CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor

Módulo 4: “Mantenimiento de interruptores y desconectadores”

PFMEI-4-02/V.1[PE01-M04/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente del Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Jefe de Proyecto Empresas
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material ha sido realizado por el Centro de Innovación en Capital Humano de Fundación Chile - Innovum, con la colaboración técnica del Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, para el Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero - del cual pasa a ser propiedad -.

Este material está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

*Inscripción de propiedad intelectual nro.: 252.536.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE.

© Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; Freeport-McMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Índice

Descripción del documento 5

Módulo IV: Mantención de interruptores y Desconectadores 6

8. Sistemas trifásicos de potencia 7

8.1 Interruptores de potencia 7

8.2 Desconectadores de potencia 52

8.3 Especificaciones técnicas de interruptores y desconectadores (capacidades, poder de ruptura) 58

8.4 Medidor de alta tensión 79

8.5 Comprobador de alta tensión 80

Actividad N° 11 82

9. Mediciones interruptor y desconectadores 84

9.1 Micro-óhmetro (Ducter) 84

9.2 Resistencia de contactos 88

9.3 Simultaneidad de contacto 92

9.4 Resistencia de aislamiento 93

9.5 Medición de presión de gas 96

9.6 Medición de FGC, rigidez 97

9.7 Documentos de registro de apertura y cierre 98

Actividad N° 12 99
Actividad N° 13 99

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del Módulo 4 del programa de formación Mantenedor Eléctrico Especialista Equipos Móviles.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos.

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del doc de evaluación de proceso".

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10.La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo IV: Mantención de interruptores y Desconectadores

8. Sistemas trifásicos de potencia

8.1 Interruptores de potencia

Introducción.

Cada vez es más complejo diseñar interruptores de potencia, conforme se incrementan las corrientes de falla, las tensiones y al mismo tiempo cuando se trata de reducir los tiempos de liberación de la falla, este último requerimiento es para mantener una estabilidad adecuada en el sistema eléctrico, además de que deben de cumplir con ciertos requisitos y normas.

Por otra parte se ha avanzado mucho en investigaciones con respecto a interruptores y se han desarrollado nuevas tecnologías donde el uso de programas de computadora han permitido clarificar el comportamiento del arco eléctrico durante la interrupción del mismo, esto mediante diseño de modelos y combinando diferentes ramas de la ciencia como la dinámica de fluidos y la termodinámica. Para el propósito de mejoras se utilizan programas de diseño asistido por computadora en el análisis del comportamiento eléctrico y mecánico de los interruptores.

Adicionalmente se ha abierto un mercado muy amplio en la demanda de interruptores con forme a las diferentes necesidades de operación, esto en pro de enfrentar la creciente demanda de los sistemas de potencia, para logarlo están diseñando nuevas generaciones de interruptores con grandes estándares en el mercado haciendo cumplir requerimientos de análisis, diseño, medición y pruebas.

Desde que el hombre intento interpretar el comportamiento de la electricidad se determinaron dos principios fundamentales para interrumpir el flujo de la corriente. La primera es reduciendo a cero el potencial que la genera y la segunda es separando físicamente el conductor por donde circula el flujo de corriente. Esta última opción es la más utilizada para interrumpir un circuito eléctrico. Para interrumpir una corriente es necesario que el elemento de corte pase de tener una impedancia prácticamente nula a una impedancia infinita, convirtiéndose en un aislante que impida la circulación de corriente.

Este principio se aplica a cualquier interruptor, en donde los primeros interruptores que se inventaron, consistían de unas barras conductoras sumergidas en mercurio. Posteriormente se diseñó el interruptor con cuchillas, que a un son usadas en algunas aplicaciones de baja tensión y baja potencia. En los interruptores modernos, la interrupción es un proceso de separación de sus contactos. Al momento de separarse los contactos forman un entre hierro que es puenteado por un plasma conductor. El proceso termina cuando el plasma conductor pierde su conductividad. Este plasma es a lo que se conoce como el núcleo del arco eléctrico, siendo un elemento que siempre se presenta en el proceso de interrupción de corriente. Basándose en lo anterior se deduce que el proceso de extinción del arco eléctrico constituye al principio sobre el que se basa la interrupción de corriente. Por lo tanto se necesita el conocimiento sobre la teoría del arco eléctrico para entender el proceso de interrupción de la corriente.

El arco eléctrico y la física de la materia

Para comprender la naturaleza del arco eléctrico, es necesario entender primero la estructura de la materia. La cual está formada por átomos, que este a su vez se divide en partículas más pequeñas que son el neutrón, el protón y el electrón. El núcleo de los átomos está formado por neutrones y protones, el cual tiene una medida de 10^{-12}cm de diámetro. Los electrones giran en orbitas alrededor del núcleo, en un átomo con carga cero se tienen igual cantidad de protones y neutrones, las cargas del protón y electrón son iguales pero con polaridad opuesta, la cual es de En la figura Nº 1 se muestra un ejemplo de la estructura de átomos.

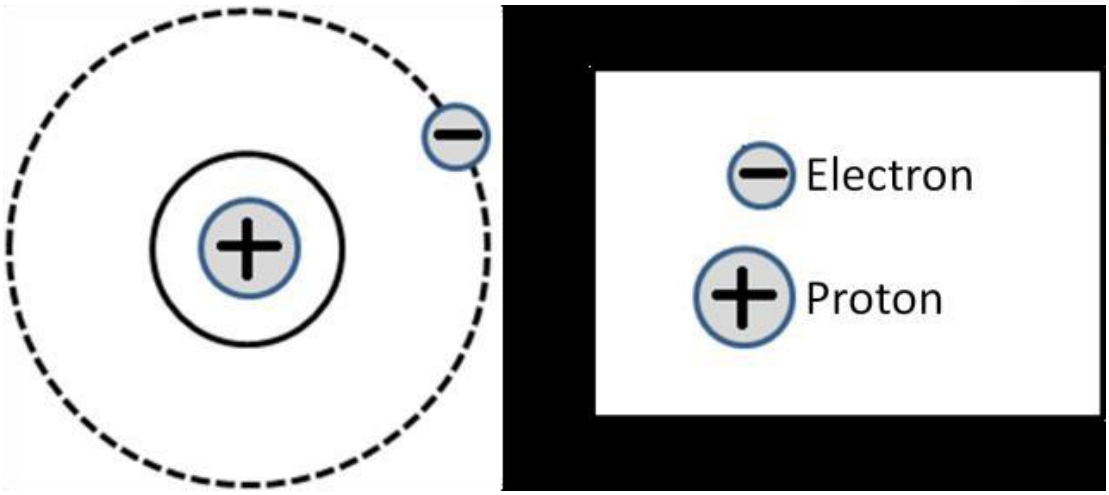


Figura 1

Estructura atómica del hidrogeno, consiste en un protón y un electrón.

Proceso de ionización

La ionización es un proceso donde se desprenden uno o más electrones de un átomo o molécula, esto provoca la descomposición de los átomos eléctricamente neutros, en iones con carga positiva y electrones con carga negativa. El arco eléctrico genera una descarga capaz de producir por sí misma la cantidad de iones y electrones necesarios para mantener la circulación de corriente en el seno de una masa gaseosa. El proceso de ionización consume cierta cantidad de energía y se efectúa de ciertas maneras:

Ionización térmica o emisión termiónica: es el resultado del choque aleatorio de electrones en un a medio gaseoso con temperatura alta.

Ionización por impacto o emisión de campo: se produce al acelerar un electrón o un ion mediante la acción de un campo eléctrico. La energía cinética adquirida por el electrón provoca colisiones entre electrones y, por consecuencia, su desprendimiento del átomo o molécula.

Debido a la ionización, el entrehierro formado entre los contactos del interruptor, es conductivo.

La emisión de electrones libres y la iniciación de un arco eléctrico entre dos electrodos, se puede producir por:

- Aumento de la temperatura debido a emisión termoiónica.
- Incremento de tensión en el cátodo, provoca la emisión de campo.

Las condiciones existentes, en el momento de la separación de los contactos del interruptor provocan uno o ambos procesos anteriormente mencionados.

En el proceso de la separación de los contactos, el área de contacto y la presión disminuyen (figura Nº2), produciendo un incremento de la resistencia óhmica y de la temperatura.

Esto se puede comprobar de acuerdo con la fórmula de la resistencia o resistividad del material (Ecu.1.1).

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \ (\Omega)$$

Dónde:

R : *Resistencia del material.*

ρ *: Resistividad del material.*

L *: Longitud del material.*

A *: Área transversal del material.*

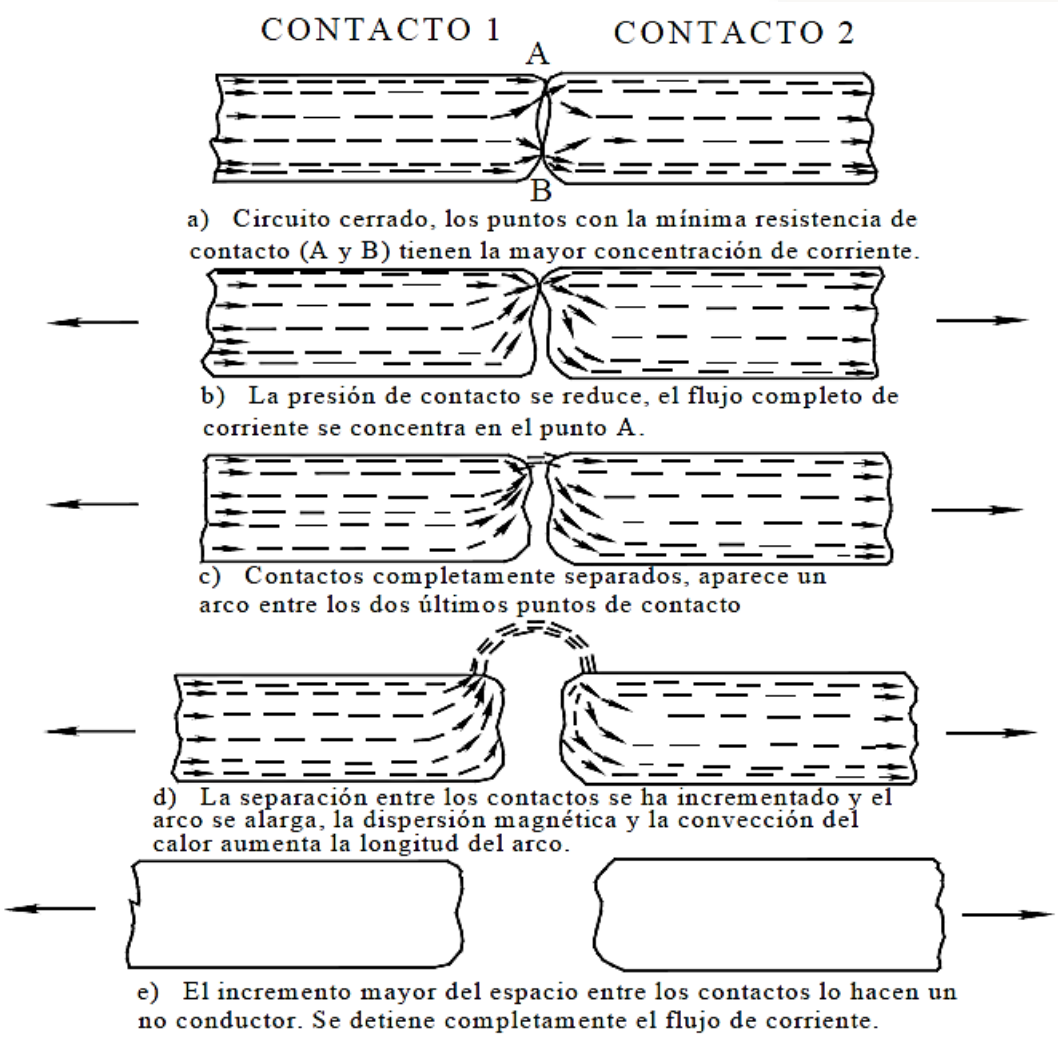


Figura 2

Proceso de interrupción de un circuito en aire. Las flechas pequeñas indican la dirección del flujo de corriente y las flechas grandes indican la dirección del movimiento de los contactos.

Des-ionización

La des-ionización es el proceso de restaurar un gas ionizado, compuesto de iones positivos y electrones, a su estado original eléctricamente neutro. Es por este proceso que el entrehierro formado entre los contactos de un interruptor tiene la conversión de un gas aislador.

Caída de tensión del arco.

El arco eléctrico se representa como una resistencia conectada entre los electrodos que se forma. Esto implica la existencia de una caída de tensión llamada U_b. Esta caída de tensión tiene tres componentes: la caída de tensión anódica U_a, la caída de tensión catódica U_c y la caída de tensión de la columna o canal plasmático U_s.

Agrupando las caídas de tensión en la proximidad de los electrodos, la tensión total del arco se puede representar en el siguiente esquema:

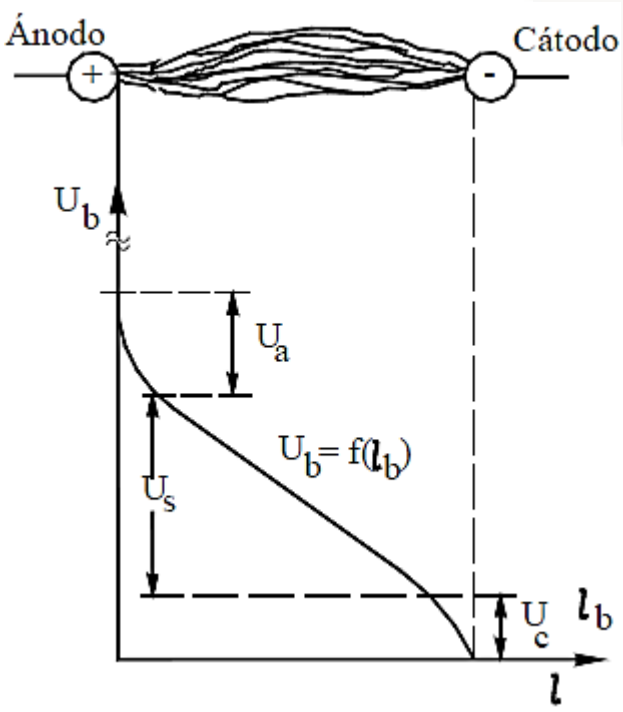


Figura 3

Esquema simplificado de las tensiones asociadas al arco eléctrico entre dos electrodos.

Por ser un conductor gaseoso, la caída de tensión del arco eléctrico varía en forma inversa a la intensidad del flujo de corriente. Por lo tanto, la característica tensión-corriente es decreciente, es decir, la resistencia eléctrica del arco es negativa.

En efecto, si se aplica una diferencia de potencial entre dos electrodos, el arco se inicia para un valor determinado Ub0. Si la corriente *i* se incrementa, la temperatura y la ionización también aumentan, reduciendo la resistencia al flujo de corriente y la caída de tensión a través del arco. Si la corriente *i* disminuye, la curva característica de corriente–caída de tensión pasa por debajo de la curva característica que se obtiene al incrementar la corriente y el arco se extingue para una tensión Ub1. Esto es válido solamente para corriente continua.

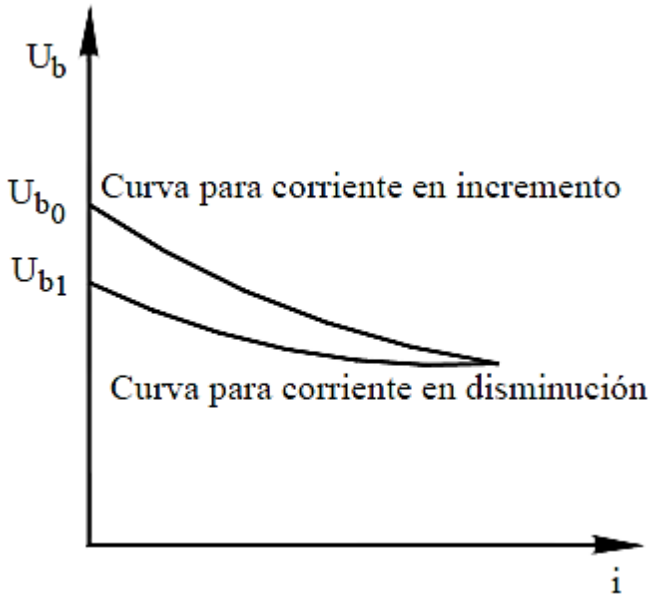


Figura 4

Caída de tensión a través de un arco eléctrico en función de la corriente.

En corriente alterna, la intensidad del arco varía con la frecuencia y pierde su carácter estacionario. La diferencia de potencial entre los extremos de un arco de corriente sinusoidal, para un entrehierro constante tiene la forma que se indica en la Figura Nº 5.

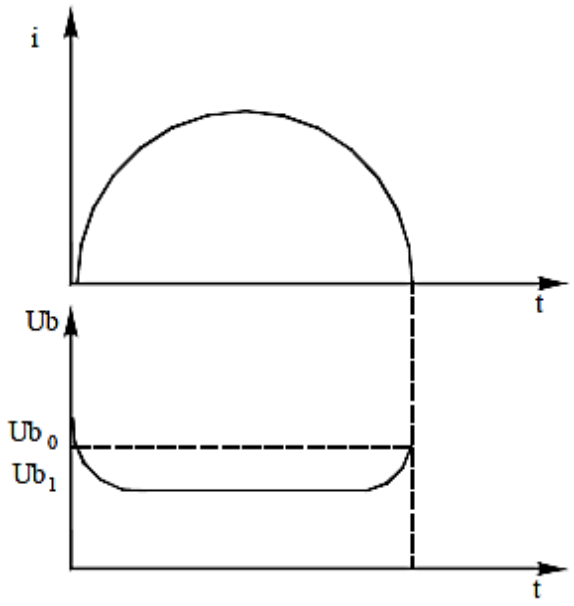


Figura 5

Arco eléctrico en un circuito de C.A.

Comportamiento térmico.

La interrupción de un circuito con carga siempre genera una descarga de arco entre los contactos del interruptor. Durante este proceso, se libera una gran cantidad de energía, la mayor parte en forma de calor.

Esta energía puede ser muy grande y ocasionar daños a los contactos del interruptor, vaporización del medio interruptivo, aumento de la presión en el interior del tanque, etc. Para evitar los daños que puede sufrir un interruptor, se requiere reducir el tiempo de arqueo.

En los interruptores de corriente alterna esto se logra con la desionización de la trayectoria del arco, mediante la apertura del interruptor en el instante del cruce por cero de la onda de corriente.

Si el arco de C.A. se interrumpe bruscamente, se genera un transitorio de tensión entre los contactos del interruptor, debido a la inductancia del circuito. La interrupción o extinción del flujo de corriente en el circuito ocurre en el instante en el que la corriente llega a cero. En otras palabras, el arco de C.A. sincroniza el instante de apertura del circuito con el cruce por cero de la corriente, independientemente del instante en que se separan los contactos.

Pérdidas de calor del plasma.

Un arco eléctrico pierde calor debido a:

- Conducción.
- Convección.
- Radiación.

Las pérdidas que ocurren en un interruptor son únicamente por conducción y por convección, ya que por radiación es despreciable. En los interruptores en aceite se forman arcos en las toberas o tubos y en las ranuras angostas, por lo que casi todas las pérdidas son por conducción. Para interruptores de soplo de aire, la pérdida de calor es por conducción y convección, al igual que en arcos que se forman en aire.

Interrupción de circuitos de C.C. y C.A.

La interrupción de un circuito de C.C. y de otro de C.A. implica procesos distintos debido a la naturaleza de las corrientes.

En el caso de circuitos de C.D. no existen valores de corriente cero, ni tiempos donde la corriente sea cero. Por lo tanto, para lograr la interrupción, la corriente debe ser forzada hasta alcanzar un valor de cero. Esto se logra aumentando la resistencia del arco hasta que su caída de tensión sea igual a la tensión del circuito, lo que se efectúa con la elongación del arco o la reducción forzada del arco. Para el caso de circuitos de C.A. sí ocurren valores de corriente cero. Por lo tanto, para lograr la interrupción, sólo es necesario impedir el reencendido del

arco después de un valor de corriente cero. Esto, se logra con la desionización del entrehierro formado entre los contactos del interruptor.

Técnicas de extinción del arco.

En términos generales, se conocen tres métodos de extinción del arco eléctrico en los interruptores:

- Interrupción por alta resistencia.
- Interrupción por baja resistencia.
- Interrupción en vacío.

Interrupción por alta resistencia

En este caso, el objetivo es incrementar la resistencia del arco en función del tiempo y reducir la corriente hasta lograr la extinción. La desventaja principal de este método de interrupción es la gran cantidad de energía disipada, por lo tanto, sólo se usa en interruptores de baja y mediana tensión, así como en interruptores de corriente directa.

Para incrementar la resistencia del arco se emplean las técnicas siguientes:

a) Elongación del arco

Figura 6

Elongación del arco eléctrico por la acción del empuje térmico.

Como la resistencia del arco es aproximadamente proporcional a su longitud, alargando el arco su resistencia aumenta, ver Figura Nº 6.

b) Enfriamiento del arco.

La tensión requerida para mantener la ionización aumenta cuando la temperatura disminuye, por lo que enfriándolo su resistencia aumenta, ver Figura Nº 7.

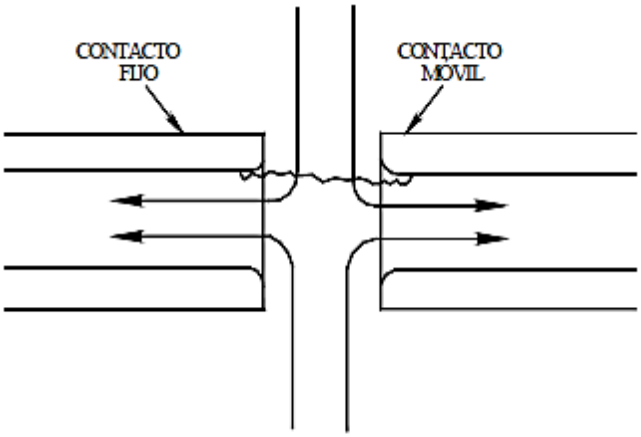


Figura 7

Representación esquemática de la técnica de enfriamiento del arco en un interruptor neumático.

c) División del arco.

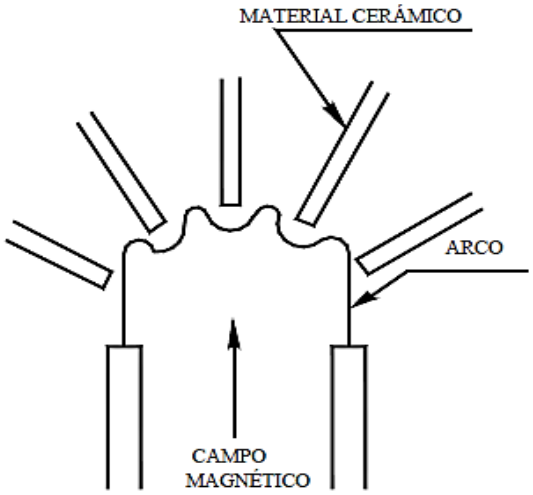
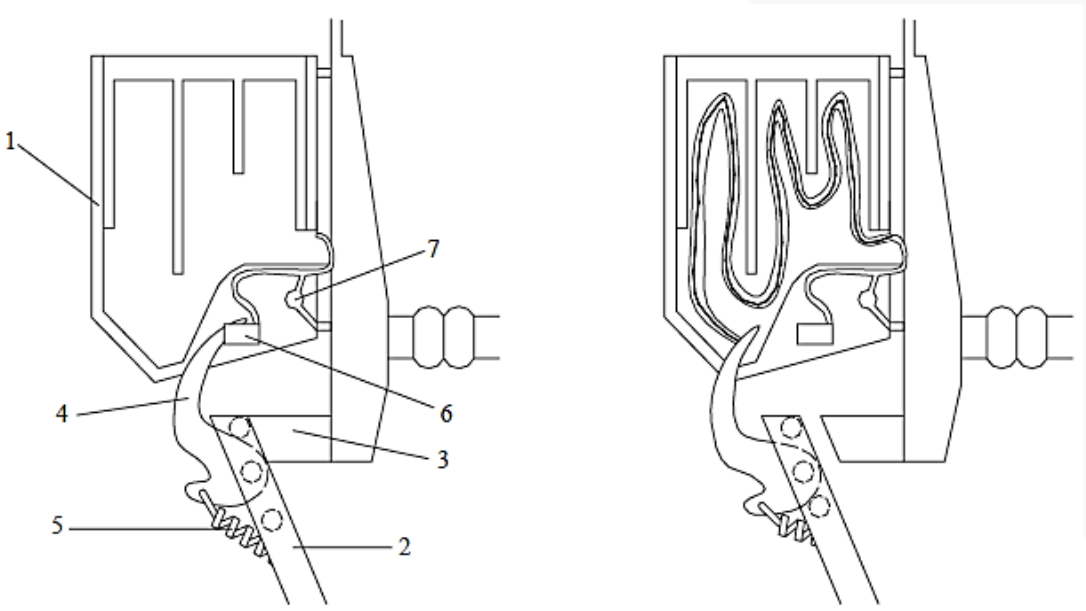


Figura 8

Representación esquemática de la división de un arco.

Cuando se establece un arco, existe una tensión apreciable entre las superficies de los contactos. Si el arco se divide en arcos pequeños, en serie, se reduce la tensión de la columna, ver Figura Nº 8.

Estas técnicas son las más empleadas para aumentar la resistencia del arco de corriente directa y también se aplican en la interrupción de corrientes alternas, de hasta 660 V. Para niveles de tensiones mayores es necesario recurrir a nuevas y diferentes tecnologías.



1.- Placa apagachispas.
2.- Cuchilla principal.
3.- Contacto fijo.
4.- Cuchilla auxiliar.
5.- Resorte.
6.- Pinza de retención de la cuchilla auxiliar.
7.- Bobina de soplado.

Figura 9

Representación esquemática de una cámara de arqueo del arco.

Interrupción por baja resistencia o de corriente cero.

Este método se emplea para la interrupción de arcos de corriente alterna aprovechando que el arco se extingue por sí solo, 100 veces por segundo en un sistema de 50Hz (o 120 veces por segundo en un sistema de 60Hz), cada vez que la corriente cruza por cero. Este fenómeno se representa en la Figura Nº 10 y es más conocido como HISTÉRESIS DEL ARCO.

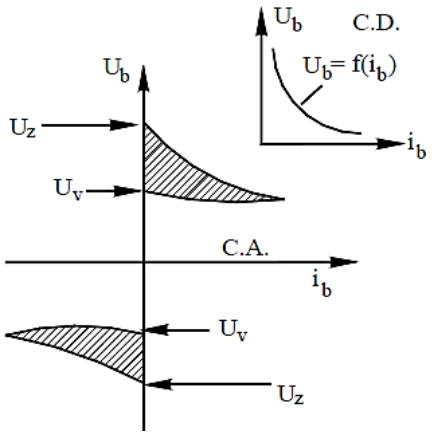


Figura 10

Comportamiento del arco en corriente alterna (histéresis del arco).

Extinción en corriente alterna.

La extinción del arco eléctrico en corriente alterna está relacionada con el cruce por cero de la corriente. La de-ionización o recuperación de la rigidez dieléctrica del entrehierro, inicia en el momento en que el arco se extingue (cuando la corriente cruza por cero). La rigidez crece linealmente en función del tiempo, hasta alcanzar su estabilización.

Si la tensión en el interruptor (Usen ωt) en algún instante excede a la tensión de recuperación Ur, ocurre un re-encendido. En caso contrario, si la tensión de recuperación Ur se incrementa más rápidamente que la tensión en el interruptor, no se produce el re-encendido.

El comportamiento anterior varía si se considera un circuito inductivo o capacitivo. Estos circuitos son muy importantes, porque los sistemas de transmisión de energía suelen tener reactores en derivación o bancos de capacitores en serie. Además, la desconexión de un transformador operando en vacío representa una inductancia.

En los circuitos inductivos o capacitivos, el cruce por cero de la corriente coincide, según el caso, con el valor máximo de la tensión. En este tipo de circuitos es común que se presenten re-encendidos. Esto se debe al extinguirse el arco al cruzar la corriente por cero, la tensión del circuito excede a la tensión de recuperación.

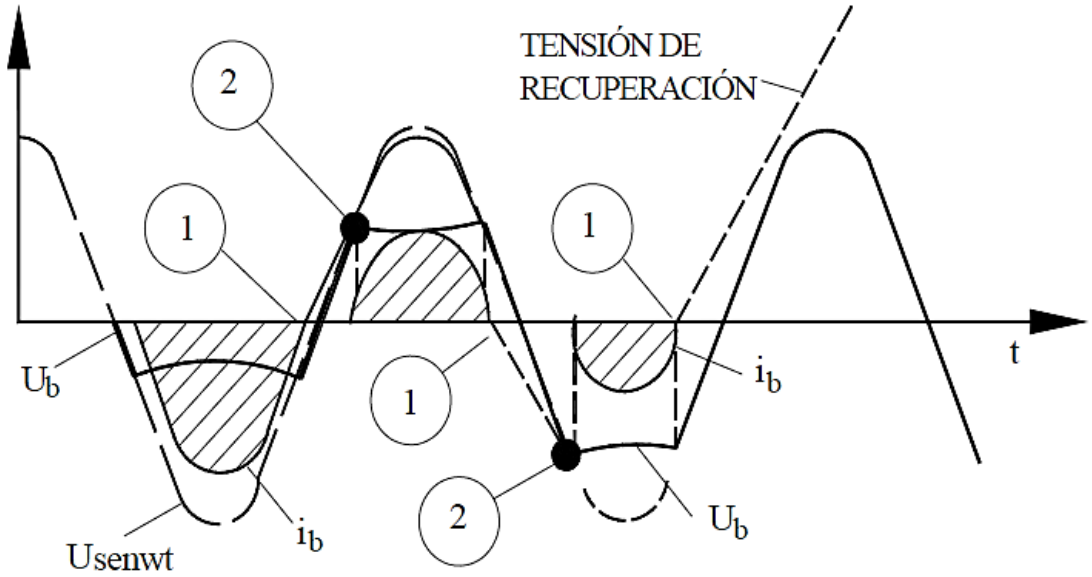


Figura 11

Comportamiento de las tensiones durante el proceso de interrupción.

Teorías generales para la interrupción de circuitos.

La complejidad del comportamiento del arco durante el proceso de interrupción, ha provocado el desarrollo de modelos que describen este proceso. Los primeros modelos estaban concentrados en la región de corriente cero. Los modelos recientes se enfocan en calcular el diámetro del arco en la corriente máxima. Estos modelos son una aproximación del fenómeno de interrupción. A continuación se presenta un resumen de las principales teorías.

Teoría de Slepian.

La teoría Slepian, también conocida como teoría de carrera, establece que la interrupción se logra siempre que la fuerza dieléctrica del entrehierro se incremente más rápidamente que la tensión del sistema.

Este proceso inicia inmediatamente después del cruce por cero, cuando los electrones son forzados a alejarse del cátodo creando una zona o capa de iones positivos en la región del cátodo.

La figura Nº 172 muestra la representación gráfica de esta teoría, en donde se presentan dos casos. El primero donde la fuerza dieléctrica del entrehierro se incrementa más rápido que la tensión del sistema y no ocurre el re-encendido. En el segundo caso, la tensión del sistema crece más rápido que la fuerza dieléctrica del entrehierro y por lo tanto ocurre el re-encendido.

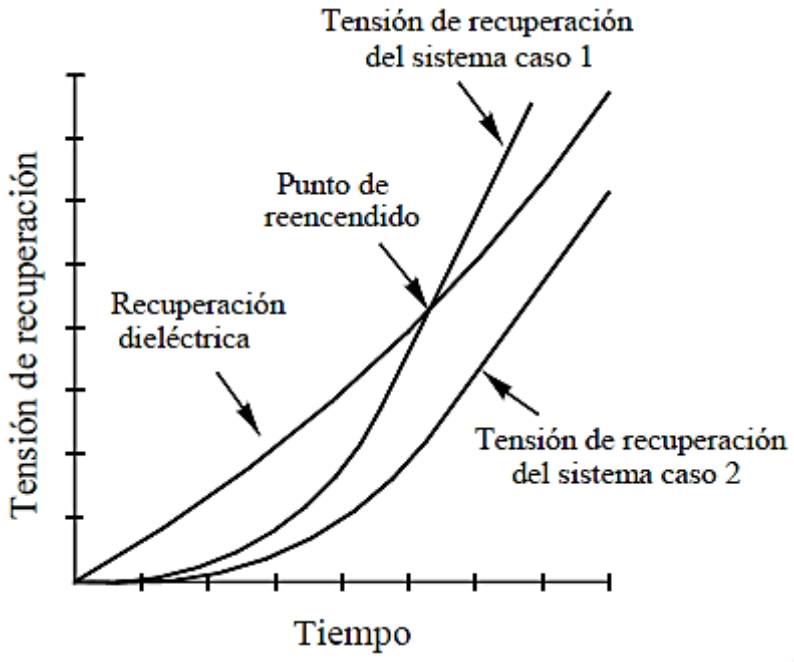


Figura 12

Representación gráfica de la teoría de Slepian.

Teoría de Prince

A esta teoría también se le conoce como teoría de desplazamiento o de cuña. Ésta establece que el circuito es interrumpido si la longitud de la ruta del arco se incrementa durante la interrupción hasta que la tensión de recuperación no es suficiente para provocar un re-encendido.

Cuando la corriente cruza por cero, el arco es dividido en dos por un flujo de gas frío, quedando entre cada parte semiconductora del arco una columna de gas frío no conductivo.

Teoría de Cassie

Esta teoría está basada en la conductividad del arco y asume que las pérdidas de un arco de alta corriente son principalmente por convección y que la temperatura es constante en todo el arco. La temperatura del arco se mantiene independientemente de la sección transversal de éste.

Teoría de Mayr.

Considera que el diámetro de la columna de arco es constante y que la temperatura varía en función del tiempo y del diámetro. También asume que la caída de la temperatura se debe a la conducción térmica y que la conductividad eléctrica del arco depende de la temperatura.

Teoría combinada de Browne.

Ésta es un modelo que combina las teorías de Cassie y de Mayr. Considera que antes del cruce por cero, la corriente está definida por el circuito a interrumpir y después del cruce por cero, la tensión en el entrehierro está determinada por el arco. También considera que la teoría de Cassie es válida para corrientes altas antes del cruce por cero y para el instante posterior al cruce por cero, seguido por un re-encendido térmico.

El modelo de Mayr sirve de enlace entre los dos periodos de tiempo para los que es válido el modelo de Cassie. Esta teoría es usada como herramienta para el diseño y evaluación de circuitos de interrupción.

Transitorios eléctricos.

Después de haber considerado de una forma general la naturaleza e importancia de un arco en un interruptor, el siguiente paso es la evaluación de la tarea que un interruptor debe realizar, es decir, con las fuerzas que tiene que enfrentarse.

Las condiciones bajo las cuales el interruptor tiene que trabajar, están dadas por las características eléctricas del circuito al cual el interruptor pertenece.

La apertura o cierre de un interruptor en un circuito está siempre acompañado por una modificación del estado eléctrico del circuito. Esta modificación comprende una fase transitoria durante la que se producen en los circuitos afectados por la maniobra de acoplamiento, una serie de fenómenos transitorios, cuyo conjunto provoca el paso de un

estado a otro. Los fenómenos que se desarrollan en esta fase intermedia tienen gran importancia para la técnica de los interruptores y se designan, de una manera general, como fenómenos eléctricos de acoplamiento.

Cuando las condiciones del circuito varían; el circuito puede dar toda o parte de su energía almacenada o almacenar energía adicional, dependiendo de los valores relativos de L y C.

Para tener una mejor comprensión de los fenómenos transitorios, supongamos que tenemos un circuito como el que se indica en la figura Nº 15, compuesto por una fuente de fuerza electromotriz, una inductancia en serie (L) y una capacitancia en paralelo (C) que nos puede representar, en forma muy simplificada un circuito real.

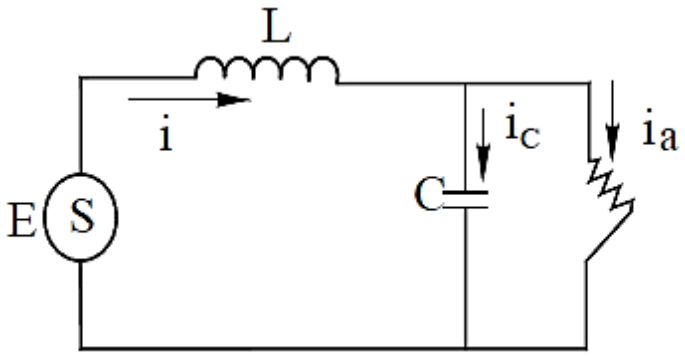


Figura 13

Circuito L-C para ilustrar la interrupción de una corriente alterna.

En el instante t1 (ver figura Nº 13) se inicia la separación de los contactos del interruptor y se establece un arco, el cual mantiene el flujo de la corriente en el circuito.

La corriente total proporcionada por la fuente se divide entre el arco y el capacitor. En un principio, la caída de tensión a través del arco y la tensión aplicada al capacitor son muy pequeñas, tomando el capacitor muy poca corriente. A medida que la caída de tensión a través del arco aumenta, la corriente en el capacitor también aumenta, por lo tanto, la corriente del arco disminuye.

Cuando el arco se interrumpe poco antes del cruce por cero de la corriente, debido a la acción de los agentes des-ionizantes, la tensión del capacitor se incrementa bruscamente, produciendo un transitorio en el circuito. El transitorio se amortigua en función de la resistencia del circuito.

La tensión aplicada entre los contactos se incrementa hasta el punto P, llamado punto de extinción, cuya magnitud depende de la energía electromagnética. La magnitud está dada por la siguiente expresión:

$$V_c = i_l \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Dónde:

il es la corriente en el capacitor en el instante de la interrupción.

V es la tensión de la fuente.

Vc es la tensión entre contactos.

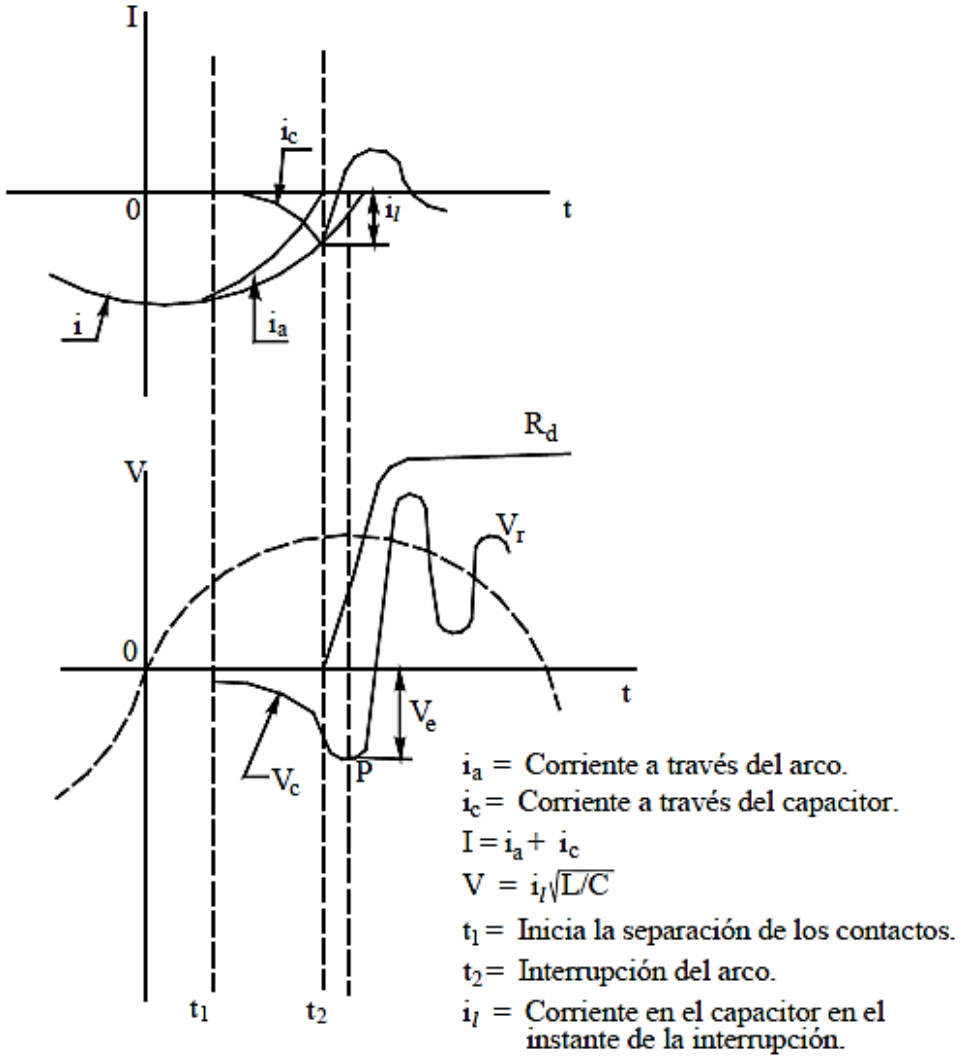


Figura 14

Proceso de interrupción en un circuito L-C con C.A.

La tensión entre contactos oscila alrededor del valor de cresta de la tensión de la fuente, que está adelantada 90° con respecto a su corriente.

Esta tensión transitoria, llamada Tensión Transitoria de Restablecimiento o TTR, puede alcanzar hasta dos veces el valor de cresta de la tensión sinusoidal de la fuente. En un circuito real esta oscilación se amortigua por la resistencia del circuito.

Si la rigidez dieléctrica Rd del medio de extinción del entrehierro es mayor que la tensión entre los contactos, el arco se extingue y el circuito queda abierto. Si la rigidez dieléctrica no es suficiente para soportar la tensión entre los contactos, el arco se re-enciende, como se observa en la figura.

Comportamiento del arco

Las características eléctricas del circuito a interrumpir influyen en el comportamiento del arco. La figura Nº 15 muestra el comportamiento del arco eléctrico en un circuito inductivo.

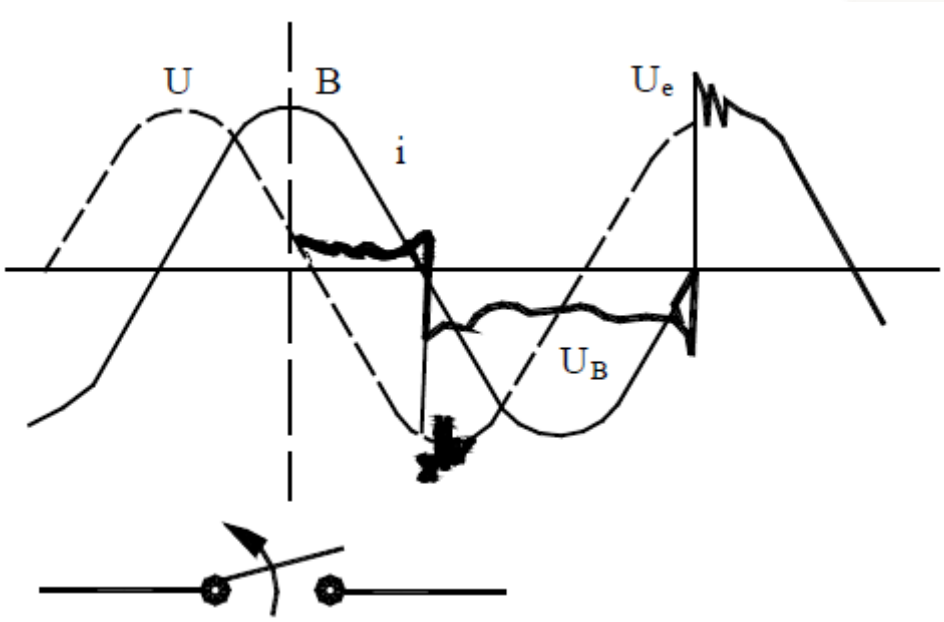


Figura 15

Oscilograma característico de la desconexión de un circuito inductivo en el instante de separación de contactos (B).

En el instante B se inicia la separación de contactos del interruptor y se establece el arco eléctrico. A la tensión del arco se le denomina UB, si ésta es despreciable en comparación con la tensión de la red o del sistema, entonces, el arco se mantiene hasta que la corriente cruza por cero. La extinción o re-encendido del arco en el cruce por cero de la corriente, depende de la frecuencia oscilatoria y de la tensión de recuperación en la cámara de interrupción. Si la pendiente S de la frecuencia oscilatoria es lo suficiente elevada, entonces ocurrirá un re-encendido del arco.

El re-encendido se produce si los contactos se separan en el valor máximo de la corriente (punto B) o en algún punto cercano a este. Esto se debe a que el próximo cruce por cero es muy pronto y no permite la de-ionización del entrehierro de los contactos. En consecuencia, el transitorio de tensión arquea el entrehierro.

En la práctica, existe un desplazamiento respecto al tiempo entre la separación de los contactos y el inicio del corto circuito. Esto se debe principalmente a la inercia, a la acción de los relevadores y otros dispositivos de mando que actúan en el interruptor.

La tensión después de la corriente cero final.

Eléctricamente, un sistema de fuerza es una red oscilatoria, por lo que es lógico esperar que la interrupción de la corriente de falla, dé origen a una magnitud transitoria cuya frecuencia depende de las constantes L y C del circuito. Ya se ha dicho que este voltaje transitorio se conoce como voltaje de restablecimiento figura Nº 16 y que ocurre inmediatamente después de la extinción del arco. El voltaje del arco entre los contactos, en ese instante, es normalmente bajo, mientras que el voltaje de la frecuencia de fuerza que priva en el circuito, está en su valor máximo o cerca de él.

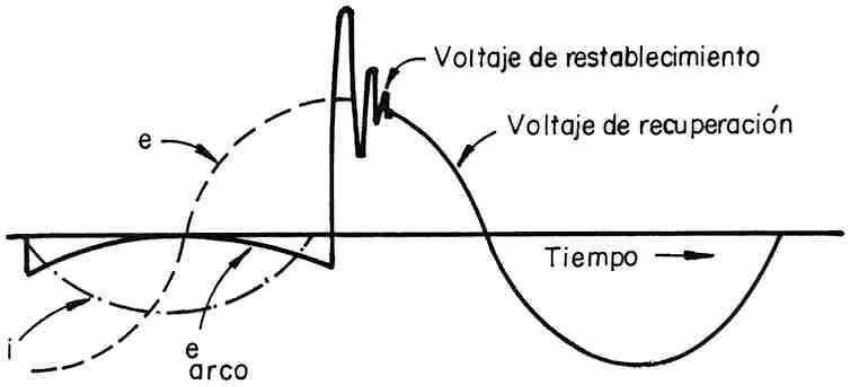


Figura 16

Formas de las ondas del voltaje de restablecimiento y de recuperación.

Tensión transitoria de restablecimiento

Inmediatamente después de la extinción del arco, se presenta una tensión entre los contactos, que trata de establecer la conducción. A esta tensión se le ha designado como tensión de restablecimiento, y por ser de duración extremadamente corta, del orden de fracciones de ciclo, también se le denomina transitoria.

La TTR puede tener dos componentes, una de frecuencia fundamental y otra de alta frecuencia, la primera causada por un desplazamiento del neutro virtual del sistema trifásico de vectores después de la extinción de primer polo, que la efectúa condiciones de falla trifásica no aterrizada; la segunda, por un fenómeno oscilatorio de alta frecuencia que se presenta entre los parámetros capacitivo e inductivo de los circuitos y equipos que intervienen en el proceso de interrupción.

Principio de operación de los contactos de un interruptor.

La operación de los contactos de un interruptor se realiza por medios mecánicos. Cuando los contactos se separan se forma un entrehierro entre ellos, constituido de un medio dieléctrico e interruptivo (aire, gas SF6, vacío, aceite). En este medio se forma el arco eléctrico, a través del cual la corriente fluye de un contacto a otro. En este entrehierro es donde el circuito es vulnerable a ser interrumpido, ya que la corriente abandona su trayectoria original (contactos) para formar un arco en el medio aislante e interruptivo, cuando se logra disminuir la conductividad de esta trayectoria hasta extinguir el arco, la corriente deja de fluir.

Por lo tanto, la interrupción de un circuito eléctrico comprende dos pasos consecutivos:

En el primero se consigue intercalar un entrehierro a la trayectoria original, y el segundo, consiste en eliminar la conductividad del entrehierro. El principio fundamental de este proceso es la velocidad de restablecimiento del medio dieléctrico en el entrehierro.

Para un entrehierro con un medio aislante gaseoso, el gas es semiconductor a altas temperaturas y en función de su enfriamiento se vuelve aislante. Por ejemplo, el aire cambia de un buen conductor (10mho/cm), a un aislador confiable (10-12 mho/cm), solamente con variar la temperatura de 10,000 a 1,000°K, como se muestra en la figura Nº 17.

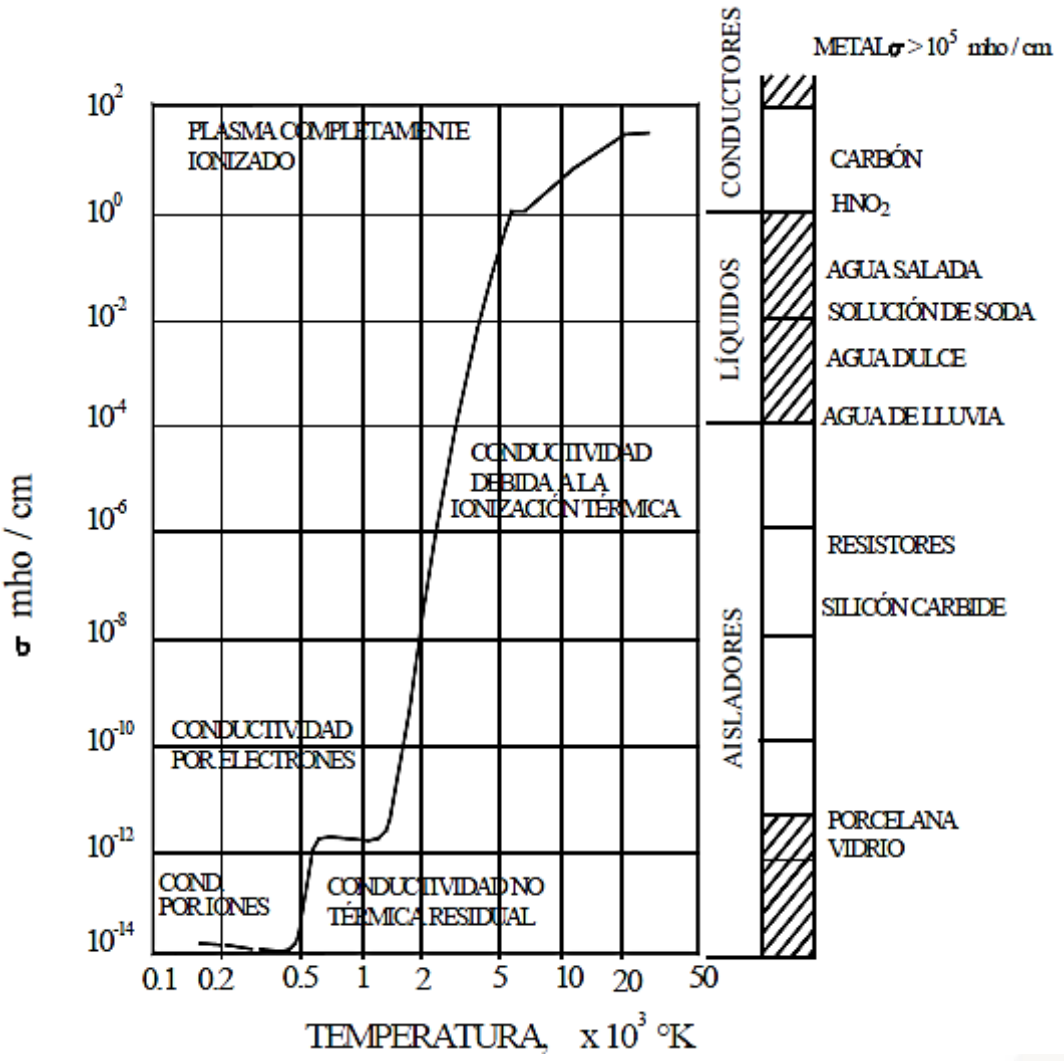


Figura 17

Conductividad eléctrica (σ)- temperatura del aire a presión atmosférica.

Exceptuando los sistemas que utilizan materiales semiconductores de soplo magnético y vacío, todos los interruptores trabajan bajo el principio de la descarga de alguna clase de gas.

La figura muestra la conductividad térmica de los gases SF6, nitrógeno e hidrógeno en función de la temperatura; se puede ver que el SF6 y el hidrógeno no tienen conductividades térmicas

mayores a la del nitrógeno hasta los 1,500 ºK. El SF6 y el hidrógeno poseen mejores conductividades térmicas que el aire y el nitrógeno a altas temperaturas, lo que los hacen mejores medios de extinción.

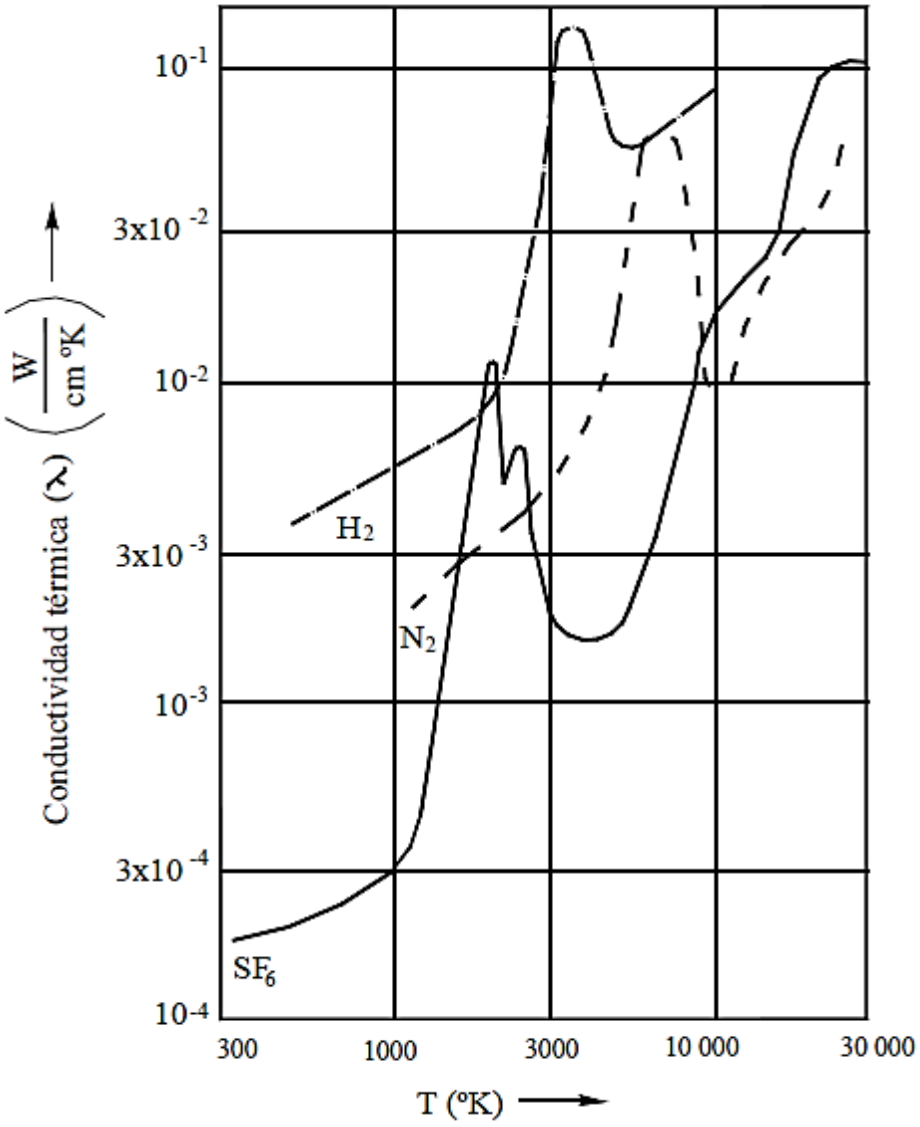


Figura 18

Comportamiento de la conductividad térmica (λ) en función de la temperatura del medio gaseoso, T (°K).

Proceso de cierre del interruptor

Los interruptores deben cerrar e interrumpir los circuitos, esto puede ocasionar ciertos problemas, particularmente, si el interruptor cierra en condiciones de falla. Cuando el interruptor está abierto, la tensión en sus terminales es la tensión del sistema, a esta tensión se le denomina “tensión de cierre”.

Al valor máximo de la corriente que fluye al cerrar el interruptor se le llama “corriente de cierre”. La “potencia de cierre” es el producto de la tensión de cierre por la corriente de cierre.

El tiempo de cierre de un interruptor es el que transcurre desde el momento de energizar la bobina de cierre hasta la conexión física de los contactos principales.

Durante el cierre, existen esfuerzos eléctricos entre los contactos a medida que éstos se acercan, estableciéndose arcos de pre encendido que ocasionan desgaste adicional de los contactos. El caso más crítico se presenta cuando el interruptor cierra en condiciones de falla de máxima asimetría.

Proceso de apertura.

Si estando cerrado el interruptor se desea interrumpir el circuito, se libera el mecanismo de apertura el cual permite que los contactos principales se separen. La separación de los contactos genera el arco eléctrico. En la apertura, el arco cumple con funciones de gran importancia durante la interrupción, dependiendo del tipo de medio de extinción usado.

La potencia de corto circuito que el interruptor es capaz de interrumpir, está dada por el producto de la corriente de corto circuito simétrica y la tensión de restablecimiento, un ciclo después de la interrupción.

Generalmente se expresan los kA de corriente interruptiva nominal simétrica para indicar la capacidad de corto circuito del interruptor.

El tiempo de interrupción está dado desde el momento en que se energiza la bobina de apertura hasta la extinción del arco eléctrico. Este tiempo consta de 2 partes: el tiempo propio desde la energización de la bobina de apertura hasta la separación física de contactos y el tiempo de arco y se expresa en milisegundos o en ciclos.

Debido a que el interruptor interacciona con el sistema eléctrico, está sometido a una amplia gama de corrientes con características capacitivas, inductivas, resistivas o combinaciones de éstas. El fabricante de interruptores debe tomar en cuenta los efectos de las corrientes de falla para un diseño adecuado del interruptor. La interrupción de la corriente consiste en convertir un espacio altamente ionizado en el entrehierro en un buen aislante con el objeto de que la corriente no fluya a través de él.

Al interrumpirse la corriente, la razón de crecimiento de la TTR y la rigidez dieléctrica varían. Si la TTR tiene una razón de crecimiento mayor a la recuperación de la rigidez dieléctrica, se presenta un "re-encendido" del arco. Si la recuperación dieléctrica es más rápida que la razón de crecimiento de la TTR, se tendrá una interrupción exitosa (ver figura Nº 19).

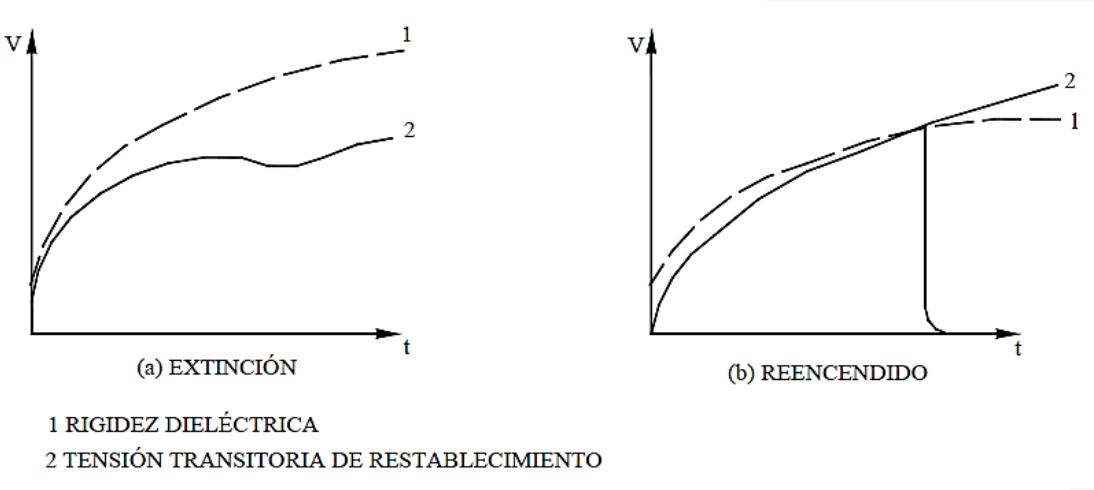


Figura 19

Proceso de interrupción de la corriente: a) Extinción; b) Re-encendido.

Se tienen básicamente dos posibilidades para evitar el re-encendido del arco:

- Disminuir la razón de crecimiento de la TTR.
- Acelerar la regeneración dieléctrica del entrehierro.

Los pasos principales que se llevan a cabo en el proceso de la interrupción en un circuito de corriente alterna, se presentan con la ayuda de la figura Nº 20.

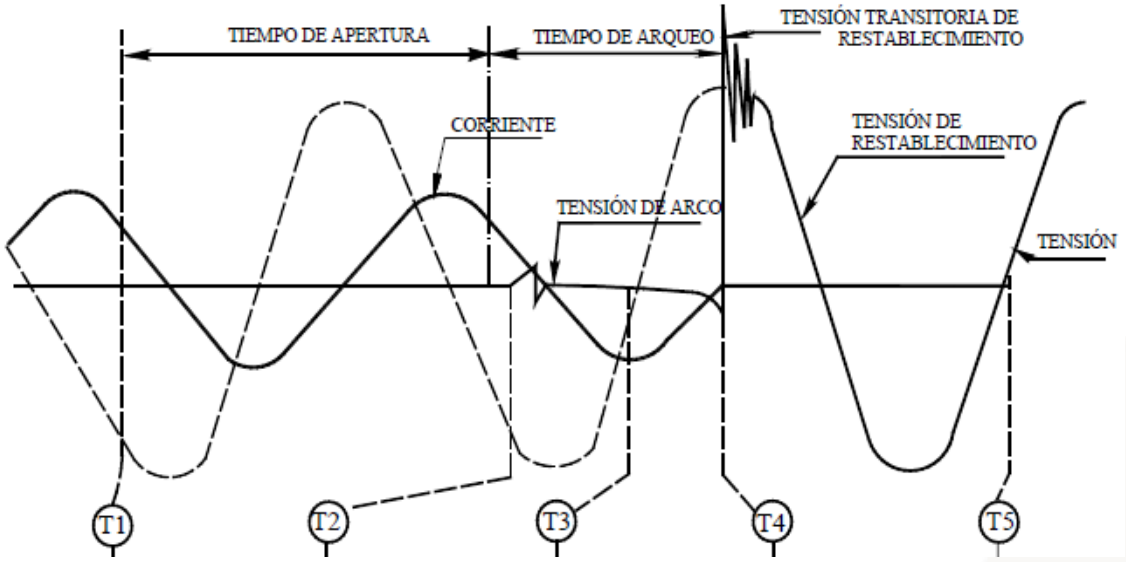


Figura 20

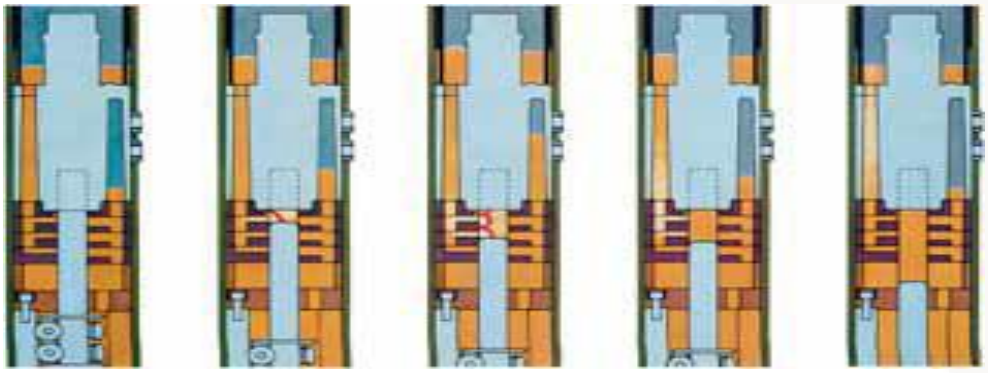


Figura 21

Proceso de interrupción de corriente en un circuito de C.A.

Descripción figura Nº 20.

T1 El interruptor en posición de cerrado, recibe una señal de apertura. Se inicia la separación de los contactos, con la ayuda del resorte de apertura.

T2 El interruptor abre y se forma el arco entre el anillo de arqueo del contacto fijo y el contacto móvil.

T3 El contacto móvil se desplaza hacia abajo, abriendo aún más. En el cruce por cero de la corriente, se presenta un alto valor dieléctrico.

T4 El arco se extingue, restableciéndose completamente el dieléctrico.

T5 El interruptor termina el movimiento de contactos y queda en posición abierto.

Introducción

El interruptor de potencia es un dispositivo de conexión y desconexión, el cual de acuerdo con las normas ANSI y IEC, está definido como un dispositivo capaz de conectar, conducir e interrumpir corrientes bajo condiciones normales y también conectar y conducir corrientes por tiempo determinado e interrumpirlas bajo condiciones anormales o de falla, tales como las de corto circuito. Tiene una doble función vital para la conexión y desconexión de circuitos, dado que su comportamiento en estado cerrado es la de un conductor con muy baja resistencia, en estado abierto su comportamiento debe ser la de un aislante ideal. Adicionalmente se debe considerar que los interruptores deben tener también la capacidad de efectuar re-cierres, cuando sea una función requerida por el sistema.

El proceso de interrupción de un circuito eléctrico con lleva a la ionización del medio en el cual se hace la separación de contactos, donde surge la formación de un arco eléctrico con una gran liberación de energía que puede llegar a alcanzar una temperatura mayor a los 50 000°C y pueden generar presiones de hasta 100 MPa contenidas en un volumen de menos de un litro. A lo largo de los años los interruptores han incorporado varios medios diferentes para disipar esta energía, tales como el agua, aceite, gases inertes, alto vacío, y aire comprimido.

Los interruptores que se utilizaban primitivamente en los circuitos eléctricos eran, generalmente de accionamiento manual y del tipo seccionador o cuchilla, con el aumento de las corrientes y de las tensiones requeridas en el sector industrial resulto que el arco que se formaba al abrir el interruptor dañaba o destruía los contactos, entonces se construyeron interruptores que abrían o cortaban rápidamente los circuitos por medio de un resorte o por

acción de la gravedad, reduciendo a si la duración del arco y la magnitud del deterioro del interruptor. Colocando el interruptor en posición vertical, con ruptura horizontal, la corriente de aire por convección, debida al calor del arco, tiende a extender el arco hacia arriba, alejándolo del interruptor, así mismo la acción magnética de la espira formada por el interruptor y el arco tiende a aumentar la longitud del arco extinguiéndolo.

En los comienzos del desarrollo, pronto aparecieron interruptores de agua y aceite que operaban a niveles muy bajos de corriente y tensión. Conforme se han incrementado las tensiones de operación y las capacidades de corto circuito de los sistemas de potencia, los interruptores de potencia de alta tensión han jugado un papel muy importante en dicho crecimiento. Se han desarrollado diferentes tecnologías, algunas que involucran el uso de medios de interrupción avanzados y continúan siendo estudiadas para lograr equipos más eficientes. En la Gráfica de la figura Nº 21, se muestra una línea de tiempo en la cual cómo han ido evolucionando las tecnologías para la extinción de arco eléctrico en interruptores de potencia.

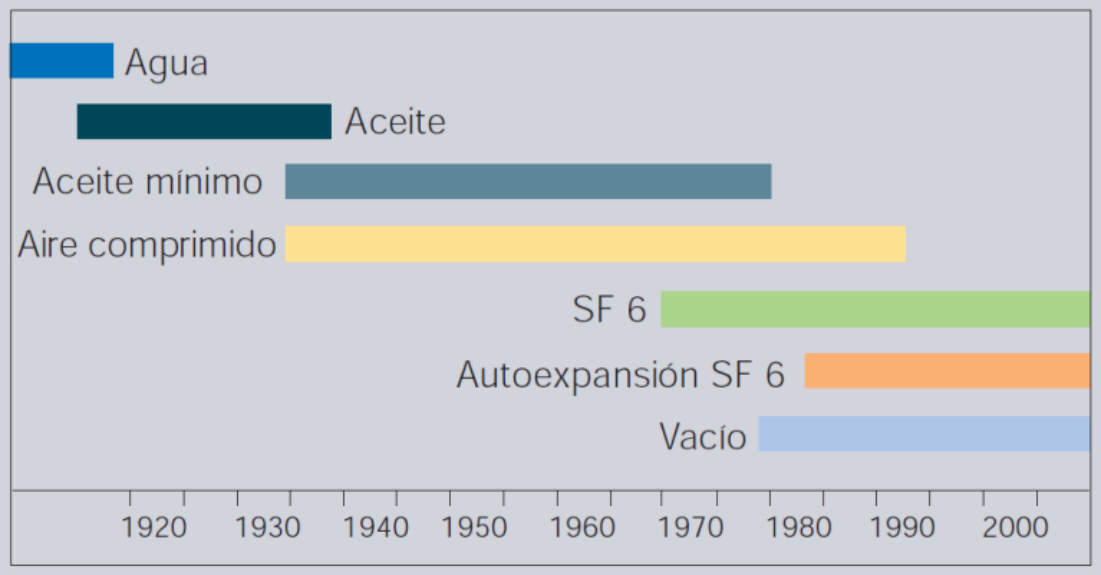


Figura 22

Medios de extinción más utilizados en los últimos cien años. (Fuente: Revista ABB 1/2007 El interruptor.

Algunos de los primeros diseños han sido significativamente mejorados y algunas variaciones de este tipo de interruptores están todavía en uso.

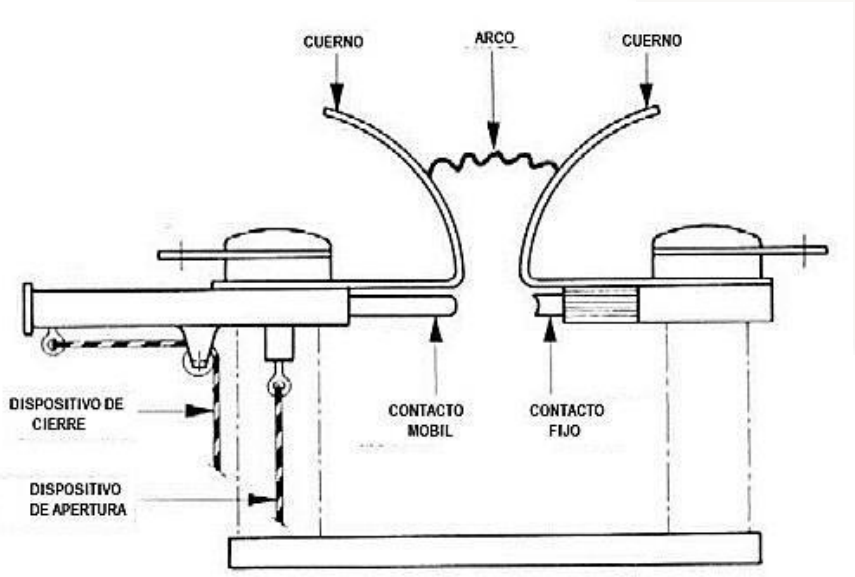


Figura 23
Interruptor de potencia antiguo, tipo cuchilla.

Especialmente en aplicaciones de baja tensión, donde actualmente los interruptores de aire son el tipo dominante de interruptores.

Para aplicaciones de interiores en tensiones de 5 a 38kV, los interruptores en soplo de aire magnético fueron los interruptores de elección en los Estados Unidos en la época de los años setenta, mientras que en Europa y México los interruptores de pequeño volumen de aceite. Por otra parte, para aplicaciones intemperie, para tensiones de 15 a 230 kV fueron muy usados los interruptores de gran volumen y los de soplo de aire.

Con la llegada de las tecnologías de vacío y hexa-fluoruro de azufre, los diseños antiguos de interruptores han sido rápidamente sustituidos y en la actualidad son considerados como tecnologías obsoletas.

Clasificación de los interruptores

Los interruptores se puede clasificar de acuerdo: al nivel de tensión, lugar de instalación, características externas de diseño, así como el método y diseño usado para la interrupción de la corriente, tripolar o monopolar.

Tipos de interruptores por nivel de tensión.

El nivel de tensión en el cual se va a usar los interruptores es una clasificación muy amplia que divide a los interruptores en:

a) Interruptores de baja tensión, son los diseñados para usarse en tensiones de hasta 1000 Volts.

b) Interruptores de alta tensión, son los diseñados para usarse en tensiones superiores de 1000 volts.

Cada uno de esos grupos puede subdividirse. Para el caso de los interruptores de alta tensión estos se subdividen en interruptores de 123 kV y mayores e interruptores de 72.5kV y menores. Frecuentemente, estos grupos son relacionados como interruptores para transmisión e interruptores de distribución respectivamente. Esta clasificación de los interruptores de alta tensión es la que comúnmente es usada por las normas internacionales ANSI e IEC.

Tipos de interruptores por lugar de instalación

Los interruptores de alta tensión pueden ser usados en instalaciones tipo interior y tipo exterior o intemperie. Los interruptores tipo interior son aquellos diseñados para usarse solo en el interior de edificios o en envolventes resistentes a la intemperie.

Para media tensión es el rango de 4.76kV a 34.5kV estos son de tipo interior y están diseñados para usarse en el interior de tableros o cubículos metal-clad (figura Nº 23). La única diferencia entre los interruptores tipo interior y exterior es la envolvente externa o gabinete.
Las partes internas tales como los contactos, las cámaras de interrupción y el mecanismo, en la mayoría de los casos, son los mismos para los dos tipos, siempre y cuando las características nominales de corriente y tensión sean las mismas y que utilicen la misma tecnología para la interrupción de corriente.

Figura 24
Interruptores tipo interior Metal Clad en pequeño volumen de aceite.

Interruptores por características externas de diseño

Desde el punto de vista de su diseño físico estructural, los interruptores para intemperie pueden ser clasificados como interruptores de tanque muerto e interruptores de tanque vivo.

Los interruptores de tanque muerto están definidos por las normas ANSI como un dispositivo de desconexión en el cual la envolvente o tanque está sólidamente aterrizada y aloja las cámaras interruptivas y el medio aislante.

El interruptor de tanque vivo está definido como un dispositivo de desconexión, en el cual las cámaras interruptivas se encuentran soportadas en columnas aislantes y éstas quedan aislando la parte energizada del potencial a tierra.

Los interruptores de tanque muerto presentan ciertas ventajas sobre los interruptores de tanque vivo, entre las cuales se tienen:

Figura 25
Interruptores tipo tanque muerto y tanque vivo.

a) Se pueden instalar transformadores de corriente tipo boquilla, tanto en el lado de línea, como en el lado de la carga del interruptor.

b) Su construcción ofrece una capacidad de soporte sísmico mayor

c) Se embarcan ya ensamblados y ajustados desde la fábrica.

d) Tiene una mejor estética.

e) Ocupa menor espacio ya instalado.

Por otra parte, los interruptores de tanque vivo comparados con los de tanque muerto, ofrecen las siguientes ventajas:

a) Costo menor, ya que no incluye los transformadores de corriente.

b) Utilizan menor cantidad de fluido para interrupción.

c) Requiere menor espacio para instalación.

Tipo de interruptores por método y medio de interrupción.

- De aire, la energía del arco se disipa por enfriamiento en las placas cerámicas.
- De aceite, la energía del arco se disipa en la descomposición del propio aceite.
- De soplo de aire, la energía del arco disipa aplicándole una fuerte inyección de aire comprimido.
- De gas SF6, la energía del arco se disipa en el gas, de acuerdo con las leyes de la termodinámica.
- De vacío, la energía del arco es disipada al mantener en el estado de vapor los materiales metálicos provenientes de los contactos.

Medios de extinción por voltajes típicos de operación

TENSIONES NOMINALES Y TIPO DE INTERRUPTORES									
TECNICA DE CORTE	TENSIONES EN [kV]								
	0	1	3	12	24	36	72,5	245	765
Aire	■	■	■	■	■				
Aceite			■	■	■	■	■	■	
Aire comprimido.				■	■	■	■	■	
SF6			■	■	■	■	■	■	■
Vacío		■	■	■	■				
Semiconductores.	FALTA DESARROLLO								
Ideal	NO EXISTE								

Tabla 1

Interruptores por mecanismo de accionamiento.

Los principales mecanismos de accionamiento utilizados en interruptores son los siguientes:

- Mecanismo de accionamiento por resorte.
- Mecanismo de accionamiento neumático.
- Mecanismo de accionamiento hidráulico.
- Accionamiento con gas dinámico.

Interruptores de soplo magnético

El primer diseño de este tipo de interruptor consistió de unas simples cuchillas operadas en aire bajo condiciones atmosféricas. Este diseño tenía una capacidad muy limitada en términos de tensión y de capacidad interruptiva, lo que obligó a desarrollar diseños mejorados que involucraron la inclusión de diferentes componentes cuya función fue mejorar el enfriamiento del arco.

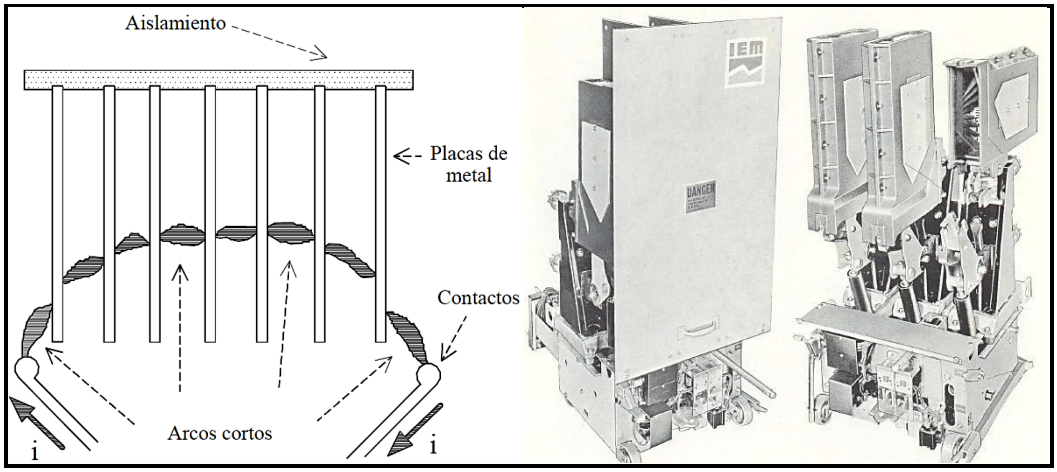


Figura 26

Sección transversal de una cámara de arqueo de soplo magnético, e interruptor de soplo magnético.

El principal componente fue una caja que contenía un número de placas metálicas o aislantes. En ésta caja también se incluyó una bobina de soplo magnético, principalmente para aplicaciones de media tensión.

Una cámara de arqueo para este tipo de interruptor es una estructura en forma de caja fabricada con materiales aislantes. Cada cámara de arqueo rodea a un polo del interruptor y en algunos casos sirve de estructura para soportar las placas del arqueo. Básicamente existen dos tipos de cámaras de arqueo, las cuales se caracterizan principalmente por el material de las placas de arqueo.

En el primer tipo de cámara de arqueo las placas están fabricadas de acero suave o de níquel-cadmio. En este tipo, el arco es guiado hacia dentro de las placas por medio de un par de cuernos de arqueo. Subsecuentemente, el arco es atraído hacia adentro de la cámara de arqueo debido a la fuerza producida por la corriente y la presión de los gases calientes.

El segundo tipo de cámara de arqueo fue usada en interruptores para aplicaciones en media tensión, mayores a 15 kV para interrumpir corrientes de falla mayores a 50 kA. De igual forma, usó placas de arqueo aislantes fabricadas con materiales cerámicos tales como óxido de zirconio y óxido de aluminio. En este tipo de cámara el enfriamiento del arco y su extinción final se efectúa mediante una combinación de procesos. Primero el arco es alargado y forzado a viajar hacia el interior de la trayectoria que se forma por la geometría y ubicación de las placas aislantes y sus ranuras.

Al mismo tiempo, el arco se adelgaza conforme pasa a través de las ranuras y llena los espacios entre ellas. Finalmente, cuando el arco hace contacto con las paredes de las placas aislantes el arco es enfriado por difusión en las paredes, logrando su extinción.

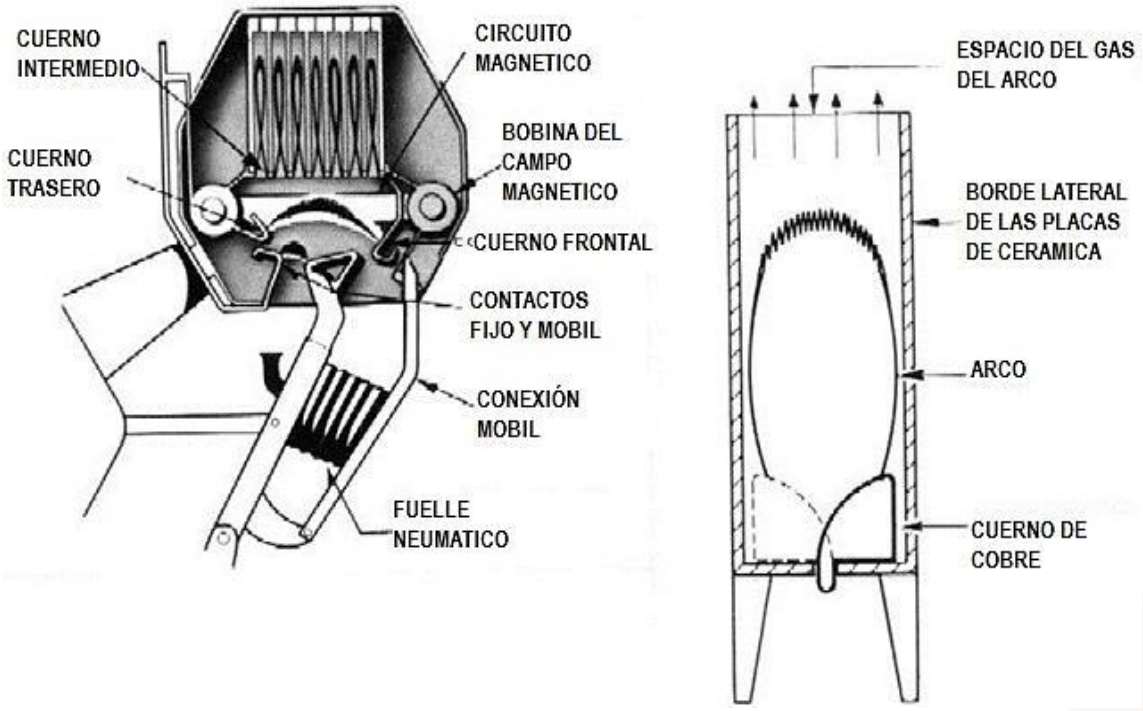


Figura 27

Cámara de arqueo de soplo magnético

Interruptores de soplo de aire

Esta tecnología fue presentada en 1972 y comercializada en 1980, teniendo un gran éxito en la década de los noventa. En todos los diseños de interruptores de soplo de aire, el proceso de interrupción se inicia por la formación del arco entre dos contactos y simultáneamente, con el inicio del arco, con la apertura de una válvula neumática que produce un soplo de aire a alta presión que alarga la columna del arco, la cual es sometida a los efectos de enfriamiento del flujo de aire. Dependiendo de la dirección del flujo del aire en relación con la columna del arco, existen tres tipos básicos de orientación del soplo, los cuales son: soplo axial, soplo radial y soplo cruzado.

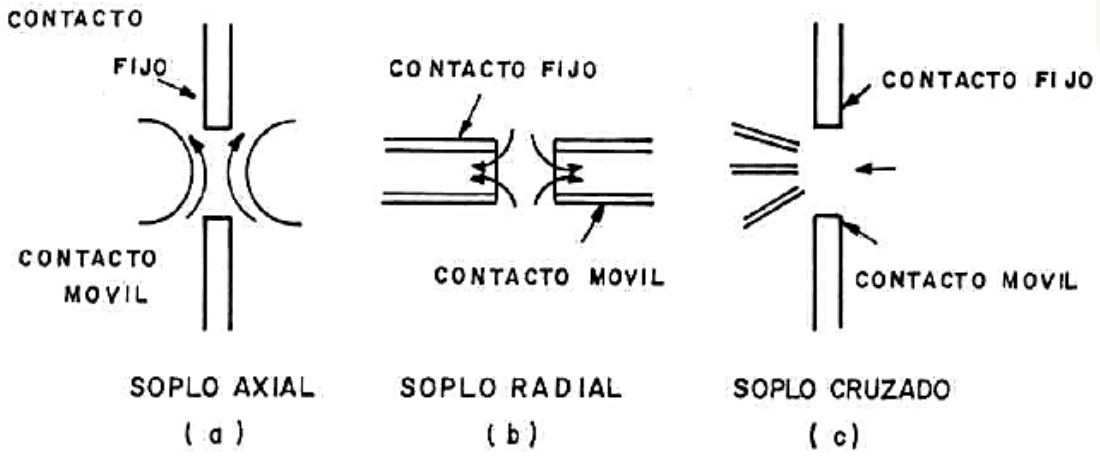


Figura 28

Dirección de soplo de aire (a) dirección axial, (b) dirección radial y (c) dirección transversal o sección de soplo.

Los interruptores de soplo de aire, además de que utilizan la propiedad que tiene el aire comprimido para extinguir el arco, también emplea el aire producido por la expansión para el mando de los interruptores. Las presiones de operación varían entre 15-30 bar, estos niveles son tan altos que el aire en el área del arco alcanza altas velocidades.

El proceso de interrupción por soplo de aire depende del enfriamiento turbulento y por lo mismo, en ella influye la configuración aerodinámica de las toberas, los pasajes o conductos para el flujo del aire y de masa. El aire comprimido arrastra al arco a través de la tobera y ésta ayuda a expulsar el gas caliente y los productos del arqueo, hacia la atmósfera.

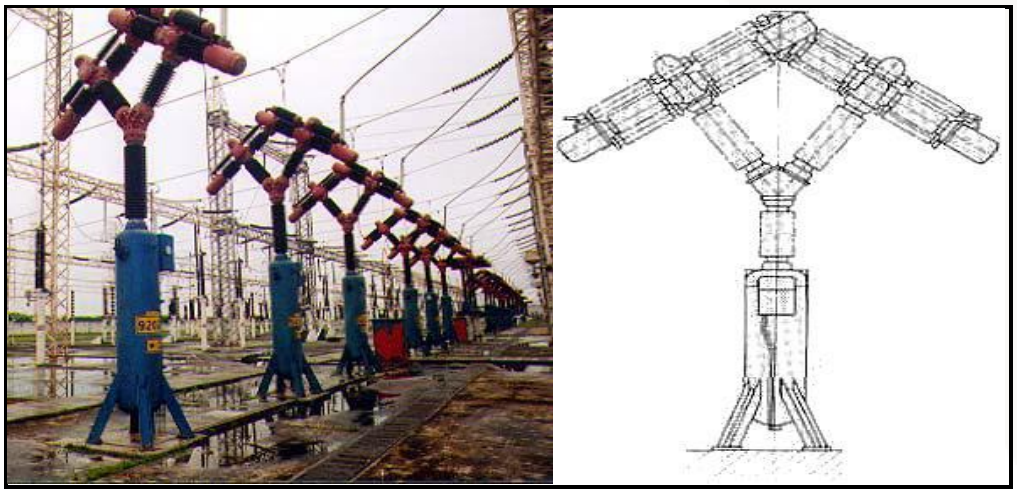


Figura 29

Interruptor de soplo de aire, marca Brown & Boveri, mecanismo neumático, 245kV, 2000A y 40kA de capacidad interruptiva.

La extinción se efectúa cuando se presenta la primera corriente cero y la corriente de aire comprimido aumenta estableciendo una resistencia dieléctrica entre los contactos para soportar la tensión de restablecimiento.

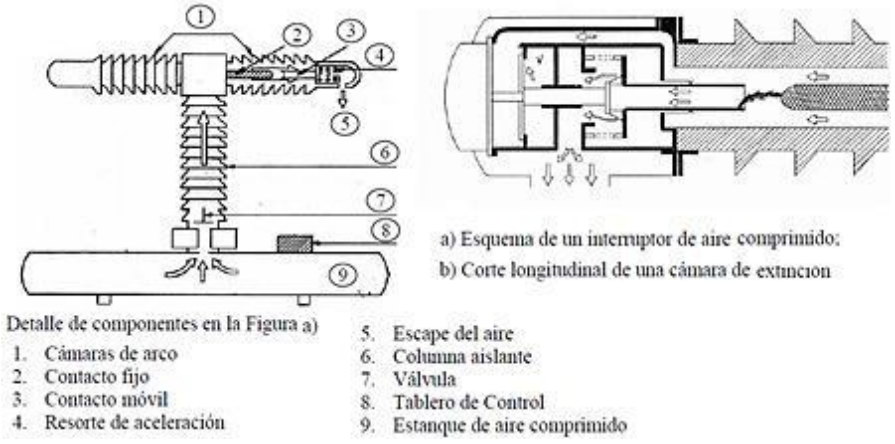


Figura 30

Esquema de un interruptor de potencia soplo de aire, marca AEG.

Ventajas de los Interruptores de Soplo de Aire.

- No implican peligro de incendio.
- Su operación es muy rápida.
- Son adecuados para el cierre rápido
- Su capacidad de interrupción es muy alta.

- La apertura de las líneas de transmisión sin carga o la de sistemas altamente capacitivos, no representa mucha dificultad.

- Se tiene muy fácil acceso a sus contactos.

Desventajas de los Interruptores de Soplo de Aire.

- Requiere de la instalación de un sistema de aire comprimido.

- Su construcción es mucho más complicada.

- En caso de que el aire se humedezca lo suficiente puede re-encender el arco eléctrico y puede llegar a explotar el interruptor.

Interruptores simples de interrupción en aceite.

El primer interruptor en aceite fue diseñado y construido en los Estados Unidos en 1901, fue instalado en un sistema de 40 kV y fue capaz de interrumpir entre 300 y 400 A. El diseño consistía de dos barriles de madera llenos de una mezcla de aceite y agua. Los contactos eran dos navajas verticales que conectaban unos contactos fijos para cerrar el circuito. Desde entonces, este diseño se fue refinando y mejorando pero mantuvo sus características de simplicidad en la construcción y su capacidad para interrumpir corrientes grandes.

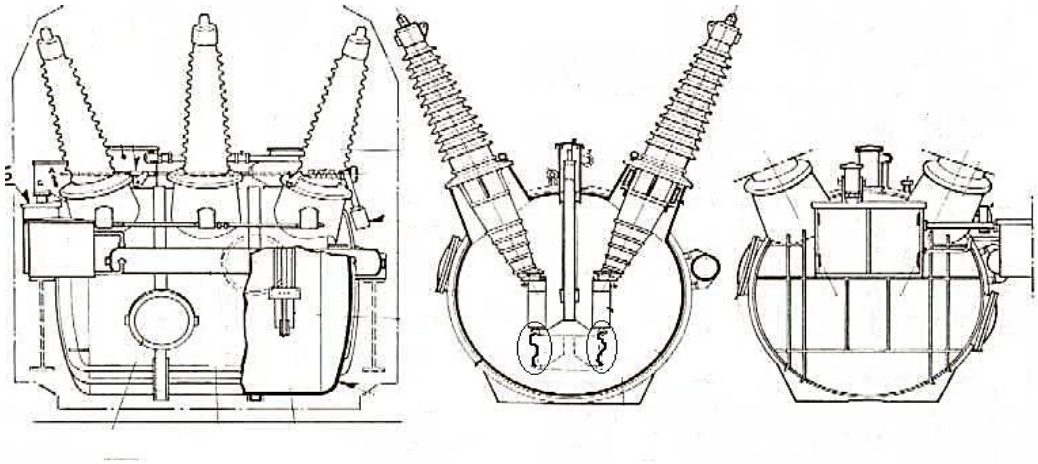


Figura 31
Interruptor simple de interrupción en aceite.

Los primeros diseños de interruptores en aceite no contaban con dispositivos especiales para contener el arco o para mejorar el proceso de extinción del arco.

En los primeros diseños, el arco era simplemente confinado en las paredes de un tanque con aceite, donde el proceso de extinción estaba acompañado por elongación del arco, por el incremento de presión producida por el calentamiento del aceite en la región del arco y por la turbulencia natural que se genera por el aceite caliente.

Para lograr una interrupción exitosa en esas condiciones, era necesario generar un arco relativamente largo. Sin embargo, eran difíciles de controlar, y en la mayoría de los casos resultaban periodos de arqueo muy largos. Las combinaciones aleatorias de arcos largos, que se traducen en altas tensiones de arcos acompañados por tiempos largos de arqueo, hacen impredecible la energía de arco que tiene que ser controlada y extinguida por el interruptor. Esto hacía imposible diseñar un dispositivo que pudiera manejar un amplio e indefinido rango de energía. La aplicación de este tipo de interruptores estuvo limitada a sistemas de 15 kV y corrientes de falla hasta 200 A. El arco se forma a través de los contactos, pero con la diferencia de que ahora está dentro de la cámara interruptiva, por lo que las burbujas de hidrógeno están también dentro de la cámara. Conforme los contactos se mueven y tan pronto como la varilla de contacto móvil se separa del orificio en el fondo de la cámara, se produce una salida similar a una tobera que libera el hidrógeno atrapado dentro de la cámara interruptiva, como se ve en la Figura Nº 31.

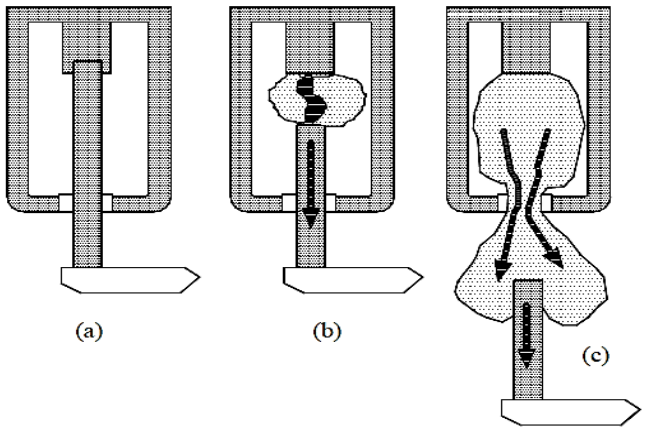


Figura 32

Perfil de cámara de explosión de un interruptor de aceite (a) Contactos cerrados, (b) inicio de apertura y de arco, (c) escape del gas.

Interruptores en gran volumen de aceite, gva.

La característica principal de este tipo de interruptores es que utiliza el aceite como medio aislante e interruptivo. Este interruptor pertenece al diseño original de interruptores en aceite. Posteriormente, cuando las cámaras interruptivas se agregaron a los interruptores en aceite con pequeñas modificaciones, hechas particularmente en el tanque de aceite, este tipo de diseño de interruptor de gran volumen en aceite fue muy aceptado. En la mayoría de los casos para tensiones de hasta 72.5 kV las tres fases del interruptor están contenidas en un solo tanque de aceite. Sin embargo, un gran número de interruptores en el rango de media tensión tienen tres tanques independientes, principalmente para tensiones mayores a 145 kV. Las tres fases son operadas simultáneamente por un mecanismo de operación, para un interruptor de 145 kV se requieren aproximadamente 12,000 litros y para un interruptor de 230 kV se requieren 50,000 litros.

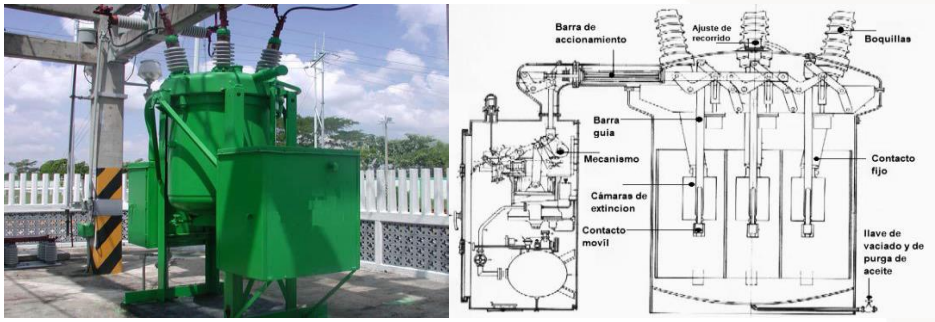


Figura 33

Interruptor en gran volumen de aceite con un tanque de 34.5 kV.

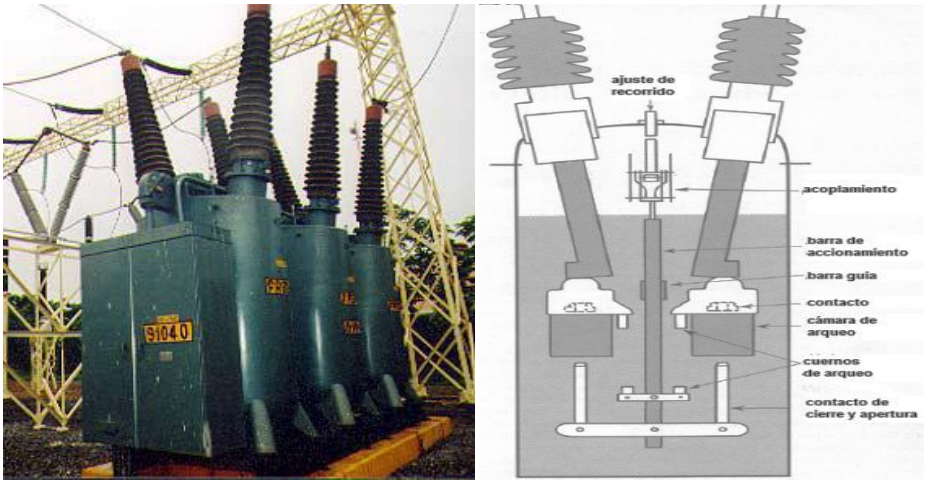


Figura 34

Interruptor en gran volumen de aceite con un tanque por polo, marca Westinghouse, tipo 242GW40, clase 242kV, 1600 A y 40 kA de capacidad interruptiva y mecanismo neumático.

Tipos de cámaras de extinción para interruptores en gran volumen de aceite.

Con la aparición de los interruptores en gran volumen de aceite se generó también un desarrollo continuo de las cámaras interruptivas, cuya función es el control del arco.

El funcionamiento de éstas consiste en que la corriente del arco eléctrico generado por la falla, desarrolla la presión necesaria para producir el soplo y extinguirlo. La presión generada está en función de la corriente del arco, es decir, un incremento de corriente genera un aumento de la presión. Debido a este aumento de presión se produce un soplo más potente y una mayor resistencia eléctrica del arco, por lo que la tensión transitoria de restablecimiento puede ser soportada por distancias más cortas entre contactos. En consecuencia, al aumentar la corriente, la extinción del arco se efectúa con arcos cada vez más cortos.

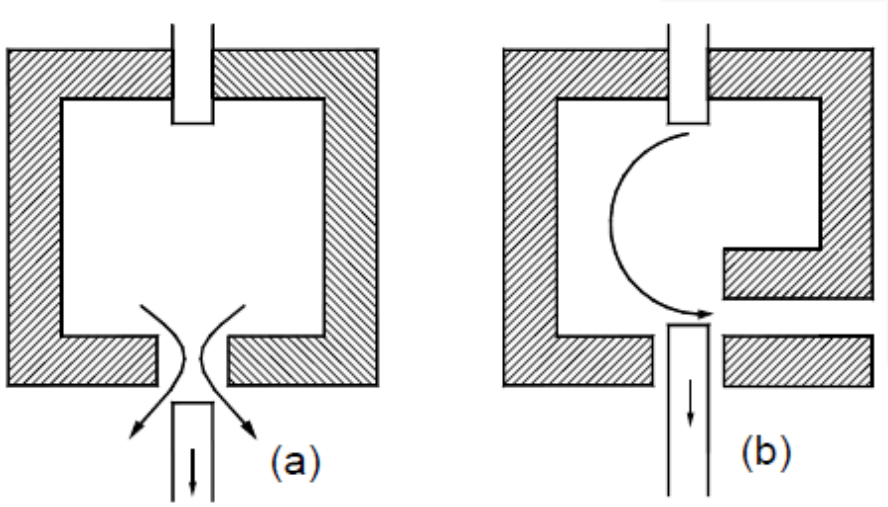


Figura 35
Tipos de cámaras de control de arco (a) Cámara de soplado axial, (b) Cámara de soplado cruzado.

Interruptores en pequeño volumen de aceite, pva.

Debido a la necesidad de reducir espacio por los altos costos del terreno, a la escasez y al precio del aceite, se desarrolló en Europa el interruptor en pequeño volumen de aceite, que utiliza volúmenes menores de aceite. Estos interruptores ocupan aproximadamente el 2 % de aceite de un interruptor de gran volumen de aceite para los mismos valores nominales de tensión y capacidad interruptiva. La principal diferencia entre estos, es que el interruptor en pequeño volumen usa el aceite sólo como medio interruptivo y tiene materiales aislantes sólidos para propósitos dieléctricos, mientras que en los de gran volumen el aceite sirve para ambas funciones.

Esencialmente el interruptor en pequeño volumen, consta por cada fase de un vástago móvil de contacto que se introduce en el eje del contacto fijo, ambos contactos están contenidos en una cámara interruptiva localizada dentro de aisladores huecos. Esos aisladores son fabricados de fibra de vidrio reforzada para aplicaciones de media tensión y de porcelana para tensiones mayores.

En el interruptor en pequeño volumen de aceite, cada fase tiene su propia cámara, la cual está a potencial de la línea. La parte viva y tierra están aisladas mediante soportes aislantes, lo cual clasifica a éste como un interruptor de tanque vivo.

Debido al pequeño volumen de aceite utilizado en estos interruptores, se presenta una carbonización muy rápida por la interrupción de fallas y, por lo tanto, se requiere de un mantenimiento más frecuente que en los de gran volumen. Si el mantenimiento no es efectuado en el tiempo requerido, puede presentarse degradación interna en las superficies aislantes de la cámara interruptiva, lo cual puede provocar una falla catastrófica. Esta es la principal desventaja y una de las razones del uso limitado de estos interruptores.

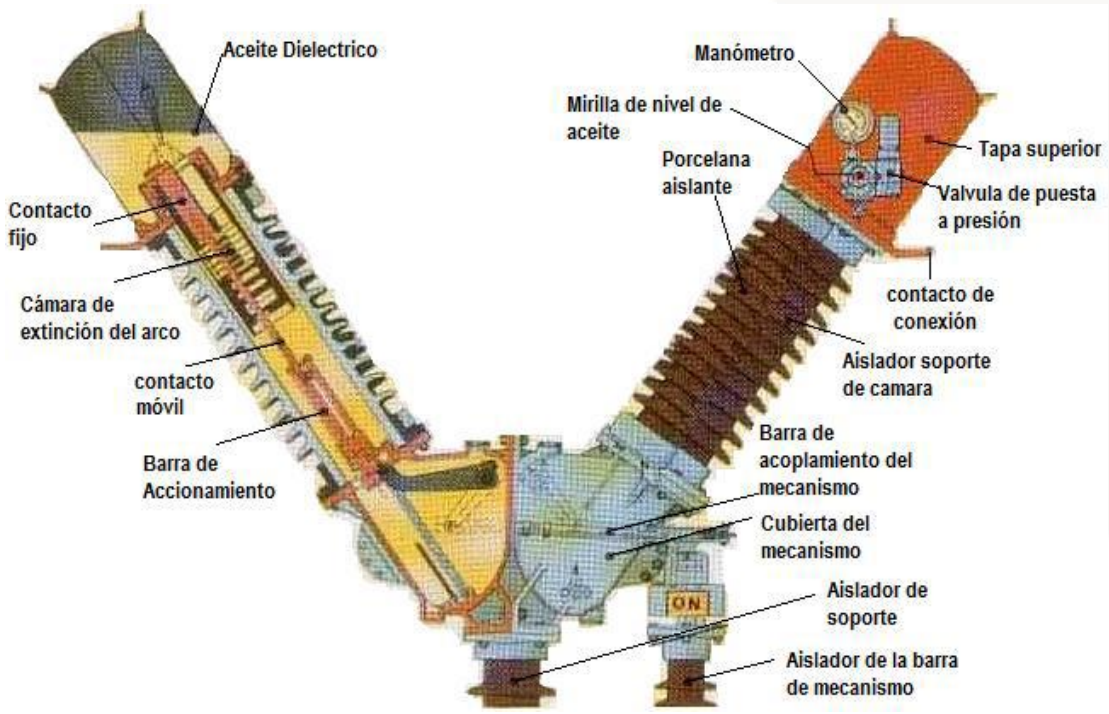


Figura 36

Interruptor en pequeño volumen de aceite marca Sprecher & Schuh de 115 kV con mecanismo de resorte, y sus partes componentes.

Interruptores enSF_6.
Primera generación de interruptores en SF_6.
Interruptores de dos presiones enSF_6**.**

El primer interruptor en SF6 diseñado para aplicación en alta tensión fue comercializado en 1959 por la compañía Westinghouse. El diseño original de este tipo de interruptores fue una modificación a la tecnología de los interruptores de soplo de aire. Esta modificación consistió en agregar una trayectoria cerrada para los gases de escape. El aire fue sustituido por gas SF6 a alta presión, el cual era liberado por una válvula de soplo a través de una tobera a un recipiente de baja presión en lugar de ser liberado a la atmósfera. El gas SF6 era reciclado a través de filtros, comprimido y almacenado en un recipiente de alta presión para ser utilizado en operaciones subsecuentes. Los mecanismos de operación de los interruptores de dos presiones en SF6 fueron prácticamente los mismos que se usaron para interruptores en aceite con ligeras modificaciones o adaptaciones. Esto debido a que la industria estaba acostumbrada a la tecnología en aceite, lo que facilitó la aceptación de los interruptores de dos presiones en SF6.

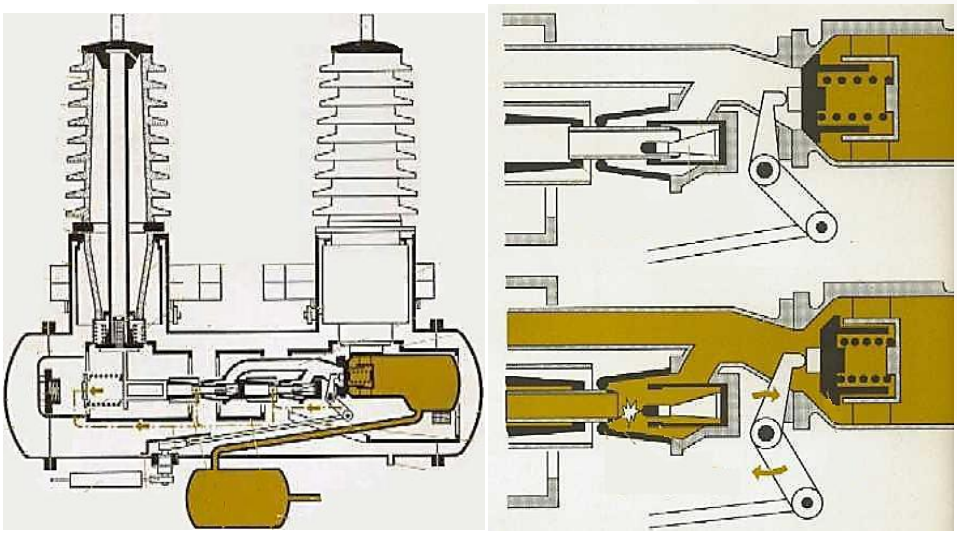


Figura 37
Interruptor en SF6 de dos presiones tanque muerto.

Las presiones de operación eran del orden de 0.2 MPa para el lado de baja y 1.7 MPa para el lado de alta, respectivamente. Estos interruptores se clasifican del tipo de tanque muerto. El diseño del interruptor prevaleció en el mercado hasta mediados de los años setenta, que fue cuando se introdujeron los interruptores de soplo de una presión, con un diseño más simple y confiable. Una de las ventajas de los interruptores de dos presiones es el uso de mecanismos de operación de baja energía comparado con el mecanismo de los interruptores de soplo de una presión. Sin embargo, desde el punto de vista de energía total, se debe de considerar la energía que se gasta en comprimir el gas para almacenaje y la energía adicional que se requiere para prevenir la licuefacción del SF6 a bajas temperaturas ambientales. ig. 3.19 Interruptor en SF6 de dos presiones tanque muerto.

El problema de licuefacción que se presenta a bajas temperaturas fue la desventaja principal de este tipo de interruptores, por lo que se requería el uso de calefacción. Otras de las desventajas son: los grandes volúmenes de SF6 requeridos, las altas tasas de fugas debido a las altas presiones de operación y la complejidad del diseño debido al uso de válvulas de soplo.

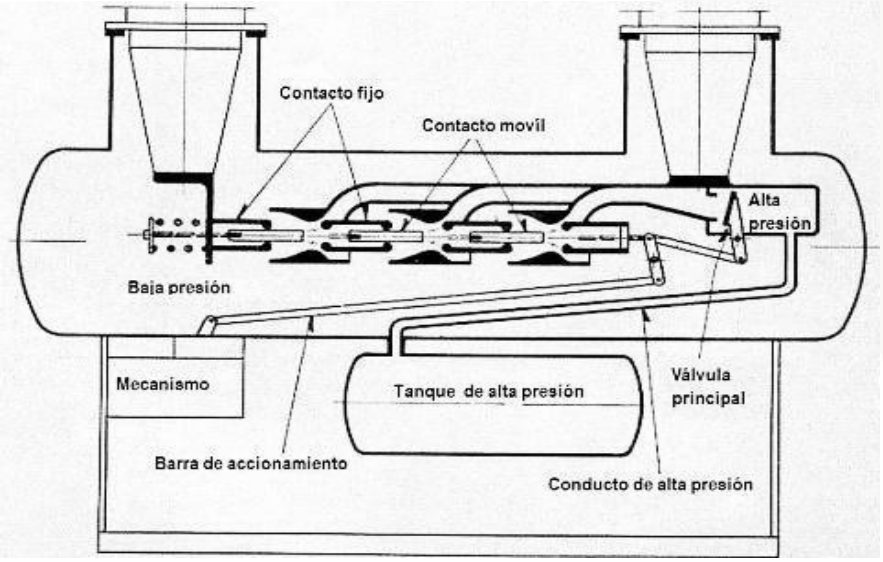


Figura 38

Interruptor en SF6 a dos presiones. Tanque muerto.

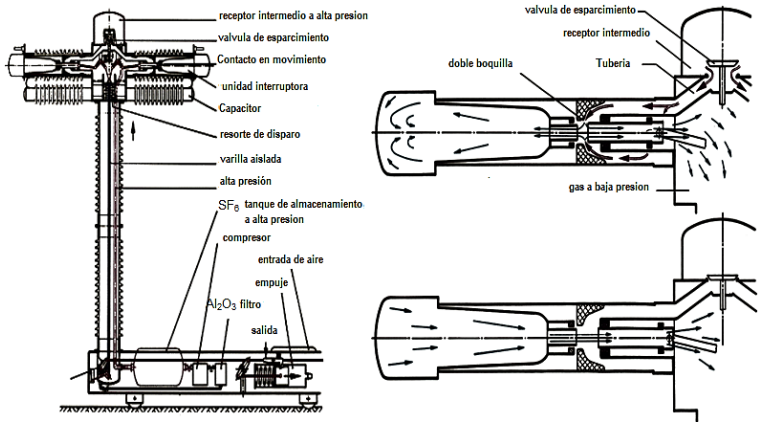


Figura 39

Partes componentes de un interruptor en SF6 a dos presiones Tanque vivo.

Segunda generación de interruptores en SF_6
Interruptores de soplo de una presión

Los fabricantes de interruptores desarrollaron la segunda generación de interruptores concentrándose básicamente en:

- Incrementar la capacidad interruptiva de las cámaras.
- Mejorar la compresión de las diferentes técnicas de interrupción.
- Incrementar la vida útil de los contactos de arqueo.
- Reducir la tasa de degradación de las toberas usando diferentes materiales para construirlas.

Se dice con frecuencia que estos interruptores pertenecen a la familia de los interruptores de auto-soplado, siendo que en realidad, todos los interruptores de una presión son miembros de la familia de los interruptores de auto-soplado. Lo anterior se debe a que, en cualquiera de los dos tipos de interruptores, el incremento de presión en la cámara interruptiva es generada sin la ayuda de compresores externos de gas.

Figura 40

Interruptor tipo soplo en SF6, tanque muerto, marca: Alsthom, tipo: DT1-145F1 de 145 kV, 2000 A, 40 kA de capacidad interruptora con mecanismo de resorte.

La diferencia más notable entre esos dos tipos de interruptores es que, en los interruptores de soplo, la energía mecánica proporcionada por el mecanismo de operación también se utiliza para comprimir el gas, mientras que los interruptores de auto-soplado, usan la energía calorífica liberada por el arco para incrementar la presión del gas. Los interruptores de soplo se han diseñado, tanto en tanque vivo, como en tanque muerto.

La característica principal de los interruptores de soplo es que en la cámara interruptiva tienen ensamblado una combinación de pistón y cilindro como parte de la estructura de los contactos móviles.

La secuencia de operación se muestra en la Figura

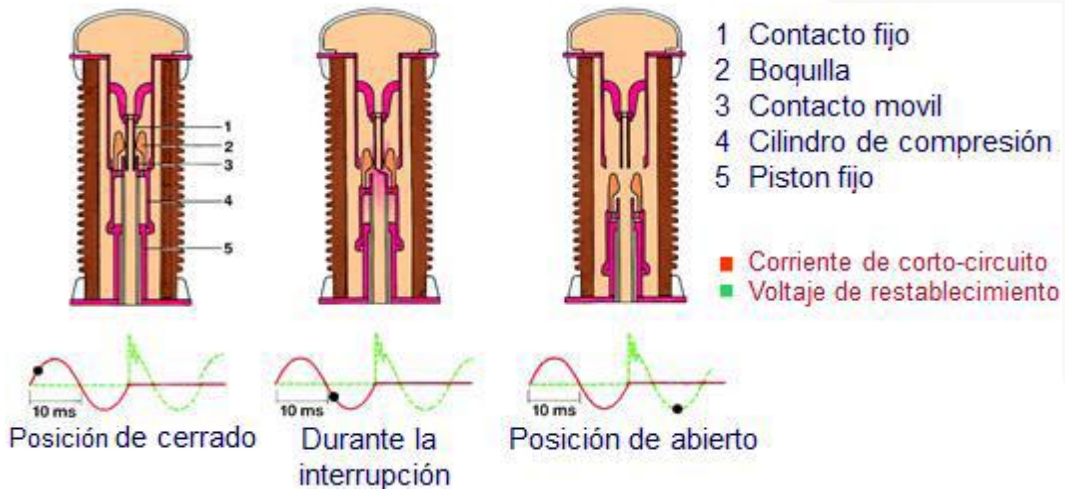


Figura 41

Principio de funcionamiento del interruptor de soplo.

Durante la secuencia de operación la cámara interruptiva se encuentra en la posición de cerrado, donde el volumen se encuentra en reposo. Durante la apertura, los contactos principales se separan seguidos por los contactos de arqueo. El movimiento de los contactos provoca que el volumen disminuya comprimiendo el gas contenido en él. Conforme los contactos continúan separándose, el volumen sigue comprimiéndose y cuando los contactos dejan la garganta de la tobera, se genera un flujo de gas a lo largo del eje del arco. Es importante mencionar que, a corrientes altas, el diámetro del arco puede ser mayor que el diámetro de la tobera, provocando el fenómeno conocido como estrangulación de corriente. Esto causa un bloqueo total de la tobera sin que exista flujo de gas. Como consecuencia de ello, la presión sigue elevándose debido al cambio en el volumen y a la energía que es extraída del arco por el gas atrapado. Es común observar que cuando se interrumpen corrientes grandes, especialmente fallas trifásicas, la velocidad de apertura de este tipo de interruptores es menor debido a la presión generada térmicamente, la cual actúa sobre el ensamble del cilindro o pistón.

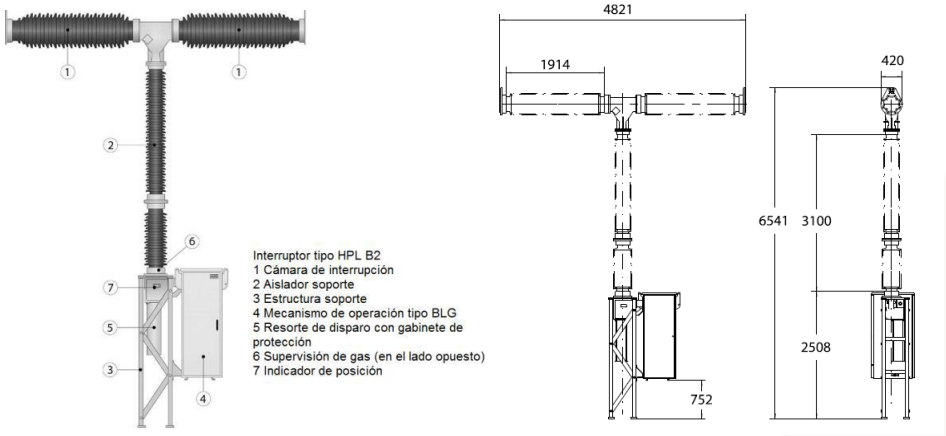


Figura 42

Interruptor en gas SF6 tipo T, tanque vivo marca ABB de soplo.

Sin embargo, cuando se interrumpen corrientes muy pequeñas el diámetro del arco es pequeño y por lo tanto es incapaz de bloquear el flujo de gas, provocando con esto una presión menor para la extinción. Generalmente, para la extinción de pequeñas corrientes o corrientes de carga, para este tipo de interruptor, se requiere pre-comprimir el gas antes de que los contactos abran. Esto es resuelto aumentando la penetración del contacto de arqueo.

La mayoría de los contactos de arqueo son fabricados con puntas de aleación de cobre-tungsteno. La tobera es el componente más importante de un interruptor de soplo. La característica de extinción de un interruptor está gobernada por la geometría de la tobera, tamaño, forma y tipo de material. Las toberas que usan los interruptores de la segunda generación se clasifican en toberas largas y cortas. La mayoría de estos diseños tienen capacidades interruptivas de 50 y 63 kA en tensiones de 420 y 550 kV respectivamente. Está claro que la tasa de ablación depende en gran medida del material utilizado, el cual puede ser teflón puro o teflón rellenado. El teflón puro es de color blanco y es el que se usa con más frecuencia debido a su costo razonable. Se ha observado que en este tipo de material la energía radiada del arco penetra profundamente en el material, produciendo moléculas de carbón. Para superar esto, algunos fabricantes usan teflón de color para absorber la energía radiada en la superficie y prevenir dicha penetración. Existen tres tipos de materiales para el relleno de las toberas: nitruro de boro (color crema), molibdeno (color azul) y óxido de aluminio (color blanco). Puesto que la tasa de ablación en las toberas rellenas es baja, el cambio en el diámetro de la garganta de la tobera después de 20 interrupciones a plena capacidad es mínimo. El teflón relleno es ligeramente más caro que el teflón puro, pero la consistencia en el funcionamiento y la vida útil adicional justifican su uso en cámaras para interrumpir altas corrientes.

Tercera generación de interruptores en SF6.

Interruptores de auto-soplado.

Los interruptores del tipo auto-soplado aprovechan la energía térmica liberada por el arco para calentar el gas e incrementar su presión. En principio, la idea de interruptor de auto-soplado es muy similar al concepto de olla de explosión usado en los interruptores en aceite. El arco se forma a través de un par contactos que están localizados dentro de una cámara de arqueo y el gas calentado a alta presión es liberado a lo largo del arco después de que el contacto móvil se separa de la cámara de arqueo. En algunos diseños, para mejorar el proceso interruptivo en el rango de baja corriente, se incluye un soplado adicional. En otros diseños se opta por incluir una bobina magnética que genera una fuerza que hace girar el arco alrededor de los contactos, proporcionando un enfriamiento adicional del arco conforme éste gira a través del gas SF6 y ayuda a disminuir la tasa de erosión de los contactos de arqueo y, por lo tanto, incrementa la vida útil del interruptor. La Fig. 3.25 muestra una sección transversal de una cámara interruptiva de un interruptor de auto-soplado con bobina magnética.

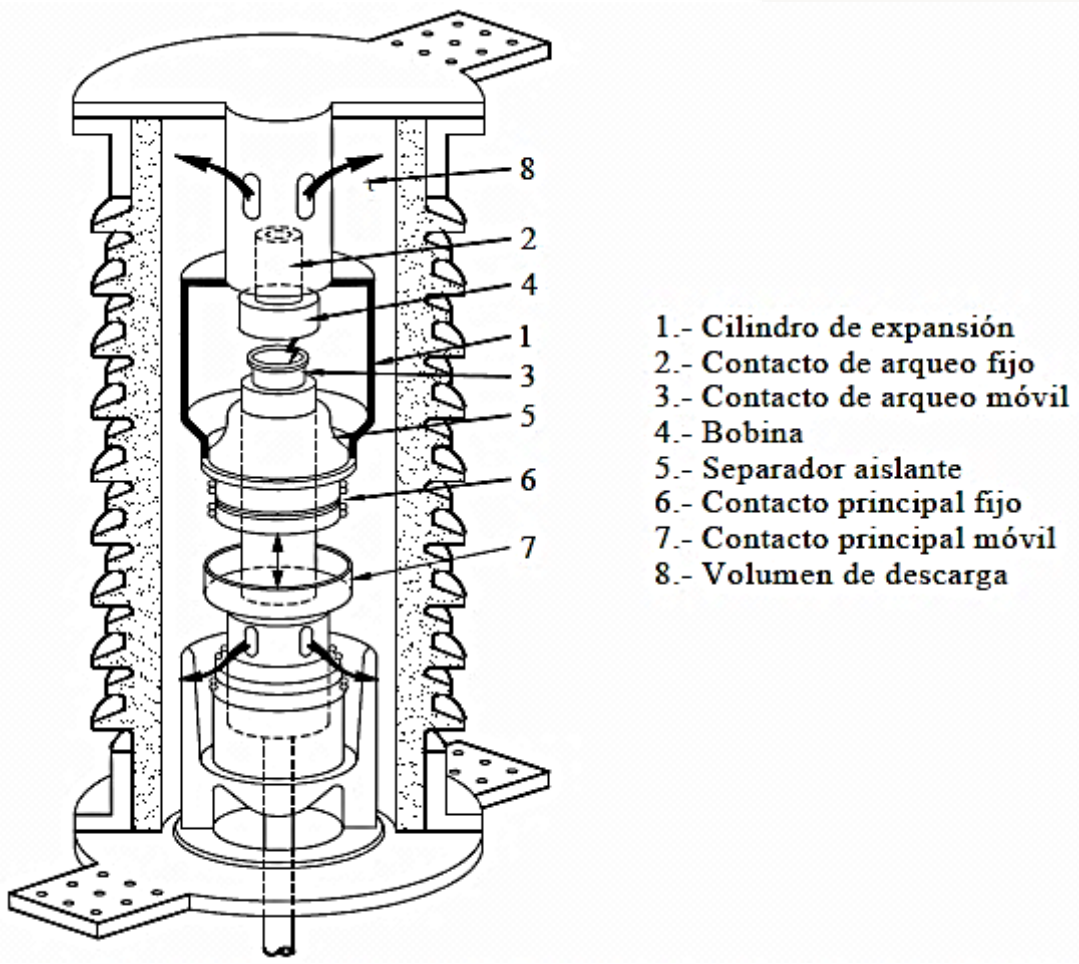


Figura 43

Sección transversal de la cámara interruptiva de un interruptor de auto soplado.

Los interruptores de soplo y auto-soplado requieren del mecanismo para proporcionar energía para mover el cilindro de la cámara a velocidades en el rango de 6 a 9 m•s-1. El movimiento del cilindro comprime el gas SF6 generando un incremento de presión en la tobera, debido a la compresión y al calentamiento del gas por el arco, que extingue los arcos asociados a las diferentes tipos de fallas. Las experiencias en este rubro a nivel mundial en las últimas dos décadas dictan que la mayoría de las fallas en interruptores son de origen mecánico.

Debido a esto, los fabricantes de interruptores han dirigido sus esfuerzos a producir interruptores simples con mecanismos confiables y económicos. Para lograr esto, han atacado el problema fundamental de reducir las fuerzas en el mecanismo durante la apertura. Este trabajo ha conducido al desarrollo de la tercera generación de interruptores, los cuales basando en los interruptores de la segunda generación, con las siguientes mejoras al diseño las cuales son más económicas comparadas con las dos generaciones anteriores de interruptores.

a) Se ha logrado una reducción de 10 al 20% en la energía requerida mediante la optimización del diseño de la cámara interruptiva, la cual asegura que la duración máxima para la corriente más alta no exceda a 21ms.

b) Se ha logrado una reducción del 50 al 60% en la energía mecánica mediante el uso del arco para calentar el gas SF6, generando suficiente presión para extinguirlo y ayudar al mecanismo durante la apertura.
c) La cámara de expansión que proporciona la presión de extinción necesaria a través del calentamiento del gas con la energía del arco.
d) La cámara de soplo que proporciona presión de gas suficiente para extinguir las pequeñas corrientes inductivas capacitivas y corrientes de carga.

El criterio de diseño depende de la optimización de los volúmenes de las dos cámaras.

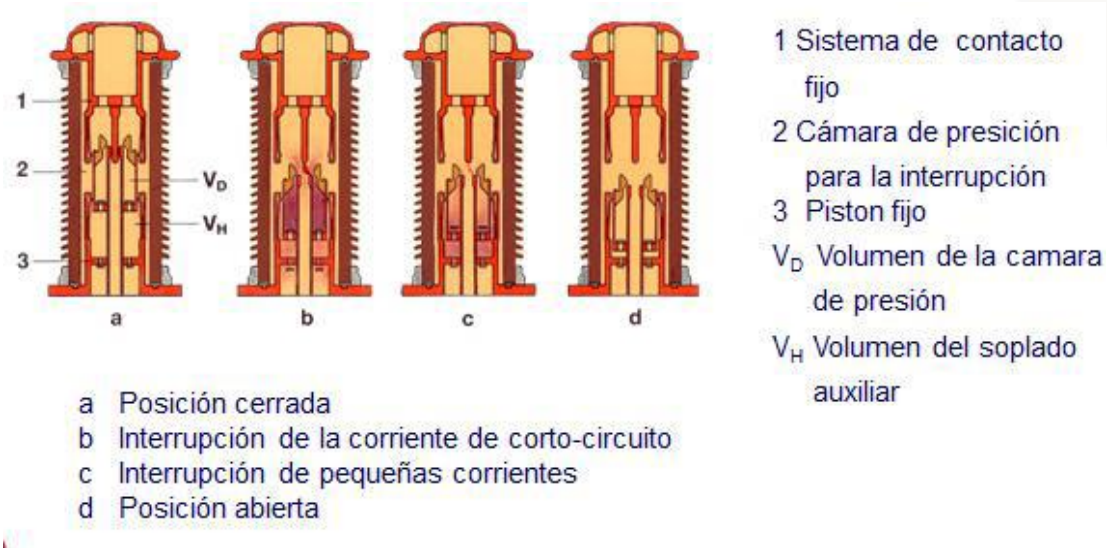


Figura 44

Secciones de las cámaras interruptivas tercera generación de interruptores de SF6.

Las principales ventajas del diseño de los interruptores de la tercera generación son:

a) Interrupción más suave, que produce sobretensiones bajas en la interrupción de pequeñas corrientes inductivas y capacitivas.
b) Requiere mecanismos de baja energía, partes móviles más ligeras, dispositivos de amortiguamiento más simples y cargas menores en bases y otros componentes del equipo.
c) Vida útil mayor, al menos para realizar 10,000 operaciones.
d) Mayor confiabilidad y menor costo de los interruptores.

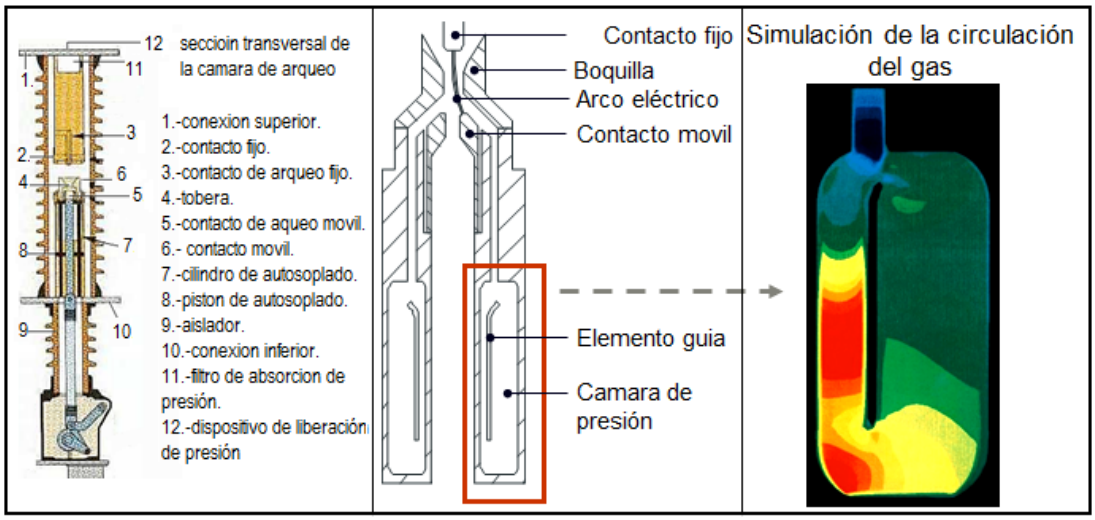


Figura 45

Cámara de arqueo con principio de extinción optimizado marca AEG.

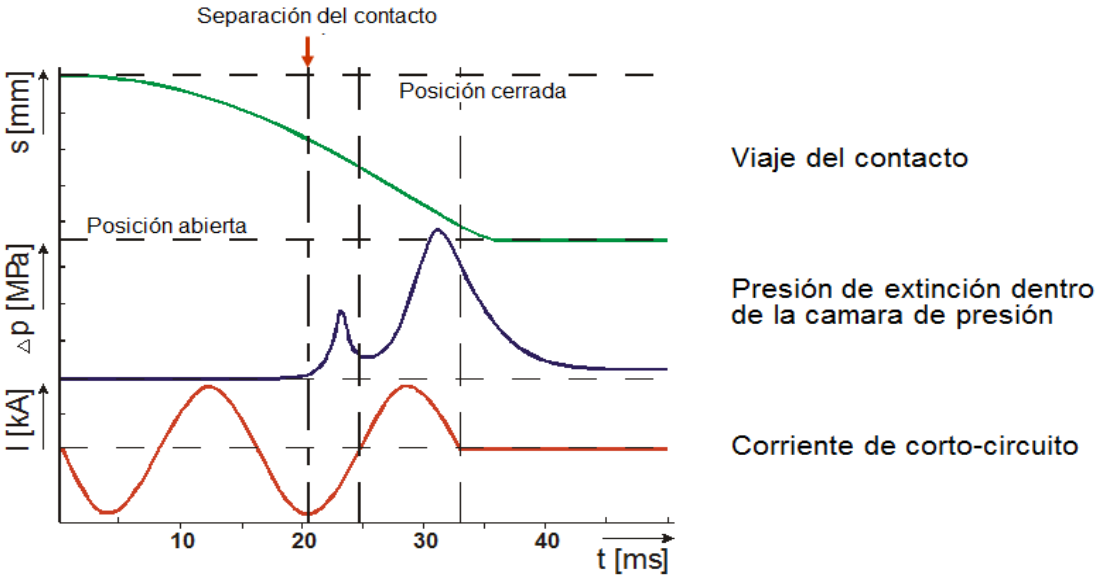
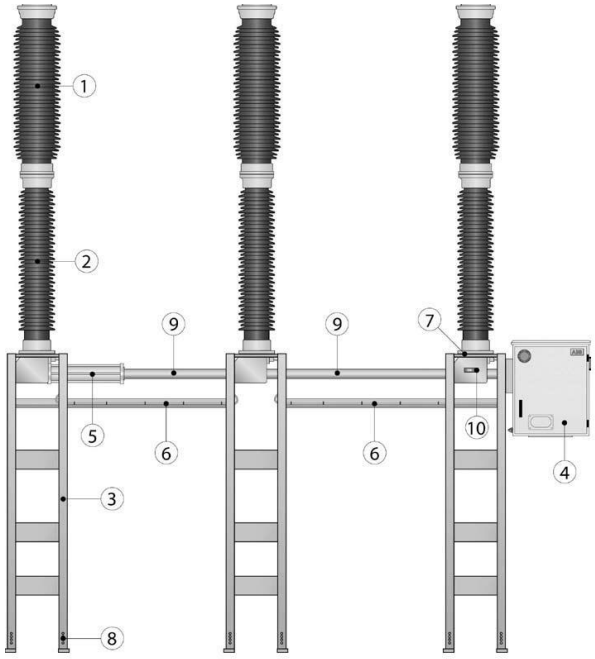


Figura 46

Comportamiento de la presión del gas SF6 en el momento de la apertura de los contactos.

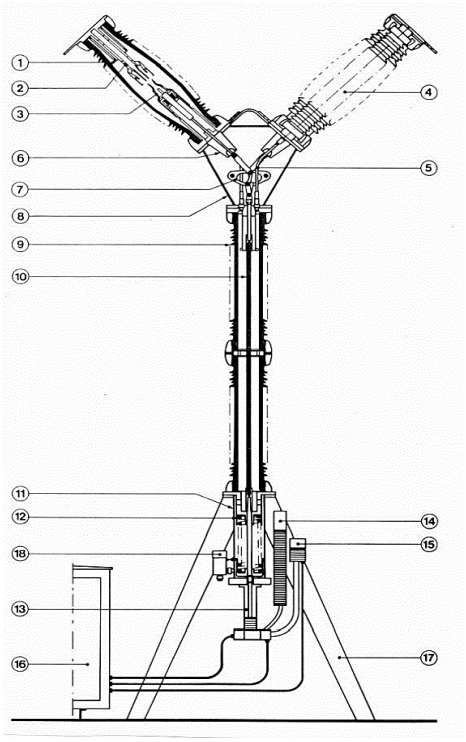


Interruptor tipo LTB D

1. Cámara de interrupción
2. Aislador soporte
3. Estructura soporte
4. Mecanismo de operación tipo BLK
5. Resorte de disparo
6. Tubo de gas con viga protectora
7. Supervisión de gas (En el lado opuesto)
8. Orificios perforados para conexión a tierra
9. Barra de tracción con tubo protector
10. Indicador de posición

Figura 47

Interruptor tipo I en gas SF6 auto-soplado marca ABB.



1. Cámara de corte
2. Contacto fijo
3. Contacto móvil
4. Condensador
5. Conducto acoplamiento de las cámaras
6. Dispositivo de guía
7. Conjunto de bielas de mando
8. Cárter
9. Aislador-soporte
10. Biela aislante
11. Caja colocación de resortes
12. Resortes
13. Gato hidráulico
14. Acumulador de aceite a alta presión
15. Estanque auxiliar de baja presión
16. Armario de mando
17. Chasis metálico
18. Manostato

Figura 48

Interruptor SF6 auto soplado tipo Y dos cámaras por fase. Marca: Merlin Gerin, Modelo: FA *2*.

8.2 Desconectadores de potencia

Los reconectadores, son equipos que sirven para reconectar alimentadores primarios de distribución. Normalmente el 80 % de las fallas son de naturaleza temporal, por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma más rápida posible para evitar interrupciones de largo tiempo. Para estos casos se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y conectarlo después de fracciones de segundo.

Los reconectadores son dispositivos autocontrolados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguidos de una operación final de cierre o apertura definitiva. En caso de que la falla no fuera eliminada, entonces el restaurador opera manteniendo sus contactos abiertos. Los reconectadores están diseñados para interrumpir en una sola fase o en tres fases simultáneamente y pueden tener control hidráulico o electrónico.

Los siguientes requisitos son básicos para asegurar la efectiva operación de un restaurador:

1- La capacidad normal de interrupción del restaurador deberá ser igual o mayor de la máxima corriente de falla.
2- La capacidad normal de corriente constante del restaurador deberá ser igual o mayor que la máxima corriente de carga.
3- El mínimo valor de disparo seleccionado deberá permitir al restaurador ser sensible al cortocircuito que se presente en la zona que se desea proteger.

Figura 49

Figura 50

Figura 51

Los seccionadores, son elementos que no están diseñados para interrumpir corrientes de cortocircuito ya que su función es el de abrir circuitos en forma automática después de cortar y responder a un número predeterminado de impulsos de corriente de igual a mayor valor que una magnitud previamente predeterminada, abren cuando el alimentador primario de distribución queda desenergizado.

En cierto modo el seccionador permite aislar sectores del sistema de distribución llevando un conteo de las operaciones de sobrecorriente del dispositivo de respaldo.

Por su principio de operación el medio aislante de interrupción puede ser aire, aceite o vacío y en cuanto al control es similar al caso de los reconectadores o sea puede ser hidráulico, electrónico o electromecánico. La misión de este aparato es la de unir o separar de una forma visible diferentes elementos, componentes o tramos de una instalación o circuito.

Aunque los seccionadores han de maniobrarse normalmente sin carga, en determinadas circunstancias pueden conectarse o desconectarse con pequeñas cargas. Cuando se trata de corrientes magnetizantes, como la corriente de vacío de los transformadores, y que tienen un carácter claramente inductivo, la carga que pueden cortar los seccionadores es menor. Se puede decir que en tales circunstancias, la potencia máxima que pueden cortar los seccionadores es de 50 KVA.

Los seccionadores habitualmente utilizados en instalaciones eléctricas tienen muy variadas formas constructivas resultando de interés atender a una clasificación según su modo de accionamiento:

- Seccionadores de cuchillas giratorias.
- Seccionadores de cuchillas deslizantes.
- Seccionadores de columnas giratorias
- Seccionadores de pantógrafo.

Dentro de esta clasificación se puede añadir que todos ellos pueden tener una constitución monopolar o tripolar.

Figura 52
Construcción monopolar.

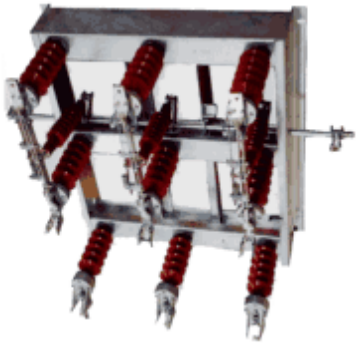


Figura 53
Construcción tripolar.

Seccionadores de cuchillas giratorias

Estos aparatos son los más empleados para media tensión, tanto como para interior como para exterior, pudiendo disponer tanto de seccionadores. La constitución de estos seccionadores es muy sencilla, componiéndose básicamente en una base o armazón metálico rígido (donde apoyaran el resto de los elementos), dos aisladores o apoyos de porcelana, un contacto fijo o pinza de contacto y un contacto móvil o cuchilla giratoria (estos dos últimos elementos montados en cada uno de los aisladores de porcelana).

La principal diferencia entre los seccionadores de cuchillas giratorias para instalación en interior e instalación en intemperie estriba en el tamaño y forma de los aisladores que soportan los contactos.

En muchos casos resulta conveniente poner a tierra las instalaciones cuando se ha de trabajar en ellas, para lo cual se construyen seccionadores con cuchillas de puesta a tierra accionadas por medio de una palanca auxiliar maniobrada con la pértiga de accionamiento.

Seccionadores de cuchillas deslizantes.

Con una estructura muy similar a la de los seccionadores de cuchillas giratorias, descritos anteriormente, poseen la ventaja de requerir menor espacio en sus maniobras dado que sus cuchillas se desplazan longitudinalmente, por lo que se puede instalar en lugares más angostos. No obstante, dado su tipo de desplazamiento de las cuchillas, estos seccionadores tienen una capacidad de desconexión inferior en un 70% a los anteriores.

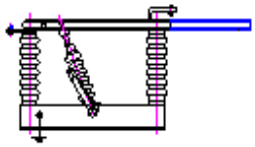


Figura 54
Seccionador de cuchillas deslizantes.

Seccionadores de columnas giratorias.

Este tipo de seccionadores se utilizan en instalaciones a la intemperie y con tensiones de servicio superiores a 30 KV. Dentro de este tipo de seccionadores cabe distinguir dos construcciones diferentes.

1.- Seccionadores de columna giratoria central:

En este tipo de seccionador la cuchilla está fijada sobre una columna aislante central que es giratoria. Con esta disposición se tiene una interrupción doble. Las dos columnas exteriores están montadas rígidamente sobre un soporte metálico de perfiles laminados y son las encargadas de sostener los contactos fijos.

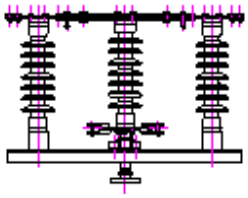


Figura 55
Seccionador de columna giratoria central.

Este seccionador puede montarse también con cuchilla de puesta a tierra, se suele utilizar en instalaciones con tensiones deservicio entre 45 y 400 KV y corrientes nominales comprendidas entre 630 A y 1,200 A.

2.- Seccionadores de dos columnas giratorias:

El seccionador dispone de dos columnas en lugar de tres como el modelo de columna giratoria central, siendo ambas columnas portadoras de cuchillas giratorias. En este caso se obtiene solo un punto de aplicación de este seccionador es en instalaciones de intemperie con tensiones de servicio de hasta 110 KV y corrientes nominales comprendidas entre 800 A y 2,000 A. Este tipo de seccionador puede montarse con cuchilla puesta a tierra. El accionamiento de esta clase de seccionadores puede realizarse manualmente, por aire comprimido o por motor eléctrico.

Seccionadores de pantógrafo.

Los seccionadores de pantógrafo han sido creados para simplificar la concepción y la realización de las instalaciones de distribución de alta tensión en intemperie (se suelen utilizar para la conexión de entre líneas y barras que se hallan a distinta altura y cruzados entre sí).

Conceptualmente se distinguen de los anteriores seccionadores mencionados porque el contacto fijo de cada fase ha sido eliminado, realizando la conexión del contacto móvil directamente sobre la línea (en un contacto especial instalado en la misma).

Estos seccionadores se disponen para tensiones de servicio entre 132 y 400 KV en corrientes nominales entre 800 A y 1,600 A cuyos componentes principales, por polo o fase, son por lo general los siguientes.

El soporte inferior: en cuyo interior se sitúan los resortes que aseguran la presión de contacto, así como el eje demando.

La columna soporte: constituida por dos aisladores súper puestos y acoplados entre sí por fijación mecánica. Esta columna contiene el eje aislante de resina sintética que asegura el enlace entre el pantógrafo y el eje de mando. El soporte superior: en cuyo interior está fijado el mecanismo que ataca los brazos inferiores del pantógrafo.

El pantógrafo propiamente dicho: constituido por cuatro brazos horizontales cruzados, dos a dos por cuatro brazos verticales y por los contactos móviles.

El contacto de línea: Fijado a la línea por una derivación en forma de T.

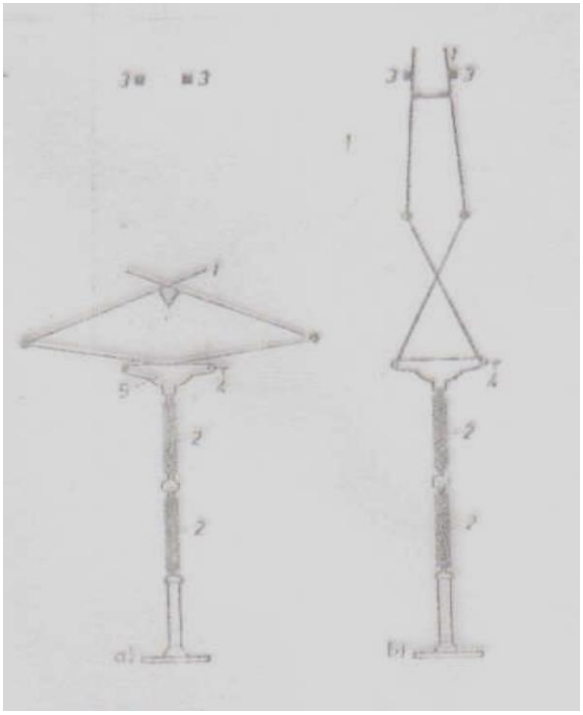


Figura 56
Seccionador tipo pantógrafo.

Mando de seccionadores.

Los mandos para seccionadores de alta tensión son muy variados, los cuales se pueden agrupar en distintos clasificaciones de las que una podría ser la siguiente:

Mando por pértiga.
Mando mecánico a distancia.
Mecanismo de biela y manivela.
Mecanismo por árbol, y transmisión.
Mecanismos por cadena y piñones.

Mando por servomotor.
Motor eléctrico con reducción.
Grupo motor-bomba y transmisión hidráulica.
Grupo motor-compresor y transmisión neumática.

Los mandos por pértiga y mecánico a distancia son los más utilizados en instalaciones de media tensión.

Los mandos por servomotor se emplean principalmente en seccionadores de columnas giratorias y en los seccionadores de pantógrafo.

8.3 Especificaciones técnicas de interruptores y desconectadores (capacidades, poder de ruptura)

Especificaciones técnicas de interruptores de potencia.

Condiciones normales de operación.

Las normas ANSI (American National Standard Institute) consideran como condiciones normales o usuales de operación cuando la temperatura ambiente no excede los 40°C y que no esté por debajo de los -30°C, la altitud nominal de operación es aquella que no excede los 1000 m.s.n.m. (Metros sobre el nivel del mar), sin marcar diferencia a las condiciones de operación para aplicaciones en interior o intemperie.

Para la IEC (International Electro technical Commission) sí hace diferencia entre aplicaciones para interior o intemperie, se establece que el límite de altitud es de 1000 m.s.n.m. a una temperatura ambiente máxima de 40°C para ambas aplicaciones, sin embargo se especifica que el promedio de temperatura máxima en un promedio de 24h no debe de exceder los 35°C.

En cuanto a los límites inferiores de temperatura existen dos opciones para cada aplicación, para interiores son -5°C y -25°C. Para aplicaciones tipo intemperie los límites son -25°C y -40°C adicionalmente.

Características nominales

Las condiciones de operación de los interruptores de potencia están definidas por un cierto número de valores característicos, designados como “características nominales” o “valores preferidos”, porque son las que sirven para denominarlos y comúnmente están inscritas en la placa de datos del interruptor.

Las características nominales más importantes de un interruptor se pueden describir de la siguiente manera:

Tensión nominal y tensión máxima de diseño

Para ésta característica nominal del interruptor, la ANSI la describe como tensión máxima de operación, mientras que la IEC la describe como tensión nominal.

Esta característica establece el límite superior de la tensión del sistema para el cual está diseñado el interruptor. Tomando en cuenta las condiciones normales de operación, así como la tensión del sistema no es constante en lapsos de tiempo, el interruptor debe de garantizar su correcta operación a la tensión máxima y a la tensión máxima de diseño.

La tensión máxima de diseño de un interruptor es el valor eficaz (r m s) de la tensión entre fases para la que el interruptor ésta diseñado y representa el límite superior del voltaje del sistema al cual el interruptor puede operar en forma continua.

La tabla Nº 37, nos describe las tensiones nominales y máximas de diseño según la Norma *IEC 62271-100-2001* (High-Voltage Alternating- Current Circuit-Breakers).

VOLTAJE NOMINAL (KV)	***VOLTAJE MAXIMO DEDISEÑO (KV)***
2.2	*3.6*
4.16	*4.16*
13.18	*15.0*
23.0	*24.6*
34.5	*38.0*
69.0	*72.5*
115.0	*123.0*
230.0	*245.0*
400.0	*420.0*

Tabla 2

Corriente nominal y corriente nominal de interrupción de cortocircuito.

La corriente nominal es el valor eficaz (r m s) de la corriente expresada en amperes para el que está diseñado y que tiene la capacidad de conducir continuamente a la frecuencia nominal, sin exceder los límites de elevación de temperatura de los elementos conductores del interruptor.

Los valores establecidos por la IEC en la Norma IEC-62271-100-2001 y la ANSI en la Norma ANSI-C37.12-1952 Guide Specifications for Alternating Current Power Circuit Breakers son:

Los valores de corriente nominal establecidos por IEC son; 630 A; 800 A; 1 250 A; 1 600 A; 2 000 A; 3 150 A; y 4 000 A. Los valores correspondientes especificados por ANSI son; 600 A; 1 200 A; 1600A y 2 000 A.

La corriente nominal de los interruptores de potencia es la corriente con la que opera el interruptor de potencia. De igual forma el interruptor de potencia debe ser capaz de interrumpir la corriente de cortocircuito dada por el valor eficaz de su componente en corriente alterna, asociada con una componente de corriente directa.

La corriente nominal y la corriente nominal de interrupción de cortocircuito de los interruptores deben seleccionarse de los valores indicados en la tabla Nº 3.

Tensión nominal del interruptor de potencia (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente de interrupción de corto circuito (kA)	Corriente de interrupción en cables cargados (cable en vacío) (A)	Corriente de interrupción con línea cargada (línea en vacío) (A)
72,5	1250	20 25 31,5	125	10
100	1250	20 25 31,5	125	20
123	1250 1600	25 31,5	140	31,5
	1600 2000	40		
145	1250 1600 2000	31,5	160	50
	1600 2000 3150	40 50		
170	1250 1600 2000	31,5	160	63
	1600 2000	40 50		
245	1250 1600	31,5	250	125

	2000 3150			
	1600 2000	40		
	2000	50		
420	1600 2000	31,5	400	400
	1600 2000	40		
	2000	50		

Tabla 3

Corrientes nominales de operación y corrientes de interrupción.

Corriente sostenida de corta duración

La corriente nominal sostenida de corta duración (1 s) es la que el interruptor de potencia es capaz de conducir en posición cerrada y con un valor igual al de la corriente nominal de interrupción de cortocircuito.

Corriente de cierre en cortocircuito

Todos los interruptores de potencia deben poder cerrar sin sufrir daños ni deformaciones permanentes, con una corriente (valor cresta) de cortocircuito correspondiente a la tensión nominal, cuyo valor debe ser 2,6 veces, la componente de CA, de la corriente nominal de interrupción de cortocircuito.

Corriente de interrupción fuera de fase

A la tensión nominal del sistema, todos los interruptores de potencia deben ser capaces de soportar sin sufrir daños ni deformaciones permanentes, una corriente de interrupción fuera de fase del 25 % del valor nominal de la corriente eficaz de interrupción de cortocircuito.

Frecuencia nominal

La frecuencia nominal de un interruptor es la frecuencia de la red para la que el interruptor fue diseñado y a la que corresponden las otras características nominales.

Se ha recomendado que la frecuencia nominal sea de 50 Hz o 60 Hz según la norma IEC-56-2.

Presión nominal de operación del gas para interrupción

Las normas establecen una presión de 0.5, 1, 1.6, 2, 3 y 4 Mpa para la presión nominal de operación del gas. El dispositivo de operación neumática debe ser capaz de abrir y cerrar el interruptor cuando la presión del gas comprimido este comprendida entre 85 y 100% de la presión nominal de alimentación.

Capacidad interruptiva nominal

La capacidad interruptiva nominal de un interruptor se define como máxima intensidad de corriente, medida en el instante en que se separan los contactos, que el interruptor puede cortar con un voltaje de recuperación de frecuencia fundamental (el voltaje de recuperación es el valor eficaz de la onda fundamental, a la frecuencia del sistema del voltaje entre fases que reaparece en el circuito, después de que se han extinguido los arcos en todos los polos del interruptor).

De acuerdo a las normas IEC-56-2 la capacidad interruptiva queda definida por dos valores:

- La capacidad interruptiva simétrica, expresada por el valor eficaz (R.M.S.) de la componente de corriente alterna de la corriente total interrumpida por el interruptor.

  Por lo tanto, la capacidad interruptiva simétrica está dada por:

$$I_s = \frac{I_{ca}}{\sqrt{2}}\ Amperes\ (valor\ eficaz)$$

- La capacidad interruptiva asimétrica o total expresada por el valor eficaz (R.M.S.) de la corriente total, que comprende las componentes de corriente alterna y corriente directa, interrumpida por el interruptor.

Por lo tanto, la capacidad interruptiva asimétricaI_{as} está dada por:

$$I_{as} = \left(\frac{I_{ca}}{\sqrt{2}}\right)^2 + I_{cd}^2\ Amperes\ (valor\ eficaz)$$

El valor eficaz de la componente alterna de la corriente de interrupción de corto circuito debe elegirse entre los siguientes valores: 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 y 100 kA.

Secuencia de operación nominal

El ciclo de trabajo de un interruptor de potencia consiste en una serie de operaciones de apertura (desconexión) y cierre (conexión) o ambas a la vez. Los tiempos asociados a las maniobras son de gran importancia, tanto desde el punto de vista de la estabilidad del sistema, como de la demanda térmica. Mientras más se tarde el interruptor en eliminar la corriente de falla, mayor será el daño que ésta causará al sistema.

El ciclo de operación nominal de un interruptor es el número prescrito de operaciones unitarias a intervalos de tiempo establecidos. De acuerdo con las recomendaciones de IEC para el servicio nominal de la operación de interruptores, cuya utilización no está especificada para *autorecierre*, se puede expresar de la siguiente forma:

A – 0,3s – CA – 3 min – CA

En donde:

A= operación de apertura.
CA= operación de cierre-apertura.

A – 0 – CA

En donde:

0 (cero) representa el tiempo muerto del interruptor en ciclos.

Los diversos componentes del tiempo de operación del interruptor aparecen mostrados la siguiente gráfica:

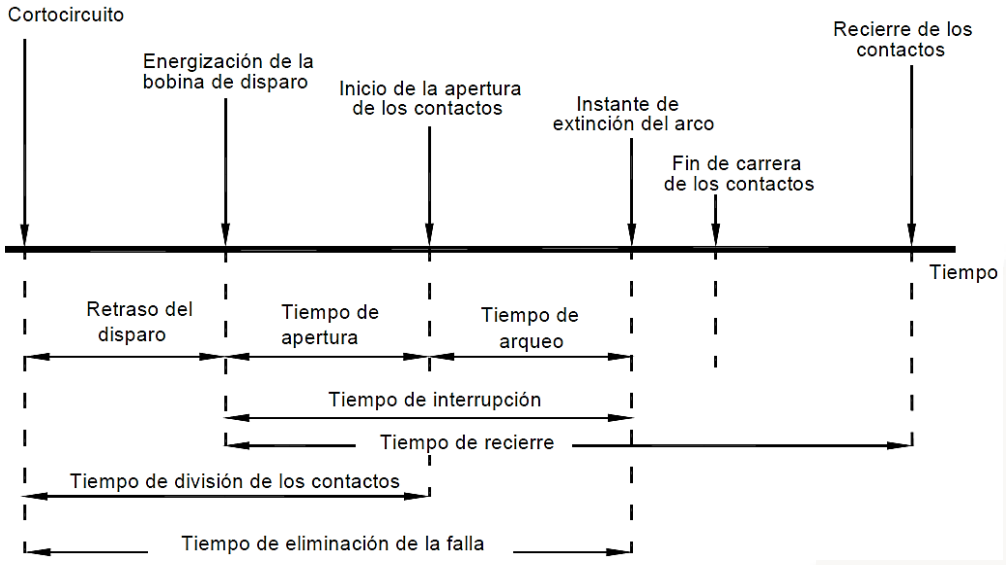


Tabla 4

Componentes del tiempo de operación de un interruptor

Simultaneidad en la operación de los polos

Los interruptores de potencia deben cumplir las siguientes diferencias en simultaneidad de tiempo de operación entre el primero y el último polo del interruptor de potencia:

a) En operación de cierre 4.16 ms, máximo.
b) En operación de apertura 2.77 ms, máximo.

Corriente capacitiva nominal de interrupción

En caso que los interruptores de potencia operen con bancos de capacitores, deben ser capaces de soportar sin sufrir daños ni deformaciones permanentes, la operación de conexión y desconexión de bancos de capacitores. La capacidad de los bancos de capacitores debe ser indicada en las Características Particulares. La interrupción de corrientes capacitivas es la tarea de mayor responsabilidad operativa de un interruptor.

Nivel básico de aislamiento al impulso (BIL)

Este requerimiento está basado en el hecho de que las sobretensiones producidas por rayos son una de las causas principales de salidas del sistema y de fallas en el equipo de potencia. La magnitud y la forma de la onda del impulso dependen del nivel de aislamiento de la línea y de la distancia entre el punto de origen del impulso y el punto de la línea que está bajo consideración. Debido a lo anterior, es difícil establecer un límite superior para estas sobretensiones y, por lo tanto, es impráctico esperar que los interruptores se diseñen para soportar los límites superiores de las sobretensiones.

El objetivo de especificar un nivel de soporte al impulso, es definir la capacidad máxima de un interruptor y el nivel de coordinación de tensión que debe proveer.

El nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) que se especifica, en realidad sólo refleja las prácticas de coordinación de aislamiento utilizadas en el diseño de sistemas eléctricos, el cual está influenciado por los límites de aislamiento y los requerimientos de protección de transformadores de potencia y otros equipos del sistema. ANSI especifica únicamente un valor de NBAI para cada clase o nivel de tensión de interruptores, con la excepción de interruptores de 25.8 y 38 kV donde especifica dos valores. El valor más bajo es propuesto para aplicaciones en sistemas de distribución con estrella aterrizada y equipados con aparta-rayos. IEC, en contraste, especifica dos valores de NBAI para todas las clases de Tensión, excepto para las clases 52 y 72.5 kV donde sólo se especifica un valor, y para 245 kV donde se proporcionan tres valores.

ANSI					IEC	
Tensión nominal (kV)	Tensión nominal (PU)	NBAI (kV)	Onda cortada a 2µs (kV)	Onda cortada a 3µs (kV)	NBAI (kV)	Tensión nominal (kV)
72,5	4,8	350	452	402	325	72,5
121	4,55	550	710	632	550 450	123

145	4,5	650	838	748	650 550	145
169	4,45	750	968	862	750 650	170
242	3,7	900	1160	1040	1050 950 850	245
362	3,58	1300	1680	1500	1175 1050	362
550	3,26	1800	2320	2070	1550 1425	550

Tabla 5

Comparación del NBAI entre los requerimientos de ANSI e IEC

Soporte con impulso de maniobra

Este requerimiento se aplica a interruptores de clase 362kV o superiores (ANSI) y de 300kV o superiores (IEC). La razón de que solo se especifiquen estos requerimientos a estas tensiones, es debido a que a valores más bajos de tensión, el valor pico de la tensión de soporte excede el valor de 3p.u. Este es el valor que ha sido seleccionado como el máximo impulso de maniobra no controlado que puede encontrarse en un sistema.

Tensión nominal (kV) valor eficaz	Tensión de aguante a la frecuencia del sistema (kV) valor eficaz (1 min) seco(s) y húmedo(s)		Tensión de aguante nominal al impulso por rayo (kV) valor pico seco(s)		Tensión de aguante nominal a impulso por maniobra (kV) valor pico seco(s) y húmedo(s)		
Interruptor de potencia	De fase a tierra y a través de interruptor de potencia cerrado	De fase a tierra y a través de interruptor de potencia abierto	De fase a tierra y a través de interruptor de potencia cerrado	De fase a tierra y a través de interruptor de potencia abierto	De fase a tierra	Entre fases para interruptor de potencia de tanque muerto	A través de las terminales del interruptor de potencia abierto
1	2	3	4	5	6	7	8
72,5	140 (s/h)		325		NA	NA	NA
100	185 (s/h)		450		NA	NA	NA
123	230 (s/h)		550		NA	NA	NA
145[(2)(3)]	275 (s/h)		650		NA	NA	NA
170[(4)]	325 (s/h)		750		NA	NA	NA
245	460 (s/h)		1050		NA	NA	NA
245[(2)]	380(s)	435(s)	1050	1050(+170)	850	1275	700(+245)

420	520(s)	610(s)	1425	1425(+240)	1050	1575	900(+345)
420[2]	620(s)	800(s)	1550	1550(+315)	1175	1760	900(+450)

En la especificación CFE V5000-01 a esta tensión se le nombra “Tensión de aguante nominal a impulso de maniobra”.

En la siguiente tabla se muestran los valores normalizados en la especificación CFE V5000-01 para las tensiones de aguante nominal a la frecuencia del sistema, a impulso de rayo e impulso de maniobra.

Tabla 6

Tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas establecidas en la especificación CFE V5000-01.[1][5]

Notas:

[1] Los valores de prueba indicados en esta tabla están referidos a las condiciones normalizadas de 101,3 kPa de presión, 20 ºC de temperatura y humedad absoluta de 11 g/m3.

[2] Exclusivamente para los casos de extra alta contaminación y/o altitudes mayores a 2 500 m s.n.m.

[3] Exclusivamente para los casos en los que se requiera corrientes de interrupciones de 50 kA o mayores.

[4] Tensión restringida del sistema de 161 kV.

[5] Los valores especificados en la tabla están basados en un estudio de coordinación de aislamiento realizado por el LAPEM, con los siguientes parámetros principales: Índice de falla del equipo 1/400; tensión nominal del apartarrayos 192 kV para tensión nominal del sistema de 245 kV; Tensión nominal del apartarrayos de 336 kV para tensión nominal del sistema de 420 kV.

Niveles de contaminación

La distancia de fuga de fase a tierra se calcula tomando en cuenta la distancia de fuga específica y la tensión nominal de fase a fase del interruptor, conforme lo indicado en la norma IEC 60815.

Nivel de contaminación (severidad)	Descripción de ambientes típicos
Ligera	Ambiente a más de 50 km del mar, desierto o sitio árido. Ambiente a más de 10 km de fuentes de contaminación hechas por el hombre. Ambiente con distancias cortas a fuentes contaminantes, pero donde: Para los tres casos anteriores aplica lo siguiente: • Prevalecen vientos no directos de la fuente contaminante. • y/o con meses regulares de lluvia. Ambientes con 10km a 50 km del mar, de un desierto o de un sitio árido. Ambientes con 5km a 10km de fuentes de contaminación hechas por el hombre.

	Para ambos casos anteriores aplica lo siguiente: • Prevalecen vientos no directos de la fuente contaminante. • y/o con meses regulares de lluvia.
Media	Ambientes con 3km a 10km del mar, de un desierto o de un sitio árido. Ambientes con 1 km a 5km de fuentes de contaminación por el hombre. Para los tres casos anteriores aplica lo siguiente: • Prevalecen vientos no directos de la fuente contaminante. • y/o con meses regulares de lluvia. Además aparte de las fuentes de contaminación ya mencionadas y distancias en el intervalo especificado para niveles de contaminación ligera se tiene: • niebla densa (o llovizna) la cual muchas veces ocurre después de largos periodos (semanas o meses) de acumulación de contaminantes. • y/o presencia de lluvias fuertes con alta conductividad. • y/o hay un alto nivel de DMNSD*, entre 5 y 10 veces el nivel de DESD**.

Tabla 7

Niveles de contaminación para ambientes típicos.

Alta	Ambiente dentro de una distancia de hasta 3km respecto al mar, de un desierto o de un sitio árido. Ambiente dentro de una distancia de hasta 1km de fuentes de contaminación hechas por el hombre. Ambientes con distancias entre 1km a 5km con respecto a las fuentes contaminantes, pero con: • niebla densa (o llovizna) la cual muchas veces ocurre después de largos periodos (semanas o meses) de acumulación de contaminantes. • y/o presencia de lluvias fuertes con alta conductividad. • y/o hay un alto nivel de DMNSD, entre 5 y 10 veces el nivel de DESD.
Extra Alta	Ambientes con distancias respecto a las fuentes contaminantes iguales a las de ambientes de contaminación alta pero: • sujetos a brisa directa del mar o niebla salina densa. • sujetos a contaminantes con alta conductividad, o cemento en polvo con alta densidad y con frecuente humectación por niebla o llovizna. • áreas desérticas con rápida acumulación de arena, sales y condensación regular.

Tabla 8

*DMNSD: Densidad de Materiales No Solubles Depositados.

**DESD: Densidad Equivalente de Sal Depositada.

Relación entre el nivel de contaminación y la distancia mínima de fuga.

Para cada nivel descrito en la tabla de niveles de contaminación para ambientes típicos, en la siguiente tabla se indica la distancia de fuga específica nominal mínima correspondiente en milímetros por kilovoltio (fase a fase) de la tensión máxima de diseño de un equipo.

Tabla Nº 42. Distancia de fuga especifica nominal mínima.

Nivel de contaminación	Distancia de fuga específica nominal mínima[1] (mm/kV)[2]
Ligera	16
Media	20
Alta	25
Extra Alta	31

Tabla 9

[a] Para la distancia de fuga real, son aplicables las tolerancias de fabricación específicas.
[b] Relación de la distancia de fuga medida entre fase y tierra sobre el valor eficaz de la tensión máxima de diseño fase-fase del equipo.

Diámetro promedio de aisladores.

Los aisladores son los soportes que ayudan a separar de tierra los materiales conductores o con potencial, su estructura y el diámetro son de importancia significante dado que deben soportar esfuerzos tanto eléctricos como mecánicos. El diámetro promedio esta dado en:

1) Faldones similares:

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2}$$

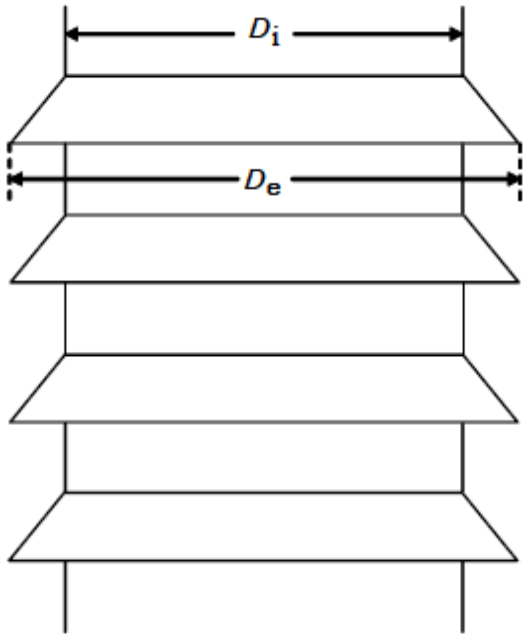


Tabla 10
Aislador con faldones similares

2) Faldones alternados:

$$D_m = \frac{D_{e1} + D_{e2} + 2D_i}{4}$$

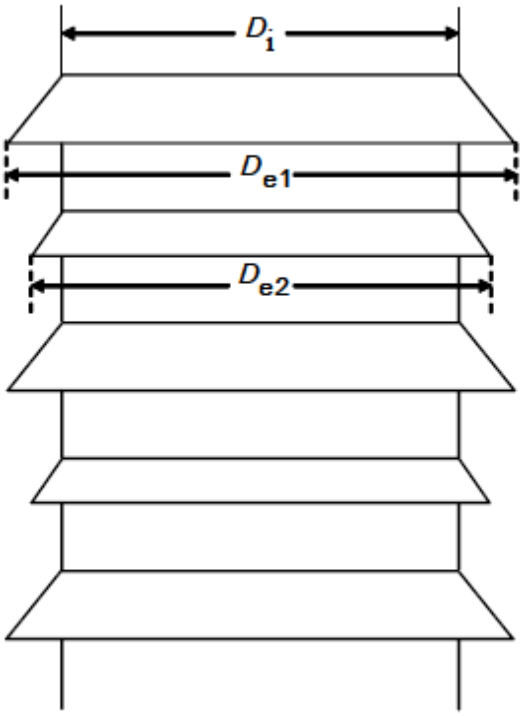


Tabla 11

Aislador con faldones alternados.

Tensiones de control y del equipo auxiliar del interruptor

Las tensiones de control y del equipo auxiliar del interruptor de potencia se indican en las características particulares y deben corresponder a las tensiones nominales indicadas en las siguientes tablas:

Tensión nominalVcd	Límites de tensiónVcd		
	Circuito de cierre	Circuito de disparo	Motor
125	106-137	87-137	106-137
250	212-275	175-275	212-275

Tabla 12

Tensión de control para relevadores, bobinas de apertura y cierre, señalización, alarmas y motores universales.

Tensión nominal	Motor universal	Límites de tensión Vca
440V, 3 fases, 60 Hz	-	394-484
220V, 3 o 2 fases, 60 Hz	-	187-242
127V, 1 fase, 60 Hz	-	108-140

-	125Vcd y/o 127V, fase, 60 Hz	108-140

Tabla 13

Tensiones de equipos auxiliares como motores, contactores y resistencias calefactoras

Bastidores de soporte

El interruptor debe contar con un bastidor soporte por polo para interruptores de potencia con tensión nominal igual a 420kV. En el caso de interruptores de tensiones menores puede ser un bastidor soporte por polo o uno común para los tres polos. El diseño del soporte o bastidor soporte debe ser tal que además de la masa del interruptor de potencia, soporte los esfuerzos producidos por las operaciones del interruptor de potencia los producidos por los mismos.

El bastidor debe ser de acero y galvanizado por inmersión en caliente después de haber soldado sus partes y hecho todas las perforaciones requeridas, los tornillos, tuercas y pernos deben ser de acero inoxidable o cumplir como mínimo con el galvanizado requerido.

Todos los bastidores deben de contar con conectores tipo zapata capaces de recibir conductores con una sección transversal de 120mm^2 para conexión a tierra, estos conectores como las rondanas y tornillos, deben de ser de acero inoxidables, cobre o aleación de cobre.

Gabinetes

Los gabinetes deben ser de lámina de aleación de aluminio, lámina de acero al carbón o inoxidable, y el espesor debe ser tal que resista el manejo de transporte, montaje y operación sin deformación permanente alguna. En caso de ser lámina de acero al carbón, el gabinete debe ser protegido tanto por la parte interna como la externa con el siguiente sistema de recubrimientos:

- Preparación de superficie: Abrasivos a presión a metal casi blanco.
- Primario: Orgánico de cinc epoxi-poliamida, aplicado en una capa a un espesor seco de 50 µm a 75 µm.
- Acabado: Acabado vinílico altos sólidos, aplicado en una capa con un espesor seco de 75 µm a 100 µm,

Elementos mínimos del gabinete central

Este gabinete debe contener como mínimo, los siguientes elementos:

a) Resistencia calefactora y control con termostato, protegida con una rejilla metálica e interruptor de potencia termo magnético de capacidad adecuada.
b) Un selector de dos posiciones para operación local o remota.
c) Sistema de control para la operación de anti-bombeo en el circuito de cierre.
d) Detector temporizador de discrepancia de polos en el caso de un mecanismo por polo.

e) Un interruptor termo magnético para cierre, uno para disparo 1 y otro para disparo 2. Un interruptor termo magnético general para el circuito de auxiliares por cada interruptor de potencia.
f) Combinación de interruptor termo magnético y contactor directo a la línea, para la alimentación y protección de cada motor del mecanismo de operación.
g) Las tablillas terminales de los circuitos de control y de los circuitos auxiliares (fuerza) deben estar identificadas de forma permanente. Las tablillas de los circuitos de control deben ser independientes de las tablillas de los circuitos auxiliares.
h) Las tablillas para poner en cortocircuito los secundarios de transformadores de corriente deben ser para 600 V c.a., 20 A y diseñadas para este fin exclusivamente.

Alarmas y bloqueos

El interruptor debe contar con los dispositivos para las alarmas que le permitan detectar condiciones anormales en cámaras o mecanismos y con dispositivos de bloqueo que impidan la operación del interruptor al presentarse condiciones que pongan en riesgo la integridad y el funcionamiento correcto del interruptor, por quedar fuera de los límites de seguridad.

Como mínimo deben incluirse las siguientes alarmas y bloqueos:

a) Alarma por pérdida de presión en el gas SF6 y bloqueo del interruptor para su operación cuando se llegue al valor límite en el cual no se asegura la capacidad interruptiva.
b) Alarma por pérdida de presión en el mecanismo de operación y bloqueo del interruptor de potencia para su operación, cuando la presión alcance un valor límite que no garantice la correcta operación del mismo bajo alguna de las condiciones siguientes:

- Resorte descargado en mecanismos de resorte.
- Perdida de presión de nitrógeno en el acumulador de los mecanismos hidráulicos.
- Baja presión en el sistema de aire en mecanismos neumáticos.

c) Alarma por ausencia de tensión de corriente alterna.
Todos los contactos de los instrumentos y dispositivos de control para las funciones de alarmas deben ser de 125 Vcd.

Indicador visual de la posición de apertura y cierre

Un indicador visual de la posición del interruptor de potencia por polo, en caso de un mecanismo por polo y uno para los tres polos en caso de un mecanismo por tres polos.

Se deben utilizar el color verde con una letra “A”” para indicar la posición abierto, y rojo con la letra “C” para indicar la posición cerrado. Al efectuar cada ciclo de operación C-A debe actuar un contador de operaciones del mecanismo del interruptor, debe de ser acumulativo y sin opción de modificar.

Dispositivo para medición de densidad y presión del gas SF6

Requiere que el interruptor de potencia cuente con un densímetro y un manómetro con indicación de las zonas de presión de operación normal en color verde, alarma en color amarillo y bloqueo en color rojo, pudiendo estar integrado el densímetro y manómetro en un solo dispositivo.

El número de densímetros debe ser: Uno por polo cuando éstos sean independientes o uno común cuando los polos estén interconectados.

Accesorios del mecanismo de operación

Para cada tipo de mecanismo de operación del interruptor de potencia, se debe suministrar lo siguiente:

a) Mecanismo a resorte:

- indicador de carga del resorte,
- mecanismo de carga manual del resorte,
- manivela de carga manual con bloqueos eléctrico y mecánico, el cual debe cargar el resorte en un periodo no mayor a tres minutos.

b) Mecanismo hidráulico:

- manómetro indicador de presión del sistema hidráulico o indicador de nivel de aceite,
- Medio de conexión para acoplar al sistema hidráulico una bomba de aceite de emergencia,
- válvulas para llenado, válvulas de alivio de presión, drenaje y muestreo del aceite del mecanismo,

c) Mecanismo neumático:

- manómetro indicador de presión del sistema de aire comprimido,
- filtro y dispositivo de secado de aire.
- válvula de seguridad,
- válvula para purga de condensado colocada en la parte inferior del tanque,
- conexión para alimentación externa de aire.

Resistencias de pre inserción

El interruptor de potencia si se indica en las Características Particulares, debe suministrarse con resistencias de pre inserción conforme al valor de la impedancia característica de la línea de 420 kV. En las Características Particulares, se indica la impedancia característica de la línea de transmisión.

El mecanismo de operación de las resistencias de pre inserción debe desconectar las resistencias al término de cierre de los contactos principales del interruptor de potencia o antes de la apertura de los contactos principales.

Capacitores para mejorar la distribución del potencial

Cuando se requiera por el diseño del interruptor de potencia, de capacitores conectados en paralelo con la cámara de extinción, el fabricante del interruptor de potencia debe proporcionar los informes de prueba que evidencien que los capacitares de gradiente soporten la condición de oposición de fases a 2 veces la tensión máxima del equipo de fase a tierra a frecuencia del sistema por 5 min, conforme y de manera que el tiempo acumulado en oposición de fases sea como mínimo de 500 h y que el dieléctrico del capacitor tenga la vida útil del interruptor de potencia.

Accesorios contra sismos

Cuando se requiera por el diseño mismo del interruptor de potencia, se deben suministrar los dispositivos contra sismos, instalados en cada bastidor de los interruptores de potencia con tensiones de 245 kV y mayores.

Todos los interruptores de potencia de alta tensión deben tener un nivel de desempeño de 3 m/s2 (0,3 g) de aceleración horizontal como mínimo, para ser utilizados en las zonas A, B y C. Para la zona D, un nivel de desempeño de 5 m/s2 (0,5 g), el fabricante debe demostrar que los interruptores de potencia cumplen con el nivel de calificación sísmica especificado de acuerdo a la norma aplicable. Para propósitos de diseño y pruebas, la aceleración vertical debe ser igual a 2/3 la aceleración horizontal máxima al nivel de piso. En todos los casos, el fabricante debe proporcionar los conectores terminal, adecuados para soportar el nivel de calificación sísmica garantizado.

Placa de datos del interruptor de potencia

La placa debe de incluir como mínimo los siguientes datos:

- nombre del equipo,
- nombre del fabricante y año de fabricación,
- número de serie (para el interruptor de potencia en su conjunto),
- tipo y modelo,
- tensión nominal (kV),

- tensión de aguante al impulso por rayo (kV),
- tensión de aguante al impulso por maniobra (kV),
- distancia de fuga (mm) y nivel de contaminación,
- frecuencia nominal (Hz),
- corriente nominal (A),
- corriente nominal de interrupción de cortocircuito (kA),
- resistencia óhmica de prototipo, del circuito principal, (mΩ),
- secuencia nominal de operación,
- tipo de mecanismo,
- corriente sostenida de corta duración (un segundo) (kA),
- tensión de control de los dispositivos de cierre y apertura (V c.d.),
- tensión de los circuitos auxiliares (V c.a.),
- masa por polo del interruptor de potencia (kg),
- carga de gas SF6 (kg),
- presión nominal de operación del SF6 (MPa),
- presión nominal de alarma del SF6 (MPa),
- presión nominal de bloqueo del SF6 (MPa),
- instructivo de operación (número de identificación),
- valor de capacitancia del capacitor de gradiente (si lo hay),
- nivel de calificación sísmica.

Características de seguridad del personal

En general, los interruptores de potencia descritos en esta norma de referencia son por diseño altamente seguros, aun así, no se recomienda su operación local con interruptor de potencia energizado en la instalación, sino que, éstos deben ser operados desde el cuarto de control de la subestación, solo en los casos de mantenimiento deben ser operados en el sitio de la instalación mediante dispositivos de control para este propósito.

Distancias mínimas de seguridad con partes energizadas

Para una segura operación y con el fin de evitar riesgos y peligros, se consideraron ciertas distancias para que el personal que labora con equipo energizado, ya sea en su inspección o manipulación evite una descarga eléctrica.

Distancias mínimas de seguridad (CA, 60 Hz)	
Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia mínima de seguridad (metro)
2,4 a 13,8	0,60
34,5	0,75
115	1,50
230	2,50
400	4,40

Tabla 14

Distancias mínimas de seguridad con respecto a partes energizadas

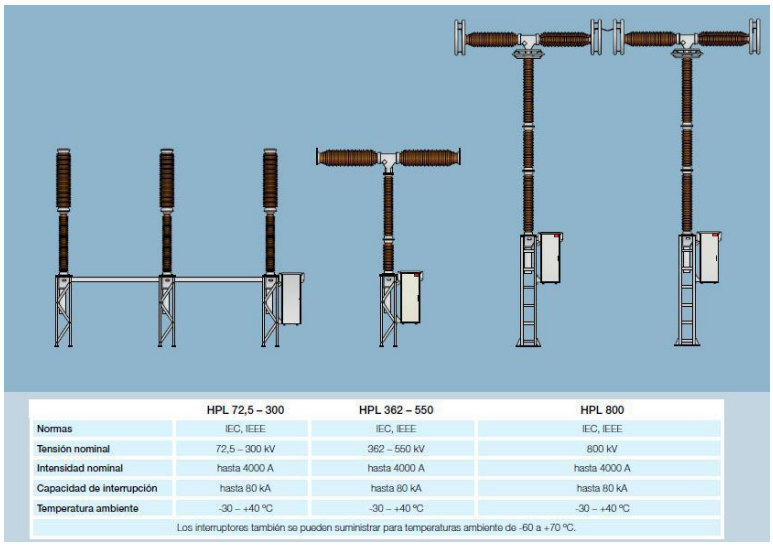


Figura 57

Diferencia de tamaños con respecto al voltaje de operación. Interruptores ABB.

Especificaciones técnicas de desconectadores

Deben cumplir con todas las medidas y condiciones de seguridad descritas para el interruptor de poder.

Se tienen desconectadores de cuchillo y desconectadores fusibles.

Figura 58

Desconectador fusible para línea de 23kV.

Las especificaciones mínimas a cumplir deben ser entregadas de acuerdo al siguiente listado:

La placa debe de incluir como mínimo los siguientes datos:

- Nombre del equipo,
- Nombre del fabricante y año de fabricación,
- Número de serie (para el desconectador en su conjunto),
- Tipo y modelo,
- Tensión nominal (kV),
- Tensión de aguante al impulso por rayo (kV),
- Distancia de fuga (mm) y nivel de contaminación,
- Frecuencia nominal (Hz),
- Corriente nominal (A) de hilo fusible,
- Corriente nominal de interrupción de cortocircuito (kA),
- Tipo de mecanismo,
- Corriente nominal de bastón,
- Corriente sostenida de corta duración (un segundo) (kA),
- Tipo de curva de corriente del hilo fusible
- Instructivo de operación (número de identificación),
- Nivel de calificación sísmica.

Entre las especificaciones técnicas más relevantes, se tienen:

a) Características del sistema

- Tensión nominal de la red (kV)
- Tensión de aislamiento (kV)
- Frecuencia nominal 50 Hz
- Número de fases 3
- Tratamiento del neutro Rígido a tierra Rígido a tierra

b) Características de los desconectadores.

Los desconectadores estarán diseñados según la norma UNE-EN-60129 (CEI-129) en su última edición.

Se instalarán, generalmente, a la intemperie. Irán equipados con cuchillas de puesta a tierra con mando motorizado donde se requiera. Los rotativos de mayorkV podrán montarse en instalaciones de interior.

Los desconectadores deberán ser capaces de conducir en forma permanente la intensidad nominal para la que han sido diseñados y podrán ser maniobrados en tensión, pero sin carga, excepto la capacitiva correspondiente a pequeños tramos de embarrados.

Los desconectadores estarán diseñados para soportar cortocircuitos con los valores de intensidad térmica y dinámica, simultáneamente a la aplicación de los máximos esfuerzos en bornes, incrementados con los debidos al viento sobre el aparato, siendo en todo momento capaces de maniobrar de forma segura.

Los movimientos de apertura y cierre, se efectuarán de forma progresiva y continua, sin vibraciones excesivas, tanto al inicio como al final del movimiento, así como en toda la extensión del recorrido, independientemente de cuáles sean las condiciones ambientales.

Los enclavamientos del desconectador asegurarán la permanencia en las posiciones extremas (abierto/cerrado), aún en condiciones meteorológicas adversas.

Cuando se requieran cuchillas de puesta a tierra (p.a.t.), el desconectador incorporará enclavamientos mecánicos entre éstas y las cuchillas principales.

El fabricante definirá los pares mecánicos resistentes máximos en el eje de transmisión de cada polo que aseguren la correcta operación del aparato en las peores condiciones, y el ángulo de giro que la operación exige.

c) Contactos

Los contactos serán ajustables, de alta presión y preferentemente autolimpiantes y diseñados de forma que la presión de contacto se logre después del movimiento de cierre y desaparezca antes de comenzar el movimiento de apertura.
Los elementos conductores de los contactos serán de cobre o de aluminio. Cuando sean de cobre los contactos estarán plateados. Todos los demás componentes de los contactos serán de material inoxidable e inalterable a los agentes externos y se dispondrán de forma que se evite la conducción de corriente a través de ellos.

Se diseñaran de forma que mantengan el nivel exigido de RIV.

d) Cuchillas.

Las cuchillas serán de aluminio o cobre, en este caso estará plateado en las superficies de contacto, con sección y geometría adecuada a las intensidades a conducir y a los esfuerzos mecánicos a soportar. Su perfil será diseñado para mantener el RIV dentro del nivel exigido.

e) Aisladores

Las columnas de los aisladores soporte deberán ser de porcelana esmaltada, que cumpla con los niveles de aislamiento y línea de fuga especificados (31 mm/kV para intemperie y 25mm/kV para montaje en interior).

El color de la porcelana será *marrón* cuando se trate de equipos a montar en instalación existentes en las que sea éste el color del resto de aisladores del parque y serán de color *gris* en aquellas instalaciones nuevas que ya incorporen aislamiento tipo polimérico en transformadores de medida e interruptores.

El sentido de giro de las columnas de accionamiento:

- En desconectadores de 3 columnas la apertura será siempre girando en sentido contrario a las agujas de un reloj, visto en planta.
- En desconectadores pantógrafos la apertura será siempre girando la columna motriz en sentido contrario a las agujas de un reloj, visto en planta.
- En las cuchillas de p.a.t. la apertura será siempre girando la transmisión en sentido contrario a las agujas de un reloj, visto en planta.

f) Placa de características del polo

Cada uno de los polos de los desconectadores o desconectadores de p. a. t. debe llevar una placa de características de acero inoxidable o aluminio conforme al apartado correspondiente de la norma UNE-EN 60129 en última revisión, y tendrá como mínimo los siguientes datos:

- Fabricante.
- Designación del tipo.
- Número de serie / Año de fabricación.

- Tensión nominal.
- Tensión soportada nominal al impulso tipo rayo.
- Tensión soportada nominal al impulso tipo maniobra.
- Tipo de aislador y longitud de la línea de fuga.
- Intensidad nominal.
- Intensidad admisible nominal de corta duración/tiempo.
- Intensidad dinámica.
- Esfuerzo mecánico sobre los bornes (en apertura horizontal) / Esfuerzo mecánico
- sobre los bornes y esfuerzo de reacción sobre contra contacto (en pantógrafo).
- Peso del polo.

g) Tipo de accionamiento.

Se deberá especificar si es de tipo manual o motorizado.

En ambos casos deben quedar claramente especificadas las condiciones de servicio.

8.4 Medidor de alta tensión

Un medidor de alta tensión es un equipo compuesto de elementos sensores (electromecánicos o electrónicos), un sistema de aislamiento adecuado y seguro para el operador, capaz de detectar y/o medir el consumo de energía, activa y/o reactiva. Puede o no incluir dispositivos de transformación de datos.

Pero, también, se utilizan medidores de alta tensión que están equipados con una sola batería, para medida de aislamiento hasta 50kV cc, así como medida de corriente de fuga de valores hasta 0.001 microamperios y medida de resistencia hasta valores de 30,000,000 MΩ cuando se prueban cables subterráneos, guantes de seguridad, interruptores de vacío o cualquier dispositivo de aislamiento. Todos disponen de una función de protección frente a sobrecorrientes. Totalmente portátil, funcionan con baterías recargables de 12Vque se pueden recargar en un cargador de auto o con la red. Entre estos últimos se tiene la línea de productos de fabricantes como Amprobe, Amperis, etc.

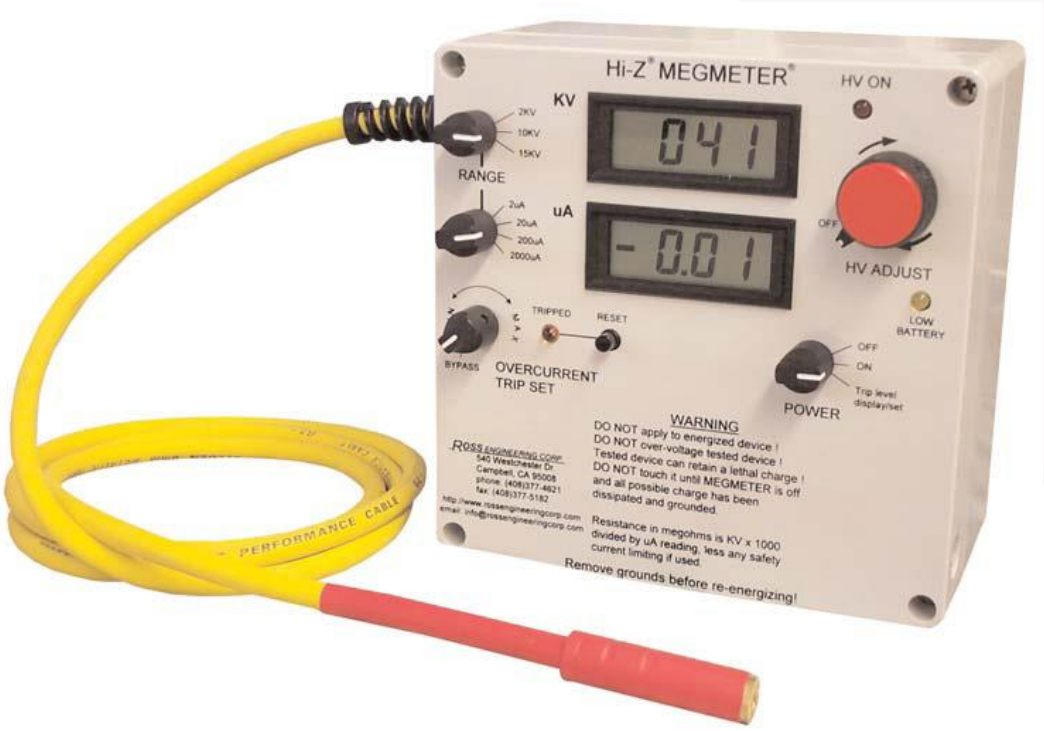


Figura 59

Medidor de aislamiento, Megóhmetro, corriente de fuga y medida de resistencia en alta tensión.

8.5 Comprobador de alta tensión

Para verificar presencia de tensión en líneas aéreas, subestaciones eléctricas, etc., se dispone de instrumentos de detección de gran variedad en el mercado.

Figura 60

Comprobador de alta tensión de 11kV.

En la figura, se muestra un modelo del fabricante Standard Electric Works Co. Ltd. Es una familia de productos constituida por doce modelos de detectores de presencia de alta tensión de tipo capacitivo, desde 11kV hasta 132kV, ofrecen indicación acústica y visual de la presencia

de tensión. Son fiables y duraderos debiendo usarse con pértigas del mismo fabricante, de tipo fijo o telescópico.

Figura 61

Distintos modelos de detectores de alta tensión, entre 6kV y 81,5kV; con brazos telescópicos de distinta longitud (máximo 1005mm). Indicación acústica y visual de la presencia de la alta tensión.

Actividad N° 11

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante ponga en práctica los conocimientos de las celdas eléctricas en baja, media y alta tensión, métodos de seguridad para su retiro y manipulación, e instalación, operación, y mantención de ellas.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Identificar Interruptores de poder de media y alta tensión.

Objetivos del aprendizaje

- Conocer y estudiar componentes de media y alta tensión
- Conocer funcionamiento de control, señalización, maniobra y operación de un interruptor de poder mediante estación pulsadora incorporado.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar estas actividades en grupos, en pares o individualmente.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen copia de la placa de datos de los componentes de una celda con un interruptor de poder. Este análisis debe quedar reflejado en un informe técnico para que el instructor lo evalúe.

Materiales y Recursos

- Celdas de media y alta tensión.
- Interruptor de poder (unidad ANSI / IEEE 52) con circuito de control incorporado
- Amperímetro de tenazas.
- Micro óhmetro.
- Mega óhmetros.
- Tester con escala de 400Vac.
- Set de herramientas como destornilladores, y alicates.
- Lab – Volt o similar.
- Extensiones eléctricas con enchufes hembra macho monofásicos y trifásicos.´
- Cables con pinzas terminales, apto para 400Vac.

Seguridad

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller**:**
  - Casco
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad para electricista
  - Guantes de cabritilla
  - Chaleco reflectante
  - Protector auditivo. Si aplica.
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado.

Confeccionar tabla con datos solicitados: Placa de datos de celdas de baja tensión, celdas de media tensión, celdas de alta tensión de interruptor de poder,

Una vez tomado los datos de las celdas, se harán pruebas de conexión y desconexión de interruptores de poder, mediante operación de sus accionamientos.

Con un micro óhmetro se harán mediciones de resistencia de los contactos al cierre. Se hará un registro de ello e irá en Informe.

En operaciones de apertura de interruptor de poder, se medirá aislamiento entre contactos con mega óhmetro (registrar en Informe Técnico).

Antecedentes aportados por instructor:

Circuito de control de interruptor de poder.

Descripción de funcionamiento de interruptor de poder en simulación.

Será parte del informe describir el funcionamiento de ellos.

Cierre

La operación de un interruptor de poder, comprenderá el alumno, debe ser con contactos en buen estado (verificado con micro óhmetro o ducter), lo mismo que sus sistemas de extinción de arco.

9. Mediciones interruptor y desconectadores

9.1 Micro-óhmetro (Ducter)

Este óhmetro es similar al óhmetro común, pero posee modificaciones que lo hacen útil en medidas de resistencias bajas (Ejemplo: Resistencias de contacto).

Lo que sí el esquema de este instrumento es más complicado; en la Figura Nº 1 se muestra el circuito simplificado de su funcionamiento. El voltaje para la bobina de potencial (A) es tomado de un par de bornes internos (p-p) conectados directamente a la resistencia de conductores o contactos; así este potencial es proporcional a la caída de tensión en R_x. La bobina de corriente (B) está provista de una resistencia paralelo, R_p; esto debido a que la corriente que circula es bastante alta ya que R_x es baja. La interacción de las torques de ambas bobinas orienta al conjunto según la resultante de equilibrio. Por simplicidad, no se dibujó el imán permanente que rodea ambas bobinas, y se reemplazó el generador de C.C. por una batería.

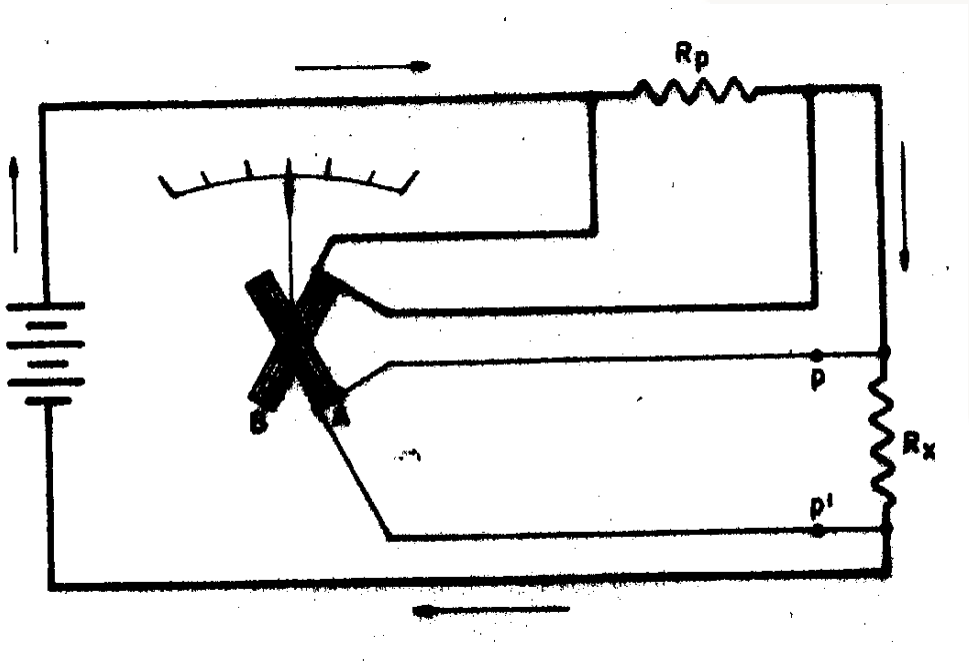


Figura 62

Óhmetro tipo Ducter.

Descripción

El micro-óhmetro se utiliza para realizar mediciones de baja resistencia de 0.1W a 2500W. Hay siete rangos de medición con corrientes de prueba de 1mA a 10A.

La parte delantera del micro-óhmetro (figura Nº 2) utiliza una configuración Kelvin de cuatro alambres, que elimina la resistencia de los cables de prueba para obtener una exactitud de 0.05%. Un circuito interno filtra las señales CA.

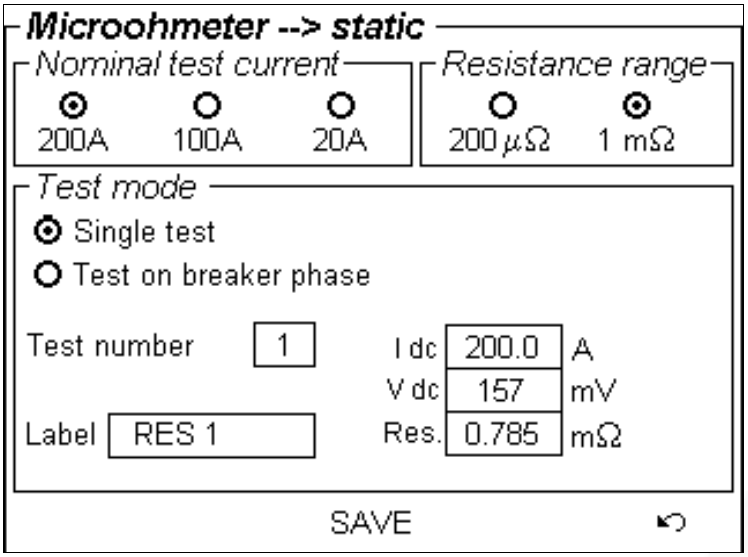


Figura 63

Display de un micro-óhmetro.

Normalmente el micro-óhmetro está armado en una caja para terreno sellada muy apropiada para su uso en el taller y en terreno. Es alimentado por un conjunto de baterías NiMH de larga vida con un cargador interno (110/220V).

La pantalla de cristal líquido es grande, mide 2.25 x 4.00" y es fácil de leer. Muestra el valor de resistencia, tipo de metal, temperaturas de referencia y ambiente (si se han seleccionado), condiciones de la alarma (si se ha seleccionado), corriente de prueba, rango y modo de prueba (Resistivo, Inductivo o Automático).

El micro-óhmetro tiene sus entradas protegidas con fusibles para seguridad del operador y protección del instrumento. Hay dos fusibles, a los que se accede por detrás del panel frontal, que protegen de la energía acumulada en las cargas inductivas.

Un circuito interno mejorado protege de posibles golpes inductivos al cortar la corriente.

Un interruptor térmico interno protege al micro-óhmetro de un sobrecalentamiento en el rango 10A cuando se usa en forma continua.

Aplicaciones

Algunos de los usos más populares y más frecuentes del micro-óhmetro están en aplicaciones para:

- Comprobación de resistencia de recubrimientos metálicos, especialmente en aeronáutica
- Conexiones de tierra y mediciones de continuidad
- Mediciones de resistencia en motores y transformadores
- Mediciones de resistencia de contactos en desconectadores e interruptores.
- Medición de componentes
- Medición de resistencia de cables eléctricos
- Prueba de uniones mecánicas
- Conexiones entre alambre y terminal
- Resistencia de bobinados de motores, generadores y transformadores
- Uniones en aviones y rieles.
- Muchas otras muestras de muy baja resistencia.

Especificaciones técnicas

A modo de ejemplo se describe un micro-óhmetro marca AEMC, Modelo 6250, siguiente:

Características Eléctricas

Las especificaciones se dan para una temperatura ambiente de 23°C ± 5°, humedad relativa de 45 a 75% y un voltaje de alimentación de 6V ± 0.1V.

Método de Medición

Medición de resistencia Kelvin de 4-alambres con compensación de voltajes dispersos/residuales.

Rangos de Medición

Rango	Resolución	Exactitud por sobre 1 año 23ºC±5ºC	Corriente de Medición	Caída de Voltaje
5mΩ	0,1μΩ	0,15% + 1,0μΩ	10ª	50mV
25mΩ	1μΩ	0,05% + 3μΩ	10A	250mV
250mΩ	10μΩ	0,05% + 30μΩ	10ª	2500mV
2500mΩ	0,1mΩ	0,05% + 0,3mΩ	1ª	2500mV
25Ω	1mΩ	0,05% + 3mΩ	100mA	2500mV
250Ω	10mΩ	0,05% + 30mΩ	10mA	2500mV
2500Ω	100mΩ	0,05% + 300mΩ	1mA	2500mV

Tabla 15

Tabla con rangos de mediciones.

Medición de Temperatura: 3-alambres RTD de Platino de100W
Exactitud: 0.1°C
Resolución:± 0.5°C
Influencia de las Condiciones Ambientales:
Temperatura: valor típico 0.1% por 10°C, 0.25% máx.
Humedad:0.5% máx. de 10 a 90%
Voltaje de Batería:± 0.1% de 4.5 a 7.5V.
Voltaje en Circuito Abierto:7VCD máx.
Voltaje de Operación:5 a 6VCD
Alimentación:
Conjunto de baterías NiMH de 6V, 8.5 Ah.
Cargador de baterías interno de 90 a 256V (45 a 420Hz
*Vida de la Batería***:** valor típico 5000, ensayos con 10A
Carga de la Batería: aproximadamente 5 horas desde totalmente descargada.

Apagado automático: cuando el voltaje de la batería <5.0V
Indicador de Batería Baja: Se muestra el símbolo cuando la batería requiere ser recargada.

9.2 Resistencia de contactos

Prueba de Resistencia de Contactos (con Ducter)

Los puntos con alta resistencia en partes de conducción, originan caídas de voltaje, generación de calor, pérdidas de potencia, etc. La prueba se realiza en circuitos donde existen puntos de contacto a presión o deslizables, como es el caso en interruptores. Para medir la resistencia de contactos existen diferentes marcas de equipo, de diferentes rangos de medición, como ejemplo el de la marca Games J. Biddle; tiene un rango de medida de 0 a 20 Ohms. Los equipos de prueba cuentan con una fuente de corriente directa que puede ser una batería o un rectificador.

Recomendaciones para realizar la prueba.

A) El equipo bajo prueba debe estar sin energía eléctrica y en la posición cerrado.

B) Se debe de aislar a lo posible la inducción electromagnética, ya que esta produce errores en la medición y puede dañar el equipo de prueba.

C) Limpiar perfectamente bien los conectores donde se van a colocar las terminales del equipo de prueba para que no afecten a la medición.

Ejemplo real

*Objetivos***:**

- *Determinar la resistencia de contacto de un disyuntor a través del equipo de medición CPC 100.*
- *Conocer los valores permisibles de resistencia de contacto de un interruptor de potencia, además la importancia de su medición.*
- *Estudiar el correcto funcionamiento del equipo de medición CPC 100.*

Equipos y materiales:

- *Equipo de medición CPC 100.*
- *Interruptor de potencia 3AP1 FG.*
- *Cables de conexión.*

Fundamentación Teórica:

Interruptor de potencia

El interruptor de potencia es un dispositivo electromagnético cuya función principal es la de conectar y desconectar circuitos eléctricos bajo condiciones normales o de falla.

Además estos interruptores tienen que maniobrar todas las corrientes dentro de sus valores asignados: desde pequeñas corrientes de cargas inductivas, capacitivas y hasta corrientes de cortocircuito, controlando, al mismo tiempo, todas las condiciones de defecto en la red. Ejemplo en figura

Interruptor de tanque vivo tipo 3AP1

Posee las siguientes características:

- *Accionamiento de resorte*
- *Cámara de auto comprensión*
- *Tensiones nominales hasta 245 KV*
- *Corrientes de CC hasta 50 KA*

Figura 64

Interruptor de tanque vivo 3AP1.

Equipo de medición CPC 100

Con el CPC 100 se pueden efectuar pruebas eléctricas en transformadores, transformadores de corriente, transformadores de tensión, sistemas de puesta a tierra, líneas y cables e interruptores de potencia.

Características principales:

- *Hasta 800 A o 2000 V con hasta 5 kVA en un rango de frecuencias de 15-400 Hz o 400 A CC*
- *Una eliminación muy eficaz de las interferencias facilita la medición de señales pequeñas incluso en presencia de un elevado nivel de interferencias*

- *Hasta 2000 A o 12 kV con el uso de amplificadores de corriente o tensión.*

Procedimiento:

- *Tomar las medidas necesarias de seguridad antes de operar el equipo de medición; tales como: realizar la conexión a tierra correspondiente al equipo, configurar los parámetros necesarios para realizar la medición correspondiente a esta práctica, verificar que las conexiones estén realizadas correctamente.*
- *Buscar el valor de resistencia del contacto aproximado. De la página web www.zensol.com.es, encontramos un valor de resistencia aproximada de un disyuntor de 175 KV, el cual es:*

80 μΩ a 200μΩ

- *Verificamos si los contactos del interruptor están cerrados, para ello probamos continuidad en ambos terminales*
- *Para medir la resistencia de contacto, seleccionamos la tarjeta de prueba, luego utilizamos la configuración400A$_{DC}$, que corresponde al rango de 1μΩ a 10 mΩ, ya que dentro de este intervalo se encuentra el valor de la resistencia del interruptor utilizado en la práctica.*

Luego procedemos ajustar las corrientes de prueba para valores de:100, 150, 180, 250, 280, 300, 330, 350, 370, y 400 A DC, las cuales se configuran en la opción Ipru (corriente de prueba).
Donde:

Rango= rango de salida
I pru= corriente de prueba
Rmin= valor mínimo de resistencia de devanado, que viene dado por:

$$R_{min} = \frac{0.2\ mV}{Ipru}$$

Rmáx= valor máximo de resistencia de devanado, que viene dado por:

$$R_{max} = \frac{5\ V}{Ipru}$$

Auto = seleccionamos para que la prueba se detenga automáticamente una vez que se ha encontrado la resistencia.

- *Conectamos la salida de corriente del CPC100 a los terminales del interruptor.*
- *Conectamos los terminales del interruptor a la entrada V$_{DC}$donde se medirá el voltaje del interruptor y con la relación:*

R= V/I

- *Finalmente procedemos a ejecutar la respectiva prueba el cual se detendrá automáticamente entregándonos el valor de resistencia del contacto del interruptor.*

Diagrama de conexiones

La figura Nº 225, muestra la disposición del equipo medidor y sus accesorios, para efectuar la medición de resistencia de los contactos, según las instrucciones del fabricante y verificando de acuerdo a los valores patrones conocidos.

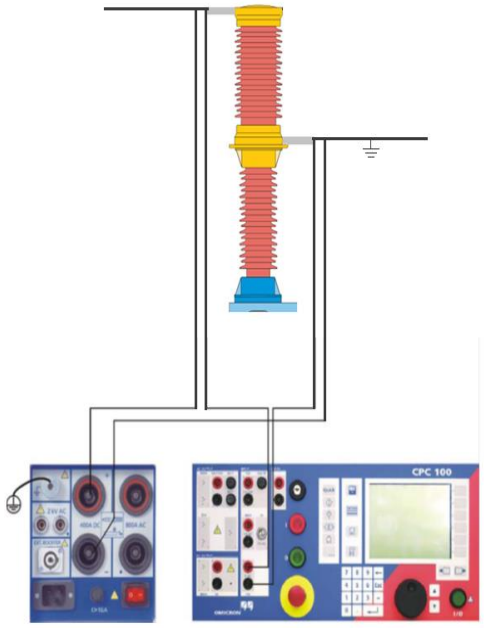


Figura 65

Diagrama de conexiones para medida de resistencia de contactos.

Resultados obtenidos en la práctica

A través de la inyección de corriente por medio de la salida 400 A DC del equipo, en ambos terminales del interruptor de potencia 3AP1 FG; se produce una caída de tensión debido a esta pequeña resistencia de contacto, el cual será medido por el CPC 100 a través de la entrada V DC que posee este equipo; luego el software es el encargado de calcular resistencia de contacto del interruptor. Para las distintas corrientes de prueba inyectadas al interruptor, se obtienen los siguientes valores de voltaje y resistencia los cuales se presentan a continuación en la figura Nº 6.

Ipru	Rmin (μΩ)	Rmax (mΩ)	I_{DC} (A)	V_{DC}(mV)	R (μΩ)
100	2	50	100.05	3.613	36.11
150	1.3	33.33	150.00	5.421	36.14
180	1.1	27.78	179.99	6.505	36.14
250	0.8	20	250.01	9.038	36.15

280	0.7	17.86	280.04	10.12	36.15
300	0.7	16.67	300.00	10.84	36.15
330	0.6	15.15	329.80	11.93	36.16
350	0.6	14.29	349.84	12.65	36.17
370	0.5	13.51	369.93	13.38	36.18
400	0.5	12.5	400.40	14.48	36.17

Tabla 16

Tabla de resultados de medidas realizadas.

Para los distintos valores de corriente de prueba ajustados, observamos que la caída de tensión en los terminales del interruptor son muy pequeñas, y están en el orden de los mili-voltios como consecuencia de la pequeña resistencia de contacto, que en nuestro caso se mantiene en 36 $\mu\Omega$.En condiciones de operación normal del interruptor, esta resistencia puede tener una pequeña variación con respecto al valor determinado en la práctica, debido a varios factores, entre ellas, las condiciones ambientales en que se encuentra el equipo, tiempo de operación.

Conclusiones

- La resistencia de contacto del interruptor de potencia, es lineal, es decir se mantiene constante a diferentes valores de corriente de operación.
- En operación normal, esta resistencia puede variar, debido a los factores antes mencionados.

9.3 Simultaneidad de contacto

Pruebas de Tiempo de Cierre y Apertura y Simultaneidad de Contactos
El objetivo de la prueba es la determinación de los tiempos de interrupción de los interruptores de potencia en sus diferentes formas de maniobra, así como la verificación del sincronismo de sus polos o fases.

El principio de la prueba se basa en una referencia conocida de tiempo trazado sobre el papel del equipo de prueba, se obtienen los trazos de los instantes en que los contactos de un interruptor se tocan o se separan a partir de las señales de apertura y cierre de los dispositivos de mando del interruptor, estas señales de mando también son registradas sobre la gráfica, la señal de referencia permite medir el tiempo y la secuencia de los eventos anteriores.

Existen básicamente dos tipos de instrumentos de prueba, los que utilizan dispositivos electromecánicos en los cuales una señal eléctrica sobre una bobina, actúa mecánicamente sobre agujas que marcan un trazo sobre el papel tratado en su superficie, y los que utilizan galvanómetros que accionan varías veces el punto de incidencia de un rayo luminoso sobre

un papel fotosensible, en ambos tipos el movimiento del papel es efectuado por un motor de corriente directa a una velocidad constante.

La señal de referencia puede ser en base a la frecuencia del sistema o bien puede ser tomada de un oscilado incluido en el equipo de prueba, de una frecuencia conocida.

Tiempo de apertura:

Es el tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de disparo, hasta el instante en que los contactos de arqueo sean separados.

Tiempo de cierre.

Es el intervalo de tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de cierre, hasta el instante en que se tocan los contactos primarios de arqueo en todos los polos.

Nota: En el caso de interruptores dotados de resistencias de inserción, por lo general existe una diferencia entre los tiempos de cierre o apertura hasta el momento en que los contactos primarios de arqueo se tocan o separan y el tiempo hasta el momento en que los contactos auxiliares en serie con las resistencias se tocan o separan.

EQUIPOS DE PRUEBA: Existen varios tipos y marcas de equipos para la prueba, se distinguen dos tipos principales que son del tipo cronógrafo y los del tipo oscilógrafo las características generales de los equipos comúnmente usadas se muestran en tabla anexa, en la misma se hacen además algunas observaciones sobre su aplicación así como sus ventajas y desventajas.

Entre las características deseables de cualquier equipo se puede mencionar lo siguiente:

- **Velocidad del papel:** Se considera como mínimo debe ser de 1 mt / seg. a fin de poder apreciar o medir con precisión tiempos de orden de milisegundos.
- **Número de canales:** Dependiendo del tipo de interruptor por probar, se requiere de más o menos canales, el número deberá ser suficiente para poder probar por lo menos un polo.

9.4 Resistencia de aislamiento

En la figura se muestra el diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento así como también la conexión para realizar la prueba al interruptor de potencia.

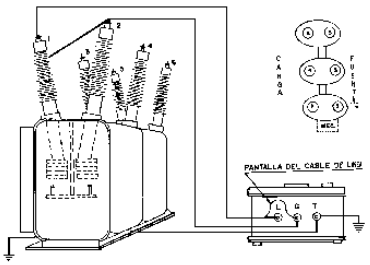


Figura 66

Diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento.

Prueba	Posición	Conexiones			Mide
		L	Tp	T	
1	Abierto	1	P1 – 2	Tq	B1
2	Abierto	1	P1	Tq – 2	B1 – G
3	Abierto	1 – 2	P1 – P2	Tq	B1 – B2
4	Abierto	1	P1 – P2	Tq	B1 – B2 – Be – G – A – At
5	Abierto	2	P2 – 1	Tq	B2

Tabla 17

Prueba de factor de potencia de aislamiento.

En la figura 8 se muestra el diagrama de conexión de la prueba de factor de potencia de aislamiento así como también la conexión para realizar la prueba al interruptor de potencia.

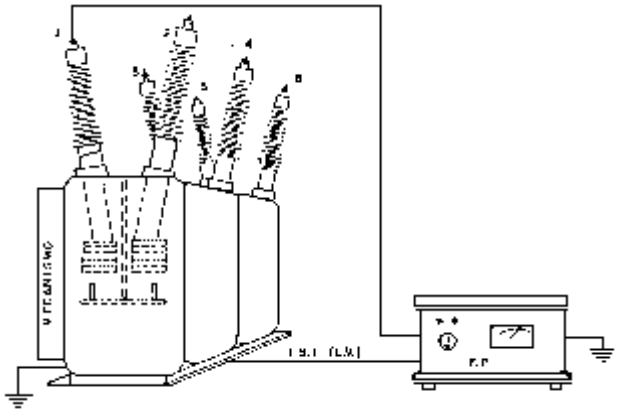


Figura 67
Prueba de factor de potencia de aislamiento.

B = Boquilla
Be = Barra elevadora
A = Aceite
At = Aislamiento tanque
Tq = Tanque
Tp = Tierra de protección

Prueba	Posición interruptor	Conexiones			Mide
		TAT	TBT	Selector	
1	Abierto	1	Tq	Tierra	B1, A, At
2	Abierto	2	Tq	Tierra	B2, A, At
3	Abierto	3	Tq	Tierra	B3, A, At

4	Abierto	4	Tq	Tierra	B4, A, At
5	Abierto	5	Tq	Tierra	B1, A, At
6	Abierto	6	Tq	Tierra	B1, A, At
7	Abierto	1 – 2	Tq	Tierra	B1 – 2, Be, A, At, G
8	Abierto	3 – 4	Tq	Tierra	B3 – 4, Be, A, At, G
9	Abierto	5 – 6	Tq	Tierra	B5 – 6, Be, A, At, G

Tabla 18

Prueba de resistencia de aislamiento.

En la figura Nº 228 se muestra el diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento así como también la conexión para realizar la prueba al desconectador.

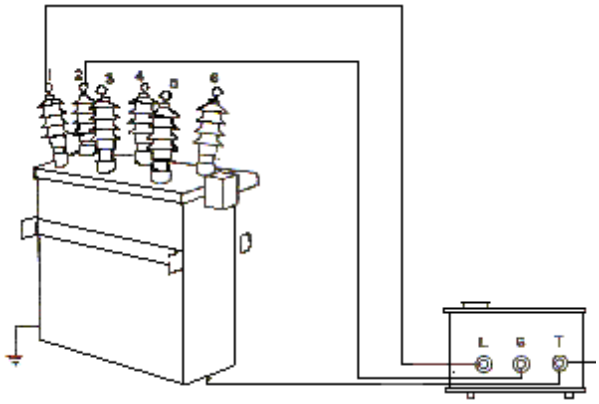


Figura 68

Diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento

Prueba	Conexiones de prueba			PosiciónDesconectador
	Línea	Guarda	Tierra	
1	1	2	Tanque	Abierto
2	2	1	"	"
3	3	4	"	"
4	4	3	"	"
5	5	6	"	"
6	6	5	"	"
7	1 – 2	-	"	Cerrado
8	3 – 4	-	"	"
9	5 – 6	-	"	"

Tabla 19

9.5 Medición de presión de gas

Es muy importante en el uso y manejo del gas SF_6 en interruptores de poder, que se deba llevar un control estricto sobre el comportamiento y estado del gas.

Es por ello que la medición de presión, verificar llenado y estado del gas SF_6, debe ser llevado con las medidas justas y necesarias para su control.

El gas SF6 debe tener siempre la calidad adecuada, ya que la humedad y los productos de descomposición tóxicos o corrosivos en el interruptor pueden tener una influencia negativa sobre el efecto aislante.

Se debe supervisar la calidad del gas en relación con el reglamento CE 842/2006 para los gases fluorados.

Asimismo, la normativa IEC 60480 establece valores límites para la reutilización del gas SF6.

Por tanto, en el momento de realizar trabajos de mantenimiento en un interruptor se debe conocer la calidad del gas para poder tomar una decisión en la preparación acerca de la reutilización o la retirada delgas SF6.

Los criterios de calidad decisivos para el gas SF6 en el interruptor son:

- Humedad (punto de rocío).
- Productos de composición.
- Pureza del gas en %.

Diversos fabricantes y laboratorios ofrecen aparatos de medida para todas las aplicaciones: desde la monitorización de las salas y la detección de fugas hasta los juegos de reequipamiento para aparatos de medición más antiguos, pasando por la medición de la calidad del gas SF6 y los accesorios prácticos para realizar mediciones sencillas in situ.

Aparatos para determinar la calidad del gas SF6

A continuación se muestra un aparato de medida que sirve para supervisar el aire ambiente, detectar fugas y medir la calidad del gas SF6 en instalaciones eléctrico de media y de alta tensión.

Aparato SF6 Multi-Analyser con restitución de gas

Aparato compacto y adaptado a los usuarios con el que se pueden determinar hasta cuatro parámetros con un solo procedimiento de medición. En el proceso no se escapa el gas SF6 medido a la atmósfera.

Se determinan:

La concentración de gas SF6 (%).
La concentración de humedad.
La concentración de SO2 (ppmv).

Opcional: la concentración de HF (ppmv)

Existen instrumentos en los cuales es posible ajustar valores límites en la pantalla táctil de color y se pueden almacenar hasta 100 resultados de mediciones, que se pueden transmitir sobre memoria USB o al computador.

9.6 Medición de FGC, rigidez

Definición de rigidez dieléctrica.

Rigidez dieléctrica [ing. *dielectricstrength*]. Máximo campo eléctrico que no ioniza las moléculas de un dieléctrico.

Los campos eléctricos de pequeño módulo polarizan los dieléctricos; o sea, orientan sus moléculas sin arrancar electrones de sus átomos. No producen, por tanto, corrientes de conducción en el dieléctrico, salvo las que puedan deberse a los pocos electrones libres que pueda haber. Pero, si aumenta el módulo del campo eléctrico, puede llegar a arrancar electrones ligados y, por tanto, a ionizar las moléculas del dieléctrico. Entonces el dieléctrico se hace conductor debido a los electrones que el campo ha arrancado, que pasan a ser libres, la corriente crece bruscamente y suele dañar al dieléctrico por elevación de su temperatura. Esa corriente se llama *corriente disrruptiva*.

El mayor valor del campo eléctrico que no produce este incremento brusco de corriente es la rigidez dieléctrica. Por eso una definición práctica de rigidez dieléctrica puede ser máximo campo eléctrico que puede soportar un dieléctrico sin perder sus propiedades aislantes.

La rigidez dieléctrica del aire seco es 30 kV/cm. Por encima de este valor se produce arco eléctrico.

Prueba de rigidez dieléctrica de aceite.

La medida de la rigidez dieléctrica sirve principalmente para indicar la presencia de contaminantes como agua o partículas. Un valor bajo de rigidez dieléctrica puede indicar que uno o más de estos contaminantes están presentes. Sin embargo, un valor elevado de rigidez dieléctrica no indica necesariamente la ausencia de todo contaminante (Norma IEEE C57.104-1991).

La determinación de la prueba de rigidez dieléctrica del aceite es importante para verificar la capacidad que tiene para soportar esfuerzos dieléctricos sin fallar. Permite también detectar la presencia de agentes contaminantes, como agua, suciedad o algunas partículas conductoras en el aceite.

9.7 Documentos de registro de apertura y cierre

Para la elaboración de este documento se debe tener presente lo visto en acápite 8.3.simultaneidad de contacto, o sea:

a) tiempo de apertura.

b) tiempo de cierre

c) Uso del instrumento adecuado.

Actividad N° 12

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante ponga en práctica todos los conocimientos de las celdas eléctricas en baja, media y alta tensión, métodos de seguridad para su retiro y manipulación, e instalación, operación, y mantención de ellas.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

<u>Identificar desconectadores de media y alta tensión.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Conocer y estudiar componentes de media y alta tensión
- Conocer funcionamiento de control, señalización, maniobra y operación de un interruptor de poder mediante estación pulsadora incorporado.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar estas actividades en grupos, en pares o individualmente.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen copia de la placa de datos de los componentes de una celda con un interruptor de poder. Este análisis debe quedar reflejado en un informe técnico para que el instructor lo evalúe.

Materiales y Recursos

- Celdas de media y alta tensión.
- Interruptor de poder (unidad ANSI / IEEE 52) con circuito de control incorporado
- Amperímetro de tenazas.
- Micro óhmetro.
- Mega óhmetros.
- Tester con escala de 400Vac.
- Set de herramientas como destornilladores, y alicates.
- Lab – Volt o similar.
- Extensiones eléctricas con enchufes hembra macho monofásicos y trifásicos.´
- Cables con pinzas terminales, apto para 400Vac.

Seguridad

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller**:**
  - Casco
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad para electricista
  - Guantes de cabritilla
  - Chaleco reflectante
  - Protector auditivo. Si aplica.
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado.

Confeccionar tabla con datos solicitados: Placa de datos de celdas de baja tensión, celdas de media tensión, celdas de alta tensión de interruptor de poder,

Una vez tomado los datos de las celdas, se harán pruebas de conexión y desconexión de interruptores de poder, mediante operación de sus accionamientos.

Con un micro óhmetro se harán mediciones de resistencia de los contactos al cierre. Se hará un registro de ello e irá en Informe.

Antecedentes aportados por instructor:

Circuito de control de interruptor de poder.

Descripción de funcionamiento de interruptor de poder en simulación.

Será parte del informe describir el funcionamiento de ellos.

Cierre

La operación de un interruptor de poder, comprenderá el alumno, debe ser con contactos en buen estado (verificado con micro óhmetro o ducter), lo mismo que sus sistemas de extinción de arco.

Actividad N° 13

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante ponga en práctica todos los conocimientos de las celdas eléctricas en baja, media y alta tensión, métodos de seguridad para su retiro y manipulación, y toma de muestra de aceite SF6.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Conocer e interpretar análisis de aceites y SF_6.

Objetivos del aprendizaje

- Conocer y estudiar componentes de media y alta tensión.
- Comprender análisis de muestra de aceite para comprender significado.
- Conocer funcionamiento de control, señalización, maniobra y operación de un interruptor de poder mediante estación pulsadora incorporado.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar estas actividades en grupos, en pares o individualmente.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen copia de la placa de datos de los componentes de una celda con un interruptor de poder. Este análisis debe quedar reflejado en un informe técnico para que el instructor lo evalúe.

Materiales y Recursos

- Celdas de media y alta tensión.
- Depósito para muestra de aceite.
- Interruptor de poder (unidad ANSI / IEEE 52) con circuito de control incorporado
- Un Informe de Laboratorio sobre análisis de aceite.
- Set de herramientas como destornilladores, y alicates.
- Lab – Volt o similar.
- Extensiones eléctricas con enchufes hembra macho monofásicos y trifásicos.´
- Cables con pinzas terminales.

Seguridad

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller**:**
  - Casco
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad para electricista
  - Guantes de cabritilla
  - Chaleco reflectante
  - Protector auditivo. Si aplica.
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado.

Confeccionar tabla con datos solicitados: Placa de datos de celdas de baja tensión, celdas de media tensión, celdas de alta tensión de interruptor de poder,

Una vez tomado los datos de las celdas, se harán pruebas de conexión y desconexión de interruptores de poder, mediante operación de sus accionamientos.

Con un micro óhmetro se harán mediciones de resistencia de los contactos al cierre. Se hará un registro de ello e irá en Informe.

Finalmente, se hará un estudio de un análisis de muestra de aceite para comprender significado y aplicación en cambio o no de aceites y SF_6, en interruptores de poder.

Antecedentes aportados por instructor:

Circuito de control de interruptor de poder.

Descripción de funcionamiento de interruptor de poder en simulación.

Será parte del informe describir el funcionamiento de ellos.

Cierre

Los participantes, según los equipos analizados, distinguirán entre interruptores de poder con contactos en aceite o con SF_6.

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-McMoRan
COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD