos sobre otros conductores.

4). Entre partes vivas del equipo de barras no separadas propiamente, o colocadas a distancias máximas y con las cuales puede hacer contacto un objeto metálico por accidente.

5). Entre bobinas o entre espiras de una misma fase de un generador polifásico, causadas por deterioro mecánico, térmico, humedecimiento, o transformación química de los materiales aislantes usados entre espira y espira.

Después de mencionar y hacer análisis de las fallas de aislamiento y darse cuenta de su gran variedad, resaltan los hechos siguientes:

a). Las fallas a tierra son numerosas y se presentan en todas las partes del sistema, como resultados de accidentes "causas de fuerza mayor" o desequilibrio entre la rigidez dieléctrica de los aislamientos y la tensión aplicada.

b). Las fallas de polo a polo, o trifásicas, ocurren en las líneas aéreas con motivo de cruzamiento y rayos.

c). En los sistemas conectados a tierra en el neutro o en un polo de manera permanente, una falla a tierra da lugar a sobreintensidades de magnitud suficiente para producir la operación de los interruptores de protección.

## **B) FALLAS DE CONDUCCION**

Se dice que hay falla de conducción cuando los elementos conductores de un sistema desaparecen o se reduce su conductancia longitudinal considerablemente, causando la interrupción indebida de una corriente o una caída de potencial exagerada.

Pueden ser:

1). En uno o varios de los cables de transmisión aérea, como resultado de esfuerzos excesivos durante huracanes, nevadas, caída de una torre, cuerpos extraños apoyados en la línea, corrosión de los hilos externos de cables de 7, 19 o más elementos, juntas y uniones mal hechas u oxidadas.

2). En las uniones y terminales de cables subterráneos, causadas por falta de soldadura o presión, oxidación de las superficies en contacto.

3). En los elementos del equipo de barras, causadas por falta de alineamiento de las mordazas y cuchillas de los desconectores, ruptura de fusibles.

4). En transformadores y reactores, causadas por desconposturas de los combinadores de radio, conexiones flojas en las boquillas, cuadro de terminales o devanados, ruptura de conductores por causas diversas.

5). En los generadores y excitadores, causadas por desconexión de juntas soldadas, bajo acción de un gran esfuerzo y alta temperatura local, falta de presión sobre los anillos o el conmutador, ruptura de cables sometidos a flexión repetida, destrucción de elementos del reostato de campo por sobrecarga.

Se deduce del exámen anterior que las fallas de conducción son originadas por "causas mayores" accidentes, desgaste y desajuste o deterioro lento bajo la acción del oxígeno, humedad y compuestos nitrosos formados por corona, alta temperatura y que la falta de revisión y detección oportuna permite su evolución natural.

### C) FALLAS DE OPERACION

Se da este nombre a las modificaciones anormales del funcionamiento de los elementos de un sistema que se apartan del plan establecido.

Las fallas de operación pueden ser:

a). En líneas aéreas, causadas por tempestades de nieve, tolvaneras, exceso de temperatura y baja de la presión barométrica y demás factores que favorecen el efecto corona.

- b). En cables, causadas por sobrecarga y exceso de temperatura que produce un aumento en las pérdidas por histeresis del aislamiento, lo cual agrava la causa primordial; resonancia parcial o total con elementos inductivos del mismo sistema.
- c). En equipos de control, causadas por desajuste, saturación o desperfecto de los relés de protección y operación, que dan origen a cambios indebidos, insuficiencia o inadaptación de reguladores de potencia, frecuencia, factor de potencia.
- d). En transformadores, causadas por cambio inadecuado de "taps" en unidades en paralelo, con formación de corrientes circulantes: apertura accidental de la delta en unidades trifásicas.
- e). En generadores y excitadores, causadas por falta ó exceso de corriente de campo, con desincronización ó factor de potencia bajo.

El análisis de las fallas de operación, indica que su origen radica en accidentes, errores, imprevistos, variaciones irremediables de carga, y que sus efectos son en gran parte de sobre carga o disminución de eficiencia y calidad en el servicio.

#### **Análisis comparativo entre fallas.**

Las fallas de aislamiento se distinguen por:

- a). Fuertes aumentos (más de 100%) en la intensidad de la corriente, excepto en caso de fallas a tierra en líneas aéreas, en las que la corriente de fallas puede ser de igual o menor intensidad de la normal.
- b). Disminución del potencial en el ó los hilos que fallan y a veces aumento de potencial en los hilos restantes.
- c). Disminución del factor de potencia, por ser las corrientes, de fallas atrasadas respecto al potencial, excepto en caso de falla a tierra, en que la corriente que escape puede estar casi en fase, por el elevado valor de R respecto a X.

Las fallas por conducción se descubren por:

- d). Desequilibrio en las corrientes de los conductores o cese completo de la transmisión.

e). Aumento de potencial en el conductor que falla y posible disminución en los potenciales restantes.

f). Desequilibrio en los argumentos de las corrientes respecto a los potenciales.

Las fallas de operación se manifiestan por:

g). Fuertes aumentos o disminuciones de intensidad, potencia o energía.

h). Cambios de sentido de la potencia.

i). Desequilibrio en las fases.

j). Aumentos de temperatura.

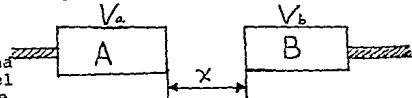
En consecuencia las fallas de operación tienen características semejantes a las de aislamiento y solamente el aumento de temperatura puede distinguirlas de las demás.

## 2.2 FENOMENOS DE INTERRUPCION:

Durante la operación de un interruptor se presentan diversos fenómenos de muy corta duración, que se suceden unos a otros con rapidez y que es posible analizar:

1). Cuando el interruptor está cerrado existe una presión, entre los electrodos A y B que van a separarse, que hace que el área de contacto sea máxima y la densidad de corriente resulte mínima.

Al iniciarse el movimiento, lo primero que ocurre es una disminución de presión y del área; y un aumento enorme de densidad de corriente respecto al área; después viene una elevación rapidísima de temperatura y emisión de electrones por áreas muy pequeñas.



2). El espacio que separa A de B es bombardeado por electrones e ionizados, es decir, fragmentos en partículas con carga eléctrica positiva y nuevos electrones, los que a su vez servirán de proyectiles para fragmentaciones posteriores, hasta encontrarse un estado de equilibrio en que el número de iones formado sea igual al de iones recombinados en igual tiempo. Como se sabe, es el movimiento

de iones lo que constituye la corriente en el espacio de separación.

3). Si la corriente es continua hay pocas probabilidades de que el arco se apague. Sería necesario alargarlo primero, y luego soplarlo violentamente, o ahogarlo en algún líquido aislante para desalojar la nube de iones.

También podrá introducirse en el arco un conjunto de cuerpos des-ionizantes que favorecieran la recombinación de iones, como el vapor de agua, gases simples, hidrocarburos en estado gaseoso o elementos sólidos, metálicos o no, que absorban las cargas y bajan la temperaturas del arco, pero si es alterna, a cada cambio de sentido se presenta una oportunidad para abrir el circuito y cortar la corriente.

4). Al pasar la corriente por cero para cambiar de sentido, el arco se apaga por un instante, debido a la falta de emisión de electrones en el cátodo, pero los gases permanecen ya sin iones libres, sometidos a un esfuerzo de polarización dieléctrica cuya intensidad depende del gradiente en el campo, es decir, de la relación entre la diferencia de potencial  $V_a - V_b$  y la distancia  $X$ , aproximadamente. Si el gradiente excede a cierta cifra que representa el mínimo necesario, la ionización se produce de nuevo por dislocaciones intermoleculares de las cargas básicas de los gases en cuestión, el arco se enciende y la corriente sigue fluyendo hasta que se presente otra oportunidad.

5). El gradiente mínimo de ionización depende de varios factores, la temperatura, presión, concentración de iones, naturaleza del medio, conformación del campo y otros. A mayor temperatura la ionización es más fácil, por aumento de energía de electrones y moléculas.

6). Cuando el arco se apaga, el medio situado entre A y B baja de temperatura, disminuye el número de iones, por recombinación espontánea o por acción de cuerpos des-ionizantes, y la rigidez y gradiente eléctrico suben con cierta rapidez, pero al mismo tiempo la diferencia de potencial  $V_a - V_b$  que, antes de apagarse el arco varía unas cuantas decenas de volts, sube al valor que corresponde a la tensión inducida en el generador combinando con las F.E.M. activas del circuito en ese instante.



### 2.3 GENERALIDADES SOBRE LOS ARCOS ELECTRICOS

El estudio del fenómeno de interrupción de la corriente constituye una interesante rama de la electrotecnia.

Durante la interrupción de la continuidad de un circuito eléctrico por un aparato de corte por el que circula una corriente, se comprueba la producción de una chispa o un arco entre las piezas en contacto.

Si la potencia cortada es pequeña, se obtiene una chispa; es decir, un destello o resplandor azulado extremadamente brillante que no daña a las piezas en contacto. Si la potencia alcanza cierta importancia, se produce un arco; es decir, una llama de un color netamente diferente del de la chispa. Además, después de la ruptura se observa que los contactos están desgastados en la zonas en que se originó el arco.

Según el vocabulario electrónico internacional, se define el arco como el fenómeno de la descarga de un gas, caracterizado por una concentración de la columna positiva y una mancha catódica de gran efecto emisorio fotoeléctrico y termoiónico. Además, la característica tensión-corriente es decreciente, o sea que, la resistencia eléctrica del arco es negativa. Se manifiesta como una columna gaseosa incandescente y esta constituido por un flujo de sección dada, compuesto de electrones e iones que provocan una temperatura muy elevada (del orden de los 5,000°C), dicho flujo constituye el núcleo del arco y esta rodeado por una envoltura, cuya naturaleza a causa de la elevada temperatura, puede ser muy diferente de la del medio inicial en el cual se desarrollo el arco.

Para asegurar el movimiento de los electrones hace falta un campo eléctrico, este campo eléctrico esta constituido por dos partes, una de ellas localizada en la vecindad inmediata de los electrodos y otra parte sensiblemente proporcional a la longitud del arco.

Por tanto, en un dominio muy limitado y para arcos estables, se puede expresar la caída de tensión  $V$  en un arco de longitud  $l$  o tensión de arco, por la fórmula:

$$V = \alpha + \beta l$$

$\alpha$  = Caídas de tensión anódica y catódica.

$\beta$  = Caída de tensión por unidad de longitud de la columna de arco.

Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  para contactos de una naturaleza determinada, para condiciones de medio de presión idénticas y para temperaturas dadas; son independientes de la corriente en el arco, es decir, que un arco no puede considerarse como una resistencia, sino más bien como un conducto cuya sección se ajusta automáticamente a la corriente que debe atravesarlo, de tal manera que una diferencia de potencial fija basta para asegurar el paso de cualquier corriente.

La potencia desarrollada en un arco es igual en cada instante al producto de la corriente en el arco por la tensión de arco, por lo cual no debe ser confundido con la potencia del circuito que se corte, que está expresada por el producto de la corriente por la tensión que se reestablece en los bornes del circuito después de la ruptura.

La energía absorbida por el arco durante la ruptura, vale:

$$W = \int_0^T V \cdot I \cdot dt$$

$V$  = Tensión del arco.

$I$  = Corriente

$T$  = Tiempo de duración del arco.

Esta energía se disipa por convección, por radiación y por conducción calorífica, así como también por descomposición del medio ambiente, tal es el caso de los interruptores en baño de aceite.

De la cantidad de calor que se produce en el arco, durante la ruptura, dependen los esfuerzos principales a que quedan sometidos muchos aparatos de ruptura. Si la energía desarrollada por el arco no es eliminada, la temperatura del

desarrollada por el arco no es eliminada, la temperatura del medio ambiente aumentará, y si se trata de un medio de capacidad fija, crecerá igualmente la presión en él; lo que puede producir fenómenos de descomposición del medio ambiente, con formación de gases, que pueden llegar a provocar la explosión de la cámara de ruptura.

#### 2.4 CONCEPTOS BASICOS GENERALES DEL DISEÑO DE LAS CAMARAS DE EXTINCIÓN

##### 1. En condiciones estables:

- a) Soportar las corrientes y sus efectos (calor, campos magnéticos) tanto en casos de circuitos en estado normal como en estado de falla eléctrica, cualquiera que esta sea.
- b) Soportar las tensiones y sus efectos en casos normales como de falla.
- c) Controlar la densidad del medio de extinción independiente de la temperatura y presión.
- d) Proporcionar una gran hermeticidad para evitar que el medio de extinción se escape, independientemente de la temperatura.
- e) No requerir rellenar o cambiar frecuentemente el medio de extinción.
- f) Evitar efectos de concentración de campo eléctrico.

##### 2. En condiciones transitorias:

- a) Tener un tiempo mínimo de respuesta total de interrupción para todos los casos de falla.
- b) Controlar la temperatura superficial del arco de tal forma que se pueda tener un comportamiento de la conductividad lo más cercano a la curva ideal.
- c) Proporcionar un medio dieléctrico al extinguir el arco lo suficientemente rígido para que no se presente la reignición del arco.

d) Controlar el flujo turbulento del gas extintor en una geometría cambiante a altas velocidades.

e) Concentrar el arco en la zona de los contactos diseñada para la extinción del mismo.

f) No soplar el arco de forma que las pequeñas corrientes lleguen a ser cortadas, creando sobretensiones peligrosas en circuitos inductivos.

Los progresos alcanzados en las cámaras de interrupción en función del medio de extinción se muestra en la figura 19.

Aquí se muestra el desarrollo de la capacidad interruptiva por unidad de cámara de interrupción en función del tiempo.

De este diagrama se desprende que los valores alcanzados más altos se han logrado empleando aire comprimido y SF<sub>6</sub>.

Otra forma de visualizar el progreso en el diseño de las cámaras de extinción se muestra en la figura 20.

En esta gráfica se ven las grandes ventajas de la cámara de interrupción en SF<sub>6</sub> para tensiones hasta 400 KV respecto al interruptor en poco volumen de aceite y al de aire comprimido.

El gran adelanto en el diseño de interruptores se ha logrado con el uso del gas SF<sub>6</sub>, (figura 20).

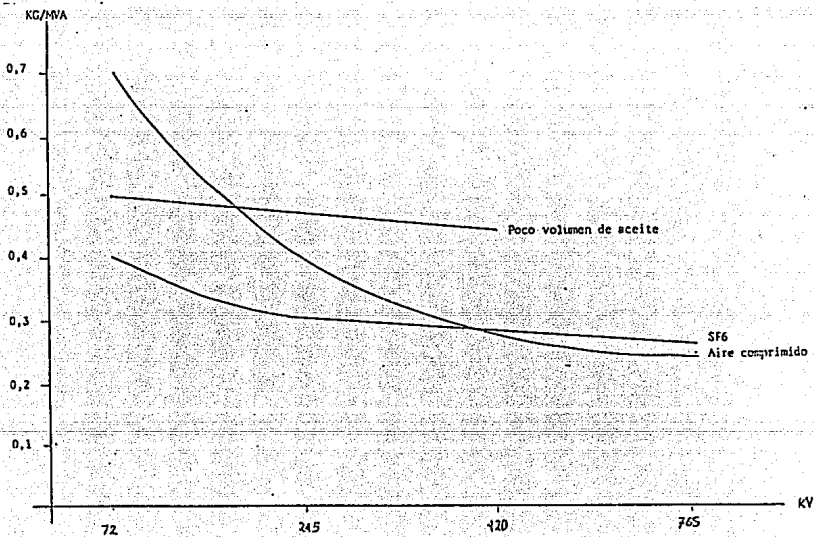


Figura 19.

# PROGRESOS EN LA TÉCNICA DE INTERRUPCIONES

Capacidad de interrupción en MVA por cámara de extinción Vs. años de estudio.

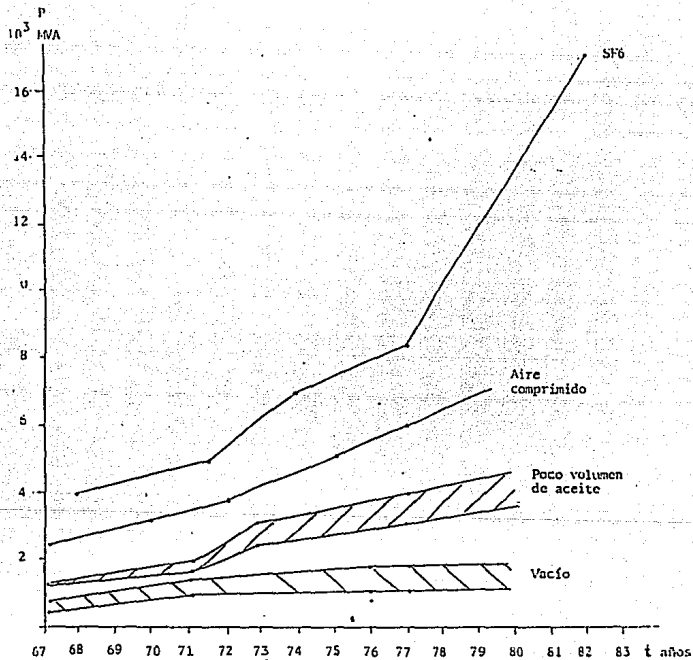


Figura 20.

## 2.5 EXTINCIÓN DE LOS ARCOS EN CORRIENTE ALTERNA

Existen dos procedimientos para obtener la extinción de los arcos en corriente alterna:

El primero consiste en aumentar la tensión de los bornes del arco, hasta que esta sea suficiente para equilibrar las fuerzas electromotrices del circuito. Para ello, se puede alargar el arco o bien aumentar los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ . Este primer procedimiento solamente se utiliza en los interruptores con soplado magnético.

Para comprender mejor el segundo procedimiento de extinción de un arco de corriente alterna, recordemos que esta corriente pasa por un valor nulo en cada semiperíodo. Si el interruptor fuera capaz de separar sus contactos en el momento preciso del paso de la corriente por este valor nulo y hacerlo con la velocidad suficiente para que, a causa de la separación entre dichos contactos, la tensión de reestablecimiento no pudiera encobar nuevamente el arco, el circuito quedaría interrumpido sin calentamiento en los contactos de ruptura.

En las condiciones actuales, tal hipótesis no es posible alcanzarla. El tiempo admisible de ruptura para redes de 50Hz debería ser del orden de la diezmilésima de segundo, y los interruptores actuales no cortan la corriente sino después de algunos semiperíodos, es decir, en un tiempo de varias centésimas de segundo. Lo que se hace es soplar el arco, alargándolo hasta que la longitud de éste es tan grande que la tensión de reestablecimiento resulta insuficiente para alimentarlo. Sin embargo, la extinción del arco por soplado es la más utilizada actualmente en los interruptores.

Por lo tanto, y excepto en el caso de corrientes muy débiles o tensiones reducidísimas, la ruptura tiene lugar siempre a través de un arco. Veamos cuales son las condiciones que deben cumplirse para que este arco se extinga:

## CONDICIONES DE EXTINCION DE LOS ARCOS

Cuando la corriente se ha anulado, los electrones deben cesar de circular, ya que el arco esta compuesto de electrones libres en movimiento, pero estos electrones permanecen todavía un cierto tiempo como electrones libres, es decir, que el medio permanece conductor durante el tiempo correspondiente, del mismo modo, en corriente alterna cuando la corriente disminuye hay un cierto retardo entre la sección del flujo de los electrones en movimiento y la sección del medio todavía ionizado.

Como resultado de esto es el que las características dinámicas del arco, es decir, cuando la corriente varia, no son las mismas que sus características estáticas y que los efectos de inercia señalados, mantienen una cierta conductividad del medio del arco después de la supresión de la corriente. Esta noción de retardo a la des-ionización del medio del arco tiene una gran importancia en la teoría de la extinción de los arcos en corriente alterna.

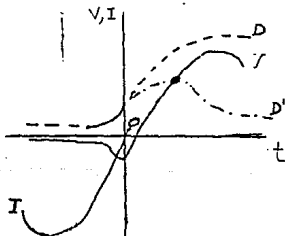


Figura 21.

Por lo tanto, después del paso por cero de la corriente, el trayecto del arco tarda un cierto tiempo para pasar del estado conductor, en el cual esta mantenido por el paso de la corriente, al estado aislante.

La  $V$  (fig. 21) representa la tensión aplicada entre los contactos, antes del paso de la corriente  $I$  por cero, es igual a la tensión de arco y toma luego un valor fijado por la fuerza eletromotriz del circuito, según una ley muy variable que depende de las características del circuito.



La curva D, representa la rigidez dieléctrica del medio del arco en función del tiempo. En tanto subsista el arco no es otra que la inversa de la tensión de arco; depende luego del estado de ionización del medio que separa los contactos y puede alcanzar en el límite, un valor correspondiente a la tensión de cebado entre los contactos después de una des-ionización completa.

Si, en cada instante, la rigidez dieléctrica D del medio atravesado por el arco es superior a la tensión de reestablecimiento V, la ruptura es definitiva. Si por el contrario, la rigidez dieléctrica se reestablece siguiendo la curva D y corta a la curva V en X, hay reencendido del arco; será necesario esperar al nuevo paso de la corriente por cero para realizar una nueva tentativa de ruptura.

Por lo tanto, de manera general podemos decir que el problema del corte de los arcos consiste en disponer los medios propios para asegurar la des-ionización del trayecto del arco, a una velocidad y a un nivel que permita hacer frente, en cada instante, a la tensión de reestablecimiento propia del circuito.

## CAPITULO III

### SELECCION DE INTERRUPTORES

#### 3.1 CONSIDERACIONES TECNICAS PARA LOS INTERRUPTORES

Para voltajes de 1500 volts a 3000 volts, los interruptores de aire ofrecen muchas ventajas y son más comunmente empleados que los interruptores de aceite. Los interruptores de aire son inherentemente rápidos en operación, libres de riesgo de incendiarse, requieren poco mantenimiento en servicio repetitivo, y por su bajo voltaje son simples, más compactos y más fáciles de maniobrar y manejar que los interruptores de aceite.

Estos interruptores pueden ser operados ya sea manualmente o eléctricamente (bajo algunas condiciones únicamente se recomienda operación eléctrica). También este interruptor representa muchas ventajas cuando las condiciones atmosféricas no son buenas, sólo es necesario montarlo en una adecuada estructura sellada.

Para servicio en interiores de 1.5 a 15 KV y arriba de - - 500 mva de servicio interruptivo, los interruptores de tipo magnético de aire en ensambles de vestidos metálicos se han convertido en los más predominantes, aunque los interruptores vestidos metálicos de aceite son también usados bajo condiciones atmosféricas adversas.

Aunque el tiempo de interrupción y el espacio requerido son los mismos para mediano voltaje en los interruptores de aire que en los de aceite.

Para servicio en interiores en un rango de interrupción abajo de 500 MVA, y por cualquier rango de voltaje entre 15 y 34.5 KV, los interruptores de aire comprimido montados en estaciones cubiculares se han convertido en los más usuales.

La práctica de interruptores en subestaciones a la intemperie es más variada que en servicio en interiores, ya que existe un rango muy amplio en los requerimientos. En subestaciones rurales y para líneas de transmisión, la carga normal y los KVA interruptivos son relativamente bajos, y aquellos factores como peligro de incendiarse, requerimientos de espacio, apariencia y mantenimiento rápido no son tan críticos. Para aquellos servicios de armazón montada, los interruptores de aceite con buses y los equipos

de seccionamiento desconectadores son frecuentemente usados por su bajo costo.

Para servicios externos urbanos o suburbanos arriba de 15 KV y arriba de 500 MVA de servicio interruptivo, la mayoría de las ventajas de el gatillo del equipo de seccionamiento de el metal vestido sin aceite (libre de peligro de incendiarse el aceite, compacto, apariencia, fácil de mantenimiento y flexibilidad) ha resultado en el uso de ese gatillo para la mayoría de estas subestaciones. El gatillo de metal vestido es usualmente conectado en la garganta con el transformador (es) aunque el techo de bushing a veces es usado, especialmente con transformadores monofásicos. La comparación de costos entre un gatillo abierto y un metal vestido varía con el voltaje y los KVA promedio, el tipo de estructura abierta usada, el costo de el estado real, las facilidades de maniobrabilidad de la utilería, y el método usado en estimar gastos generales y cargos fijos.

Los interruptores de aceite son usados donde las condiciones atmosféricas son severas, montados ya sean con bastidor o en estructuras de metal vestido.

Para servicio de exteriores en rangos arriba de 500 MVA y para todos los rangos de interrupción en voltajes entre 15 y 34.5 KV, los interruptores de aceite son esencialmente comunes.

Casi todos los circuitos interruptivos en rangos arriba de 34.5 KV son montados en exteriores y que son interruptores de aceite de el tipo de gran volumen de aceite. Predominando mecanismos de operación neumática y estos pueden ser ajustados para dar hasta 20 ciclos de recierre.

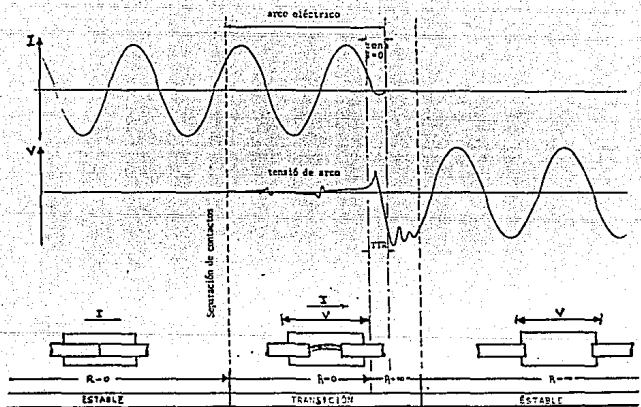
Algunas instalaciones experimentales han sido hechas de interruptores de explosión de aire o de pequeño volumen de aceite en voltajes altos y una tabla de rangos para esos interruptores esta incluida en estandares como una guía para sus seguimientos.

En el presente es difícil producir una instalación de poco volumen de aceite en interruptores exteriores teniendo unos transformadores de corriente y dispositivos de potencial para competir económicamente con los interruptores convencionales de aceite. También existen peligros por estructuras fracturadas de porcelana. Hasta ahora no hay indicaciones definitivas del lugar para el cual los interruptores se encontraran en práctica normal.

**COMPOSICION Y PRESION DE LOS GASES EN LAS CAMARAS DE INTERRUPCION**

Composición química	Composición nominal para efectos teóricos	Rango de presión aproximado	Aplicaciones
Aire 100%	Aire 100% ó a menudo N 100%	1 Atm	Interruptores de caída de arco
		5 Atm varios cientos Atm	a Interruptores de barrido de aire e interruptores de cargas a E.H. V.
H 70% Acetileno 25% CH 5% trazas de hidrocarburos	H 100%	1-3 Atm	Interruptores de aceite para cargas
		3-100 Atm	Interruptores aceite gran y poco vol. de aceite
SF6 100% aunque pueden contener aire o, N	SF6 100%	3-15 Atm	Interruptores SF6 de presión simple y doble e interruptores para cargas E.H.V.
Gas pesado H. CO y otros	Estudios teóricos no detallados	1-10 Atm	Interruptores de carga y fusibles de expulsión

A continuación se muestra la grafica 1, la cual presenta el comportamiento de la corriente y del voltaje al momento que los contactos de un interruptor se estan abriendo, pasando por un periodo de transicion.



GRAFICA 1

## RANGOS ESTANDARES DE INTERRUPTORES

Rango de voltaje.- En general a un interruptor es dado un rango de voltaje, el cual designa el máximo voltaje nominal del sistema para el cual el interruptor es intencionado y también un máximo voltaje designado el cual designa el máximo voltaje de operación para el cual fue intencionado. Para algunos interruptores de bajo voltaje esta distinción no se hace y el rango de voltaje deberá ser tomado como el máximo. Los rangos de voltaje de circuitos interruptivos de potencia es en términos de voltaje trifásicos de línea a línea.

Para lograr una correcta selección es necesario conocer el comportamiento en operación de los interruptores y para esto, indicaremos una secuencia de factores que nos marcarán la pauta para una correcta selección.

Es indudable, el valor de la estadística, que nos indica el comportamiento de los interruptores de potencia, pues además de ser una herramienta para decisión de adquirir futuros equipos nuevos, nos sirve para aprovechar la experiencia de fallas conocidas, y así evitar la repetición o prevención de las mismas donde aún no se haya presentado, por otra parte, en este tipo de estadísticas, hay indicadores específicos que son de gran utilidad para los fabricantes pues se tiene una gran población en servicio, con gran diversidad de marcas y aplicaciones, lo que proporciona un gran panorama de carácter mundial.

Considerando que para el ámbito interno de la C.F.E. el operar y mantener tantas marcas, es una gran desventaja porque además de tener diversificados los problemas. a). Se requiere capacitación diferente en los puntos especializados en cada tipo de interruptor. b). Se tiene gran cantidad de refacciones en almacenes, y c). Gran disponibilidad de refacciones, por tener distribuido a lo largo del sistema eléctrico todas las marcas mencionadas.

Para hacer un análisis más completo de la presentación del desarrollo de interruptores de potencia nos auxiliaremos de tablas, las cuales nos muestran los comportamientos en campo.

En el proceso de generación y transmisión es necesario instalar interruptores confiables debido a la potencia con la que se tiene que operar; así que primeramente se necesita tener información existente a nivel mundial sobre

interruptores de potencia, y así poder determinar con cierto grado de precisión la confiabilidad de estos equipos.

Así que después de analizar los tipos de interruptores y funcionamiento, es indispensable conocer la estadística de fallas, puesto que es la herramienta necesaria para una buena operación y mantenimiento, pues de ella se pueden conocer: tendencias, comportamientos y prevenciones de fallas futuras. Así que la estadística se aplica directamente en las subestaciones por los ingenieros de mantenimiento, y de esta forma se ha mejorado y contado cada vez con información más completa por parte de las regiones de transmisión.

Algo de valor para la estadística pero no conveniente para la operación y mantenimiento de interruptores es que al año 1990, se tiene un total de 6318 interruptores de potencia, diversificados en 39 marcas diferentes, que incluyen prácticamente todos los tipos de medios de extinción y mecanismos de operación existentes. Bajo esta premisa se presenta el resumen de la estadística de los últimos 10 años.

Para el análisis de comportamiento de los interruptores instalados en el ámbito nacional se presenta la tabla No. 1 identificado por región de transmisión y nivel de tensión.

Se puede ver que lo más sobresaliente, es la diversidad de marcas que se manejan, siendo las marcas con mayor cantidad: General Electric con 727, Mitsubishi con 718, Siemens con 641, Brown Boveri con 502, Energomex con 494, Sprecher y Schum con 467, Hitachi con 405 y AEG con 343.

En la tabla 2, se puede conocer la localización de un total de 6318 interruptores, así como su distribución de acuerdo al medio de extinción y tipo de mecanismos.

En cuanto a su localización, el 56.6% se tienen instalados en líneas de transmisión, el 27% en bancos de transformación, y el resto en los demás tipos de aplicación respecto a los medios de extinción de arco, el 62.6% son de gran o pequeño volumen de aceite, y el 28.4% de SF<sub>6</sub>, en lo que se refiere al tipo de mecanismo, lo más representativo, son los de resorte y neumático, con 37.4 y 43.4% de los 6138 interruptores respectivamente.

De las 546 fallas entre 1981-1990 en interruptores de 400KV y de acuerdo a la tabla 3, en el 32.8% ocurrió, en los instalados en líneas de transmisión, el 22.5% en máquinas y el 22.5% en interruptores de media tensión.

En la tensión de 230 KV de las 380 fallas el 50.3% ocurrieron en interruptores de línea y el 27.9% en bancos. De la misma forma en las tensiones menores y hasta 13.8 KV la mayoría de las fallas se presentaron en interruptores de línea o banco.

En cuanto a las tablas No. 4, 5 y 6, las marcas con mayor número de fallas en la tensión de 40 KV fueron Siemens con 195, Brown Boverly con 177, Merlo Gerin con 71, ASEA y AEG con 37 y 33 respectivamente, respecto a la tensión de 230 KV, las cuatro marcas con más fallas fueron Siemens, Brown Boverly, Magrini Galileo y AEG; En tensiones menores hasta 115KV fueron; Brown Boverly, Energomex, Merlo Gerin, Mitsubishi, y Magrini Galileo.

Analizando la tabla No. 7 se observa que 64% de las fallas son de origen mecánico y el 19% relacionado con auxiliares a control. De los elementos causantes de fallas, la tabla No. 8 indica que el 3% proviene de equipo auxiliar, el 24% del mecanismo de operación, el 21% de componentes de voltaje de servicio y el 20% del control o circuitos auxiliares.

Según el tipo de extinción de arco, en interruptores de 400 y 230 KV, el 57% son de SF6, el 33% son en aire, el 10% en pequeño volumen de aceite. En las tensiones de menores hasta 115 KV, el 37% corresponde a fallas en interruptores de gran volumen de aceite, el 29% en SF6, y el 28% en pequeño volumen de aceite (tabla 9 y 10).

De los tipos de mecanismos de operación para 400 y 230 KV, el 45% ocurrieron en los neumáticos y el 42% en los tipos hidráulicos. Para tensiones menores hasta 13.8 KV el 46% corresponde al tipo neumático, el 39% tipo de resorte, y el 12% hidráulico (ver tablas 11 y 12).

De la clasificación por tipo de causa (tabla No. 13) sobresale el 49% por diseño y fabricación, el 17% por mantenimiento incorrecto o faltante y el 14% por origen desconocido. Detallando la clasificación por fallas por dueño o fabricación, la tabla No. 14 describe las marcas en las que incidieron el mayor porcentaje de fallas: ASEA con 62%, Energomex con 61%, Siemens con 58%, Brown Boverly con 52%, Magrini Galileo con 50%, AEG con 48%, Delle Alsthom con 41% y Merlin Gerin con 40%.

Así que tenemos como conclusión las fallas más relevantes que se presentaron en este periodo para las siguientes marcas: Siemens, AEG, Brown Boverly, ASEA y Energomex.



## SIEMENS

En 1980, durante la entrada en servicio del sistema "Chicoasen-Julie-Temascal-Tecali-Topilejo", se presentaron problemas por roturas en barras de mando en los interruptores de 400 KV tipo 3 a 5. Esta falla consiste en desprendimiento de 1 o más secciones que componen la barra. Debido a falla mecánica, esto ocurrió con pocas operaciones y durante las pruebas de puesta en servicio.

En virtud de que este tipo de fallas se generalizó, se reemplazaron bajo garantía todas las barras de mando en las subestaciones Julie, Temascal, Topilejo, por otras con un diseño mejorado por parte de SIEMENS.

## AEG

En el año 1984 se presentaron explosiones en interruptores de 40 KV incidiendo más en cámaras de interruptores y resistencias de preinserción. Se efectuaron modificaciones al diseño, por parte del fabricante, en varias subestaciones de la red troncal.

## BROWN BOVERY

Desde 1984, se han tenido severos problemas en el sistema neumático, sobre todo en los anillos, pistones y bielas de compresores de 30 bars. Esta problemática se ha generalizado, y ha provocado gran indisponibilidad en interruptores de 230 y 115 KV principalmente. En 400 KV el problema mayor son fugas de aire, por falla en los empaques.

## ASEA

Con la entrada de los bancos de capacitores y reactores de potencia en la red de 40 KV; se presentaron fallas en contactos principales y mecanismos de operación en interruptores de 400 KV.

Hubo necesidad de realizar modificaciones en los mecanismos y acortar los mantenimientos preventivos de 2000 a 500 operaciones, de acuerdo con el fabricante.

## ENERGOMEX

En los dos tipos que se tienen en operación, se han presentado gran cantidad de fallas. En los de pequeño volumen de aceite, la incidencia de fallas ha sido en: explosión, desajustes y atascamientos de mecanismos durante operaciones de cierre y apertura, que ha obligado a reducir los mantenimientos y revisiones hasta dos veces por año. En los tipos SF<sub>6</sub>, las mayores ocurrencias son: ruptura de membrana de grafito y atascamiento en mecanismos de operación. Las regiones de transmisión con más fallas, descritas anteriormente son: noroeste, norte y peninsular, en las tensiones de 115, 34.5 y 13.8 KV.





TABLA NO. 2

INCREMENTO DE INTERFERENCIAS DE POTENCIA POR LOCALIZACION, TIPO EXTINCION Y MECANISMO A NIVEL NACIONAL.

1990

REGION	ORIENTAL	MATIZ	ORIENTE	ORIENTE	CENTRAL	CENTRAL	ORIENTE	ORIENTE	SUR	INFORMALES	PENSIOLAN	TOTAL NACIONAL	OTRAL																							
INTERFERENCIA	1254	115	115	115	230	115	115	115	230	115	115	115	115																							
LOCALIZACION																																				
LINEA	2 41	770	356	2 54	194	356	2 24	33	140	284	2 25	95	113	270	2 21	91	13	13	31	72	1 27	31	214	1 27	79	143	1 31	441	963	1900	13370					
TRINCH	1 23	167	147	2 22	412	110	1 11	33	123	518	1 21	48	74	142	2 23	54	44	30	1 15	23	42	2 21	3	3	28	29	1 16	40	144	1 16	33	1 34	119	439	704	11452
ZARZONA	1 9	22	14	1 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRANSACCION	1 14	20	1 21	14	9	2	10	20	4	3	24	25	14	25	14	3	12	13	2	2	13	2	2	7	15	3	1	11	2	1	1	1	1	1	1	1
CA. BUENA Y MALA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
DESCARAPAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
DESCARAPAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
OTROS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TOTAL	1130	336	474	1149	294	506	1 50	111	324	519	1 73	740	217	438	516	199	170	153	1 92	72	183	183	1 49	26	111	125	1 95	120	515	1 162	230	1 372	137	1915	2644	14310
TIPO DE EXTINCION DE AREA																																				
CAUSE INFORMAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
MAQ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
SACRIFICIO DE M.A.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
SACRIFICIO DE M.A.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TRINCH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TORNO-MADRET	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TOTAL	1130	336	474	1149	294	506	1 50	111	324	519	1 73	740	217	438	516	199	170	153	1 92	72	183	183	1 49	26	111	125	1 95	120	515	1 162	230	1 372	137	1915	2644	14310
TIPO DE MECANISMO																																				
TRINCH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TRINCH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TRINCH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TORNO-MADRET	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TORNO-MADRET	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	1130	336	474	1149	294	506	1 50	111	324	519	1 73	740	217	438	516	199	170	153	1 92	72	183	183	1 49	26	111	125	1 95	120	515	1 162	230	1 372	137	1915	2644	14310



TABLA NO. 3  
NUMERO DE FALLAS DE INTERRUPTOR SEGUN SU LOCALIZACION

PERIODO: 1981 - 1990

LOCALIZACION	1981 BV	1982 BV	1983 BV	1984-1985 BV	1986-1987 BV	1988-1989 BV	TOTAL
LINEA	153	179	116	54	191	41	625
RAMO	79	57	77	83	630	127	1303
INSTALACION	36	123	341	47	74	21	602
TRANSFORMACION	12	25	147	86	92	37	499
EN BUENAS O MEDIO	66	118	165	33	34	31	547
OTROS	3	3	152	14	37	6	211
TOTAL	272	346	544	227	643	407	2139

NUMERO DE FALLAS DE INTERRUPTORES DE 100 BV, POR LOCALIZACION Y POR AÑO

LOCALIZACION	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	TOTAL
LINEA	5	35	23	6	0	17	11	20	12	12	134
RAMO	0	0	5	2	3	2	2	10	9	6	57
INSTALACION	1	7	5	5	10	12	6	27	22	5	103
TRANSFORMACION	1	3	2	1	0	2	6	2	2	0	27
EN BUENAS O MEDIO	1	6	12	6	0	6	0	10	16	21	82
OTROS	1	0	6	2	3	9	6	6	5	9	67
TOTAL	9	57	51	27	32	48	36	78	68	58	535

54



TABLA NO 24  
NUMERO DE FALHAS SEGUN LOCALIZACION DEL INTERRUPTOR

PERIODO 1981 - 1990

LOCALIZACION	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	CANTIDAD NO FALHAS	1981-1990
LINEA	1	25	19	19	22	17	25	12	10	19	641	916
RAMAL	1	26	15	5	8	18	16	6	9	13	61	217
TRANSFORMER	1	1	0	0	4	1	0	1	0	5	26	41
TRANSFORMER EN BUSES (INT. Y MEDIO)	1	2	0	2	6	2	1	9	6	3	61	92
EN BUSES (INT. Y MEDIO)	1	1	0	0	3	3	2	3	3	11	34	51
TOTALES	1	6	0	0	0	1	0	6	1	21	777	610
TOTAL	1	47	41	26	34	33	42	43	25	42	957	1308

LOCALIZACION	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	CANTIDAD NO FALHAS	1981-1990
LINEA	1	12	11	10	21	25	19	27	36	34	251	511
RAMAL	1	2	4	9	14	11	14	17	10	12	24	130
TRANSFORMER	1	1	3	5	0	3	4	3	2	3	61	89
TRANSFORMER EN BUSES (INT. Y MEDIO)	1	3	0	3	2	1	3	4	6	4	0	34
EN BUSES (INT. Y MEDIO)	0	0	0	0	1	3	1	2	0	2	1	10
TOTALES	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	25	41
TOTAL	1	16	21	25	30	34	40	54	54	54	412	610

LOCALIZACION	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	CANTIDAD NO FALHAS	1981-1990
LINEA	1	0	23	27	24	64	39	68	16	27	57	318
RAMAL	1	3	4	2	11	6	12	7	9	10	12	74
TRANSFORMER	1	0	3	2	1	6	0	0	0	3	1	17
TRANSFORMER EN BUSES (INT. Y MEDIO)	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	4
EN BUSES (INT. Y MEDIO)	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	3
TOTALES	1	2	3	0	10	7	4	1	2	0	15	24
TOTAL	1	12	31	39	94	79	57	88	26	39	79	446



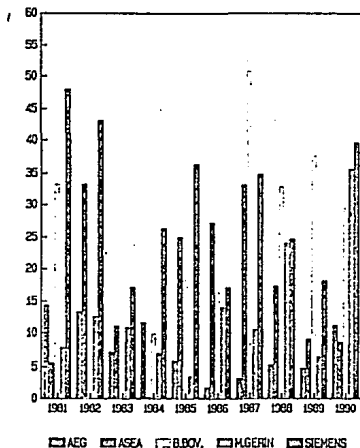
TABLA NO. 4  
NUMERO DE FALLAS POR MARCA Y TIPO DE FALLAS EN INTERRUPTORES DE 400 KV.

PERIODO 1 1981 - 1990

MARCA	AÑO										CANTIDAD DE FALLAS	% DE FALLAS	MAYOR MENOR		
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990					
SAEG	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	10	33	26,87	1	10
LAZER	1	18	1	1	1	1	1	1	1	1	23	37	140,87	1	1
SIEMENS BOMER	1	20	1	1	1	1	1	1	1	1	29	29	216,92	1	1
GEELLE ALSTHOM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	233,33	1	1
SHAWINIG GALILEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100,00	1	1
INVENTIN GERIN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	157,70	1	1
SIEMENS - IBER	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	207,40	1	1
SPRECHER & SEMAN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	62,50	1	1
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	144,77	1	1

TABLA NO. 4A  
INDICE DE FALLAS POR MARCA Y AÑO EN INTERRUPTORES DE 400 KV.

MARCA	AÑO										CANTIDAD DE FALLAS	% DE FALLAS	
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990			
SAEG	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	10	33	26,87
LAZER	1	18	1	1	1	1	1	1	1	1	23	37	140,87
SIEMENS BOMER	1	20	1	1	1	1	1	1	1	1	29	29	216,92
GEELLE ALSTHOM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	233,33
SHAWINIG GALILEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100,00
INVENTIN GERIN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	157,70
SIEMENS - IBER	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	207,40
SPRECHER & SEMAN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	62,50
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	144,77

INDICE DE FALLAS INTERRUPTORES 400 KV  
POR MARCA. ( 1981 - 1990 )

	AEG	ASEA	B.BOV.	MGERM	SIEMENS	SIL. MIL.
81 CANTIDAD	7	18	60	64	50	24.8
81 FALLAS	1	1	20	5	24	
82 CANTIDAD	15	18	49	64	51	22.0
82 FALLAS	2	6	11	8	22	
83 CANTIDAD	14	18	68	65	58	8.5
83 FALLAS	1	2	1	7	10	
84 CANTIDAD	43	24	71	57	53	11.2
84 FALLAS	5	0	7	4	14	
85 CANTIDAD	51	24	71	57	55	16.1
85 FALLAS	3	6	13	2	20	
86 CANTIDAD	58	22	73	57	64	12.0
86 FALLAS	1	6	12	8	11	
87 CANTIDAD	60	24	73	57	69	23.9
87 FALLAS	2	8	37	6	24	
88 CANTIDAD	76	23	73	50	74	18.9
88 FALLAS	4	4	24	12	18	
89 CANTIDAD	84	22	77	46	89	16.1
89 FALLAS	4	2	29	3	16	
90 CANTIDAD	90	23	78	45	93	26.3
90 FALLAS	10	2	23	16	36	





SUBDIRECCION DE PRODUCCION

Tabla No. 3  
 NUMERO DE FALLAS POR MARCA Y TIPO DE FALLAS EN TRANS. DE 230 KV.  
 PERIODO : 1981 - 1990

MARCA	1989										1990		230 KV	TIPO DE FALLA																	
	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS			171-0	RECOR															
DAEL	1	20	10	24	2	44	0	53	0	68	0	109	7	122	10	121	0	154	0	112	7	117	19	44.94	1	29	28	1			
DASEA	1	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2	0	2	0	1	0	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1		
DAEL	1	7	6	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	1		
DEMON BOWEN	1	63	9	31	15	56	9	67	2	81	7	81	6	115	11	119	10	120	6	110	7	153	93	56.29	1	29	46	2	1		
DELTA ALSTOM	1	25	0	10	0	20	0	25	1	20	1	20	3	20	0	20	0	20	2	20	2	20	12	48.00	1	4	0	0	2		
DELMAGWEST/NEA	1						2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2		
DEPA ELECTRIC	1				1	0	1	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	1	
DETRANT	1	4	6	2	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	1	
DETRAL SPEECHER	1						1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	
DETRAL BALLELO	1	29	19	29	10	29	3	29	2	29	2	29	12	29	4	30	3	32	3	41	0	41	23	67.61	1	10	53	1	0		
DETRAL BEPER	1						4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
DETRALISH	1	24	0	20	0	20	3	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	2
DETRALISH	1						2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
DETRALISH-IPA	1	137	9	135	5	144	5	145	10	147	10	150	11	157	10	152	10	152	10	152	10	152	110	21.90	1	53	57	5	0	2	
DETRALISH & SCHW	1	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0	99	0
DS & C	1																														
DETRALISH/NEA	1	14	0	12	1	15	0	12	1	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0
DS & A L	1	142	47	299	91	474	26	539	10	624	31	741	42	785	43	854	35	892	42	912	37	1	137	300	48.53	1	172	200	1	0	

INDICE DE FALLAS POR MARCA Y TIPO, EN INTERPOSICIONES DE 230 KV

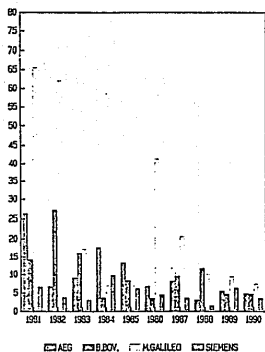
MARCA	1989										1990		230 KV	TIPO DE FALLA
	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS	CANT FALLAS		
DAEL	1	24.30	0.43	9.89	17.95	12.22	6.72	8.28	8.85	5.18	4.26	110.7	49	46.94
DASEA	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2	0	0.00
DAEL	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7	3	42.84
DEMON BOWEN	1	14.29	27.23	16.07	3.44	6.33	3.34	9.37	11.76	4.42	6.44	151	25	56.29
DELTA ALSTOM	1	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	10.00	17.33	0.00	6.67	3.33	30	12	48.00
DELMAGWEST/NEA	1													
DEPA ELECTRIC	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2	0	0.00
DETRANT	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3	5	164.67
DETRAL SPEECHER	1													
DETRAL BALLELO	1	63.52	62.07	17.21	4.90	4.90	41.30	29.69	10.00	9.30	9.32	91	70	170.22
DETRAL BEPER	1													
DETRALISH	1	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.27	3.09	77	0	10.21
DETRALISH	1													
DETRALISH-IPA	1	6.57	3.70	3.85	9.73	4.11	4.00	3.30	3.50	4.23	3.09	340	110	21.90
DETRALISH & SCHW	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	6	4	112
DS & C	1													
DETRALISH/NEA	1	0.00	7.69	0.00	3.23	6.67	0.00	0.00	12.22	0.00	6.67	13	0	48.00
DS & A L	1	10.51	10.26	5.46	0.00	5.21	5.67	5.40	4.10	6.71	3.95	127	200	48.57

58



SUBDIRECCION DE PRODUCCION

## INDICE DE FALLAS INTERRUPTORES 230 KV POR MARCA. ( 1981 - 1990 )

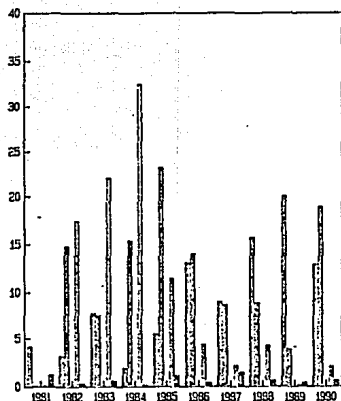


	AEG	B. BOYER	M. GALILEO	SIEMENS	ENS. NAL.
81 CANTIDAD FALLAS	38	63	29	137	10,51
82 CANTIDAD FALLAS	30	53	29	133	10,28
83 CANTIDAD FALLAS	44	56	29	164	5,46
84 CANTIDAD FALLAS	51	82	29	185	6,08
85 CANTIDAD FALLAS	60	84	29	229	5,21
86 CANTIDAD FALLAS	104	113	29	250	5,67
87 CANTIDAD FALLAS	122	115	29	279	5,48
88 CANTIDAD FALLAS	131	119	30	333	4,10
89 CANTIDAD FALLAS	146	130	32	337	4,71
90 CANTIDAD FALLAS	147	151	41	344	3,95




 TABLA NO. 44  
 INDICE DE FALLAS POR MARCA EN INTERRUPTORES DE 100-115 KV.  
 PERIODO: 1961 - 1964

MARCA DE INTERRUPTORES	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	TOTAL	CANTIDAD NO FALLAS	EFIC
INGE	0.0	0.0	25.0	0.0	4.7	2.7	0.7	3.6	2.7	7.0	102	27	26.21
INTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	7.1	11	3	21.63
INSA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1	0	1
SALLIS CALMER	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7	1	14.20
TERMAN BOWEN	4.1	3.1	7.7	1.7	5.5	12.0	0.6	15.7	20.0	12.0	210	176	80.73
TRILLI WILSON	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.7	0.0	0.0	21	0	19.85
TECHNOLOGIST/INTE	0.0	14.0	7.5	15.4	23.2	44.0	0.7	0.9	2.0	10.0	196	93	47.45
TRILLER ESCAMPA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13	0	0.00
GENERAL ELECTRIC	0.7	1.5	0.7	1.0	0.0	1.1	0.7	0.0	0.0	0.0	121	14	7.63
GEISNER	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	0
GEISNER	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	1	10.00
GEN	2.6	5.4	6.0	6.0	3.0	0.0	0.0	0.1	2.7	0.0	37	0	24.62
TEFE	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13	1	7.69
GENCO INMA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2	0.0	0.0	0.0	3	1	22.33
GENERAL ELECTRIC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	0
GENERAL ELECTRIC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	2.7	0.7	0.7	0.0	25	0	11.43
INDUSTRIAL	17.0	4.5	10.3	12.5	7.6	10.5	7.1	7.1	6.1	7.0	62	30	36.10
INC GENCO INMA	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0	5	0	80.00
GENERAL GENCO	0.0	17.0	22.0	22.5	11.4	0.3	2.1	6.2	0.0	2.0	31	27	72.55
INDUSTRIAL	1.2	0.2	0.6	0.0	1.1	0.0	1.4	0.6	0.6	0.6	497	31	6.93
GENERAL ELECTRIC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	1
INDUSTRIAL	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	0	16.47
INDUSTRIAL & SLAM	0.0	0.7	0.5	2.2	2.0	0.5	0.9	0.0	0.0	1.3	247	23	6.61
GE & C	0.0	0.0	4.0	3.9	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	12	0	8.70
GENERAL GENCO	0.0	0.0	2.1	1.2	6.6	2.4	4.6	4.2	0.0	1.7	127	25	16.12
GENERAL GENCO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	1
GENERAL GENCO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	1
INDUSTRIAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	0	15.63
TOTAL	1.5	2.0	2.7	2.7	3.7	3.1	3.0	3.6	3.0	4.7	1913	407	25.46

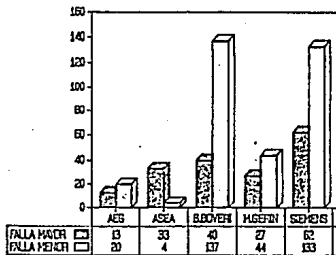
INDICÉ DE FALLAS INTERRUPTORES 161-115 KV  
POR MARCA. ( 1981 - 1990 )

■ B. BOV.      ■ ENERG. INV.      ■ M.GALILEO  
□ MGERIN      □ MITSUBISHI

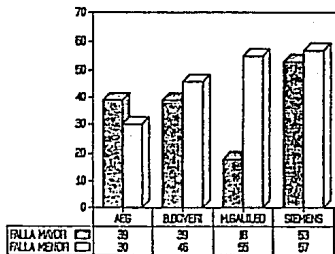
	B. BOVERI	ENERG. INV.	M.GALILEO	MGERIN	MITS.	IND. MAL.
81 CANTIDAD	121	13	28	40	418	1.5
FALLAS	5	0	5	0	5	
82 CANTIDAD	128	27	21	23	384	2.0
FALLAS	4	4	2	4	1	
83 CANTIDAD	143	40	28	41	479	2.7
FALLAS	11	3	3	9	3	
84 CANTIDAD	155	52	24	40	464	2.7
FALLAS	3	8	3	13	0	
85 CANTIDAD	165	56	27	44	472	3.7
FALLAS	9	13	2	5	5	
86 CANTIDAD	184	57	19	46	490	3.1
FALLAS	24	8	2	2	2	
87 CANTIDAD	201	69	28	47	499	3.4
FALLAS	18	6	2	1	7	
88 CANTIDAD	204	90	65	48	507	3.6
FALLAS	32	8	2	2	3	
89 CANTIDAD	210	155	74	50	495	3.3
FALLAS	42	6	3	0	2	
90 CANTIDAD	218	196	83	51	499	4.7
FALLAS	28	37	6	1	3	



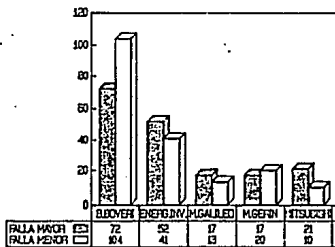
TENSION 400 KV



TENSION 230 KV.



TENSION 161 - 115 KV.



RELACION DE FALLAS MAYORES  
Y MENORES POR MARCA.

PERIODO: ( 1981 - 1990 )



SUBDIRECCION DE PRODUCCION

TABLA NO. 7  
NUMERO DE FALLAS POR 54 GRUPOS

PERIODO: 1961 - 1990

GRUPO	460 KV		220 KV		161-115 KV		TOTAL	
	CAANT. INT.	NO. FALLAS	CAANT. INT.	NO. FALLAS	CAANT. INT.	NO. FALLAS	CAANT. INT.	NO. FALLAS
MECANICO	2	24	1	27	1	26	4	58
ELECTRICO (C/2 PRINCIPAL)	1	27	3	29	1	27	5	74
ELECTRICO (COMBINA. Y AGU.)	1	109	28	61	16	99	28	209
OTROS	1	6	12	41	10	55	29	110
TOTAL	5	372	54	198	37	308	108	1212

TABLA NO. 8  
NUMERO DE FALLAS POR TIPO DE ELEMENTO CAUSANTE DE LA FALLA

PERIODO: 1961 - 1990

TIPO DE ELEMENTO	460 KV		220 KV		161-115 KV		TOTAL	
	CAANT. INT.	NO. FALLAS	CAANT. INT.	NO. FALLAS	CAANT. INT.	NO. FALLAS	CAANT. INT.	NO. FALLAS
COMPONENTES D	1	1	1	1	1	1	4	4
INSULADORES DE SERVICIO	1	123	24	70	21	61	56	214
CABLEADO PRINCIPAL EN TIERRA	1	16	2	10	3	22	21	48
ELEMENTOS ESTACIONALES EN TIERRA	1	3	1	0	0	0	4	0
SECCIONES DE CONTROL Y MONTAJES ELECTRICOS	1	124	23	33	14	62	61	214
MONTAJES DE OPERACION EN TIERRA	1	136	23	91	24	109	22	350
GRUPO AUXILIAR	1	1	1	1	1	1	4	4
TOTAL	5	372	54	198	37	308	108	1212

64







TABLA NO. 11  
 INDICE DE FALLAS SEGUN TIPO DE MECANISMO DE OPERACION  
 EN INTERRUPTORES DE 400 Y 230 KV.

PERIODO: 1981 - 1990

TIPO DE MECANISMO	CANTIDAD NO FALLAS 1981-1990	CANTIDAD NO FALLAS 1981-1990	CANTIDAD NO FALLAS 1981-1990	TOTAL
MECANICO	1 489	1 238	1 1	1 728
MECANICO	1 159	225	1 483	1 867
MECANICO	1 312	216	1 405	1 933
MECANICO	1 56	39	1 88	1 283
MECANICO	1 66	66	1 132	1 264
MECANICO	1 1	1 1	1 1	1 3
TOTAL	1 372	566	1 167	1 1045

PERIODO: 1981 - 1990

INDICE DE FALLA SEGUN TIPO DE MECANISMO DE OPERACION  
 EN INTERRUPTORES DE 161-115 KV Y MENORES

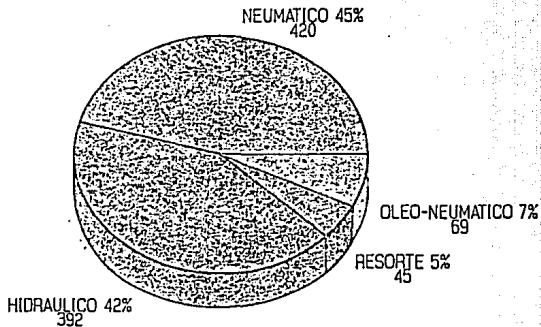
PERIODO: 1981 - 1990

TIPO DE MECANISMO	CANTIDAD NO FALLAS 1981-1990	CANTIDAD NO FALLAS 1981-1990	CANTIDAD NO FALLAS 1981-1990	TOTAL
MECANICO	1 1217	388	1 965	1 2162
MECANICO	1 276	95	1 371	1 827
MECANICO	1 917	91	1 1026	1 2162
MECANICO	1 3	1 32	1 119	1 154
TOTAL	1 1913	617	1 2630	1 3590



# NUMERO DE FALLAS POR TIPO DE MECANISMO EN INTERRUPTORES DE 400 Y 230 KV

PERIODO: ( 1981 - 1990 )



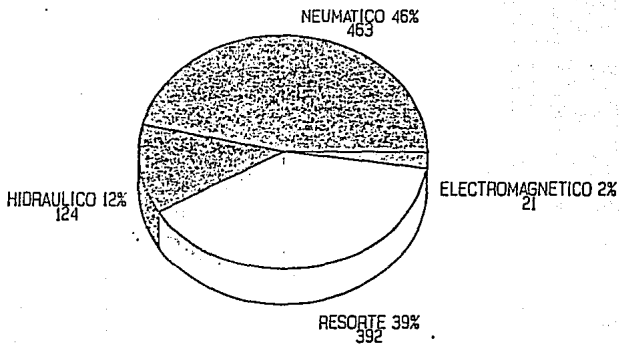
FALLAS TOTALES = 926



SUBDIRECCION DE PRODUCCION

## NUMERO DE FALLAS POR TIPO DE MECANISMO EN INTERRUPTORES DE 161 A 13.8 KV

PERIODO: ( 1981 - 1990 )



FALLAS TOTALES = 1000



SUBDIRECCION DE PRODUCCION

TABLA NO. 12  
NUMERO DE FALLAS POR TIPO DE CAUSA  
PERIODO: 1961 - 1960

TIPO DE CAUSA	1 900 BY	1 820 BY	1 2161-1112 BY	TOTAL	1 1 1
DISENO Y FABRICACION	1 276	1 183	1 225	1 484	1 49
TRANSPORTE Y ALMACENAJE	1 9	1 10	1 12	1 31	1 0
INSTRUCCIONES DE OP. Y MANTEN	1 1	1 1	1 1	1 3	1 1
LIQUIDADAS	1 33	1 32	1 28	1 93	1 7
NO SE SIEMPREN INSTRUCCIONES	1 1	1 1	1 1	1 3	1 1
SOE OPERACION	1 9	1 5	1 10	1 24	1 0
MANTEN INCORRECTO O FALTADE	1 49	1 67	1 80	1 196	1 12
REPERECCION DE LAS SUCESASION	1 1	1 1	1 1	1 3	1 0
SEÑALES ESPECIFICADAS	1 32	1 23	1 29	1 84	1 6
SEÑALES EXTERNAS (ANTENAS ETC)	1 17	1 3	1 13	1 33	1 0
ORIGEN DESCONOCIDO	1 79	1 35	1 48	1 202	1 16
TOTAL	1 146	1 350	1 407	1 1412	1 100

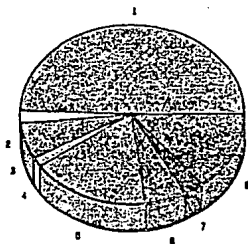
TABLA NO. 13  
NUMERO DE FALLAS POR MARCA Y MODIFICACION A DISENO O FABRICACION  
PERIODO: 1961 - 1960

M A R C A	1 400 BY		1 820 BY		1 61-1112 BY		T O T A L E S			
	TOTAL FALLAS	TOTAL FALLAS A DISENO	TOTAL FALLAS	TOTAL FALLAS A DISENO	TOTAL FALLAS	TOTAL FALLAS A DISENO	TOTAL FALLAS	TOTAL FALLAS A DISENO		
SAE	1 35	1 23	1 49	1 24	1 27	1 13	1 129	1 62	1 68	
SAE	1 1	1 3	1 0	1 2	1 0	1 0	1 5	1 0	1 0	
FALLAS CHAVIER	1 0	1 0	1 1	1 1	1 0	1 1	1 0	1 0	1 0	
INSE	1 0	1 37	1 23	1 0	1 0	1 0	1 27	1 23	1 42	
INFORM BOMBI	1 1	1 47	1 84	1 1	1 1	1 1	1 128	1 27	1 32	
INTELE MULTICOR	1 0	1 15	1 6	1 12	1 2	1 4	1 1	1 37	1 15	1 41
INTELEQUINTELE	1 0	1 1	1 6	1 4	1 94	1 55	1 100	1 61	1 61	
INTELE ELECTRIC	1 0	1 1	1 1	1 9	1 1	1 9	1 1	1 1	1 12	
INTELE	1 0	1 2	1 0	1 1	1 0	1 3	1 0	1 3	1 0	
INTE	1 0	1 1	1 1	1 2	1 0	1 2	1 0	1 2	1 0	
INTELE BOMBI	1 0	1 1	1 1	1 0	1 1	1 1	1 9	1 1	1 0	
INTELE SPEECH	1 0	1 1	1 1	1 4	1 1	1 4	1 1	1 4	1 10	
INTE	1 0	1 1	1 1	1 3	1 0	1 1	1 0	1 1	1 0	
INTE	1 0	1 1	1 1	1 0	1 1	1 0	1 1	1 0	1 25	
INTE BOMBI	1 0	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 115	1 11	1 10	
INTELE BALLE	1 1	1 10	1 6	1 7	1 20	1 10	1 11	1 100	1 41	1 40
INTELE BOMBI	1 0	1 7	1 28	1 0	1 1	1 37	1 1	1 100	1 41	1 40
INTELE	1 0	1 7	1 0	1 0	1 31	1 0	1 30	1 0	1 11	
INTELE	1 0	1 2	1 1	1 1	1 1	1 2	1 1	1 2	1 30	
INTELE	1 0	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 0	1 1	1 0	
INTELE	1 0	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 0	
INTELE	1 195	1 119	1 131	1 68	1 13	1 15	1 331	1 193	1 30	
INTELE	1 2	1 0	1 1	1 1	1 24	1 0	1 30	1 1	1 10	
INTELE	1 1	1 1	1 1	1 3	1 2	1 2	1 6	1 1	1 0	
INTELE	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 12	1 1	1 17	
INTELE	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 12	1 1	1 17	
TOTAL	1 146	1 276	1 350	1 183	1 407	1 220	1 1412	1 676	1 47	

69



## NUMERO DE FALLAS POR TIPO DE CAUSA DE 400 A 115 KV PERIODO: ( 1981 - 1990 )

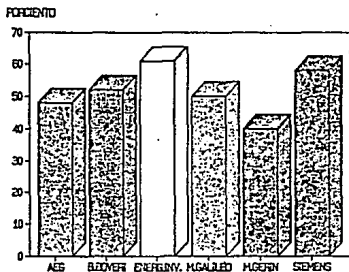


1- DEREZO O FABRICACION	4.25 %
2- TRANSPORTE Y ALMACENAJE	2.19 %
3- INSTRUCCIONES DE OPERACION Y MANTENIMIENTO INADECUADAS	6.53 %
4- NO SE SIGUIERON INSTRUCCIONES DE OPERACION	1.63 %
5- MANTENIMIENTO INEFECTIVO O FALTA DE MANTENIMIENTO	17.26 %
6- ESPERIDOS QUE SOBREPASARON LOS LIMITES ESPECIFICADOS	59.4 %
7- CAUSAS EXTERNAS (ANIMALES, ETC.)	2.78 %
8- ORIGEN DESCONOCIDO	14.23 %

FALLAS TOTALES = 1413

NUMERO DE FALLAS POR MARCA Y ADJUDICADAS  
A DISEÑO O FABRICACION

PERIODO: ( 1981 - 1990 )



MARCA	FALLAS TOTALES	FALLAS DE DISEÑO
AEG	129	62
BLOVER	438	227
ENERGY	100	61
MAGALLO	113	56
MAGERIN	108	43
SIEMENS	331	193

TOTAL DE FALLAS = 1413

TOTAL DE FALLAS POR DISEÑO = 696

### 3.2 PRUEBAS A INTERRUPTORES

Ahora presentemos los tipos de pruebas necesarias para realizarle a los interruptores. Para esto considérese que existen dos clases de pruebas: 1) Pruebas de tipo y 2) pruebas de verificación.

a) Pruebas de prestación. Esta es esencialmente de tipo y sirve para determinar la corriente de ruptura nominal y la corriente de cierre nominal. Para las mediciones debe emplearse el oscilógrafo catódico para poder registrar: La corriente de fase, la tensión de fase y la tensión del arco. El ciclo de trabajo correspondiente deberá repetirse un número suficiente de veces hasta tanto se pueda asegurar que se han verificado la más duras condiciones de funcionamiento.

b) Prueba de sobrecarga.

Esta sirve para comprobar que el interruptor está dispuesto para soportar la corriente de sobrecarga fijada.

c) Prueba de temperatura.

Esta prueba tiene por objeto comprobar el comportamiento del interruptor a los efectos del calentamiento con la corriente nominal. Posterior a la prueba, no debe haber efectos secundarios causados por la elevación de temperatura.

Como por ejemplo, si se esta probando con la corriente nominal un interruptor de aceite, la temperatura de régimen admitida respecto a la del aire ambiente, no debe superar los siguientes valores.

**ELEVACION DE TEMPERATURA ADMITIDA EN LOS INTERRUPTORES DE ACEITE**

INTENSIDAD DE CORRIENTE	SOBREELEVACION DE TEMPERATURA		TEMPERATURA MAXIMA	
	Aceite	Contactos	Aceite	Contactos
Hasta 2000 amp.	30°	40°	70°	80°
Más de 2000 amp.	40°	50°	80°	90°

Para las partes del interruptor formadas por los arrollamientos de las bobinas o similares, los límites de temperatura serán los fijos en las normas C.E.I. para los transformadores en seco. Cuando los interruptores deben ser instalados en lugares cuya altitud sea mayor de 1000 mts. los valores indicados anteriormente deberán reducirse en 1° cada 100 mts. que excedan de dicha altitud. La temperatura en el interior del interruptor deberá ser medida por medio de termómetro o de par termoeléctrico colocado en los puntos de mayor temperatura; la del ambiente se obtendrá, asimismo, por las indicaciones de tres termómetros situados a un metro de distancia del interruptor: uno a la altura de los contactos y los otros dos, el primero 50 cms. más alto y el segundo 50 cms. más bajo.

**d) Prueba de aislamiento.**

Esta prueba corresponde tanto al tipo como a la verificación. Su objeto es comprobar la aptitud del interruptor para funcionar a la tensión nominal y verificar la calidad de todo el material aislante. La tensión para la prueba de aislamiento, que se aplica tanto a los de interior como a los de exterior, deberá ser igual, en valor eficaz, a dos veces la tensión nominal más 10 000 voltios. La tensión de descarga en seco de los aisladores pasantes no será inferior a la tensión de prueba de aislamiento aumentada en 10% y con un incremento mínimo de 5,000 voltios. La tensión de descarga bajo lluvia de los pasantes del interruptor para trabajar al exterior, no será inferior a la tensión de prueba del aislamiento. La tensión para la prueba del interruptor completo se aplicará continuamente durante sesenta segundos; la frecuencia podrá tener cualquier valor comprendido entre 15 y 100 hertz y debe ser de forma sinusoidal según las normas de la C.E.I. la aplicación y la



medida de la tensión de prueba, deberá ser hecha conforme a lo preescrito por la C.E.I. para los ensayos de aislamiento de las máquinas. La prueba de tensión de descarga en seco y bajo lluvia se efectuará con arreglo a la modalidad fijada en las normas de la C.E.I. para el ensayo de los aisladores. Las pruebas de aislamiento del interruptor deberán hacerse en la siguiente forma:

- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 1. Interruptor cerrado: | Fase contra masa |
| 2. Interruptor cerrado: | Fase contra fase |
| 3. Interruptor abierto: | Fase contra masa |
| 4. Interruptor abierto: | Fase contra fase |

e) Prueba de resistencia mecánica.

Es una prueba de tipo y tiene por objeto controlar que toda la parte mecánica del interruptor, comprendido el mando, es suficientemente robusta y apta para el cometido que debe desempeñar.

Para dicha prueba es preciso someter al interruptor completamente montado a una sucesiva serie de aperturas y cierres cuyo número no sea inferior a 500. Después de esta prueba no precisará el interruptor ninguna reparación y ajuste.

f) Prueba de presión.

Es la prueba de resistencia de la caja a la presión interna, y debe convertirse en su caso entre el fabricante y el comprador.

g) Prueba de funcionamiento.

Esta prueba debe hacerse con el interruptor instalado y su objeto es comprobar la regularidad de montaje, especialmente en lo relativo al funcionamiento del mando y a la simultaneidad de la maniobra de los tres polos.

i) Placa de características.

Los interruptores deben ir provistos por el fabricante de una placa en la que se consigne: el nombre del constructor, el tipo de aparato, el número de fabricación y los siguientes datos:

1. Tensión nominal
2. Corriente nominal
3. Corriente de ruptura nominal en amperios (Eficaz)
4. Corriente de serie nominal en amperios (Máxima)

La caja del mando eléctrico llevará una placa característica indicando los datos esenciales para el buen uso del mando.

j) Prescripciones varias.

Los interruptores deben llevar un indicador del aceite que contienen, con señales de alturas máxima y mínima. Cuando un interruptor contenga más de 500 litros de aceite irá provisto de dispositivo para la descarga rápida del mismo.

Los dispositivos de mando deben ser tales que el equipo móvil no pueda permanecer en una posición intermedia entre las dos extremas de apertura y cierre.

k) Factor de potencia.

Como se habló al tratar las pruebas de resistencia de aislamiento con el uso del megger, un interruptor en gran volumen de aceite contiene un gran número de aislamientos dentro del tanque, a excepción de los bushings. Por lo que al efectuar la prueba de factor de potencia, el método a seguir es aplicar el potencial de prueba a cada uno de los seis conectores de cada bushing del interruptor. Cuando se aplica el potencial de esta manera al bushing, no solamente el aislamiento de éste, sino también el aceite y los aislamientos auxiliares dentro del tanque son estabilizados en el campo por el potencial de prueba.

Las pérdidas medidas serán por lo tanto, incluyendo las pérdidas del bushing, conectores, partes auxiliares, así como partículas semiconductoras de carbón formadas de la descomposición del aceite cuando se forma el arco en las superficies de los contactos. Las pruebas en los bushings, por lo tanto, constituyen una prueba indirecta en el aislamiento auxiliar del tanque.

Las pérdidas en los aislamientos auxiliares no son las mismas con el interruptor abierto que cerrado, porque el efecto del campo eléctrico en el aislamiento auxiliar no es el mismo para ambas condiciones de prueba.

En general se puede decir que las pérdidas en el tanque aislante con el interruptor cerrado difieren de las pérdidas que ocurren cuando un bushing sencillo se prueba con el interruptor abierto por las razones siguientes:

El dispositivo de conexión en la parte final de la barra de operación es energizado, alojando la barra en un campo fuerte e incrementando las pérdidas. El promedio de este campo se va incrementando ya que aumenta el número de partes energizadas. Esto tiende a incrementar las pérdidas de cualquier aislamiento tal como el aceite, el tanque, etc.

La comparación de las pérdidas obtenidas en la prueba con el interruptor cerrado y la suma de las pérdidas del mismo tanque en la prueba con el interruptor abierto, pueden ser utilizadas para analizar las condiciones del aislamiento. Por ejemplo: al efectuar las pruebas a un interruptor se obtienen los siguientes resultados:

BUSHING No.	KV	MVA	MN	% F.P	CONDICIONES DE AISLAMIENTO		
1	2.5	530	7	1.3	G		
2	2.5	530	7	1.3	G		
3	2.5	575	50	8.7	I		
4	2.5	530	6	1.1	G		
5	2.5	555	59	10.6	I		
6	2.5	560	61	10.9	I		
TANQUE 1	2.5	1200	64	5.2	XI	+50	
TANQUE 2	2.5	1110	60	5.4	XG	+ 4	
TANQUE 3	2.5	1060	24	2.3	XI	-96	

**NOTA:**

a). En bushings y aisladores;

G = Bueno

I = Investigar

b). En miembros de madera, aceite:

XG = Bueno

XI = Investigar

**Análisis de resultados obtenidos:**

**Análisis de la pruebas en el tanque No. 1.**

Pueden considerarse como normales los valores obtenidos en los bushings No. 1 y No. 2 en la prueba con el interruptor abierto.

Quando el interruptor es cerrado en este tanque las pérdidas en MW son más altas que la suma de las pérdidas en los bushings No. 1 y No. 2. Deberán considerarse las pérdidas en MW con signo (-) cuando se prueba el interruptor abierto y con signo (+) las pérdidas en MW obtenidas cuando se prueba el interruptor cerrado.

Por lo tanto, los valores obtenidos en la diferencia de las pérdidas nos dan una indicación que los bushings están buenos y que habrá que investigar las condiciones del aceite, o bien revisar el aislamiento auxiliar del tanque y las barras aisladas de levantamiento de contactos, así como, las guías de dichas barras.

#### Análisis de las pruebas en el tanque No. 2

Los resultados de las pruebas indican que el bushing No. 4 y el aislamiento auxiliar dentro del tanque está en buenas condiciones. El bushing No. 3 tiene un factor de potencia más alto que lo normal. Este bushing debe ser investigado y proceder a retirarlo para mayor investigación.

#### Análisis de las pruebas en el tanque No. 3.

La suma de las pérdidas con el interruptor abierto son más altas que las pérdidas con el interruptor cerrado y las pérdidas con el interruptor cerrado son ligeramente menos altas que lo normal; lo que indica dos cosas, que los ensambles guías o que el aislamiento de contacto de ensamble está considerablemente deteriorado. Este aislamiento deberá ser investigado.

Estos límites establecidos son generalmente aplicables a la mayoría de los tipos de interruptores. Algunos tipos tienen estos límites muy limitados o muy altos, ya que los elementos aislantes de madera porcelana o cualquier otro material; hacen que las pérdidas entre el interruptor abierto y cerrado sean muy grandes, lo más notable en este tipo de interruptores.

En las pruebas del interruptor abierto, las pérdidas en estas resistencias pueden ser medidas, pero en la prueba con el interruptor cerrado la resistencia es cortocircuitada. La suma de las pérdidas con el interruptor abierto pueden, en todo caso, ser mucho más altas que las pérdidas con el interruptor cerrado sin indicar una condición anormal.

1) Resistencias de contactos. La medición de la resistencia ohmica de los contactos de alta presión da una indicación del estado de los contactos debido a materias extrañas entre ellos, puentes flojos o conexiones flojas en los bushings. Cualquiera de estas condiciones si no es detectada en los periodos rutinarios de mantenimiento pueden ocasionar calentamientos y deterioro local de los contactos.

Para efectuar esta prueba se utiliza el óhmetro de baja resistencia (DUCTER). Este aparato utiliza una fuente de alta corriente para efectuar la medición y es muy importante que esta fuente se conecte adecuadamente con sus polaridades al aparato.

Los requerimientos para obtener resultados satisfactorios con el Ducter son:

- 1). El interruptor bajo prueba deberá estar desenergizado y sus contactos cerrados. No es importante o necesario que a dicho interruptor se le desconecten los cables de llegada a las terminales de los bushings.
- 2). El Ducter deberá colocarse cerca del equipo de prueba en una base nivelada y evitar los campos magnéticos intensos. Las terminales o puentes de prueba deberán conectarse adecuadamente con sus respectivas marcas al aparato. La resistencia a medir siempre deberá estar entre las marcas "p", indicadas en las puntas terminales ya que ésta es la línea de potencial a la resistencia por medir.

El contacto final de las puntas de los puentes en las terminales de los bushings del interruptor bajo prueba deberán presionarse fuertemente con el objeto de establecer un buen contacto. Es mucho muy importante que durante la medición no se abran los contactos del interruptor ya que éste ocasionará que se les aplique al galvanómetro del aparato el voltaje pleno de la fuente pudiendo dañarlo si la protección del mismo no opera correctamente.

Esta protección, la lleva dentro el aparato y la señal de que operó, la indica el elemento en forma de elipse alargada al centro de la escala. La cual al haber operado se abre siendo posible su reestablecimiento presionando el botón marcado en el aparato como (reset to cut-out) a menos de que se conozca aproximadamente el valor de la resistencia bajo prueba, esta se empieza con el selector colocado en su valor máximo y se baja gradualmente hasta que se obtenga la lectura más precisa.

ESTA COPIA NO DEBE  
SER DE LA BIBLIOTECA

### 3.3 DATOS PRACTICOS A CONSIDERAR EN LA ADOUSICION DE UN INTERRUPTOR.

Pensando que se desea adquirir un interruptor, es necesario conocer algunos puntos indispensables para poder solicitarlo correctamente, y estos son los siguientes:

- a) Tensión nominal o de ejercicio (eficaz).
- b) Corriente nominal (máxima intensidad de la corriente de fase, expresada en valor eficaz que puede soportar en servicio continuo cada polo del interruptor).
- c) Frecuencia nominal.
- d) Corriente de sobrecarga (el más alto valor eficaz de la corriente que puede atravesar el interruptor, durante cinco segundos, sin que este sufra daños).
- e) Corriente de ruptura nominal (el máximo valor eficaz de la corriente de ruptura, compatible con una determinada prestación del interruptor).
- f) Corriente de cierre nominal (el valor instantáneo máximo de la primera semionda de la corriente, comprendida la componente unidireccional que se encuentra en un circuito en el acto de su cierre).
- g) Prestación. Este valor, según las normas y para una determinada corriente de ruptura, debe constar de un solo ciclo de trabajo.

## INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA EN SF6

### I.- Cámara de interrupción

#### Reemplazo de contactos:

Después	de	5000	operaciones	a	3	KA
"	"	2000	"	"	5	"
"	"	450	"	"	10	"
"	"	110	"	"	20	"
"	"	65	"	"	25	"
"	"	40	"	"	31,5	"
"	"	25	"	"	40	"
"	"	18	"	"	50	"

### II.- Compresor

Revisión después de 2000 horas de trabajo efectivas; esto es para una relación de 10/20/40 litros/hora el periodo de servicio sin mantenimiento es:

20 años con 300 C-A por año  
10 años con 500 C-A por año  
5 años con 2000 C-A por año

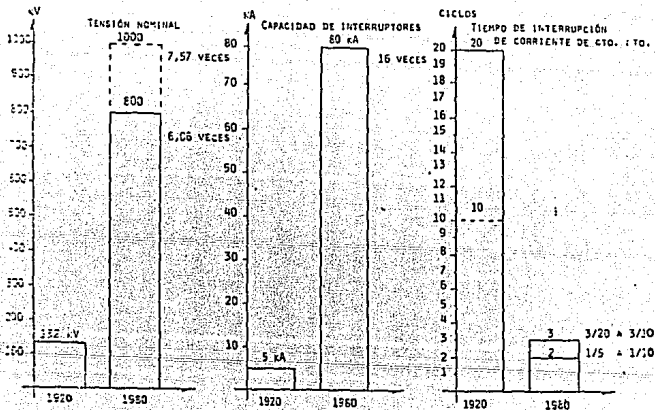
### III.-Periodos de revisión del interruptor

Revisión de los sistemas de sellado (juntas) después de 5000 operaciones.

A su vez se anexa la grafica 2, que nos muestra la comparacion del avance que se ha tenido en cuanto a la tecnologia aplicada para el mejoramiento en cuanto al manejo de la tension nominal, capacidad interruptiva, y tiempo de interrupcion.



COMPARACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS DE INTERRUCCIÓN DE FALLAS DE CORTO CIRCUITO EN INTERRUPTOR -  
TORNOS ESTÁNDAR DE HACE 60 AÑOS Y ACTUALES



GRAFICA 2

### 3.4 REGLAMENTACION DE COMPRA-VENTA DE INTERRUPTORES.

Datos a facilitar por el solicitante y por la empresa suministradora.

Corresponde manifestar a la empresa propietaria o concesionaria de la línea principal los siguientes extremos.

- a) Tensión de servicio en el punto en donde ha de establecerse la derivación.
- b) Apoyo del que ha de partir la derivación.
- c) Cálculo de la potencia de cortocircuito en dicho punto.
- d) Corresponde poner de manifiesto al solicitante de la derivación los extremos siguientes:
  - 1) Plano de emplazamiento de la instalación que se proyecta llevar a cabo.
  - 2) Número, potencia, características y situación en la red, de los transformadores a instalar.
  - 3) Potencia aproximada a instalar en receptores.
  - 4) Situación de los puntos de consumo más importantes.
  - 5) Previsión de futuras ampliaciones, con datos aproximados de los diversos extremos reseñados en los cuatro apartados anteriores.

Los datos a), b) y c) serán facilitados por la empresa suministradora al solicitante de la derivación, quien los unirá al proyecto a presentar, en el supuesto de que el

suministro de energía se hubiese estipulado con la obligación, por parte del solicitante de la derivación, de establecer por su cuenta la línea y los aparatos de mando, medida y maniobra. En caso de establecer la propia empresa suministradora o propietaria de la línea principal, será esta quien presentará los documentos aludidos.

La empresa suministradora podrá recusar el establecimiento del material propuesto por el solicitante de la derivación. (interruptores, seccionadores, fusibles, aparatos de medida y, en general, todos aparatos de mando, medida y maniobra a establecer en la derivación), o la disposición adoptada por el mismo para realizar la instalación, si estima que no reúne las garantías y condiciones adecuadas al caso a considerar, presentando documentalmente las justificaciones pertinentes ante el servicio provincial correspondiente, quien decidirá y conta cuya resolución podrá interponerse recurso de inconformidad ante la dirección general de industria.

## CAPITULO IV

### 4.1 EJEMPLO Y CONCLUSIONES

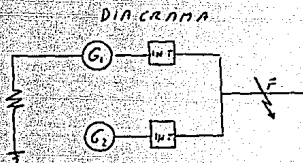
#### EJEMPLO

### EJEMPLO:

SE TIENE UNA SUBESTACION PROTEGIDA POR DOS INTERRUPTORES CON EL OBJETO DE MANTENER LA CONTINUIDAD DEL SERVICIO. ESTO ES QUE SE LE PUEDE DAR MANTENIMIENTO A UNO DE ELLOS Y EL OTRO SIGUE OPERANDO.

PARA VISUALIZAR MEJOR EL EJEMPLO ANALIZEMOS EL CASO DE UN SISTEMA TRIFASICO CON 2 GENERADORES DE 20 MVA CADA UNO, CON UN VOLTASE DE 6.6 KV. EN DICHO SISTEMA SE PRESENTA UNA FALLA Y CONTAMOS CON LOS SIGS. DATOS:

	GEN (j)	LINIA (jΩ)
$X_{11}$	j0.15	j0.3 Ω
$X_{22}$	j0.10	j0.3 Ω
$X_{L0}$	j0.05	j0.6 Ω



\* CALCULAR LA CORRIENTE DE FALLA.

SOL:

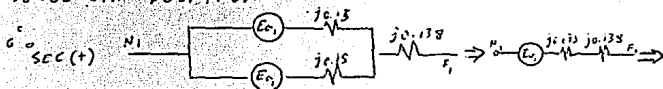
PASANDO LOS VALORES DE Ω A P. UNIDAD NOS QUEDA:

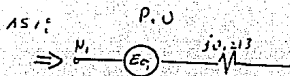
$$Z_1 = \frac{j0.3 \times 20}{(6.6)^2} = j0.138 \text{ P.U.}$$

$$Z_2 = \frac{j0.3 \times 20}{(6.6)^2} = j0.138 \text{ P.U.}$$

$$Z_0 = \frac{j0.6 \times 20}{(6.6)^2} = j0.276 \text{ P.U.}$$

COMO EL SISTEMA ESTA BALANCEADO, SOLU TENEMOS SECUENCIA POSITIVA





∴ EL VOLTAJE DE BASE ES:

$$V_B = \frac{6.6 \text{ KV}}{\sqrt{3}} = 3810 \text{ V}$$

ASI MISMO LA CORRIENTE DE BASE ES:

$$I_B = \frac{S_B}{3(V_B)} = \frac{20 \text{ MVA}}{3(3810 \text{ V})}$$

$$I_B = 1750 \text{ A}$$

LUEGO PARA ENCONTRAR LA CORRIENTE DE C.C. TENEMOS:

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{E}_0}{Z_{11}} \quad \text{PERO } \tilde{E}_0 = 1$$

NOS QUEDA

$$\tilde{I}_0 = \frac{1}{j0.213} = 4.69 \angle -90^\circ$$

ASI QUE  $\tilde{I} = 4.69 (I_B)$

$$\tilde{I} = 4.69 (1750)$$

∴

$$\tilde{I} = 8207.5 \angle -90^\circ \text{ A}$$

DE ESTA FORMA NOS DAMOS CUENTA QUE SE REQUIERE PROTEGER EL SISTEMA CONTRA UNA  $I_{cc} = 8207.5 A.$  Y QUE ADEMÁS ES NECESARIO QUE EL INTERRUPTOR SEA ECONÓMICO, CONSIDERANDO QUE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS SON SEVERAS.

ASI QUE TOMANDO LOS DATOS YA OBTENIDOS PODEMOS RECOMENDAR UNA SERIE DE INTERRUPTORES APTOS PARA OPERAR CONFIABLEMENTE Y ESTO ES BASANDONOS EN LA INFORMACION PROPORCIONADA POR LA PRESENTE TESIS.

INTERRUPTORES RECOMENDABLES:	COSTO
INT. EN PEQUEÑO VOL. DE ACEITE	\$ ¢
INT. EN GRAN VOL. DE ACEITE	\$ ¢
INT. NEUMÁTICO	\$

ESTOS TIPOS NOS CONTRIBUYEN AL REDEDOR DE 14KA.  $\frac{4}{U}$

EL INT. NEUMÁTICO ES MUY RÁPIDO EN OPERACION, LIBRE DE RIESGO DE INCENDIARSE, REQUIEREN POCO MANTENIMIENTO EN SERVICIO REPETITIVO, SON COMPACTOS, Y EN TIEMPOS DE OPERACION SON MUY SIMILARES A LOS DE ACEITE. (RÁPIDOS)

PARA LOS INTERRUPTORES DE ACEITE PODEMOS DECIR QUE

- LOS TIEMPOS DE OPERACION SON MUY CORTOS
- CONSTRUCCION SENCILLA (BAJO COSTO DE PIEZAS DE REPOSTO)
- PODEE EFECTUAR RECIERRES CON TIEMPOS MINIMOS Y POTENCIAS DE CORTO CIRCUITO ELEVADAS
- EL MANTENIMIENTO ES SENCILLO, RÁPIDO NO TIENE PELIGRO DE INCENDIO

POR CONSEQUENTE SE RECOMIENDA EL INTERRUPTOR DE PEQUEÑO VOL. DE ACEITE POR SU APROXIMACION MAS PRECISA A NUESTRO PROBLEMA PUESTO QUE CUBRE: ECONOMIA, CONFIABILIDAD, TIEMPO DE OPERACION MUY RÁPIDO, PRACTICO, COMPACTO Y SOBRETUDO SEGURO (LIBRE DE RIESGOS). YA QUE SOPORTA LAS INCREMENTAS DEL TIEMPO Y PARA ESTO NOS BASAMOS

EN LA RECOPIACION DE DATOS PRACTICOS OCURRIDOS DURANTE  
UNA DECADA A NIVEL NACIONAL PROPORCIONADOS POR C.F.E

INTERRUPTOR	% DE FALLAS
SFC	57%
AIRG	33%
PEQUEÑO VCL. DE ACEITE	10%

FALLAS POR EL TIPO DE EXTINCION, EN LAS CUALES  
LOS PORCENTAJES SON PROPORCIONALES PARA CUALQUIER  
TIPO DE FALLA.

ASI PODEMOS CONCLUIR QUE EL INTERRUPTOR PROPUESTO ES  
MUY CONFIABLE DEBIDO A QUE EN EL MOMENTO NECESARIO  
LIBRA LA FALLA MUY RAPIDO Y SOBRETUDO EL TIEMPO  
DE RECIERRE ES PRECISO PARA LA PROTECCION DEL  
SISTEMA.



## CONCLUSIONES

Considerando el desarrollo del presente trabajo, nos podemos dar cuenta que el tema no presenta ninguna dificultad para la buena elección de los interruptores, ya que se presentan los diferentes tipos existentes más recomendables, así como sus características principales referentes a ventajas y desventajas según su aplicación, anexando también sus explicaciones de operación, complejidad, construcción, capacidad, materiales, componentes, capacidades de interrupción y reestablecimiento, las cuales determinan el grado de confiabilidad del sistema (siempre y cuando los equipos y sistemas alternos también tomen en cuenta y se elijan para que funcionen como un "sistema" uno dependiente del otro y compatibles en necesidades y características).

Todas las gráficas, tablas y figuras que enriquecen el contenido cubren la función de facilitar el entendimiento del tema y plasmar con muy poco texto y poco espacio una ayuda con mucha información y facilidad de comprensión.

El trabajo anteriormente mostrado, da bases teóricas obtenidas en cuestión de los diseños de las características de los propios interruptores, así como muestra el factor histórico durante 10 años de experiencia de la C.F.E.

Para que el lector utilice la teoría y la práctica (y a su vez el factor económico concerniente al momento de la decisión y recursos existentes para ello), y esto lleve a tomar una mejor decisión fundamentada al momento de la planeación para la adquisición de un interruptor.

Finalmente se concluye que para la buena selección de un interruptor, los criterios a considerar son:

- a) Normatividad
- b) Costos
- c) Tiempos de interrupción
- d) Capacidad del interruptor
- e) Medio ambiente
- f) Funcionabilidad
- g) Potencia
- h) Tecnología
- i) Mantenimiento y refacciones
- j) Confiabilidad
- k) Estructura y espacio

# A P E N D I C E

## ESPECIFICACION CFE V5000-01

### OBJETIVO Y APLICACION EN CAMPO

Esta especificacion tiene por objeto establecer las caracterísitcas y requerimientos de compra que deben reunir los interruptores de potencia, servicio a intemperie, trifásicos, autocontenidos, para sistemas con tensiones nominales de 115 a 400 KV ,con frecuencia de 60 Hertz.

Esta especificación tiene definiciones aplicables a los interruptores de potencia que corresponden a las establecidas en las normas IEC-56-1 y NOM-J-211

#### ALCANCE DEL SUMINISTRO

El alcance del suministro debe incluir el diseño, fabricación, pruebas, acabados y embarque de cada uno de los interruptores solicitados. A continuación se hace una relación de los equipos, accesorios y servicios que integran el suministro de los interruptores trifásicos solicitados:

- a) Cámaras de extinción y columnas de aisladores soporte.
- b) Mecanismo (s) de operación
- c) Bastidore (s) soporte
- d) Gabinete (s) de control
- e) Accesorios
- f) Empaque y embarque
- g) Control de calidad
- h) Certificados de pruebas de prototipo
- i) Partes de repuesto y herramientas especiales
- j) Planos, diagramas, instructivos e información técnica

Finalmente, se sugiere para adquirir un interruptor entre 123 a 420 KV, se consulte por completo la especificación de la Comisión Federal de Electricidad # CFE V5000-01, la cual explica a fondo muchos de los items a considerar en específico.

A continuación se enlista el índice de tal especificación para que se conozcan los puntos que esta contiene.

- 1       Objetivo y campo de aplicación
- 2       Normas que se aplican
- 3       Definiciones
- 4       Alcance del suministro
- 5       Condiciones normales de servicio
- 5.1     Conexión a tierra del sistema
- 5.2     Temperatura ambiente
- 5.3     Altura de operación
- 5.4     Velocidad del viento
- 5.5     Diseño por sismo
- 6       Características generales
- 6.1     Cantidad
- 6.2     Tipo de servicio
- 6.3     Número de polos
- 6.4     Medio de extinción
- 6.5     Frecuencia
- 6.6     Tensiones nominales y Valores de pruebas dielectricas
- 6.7     Corrientes nominales y corrientes interruptivas
- 6.7.1   Corriente normal
- 6.7.2   Corriente interruptiva de corto circuito
- 6.7.3   Corriente sostenida de corta duración
- 6.7.4   Corriente de interrupción de carga de línea en vacío
- 6.7.5   Corriente de interrupción de carga de cables en vacío
- 6.7.6   Corriente de cierre en corto circuito
- 6.7.7   Corriente interruptiva en oposición de fases
- 6.8     Condiciones de falla en línea corta
- 6.9     Tensiones transitorias de recuperación (TTR) por falla en terminales
- 6.10    Tiempo de interrupción
- 6.11    Tiempo de cierre
- 6.12    Distancias de fuga de fase a tierra y a través del interruptor
- 6.12.1  De fase a tierra
- 6.12.2  A través del interruptor
- 6.13    Secuencia nominal de operación
- 6.14    Simultaneidad en la operación de los polos
- 6.15    Simultaneidad entre contactos del mismo polo
- 6.16    Tensiones de control y del equipo auxiliar del interruptor

- 7 Especificaciones para la fabricación
- 7.1 Cámaras de extinción y columnas de aisladores soporte
- 7.1.2 Medio de extinción
- 7.1.3 Contactos principales y partes conductoras de Porcelana
- 7.1.4 Bridas y empaque
- 7.1.5 Capacitores para mejorar la distribución del potencial
  
- 7.2 Mecanismo de operación
- 7.2.1 Número de mecanismos de operación
- 7.2.2 Características del tipo de energía almacenada
- 7.2.3 Condiciones de apertura y cierre del interruptor
- 7.3 Bastidores soporte
- 7.4 Cimentación a base del interruptor
- 7.5 Gabinetes de control
- 7.5.1 Elementos mínimos del gabinete
- 7.6 Alambrado de control de circuitos auxiliares
- 7.7 Alarmas y bloqueos
- 8 Accesorios
- 8.1 Accesorios normales
- 8.1.1 Indicador visual de la posición de apertura y cierre
- 8.1.2 Contador de operaciones de apertura
- 8.1.3 Conmutador de contactos auxiliares
- 8.1.4 Conectores terminales
- 8.1.5 Placas de conexión a tierra del interruptor
- 8.1.6 Placas de datos
- 8.1.7 Manómetro indicador de la presión del SF6
- 8.1.8 Válvulas
- 8.1.9 Anillos equipotenciales
- 8.1.10 Accesorios del mecanismo de operación
- 8.1.11 Accesorios de maniobras
- 8.2 Accesorios especiales
- 8.2.1 Resistencias de preinserción
- 8.2.2 Amortiguadores contra sismos
- 9 Empaque y embarque
- 10 Control de calidad
- 10.1 Pruebas de rutina
- 101.1.1 Potencial aplicado a 60 Hz en seco al circuito principal
- 10.1.2 Potencial aplicado a circuitos auxiliares y de control
- 10.1.3 Medición de la resistencia en el circuito principal
- 10.1.4 Pruebas de operación mecánica
- 10.1.5 Verificación de los tiempos de apertura y cierre

- 10.2 Criterios de aceptación de las pruebas
- 10.3 Pruebas de prototipo
- 11 Partes de repuesto y herramientas especiales
- 11.1 Partes de repuesto requeridas por Comisión
- 11.2 Partes de repuesto recomendadas
- 11.3 Herramientas especiales
- 12 Características particulares
- 13 Información requerida
- 13.1 Con la oferta
- 13.2 Después de la colocación de la orden
- 14 Bases de evaluación y penalizaciones
- 14.1 Bases de evaluación
- 14.1.1 Suministro a considerar
- 14.1.2 Tiempo de entrega del equipo
- 14.1.3 Tiempo de entrega de la información
- 14.1.4 Fletes
- 14.1.5 Supervisión y montaje
- 14.1.6 Experiencia
- 14.1.7 Fabricación mexicana
- 14.1.8 No aceptación de penas
- 14.2 Penalizaciones
- 14.2.1 Entrega de dibujos, instructivos y datos técnicos
- 14.2.2 Entrega del equipo
- 14.2.3 Reducción en fabricación mexicana
- 14.2.4 Atraso en la operación comercial
- 14.2.5 Total de penas
- 14.2.6 Penalización por incumplimiento en características
- 15 Cuestionario general
- 15.1 Generalidades
- 15.2 Datos y calificaciones
- 15.3 Desviaciones y sustituciones menores
- 15.4 Características generales
- 15.5 Garantías de funcionamiento
- 15.6 Características de diseño y fabricación
- 15.6.1 Mecanismo de operación
- 15.7 Accesorios normales
- 15.8 Accesorios especiales
- 15.9 Tensiones y corrientes de los circuitos de control y equipos auxiliares
- 15.10 Cuestionario adicional
- 15.11 Precios
- 15.11.1 Precio del equipo y refacciones
- 15.11.2 Descripción del equipo de importación
- 15.11.3 Descripción del equipo de fabricación mexicana
- 15.11.4 Tipo de cambio
- 15.11.5 Ajuste de precios
- 15.12 Financiamiento
- 15.13 Programa de entrega del equipo
- 15.14 Responsabilidad

**NORMAS QUE SE APLICAN PARA LA SELECCION Y ADQUISICION DE UN INTERRUPTOR**

CFE L0000-03-1983	Comercial general.
CFE E0000-01-1983	Conductores para Alambrado de Tableros Eléctricos
NOM-J-211-1976	Productos de hierro y acero galvanizado por inmersión en caliente
NOM-J-211-1974	Definición de vocablos técnicos usados en interruptores de potencia
IEC-56-1-1971 Modificación No. 1-1975	General and definitions (Generalidades y definiciones)
IEC-56-2-1971 Modificación No. 1-1972 Modificación No. 2-1981	Rating (Valores Nominales)
IEC-564-1972 Modificación No. 1-1975	Design and Construction (Diseño y construcción)
IEC-56-4-1972 Modificación No. 1-1975 Modificación No. 2-1977 Modificación No. 3-1981 Suplemento 56.4 A-1974	Type Test and Routine Tests. (pruebas de prototipo y rutina)
IEC-56-6-1971 Modificación No. 1-1975 Modificación No. 2-1981	Information to be given with Enquires, Tenders and orders and rules for transport, erection and maintenance. (Información que debe proporcionarse en las requisiciones, ofertas, órdenes de compra y reglas para transporte, montaje y mantenimiento.)



IEC-267-1968

Guide to the testing of Circuit-breakers with respect to Out-of phase switching (Guía para la prueba de corriente interruptiva por defasamiento en interruptores).

NEMA IS1.1-1977

Enclosures for Industrial Controls and Systems (Gabinetes para controles y sistemas industriales).

# ESPECIFICACION IEC 56-3-1959

En la siguiente tabla se muestran las diferentes opciones para seleccionar los interruptores para diferentes corrientes, capacidades en MVA y diferentes valores de voltaje RMS ( nominal y maximo de diseño).

Especificación nominal de los interruptores de acuerdo con las especificaciones IEC No. 56-3-1959

Voltaje (KV rms)		Capacidad en MVA		Corriente nominal (KA)	
Nominal	Máximo de diseño	400	630	1250	1600
3	3.6	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
6	7.2	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
10	12	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
15	17.5	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
		1000	1500	2000	2500
20	24	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
		1000	1500	2000	2500
		1500	2000	2500	3000
30	36	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
		1000	1500	2000	2500
		1500	2000	2500	3000
		2000	2500	3000	3500
45	52	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
60	72.5	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
80	100	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
100	123	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
120	145	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
		1000	1500	2000	2500
		1500	2000	2500	3000
150	170	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
		1000	1500	2000	2500
220	243	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
275	300	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000
380	420	400	630	1250	1600
		150	250	400	630
		100	150	250	400
		750	1000	1500	2000

NOTA: i) Los valores nominales de 800 A y de 400 A que aparecen entre paréntesis redondeados, son los únicos valores alternativos para 630 A.  
 ii) Los valores de 400 A y 800 A que aparecen entre paréntesis rectangulares, son alternativos para el valor básico de 630 A.  
 iii) El valor 750 A, que aparece entre paréntesis redondeado, es alternativo para 630 A.

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

"Síntesis de Fallas en Interruptores en los últimos 10 años."  
Comisión Federal de Electricidad  
Gerencia de Generación y transmisión  
ING. JUAN BAUTISTA FLORES

"Secuence Networks and Faults"

"Redes Eléctricas" tomo 1 y 2"  
Jacinto Viqueira Landa  
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.  
Mexico, D.F., 1973, 2a Edición y 1a Edición respectivamente.

"AUTOMOTIVE ELECTRIC-ELECTRONIC SYSTEMS"  
Robert Bosch GmbH  
Department for Technical Information (KH-VDT)  
1988

"SISTEMAS ELECTRICOS DE DISTRIBUCION"  
Roberto Espinoza y Lara  
División de Estudios de Postgrado,  
Facultad de Ingeniería, UNAM  
1a. Edición, abril 1987

"PRUEBAS DE EQUIPO ELECTRICO"  
Víctor Pérez Amador Barrón  
LIMUSA, México  
1a. Edición

**"AUTOMOTIVE HANDBOOK"**

Robert Bosch GmbH,  
1986  
Department for technical information (KH-VDT)  
2nd. Edition

**"TABLAS TECNICAS"**

Magnitudes, Fórmulas y Conceptos  
SIEMENS Aktiengesellschaft  
Edición 1988

**"DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS"**

José Raul Martín  
Mc. Graw Hill,  
México, 1987

**"ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION" (REFERENCE BOOK)**

Westinghouse Electric Corporation  
East Pittsburg, Pennsylvania,  
Fourth Edition  
Tenth Printing

**"SIMETRICAL COMPONENTS"**

Pergamon Press Ltd, Oxford  
Great Britain  
1968  
First Edition

**"ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION"**

Gaudencio Zuppetti Judez  
Ed. Gili, S.A.  
Barcelona 1981

**"CENTRALES Y REDES ELECTRICAS"**

E. Santo potess  
Ed. Gustavo Gili, S.A.

**"CENTRALES Y REDES ELECTRICAS"**

Buchold / Happoldt  
Ed. Labor, S.A.

**"PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA E INTERRUPTORES"**

B. Ravindranath y M. Chander  
Ed. Limusa, México 1980

**"CATALOGOS Y NOTAS DE C.F.E."**