



Cuaderno del Instructor
Módulo 4: “Mantenimiento de
interruptores y desconectores”
PFMEI-4-01/V.1[PE01-M04/v.1

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



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 es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. 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.

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; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.

Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.



Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.



Para las instituciones educativas:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.



Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.



Índice

Descripción del documento.....	7
Módulo IV: Mantenión de Interruptores y Desconectadores	8
1. Sistemas trifásicos de potencia	9
1.1 Interruptores de potencia	9
1.2 Desconectadores de potencia.	57
1.2.1 Seccionadores de cuchillas giratorias.....	60
1.2.2 Seccionadores de cuchillas deslizantes.....	60
1.2.3 Seccionadores de columnas giratorias.	61
1.2.4 Seccionadores de pantógrafo.	62
1.3 Especificaciones técnicas de interruptores y desconectadores (capacidades, poder de ruptura).....	63
1.4 Medidor de alta tensión	73
1.5 Comprobador de alta tensión.	74
2. Mediciones en interruptor y desconectadores	75
2.1 Micro-óhmetro (Ducter)	75
2.2 Resistencia de contacto	79
2.3 Simultaneidad de contacto	82
2.4 Resistencia de aislamiento.....	83
2.5 Medición de presión de gas.....	86
2.6 Medición de FGC, rigidez.....	87
2.7 Documentos de registro de apertura y cierre	88
3. Toma de Muestra	89
3.1 Riesgos químicos asociados a la función.....	89
3.2 Procedimiento de toma de muestras de aceites en interruptores de AT	89
3.3 Análisis de informes.	95
3.4 Uso de Microsoft Excel avanzado.	100
3.5 Uso de software de análisis específico.	119
3.6 Manejo de base de datos.	122
Actividad N°5.....	124

Descripción del documento

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

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

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 documento 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: Mantenición de Interruptores y Desconectadores

1. Sistemas trifásicos de potencia

1.1 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 lograrlo 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 entrehierro 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.

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 1 se muestra un ejemplo de la estructura de átomos.

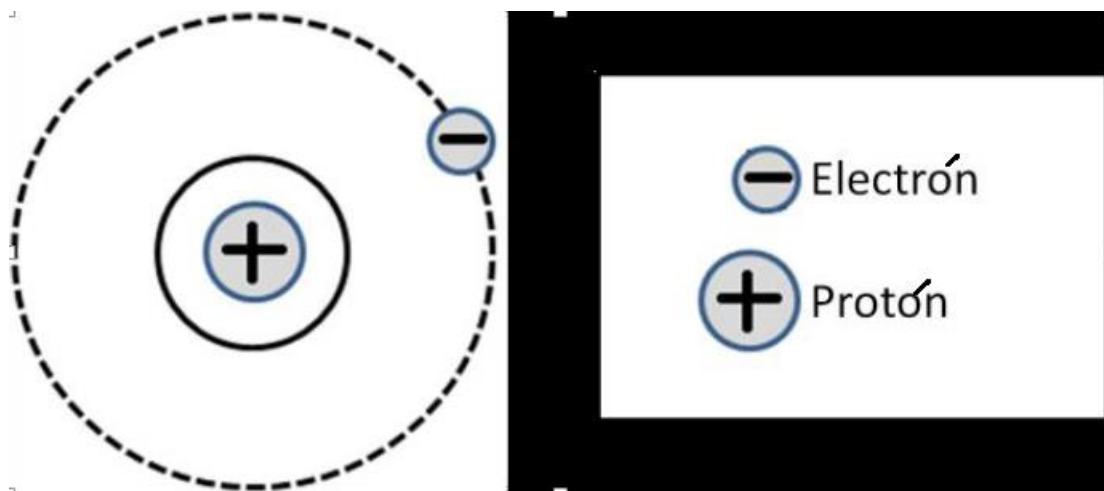


Figura 1

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 2), 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).

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

Dónde:

R : Resistencia del material.

ρ : Resistividad del material.

L : Longitud del material.

A : Área transversal del material.

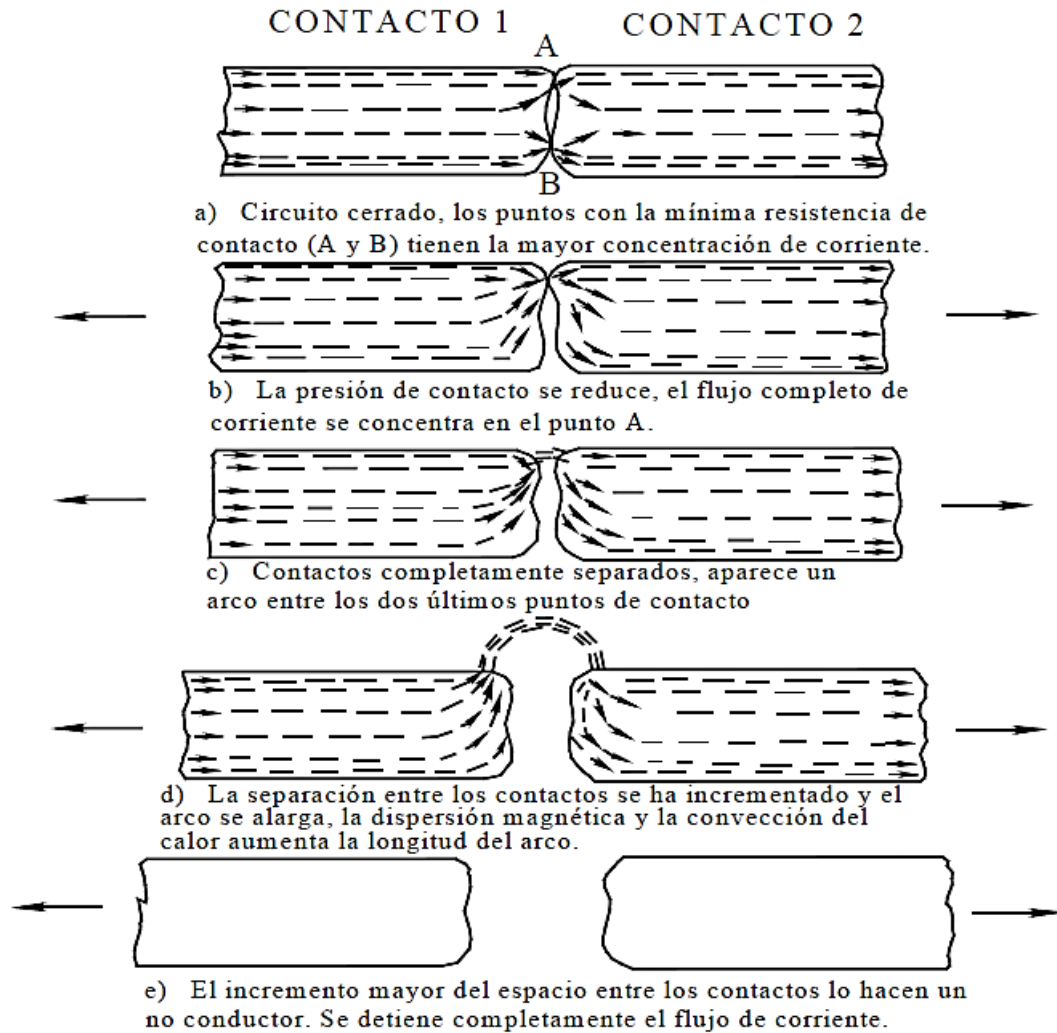


Figura 2

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:

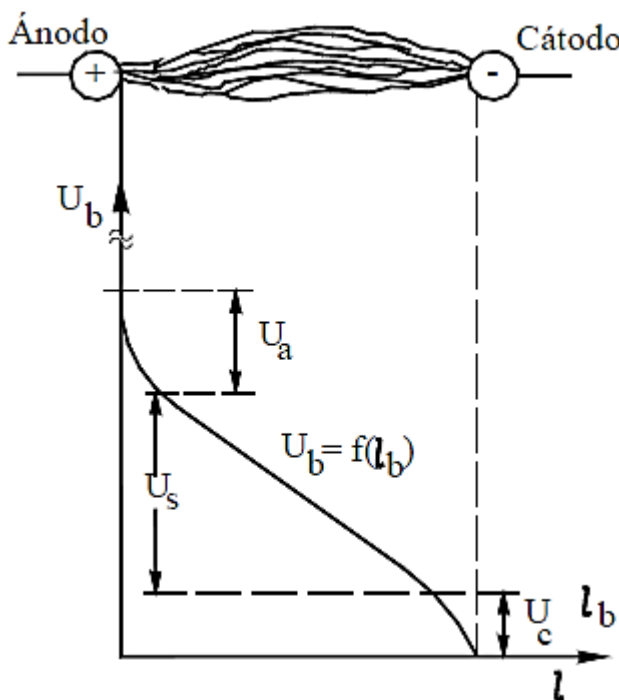


Figura 3

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 U_{b0} . 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 U_{b1} . Esto es válido solamente para corriente continua.

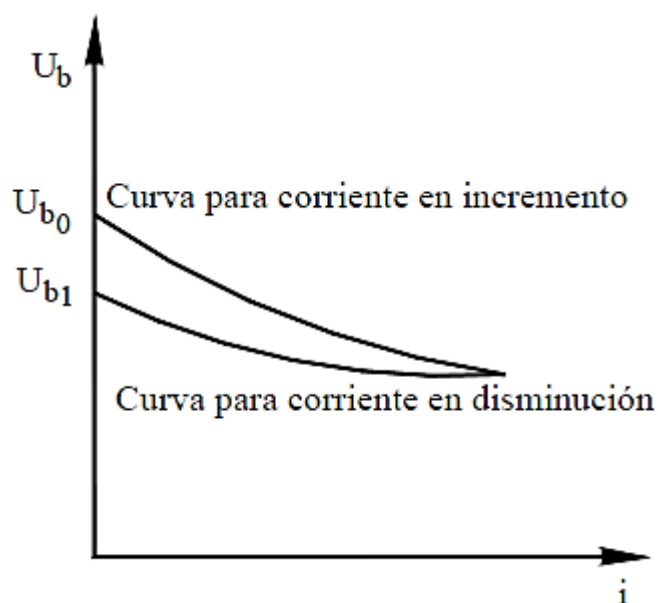


Figura 4
Caída de tensión a través de un arco eléctrico en función de la corriente.

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 siguiente:

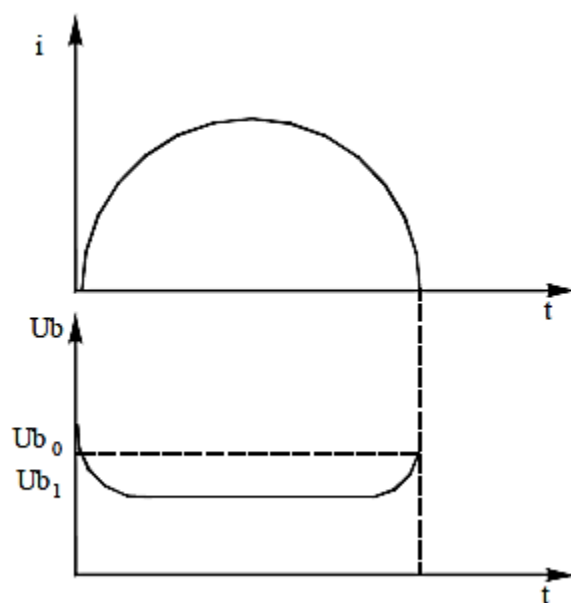


Figura 5
Arco eléctrico en un circuito de C.A.

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 arco.

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 re-encendido del arco después de un valor de corriente cero. Esto, se logra con la des-ionización 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.

1. 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 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 7.

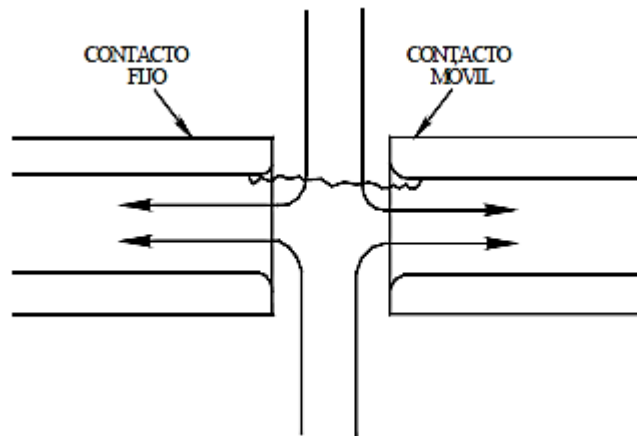


Figura 7
Representación esquemática de la técnica de enfriamiento del arco en un interruptor neumático.

c) División del arco.

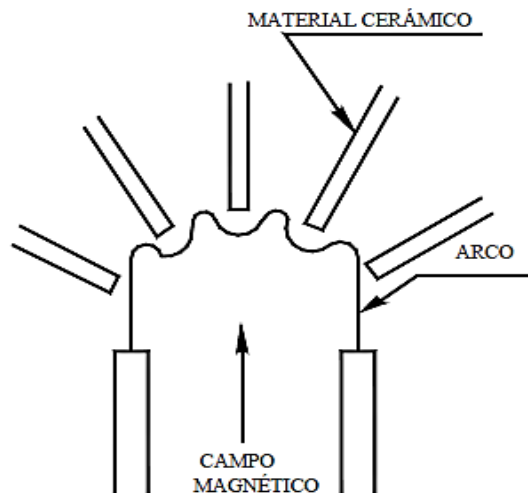


Figura 8
Representación esquemática de la división de un arco.

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 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. Ver Figura siguiente:

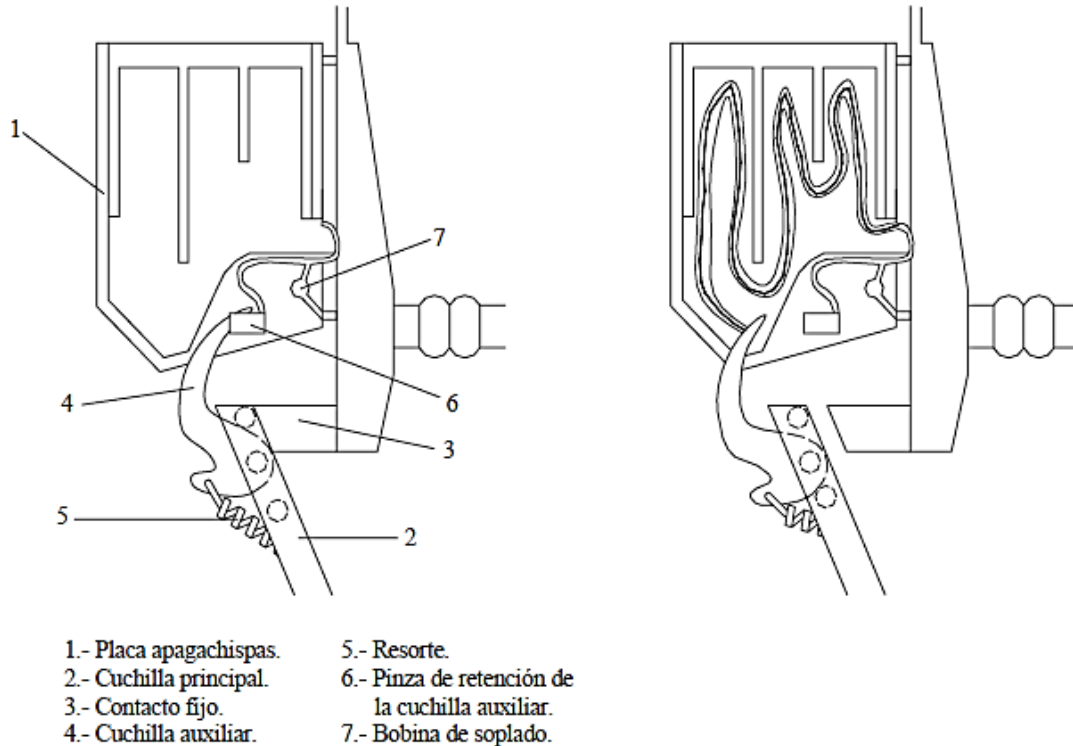


Figura 9
Representación esquemática de una cámara de arqueo del arco.

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 10 y es más conocido como HISTÉRESIS DEL ARCO.

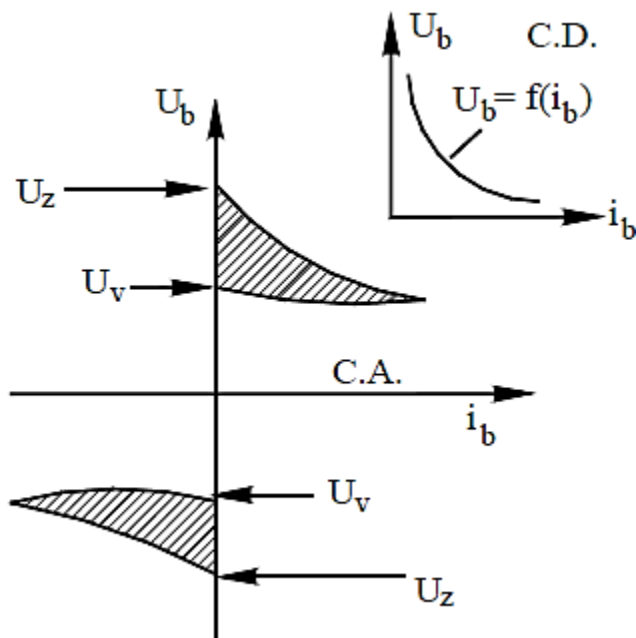


Figura 10
Comportamiento del arco en corriente alterna (histéresis del arco).

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 ($U_{sen} \omega t$) en algún instante excede a la tensión de recuperación U_r , ocurre un re-encendido. En caso contrario, si la tensión de recuperación U_r 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.

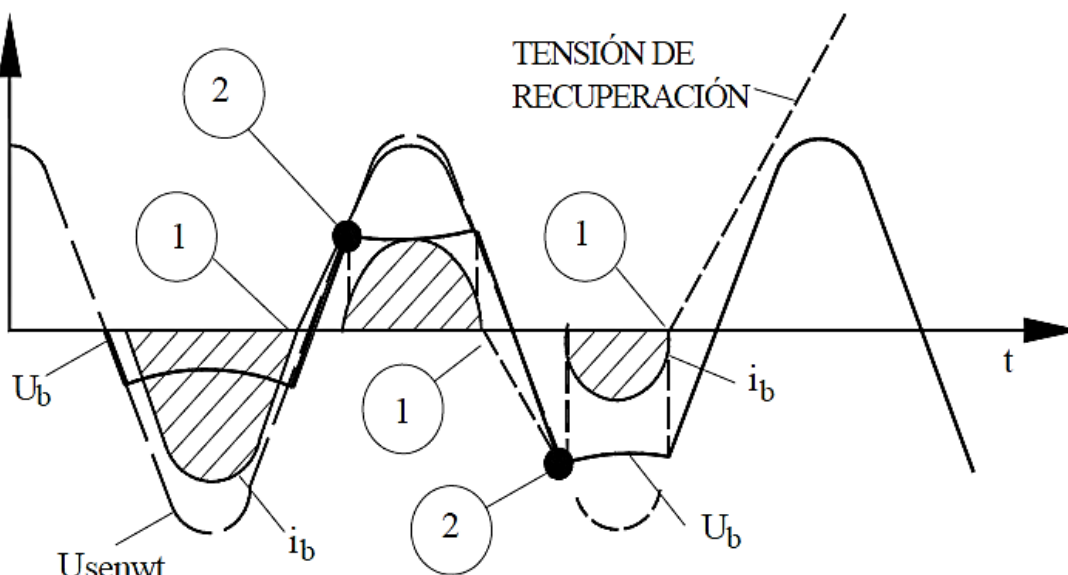


Figura 11
Comportamiento de las tensiones durante el proceso de interrupción.

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 siguiente 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.

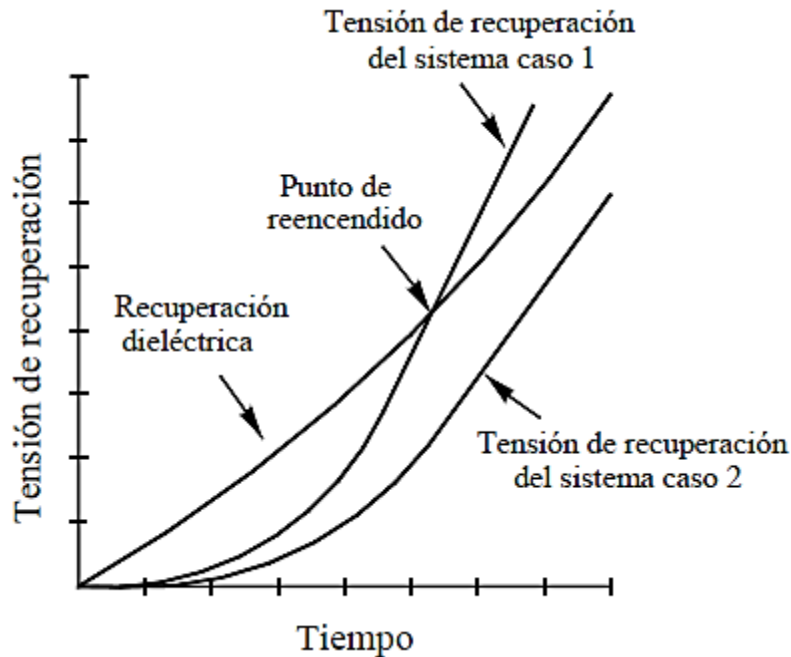


Figura 12
Representación gráfica de la teoría de Slepian.

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 este.

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 13, 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.

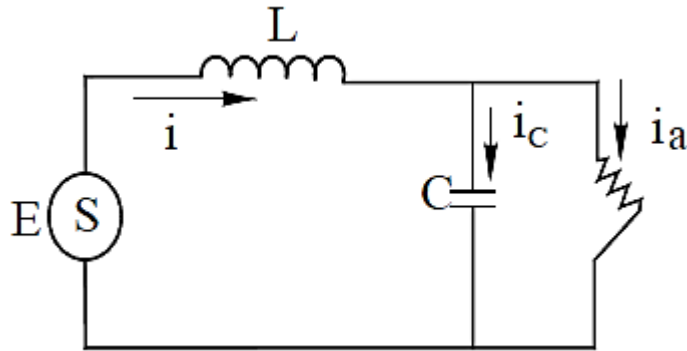


Figura 13
Circuito L-C para ilustrar la interrupción de una corriente alterna.

En el instante t_1 (ver Figura 14) 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:

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

V es la tensión de la fuente.

V_c es la tensión entre contactos.

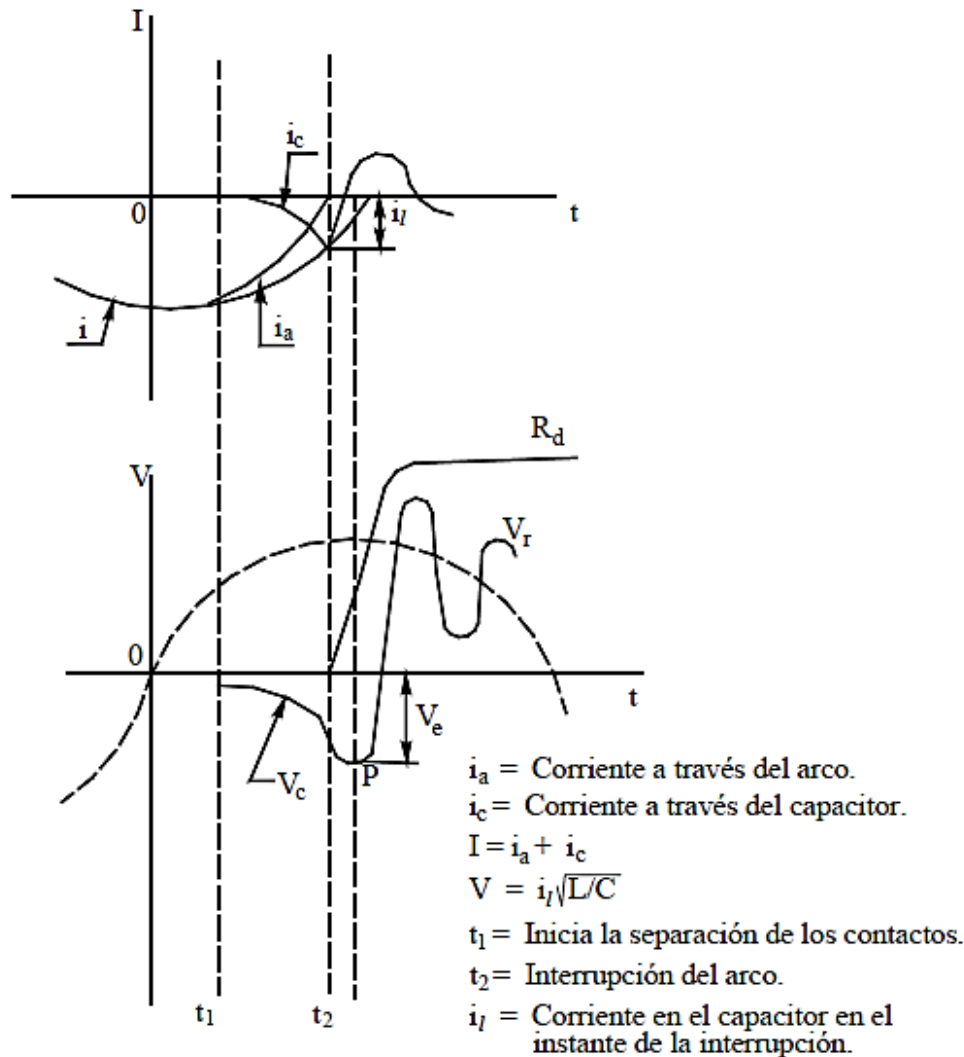


Figura 14
Proceso de interrupción en un circuito L-C con C.A.

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 R_d 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 15

Comportamiento del arco.

Las características eléctricas del circuito a interrumpir influyen en el comportamiento del arco. La Figura siguiente muestra el comportamiento del arco eléctrico en un circuito inductivo.

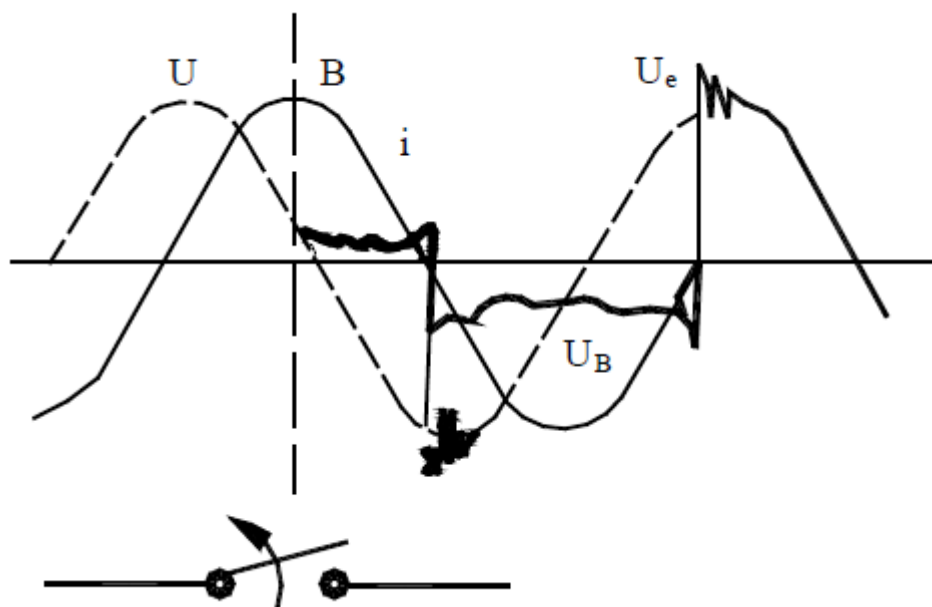


Figura 15

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 U_B , 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 y 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.

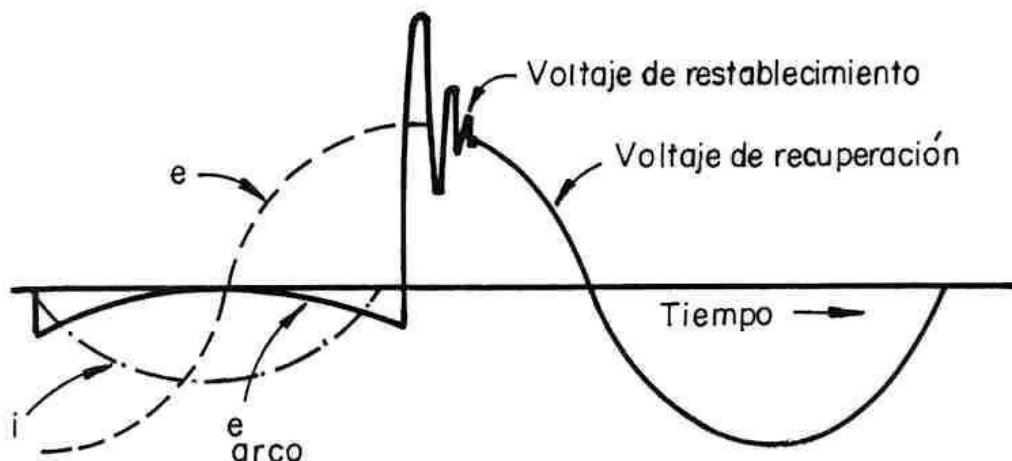


Figura 16
Formas de las ondas del voltaje de restablecimiento y de recuperación.

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 siguiente.

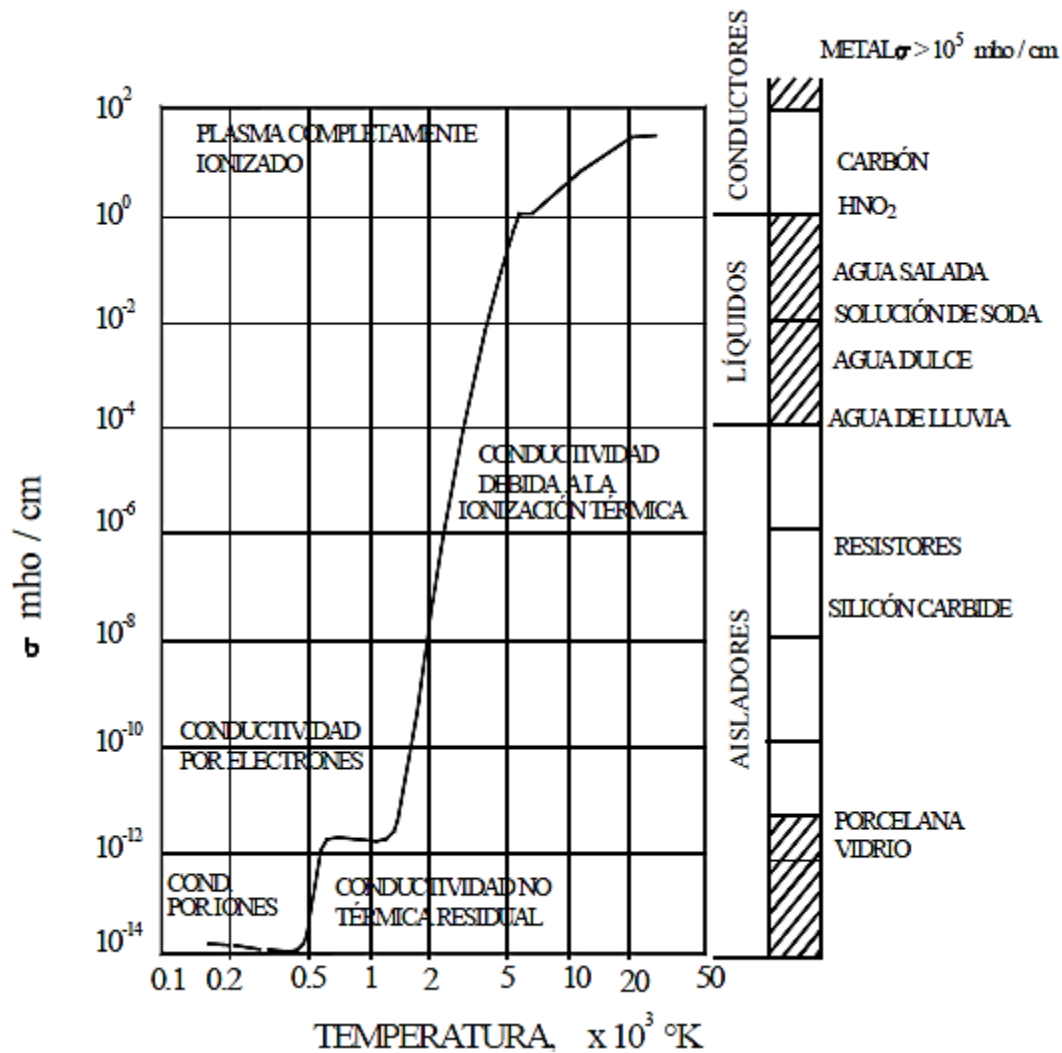


Figura 17
Conductividad eléctrica (σ)- temperatura del aire a presión atmosférica.

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 18 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 °K. El SF₆ y el hidrógeno poseen mejores conductividades térmicas que el aire y el nitrógeno a altas temperaturas, lo que los hace mejores medios de extinción.

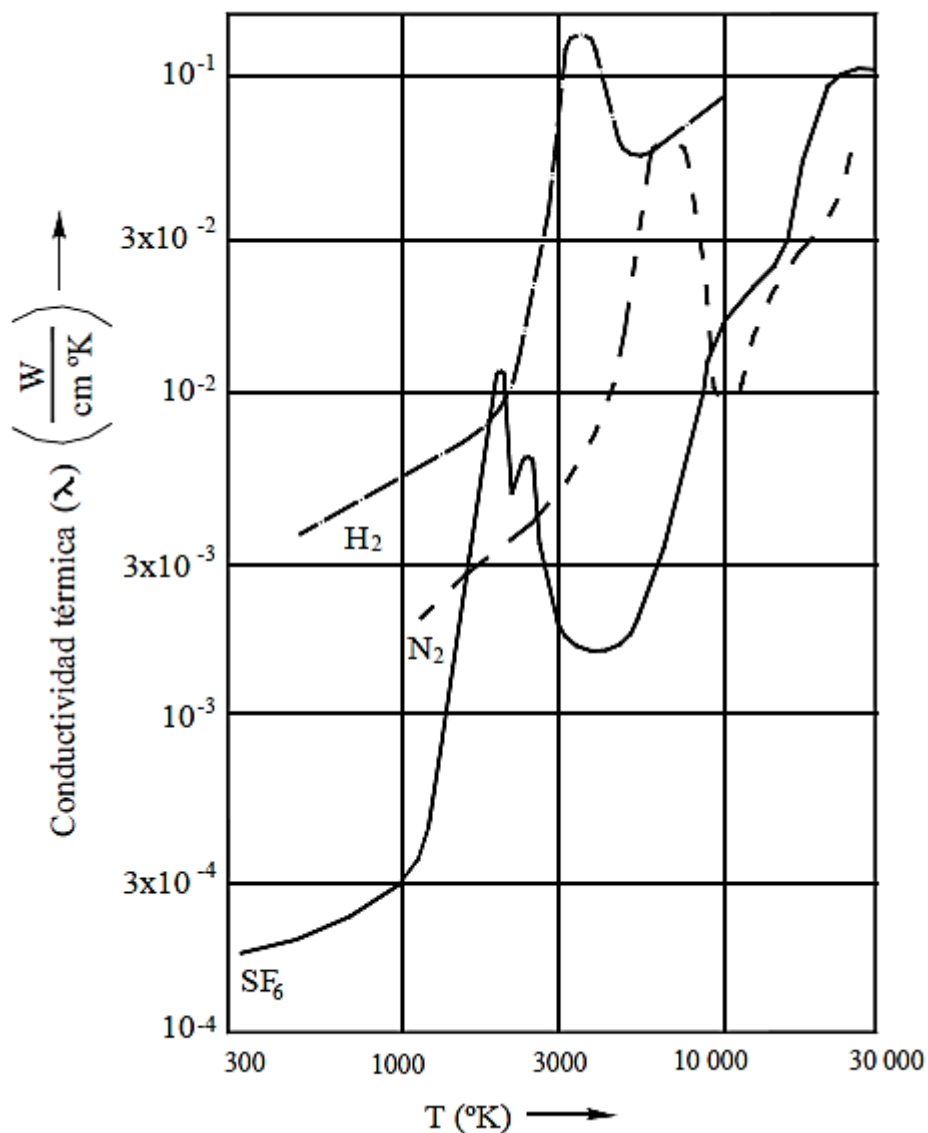


Figura 18
Comportamiento de la conductividad térmica (λ) en función de la temperatura del medio gaseoso, T ($^\circ K$).

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.

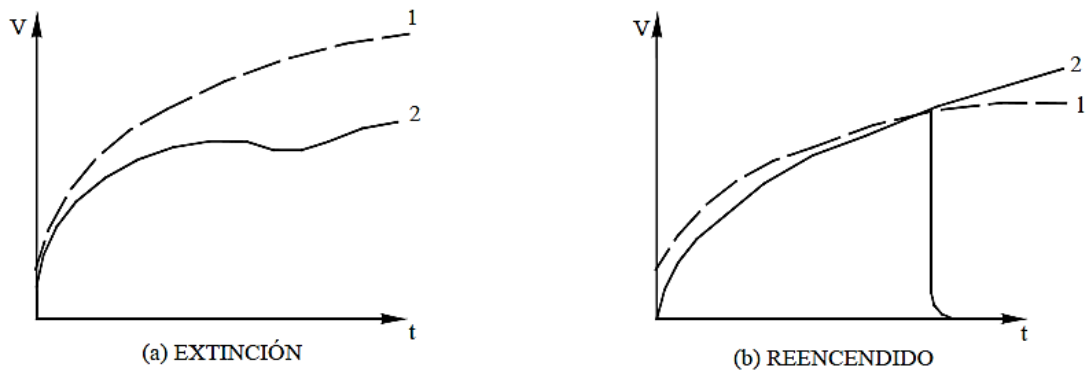
La potencia de corto circuito que el interruptor es capaz de interrumpir, está dada por el producto de la corriente de corto circuito simétrica y la tensión de restablecimiento, un ciclo después de la interrupción.

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 19).



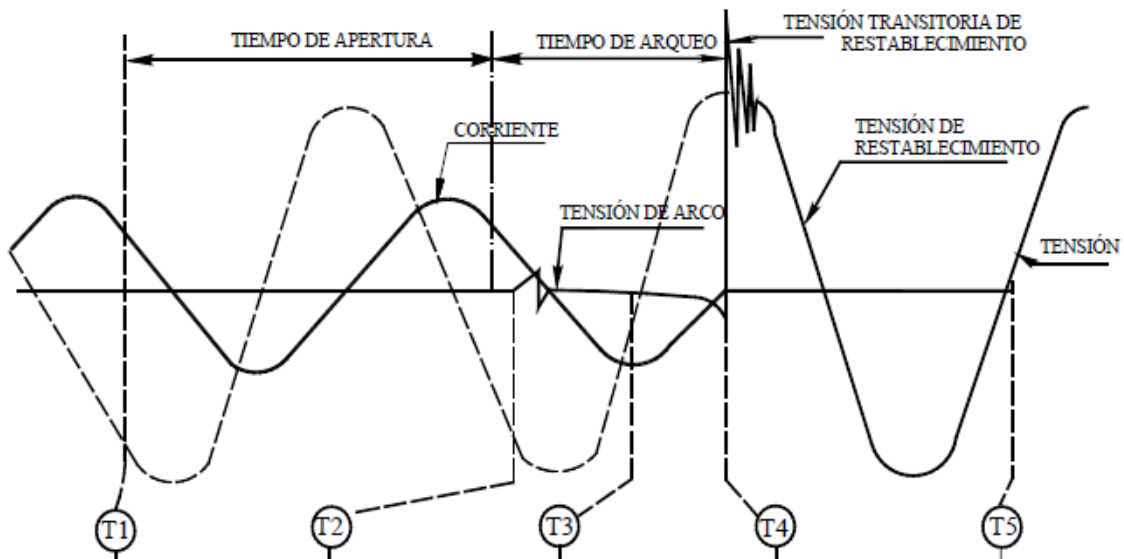
1 RIGIDEZ DIELECTRICA
2 TENSION TRANSITORIA DE RESTABLECIMIENTO

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 siguiente:



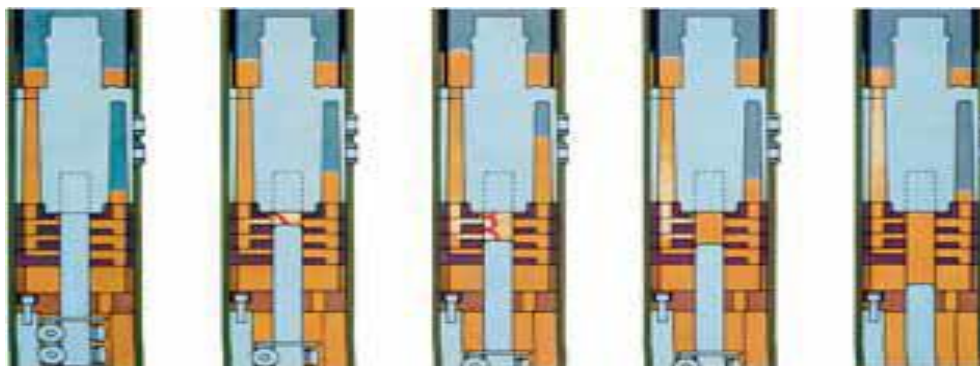


Figura 20
Proceso de interrupción de corriente en un circuito de C.A.

- 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 resultó 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 sí 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 siguiente, 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.

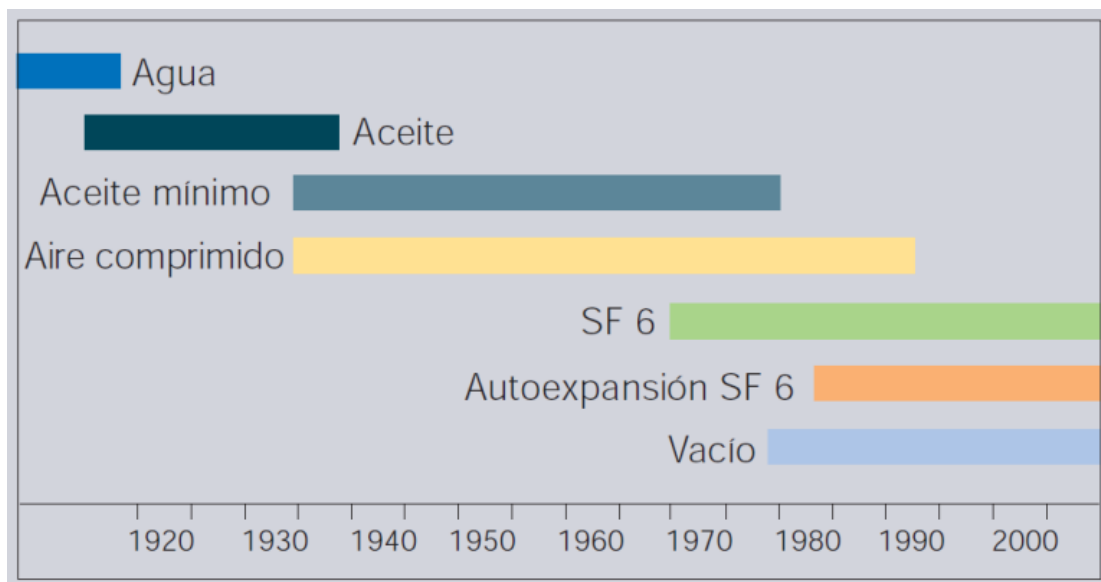


Figura 21
Medios de extinción más utilizados en los últimos cien años. (Fuente: Revista ABB 1/2007 El interruptor.)

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

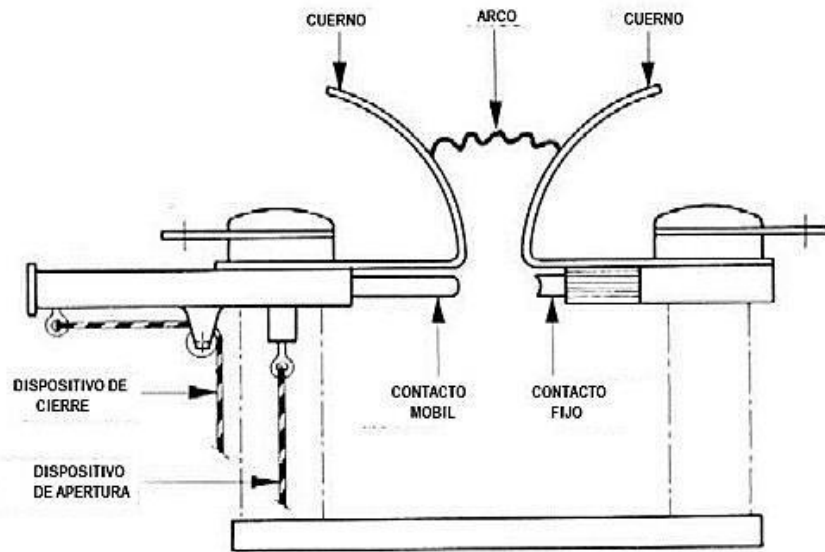


Figura 22
Interruptor de potencia antiguo, tipo cuchilla.

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 sólo en el interior de edificios o en envoltentes 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. La única diferencia entre los interruptores tipo interior y exterior es la envoltente 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 23
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 24
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) a) Costo menor, ya que no incluye los transformadores de corriente.
- b) b) Utilizan menor cantidad de fluido para interrupción.
- c) 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.

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								

Figura 25

Medios de extinción por voltajes típicos de operación

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.

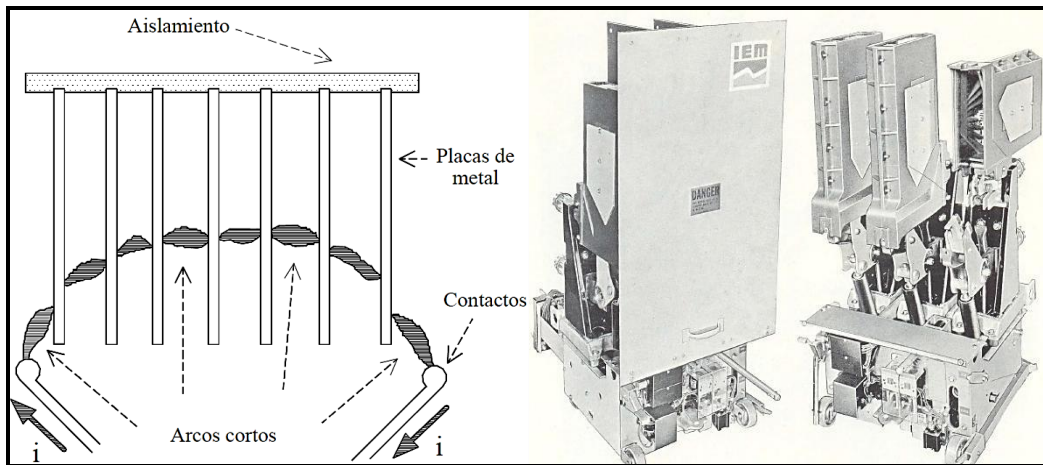


Figura 26

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

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

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

En el primer tipo de cámara de arco 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 arco. Subsecuentemente, el arco es atraído hacia adentro de la cámara de arco debido a la fuerza producida por la corriente y la presión de los gases calientes.

El segundo tipo de cámara de arco 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 arco 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.

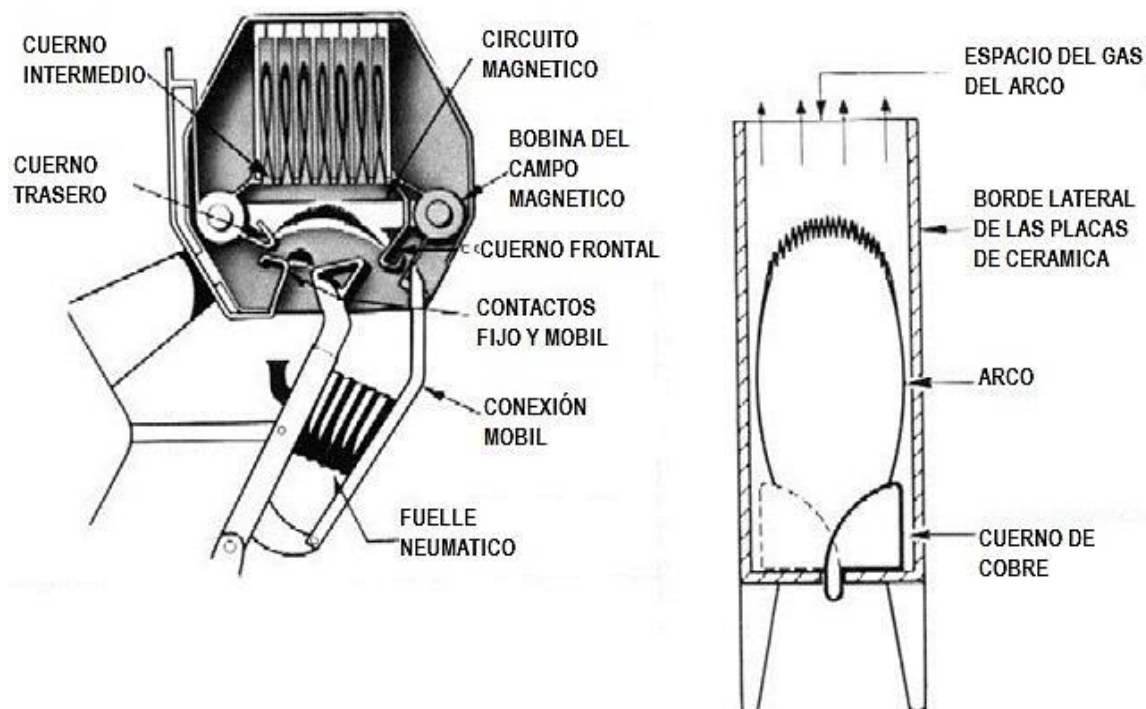


Figura 27
Cámara de arco de soplo magnético.

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.

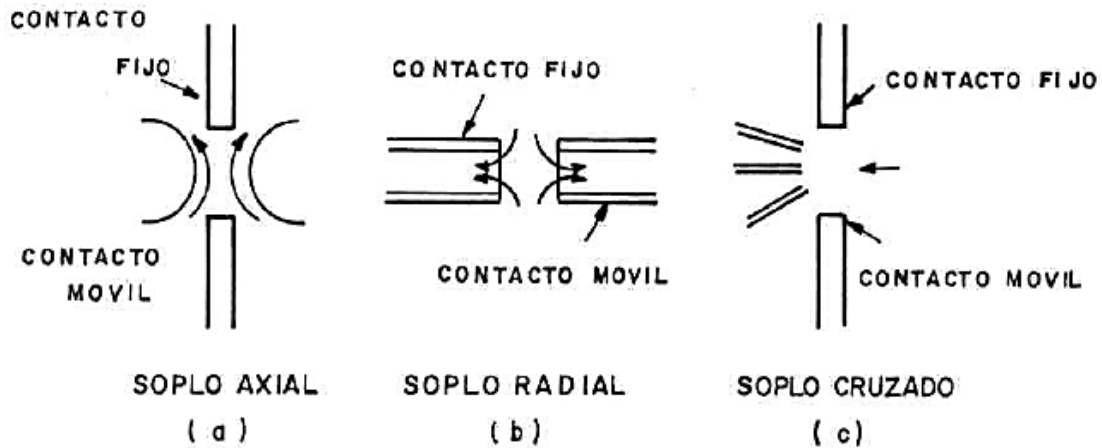


Figura 28

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.

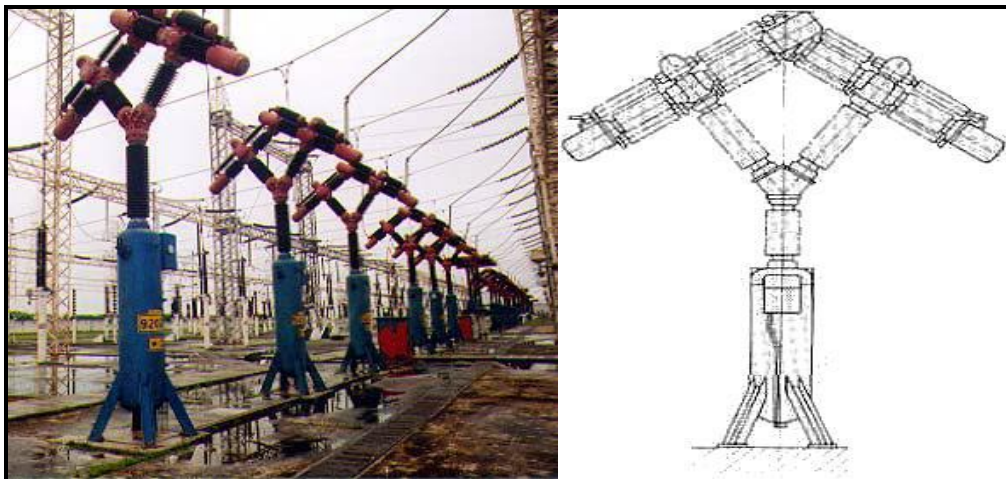


Figura 29

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.

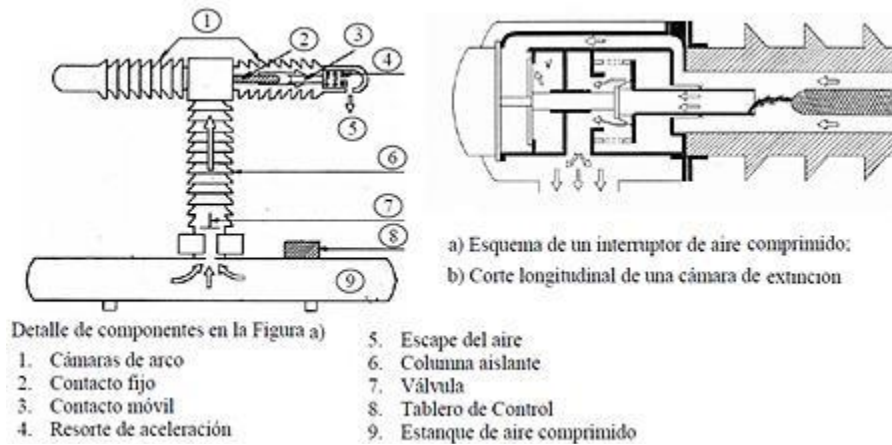


Figura 30
Esquema de un interruptor de potencia soplo de aire, marca AEG.

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.

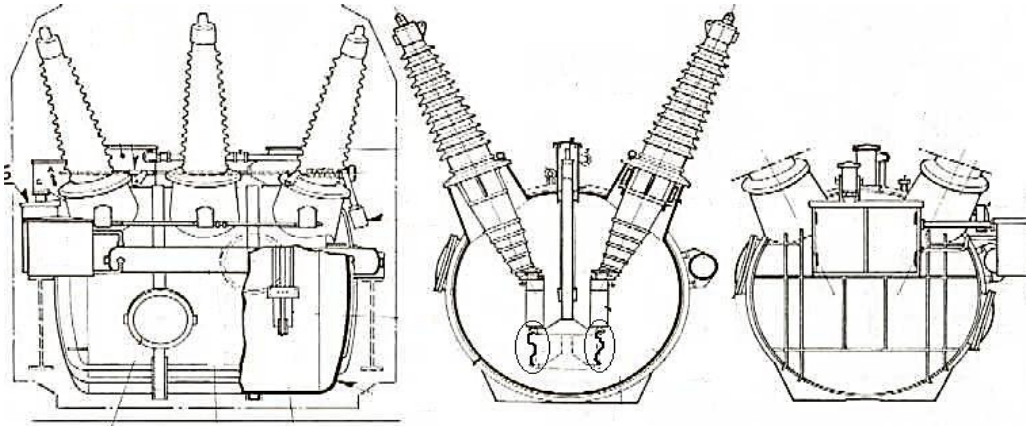


Figura 31
Interruptor simple de interrupción en aceite.

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 arqueos muy largos. Las combinaciones aleatorias de arcos largos, que se traducen en altas tensiones de arcos acompañados por tiempos largos de arqueos, 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.

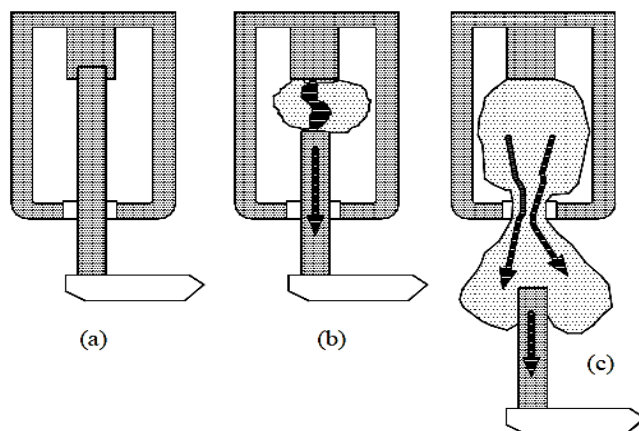


Figura 32
Perfil de cámara de explosión de un interruptor de aceite (a) Contactos cerrados, (b) inicio de apertura y de arco, (c) escape del gas.

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.

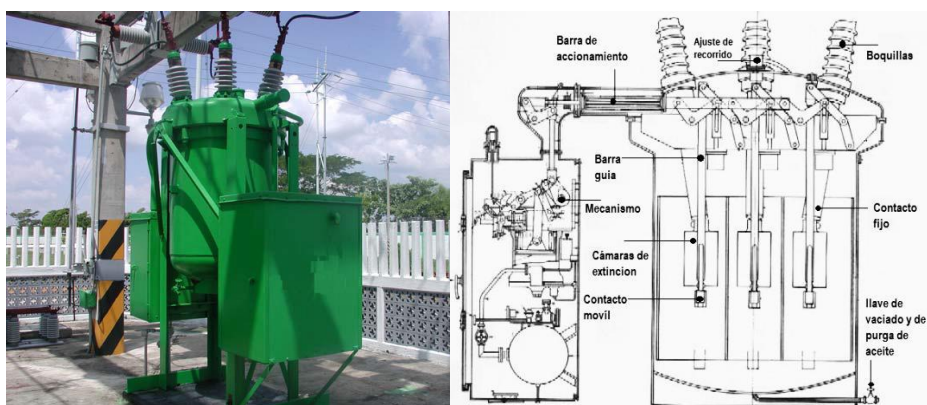


Figura 33
Interruptor en gran volumen de aceite con un tanque de 34.5 kV.

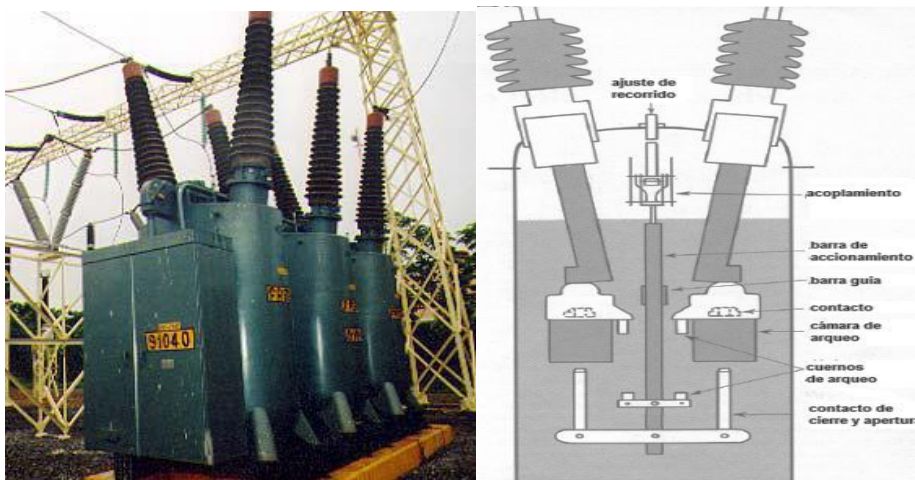


Figura 34

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.

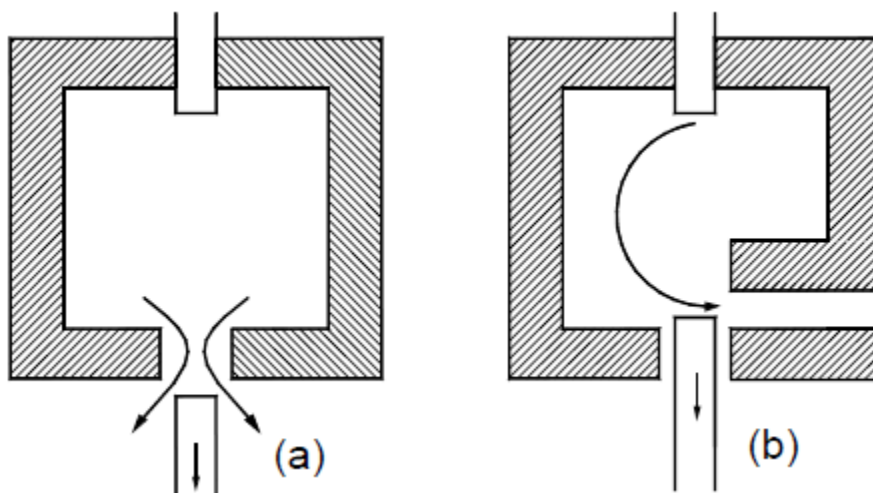


Figura 35
Tipos de cámaras de control de arco (a) Cámara de soplado axial, (b) Cámara de soplado cruzado.

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.

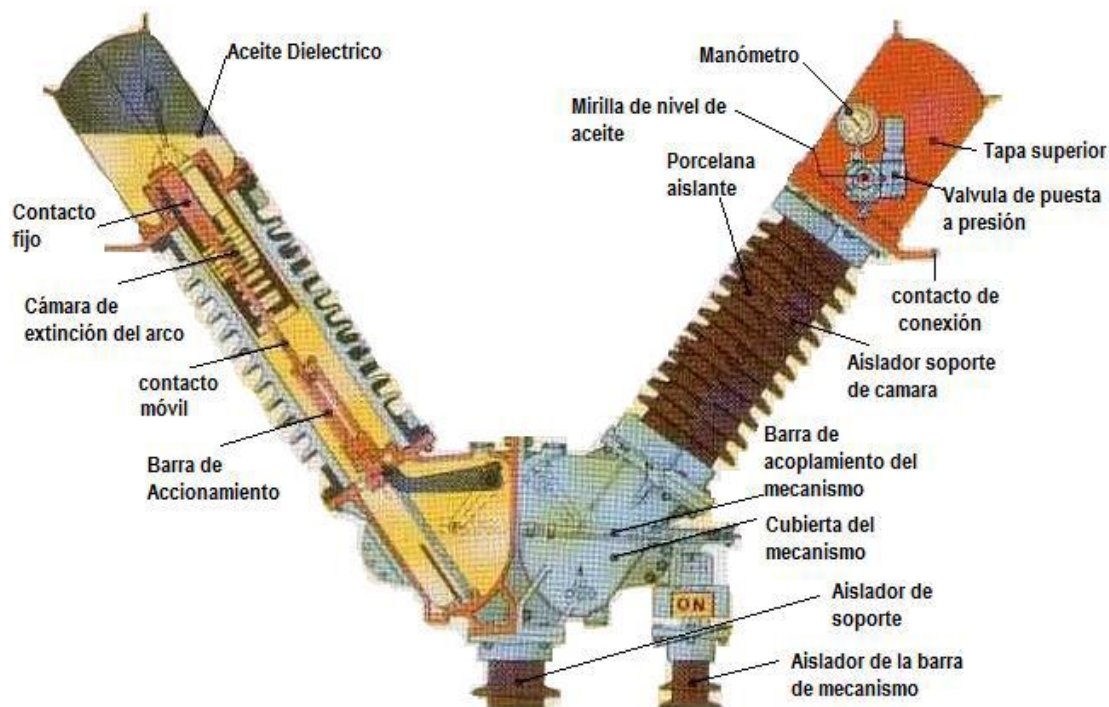


Figura 36
Interruptor en pequeño volumen de aceite marca Sprecher&Schuh de 115 kV con mecanismo de resorte, y sus partes componentes.

Interruptores en SF₆.

Primera generación de interruptores en SF₆.
 Interruptores de dos presiones en SF₆.

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.

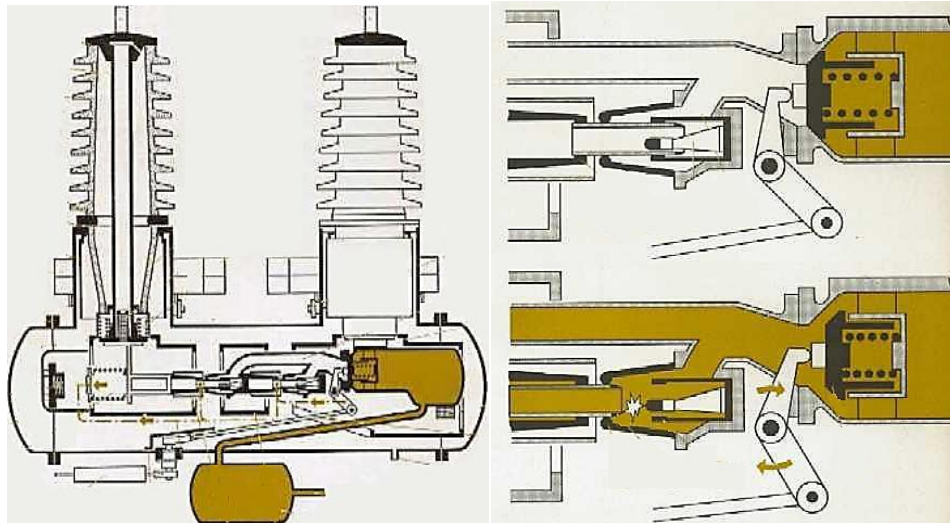


Figura 37
Interruptor en SF₆ de dos presiones tanque muerto.

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.

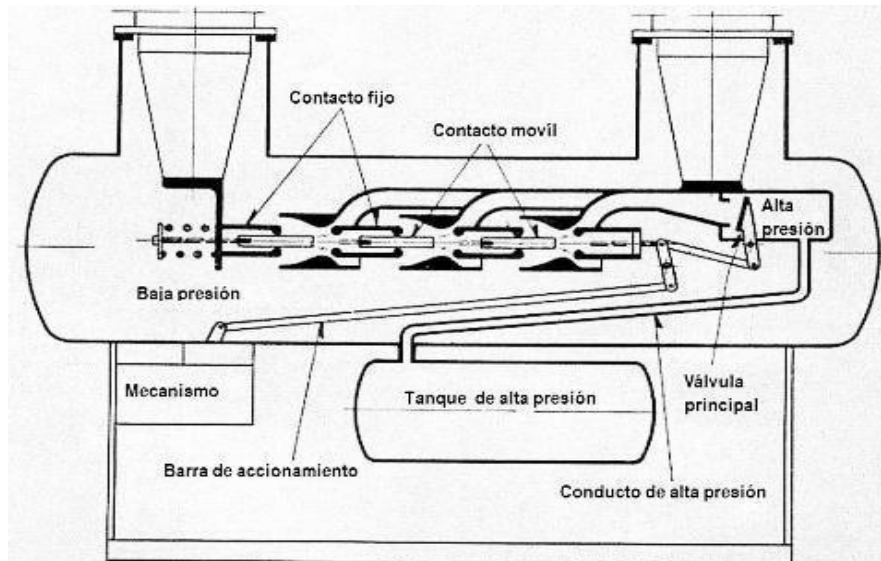


Figura 38
Interruptor en SF₆ a dos presiones. Tanque muerto.

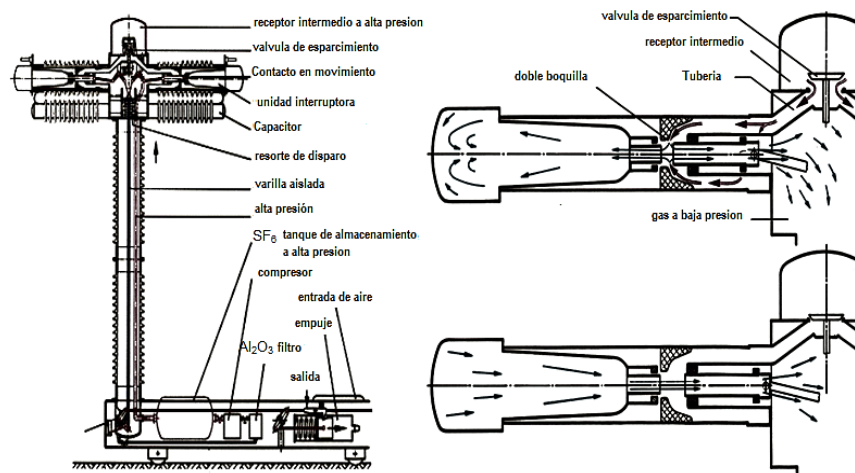


Figura 39
Partes componentes de un interruptor en SF₆ a dos presiones Tanque vivo.

Segunda generación de interruptores en SF₆.
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 arque.

- 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 interruptiva 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.

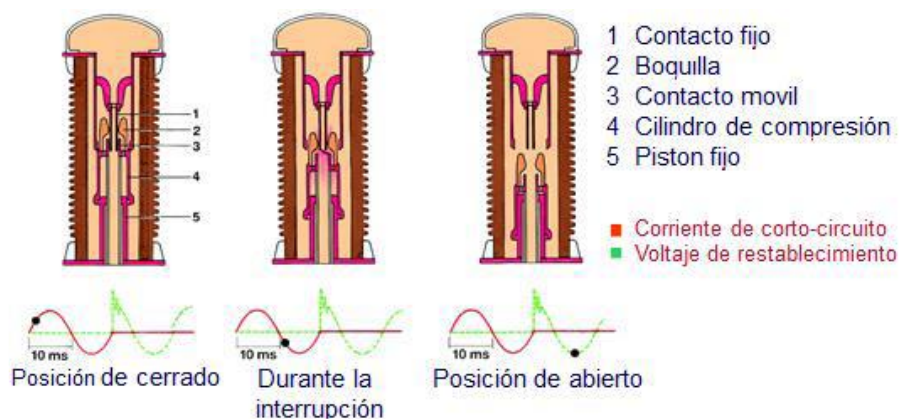


Figura 41
Principio de funcionamiento del interruptor de soplo.

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.

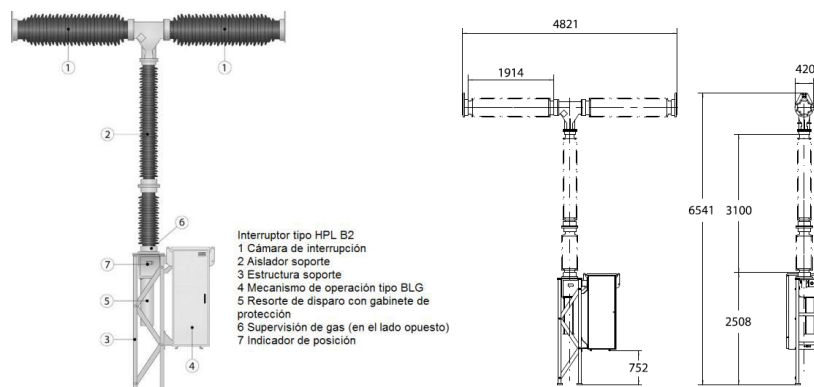


Figura 42
Interruptor en gas SF6 tipo T, tanque vivo marca ABB de soplo.

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 relleno. 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 de 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.43 muestra una sección transversal de una cámara interruptiva de un interruptor de auto-soplado con bobina magnética.

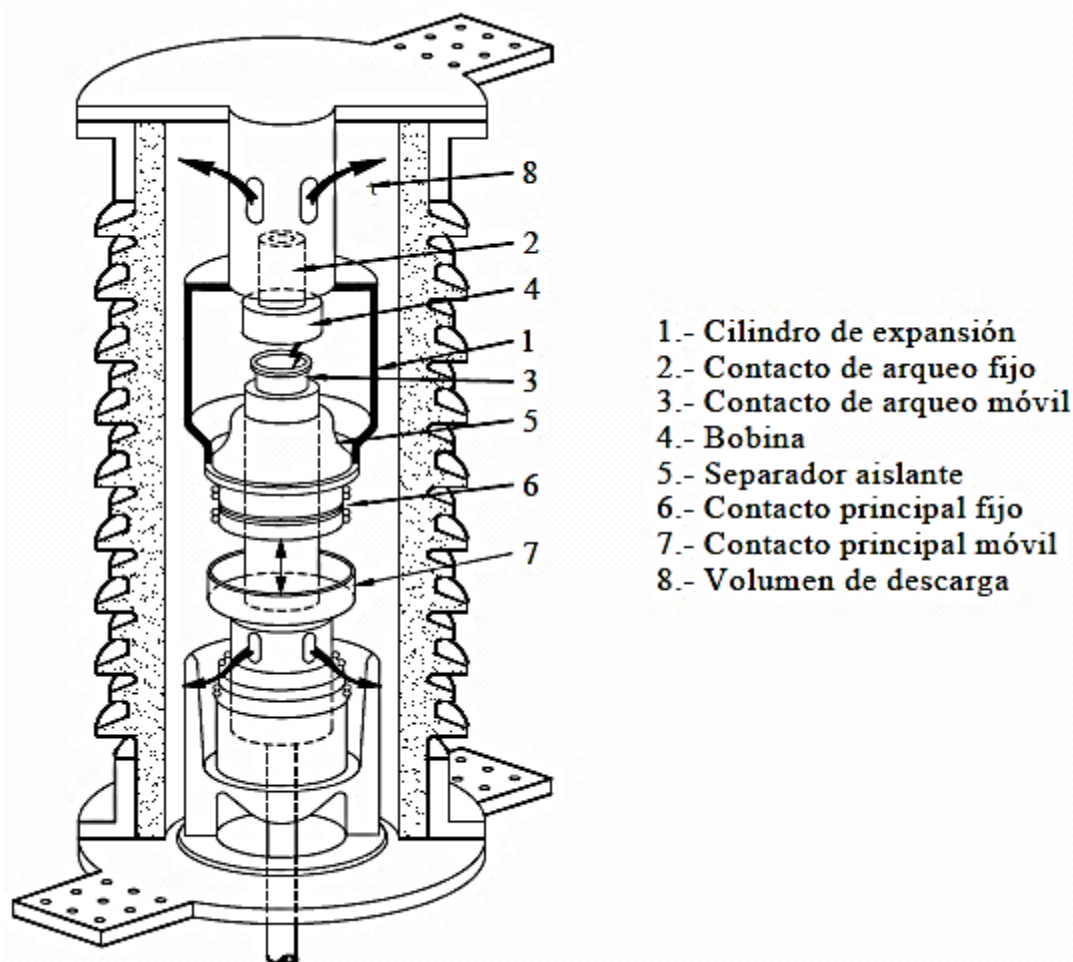


Figura 43
Sección transversal de la cámara interruptiva de un interruptor de auto soplado.

Los interruptores de sople 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.

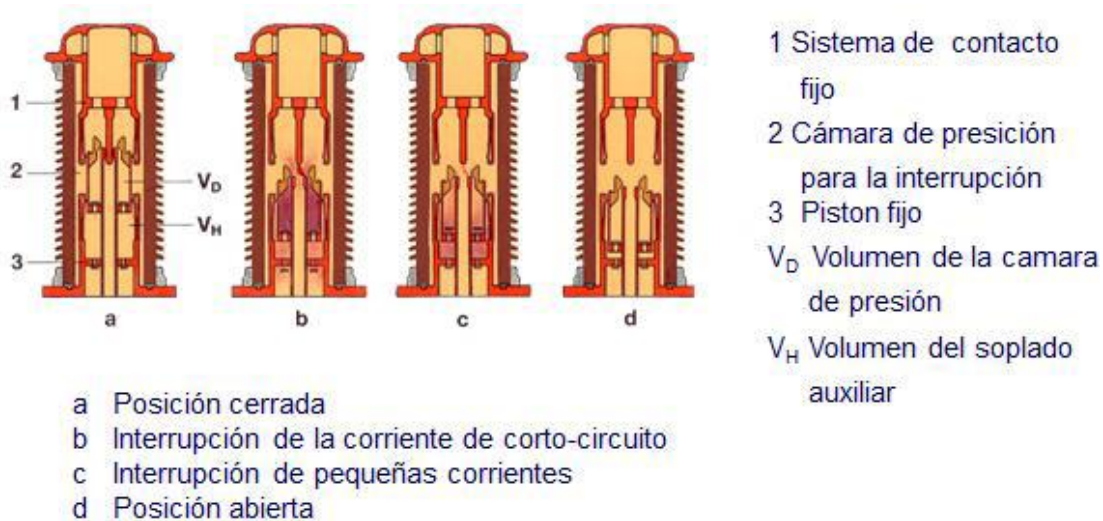


Figura 44

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.

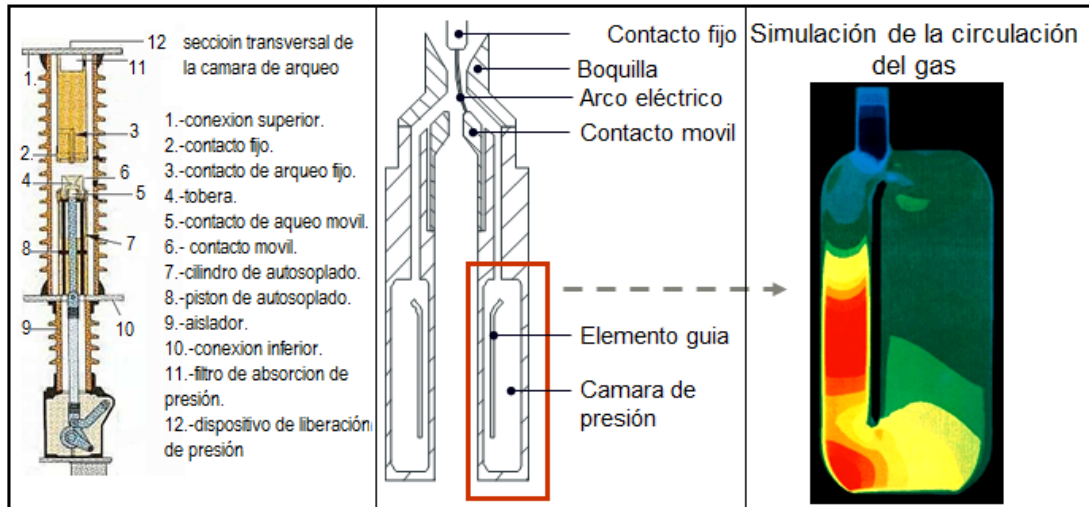


Figura 45
Cámara de arco con principio de extinción optimizado marca AEG.

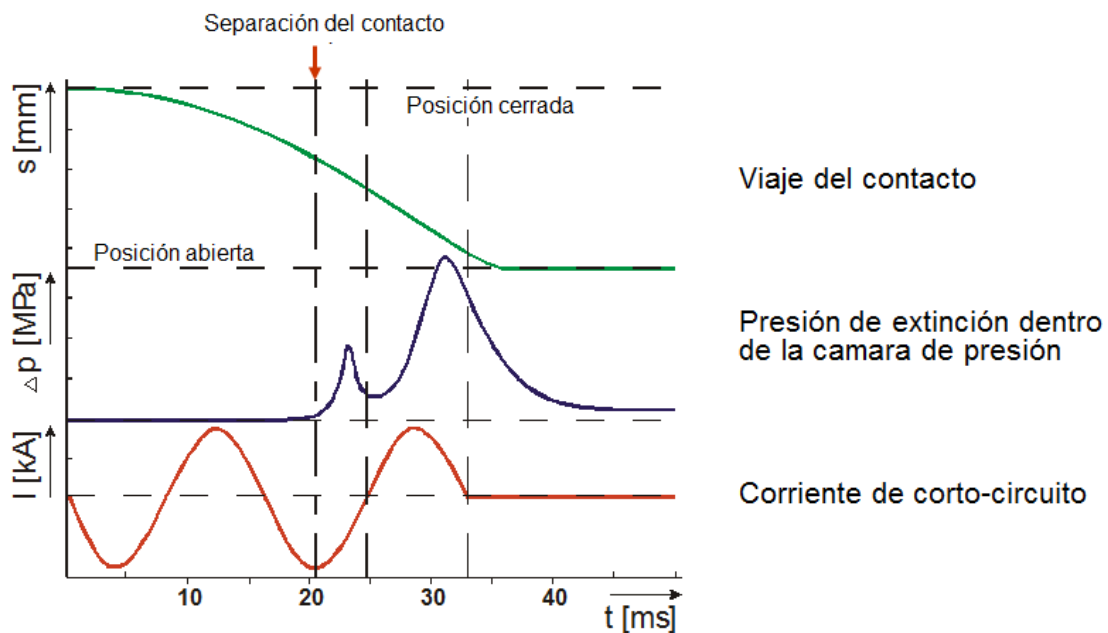


Figura 46
Comportamiento de la presión del gas SF6 en el momento de la apertura de los contactos.

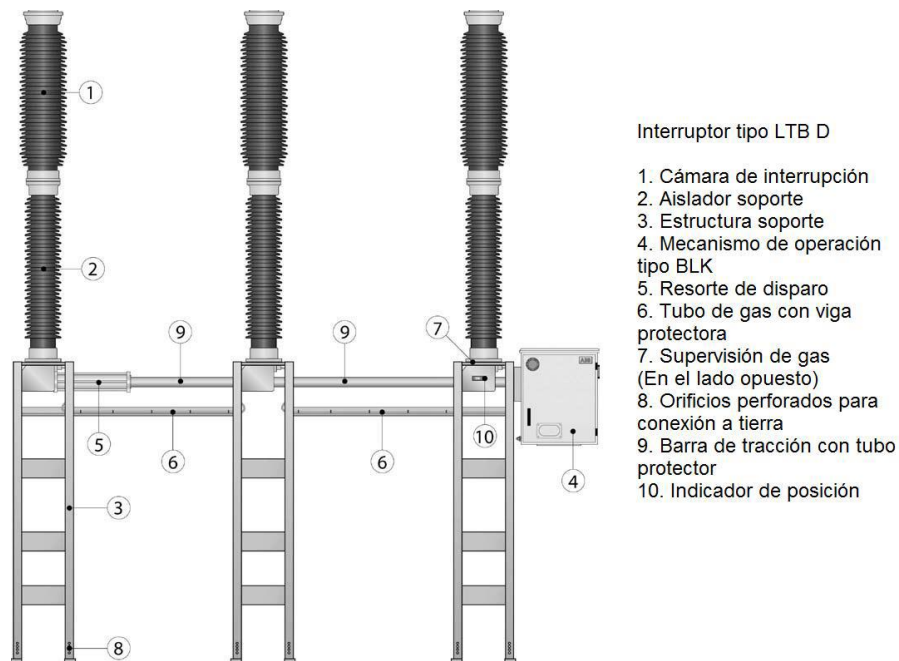


Figura 47
Interruptor tipo I en gas SF6 auto-soplado marca ABB.

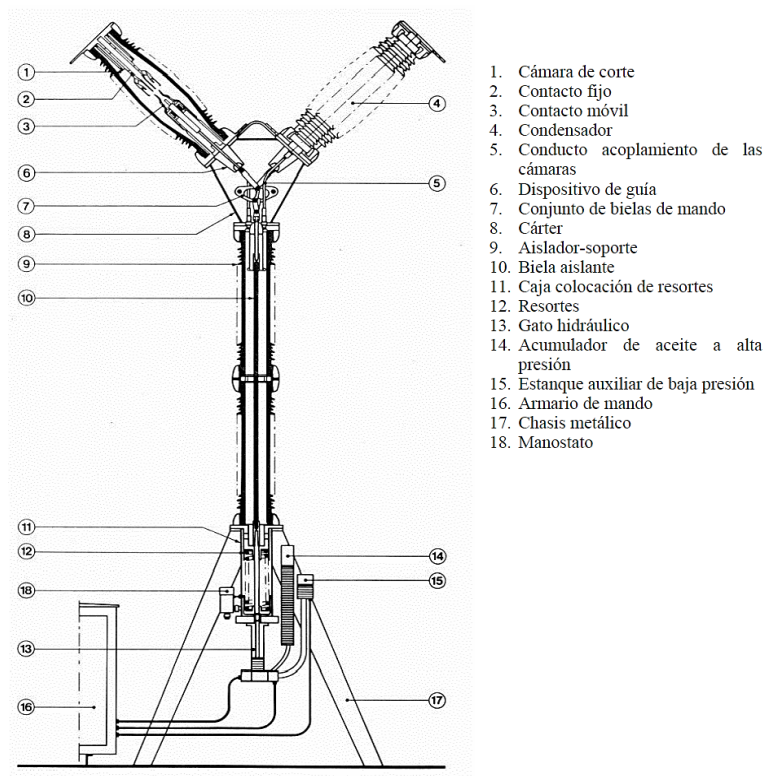


Figura 48
Interruptor SF6 auto soplado tipo Y dos cámaras por fase. Marca: MerlinGerin, Modelo: FA 2.

1.2 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 auto controlados 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 determinada, 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 sobre corriente 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 reconectores 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.

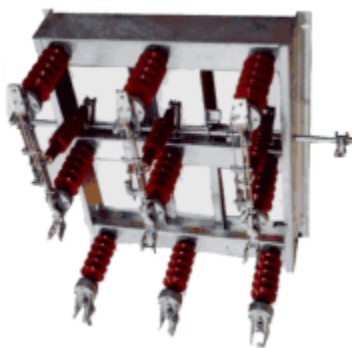


Figura 53
Construcción tripolar.

1.2.1 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.

1.2.2 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.

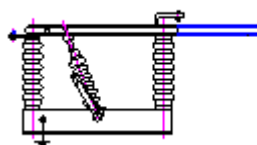


Figura 54
Seccionador de cuchillas deslizantes.

1.2.3 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.

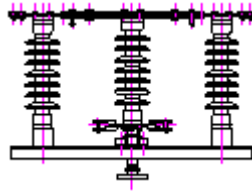


Figura 55
Seccionador de columna giratoria central.

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.

1.2.4 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 de mando.

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.

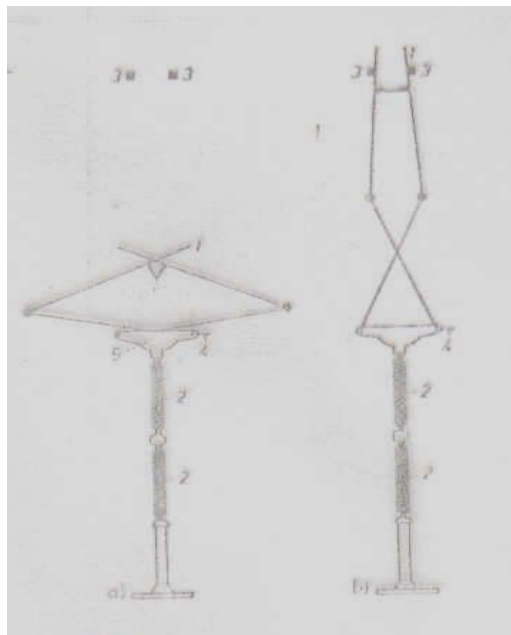


Figura 56
Seccionador tipo pantógrafo..

Mando de seccionadores.

Los mandos para seccionadores de alta tensión son muy variados, los cuales se pueden agrupar en distintas 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.

1.3 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 Electrotechnical 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.

<i>VOLTAJE NOMINAL (KV)</i>	<i>VOLTAJE MAXIMO DEDISEÑO (KV)</i>
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

Tensiones nominales y máximas de diseño según la Norma IEC 62271-100-2001 (High-Voltage Alternating-Current Circuit-Breakers).

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 siguiente Figura:

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 2000 3150	31,5	250	125
	1600 2000	40		
	2000	50		
420	1600 2000	31,5	400	400
	1600 2000	40		
	2000	50		

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:

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

- 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 asimétrica I_{as} está dada por:

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

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:

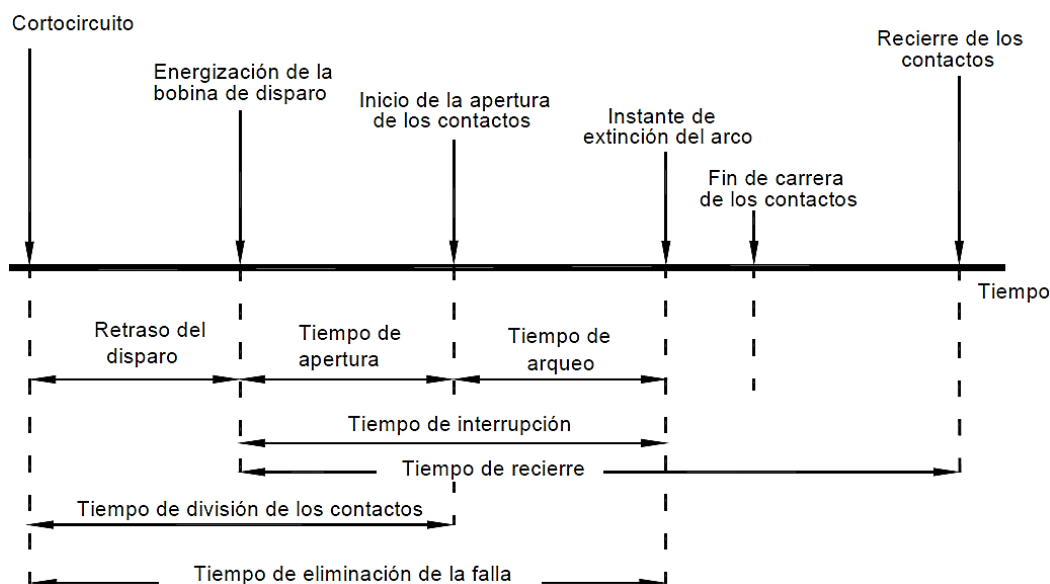


Figura 57
Componentes del tiempo de operación de un interruptor.

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 2 μ s (kV)	Onda cortada a 3 μ s (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

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 sólo 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.

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.

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(+17 0)	850	1275	700(+24 5)
420	520(s)	610(s)	1425	1425(+24 0)	105 0	1575	900(+34 5)
420 ⁽²⁾	620(s)	800(s)	1550	1550(+31 5)	117 5	1760	900(+45 0)

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 °C 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.

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.

1.4 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 medir el consumo de energía, activa y 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 12V que 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.

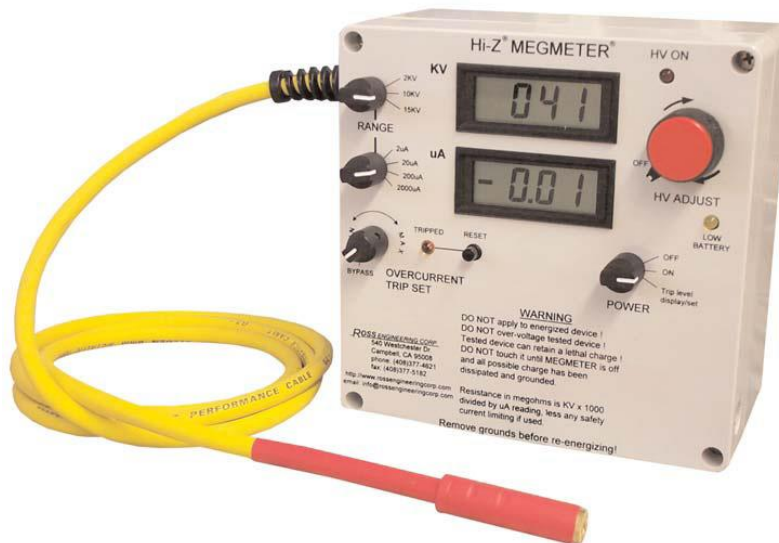


Figura 58
Medidor de aislamiento, Megóhmetro, corriente de fuga y medida de resistencia en alta tensión.

1.5 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 59
Comprobador de alta tensión de 11kV.

En la Figura anterior 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 60
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.

2. Mediciones en interruptor y desconectadores

2.1 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 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.

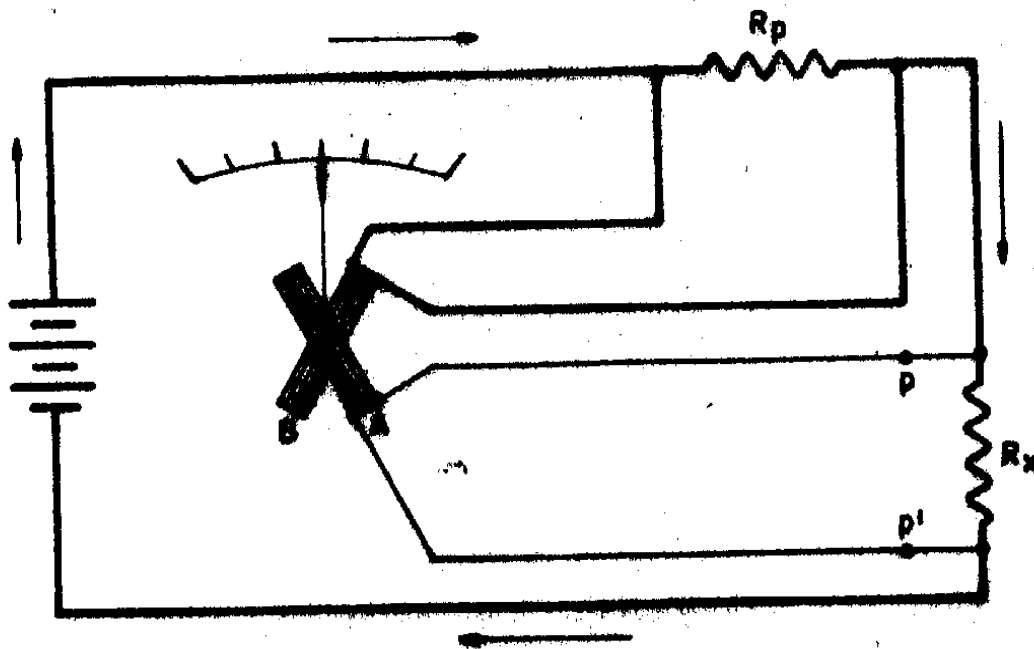


Figura 61
Óhmetro tipo Ducter.

Descripción.

El micro-óhmímetro 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-óhmímetro 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.

The image shows a digital display for a Microohmmeter in static test mode. The display is divided into several sections:

- Microohmmeter --> static**: Title at the top.
- Nominal test current**: Three radio buttons for 200A, 100A, and 20A. The 200A button is selected.
- Resistance range**: Two radio buttons for 200 $\mu\Omega$ and 1 m Ω . The 1 m Ω button is selected.
- Test mode**: Two radio buttons for Single test and Test on breaker phase. The Single test button is selected.
- Test number**: A numeric input field showing '1'.
- Label**: A text input field showing 'RES 1'.
- Measurements**: A table showing the following values:

I dc	200.0	A
V dc	157	mV
Res.	0.785	m Ω
- SAVE**: A button at the bottom center.
- Refresh icon**: A circular arrow icon at the bottom right.

Figura 62
Display de un micro-óhmímetro.

Normalmente el micro-óhmímetro 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-óhmímetro 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-óhmímetro de un sobrecalentamiento en el rango 10 A cuando se usa en forma continua.

Aplicaciones.

Algunos de los usos más populares y más frecuentes del micro-ohmetro 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-ohmetro marca AEMC, Modelo 6250, siguiente:

Características Eléctricas.

Las especificaciones se dan para una temperatura ambiente de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$, humedad relativa de 45 a 75% y un voltaje de alimentación de $6\text{V} \pm 0.1\text{V}$.

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 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$	Corriente de Medición	Caída de Voltaje
5m Ω	0,1 $\mu\Omega$	0,15% + 1,0 $\mu\Omega$	10 ^a	50mV
25m Ω	1 $\mu\Omega$	0,05% + 3 $\mu\Omega$	10A	250mV
250m Ω	10 $\mu\Omega$	0,05% + 30 $\mu\Omega$	10 ^a	2500mV
2500m Ω	0,1m Ω	0,05% + 0,3m Ω	1 ^a	2500mV

25Ω	1mΩ	0,05% 3mΩ	+	100mA	2500mV
250Ω	10mΩ	0,05% 30mΩ	+	10mA	2500mV
2500Ω	100mΩ	0,05% 300mΩ	+	1mA	2500mV

Tabla con rangos de mediciones.

Medición de Temperatura: 3-alambres RTD de Platino de 100W

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.

2.2 Resistencia de contacto

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 Ohm. 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 62.

Interruptor de tanque vivo tipo 3AP1
Posee las siguientes características:

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



Figura 63
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 $\mu\Omega$ a 200 $\mu\Omega$

- *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 configuración 400ADC, que corresponde al rango de 1 $\mu\Omega$ a 10 m Ω , ya que dentro de este intervalo se encuentra el valor de la resistencia del interruptor utilizado en la práctica.*

Luego procedemos a 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 I_{pru} (corriente de prueba).

Donde:

R_{ango} = rango de salida

I_{pru} = corriente de prueba

R_{min} = valor mínimo de resistencia de devanado, que viene dado por:

$$R_{min} = \frac{0.2 \text{ mV}}{I_{pru}}$$

$R_{m\acute{a}x}$ = valor máximo de resistencia de devanado, que viene dado por:

$$R_{max} = \frac{5 \text{ V}}{I_{pru}}$$

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 VDC 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.

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.

2.3 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 varias veces el punto de incidencia de un rayo luminoso sobre un papel foto sensible, 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.

2.4 Resistencia de aislamiento

En la Figura siguiente 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.

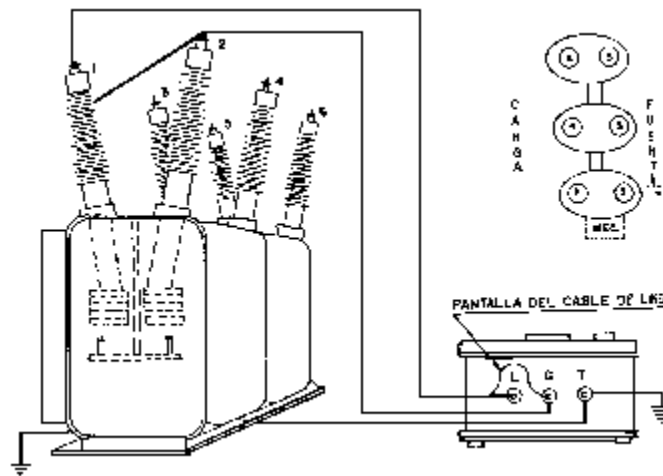


Figura 64
Diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento.

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
---	---------	---	--------	----	----

Prueba de factor de potencia de aislamiento

En la Figura siguiente 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.

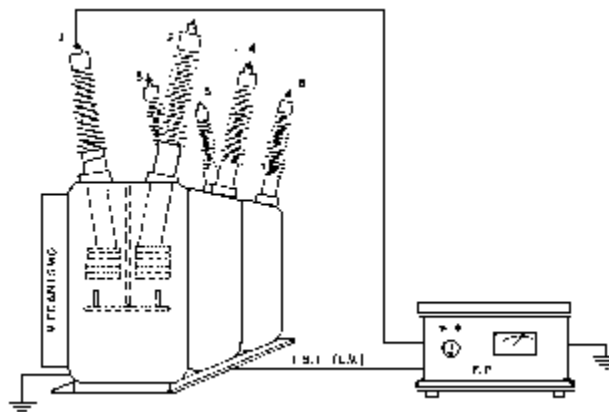


Figura 65
Prueba de factor de potencia de aislamiento.

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

Prueba de resistencia de aislamiento

En la Figura siguiente se muestra el diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento así como también la conexión para realizar la prueba al desconector.

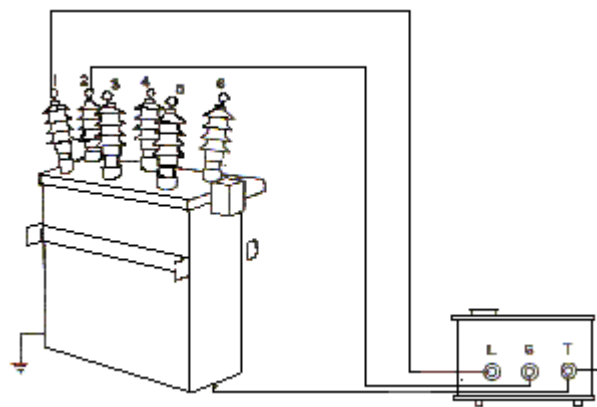


Figura 66
Diagrama de conexión de la prueba de resistencia de aislamiento

Prueba	Conexiones de prueba			Posición Desconectador
	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	-	“	“

2.5 Medición de presión de gas.

Es muy importante en el uso y manejo del gas SF₆ 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 SF₆, 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 del gas 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.

2.6 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 disruptiva*.

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.

2.7 Documentos de registro de apertura y cierre

Para la elaboración de este documento se debe tener presente lo visto en acápite 4.2.3., o sea:

- a) tiempo de apertura.
- b) tiempo de cierre
- c) Uso del instrumento adecuado.

3. Toma de Muestra

3.1 Riesgos químicos asociados a la función

Ya sea que se trate de extracción o reposición de aceite, el equipo debe estar sin energía eléctrica. El procedimiento, sea cual sea que se realice, debe contar con que el operador de la toma de muestras de aceite posea el equipamiento adecuado u cumpla, en primer lugar, las 5 reglas de oro.

En cuanto a los diversos peligros que se expone al manipular aceites nuevos o usados, de origen mineral u otro, debe poseer los elementos de seguridad adecuados.

La inhalación frecuente y prolongada de algunos líquidos (aceites) puede ocasionar daños futuros. Lo mismo es con la piel, la cual debe ser protegida permanentemente contra contactos.

El uso de instrumentación y los procedimientos químicos deben ser seguidos, según se señala en cada caso.

3.2 Procedimiento de toma de muestras de aceites en interruptores de AT

Introducción

El interruptor de poder es un aparato esencialmente formado por contactos que se separan con importante velocidad para pasar rápidamente de condiciones de conducción a aislación, y un mecanismo de comando con energía acumulada para lograr satisfacer las condiciones de movimiento.

El ambiente en el que se separan los contactos permite una clasificación y define una cantidad de tipos de interruptores

- aire natural
- aire con camadas de ion
- aire a de ionización magnética (cámaras cerámicas, o metálicas - caída catódica)
- arco rotativo
- aceite, gran volumen
- interrupciones múltiples (en serie)
- aire comprimido, soplado longitudinal, transversal
- con resistor de apertura
- aceite, pequeño volumen (cámaras múltiples)
- hexafluoruro de dos presiones (neumático)
- hexafluoruro de simple presión, autosoplante
- hexafluoruro de arco rotativo
- vacío, con distintos materiales en los contactos, cámaras múltiples, resistores de maniobra

- hexafluoruro con aprovechamiento de la energía de arco
- seguramente en un futuro próximo, cámara de interrupción de estado sólido
- Los comandos son de distintos tipos, pero todos se caracterizan por disponer de energía acumulada, y deben ser adecuados al tipo de interruptor, ya que entre comando y cámaras de interrupción se debe lograr la solución óptima:
- comando a solenoide (combinado con resortes)
- comando a resortes (helicoidales, y espirales, cargados con motor eléctrico, o a mano)
- comando de aire comprimido, de un efecto (combinado con resortes) o de doble efecto
- comando de aceite a presión, fluodinámico
- comando de gas (hexafluoruro) a presión, y resortes.

Intentar explicar el desarrollo de estas distintas técnicas y sus variantes, y como se encadenaron y evolucionaron es dificultoso y complicado, en forma arbitraria se han seleccionado una serie de Figuras encontradas en revistas que muestran características de distintos tipos de aparatos, y que cubren casi 100 años de desarrollo tecnológico alrededor de estos temas.

Puede ser de interés observar cómo ha variado para los distintos tipos de interruptores la faja de mercado que han cubierto durante cierto periodo del siglo XX.

Se puede resumir el comportamiento de los distintos tipos de interruptores en un único concepto, los contactos se separan, se forma el arco, y este puede ser de baja resistencia o de alta resistencia, y en relación con él, es el comportamiento de la tensión de retorno que aparece inmediatamente.

El desarrollo de los interruptores es esencialmente experimental, el desarrollo teórico o de gabinete es complementario, de los ensayos se extrae información que sirve para juzgar fortalezas y debilidades del proyecto y que orienta hacia nuevas mejoras, pero no se puede encarar un desarrollo sin la disponibilidad de un laboratorio de pruebas que permita simular condiciones eléctricas reales de la interrupción.

Existen variados tipos de interruptores de poder según su sistema de reducir el arco eléctrico, entre ellos, están los que usan el aceite como aislante.

- **gran volumen de aceite**

En un interruptor, con los contactos libres en aceite, al producirse el arco se forma una burbuja de gas, si el arco continua el peligro de explosión es elevado... la cantidad de aceite es grande... para que el arco dentro del aceite no se descontrole, rodeándolo se puso una cámara de interrupción, mejorando también las prestaciones, y permitiendo llegar a tensiones elevadas.

En un modelo de alta tensión las cámaras están separadas por tabiques para evitar el arco entre fases, los contactos son con forma de vástagos que penetran en las cámaras de interrupción para alcanzar el contacto fijo.

Existen otros modelos en el que se tiene la apariencia de tanque de alta presión del contenedor de las cámaras de interrupción.

- **pequeño volumen de aceite**

Con ideas análogas al interruptor anterior, con cámara de interrupción, minimizando la cantidad de aceite interrupción en pequeño volumen de aceite que reduce el peligro en caso de fracaso de la interrupción, y el requerir menos aceite se consideró ventajoso para los países no petroleros.

Al moverse el contacto se establece el arco que se prolonga dentro de la cámara, se generan gases que comprimen el aceite dentro de los nichos de la cámara, y que al pasar la corriente por cero tratan de renovar el aceite entre contactos, lográndose así la interrupción.

En media tensión se presentan soluciones simples, interruptor en pequeño volumen de aceite obsérvese el camino de al corriente, borne superior, contacto fijo con dedos de contacto (uno más largo de arco), contacto móvil, y borne en el centro del polo, el cuerpo del polo es de material aislante, en la parte inferior la caja de manivelas (a masa), donde por bielas aislantes (en aceite) se transmite el movimiento al contacto móvil.

Soluciones para interior y exterior, el cuerpo del modelo para interior debe ser de material suficientemente resistente (papel bakelizado, fibra de vidrio y araldite), para exterior el cuerpo debe resistir las inclemencias climáticas (porcelana en el pasado, hoy puede haber otros materiales) y para cumplir la función mecánica de relacionar caja, y bornes intermedio, y superior, se observa que la porcelana simplemente recubre al interruptor para interior.

Otro modelo de interruptor de mínimo volumen tiene borne superior y el borne inferior es también la caja de transmisión del movimiento, ambos extremos en tensión, por lo que requiere aisladores de soporte, y una barra de transmisión aislada entre el comando y el polo, como muestra la vista del interruptor completo.

El detalle de la cámara de interrupción, muestra el flujo de aceite por el hueco interior del contacto móvil, para la interrupción de pequeñas corrientes, y la generación de la burbuja de gas que impulsa el aceite para la interrupción de elevadas corrientes.

Entre los análisis más frecuentes podemos nombrar los físico-químicos, cromatografías de gases disueltos, contenido de PCBs, análisis de productos de degradación del papel por cromatografía líquida de alta presión, entre otros. Los análisis se realizan según las normas correspondientes y todos los equipos funcionan bajo Normas Nacionales o Internacionales aplicables y se calibran con patrones adecuados a cada tipo de ensayo.

Detalle de los análisis que se realizan:

Los análisis se realizan siguiendo los lineamientos generales de las normas detalladas en cada caso. Se deben informar los diagnósticos y las recomendaciones de las acciones a tomar respecto al estado del aceite y del funcionamiento del interruptor, en base a los estudios solicitados.

Para determinar el estado de funcionamiento del transformador y/o Interruptor de poder, se realizan las siguientes pruebas y análisis:

Análisis de gases disueltos por Cromatografía Gaseosa, método ASTM D 3612, informándose el contenido en ppm de los gases Metano, Etileno, Etano, Acetileno, Hidrógeno, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Oxígeno y Nitrógeno, Contenido Total de Gases, Contenido de Gases Combustibles y Presión Parcial de Gases Disueltos, Diagnóstico de Funcionamiento y recomendaciones.

Análisis de productos de degradación del papel por Cromatografía Líquida de Alta Presión, método ASTM D 5837. Se informará el contenido de 2-FAL en ppm (Límite de Detección: 0,02 (µL/L), el grado de polimerización de la aislación sólida aproximado (DP) y su evaluación, según CIGRE 15-302/2002.

Contenido de Metales, método ASTM D 6595. Determinación por Espectrometría EEA del contenido de aluminio (Al), hierro (Fe) y cobre (Cu).

Para determinar el estado del aceite aislante:

Contenido de PCBs (mg/Kg) método por cromatografía gaseosa con detector de captura electrónica ECD, según lo solicitado por la norma ASTM D 4059 “Análisis de Bifenilos Policlorados PCB en líquidos aislantes”. Detección mínima 0,2 ppm (mg/Kg). Límite de cuantificación 1 ppm (mg/Kg). Se informará el contenido de PCBs en mg/Kg (ppm) y la clasificación según la Ley Nacional N° 25670/02 de cada muestra.

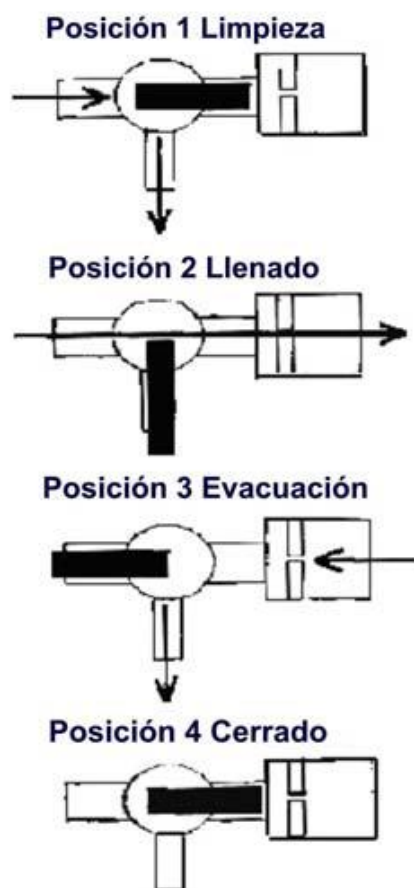


Figura 66
Toma de muestras de aceite con jeringa.

Contenido de PCBs (mg/Kg) en aceite aislante, de acuerdo a las disposiciones del OPDS (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible - ex Subsecretaría de Política Ambiental de la provincia de Bs. As.) Se incluye el Certificado de Cadena de Custodia y el Protocolo de Informe. Número de registro de Laboratorio: N°32.

Contenido de Humedad (mg/Kg) método K. Fischer, coulombimétrico ASTM D 1533 (B) y Contenido de humedad en sólidos (%) Sólo para transformadores conteniendo celulosa como aislante sólido. Se deberá proveer información sobre la temperatura del transformador al momento del muestreo.

Número de Neutralización - Acidez (mgKOH/gr de aceite) método ASTM D 664.

Tensión Interfasial (mN/m) método Du Nouy con anillo de 6 mm ASTM D 971.

Tangente Delta a 90°C ($\times 10^{-3}$) método IRAM 2340 / ASTM D 924.

Rigidez Dieléctrica (KV promedio) método IRAM 2341, Electrodo VDE a 2,5 mm.

Contenido de Inhibidor DBPC (g/l) por cromatografía gaseosa ASTM D 4768.

Contenido de Compuestos Polares método ASTM D 1902.

Contenidos de Lodos Precipitables (%) IRAM 2400:2003 anexo A.

Resistividad Volumétrica a 90°C (109 W.m) método ASTM D1169.

Color y Aspecto visual método ASTM D 1524.

Viscosidad método ASTM D 445.

Densidad método ASTM D 1298.

Azufre Corrosivo método ASTM D 1275 B (calentamiento a 150 °C por 48 hs.).

Punto de Inflamación IRAM 6555 (Norma Argentina).

Gases Totales método ASTM D 2945.

Código ISO – Recuento de Partículas método ISO 4406.

Fotopartículas (identificación) ISO 4407.

Otros análisis complementarios:

Contenido de PCBs en muestras sólidas, suelos o hisopados (mg/Kg) método por cromatografía gaseosa con detector de captura electrónica (ECD), según norma ASTM D 4059. Detección mínima 0,1 mg/Kg. Estabilidad a la Oxidación método IEC 61125.
Punto de Esgurrimento método ASTM D 97.

Cenizas método ASTM D 874.

Residuo Carbonoso método ASTM D 189.

Contenido de SF6: IEC 376.

Resistencia a la Tracción del Papel: Norma IRAM – ATIPCA P3120-86.

Determinación de Silicona por análisis del espectro infrarrojo.

Humedad en Muestras de Papel método Karl Fischer, coulombimétrico.

Grado de Polimerización, en muestras de papel, por método viscosímetro: Norma ASTM D 4243.

Determinación de la Retención y Penetración en Tarugos de postes de eucaliptos tratados con sales CCA. Según los requerimientos de la Norma IRAM 9513-01. Por métodos IRAM 9508-82, IRAM 9526-92 (Método espectrométrico de absorción atómica).

Provisión de Envases para Muestras:

Kits compuesto por: 2 jeringas de vidrio, de 20 ml c/u con aguja, tapón y envase protector de PVC y polietileno con burbujas, 1 frasco de vidrio color caramelo de 1 litro, preacondicionado para su uso inmediato y 1 frasco pequeño de vidrio para determinación de PCB.

3.3 Análisis de informes.

- Procedimiento para la toma de muestras de aceite del equipo.
- Normas para el muestreo.

El método empleado para la toma de muestras y su transporte hasta el laboratorio tienen fundamentalmente importancia para asegurar la representatividad de los resultados del análisis. En si no es difícil pero hay que cuidarse de que se cumplan dos o tres detalles básicos; la persona que efectuó el muestreo puede ser cualquier operario cuidándose que haya sido previamente capacitado en las operaciones de dicha técnica o, en su defecto debe dejarse en manos del personal del laboratorio de análisis.

Es de fundamental importancia que el aceite de la muestra no entre en contacto en ningún momento con el aire de la atmósfera para que no pierda su contenido de gases. Para ello se aplica una técnica especial.

La muestra se toma en jeringas de vidrio (con pico de vidrio) de 50 ml, las cuales deben ser llenadas completamente y sin que queden burbujas. El movimiento del embolo compensara cualquier variación del volumen del aceite al variar su temperatura e impedirá que, al enfriarse, se forme una burbuja, tal como ocurriría si estuviera en un recipiente de volumen constante. La muestra nunca debe ser tomada en botellas.

A la jeringa se le coloca una aguja de 10 décimas de mm de espesor (por ejemplo las denominadas comerciales 30/10 o 25/10, donde el primer número se refiere al largo y el segundo numero al espesor, es importante el segundo) se tapa, para evitar el derrame del contenido, clavando en la punta un tapón de corcho o, mejor aún, de goma o caucho resistente al aceite.

Conviene verificar la calidad de la jeringa observando si el ajuste de la aguja en el pico es bueno y que el ajuste del émbolo sea adecuado, que no quede flojo ni demasiado ajustado. Se puede probar si el cierre es hermético colocando la aguja y el tapón y tirando hacia fuera el émbolo.

La muestra se toma del grifo ubicado en la parte inferior de la cuba, al cual se lo coloca un tapón de goma atravesado por un tubo de PVC de unos 50 cm de largo y aproximadamente 1cm de espesor. Conviene tener un surtido de tapones de goma de distinto diámetro para los distintos tamaños de grifos que se puedan presentar.

Se abre la válvula, se purga dejando salir varios litros teniendo especial cuidado en eliminar todo tipo de burbujas (lo cual se puede observar gracias a la transparencia del caño plástico), y se toma una cantidad de aceite introduciendo el pico de la jeringa (sin la aguja puesta) en el extremo del tubo. Luego, sosteniendo la jeringa en posición vertical con el pico hacia arriba, se empuja el émbolo hasta el final para expulsar todo el aceite junto con todas las burbujas que pudiera haber. Inmediatamente se coloca nuevamente el pico de la jeringa en el extremo del tubo plástico y se toma la muestra (a veces, la presión del aceite empuja al émbolo y otras hay que tirar suavemente hacia fuera). Esto hay que hacerlo con mucho cuidado, evitando que se introduzca aire en la jeringa. Vaciar la jeringa y REPETIR LA TOMA DE MUESTRA SI ENTRAR AIRE.

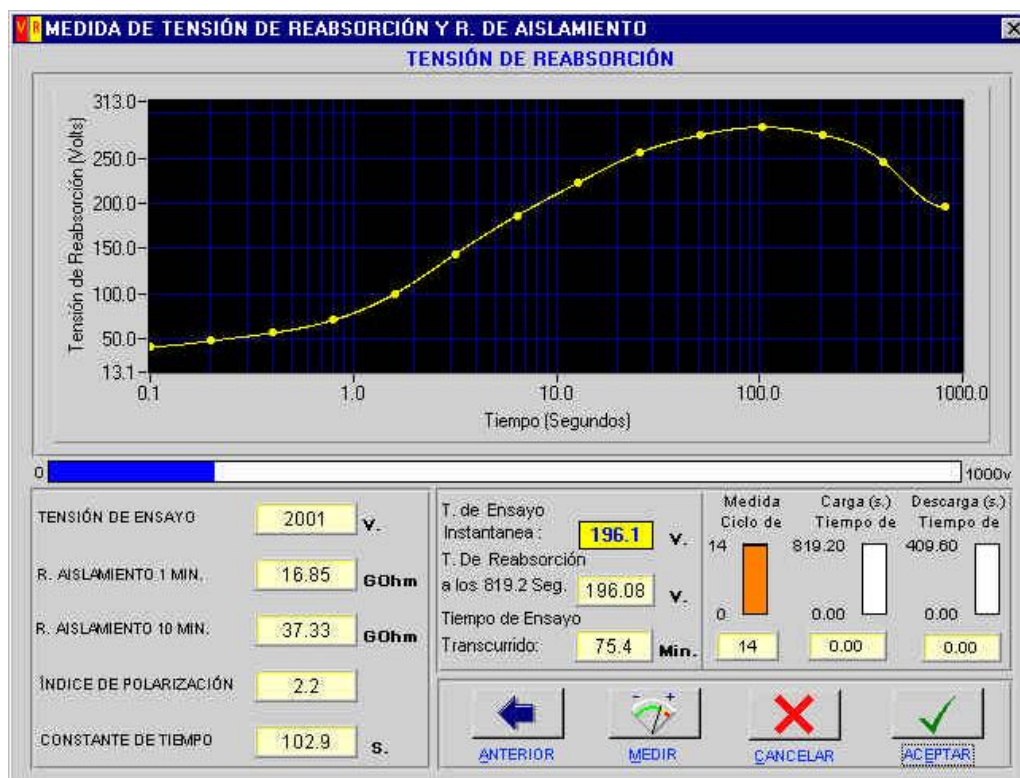


Figura 67
Prueba del aceite aislante.

Se carga hasta la marca de 50 ml y, manteniendo el pico hacia abajo para que no entre aire, se coloca la aguja, se la ajusta bien y se tapa con el tapón de goma. Se debe sacar la muestra por duplicado, es decir, dos jeringas de 50 ml.

Se identifica la muestra pegando una tela adhesiva blanca en un extremo (ver dibujo) y escribiendo sobre ella la denominación del equipo. No hace falta agregar nada más ni para que se sostenga el émbolo ni la aguja (si esta última se cae, se ajusta bien, ello se debe a la mala calidad de la aguja o de la jeringa).

El transporte se hace de forma horizontal, sosteniendo por la parte media y dejando libres y sin que sufran golpes los extremos (a veces, en esta posición se introducen burbujas de aire si la jeringa es de mala calidad y el émbolo no ajusta adecuadamente). O bien en forma vertical sosteniendo también por la parte media, sin apoyar sobre la aguja, siempre que se tenga la seguridad de que esta no se va desprender.

Normas para la identificación:

Junto con las muestras se debe remitir al laboratorio una ficha con los datos identificatorios de cada equipo que haya sido muestreado. La ficha debe detallar los siguientes:

Empresa:

Ubicación: (subestación X, planta ubicada en...., etc.)

Denominación:

Nº de serie:

Marca:

Potencia:

Fecha de puesta en servicio:

Aceite (marca): Cantidad:

Temperatura del aceite:

Si se da el caso de que ha presentado problemas añadir una breve documentación.

Los datos identificatorios deben ser remitidos junto con la primera muestra tomada del equipo.

Medición de rigidez del aceite de un interruptor de poder.

Objetivo principal

Verificar si la rigidez del aceite se encuentra entre los rangos establecidos por el fabricante y por norma ASTM D 1816/97.

Descripción del equipo de medida:

Este será un probador de aislamiento del aceite modelo DPA 75, marca BAUR.

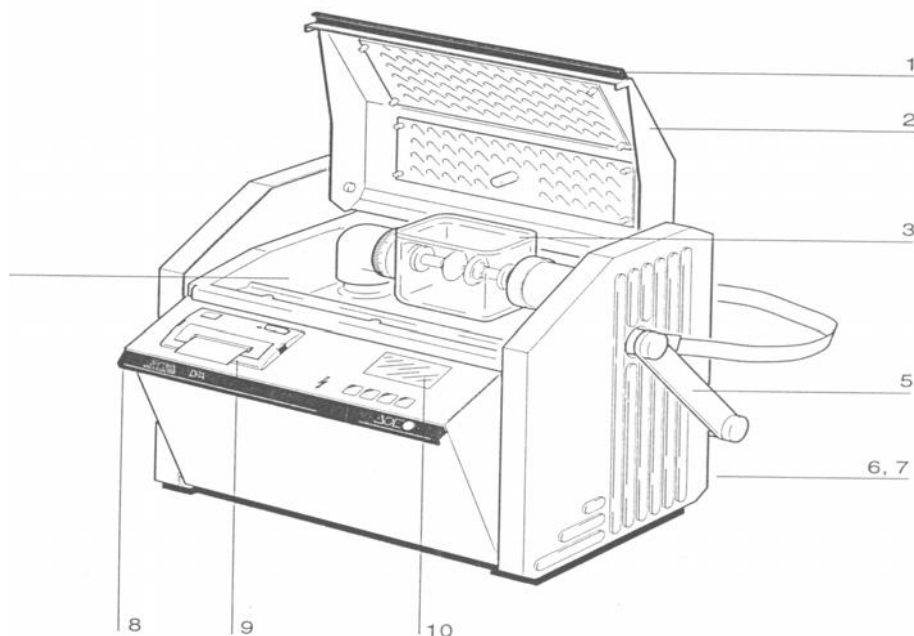


Figura 68

Equipo utilizado para la prueba de rigidez dieléctrica del aceite (Chispómetro).

1. Agarradera de apertura y cierre de la cubierta protectora.
2. Cubierta protectora con seguro propio para la más alta seguridad operacional.
3. Vaso de prueba con electrodos, disponible para todos los estándares de corrientes. El vaso de prueba se retira rápidamente para facilitar la limpieza,
4. Caldero, adecuado para limpiar con éter de petróleo.
5. Manija
6. Batería recargable, para operaciones independientes
7. Interface bidireccional RS232, para comunicación con el PC.
8. Unidad de encendido / apagado automática.
9. Impresora.
10. Panel de control.

Especificaciones técnicas del equipo.

Suministro de potencia	100 – 240 V (50 / 60 Hz)
Consumo de potencia	aprox. 120 VA
Salida de voltaje, prueba de rigidez dieléctrica.	0 – 75 kVrms simétricos para líquidos aisladores, con un valor de tangente $\delta < 4.5$ o resistencia específica $\rho > 30 \text{ M}\Omega\text{m}$.

Escala de voltaje	0.5 / 1 / 2 / 3 / 5 kV /s
Corriente de desconexión	4 mA
Tiempo de desconexión en interrupción	≤ 1 ms
Adquisición de temperatura interna de la muestra de aceite	0-99°C / +32 F - +120 F
Resolución de temperatura	1°C / 1.8 F
Temperatura de operación	0°C - 45°C / +32 F - +113 F
Temperatura de almacenamiento	20°C - 55°C / -4 F - +131 F
Humedad relativa	+ 90 %
Diseñado y construido con las siguientes normas	IEC 1010 EN 61010-1 VDE 0411 parte 100.

Especificaciones técnicas medidor de rigidez dieléctrica del aceite.

Factores de seguridad.

Los factores de seguridad que se deben tener en cuenta para la realización de la prueba, son:

Personal que realiza la prueba:

- Estar seguro del trabajo a realizar, si existe alguna duda, preguntar.
- Asegurarse de llevar al sitio de trabajo el equipo y material necesario.
- Todo el personal debe tener la dotación necesaria para trabajar con elementos eléctricos:

- ✓ Botas dieléctricas
- ✓ Dotación completa (overol)
- ✓ Cinturones
- ✓ Guantes
- ✓ Casco

- Todo el personal debe respetar el área de demarcación y no salir de ella.
- Todo el personal debe conocer los riesgos que se deben tener al trabajar con los equipos de alta tensión y que deben respetar dichas normas.

- Se debe tener un medio de transporte habilitado para que en el momento de una emergencia se pueda salir rápidamente.
- Los automotores deben estar en posición de salida y parqueados en reversa.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Camilla.
- Utilización de herramientas aisladas en el momento de trabajar con tensiones.
- En el momento de utilizar las escaleras se debe tener mucho cuidado en entrarlas al patio y para trabajar con ellas deben quedar amarradas.
- Chequeo trimestral de la seguridad de los elementos de seguridad.

3.4 Uso de Microsoft Excel avanzado.

Tablas de datos

Una tabla en Excel es un conjunto de datos organizados en filas o registros, en la que la primera fila contiene las cabeceras de las columnas (los nombres de los campos), y las demás filas contienen los datos almacenados. Es como una tabla de base de datos, de hecho también se denominan listas de base de datos. Cada fila es un registro de entrada, por tanto podremos componer como máximo una lista con 255 campos y 65.535 registros.

Las tablas son muy útiles porque además de almacenar información, incluyen una serie de operaciones que permiten analizar y administrar esos datos de forma muy cómoda.

Entre las operaciones más interesantes que podemos realizar con las listas tenemos:

- Ordenar los registros.
- Filtrar el contenido de la tabla por algún criterio.
- Utilizar fórmulas para la lista añadiendo algún tipo de filtrado.
- Crear un resumen de los datos.
- Aplicar formatos a todos los datos.

Las tablas de datos ya se usaban en versiones anteriores de Excel, pero bajo el término Listas de datos. Incluso algunos cuadros de diálogo se refieren a las tablas como listas.

Crear una tabla

Para crear una lista tenemos que seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar el rango de celdas (con datos o vacías) que queremos incluir en la lista.
- Seleccionar Tabla en la pestaña Insertar.

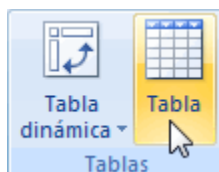


Figura 69

Aparecerá a continuación el cuadro de diálogo Crear tabla.

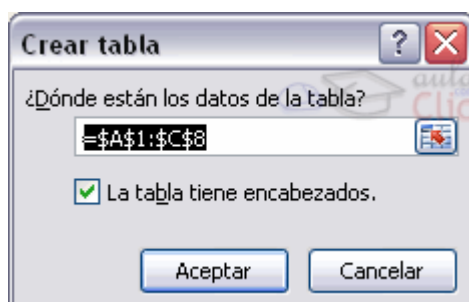


Figura 70

Al cerrarse el cuadro de diálogo, podemos ver que en la banda de opciones aparece la pestaña Diseño, correspondiente a las Herramientas de tabla:

	A	B	C
1	CODIGO	NOMBRE	DIRECCION
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Figura 71

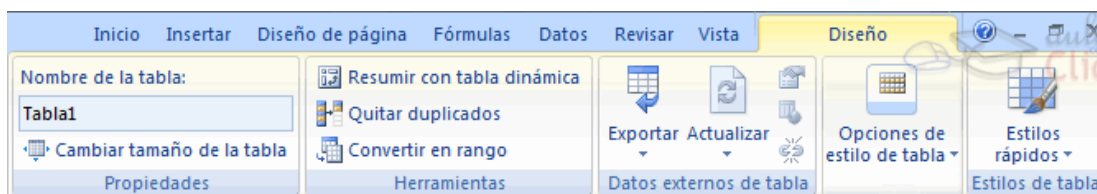


Figura 72

Modificar los datos de una tabla

Para modificar o introducir nuevos datos en la tabla podemos escribir directamente los nuevos valores sobre la ella, o bien podemos utilizar un formulario de datos. Esta segunda opción viene muy bien, sobre todo si la lista es muy grande.

Veamos un ejemplo, tenemos la siguiente lista con información de varias personas.

Un formulario de datos es un cuadro de diálogo que permite al usuario escribir o mostrar con facilidad una fila entera de datos (un registro).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Nombre	1 ^{er} Apellido	2º Apellido	Calle	Num	Puerta	CP	Teléfono	F. Nacimiento
2									
3									

Figura 73

Para abrir el formulario de datos, tenemos que posicionarnos en la lista para que esté activa, y pulsaren el icono Formulario.

Figura 74

Como esta opción no está directamente disponible en la Cinta de opciones, podemos añadirla a la Barra de acceso rápido, pulsando el botón Office > Opciones de Excel > Personalizar, y Agregar el ícono Formulario en la sección de Comandos que no están en la Cinta de opciones.

Al crear el formulario, disponemos de siguientes botones:

- Nuevo: Sirve para introducir un nuevo registro.
- Eliminar: Eliminar el registro que está activo.
- Restaurar: Deshace los cambios efectuados.
- Buscar anterior: Se desplaza al registro anterior.
- Buscar siguiente: Se desplaza al siguiente registro.
- Criterios: Sirve para aplicar un filtro de búsqueda.
- Cerrar: Cierra el formulario.

Para cambiar los datos de un registro, primero nos posicionamos sobre el registro, luego rectificamos los datos que queramos (para desplazarnos por los campos podemos utilizar las teclas de tabulación), si nos hemos equivocado y no queremos guardar los cambios hacemos clic en el botón Restaurar, si queremos guardar los cambios pulsamos la tecla Intro.

Para crear un nuevo registro, hacemos clic en el botón Nuevo, Excel se posicionará en un registro vacío, sólo nos quedará rellenarlo y pulsar Intro o Restaurar para aceptar o cancelar respectivamente.

Después de aceptar Excel se posiciona en un nuevo registro en blanco por si queremos insertar varios registros, una vez agregados los registros, hacer clic en Cerrar.

Para buscar un registro y posicionarnos en él podemos utilizar los botones Buscar anterior y Buscar siguiente o ir directamente a un registro concreto introduciendo un criterio de búsqueda. Pulsamos en el botón Criterios con lo cual pasamos al formulario para introducir el criterio de búsqueda, es similar al formulario de datos pero encima de la columna de botones aparece la palabra Criterios.

Modificar la estructura de la tabla

Pulsando en el ícono Cambiar tamaño de la tabla, podemos seleccionar un nuevo rango de datos. Pero si la tabla contiene encabezados, estos deben permanecer en la misma posición, así que sólo podremos aumentar y disminuir filas.

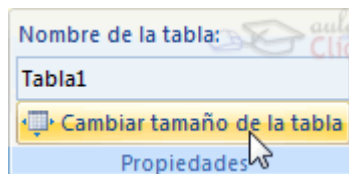



Figura 75

Podemos modificar directamente el rango de filas y columnas, estirando o encogiéndola la tabla desde su esquina inferior derecha .

Cuando necesitemos añadir una fila al final de la tabla para continuar introduciendo datos, sólo tendremos que pulsar la tecla TAB desde la última celda y aparecerá una fila nueva.

Si necesitamos insertar filas y columnas entre las filas existentes de la tabla, nos posicionaremos en la primera celda que queremos desplazar y elegiremos la opción correspondiente desde el menú Insertar, en la pestaña de Inicio o en el menú contextual de la tabla.

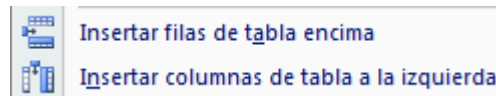


Figura 76

Para eliminar filas o columnas, deberemos posicionarnos sobre una celda, y elegiremos Filas o Columnas de la tabla en el menú Eliminar, disponible en la pestaña de Inicio y en el menú contextual de la tabla.

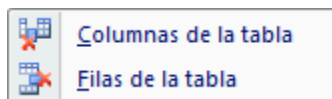



Figura 77

Seleccionando una celda, fila o columna, y pulsando la tecla SUPR, eliminamos los datos seleccionados, pero no la estructura de la tabla.

Para eliminar la tabla completa, seleccionamos toda la tabla y pulsamos SUPR. Si deseamos eliminar la estructura de la tabla, pero conservar los datos en la hoja, entonces pulsamos  Convertir en rango en la pestaña de Diseño de la tabla.

Estilo de la tabla

Una forma fácil de dar una combinación de colores a la tabla que resulte elegante, es escogiendo uno de los estilos predefinidos, disponibles en la pestaña Diseño de la tabla.

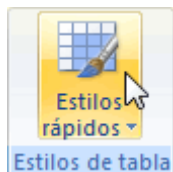


Figura 78

En Opciones de estilo de la tabla, podemos marcar o desmarcar otros aspectos, como que las columnas o filas aparezcan remarcadas con bandas, o se muestre un resaltado especial en la primera o última columna.

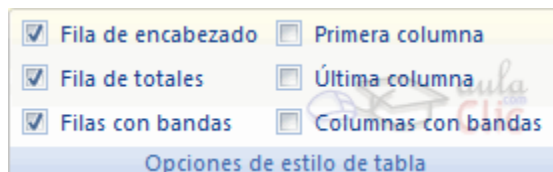


Figura 79

Las bandas y resaltados dependerán del estilo de la tabla.

Por lo demás, a cada celda se le podrán aplicar los colores de fuente y fondo, fondo condicional, etc.; que a cualquier celda de la hoja de cálculo.



Vendedor	Enero	Febrero	Marzo	Trimestre
A. Álvarez	800	900	900	2600
B.Viana	1100	850	950	2900
J. Ayuso	700	1000	800	2500
P. Trujillo	1000	900	850	2750

Figura 80

En esta tabla, se ha cambiado el estilo, y se han marcado las opciones Primera y Última columna.

Ordenar una tabla de datos

A la hora de ordenar una tabla, Excel puede hacerlo de forma simple, es decir, ordenar por un único campo u ordenar la lista por diferentes campos a la vez.

Para hacer una ordenación simple, por ejemplo ordenar la lista anterior por el primer apellido, debemos posicionarnos en la columna del primer apellido, después podemos acceder a la pestaña Datos y pulsar sobre Ordenar... y escoger el criterio de ordenación o bien pulsar sobre uno de los botones   de la sección Ordenar y filtrar para que la ordenación sea ascendente o descendente respectivamente.

Estos botones también están disponibles al desplegar la lista que aparece pulsando la pestaña junto al encabezado de la columna.

Para ordenar la lista por más de un criterio de ordenación, por ejemplo ordenar la lista por el primer apellido más la fecha de nacimiento, en la pestaña Datos, pulsamos sobre Ordenar. nos aparece el cuadro de diálogo Ordenar donde podemos seleccionar los campos por los que queremos ordenar (pulsando Agregar Nivel para añadir un campo), si ordenamos según el valor de la celda, o por su color o ícono (en Ordenar Según), y el Criterio de ordenación, donde elegimos si el orden es alfabético (A a Z o Z a A) o sigue el orden de una Lista personalizada. Por ejemplo, si en la columna de la tabla se guardan los nombres de días de la semana o meses, la ordenación alfabética no sería correcta, y podemos escoger una lista donde se guarden los valores posibles, ordenados de la forma que creamos conveniente, y así el criterio de ordenación seguirá el mismo patrón.

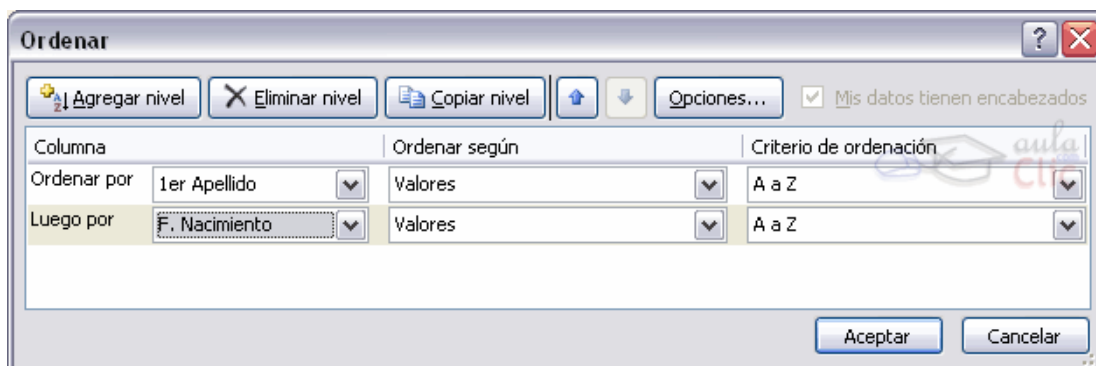


Figura 81

Seleccionando un nivel, y pulsando las flechas hacia arriba o hacia abajo, aumentamos o disminuimos la prioridad de ordenación de este nivel. Los datos se ordenarán, primero, por el primer nivel de la lista, y sucesivamente por los demás niveles en orden descendente.

En la parte superior derecha tenemos un botón Opciones..., este botón sirve para abrir el cuadro Opciones de ordenación dónde podremos especificar más opciones en el criterio de la ordenación.

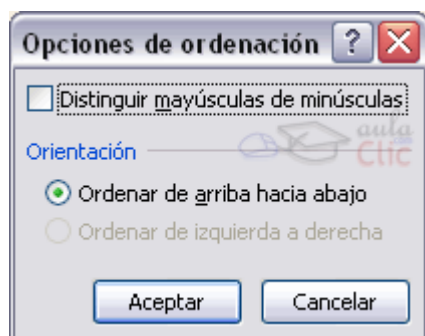


Figura 82

Filtrar una tabla

Filtrar el contenido de la tabla.

Filtrar una lista no es ni más ni menos que de todos los registros almacenados en la tabla, seleccionar aquellos que se correspondan con algún criterio fijado por nosotros. Excel nos ofrece dos formas de filtrar una lista.

- Utilizando el Filtro (autofiltro).
- Utilizando filtros avanzados.

Utilizar el Filtro.

Para utilizar el Filtro nos servimos de las listas desplegables asociadas a las cabeceras de campos (podemos mostrar u ocultar el autofiltro en la pestaña Datos marcando o desmarcando el botón Filtro).

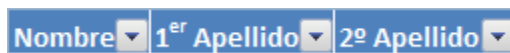


Figura 83

Si pulsamos, por ejemplo, sobre la flecha del campo 1er Apellido, nos aparece un menú desplegable como este, donde nos ofrece una serie de opciones para realizar el filtro.

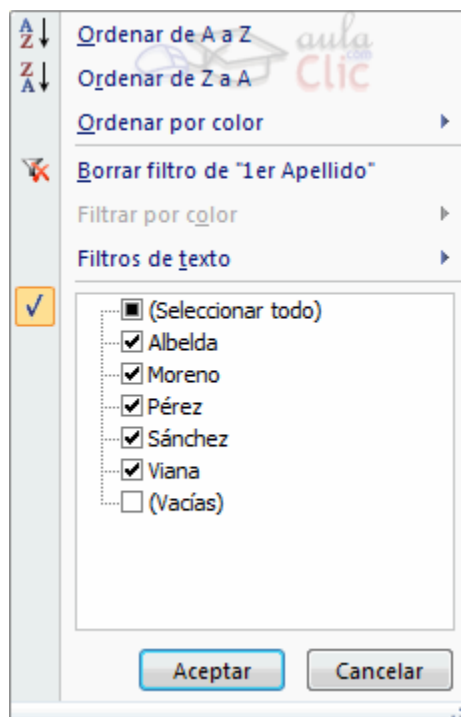


Figura 84

Por ejemplo, si sólo marcamos Moreno, Excel filtrará todos los registros que tengan Moreno en el 1er apellido y las demás filas “desaparecerán” de la lista.

Otra opción, es usar los Filtros de texto, donde se despliegan una serie de opciones:

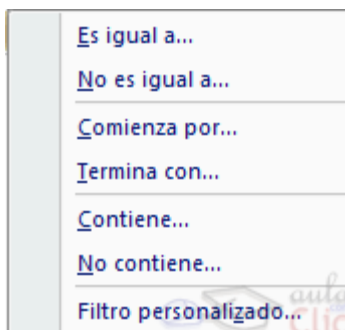


Figura 85

En cualquier opción, accedemos a una ventana donde podemos elegir dos condiciones de filtro de texto, y exigir que se cumpla una condición o las dos. Excel evaluará la condición elegida con el texto que escribamos, y si se cumple, mostrará la fila. Usaremos el carácter “?” para determinar que en esa posición habrá un carácter, sea cual sea, y el asterisco “*” para indicar que puede haber o no un grupo de caracteres.

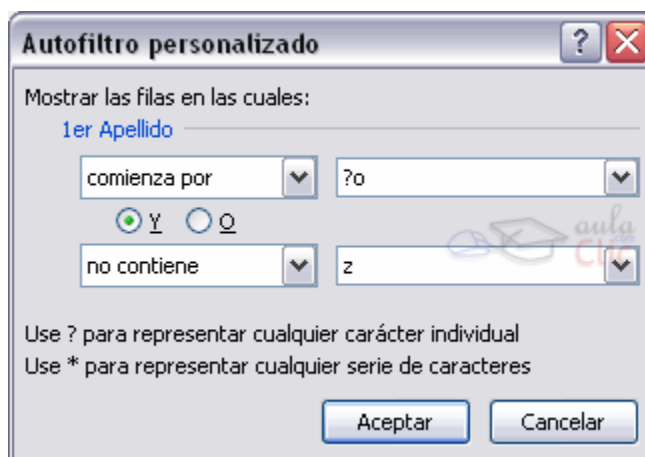



Figura 86

En el ejemplo de la imagen, sólo se mostrarán los registros cuyo 1er Apellido tenga una o en el segundo carácter y no contenga la letra Z.

Para indicarnos que hay un filtro activo, la flecha de la lista desplegable cambia de ícono.

Para quitar el filtro, volvemos a desplegar la lista y elegimos la opción (Seleccionar Todo), reaparecerán todos los registros de la lista. También podemos quitar el filtro pulsando en **Borrar filtro**  **Borrar** en la pestaña Datos.

Utilizar Filtros avanzados.

Si queremos filtrar los registros de la lista por una condición más compleja, utilizaremos el cuadro de diálogo **Filtro avanzado**. Previamente deberemos tener en la hoja de cálculo, unas filas donde indicaremos los criterios del filtrado.

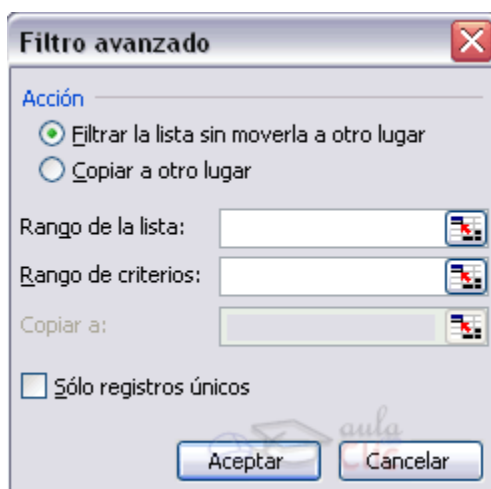



Figura 87

Para abrir el cuadro de diálogo Filtro avanzado, pulsaremos en  Avanzadas, en la sección Ordenar y filtrar.

Rango de la lista: Aquí especificamos los registros de la lista a los que queremos aplicar el filtro.

Rango de criterios: Aquí seleccionamos la fila donde se encuentran los criterios de filtrado (la zona de criterios).

También podemos optar por guardar el resultado del filtrado en otro lugar, seleccionando la opción Copiar a otro lugar, en este caso rellenaremos el campo Copiar a: con el rango de celdas que recibirán el resultado del filtrado.

Si marcamos la casilla Sólo registros únicos, las repeticiones de registros (filas con exactamente los mismos valores) desaparecerán.

Para volver a visualizar todos los registros de la lista, acceder al menú Datos > Filtro > Mostrar todo.

En el tema de funciones omitimos el apartado de funciones dedicadas a bases de datos, pero ahora vamos a explicar cada una de esas funciones ya que se aplican a tablas de datos.

Funciones de base de datos

Estas funciones se utilizan cuando queremos realizar cálculos sobre alguna columna pero añadiendo una condición de selección de las filas que entrarán en el cálculo, es decir aplicando previamente un filtro.

Por ejemplo si tenemos una columna con el beneficio obtenido por nuestros automóviles (ver tabla) y queremos saber cuánto ha sido el beneficio de los Ford, no podemos utilizar la función suma porque sumaría todos los automóviles, en este caso lo podríamos conseguir con la función de base de datos BDSUMA incluye la condición de filtrado automóvil="Ford".

Para explicar las funciones de Base de datos que nos ofrece Excel, utilizaremos la hoja:

	A	B	C	D	E	F
1	Automovil	Plazas	Años	Rentabilidad	Beneficio	Plazas
2	Ford	>2				<9
3	Peugeot					
4				9		
5	Automovil	Plazas	Años	Rentabilidad	Beneficio	
6	Ford	5	3	9	106	
7	Peugeot	2	5	11	112	
8	Audi	5	4	4	95	
9	Fiat	7	3	6	97	
10	Renault	2	2	8	101	
11	Ford	7	5	10	105	
12	Fiat	5	6	12	112	
13	Peugeot	5	8	15	123	
14	Ford	9	5	12	120	

Figura 88

En esta hoja tenemos una lista con los automóviles de la empresa, con los datos de plazas, años, rentabilidad y beneficio obtenido.

Nota: Las filas 1 a 4 se utilizan para definir los filtros.

Estas son todas las funciones de base de datos ofrecidas por Excel. Todas ellas llevan tres argumentos: el rango de datos que define la tabla o base de datos, el nombre del campo que se utiliza en la función y un rango de criterios para indicar la condición que deben cumplir las filas que serán utilizadas en el cálculo de la función (el filtro).

Función BDCONTAR (rango_datos; nombre_campo; rango_criterios).

Cuenta las celdas que contienen un número en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista donde se quiere contar.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene los valores a contar.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el recuento.

Ejemplo: BDCONTAR (A5:F14;"Años"; A2:F2) Como **resultado** obtenemos -->2

¿Cómo se forman las condiciones?

Para formar las condiciones que vayamos a utilizar en el parámetro rango criterios, debemos reservar una zona en nuestra hoja de cálculo para dichas condiciones (preferiblemente antes de la base de datos).

En esta zona tendremos que escribir en una fila los nombres de los campos de la hoja de cálculo para realizar una operación en toda una columna de la base de datos, introduzca una línea en blanco debajo de los nombres de campo en el rango de criterios
Función BDCONTARA (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Cuenta las celdas que contienen un valor (que no sea blanco) en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que se utiliza en la función.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDCONTAR(A5:F14;"Años";A2:F2) Como **resultado** obtenemos -->2

En nuestro caso esta función tendría el mismo resultado que la anterior, pues en la columna años todos los registros tienen completos sus datos.

Función BDMAX (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Devuelve el valor máximo encontrado en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene los valores a utilizar en el cálculo.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDMAX (A5:F14;"Beneficio";A1:A3) Como **resultado** obtenemos -->123

Función BDMIN (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Devuelve el valor mínimo encontrado en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene los valores a utilizar en el cálculo.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDMIN(A5:F14;"Beneficio";A1:A3) Como **resultado** obtenemos -->105

Función BDPRODUCTO (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Devuelve el producto de los valores encontrados en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene los valores a utilizar en el cálculo.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: **BDPRODUCTO (A5:F14;"Rentabilidad";A1:A3)** Como **resultado** obtenemos -->**178200**

Función **BDPROMEDIO** (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Obtiene el promedio de los valores encontrados en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición de una columna o lista que cumplen los criterios establecidos.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que se utiliza en la función.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: **BDPROMEDIO (A5:F14;"Beneficio";A1:A2)** Como **resultado** obtenemos -->**110,33**

Función **BDSUMA** (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Obtiene la suma de los valores encontrados en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que se utiliza en la función.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: **BDSUMA(A5:F14;"Beneficio";A1:A3)** Como **resultado** obtenemos -->**566**

Función **BDEXTRAER**(rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Extrae de la base de datos un único valor contenido el campo indicado y en la fila que cumpla la condición establecida mediante el rango de criterios.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene el valor a extraer.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que debe cumplir el registro buscado.

Si ningún registro coincide con los criterios, BDEXTRAER devuelve el valor de error #¡VALOR!.

Si más de un registro coincide con los criterios, BDEXTRAER devuelve el valor de error #¡NUM!.

Ejemplo: BDEXTRAER (A5:F14;"Automóvil";D1:D4) Como **resultado** obtenemos -->**Ford** , el valor del campo Automóvil en la fila que cumpla la condición incluida en el rango **D1:D4**(rentabilidad=9).

Nota: este ejemplo funciona porque hay un sólo registro que cumple la condición, hay un solo automóvil con rentabilidad 9.

Función BDVAR (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Calcula la varianza basándose en una muestra de los valores contenidos en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que se utiliza en la función.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDVAR (A5:F14;"Beneficio";A1:A2) Como **resultado** obtenemos -->**70,33**

Función BDVARP (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Calcula la varianza basándose en todos los valores contenidos en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que se utiliza en la función.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDVARP (A5:F14;"Beneficio";A1:A2) Como **resultado** obtenemos -->**46,88**

Función BDESVEST (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Calcula la desviación estándar basándose en una muestra de los valores contenidos en una determinada columna (campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene los valores a utilizar en el cálculo.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDESVEST (A5:F14;"Beneficio";A1:A3) Como **resultado** obtenemos -->8,10

Función BDESVESTP (rango_datos;nombre_campo;rango_criterios).

Calcula la desviación estándar basándose en todos los valores contenidos en una determinada columna(campo), considerando únicamente las filas que cumplan una determinada condición.

rango_datos: es el rango de celdas que componen la base de datos o lista.

nombre_campo: indica el nombre del campo que contiene los valores a utilizar en el cálculo.

rango_criterios: es el rango de celdas que contienen la condición que deben cumplir los registros que entran en el cálculo.

Ejemplo: BDESVESTP(A5:F14;"Beneficio";A1:F3) Como **resultado** obtenemos -->7,15

Crear una tabla dinámica

Una tabla dinámica consiste en el resumen de un conjunto de datos, atendiendo a varios criterios de agrupación, representado como una tabla de doble entrada que nos facilita la interpretación de dichos datos. Es dinámica porque nos permite ir obteniendo diferentes totales, filtrando datos, cambiando la presentación de los datos, visualizando o no los datos origen, etc.

Para crear una tabla dinámica, Excel nos proporciona las tablas y gráficos dinámicos. Supongamos que tenemos una colección de datos de los artículos del almacén con el número de referencia y el mes de compra, además sabemos la cantidad comprada y el importe del mismo.

Vamos a crear una tabla dinámica a partir de estos datos para poder examinar mejor las ventas de cada artículo en cada mes.

	A	B	C	D	E
1	MES	REF	CANTIDAD	IMPORTE	TOTAL
2	Febrero	1245	5	50	250
3	Abril	1265	6	12	72
4	Enero	1245	4	53	212
5	Marzo	1269	2	45	90
6	Abril	1267	4	25	100
7	Marzo	1265	6	35	210
8	Junio	1245	8	60	480
9	Enero	1235	12	25	300
10	Febrero	1236	5	30	150
11	Junio	1278	6	35	210
12	Mayo	1236	3	45	135
13	Mayo	1258	4	40	160
14	Abril	1236	5	42	210

Figura 89

Para ello vamos a la pestaña Insertar y hacemos clic en Tabla dinámica (también podemos desplegar el menú haciendo clic en la flecha al pie del botón para crear un gráfico dinámico).

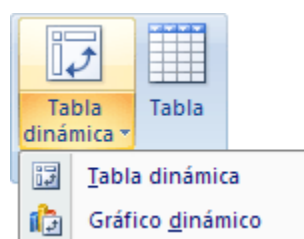


Figura 90

Aparece el cuadro de diálogo de creación de tablas dinámicas. Desde aquí podremos indicar el lugar donde se encuentran los datos que queremos analizar y el lugar donde queremos ubicarla.

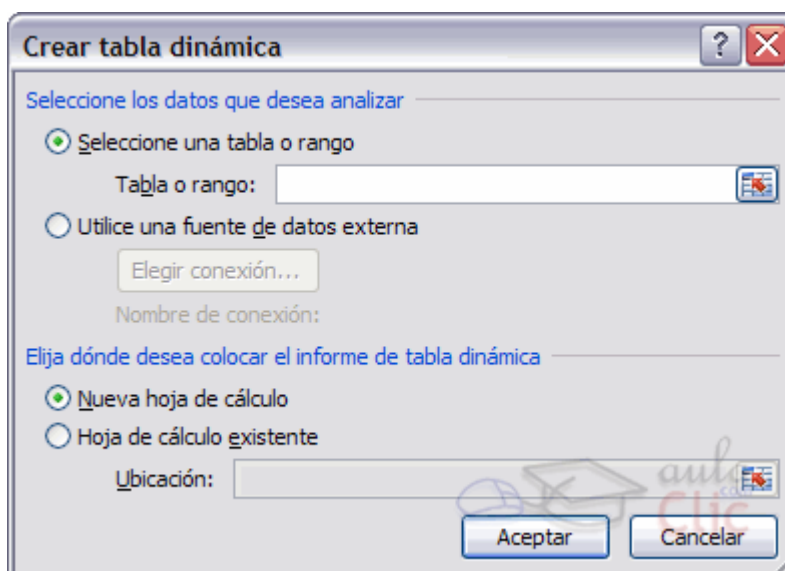


Figura 91

En nuestro caso indicamos que vamos a seleccionar los datos de un rango de celdas y que queremos ubicarla en una hoja de cálculo nueva. Se puede crear una conexión con otra aplicación para obtener los datos desde otra fuente diferente a Excel.

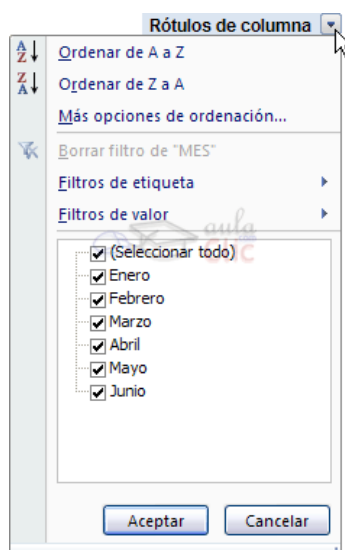


Figura 92

En el caso de seleccionar la opción Selecciona una tabla o rango debemos seleccionar todas las celdas que vayan a participar, incluyendo las cabeceras.

Pulsamos Aceptar para seguir

Aplicar filtros a una tabla dinámica

Otra característica útil de las tablas dinámicas es permitir filtrar los resultados y así visualizar únicamente los que nos interesen en un momento determinado. Esto se emplea sobre todo cuando el volumen de datos es importante.

Los campos principales en el panel y los rótulos en la tabla están acompañados, en su parte derecha, de una flecha indicando una lista desplegable. Por ejemplo, si pulsamos sobre la flecha del rótulo de columna nos aparece una lista como vemos en la imagen con los distintos meses disponibles en la tabla con una casilla de verificación en cada uno de ellos para indicar si los queremos ver o no, más una opción para marcar todas las opciones en este caso todos los meses.

Si dejamos marcados los meses Enero y Febrero, los otros meses desaparecerán de la tabla, pero no se pierden, en cualquier momento podemos visualizarlos volviendo a desplegar la lista y marcando la casilla (Seleccionar todo).

Para cerrar este cuadro debemos pulsar en Aceptar o sobre Cancelar para cerrar y dejarlo como estaba.

Aplicando el filtro a varios campos se pueden formar condiciones de filtrado más complejas.

Obtener promedios en una tabla dinámica

Por defecto, al crear una tabla dinámica, Excel nos genera unos totales con sumatorio, puede interesarnos modificar esas fórmulas por otras como pueden ser sacar el máximo o el mínimo, el promedio, etc.

Para hacer esto debemos situarnos en cualquier celda de la zona que queremos rectificar y hacer clic con el botón derecho del ratón, nos aparece un menú emergente con diferentes opciones, debemos escoger la opción Configuración de campo de valor... y nos aparece un cuadro de diálogo como el que vemos en la imagen.

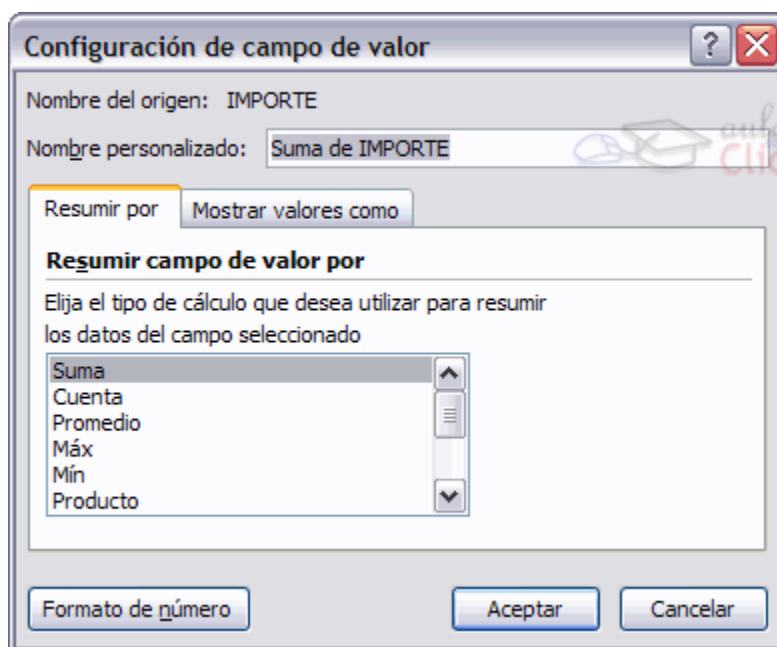



Figura 93

En este cuadro de diálogo podemos escoger cómo queremos hacer el resumen, mediante Suma, Cuenta, Promedio, etc. También podemos abrir el cuadro de diálogo con el botón  [Configuración de campo](#) de la pestaña Opciones.

3.5 Uso de software de análisis específico.

Un antecedente relevante que debe poseer el software a utilizar, por ejemplo, es tener almacenada información como la siguiente tabla:

CARACTERISTICAS PRINCIPALES (Valores Medios Típicos)			
Propiedad	Minerales	Mineral Alto P.F.	Siliconas
Punto de Fulgor (°C)	140	260	300
Pérdidas Dieléctricas a 25° C	0,05	0,05	0,001
Estabilidad	Regular	Regular	Regular
Compatibilidad	Buena	Buena	Optima
Resistencia al Fuego	Mala	Buena	Optima
Reigidez Dieléctrica ASTM D-1816	40	40	40

Figura 94

Características principales que debe tener el software especializado

Pero, básicamente, el análisis del sistema dieléctrico debe centrarse en los dos tipos de aceites utilizados normalmente:

- a) Aceite mineral dieléctrico, y
- b) aceite biodegradable.

En ambos casos, el software a utilizar debe poder manejar las siguientes informaciones, para su entrega en informes:

- Exceso de agua o humedad.
- Contaminación del fluido.
- Descargas parciales.
- Envejecimiento anormal del fluido.
- Pequeños arcos debido a conexiones flojas, etc.

A continuación, se muestra una tabla típica con datos esenciales para un mantenimiento adecuado de los equipos que usan este tipo de aceite.

PRUEBAS DE	LABORATORIO			COVENIN	ASTM
Ensayos Rutinarios					
Determinación del color				3362	D1500
Determinación del número de neutralización					D974
Determinación de agua en aceite método Karl Fisher				2879	D4928
Análisis Cromatográfico de gases disueltos					D3612
Determinación del factor de potencia y constante dieléctrica				1182	D924
Determinación de la tensión interfacial				1180	D971
Determinación de Tensión de ruptura usando electrodos esféricos				2283	D1816
Determinación de tensión de ruptura usando electrodos de disco				1403	D877
Determinación de la gravedad específica					D1298
Ensayos Especiales					
Determinación del punto de anilina				3458	D611
Determinación del punto de inflamación por copa abierta				3361	D92
Determinación del punto de inflamación por copa cerrada				3345	93-02
Determinación del contenido de inhibidor (DBPC)				1406	D2668
Determinación de la viscosidad cinemática & dinámica				3627	D-445
Determinación del contenido de PCB				US EPA SW-846 Method 9079	
PRUEBAS DE CAMPO					
Determinación del color					
Determinación del número de neutralización					
Análisis de gases disueltos por espectrometría					
Determinación espectrometría		del	contenido	de	humedad por
Determinación de Tensión de ruptura usando electrodos esféricos					
Determinación de tensión de ruptura usando electrodos de disco					
Determinación del contenido de PCB Method 9079)				(US EPA SW-846	

Tabla típica para análisis y pruebas de aceite aislante.

3.6 Manejo de base de datos.

Con la aplicación de Excel avanzado y las cartas de mantenimiento preventivo, predictivo y de análisis en laboratorios, sobre el aceite utilizado en los equipos eléctricos, se armará un banco de datos, para mantener actualizada la información de los equipos y sus fluidos aislantes.

Se muestra una hoja de datos típica de análisis cromatográfico de gases disueltos en el aceite aislante.

FLUIDOS AISLANTES			FECHA DE ULTIMA PRUEBA: _____		
ANALISIS CROMATOGRAFICO DE GASES			REPORTE No. : _____		
DISUELTOS EN EL ACEITE AISLANTE			DIVISIÓN: _____		
			ZONA: _____		
SUBESTACIÓN: _____		FECHA: _____			
BANCO: _____		MARCA: _____			
No. DE SERIE: _____					
		O/A	FA1	FA2	
CAPACIDAD DE MVA: _____		_____	_____	_____	
IMPEDANCIA EN (%): _____		_____	_____	_____	
VOLTAJE NOMINAL: _____ kV		MONOFASICO: _____ kV	TRIFASICO: _____ kV		
FIJO: _____ kV		MOVIL: _____ kV	EN OPERACIÓN: _____ kV		
TIPO DE CONSERVACIÓN: _____		LITROS DE ACEITE: _____			
FECHA DE INSTALACIÓN: _____		FECHA DE MANTENIMIENTO MAYOR: _____			
FECHA DE FABRICACION: _____		FECHA DEL CAMBIO DE ACEITE: _____			
DATOS OPERATIVOS					
FECHA DE MUESTREO: _____		HORA DE MUESTREO: _____			
DEMANDA MAXIMA DEL BANCO: _____ MW		DEMANDA EN MUESTREO: _____ MW			
TEMP. DEVANADO: _____ °C		TEMP. ACEITE: _____ °C		TEMP. AMBIENTE: _____ °C	
ESTADO DEL CLIMA: _____		HUMEDAD RELATIVA: _____			
VALVULA DE MUESTREO: _____		JERINGA (No. DE SERIE): _____			
OBSERVACIONES: _____					

NOMBRE DE LA PERSONA QUE MUESTREO: _____					
REVISO: _____					
FORMATO SE - 14					

Tabla para muestras de análisis.

Actividad N°5

Mantenición de Interruptores y Desconectadores

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante tenga un primario conocimiento 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.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	√
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	√
Formulación de preguntas.	√

Identificar Interruptores de poder y desconectadores de media y alta tensión. Conocer e interpretar análisis de aceites y SF₆.

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.
- Un Informe de Laboratorio sobre análisis de aceite y
- 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.

Tabla Nº 1

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).

Finalmente, se hará un estudio de un análisis de muestra de aceite para comprender significado y aplicación en cambio o no de aceites y SF₆, 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 y Conclusiones

- a. Los participantes, según los equipos analizados, distinguirán entre interruptores de poder con contactos en aceite o con SF₆.
- b. 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.



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

