



Cuaderno del Instructor
Módulo 2: “Interruptores y
desconectadores”.
PFMEI-3-01/V.1[PE01-M02/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	8
Módulo II: Mantenimiento de Interruptores y Desconectores.....	9
1. Corriente de cortocircuito	10
1.1 Definición y origen del cortocircuito	10
1.2 Fuentes de cortocircuito.....	10
1.3 Onda simétrica de corriente de cortocircuito	11
1.4 Onda asimétrica de corriente de cortocircuito.....	12
1.5 Períodos de la onda de cortocircuito	12
1.6 Etapas de cálculo de las corrientes de cortocircuito	13
Actividad N°2.....	16
2. Seccionadores: Cortacircuitos fusibles de alta tensión	20
2.1 Definición y generalidades	20
2.2 Elementos estructurales. Clasificación.....	23
2.3 Descripción de los seccionadores atendiendo a la forma de actuación de los contactos.....	25
2.4 Accionamiento de seccionadores	29
2.5 Parámetros básicos de los seccionadores. Especificaciones técnicas	31
2.6 Parámetros característicos de los fusibles	33
2.7 Curvas características de un fusible.....	33
2.8 Clasificación de los cortacircuitos fusibles.....	37
2.9 Descripción de los fusibles de alto poder de ruptura y de expulsión	37
2.10 Ventajas e inconvenientes del uso de cortacircuitos fusibles	40
2.11 Comparación entre el fusible y el interruptor automático.....	40
Actividad N°3.....	42
3. Principios básicos de la interrupción de corriente en interruptores de alta tensión	44
3.1 Principios de interrupción de una corriente alterna.....	44
3.2 Corte con arco eléctrico.....	46
3.3 Tensión transitoria de restablecimiento.....	47
3.4 El arco eléctrico y la Ley de Paschen.....	48
3.5 Características de los arcos.....	49
Actividad N°4.....	53
4. Interruptores de alta tensión	57
4.1 Definición de interruptor automático	57
4.2 Parámetros de los interruptores	58
4.3 Elementos constructivos de los interruptores	59

4.4 Tipos de interruptores: gran volumen de aceite, pequeño volumen de aceite, de aire comprimido, de auto-soplado en atmosfera de SF6, de vacío, de soplado magnético.	74
4.5 Especificaciones técnicas y pruebas	78
4.6 Mantenimiento de interruptores	79
5. Fluidos aislantes.....	82
5.1 Prueba de rigidez dieléctrica.....	82
5.2 Prueba de factor de potencia.....	83
5.3 Pruebas físicas	83
5.4 Pruebas químicas	84
5.5 Cromatografía de gases	84

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 Avanzado 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 II: Mantenimiento de Interruptores y Desconectadores

1. Corriente de cortocircuito

1.1 Definición y origen del cortocircuito

El cortocircuito puede definirse como una falla que anula una parte de un circuito eléctrico por donde debe fluir corriente de acuerdo a diseño, teniendo como consecuencia una corriente de grandes magnitudes en relación con la corriente nominal y que circula por una ruta imprevista. Esta corriente se denomina corriente de cortocircuito.

El origen de un cortocircuito es siempre la ruptura dieléctrica de un material aislante, ya sea en una línea de transmisión o en una carga. Los materiales aislantes que se rompen dieléctricamente suelen ser diversos, desde el aire que rodea a una instalación eléctrica hasta el esmalte que reviste conductores eléctricos dentro de un motor o un transformador.

Sin embargo, aunque un cortocircuito es una condición de malfuncionamiento eléctrico, no necesariamente lo que ocasiona el cortocircuito es un factor eléctrico. Influyen factores:

- Mecánicos: Golpes, vibraciones, choques, sismos, etc.
- Ambientales: Concentración de polvos y humedad, deterioro de materiales aislantes por radiación solar excesiva y prolongada
- Térmicos: Calor por efecto Joule no disipado que aumenta la temperatura de materiales aislantes y se envejecen.
- Eléctricos: Estrés eléctrico causado por voltajes presentes en el sistema.

Los cortocircuitos pueden ser:

- Monofásicos: 80% de los casos, se produce por el contacto de una fase a tierra o neutro.
- Bifásicos: 15% de los casos. Los de este tipo, suelen degenerar en trifásicos. Compromete dos fases, aisladas de tierra.
- Trifásicos: de origen, sólo el 5% de los casos. compromete todas las fases.

1.2 Fuentes de cortocircuito

Las fuentes de un cortocircuito son todos aquellos elementos que participan en la red eléctrica. Desde los componentes del sistema generador hasta los componentes de una carga energizada, pasando por los cables, tableros, conectores, instrumentos de medición, etc. Conviene en este punto diferenciar un cortocircuito franco de uno con resistencia.

- **Cortocircuito franco**, también denominado metálico, en el cual existe contacto directo entre las partes energizadas, es decir, no existe resistencia de falla.
- **Cortocircuito con resistencia**, en el cual el contacto se efectúa a través de un elemento conductor pero teniendo la ruta de cortocircuito una resistencia superior a la del cortocircuito franco.

En las siguientes Figuras se representan estos diferentes tipos de cortocircuitos:

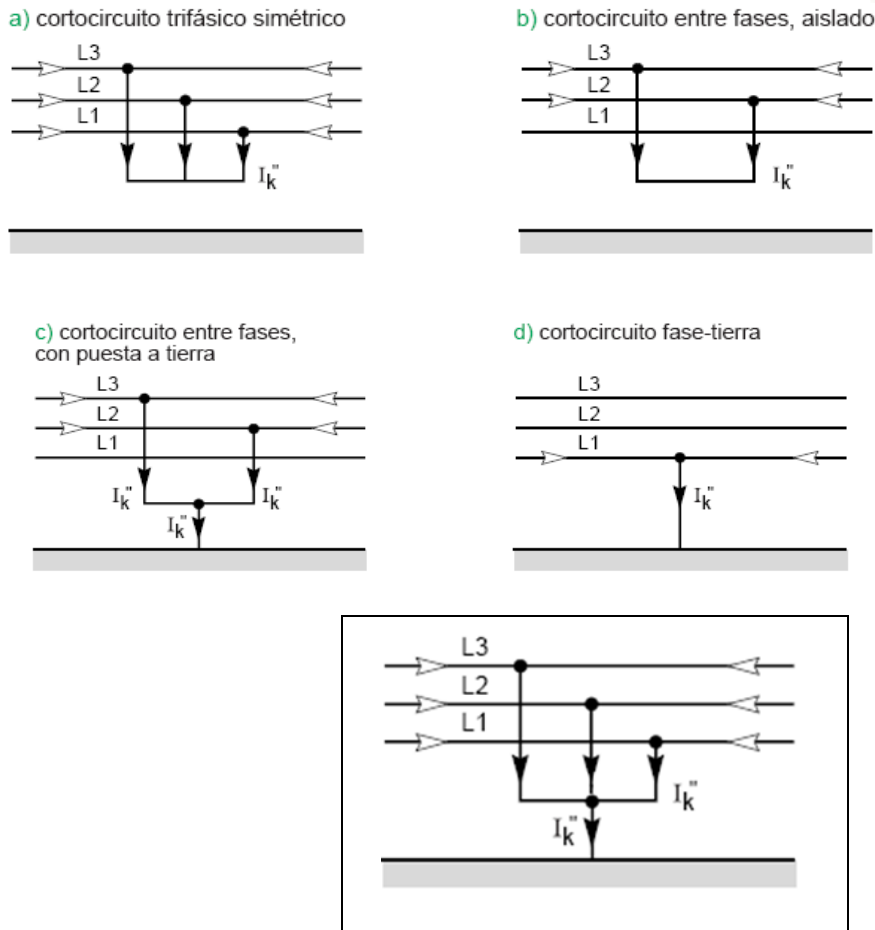


Figura 1

Cortocircuito trifásico a tierra

1.3 Onda simétrica de corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito está conformada por varias componentes y la corriente resultante evoluciona en el tiempo, teniendo los siguientes nombres por etapa:

- **Subtransitorio:** corresponde a los 10 o 20 primeros milisegundos de la falla
- **Transitorio:** a continuación del anterior y que se prolonga hasta 500 milisegundos,
- **Permanente** o estado estacionario.

La reactancia del cortocircuito, a cada período, va tomando un valor cada vez mayor, según el orden indicado: la reactancia subtransitoria es inferior a la transitoria y esta inferior a la permanente. Esta intervención sucesiva de las tres reactancias provoca una disminución progresiva de la intensidad de cortocircuito, intensidad que es, por tanto, la suma de cuatro componentes (Ver Fig.), o sea:

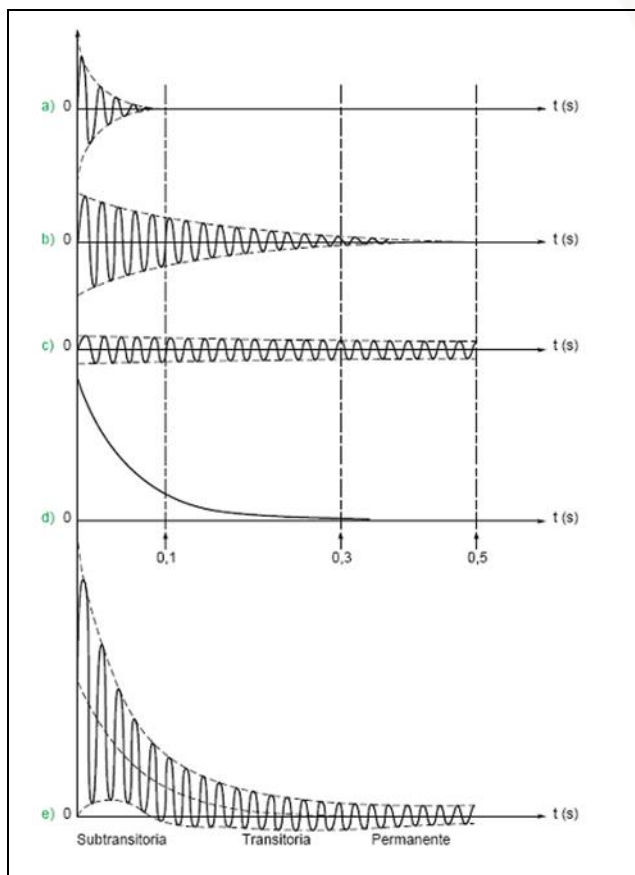


Figura 2

Evolución de la corriente de cortocircuito.

De la corriente resultante se observa que finalmente la onda se compone de una senoide. Esta senoide constituye a la onda simétrica de la corriente de cortocircuito. Las tres componentes alternas son las subtransitoria, transitoria y permanente.

1.4 Onda asimétrica de corriente de cortocircuito

La cuarta, componente unidireccional que resulta del establecimiento de la corriente en el circuito (inductivo) conocida también como componente de corriente continua constituye la onda asimétrica de la corriente de cortocircuito.

1.5 Períodos de la onda de cortocircuito

Como se ha mencionado, los períodos de la corriente de cortocircuito son: subtransitorio, transitorio y permanente.

Los daños causados a los sistemas eléctricos producto de un cortocircuito dependen de varios factores, por ejemplo, de la naturaleza y duración de los defectos, del punto de la instalación afectado y de la magnitud de la intensidad.

Si un cortocircuito presenta arco eléctrico, éste puede:

- Degradar los aislantes,

- Fundir los conductores,
- Provocar un incendio o representar un peligro para las personas.

Según el circuito afectado, pueden presentarse:

- Sobreesfuerzos electrodinámicos, con:
 - Deformación de los JdB (juegos de barras),
 - Arrancado o desprendimiento de los cables;
- Sobre calentamiento debido al aumento de pérdidas por efecto Joule, con riesgo de deterioro de los aislantes;

Para los otros circuitos eléctricos de la red afectada o de redes próximas, las perturbaciones pueden ser:

- Bajadas de tensión durante el tiempo de la eliminación del defecto, de algunos milisegundos a varias centenas de milisegundos;
- Desconexión de una parte más o menos importante de la instalación, según el esquema y la selectividad de sus protecciones;
- Inestabilidad dinámica y/o pérdida de sincronismo de las máquinas;
- Perturbaciones en los circuitos de mando y control;
- Otros de acuerdo a los componentes del sistema.

1.6 Etapas de cálculo de las corrientes de cortocircuito

El cálculo de corrientes de cortocircuito es posible de realizar por varios métodos. Uno de ellos, es el método de las impedancias. Es muy utilizado puesto que puede obtenerse el valor de la corriente de cortocircuito de manera aproximada a partir de datos de los componentes de la red donde se produce el cortocircuito.

Este método permite calcular las corrientes de defecto en cualquier punto de una instalación, con una precisión aceptable. Consiste en sumar separadamente las diferentes resistencias y reactancias del circuito con el problema, añadiendo también después los generadores o fuentes de alimentación existentes, calculando también la impedancia correspondiente.

La corriente de cortocircuito es:

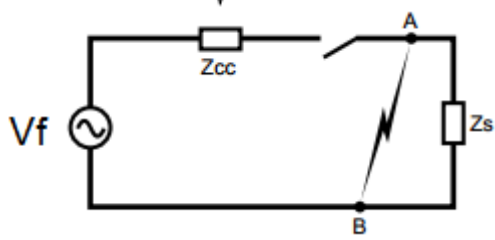


Figura 3

Circuito equivalente de un cortocircuito. Los puntos A y B se asumen unidos.

$$I_{cc} = \frac{V_f}{Z_{cc}}$$

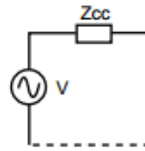
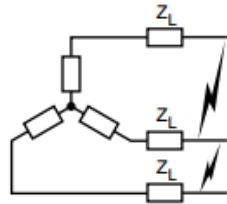
Dónde:

Z_{cc} : Suma vectorial de resistencias y reactancias desde la fuente hasta el punto de cortocircuito y de la impedancia interna de la fuente.

V_f : Voltaje de la fuente en vacío.

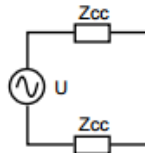
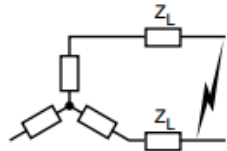
Conviene redefinir el esquema del circuito anterior de acuerdo al número de fases involucradas en el cortocircuito. En la siguiente Figura se muestran distintas formas en que puede configurarse un cortocircuito y la fórmula para calcular la corriente. Sea U el voltaje entre fases medida a la salida de la fuente. Z_{cc} es la impedancia equivalente de las líneas y de la fuente.

Defecto trifásico



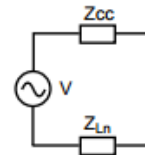
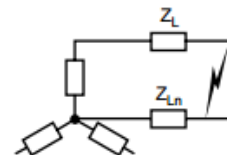
$$I_{cc_3} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc}}$$

Defecto bifásico



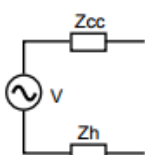
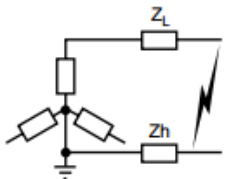
$$I_{cc_2} = \frac{U}{2 \cdot Z_{cc}}$$

Defecto monofásico



$$I_{cc_1} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_{Ln}}$$

Defecto a tierra



$$I_{cc_n} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_h}$$

Figura 4

Fórmulas para calcular la corriente de cortocircuito en distintas configuraciones.

Actividad N°2

Introducción a la actividad

En esta actividad, los participantes producirán un cortocircuito controlado en laboratorio para examinar las componentes simétrica y asimétrica de una onda de corriente de cortocircuito.

Además, utilizarán el método de impedancias para calcular la corriente de cortocircuito y se comprobará con datos de mediciones.

Aprendizaje esperado que desarrolla

Los participantes comprenderán la naturaleza de un cortocircuito en media y alta tensión a partir de un experimento controlado en baja tensión. Asimismo, podrán estimar las magnitudes de corrientes de cortocircuito a partir de valores reales de una red eléctrica experimental.

Estrategia metodológica para el instructor

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de situaciones	

Descripción de la actividad

Primera parte: Generación de un cortocircuito controlado y visualización de las componentes de la corriente de cortocircuito.

Los participantes utilizarán elementos de laboratorio para armar una red eléctrica sencilla con resistencias e inductancias y registrarán el evento del cortocircuito para su posterior análisis. El cortocircuito será controlado, es decir, al estar el sistema en cortocircuito, la corriente quedará limitada por las resistencias de la red.

Segunda parte: Cálculo aproximado de la corriente de cortocircuito por el método de las impedancias.

En la misma red eléctrica armada en la etapa anterior, se calculará el valor de la corriente de cortocircuito por el método de las impedancias y se analizará si coincide con el valor obtenido experimentalmente.

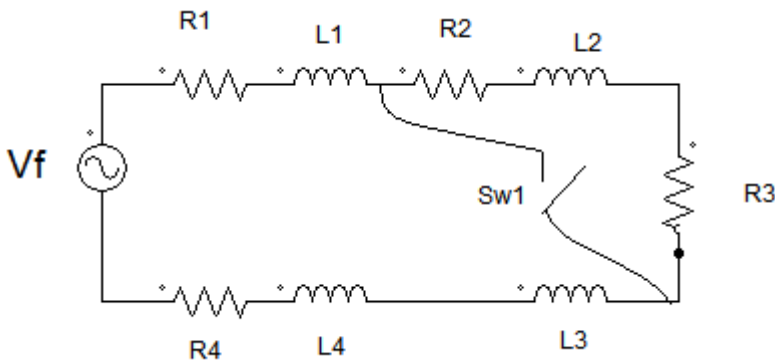
Materiales y recursos

N°	Cantidad	Ítem
1	1	Fuente de voltaje alterno ajustable
2	2	Multímetros
3	4	Inductancias de valor conocido
4	4	Resistencias de valor conocido (0,5 ohm como mínimo y 2 ohm máx.)
5	10	Conectores
6	1	Computador con módulo de adquisición de datos
7	1	Equipo de medición con registro (Opcional, si no se encuentra el ítem anterior)
8	1	Interruptor de dos posiciones
9	1	Tenaza amperimétrica de 10 A para equipo DAQ para ítem 6.

Desarrollo de la actividad

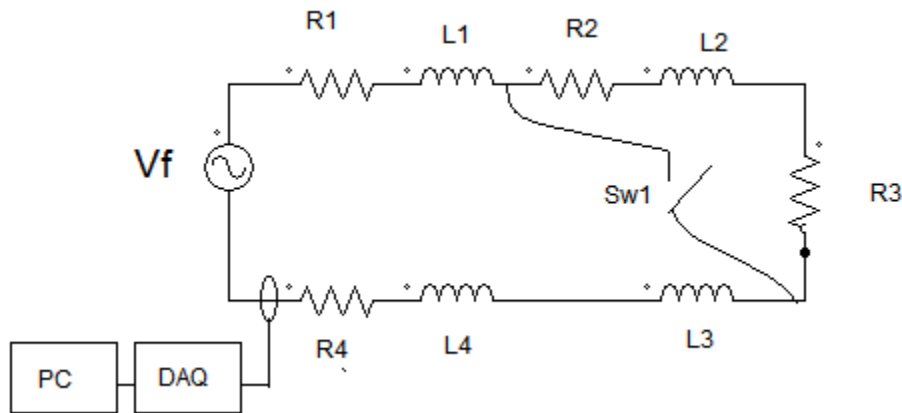
Primera parte: Generación de un cortocircuito controlado y visualización de las componentes de la corriente de cortocircuito.

1. Conecte la fuente AC a la toma de corriente y ajuste su voltaje de salida a 10V, verificando este valor con un multímetro. Desconecte la fuente del tomacorriente.
2. Utilizando la fuente de AC ajustable ya seteada, los conectores, las inductancias, el interruptor y las resistencias, arme el siguiente circuito.



Circuito RL.

3. Conecte la tenaza amperimétrica en el circuito, abra el software de adquisición de datos.



conexión del equipo para registro de datos de corriente.

4. Energice el circuito. Registre el voltaje de la fuente con carga. Inicie la toma de muestras. Espere 5 segundos y cierre el interruptor Sw_1 . Ahora espere 5 segundos y abra el interruptor Sw_1 .

5. Visualice en su interfaz de usuario los datos grabados. Identifique la componente simétrica y asimétrica durante el cortocircuito.

6. Si posee de otro juego de inductancias, reemplácelas por un par de las resistencias (R_1 y R_3) y luego repita procedimiento del punto 4 y 5.

Segunda parte: Cálculo aproximado de la corriente de cortocircuito por el método de las impedancias.

1. Dibuje el circuito equivalente del sistema cuando el Sw_1 está cerrado.

2. Sume las resistencias y las inductancias del circuito resultante.

3. Calcule mediante Ley de Ohm la corriente de cortocircuito en forma fasorial y compárela con lo obtenido en el punto 4 y 5 de la primera parte. Use el voltaje de la fuente cuando estaba en vacío. En este experimento se ignorará la impedancia interna de la fuente si no es conocida.

4. ¿Se obtuvo un valor calculado similar al medido en la primera parte? Si hay una diferencia apreciable, ¿a qué puede deberse?

Respuestas para el instructor

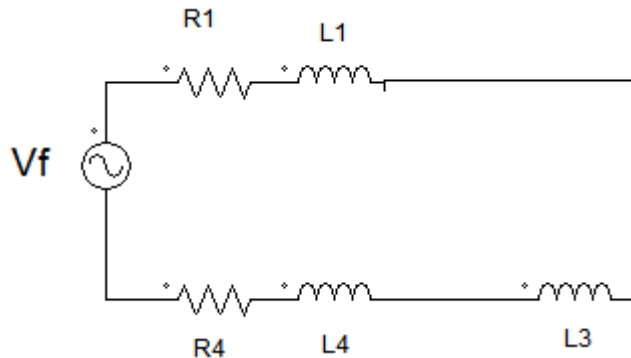
Primera parte:

El objetivo es grabar el evento del cortocircuito y la corriente permanente (que durará sólo 5 segundos).

Si la interfaz de usuario no entrega el valor rms de la componente simétrica, calcúlelo dividiendo el valor pico por 1,4142.

Segunda parte:

El circuito equivalente es:



Diferencias apreciables en el valor calculado y el medido pueden deberse a la no incorporación de la impedancia de la fuente. Puede obtenerse este parámetro si son conocidas todas las resistencias e inductancias utilizadas.

La corriente de cortocircuito se calculará como sigue:

$$I_{cc} = \frac{V_{\text{fuente vacío}}}{|Z_{cc}|}$$

$$\text{Con } Z_{cc} = \sqrt{(R1 + R4)^2 + (XL)^2}$$

$$\text{Con } XL = 2\pi f$$

Conclusiones

Se ha visto experimentalmente cómo cambia la corriente del sistema durante el cortocircuito y sus transiciones. Se puede extrapolar esto, guardando las proporciones), a lo que sucede en las redes de MT y AT.

2. Seccionadores: Cortacircuitos fusibles de alta tensión

2.1 Definición y generalidades

El propósito de los dispositivos de protección es abrir el circuito antes que produzca algún daño a las personas, conductores y los equipos, en una instalación eléctrica.

Existen distintos tipos de dispositivos de protección, y dentro de cada tipo existen varias variaciones, clases y rangos. El interruptor automático y el fusible son los tipos más comúnmente usado.

Los fusibles deben proteger los conductores y la aislación del excesivo calor que se produce como resultado de la sobrecarga y de la sobrecorriente, con posibilidades de incendio, daños irreparables, accidentes humanos.

La Norma Chilena (NCH) especifica los valores máximos de amperaje para los distintos dispositivos que integran un circuito, ya sea en Baja Tensión (BT), Media y Alta Tensión (AT). Entre otras, las siguientes:

NCH Ele. 4/2003	: - Instalaciones de Consumo en Baja Tensión
NSEG5.EN71	- Reglamento de Corrientes Fuertes
NTSYCS	- Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. Versión Octubre del 2010
DF1	: Ley General de Servicios Eléctricos

Normas Internacionales:

IEEE	: - Institute of Electrical Electronic Engineers
IEC	: - International Electrotechnical Commission
UK	: - Norma del Mercado Inglés (Canadá, Australia, Inglaterra)

Se realizará a continuación algunas definiciones importantes:

Sobrecarga

La sobrecarga es un aumento moderado de la corriente más allá de su valor nominal. Al sobrecargarse un circuito, el equipo consume más corriente que aquella para la cual fue diseñado o clasificado. El calor producido por una sobrecarga muy a menudo causa que el aislamiento del conductor se deteriore y falle.

En un motor los valores típicos de corrientes de partida pueden alcanzar un rango de hasta seis veces el valor de la corriente normal.

En una máquina cualquiera las sobrecargas típicas permitidas por los fabricantes son del tipo 20% sobre la Corriente Nominal indicada en la Placa de la máquina

Las causas típicas de una sobrecarga son:

En Baja Tensión

- Demasiados equipos conectados a un circuito, denominado el efecto pulpo fig.61. Este problema es agravado por los llamados “ladrones” o “triples”, los que además revisten peligro a las instalaciones.
- Uso de un equipo de tamaño inadecuado - por ejemplo, un motor pequeño para mover una gran carga fig.61.
- un cojinete de motor atascado o desgastado, o una excesiva carga mecánica

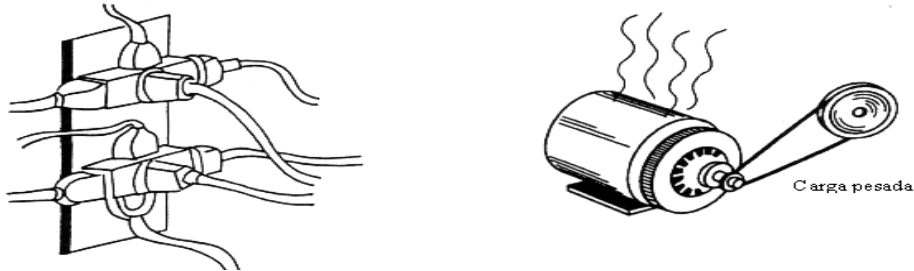


Figura 5
Causas típicas de sobrecarga

En una situación de sobrecarga, el dispositivo protector *debe abrirse antes* que se produzca el daño. Esto sucede cuando el fusible se funde o una banda bimetálica causa que la sobrecarga se desenganche del circuito (trip), como muestra la fig.62.

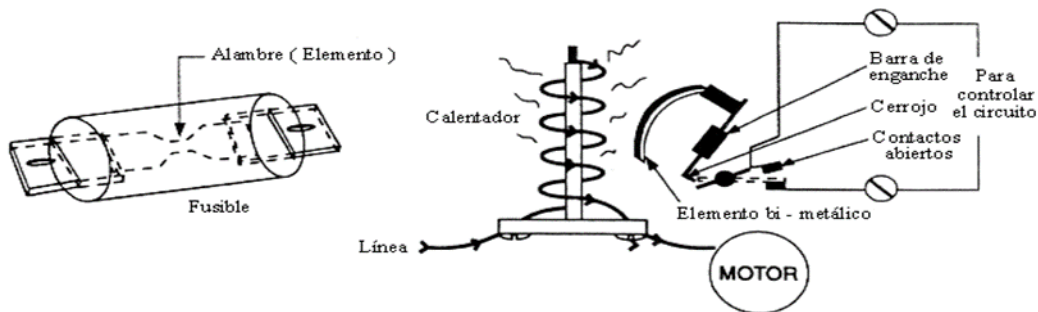


Figura 6
Protección contra sobrecarga

En Media y Alta Tensión

Las causas de la sobrecarga son también máquinas eléctricas que cambias súbitamente de carga, circuitos de altas corrientes que son conectados y desconectados, produciendo sobre voltajes.

- Sobre voltajes – Son de origen Interno y Externo
 - ❖ Interno.- Maniobras y Fallas
 - Maniobras: Apertura y Cierre de interruptores
 - Fallas : Cortocircuitos

El sobre voltaje puede llegar a ser del orden de 700kV a 1000kV para líneas mayores de 110 kV

- ❖ Externo.- Descargas Atmosféricas o Rayos

Cortacircuitos fusible de alta tensión

El cortacircuitos fusible es un interruptor de alta tensión que posee un porta fusibles. Su función consiste en abrir un circuito cuya corriente ha superado peligrosamente su valor nominal. Para restablecer la energía al circuito una vez corregida la falla, se requiere una nueva instalación de fusible.

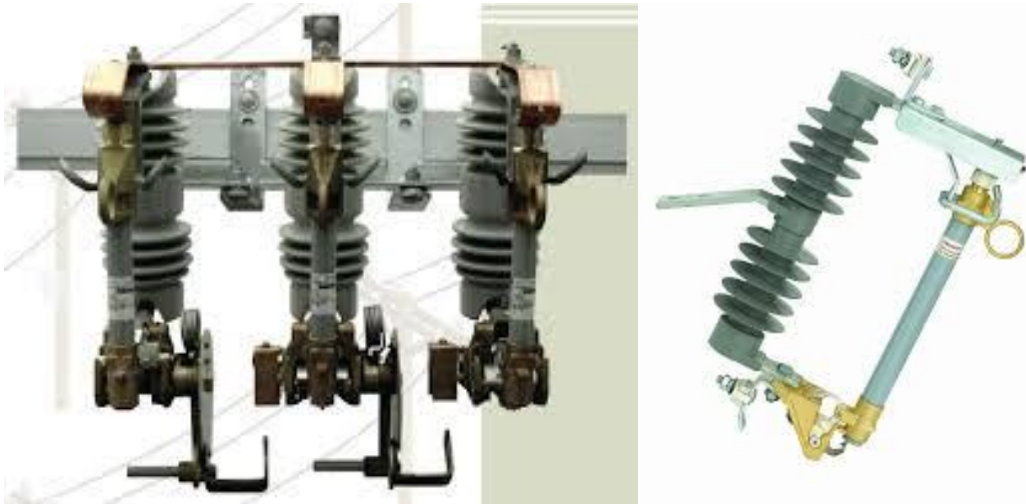


Figura 7
Cortocircuito fusible.

2.2 Elementos estructurales. Clasificación

Los elementos estructurales de los cortacircuitos fusibles siguen las directrices de diversas normas europeas y norteamericanas.

Estos artefactos, en su posición de montaje, responderán a los diseños básicos indicados en la Fig. 64.

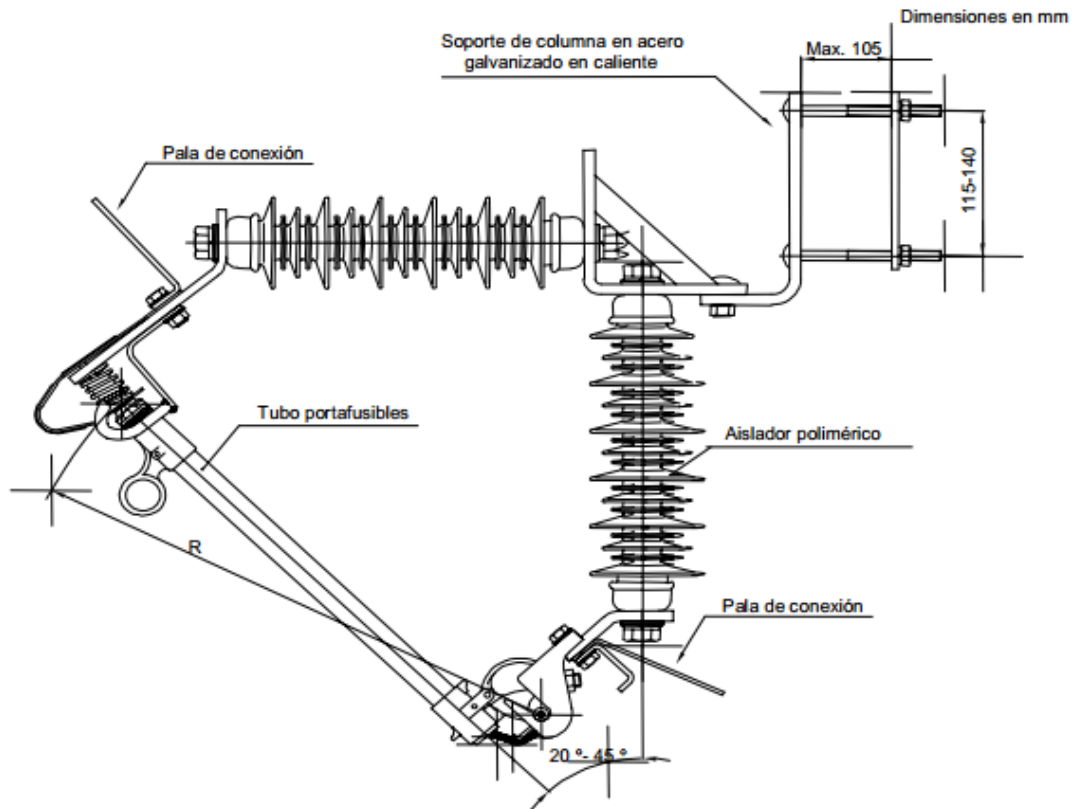
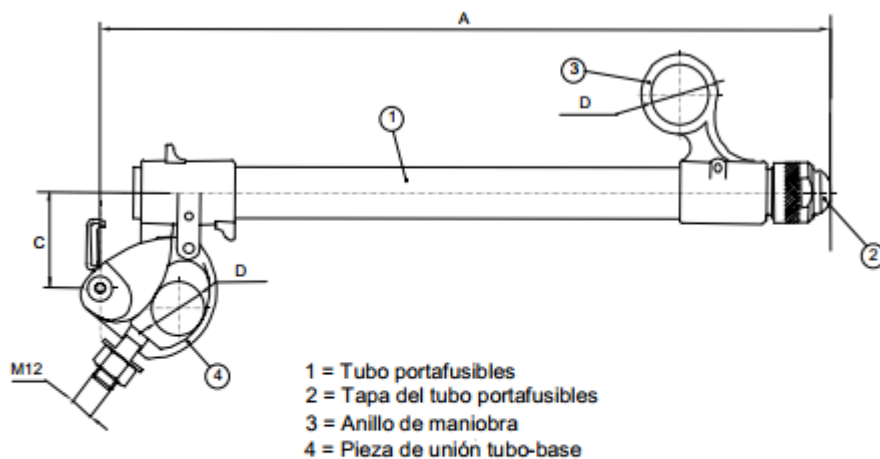


Figura 8

Diseño estructural de un cortacircuito fusible en su posición de montaje.

Los elementos estructurales se clasifican en:

- Base: El aislador es de material polimérico con armaduras metálicas externas sobre moldeadas.
- Materiales férricos varios: Los materiales férricos oxidables deben ser galvanizados en caliente, por ejemplo bajo norma NI 00.06.10.
- Circuito principal: Debe ser de cobre y protegido contra la corrosión, excepto aquellas piezas que se consigan por moldeo, que serán de una aleación que tenga un contenido de cobre del 62%.
- Terminales: Los terminales de conexión deben estar estañadas. Deben ser planas y permitir la conexión del terminal bimetálico correspondiente por ambos lados.
- Portafusiles: Corresponde al diseño de la Figura siguiente y llevan a cortadores de acero.



Tensión asignada kV	A mm	D (mínimo) mm	C mm
24	380±2	23	43±6
36	468±2	23	43±6

Figura 9
Dimensiones del porta fusible

- Fusibles: Las medidas de los fusibles responden al diseño de la Figura :

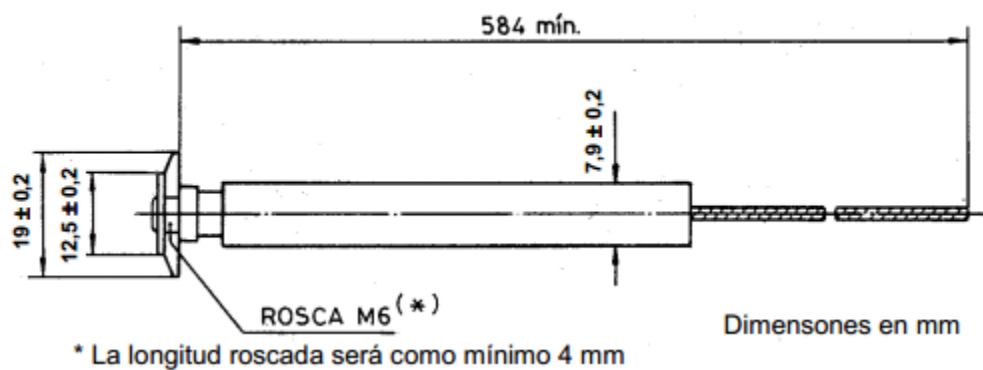


Figura 10
Medida del fusible.

2.3 Descripción de los seccionadores atendiendo a la forma de actuación de los contactos.

Entre los diversos tipos de conmutadores de alta tensión, los siguientes son los más comunes:

- Aislación (*Isolating*)
- Seccionador de cuernos (*Horn gap*)
- Seccionador de carga (*Load-break*)
- Desconectador (*Disconnect*)

Conmutador de aislación (Isolating switch)

Un conmutador de aislación está diseñado para ser operado sin carga. Este es un dispositivo de conmutación mecánico, el cual, en su posición abierta, proporciona una distancia de aislación visible. Tradicionalmente los conmutadores de aislación han sido conmutadores del tipo de cuchilla, a menudo unipolares, y operados por medio de una pértiga, como se muestra en la Fig. 7. Estos conmutadores no tienen contactos auxiliares o medios de extinción de arco, y son estrictamente diseñados para propósitos de aislación.

El conmutador de aislación moderno es todavía un disyuntor al aire, generalmente uno de tipo tándem de tres polos, instalado en un poste, y operado desde una manilla en la base de dicho poste.

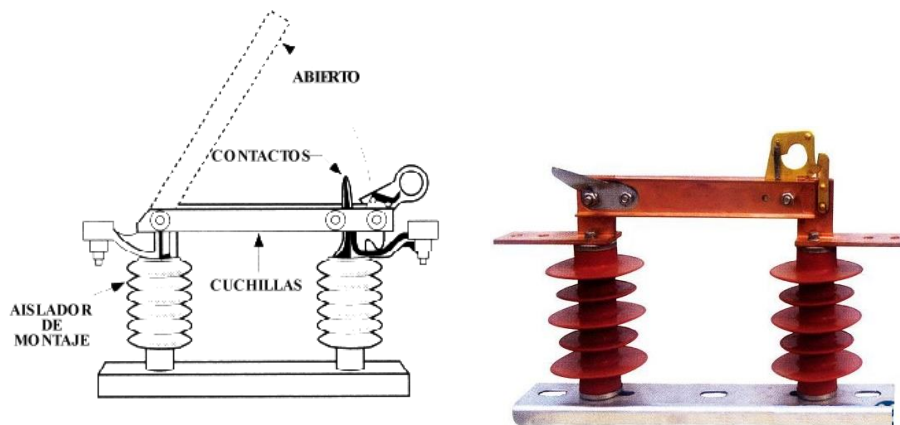


Figura 11

Conmutador de aislación unipolar, del tipo de cuchilla

Seccionador de cuernos o Horn gap switch

Un seccionador de cuernos puede interrumpir bajas corrientes de carga. Es diseñado para ser instalado en un poste como disyuntor al aire, y cuenta con contactos auxiliares; tiene contactos principales y cuernos descargadores de arco, conocidos también como electrodos de guarda (Ver Fig. 68).

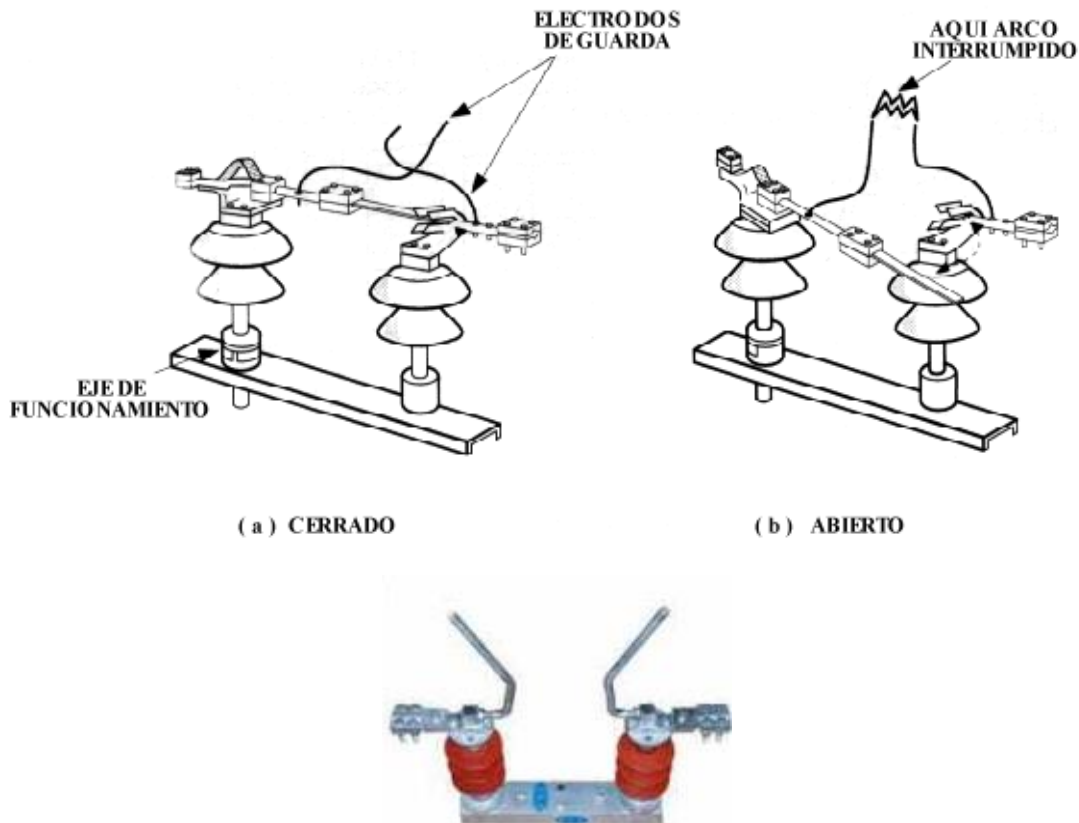


Figura 12
Seccionador de cuernos

Cuando el switch se abre, los contactos principales se separan pero la corriente se mantiene a través de los contactos de los electrodos de guarda. La extinción del arco se logra por medio del alargamiento del arco que se forma a través de los electrodos de guarda cuando el switch se está abriendo. Cuando el espacio de aire entre los electrodos llega a ser lo suficientemente amplio, el voltaje ya no es capaz de sostener el arco.

La capacidad máxima de interrupción de estos switches es de 15 A, y ellos se utilizan principalmente en líneas aéreas de distribución rural.

Seccionador de carga, o load-break switch (LBS)

Un seccionador de carga (LBS) es un conmutador mecánico, el cual es capaz de conectar, transportar, e interrumpir corrientes de carga normal. La mayoría son del tipo disyuntor de aire, y pueden estar diseñados para aplicaciones exteriores e interiores.

Un LBS debe ser capaz de cerrar, pero no de interrumpir, una corriente de cortocircuito. Es adecuado sólo en aplicaciones de media tensión, ya que, en voltajes más altos, los disyuntores o CBs son necesarios para la interrupción de la corriente. Desde el punto de vista de la corriente de interrupción, el LBS, o el seccionador de carga, como también se denomina, tiene mucho más en común con un CB que con los conmutadores de aislación o los desconectores. Un seccionador de carga en adición a un fusible puede reemplazar un disyuntor de media tensión, a menudo con ahorros considerables. Un rango típico de interrupción sería 600 A para un switch de 25 kV.

Un LBS típico se muestra en la Fig. 69. Los contactos principales transportan la corriente, y estos tienen un acoplamiento en la forma de cuchilla auxiliar en paralelo. El contacto auxiliar está ubicado en la cámara del arco.

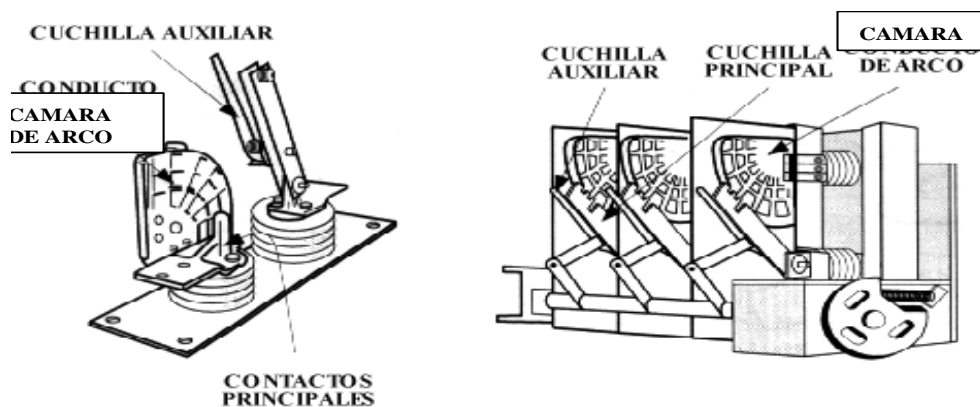


Figura 13
Esquema de un LBS.

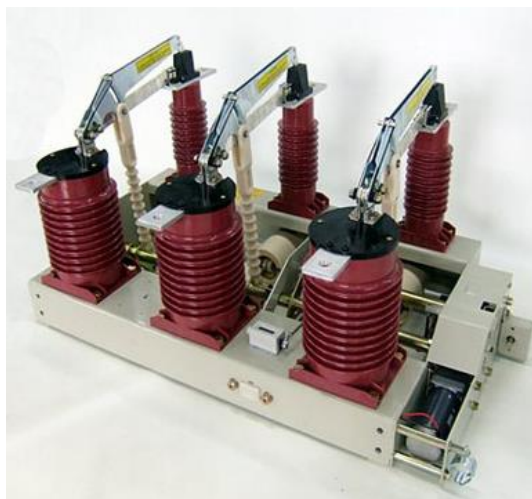


Figura 14
Seccionador LBS de SF6.

Switch desconectador o Disconnect switch

Un desconectador es un dispositivo el cual, en su posición abierta, proporciona una distancia de aislación visible. Puede abrir o cerrar un circuito si:

- Una corriente *insignificante* es conmutada
- No existe ningún cambio de tensión significativo entre los terminales del switch.

Las corrientes insignificantes están en el rango de $\leq 0,5$ A, como es el caso de las corrientes de carga capacitiva existentes en las barras de distribución y los manguitos aisladores, o las corrientes magnetización de los transformadores de voltaje. Al igual que otros conmutadores, los desconectadores deben ser capaces de *transportar* las corrientes de falla y la corriente de carga de la red.

Los desconectadores se utilizan en conjunto con los disyuntores o CBs en los sistemas de AV (Alto Voltaje), para proporcionar una prueba visible de aislación de la tensión. A menudo, usted podrá encontrar un desconectador a cada lado de los CBs utilizados en las redes de distribución/transmisión.



Figura 15
Desconectador.

2.4 Accionamiento de seccionadores

Los seccionadores pueden accionarse en forma manual o motorizada a distancia.

Accionamiento remoto

El accionamiento remoto se realiza por medio de motores con mecanismos diseñados para producir el movimiento de los seccionadores. Es una forma segura puesto que evita que el operador tenga proximidad física con el equipo y las líneas.



Figura 16

Sistema de accionamiento de seccionadores.

Accionamiento manual

Se utilizan herramientas eléctricas aprobadas para tal fin. Las más comunes son:
Pértiga

Si el switch es uno del tipo de conmutador de cuchilla, éste puede ser abierto o cerrado con una pértiga de desconexión (un palo largo de fibra de vidrio). Algunas pértigas de fibra de vidrio similares (denominados escopeta) se les pueden insertar o agregar los probadores de tensión, con el fin de determinar la presencia o ausencia de AV cuando se conmutan los sistemas y las cargas. Ver Figura 13



Figura 17
Pértiga típica de fibra de vidrio

Todas las herramientas para líneas energizadas deben ser aprobadas por las autoridades de seguridad eléctrica, lo que significa que estas herramientas deben ser revisadas por una agencia especializada, a sometida a tensiones de prueba, a intervalos regulares. Las fechas de las pruebas se pueden leer en la placa de la herramienta.

Las herramientas no deben ser colocadas directamente en el suelo, y deben mantenerse limpias, secas y adecuadamente almacenadas. Ellas deben estar guardadas en bolsas protectoras a prueba de agua para su traslado, y se deben revisar con frecuencia por posibles daños o desgastes que reducirían su fortaleza dieléctrica o mecánica.

Debido a los peligros causados por las corrientes de fuga, las herramientas para líneas vivas no se utilizan con lluvia o niebla; algunas herramientas son sólo para aplicaciones interiores.

Algunas herramientas para líneas energizadas tienen un marcador de zona de seguridad (generalmente un anillo de fibra o goma) en la manilla, que muestra el punto de distancia *mínima* de seguridad desde el extremo que entra en contacto con un terminal activo. Su mano no debería extenderse más allá de la marca de anillo cuando usted se encuentre utilizando la herramienta. Estos marcadores generalmente se usan en algunos tipos de probadores de tensión de AV.

Probadores de tensión

Se usa un probador de voltaje para verificar la presencia o ausencia de tensión. Un probador de AV puede ser un instrumento de acoplamiento capacitivo que verifica si hay tensión al acercarlo a la parte activa. Usted mantiene su distancia desde un instrumento de acoplamiento capacitivo enchufándolo en el extremo de una larga

pértiga de fibra de vidrio. En otros tipos de probador de AV el instrumento debe tocar la parte activa. En este caso, la distancia de seguridad es inherente al equipo de prueba. Usted debe revisar primero el probador de tensión para asegurarse que está funcionando.



Figura 18

Uso del probador de tensión

- Revise el probador en un terminal activo o energizado conocido.
- Después, utilice el probador para verificar la ausencia de tensión en la parte que se supone está aislada.
- Vuelva a verificar el probador en un terminal activo o energizado conocido.

2.5 Parámetros básicos de los seccionadores. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas de los seccionadores son principalmente el voltaje de trabajo, la corriente nominal de la línea, el voltaje de aislamiento, la operación si es motorizada o no, condiciones ambientales, etc. A continuación se muestra una Tabla de las especificaciones de los seccionadores de acuerdo con la norma europea IEC60947-3. También esta norma especifica parámetros mecánicos, como el torque de apriete de pernos de terminales.

Parámetros de los seccionadores según IEC60947-3

Tensión asignada de aislamiento y tensión asignada de empleo AC-20 y DC-20	50 Hz 1 min.	V
Rigidez dieléctrica		kV
Tensión asignada soportada a impulso		kV
Corriente térmica asignada y corriente asignada de empleo AC-20 y DC-20 en ambiente 40°C	Al aire	A
...con una sección mínima de conductor	En envolvente	A
	Cu	mm ²
Corriente asignada de empleo, AC-21A	≤ 500 V	A
	690 V	A
	1000 V	A
Corriente asignada de empleo, AC-22A	≤ 500 V	A
	690 V	A
	1000 V	A
Corriente asignada de empleo, AC-23A	≤ 500 V	A
	690 V	A
	1000 V	A
Corriente asignada de empleo / polos en serie DC-21A...23A (Para valores superiores consultar)	≤ 110 V	A
	220 V	A
	440 V	A
	660 V	A
Potencia asignada de empleo AC-23	230 V	kW
	400 V	kW
	415 V	kW
	500 V	kW
	690 V	kW
Poder asignado de corte, AC-23	≤ 500 V	A
	690 V	A
Corriente asignada de cortocircuito condicional (R.M.S.) y correspondiente corriente cortada limitada (cut-off) corriente de cresta	100kA, 500 V gG/aM	kA
		A
Corriente asignada de cortocircuito condicional (R.M.S.) y correspondiente corriente cortada limitada (cut-off) corriente de cresta	100kA, 500 V gG/aM	kA
		A
La corriente cortada limitada hace referencia a valores indicados por fabricantes de fusibles (ensayo monofásico conforme a IEC-60269)	80kA, 690 V gG/aM	kA
		A
Corriente asignada de corta duración admisible	690V - 0,15 s	kA
	690V - 0,25 s	kA
	690V - 1 s	kA
Poder asignado de cierre en cortocircuito	≤ 690V	kA
Potencia disipada / polo		W
Durabilidad mecánica		Oper.
Peso sin accesorios		Kg
Tamaño terminales		mm
Par de apriete de los terminales		Nm
Par de accionamiento del mando		Nm

Tabla1

2.6 Parámetros característicos de los fusibles

En cuanto a los fusibles propiamente tal, sus parámetros importantes son:

- Corriente Nominal I_n : Es la corriente eléctrica que debe soportar el fusible durante un tiempo indefinido sin fundirse o modificar sus características físicas
- Corriente de fusión I_f : Valor de corriente eléctrica que provoca la fusión del fusible en tiempo determinado.
- Máxima tensión de funcionamiento: Tensión máxima que soporta un fusible sin sufrir daños en su aislamiento.
- Nivel de aislación kVBIL: Es el nivel básico de aislamiento (BIL –Basic Insulation Level). Es un voltaje de prueba utilizado para inferir la resistencia de aislación del fusible ante la acción de relámpagos.

TENSION NOMINAL KV	INTENSIDAD NOMINAL A	CAPACIDAD DE INTERRUPCION KA ASIM.	NIVEL DE AISLACION KVBIL	DISTANCIA DE FUGA A TIERRA MM.	TENSION DE ENSAYO A FRECUENCIA INDUSTRIAL (1')
15	100	10	95	216	40
15	100	16	95	216	40
27	100	8	125	292	42
27/33	100	8	150	432	65
33	100	5	170	660	75

Tabla2

2.7 Curvas características de un fusible

El fusible abre el circuito en el que está instalado, cuando la corriente que circula por él provoca, por calentamiento, la fusión de uno o varios de sus elementos previstos para este fin. La curva de un fusible expresa la duración de la continuidad del elemento fundente en función de la corriente que circula a través de él. Los ensayos para obtenerlos consisten en hacer variar la corriente del fusible y medir el tiempo que éste permanece continuo. A esta gráfica se le conoce como curva I/t .

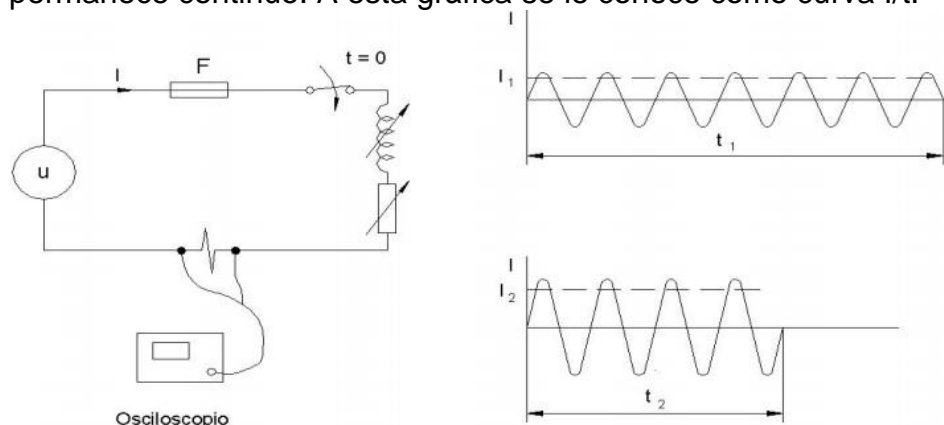


Figura 19

Obtención de la curva I/t . Nótese que si por el fusible circula una corriente I_1 , el fusible funciona durante el tiempo t_1 . Al aumentar la corriente a un nivel I_2 , el tiempo que el fusible permanece continuo cae al valor t_2 .

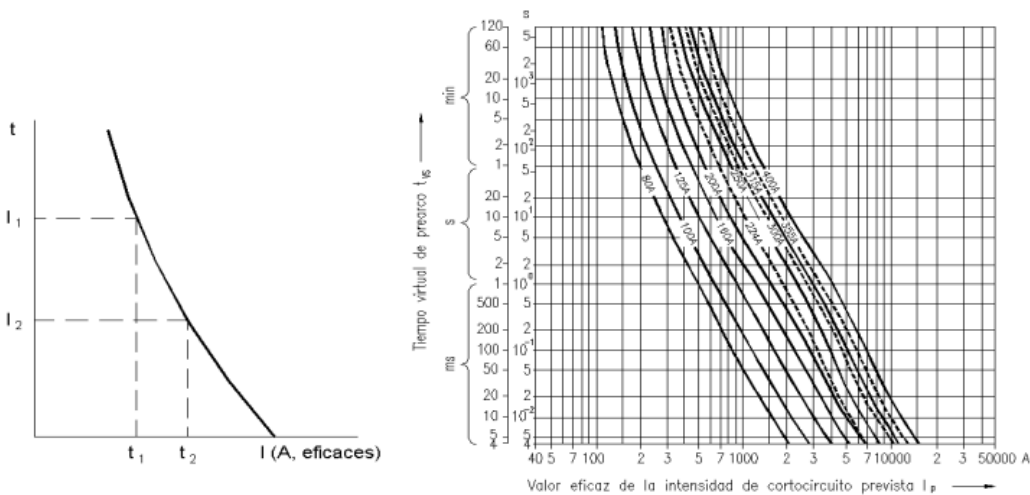


Figura 20

Si la corriente es lo suficientemente baja, el fusible puede tener una continuidad permanente.

I_{nf} : Intensidad convencional de no fusión.

I_f : Intensidad convencional de fusión.

t_c : tiempo convencional

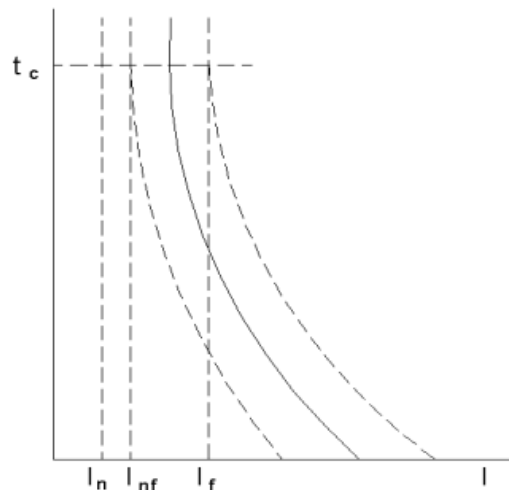


Figura 21

Curva del fusible. El dispositivo se diseña para que en condiciones normales, trabaje en la zona de la intensidad convencional de no-fusión. El tiempo convencional marca la zona de la curva donde la pendiente es infinita.

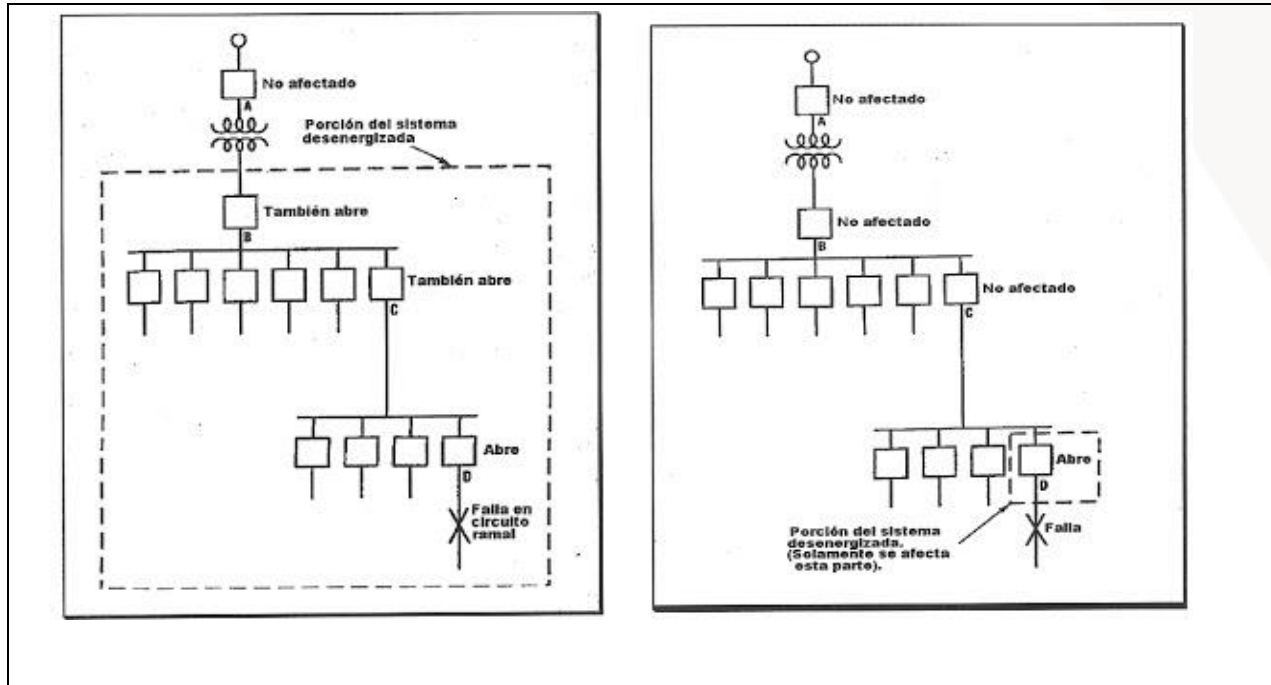
Coordinación selectiva

El aislamiento de un circuito fallado del restante de la instalación es obligatorio en los sistemas modernos. Los apagones NO PUEDEN ser tolerados. No es suficiente seleccionar dispositivos de protección basados solamente en su habilidad para llevar la corriente de carga del sistema e interrumpir la corriente de falla máxima a sus niveles respectivos. Un sistema diseñado apropiadamente permitirá que solamente abra el

dispositivo de protección más cercano a la falla, dejando el resto del sistema sin disturbio y manteniendo la continuidad del servicio.

Podríamos definir la coordinación selectiva como:

El acto de aislar un circuito fallado del resto del sistema eléctrico, eliminando con esto apagones de potencia innecesarios. El circuito fallado es aislado por la operación selectiva de solamente el dispositivo de protección más cercano a la condición de sobrecorriente.



Las Figuras ilustran un sistema no-selectivo y un sistema coordinado selectivamente:

Figura 22

(a) Circuito no selectivo. Una falla en la parte baja de la red abre los fusibles que están aguas arriba. (b) Circuito selectivo. Sólo se abre el fusible en la rama de la falla.

Usualmente existen dos métodos para realizar coordinación selectiva:

- Superposición de curvas-corriente. Estas utilizan una tabla de los datos publicados por los fabricantes, las cuales son dibujadas a mano sobre papel doblemente logarítmico.
- Programas de computadora que utilizan un PC y permiten al diseñador seleccionar curvas tiempo-corriente publicadas por los fabricantes y transferirlos a un plotter o impresora, siguiendo las selecciones adecuadas.

La Figura siguiente ilustra las curvas características de tiempo-corriente para dos tamaños de fusibles de doble elemento con retardo de tiempo en serie como se muestra en el diagrama unifilar mostrado en la Figura de la esquina superior derecha. El eje horizontal de la gráfica representa la corriente simétrica RMS en amperes. El eje

vertical representa el tiempo, en segundos, hasta que la falla ocurre. Por ejemplo, supondremos un nivel de corriente de falla disponible de 1000 amperes RMS simétricos en el lado de carga del fusible de 100 amperes. Para determinar el tiempo que debería de tomar esta corriente para abrir los dos fusibles, primero encontramos 1000 amperes en el eje horizontal (punto A), seguimos la línea discontinua verticalmente hasta la intersección de la curva de libramiento total del fusible de doble elemento con retardo de tiempo de 100 amperes (punto B) y la curva de fusión mínima del fusible de doble elemento con retardo de tiempo de 400 amperes (punto C). Entonces, seguimos horizontalmente desde ambos puntos de intersección, las líneas discontinuas a los puntos D y E. A 1.75 segundos, el punto D representa el tiempo máximo que el fusible de doble elemento con retardo de tiempo de 100 amperes tomará en abrir la falla de 1000 amperes. A 88 segundos, el punto E representa el tiempo mínimo al cual pudiera abrir el fusible de doble elemento con retardo de tiempo de 400 amperes a este nivel de falla disponible. Por esto, se asegura una operación selectiva.

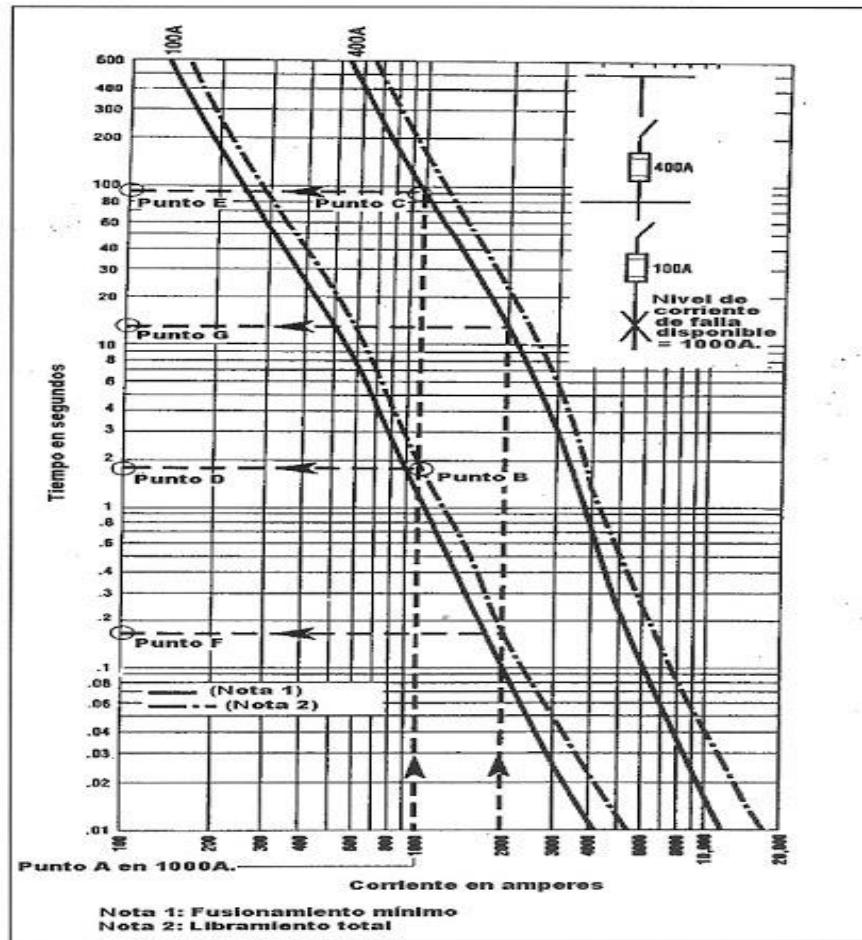


Figura 23

Curvas de fusibles para lograr selectividad. El fusible aguas abajo debe tener una corriente convencional de fusión inferior al que está aguas arriba.

2.8 Clasificación de los cortacircuitos fusibles

- 15, 27, o 38 kV
- 110, 125, 150, 180, o 200 kV BIL
- 100 A, 200 A con fusible
- 300 A, Cuchilla desconectadora
- Disponibles aisladores de porcelana, silicón o concreto de polímero
- Diseño para zona costera
- ECD (Aparato de Control de Emisión)
- Resorte expulsador

2.9 Descripción de los fusibles de alto poder de ruptura y de expulsión

El fusible de alta capacidad de ruptura, conocido como **fusible NH** (el nombre proviene de sus siglas del alemán, *Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherungen*, o *NH-Sicherungen*), y se caracteriza por tener una alta capacidad de ruptura o de corte frente a las corrientes de cortocircuito. Su habilidad consiste en interrumpir la corriente de cortocircuito en un brevísimo lapso de tiempo (0,5 ms) con lo cual se minimizan los efectos de estas corrientes. La capacidad de limitación de la corriente de cortocircuito suele ser menor y está acorde con la corriente nominal del cartucho fusible.

La fabricación de estos cartuchos fusible se realiza por tamaños. Estos van asociados con las corrientes nominales de los mismos, como se detalla a continuación:

Fusibles NH

Tamaño del fusible	Corriente inicial a máxima [A]
Tamaño 0	6 A a 160 A
Tamaño 1	35 A a 250 A
Tamaño 2	315 A a 400 A
Tamaño 3	425 A a 630 A
Tamaño 4	800 A a 1250 A

Tabla3



Figura 24
Fusibles NH.

Fusibles de expulsión

Un fusible de expulsión es un fusible ventilado en el que el efecto de expulsión de los gases producidos por el arco interno, por su cuenta o con la ayuda de otros mecanismos, provoca la interrupción de la corriente. Un fusible de expulsión no es limitador de corriente y, por consiguiente, limita la duración de una falla en el sistema eléctrico, no la magnitud.

Clasificación de los Fusibles en Baja Tensión

La forma como se clasifican los fusibles de baja tensión, de acuerdo a sus características de operación y constructivas son las siguientes:

Fusible Clase G

Son de 0-60 A y 300 V, de dimensiones pequeñas para uso en instrumentos de medidas, equipos electrónicos, etc. Disponibles en 4 tamaños diferentes 15, 20, 30 y 60 A con capacidad de ruptura de 100 KA.

Fusible Clase H

Capacidad nominal de 0-600 A y 600V. Son fusibles encapsulados con capacidad de ruptura máxima de 10 KA rms simétricos.

Fusible Clase J

Capacidad nominal de 0-600 A, 600 V. Tienen dimensiones físicas menores a las de un fusible clase H. Estos fusibles se clasifican como fusibles rápidos, limitadores de corriente y con capacidad de ruptura de 200 KA rms simétricos.

Fusible Clase K

Capacidad nominal 0-600 A, 250 y 600 V. Poseen las mismas dimensiones físicas que los fusibles clase H y tienen capacidades de interrupción entre 50, 100 KA y 200 KA simétricos.

Fusible Clase R

Capacidad nominal 0-600 A, 250 y 600 V. Son fusibles limitadores de corriente con capacidad de ruptura de 200 KA simétricos RMS.

Fusible Clase L

Capacidad nominal de 601-6000 A, 600 V y capacidad de ruptura de 200 KA efectivos simétricos.

Fusible Clase T

Capacidad nominal de 0-600 A, 250 y 600 V. Son fusibles limitadores de corriente compactos con 200 KA rms simétricos de ruptura.

Fusible de Complemento

Capacidad nominal de 0-60 A y 0-600 V. Se usan para proveer protección adicional a equipos energizados por circuitos que ya poseen protección de sobre-corriente. Por ejemplo en tubos fluorescentes, paneles de control para soldaduras, etc.

Fusible para Condensadores

Capacidad nominal de 0-250 A, 250 y 600 V. Se usan en conjunto con condensadores de potencia para aislar una unidad fallada del resto del banco. Para proveer buena protección, la corriente nominal del fusible debe especificarse de acuerdo a la capacidad de sobrecarga del fusible, generalmente especificado en función de los KVAR que puede entregar. Se debe tener especial cuidado con los voltajes post falla inducidos entre los terminales del fusible para evitar el reencendido del arco.

Fusible para Semiconductores

Corriente nominal de 0-6000 A, y rango de voltajes de 0-1000 V. Están diseñados para operar rápidamente en caso de sobre-corriente (sobrecarga o cortocircuito). Dimensiones físicas de estos fusibles dependen del nivel de tensión. Al seleccionar estos fusibles el $I^2 t$ (una expresión de la energía disponible como resultado por el paso de la corriente durante el tiempo de operación) del fusible debe compararse con el $I^2 t$ del elemento semiconductor. Los fusibles para uso en convertidores estáticos se especifican de la siguiente manera:

- Voltaje sin carga del transformador.
- Corriente rms a través del semiconductor.
- Máxima corriente de cortocircuito en el secundario del transformador.
- Corriente de cortocircuito máxima del semiconductor.

Es importante destacar que la selección de un fusible para proteger un semiconductor no debe hacerse en función de las corrientes nominales, pero sí en función de los valores de $I^2 t$ que soportan ambos dispositivos.

Fusible Limitadores de Corriente

Los fusibles limitadores de corriente deben su nombre al rápido tiempo de operación que poseen. La principal característica de estos fusibles es que son capaces de desenergizar el circuito en falla antes de que la corriente alcance su valor máximo. Esto obliga a tener tiempos de fusión y de apagado de arco inferiores a un cuarto de ciclo (5 ms). La máxima corriente de cortocircuito que verá un equipo protegido por un fusible limitador de corriente se puede

Determinar a partir de gráficos editados por normas. Estos gráficos permiten conocer la máxima corriente de cortocircuito que el fusible dejará circular por el sistema. El valor de $I_2 t$ mide la cantidad de energía calórica que pasará al circuito en caso de falla.

2.10 Ventajas e inconvenientes del uso de cortacircuitos fusibles

La ventaja de los cortacircuitos fusibles es su bajo valor y tamaño relativamente pequeño.

Un gran inconveniente de los fusibles es la imprecisión que tiene su curva característica de fusión frente a otros dispositivos que cumplen el mismo fin, tales como los interruptores automáticos. Esto equivale a decir que la banda de dispersión de los fusibles es mayor que la de los interruptores automáticos, pese a que el fabricante solamente facilita la curva media de los fusibles.

Otro inconveniente de los fusibles es la facilidad que tienen de poder ser usados con una misma disposición de base, hilos o láminas no adecuadas.

Así mismo, la independencia de actuación de los fusibles en una línea trifásica supone un serio problema, ya que con la fusión de uno de ellos se deja a la línea a dos fases, con los inconvenientes pertinentes que ello conlleva.

Otras desventajas son:

- Dificultad de protección contra sobrecargas
- En labores de mantenimiento se puede reemplazar un fusible por otro de calibre superior obteniéndose una falsa protección.

2. 11 Comparación entre el fusible y el interruptor automático

Los fusibles y los interruptores automáticos ofrecen una serie de ventajas y de inconvenientes que hacen que la elección de uno u otro dependa de la situación concreta. Los fusibles son baratos y reaccionan muy rápido a las sobrecargas ofreciendo más protección, lo que interesa especialmente en dispositivos electrónicos muy sensibles o caros. De hecho, es frecuente que los aparatos eléctricos más sensibles dispongan de sus propios fusibles. Esta rápida reacción de los fusibles puede volverse una desventaja si estamos en un circuito con picos regulares que alcancen el punto de ruptura de los fusibles.

Los fusibles han de reemplazarse por unos nuevos cuándo saltan, lo que puede suponer un auténtico inconveniente si no se dispone de ellos en el momento. Otra desventaja es que los fusibles suelen comprarse sin consejo profesional e instalarlos unos mismos; es fácil y frecuente elegir fusibles con una capacidad demasiado alta y esto lleva a que no cumplan con su propósito de protección.

Los interruptores automáticos tienen muchas ventajas. Puedes restaurar el paso de corriente eléctrica tan fácil como volver a encender el interruptor. No hay nada que

reemplazar cada vez que salta. Además, su manipulación es mucho más segura para la mayoría de la gente que la instalación de un fusible.

Una desventaja de los interruptores automáticos es que normalmente son más caros, no ya el interruptor en sí mismo sino su instalación y reparación y es frecuente que lo tenga que realizar un profesional. Los interruptores automáticos no reaccionan tan rápido como los fusibles y es posible que los dispositivos electrónicos conectados al circuito se dañen antes de que el automático salte por una sobrecarga.

Ambos tipos de interrupción eléctrica no pueden intercambiarse en todas las situaciones. Por ejemplo, un fusible no se puede utilizar como un interruptor de circuito de falla a tierra.

Actividad N°3

Introducción a la actividad

En esta actividad, los participantes examinarán un cortocircuito fusibles, identificando sus partes y proponiendo sus causas de falla.

Aprendizaje esperado que desarrolla

Los participantes conocerán un cortocircuito fusible, sus elementos estructurales e Interpretarán parámetros de su hoja de datos.

Estrategia metodológica para el instructor

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de situaciones	

Descripción de la actividad

Se contará con un cortocircuito fusible para inspeccionarlo visualmente, inferir su funcionamiento, medir su resistencia eléctrica y leer su hoja de datos.

Materiales y recursos

N°	Cantidad	ítem
1	1	Cortacircuitos fusible
2	1	Milióhmetro

Desarrollo de la actividad

Examine el cortocircuito fusible que tiene para esta actividad y responda:

1. ¿De cuántos polos es?
2. ¿De qué material está hecha la base?
3. Trate de observar presencia de corrosión en terminales y puntos de contacto con fusible.
4. Escriba una lista de los elementos que constituyen el cortocircuito.
5. ¿Para qué voltaje de operación está diseñado este equipo?
6. ¿Para qué corriente de operación está diseñado este equipo?
7. ¿Para qué voltaje el fabricante garantiza su rigidez dieléctrica?
8. ¿Cuántos V kVIL aparecen en la hoja de datos? ¿Qué significa este parámetro?
9. Con el milióhmetro, mida la resistencia del fusible.

10. Inserte el fusible en el portador y mida la resistencia entre terminales del equipo con el milióhmetro.
11. Determine la resistencia de la ruta conductora del equipo, excluyendo el fusible.
12. Plantee posibles fallas de este equipo en una red de MT o AT

Respuestas para el instructor

7. Acción de rayos sobre la rigidez dieléctrica.

11. Factores ambientales: humedad y polvo, pérdida de rigidez dieléctrica. Soltura de pernos y fijaciones por vibración y dilatación térmica. Fundición de contactos por cortocircuitos. Presencia de corrosión en terminales.

Cierre

Se ha observado la constitución física de un cortocircuito fusible, extraído sus parámetros más importantes de la hoja del fabricante e identificado sus causas de falla más probables.

3. Principios básicos de la interrupción de corriente en interruptores de alta tensión

3.1 Principios de interrupción de una corriente alterna

Desde un punto de generación, la energía eléctrica debe transportarse hacia los puntos de consumo por medio de una red eléctrica. Ya sea en una ciudad, una industria o una máquina minera, es indispensable poder cortar el suministro de corriente en cualquier punto de la línea o red. Esto por razones de operación y de mantenimiento o para proteger la red cuando hay un fallo.

De igual forma, es necesario restablecerla en diversas situaciones normales o de defecto. Para esto se emplean aparatos de desconexión, switch gear cuya elección depende de la naturaleza de las corrientes a cortar y del campo de aplicación.

Estas corrientes pueden clasificarse en tres categorías:

- **Intensidades de carga**, equivale a la corriente nominal I_r . La intensidad asignada I_r es el valor de la intensidad que el material debe ser capaz de soportar indefinidamente en las condiciones prescritas de uso y de funcionamiento.
- **Intensidad de sobrecarga**, la intensidad que es superior a su valor asignado.
- **Intensidad de cortocircuito**, la que se produce después de un fallo en la red. Su valor depende de la potencia de la fuente, del tipo de fallo y de las impedancias aguas arriba del circuito.

Esfuerzos de los interruptores

Tanto en la apertura como en el cierre, así como en servicio continuo, todos estos aparatos están sometidos a esfuerzos, los cuales tienden con el tiempo a generar desgaste:

- Esfuerzos dieléctricos (voltaje)
- Esfuerzos térmicos (corrientes anormales y corrientes de fallo),
- Esfuerzos electrodinámicos (corrientes de fallo)
- Esfuerzos mecánicos (vibraciones, choque debido a conmutación)
- Esfuerzos ambientales (clima, condiciones del entorno)

Los esfuerzos más importantes están vinculados a los fenómenos transitorios que intervienen en las maniobras y en los cortes con arco eléctrico de corrientes de fallo. Tienen un comportamiento difícil de determinar previamente a pesar de las técnicas actuales de modelización. Así pues, los elementos que mayormente contribuyen al diseño de los aparatos de corte son la experiencia, el saber hacer y la experimentación.

A estos aparatos se les llama «electromecánicos» puesto que, todavía hoy, el corte estático en media y alta tensión no se vislumbra ni desde el punto de vista técnico ni económico. Y, entre todos los aparatos de desconexión, los disyuntores son los más

interesantes puesto que son capaces de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales y anormales (cortocircuito).

Principio del corte de corriente

Un aparato de corte ideal sería un aparato capaz de interrumpir la corriente instantáneamente. Sin embargo, no hay ningún aparato mecánico que sea capaz de cortar la corriente sin la ayuda del arco eléctrico, que disipa la energía electromagnética del circuito eléctrico, limita las sobretensiones, pero retarda el corte total de la corriente.

Teóricamente, **el interruptor ideal** es aquél con capacidad para poder interrumpir instantáneamente una corriente, ser capaz de pasar directamente del estado conductor al estado aislante en un instante. La resistencia de este interruptor «ideal» debe pasar inmediatamente de cero a infinito.

Un aparato ideal, por tanto, debería ser capaz de:

- Absorber toda la energía electromagnética acumulada en el circuito antes del corte, o sea, en caso de cortocircuito, dada la naturaleza inductiva de las redes.
- Soportar la sobretensión ($L \, di/dt$) que aparecería en sus bornes y que tendría un valor infinito si el paso aislante-conductor se hiciese en un tiempo infinitamente pequeño, lo que llevaría indudablemente a la descarga dieléctrica.



Figura 25

(a) Desconectador. (b). Efecto luminoso ante la desconexión de un circuito.

Suponiendo que estas dificultades se eliminan por medio de una sincronización perfecta entre el paso natural por cero de la corriente y la transición aislante-conductor del aparato, todavía hay que superar otro fenómeno también muy delicado: el de la tensión transitoria de restablecimiento (TTR). En efecto, inmediatamente después de la interrupción de la corriente, la tensión de restablecimiento en los bornes del interruptor alcanza la tensión de red, que es máxima en este instante, para los circuitos inductivos. Esto ocurre sin una discontinuidad brutal por la presencia de capacidades parásitas en la red. En este instante se establece un régimen transitorio que permite el ajuste de la tensión a la de la red. Esta tensión, llamada «tensión de las características de la red y su velocidad de crecimiento (dv/dt) puede ser considerable (del orden de $kV/\mu s$). Simplificando, esto significa que, para afrontar el desafío del corte, el interruptor ideal

debe poder soportar varios kV menos de un micro segundo después de la transición conductor-aislante.

3.2 Corte con arco eléctrico

El arco eléctrico es el efecto lumínico asociado a la desconexión de circuitos eléctricos en los puntos donde se realiza tal desconexión. Dos razones explican la existencia de un arco:

- Es prácticamente imposible separar los contactos exactamente en el cero natural de corriente debido a la incertidumbre medida-mando: para un valor eficaz de 10 kA, la corriente instantánea 1 ms antes alcanzar su cero vale todavía 3000 A.
- La sobretensión instantánea $L \, di/dt$ que aparecería en los bornes del aparato si éste se transformara inmediatamente en aislante sería infinita y conllevaría la perforación inmediata del espacio intercontactos todavía pequeño.

La separación de los contactos se debe hacer a una velocidad suficiente para que la resistencia dieléctrica entre los contactos sea superior a la tensión transitoria de restablecimiento. Esto necesita una energía mecánica próxima al infinito que en la práctica ningún aparato puede proporcionar.

El proceso de corte con un arco eléctrico está constituido por tres períodos:

- el período de espera
- el período de extinción,
- el período post-arco

El período de espera: Antes del cero de corriente, los dos contactos se separan provocando la ruptura dieléctrica del medio intercontactos. El arco que aparece está constituido por una columna de plasma compuesta por iones y por electrones procedentes del medio intercontactos o de los vapores metálicos desprendidos por los electrodos. Esta columna se conserva conductora mientras que su temperatura sea suficientemente elevada. Así el arco se mantiene por la energía que él mismo disipa por efecto Joule.

La tensión que aparece entre los dos contactos por la resistencia del arco y por las caídas de tensión de superficie (tensiones anódica y catódica) se llama la tensión de arco (U_a). Su valor, que depende de la naturaleza del arco, está influenciada por la intensidad de corriente y por los intercambios térmicos con el entorno (paredes, materiales,...). Estos intercambios térmicos, que se realizan por radiación, convección y conducción, son característicos de la potencia de enfriamiento del aparato. La función de la tensión de arco es esencial, pues condiciona la potencia disipada por el equipo dentro del aparato durante el corte: donde t_0 es el instante de inicio del arco y t_{ac} es el instante del corte. En Media y Alta Tensión, ésta permanece siempre mucho más pequeña que las tensiones de red y por tanto no tiene efectos limitadores, salvo artificios especiales desarrollados más adelante. El corte se realiza, pues, cerca del cero «natural» de la corriente alterna.

El período de extinción: La interrupción de corriente que corresponde a la extinción del arco se hace en el cero de corriente a condición de que el medio se convierta rápidamente en aislante. Para esto, la corriente de moléculas ionizadas debe romperse. El proceso de extinción se hace de la manera siguiente. Cerca del cero de corriente, la resistencia del arco aumenta según una curva que depende principalmente de la constante de tiempo de desionización del medio intercontactos.

En el cero de corriente, esta resistencia tiene un valor que no es infinito y todavía hay una corriente post-arco que atraviesa el aparato debido a la tensión transitoria de restablecimiento que aparece en sus bornes. Si la potencia disipada por el efecto Joule sobrepasa la potencia de enfriamiento característica del aparato, el medio no se sigue enfriando, se produce un embalamiento térmico seguido de una nueva ruptura dieléctrica: es una ruptura térmica. Si, por el contrario, el crecimiento de la tensión no excede un cierto valor crítico, la resistencia del arco puede aumentar con suficiente rapidez para que la potencia disipada en el medio permanezca inferior a la potencia de enfriamiento del aparato, evitando así el embalamiento térmico.

El período post-arco: Para que el corte tenga éxito, también es necesario que la velocidad de regeneración dieléctrica sea más rápida que la TTR de otro modo aparece una perforación dieléctrica. En el instante en que se produce la ruptura dieléctrica, el medio se convierte de nuevo en conductor, lo que genera fenómenos transitorios que se expondrán en detalle más adelante. Estas rupturas dieléctricas post-corte se llaman: *reencendidos*, si tienen lugar en el cuarto de período que sigue al cero de corriente, *recebados*, si se producen después

La TTR en las normas Aunque la velocidad de crecimiento de la TTR tiene un papel fundamental en las capacidades de corte de los aparatos, su valor no puede determinarse con precisión para todas las configuraciones de red. La norma CEI 60056 define para cada tensión nominal un valor límite que corresponde a las necesidades que se encuentran normalmente.

3.3 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.

3.4 El arco eléctrico y la Ley de Paschen

Ya se ha mencionado que en la desconexión eléctrica, aparece un arco eléctrico entre los contactos que se separan como un mecanismo natural que es consecuencia del principio de conservación de la energía. Se explicará de una manera simplificada las variables que intervienen en la producción de un arco eléctrico, lo cual permitirá comprender posteriormente las estrategias que se usan para minimizarlo debido a su acción destructiva sobre las piezas eléctricas y mecánicas de un interruptor.

Consideremos un dispositivo como el que se esquematiza en la Figura siguiente. Una fuente de tensión aplica un voltaje V_e al circuito, determinando un voltaje V entre un par de electrodos ubicados en el interior de un tubo cerrado que contiene un gas determinado.

Si el voltaje de alimentación V_e es muy bajo, prácticamente no hay conducción de corriente a través del medio gaseoso y el voltaje interelectródico es igual a V_e . Sin embargo, si aumentamos V_e podemos notar que a partir de un valor dado se produce una descarga a través del gas, estableciéndose una corriente interelectródica. Esta descarga se origina cuando electrones “semilla” (inyectados artificialmente o producidos por rayos cósmicos o radiación UV) son acelerados por el campo eléctrico y alcanzan una energía suficiente para ionizar a los átomos o moléculas del gas. A partir de allí se inicia un proceso de avalancha electrónica cuya magnitud depende de varios factores: tasa de ionización, pérdida de energía (colisiones elásticas, excitación), pérdida de electrones (difusión, recombinación).

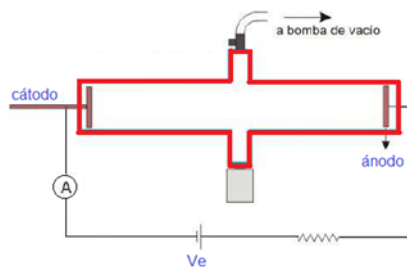


Figura 26

Arreglo experimental Ley de Paschen.

La avalancha de electrones va acompañada de un fenómeno luminoso (arco) conocido como descarga “glow”. Las curvas del voltaje interelectródico V en función de la corriente I que circula a través del circuito permiten obtener mucha información acerca de la descarga. En la Figura siguiente se puede ver una curva típica de V vs. I .

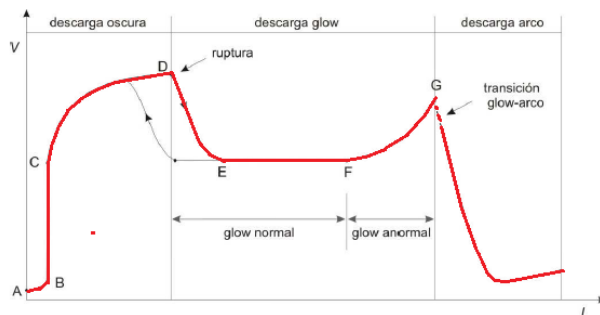


Figura 27

Corriente en función del voltaje en experimentos de descarga glow.

3.5 Características de los arcos

Se hace referencia a la Fig. 83 para explicar las diferencias en tipos de arco.

Descarga oscura

El régimen entre los puntos A y D de la curva recibe el nombre de descarga oscura ya que la excitación del medio gaseoso es tan pequeña que no se observa emisión de luz.

A – B: se observa una corriente débil provocada por la migración hacia los electrodos de cargas espurias (producidas mayormente a fuentes externas de radiación). Si se aumenta el voltaje entre los electrodos se observa un aumento de la corriente debido a una mayor eficiencia en la colección de las cargas.

B – C: si el voltaje se aumenta lo suficiente se colecta la mayor cantidad de cargas espurias posibles y se alcanza una saturación en la corriente. En esta región la corriente permanece constante a pesar de que aumente V.

C – D: si se sigue aumentando el voltaje la corriente comienza a crecer exponencialmente. La energía que alcanza un electrón inicial es suficiente para ionizar un átomo o una molécula del gas. Si el campo es suficientemente intenso el electrón secundario (producto de esa ionización) puede ionizar otro átomo o molécula, produciendo un efecto de avalancha. Esta región recibe el nombre de descarga *Townsend*. Las corrientes típicas de esta región varían entre 10^{-10} a 10^{-5} A.

D: ruptura eléctrica. En este punto la corriente puede aumentar entre 4 y 8 órdenes de magnitud. Se suma a la corriente la contribución de cargas liberadas en procesos de emisión secundaria debida a la incidencia de iones y fotones sobre el cátodo.

Descarga glow

Esta región de la curva debe su denominación a la emisión de radiación visible que se produce (glow = brillo). La luminosidad se debe a que la energía y densidad de las cargas son suficientes para provocar numerosas excitaciones en el medio gaseoso, cuya desexcitación produce emisión de luz.

E – F: después de una transición abrupta entre D y E se alcanza el régimen de descarga glow normal. En esta región el voltaje interelectródico es prácticamente independiente de la corriente. A medida que aumentamos el voltaje de alimentación V_e aumenta la corriente sin haber modificaciones en V . Esto se debe a que se produce un aumento del área a través de la cual fluye la corriente, sin cambio de la densidad de corriente.

F – G: cuando se cubre el área del cátodo totalmente (punto F), la corriente se aumenta a expensas de un aumento en j , lo cual se traduce en un aumento de V . A esta región se la denomina descarga glow anormal. Si se parte del punto F y se recorre la curva hacia la izquierda se observa un ciclo de histéresis.

Descarga arco

Cuando la corriente alcanza valores típicos de 1 A la descarga glow precipita en un arco. En esta zona de la curva se produce una fuerte caída de V y un aumento de I .

Comportamiento con la presión

La próxima Figura muestra una serie de curvas V vs. I en las que se recorren los regímenes de descarga oscura, glow normal y glow anormal, para distintas presiones. Se puede observar cómo aumenta el rango de valores de corriente para los cuales existe glow normal a medida que se incrementa la presión. Los datos de esta Figura corresponden a una descarga en Neón.

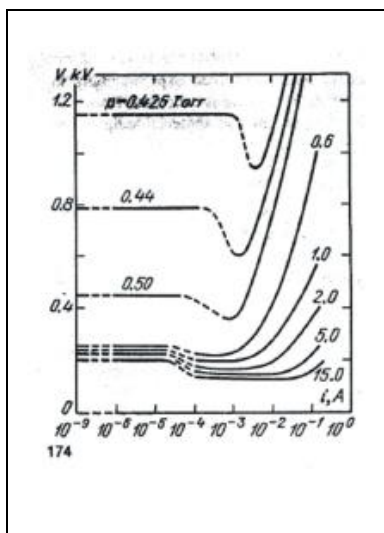


Figura 28

Influencia de la presión en la generación de una descarga

Curvas de Paschen

El voltaje de ruptura (V_t), también llamado potencial de ignición (punto D de la Figura siguiente), del gas utilizado, del material del cátodo, de la presión (p) y de la distancia entre los electrodos (d). En la Figura 5 se pueden ver las curvas de Paschen, que muestran la dependencia de V_t con el producto pd .

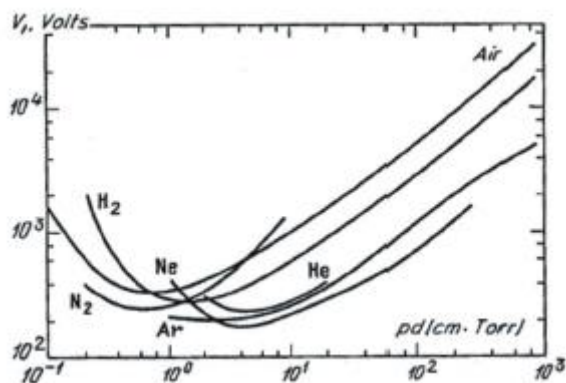


Figura 29

Curvas de Paschen

Estas curvas presentan un mínimo que corresponde al punto en que los electrones poseen la máxima capacidad de ionización. Para valores de pd menores que este punto (rama izquierda de la curva de Paschen), la probabilidad de colisión entre los electrones y las partículas del gas es muy pequeña y, por lo tanto, es necesario aumentar el campo eléctrico para lograr una amplificación que desencadene una descarga autosostenida. Para valores grandes de pd (rama derecha de la curva de Paschen) el aumento de V_t es causado por un aumento de las pérdidas de electrones en el sistema.

En general, la Ley de Paschen expresa lo siguiente:

$$V = \frac{apd}{\ln(pd) + b}$$

Dónde:

V: tensión disruptiva en Volts

p: presión en atmósferas

d: distancia entre láminas conductoras en metros

a, b: constantes que dependen de la composición del gas.

Es un modelo matemático aproximado bien verificado experimentalmente aunque no es aplicable a distancias del orden de unos cuantos micro metros.

Actividad N°4

Introducción a la actividad

En esta actividad, se realizarán rutinas de mantenimiento a un interruptor de AT.

Aprendizaje esperado que desarrolla

Los participantes pondrán en práctica algunos puntos importantes de las rutinas de mantenimiento de interruptores de AT y MT.

Estrategia metodológica para el instructor

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de situaciones	

Descripción de la actividad

Se contará con un interruptor automático, idealmente de MT o AT, pero en su defecto con uno de BT. Se realizarán algunas rutinas de mantenimiento.

Materiales y recursos

N°	Cantidad	ítem
1	1	Interruptor automático, desconectador, circuit breaker
2	1	Milióhmetro
3	1	Medidor de resistencia de aislación
4.	1	Probador hipot

Desarrollo de la actividad

1. Tome el interruptor de prueba (supongamos un interruptor trifásico de 380V), desenergizado y fuera de todo circuito.
2. Atornille los bornes hasta que queden fijos, sin insertar ningún cable.
3. Encienda el milióhmetro y haga ajuste a cero si corresponde.
4. Con una pinza del instrumento toque uno de los bornes del interruptor (en posición cerrado) y la otra en la salida. Registre la medida de resistencia de contacto de este polo.
1. Registre la temperatura ambiente.

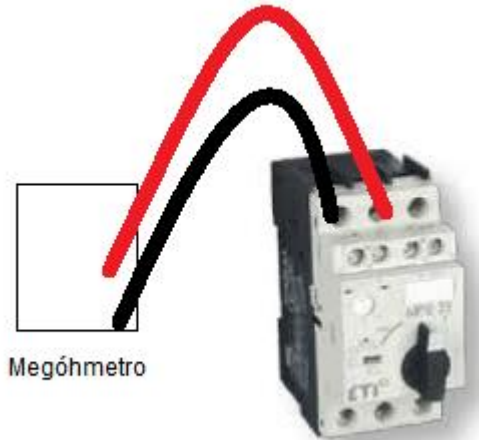
5. Repita el paso 4 para los dos restantes polos del interruptor. Si ve alguna asimetría, es decir, una diferencia por sobre un 5%, revise las puntas del instrumento y verifique que no haya corrosión en los puntos de contacto.
6. Proceda a medir resistencia de aislación: Conecte el terminal rojo del instrumento a un borne y el terminal negro a otro borne de un polo distinto. Ajuste el voltaje de prueba a 500V, tome las precauciones de seguridad para que no se produzcan daños a terceros o a Ud. mismo.
7. Inicie la prueba y espere 60 segundos. Registre el valor de la resistencia de aislación y la temperatura ambiente.
8. Repita la prueba para otro par de polos y registre el valor de resistencia de aislación.
9. Complete para el último par de polos y registre.
10. Analice los resultados para saber si hay alguna asimetría en las medidas registradas.
11. Proceda a conectar el probador hipot de la misma forma que el medidor de aislación.
12. (Puede usar el mismo medidor de aislación si el voltaje nominal del interruptor que está probando es al menos 3 veces menor que la del instrumento hipot.
12. Setee el probador hipot a un valor de 1,7 veces el voltaje nominal del interruptor.
13. Espere 30 segundos y repita para los otros pares de polos.
14. Si no observa “saltos” en la corriente de fuga o el trip del instrumento hipot no se acciona, significa que el interruptor posee una rigidez dieléctrica adecuada para la operación.

Respuestas para el instructor

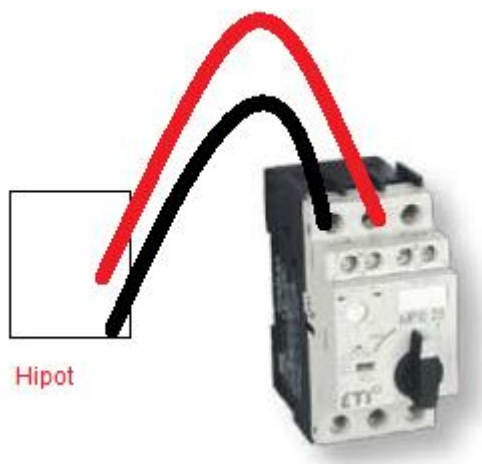


4.

6.



11.



Cierre

Con estas pruebas, se ha puesto en práctica los test eléctricos más importantes para equipo de potencia que operan a altos voltajes y corrientes. Con equipo más avanzado se puede probar la simultaneidad de la conexión/desconexión.

4. Interruptores de alta tensión

4.1 Definición de interruptor automático

Los interruptores automáticos son un medio para abrir o cerrar un circuito eléctrico. Este tipo de interruptores actúa como un cortacorriente pero en lugar de ser desechado, se restablece con una palanca.

Los estados de operación son los siguientes:

ABIERTO (O) Aislamiento seguro entre terminales, para corrientes nominales de operación o hasta de corto circuito según el caso.

CERRADO (I) Soporte de esfuerzos térmicos y dinámicos que implica la conexión bajo corrientes nominales de operación.

Características

En este punto se pueden describir los siguientes equipos principales:

Desconectador

Para conexión y desconexión de circuitos sin flujo de corriente

Interruptor de carga

Con capacidad para conectar y desconectar a valores hasta el doble de la corriente nominal.

Interruptores de motores

En este caso las capacidades de interrupción se ajustan a la corriente de arranque del motor.

Interruptor de potencia

Su capacidad de interrupción tiene que cubrir una Corriente de Cortocircuito.

En este caso como el anterior el problema principal es extinguir el arco eléctrico formado al separarse ambos contactos energizados, es decir bajo flujo de corriente o con carga conectada.

En bajo voltaje no se justifica económicamente el uso de medios aislantes como gases, aire a presión o aceite. Aquí se utilizan cámaras de extinción de arco eléctrico que se encuentran entre ambos contactos al separarse. Estas cámaras enfrían y desionizan el arco, conduciéndolo de tal manera que es forzado a tener una trayectoria más larga. Lo que demanda un voltaje mucho mayor para su permanencia. De manera que al instante del cruce por cero de la señal de alterna, el arco está tan extendido o tan largo que ya no se reestablece después del cruce por cero.

Los tipos de accionamiento son en bajo voltaje predominantemente manual, aunque existen también accionamiento por medio de relevadores de voltaje y otros accionamientos del tipo magnético, con motor o de presión de aire.



Figura 30
Interruptor automático.

Interruptor Termomagnético

Los interruptores termomagnéticos han desplazado en muchas aplicaciones a los fusibles. En este caso se tiene en combinación un interruptor térmico (Bimetal) como protección contra sobre corriente y uno electromagnético con accionamiento rápido para protección contra corto circuito. Dependiendo de la aplicación existen diferentes curvas de operación, con ambas regiones de protección: contra sobrecorriente (inversa) y contra cortocircuito (rápida o instantánea).

4.2 Parámetros de los interruptores

Al igual que otros interruptores de AV, los interruptores automáticos, llamados también Circuit Breakers (CBs) están clasificados según el voltaje, la corriente, y la frecuencia. Los kV nominales y los kV de diseño máximo con los cuales ellos operan generalmente son valores muy aproximados. El rango nominal de operación en kV no debe exceder el rango en kV de diseño máximo. El rango en kV BIL será varias veces mayor que la tensión de diseño máximo, generalmente del orden de cinco veces.

Ellos tienen un rango similar de interrupción de corriente y de transporte de corriente, generalmente 600 A, 1200 A, hasta y a veces superiores a los 6000 A. Tienen un rango máximo de interrupción de corriente de falla en kA (Ej.: 40 kA), y un rango nominal máximo de corriente de cierre en kA (ej.: 64 kA). Estos altos rangos nominales son análogos a los niveles de corriente de ruptura del fusible. Esto significa que el interruptor no se destruirá con estas magnitudes de corriente de falla, siempre y cuando las corrientes de la falla sean de corta duración.

Normalmente, el tiempo de interrupción nominal es mostrado en la placa en ciclos o mili-segundos, como por ej.: 3 ciclos (60 ms.).

Al igual que otros switch gear, un CB puede estar diseñado tanto para uso exterior como para uso interior, y para climas extremos.

Al igual que los fusibles, los interruptores automáticos poseen una curva I/t.

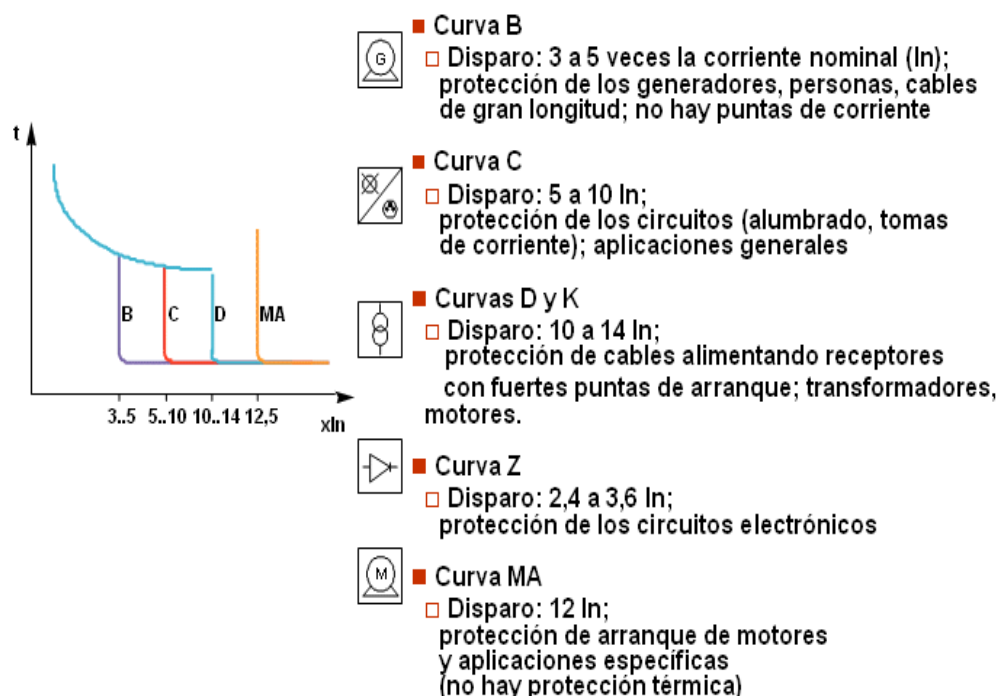


Figura 31
Curvas de un interruptor automático.

4.3 Elementos constructivos de los interruptores

Generalmente, los interruptores con rangos de voltajes menores, generalmente de MT, tienen los tres polos instalados juntos en un soporte común, con un solo mecanismo de operación.

En interruptores de tensiones nominales mayores, los polos a menudo se encuentran instalados en estructuras de soporte individuales para cada polo, y cada uno de estos polos cuenta con su propio mecanismo de funcionamiento. Sin embargo, los tres polos deben cerrarse y abrirse juntos.

Cámara de Interrupción o Ruptura

Lugar donde se produce la interrupción del circuito. Los interruptores se identifican por el medio en el cual los contactos se separan, tales como el aire, el vacío, el aceite, y el hexafluoruro de azufre (SF_6). Estos se describen a continuación.

Los interruptores utilizados en los sistemas de transmisión a menudo son de diseño modular: el número de cámaras de interrupción conectadas en serie aumenta con la tensión nominal del circuito. Los interruptores pueden ser accionados por una estación de control de botoneras, ya sea local o remota, pero ofrece también la opción operación manual. La fuente de energía para los mecanismos de disparo puede provenir de un transformador, de otra fuente CA, o de un circuito standby CC.

En la mayoría de los CBs, la energía para mover los contactos principales se almacena en un resorte. El resorte se carga por medio de un motor eléctrico, y es mantenido preparado para accionar por un sistema de enganche. Una bobina de disparo y una bobina de cierre se utilizan para liberar el mecanismo de cerrojo (enganche) que sujeta el resorte. Una vez liberado, la acción del resorte abre y cierra los contactos.

El movimiento de los contactos a alta velocidad, para abrirlos o cerrarlos, algunas veces es realizado por medio de sistemas neumáticos o hidráulicos, pero estos métodos son los menos comunes.

Una combinación de sistema hidráulico y de un resorte es también utilizado. La energía es transmitida por la presión del aceite y almacenada con la ayuda del resorte. Una bomba empuja el aceite hacia un cilindro de alta presión en el cual el pistón carga el resorte utilizado para abrir y cerrar el interruptor.

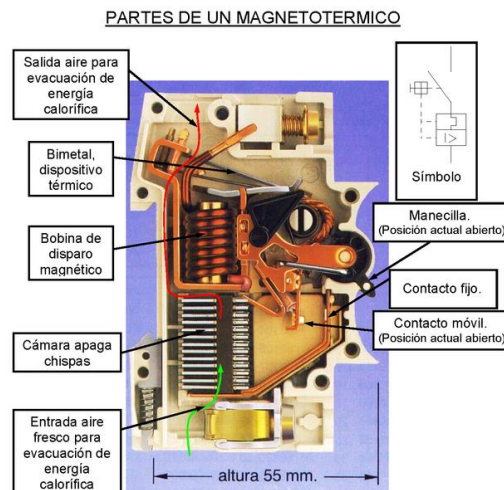


Figura 32

Partes de un interruptor termomagnético

Los tipos más comunes de disyuntores que se encuentran en las instalaciones de AV son:

- De aire-magnético
- Al vacío (Vacuum)
- De aceite (Oíl)
- De presión o disparo de aire (Air blast)
- De hexafluoruro de azufre
- Reconector (Recloser)

Aire- Magnético

El interruptor de aire-magnético es de media tensión, utilizado hasta con un rango nominal de 15 kV, y para rangos nominales de corriente hasta y aproximadamente 3000A. El arco es interrumpido en el aire, pero la extinción del arco es asistida por las bobinas de extinción o soplado magnéticas (*blow out coils*) y las placas de desviación

(*baffle plates*). Una bobina de soplado es una bobina de baja impedancia conectada en serie. Ver Figura 91

Cuando los contactos principales se separan:

1. El arco de corriente es transferido a los electrodos de guarda fijos en la cámara del arco por medio de las bobinas de soplado.
2. El campo magnético establecido actúa para forzar el arco formado entre los contactos hacia una serie de placas de desviación, donde es enfriado y alargado hasta que el voltaje no sea capaz de mantenerlo
3. Un dispositivo adicional llamado *puffer* también sopla aire dentro del arco a medida que los contactos se separan para ayudar en la extinción del arco. Tenga en cuenta, que diferentes fabricantes tienen variados diseños de configuraciones de contacto y de bobinas de soplado.

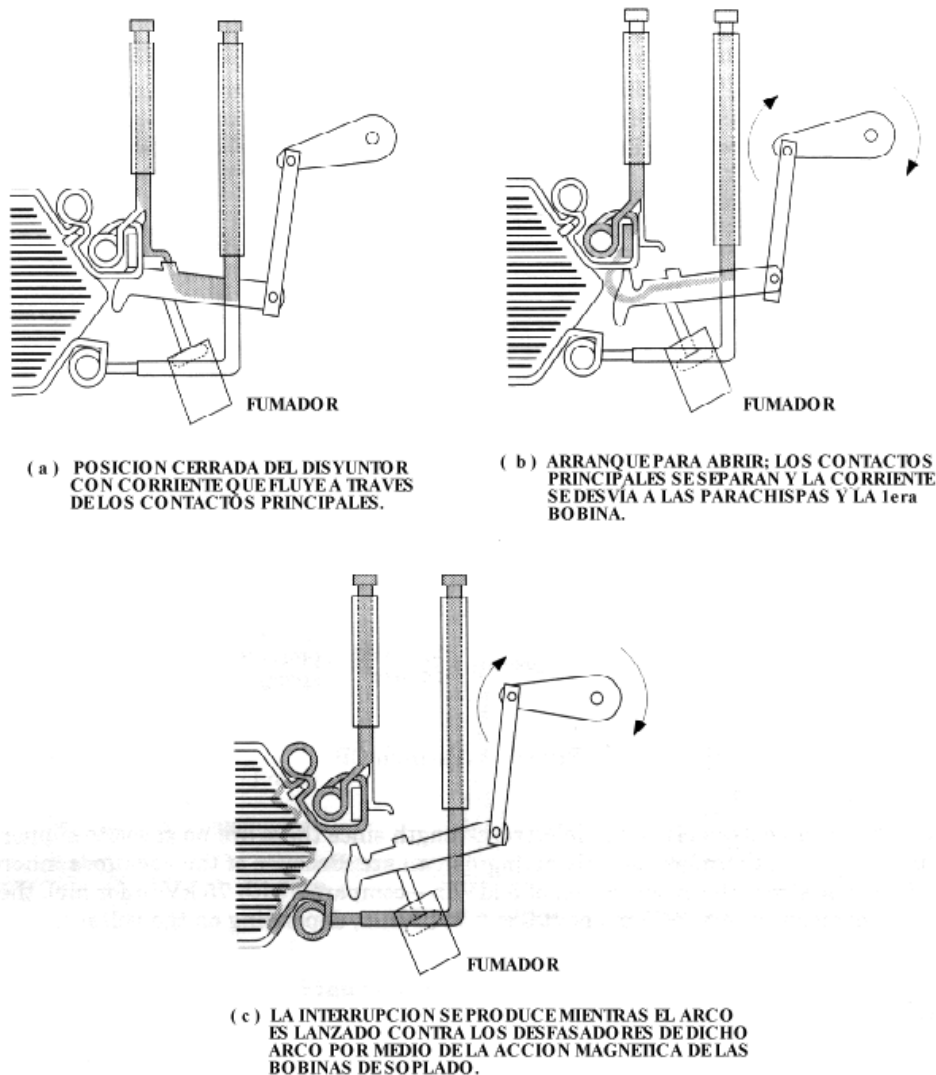


Figura 33

Acción típica de un CB de aire- magnético

Las fuerzas de apertura y cierre provienen de un resorte tensionado por motor, el que también puede ser cargado manualmente con una manivela. La energía de control para las bobinas de disparo y de cierre del CB, puede obtenerse desde un transformador o de una fuente de CC independiente.

Vacío (Vacuum CB)

Los CBs al vacío se utilizan en los sistemas de media tensión. Es una unidad muy compacta comparada con un CB de aire, y ocupa considerablemente menos espacio. Los contactos cierran e interrumpen la energía en una cámara al vacío dentro de un cilindro de porcelana. Un resorte tensionado por motor se utiliza para abrir y cerrar los contactos (Figura 92).

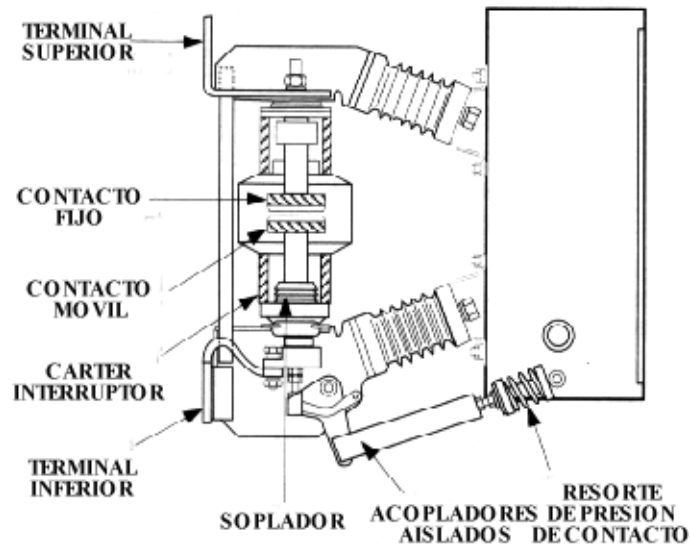


Figura 34

CB al vacío



Figura 35

Circuit breaker.

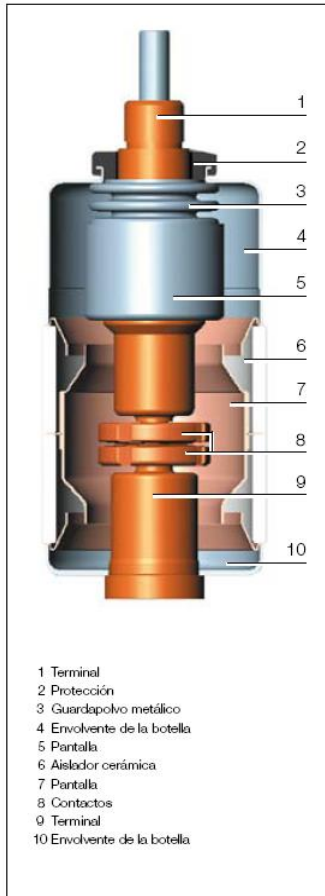
El vacío tiene una fortaleza dieléctrica extremadamente alta, ya que no existen gases para apoyar la conducción. Por lo tanto, puede extinguir rápidamente un arco. Debido a la inherente alta fortaleza dieléctrica del vacío (en la región de 5 MV/pulgada comparado con 75 kV/pulgada para el aire), el movimiento de los contactos es corto, desde aproximadamente 6 mm a 25 mm, dependiendo del voltaje.

La interrupción de la corriente en vacío

El interruptor en vacío no necesita un medio de interrupción y aislante. La botella no contiene por lo tanto material ionizable. Con la separación de los contactos se verifica de todos modos la generación de un arco eléctrico que está constituido exclusivamente por la fusión y vaporización del material de los contactos.

La energía externa mantiene el arco eléctrico hasta que no se anula la corriente en proximidad del cero natural. A continuación, la brusca reducción de la densidad de carga transportada y la rápida condensación del vapor metálico, lleva a un inmediato restablecimiento de las propiedades dieléctricas.

La botella de vacío vuelve a adquirir su poder aislante y la capacidad de sostener la tensión transitoria de retorno, extinguendo definitivamente el arco. Como en el vacío es posible alcanzar una elevada rigidez dieléctrica, incluso con distancias mínimas, la interrupción del circuito está garantizada también cuando la separación de los contactos se verifica poco milésimo de segundo antes del pasaje de la corriente por el cero natural.



Botella de vacío

Figura 36
Cámara de vacío.

CB de Aceite (Óil CBs)

El arco de corriente es interrumpido por el aceite, el cual tiene una fortaleza dieléctrica comparada con el aire, y tiene propiedades excelentes de extinción del arco. El CBs de aceite viene en dos tipos, los que se describen independientemente abajo:

- De baño de aceite, o *bulk oil* - el tipo antiguo. Gran Volumen
- Del mínimo de aceite - el diseño más moderno. Pequeño Volumen

Del Tipo Baño de Aceite (Bulk oil). Gran Volumen

En el CB del tipo de baño de aceite, se utiliza un resorte tensionado por motor para abrir y cerrar los contactos a alta velocidad. El aceite actúa extinguiendo el arco, ahogándolo y enfriándolo durante la interrupción de corriente.

Los CBs de baño de aceite son grandes y ocupan gran espacio, y han sido gradualmente descontinuados del mercado por las siguientes razones:

- El aceite es una sustancia inflamable
- El aceite es objeto de contaminación
- La fuga de aceite produce serios problemas de medio ambiente

Del Tipo Mínimo de Aceite (Minimum oil) Pequeño Volumen

El interruptor de pequeño volumen aceite contiene sólo unos pocos litros de aceite, pero el diseño es tal que este aceite es forzado a altas presiones a través de los contactos, para enfriar e interrumpir el arco de corriente. (En el tipo de baño de aceite, esto no sucede, aunque la interrupción del arco se ayude con contactos auxiliares y resistores en derivación o *shunt resistors*.) Aquí nuevamente, se utiliza un resorte tensionado o cargado por motor para abrir y cerrar los contactos a alta velocidad. Ver Figura 93.

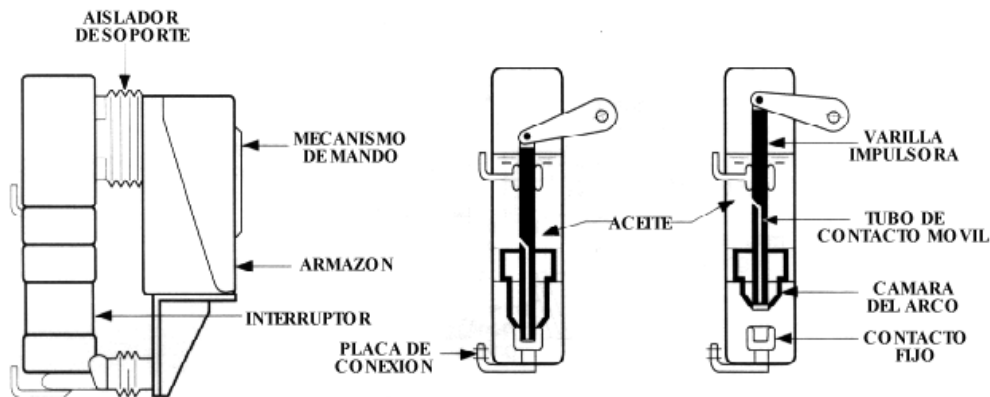


Figura 37

CB del mínimo de aceite

Los interruptores del tipo mínimo de aceite, se utilizan individualmente para media tensión de hasta 34,5 kV, y en aplicaciones modulares en series para tensión alta y extra-alta.

Interruptores Presión de aire (Air blast CB)

Uno de los tipos de interruptores más antiguos, el tipo presión o disparo de aire utiliza el aire como la fuerza que aísla, extingue el arco, y abre y cierra los contactos. El aire es disparado a través de los contactos que se separan a una alta velocidad para así extinguir el arco, o interrumpir dicho arco, asistido con el uso de resistores en paralelo y contactos auxiliares.

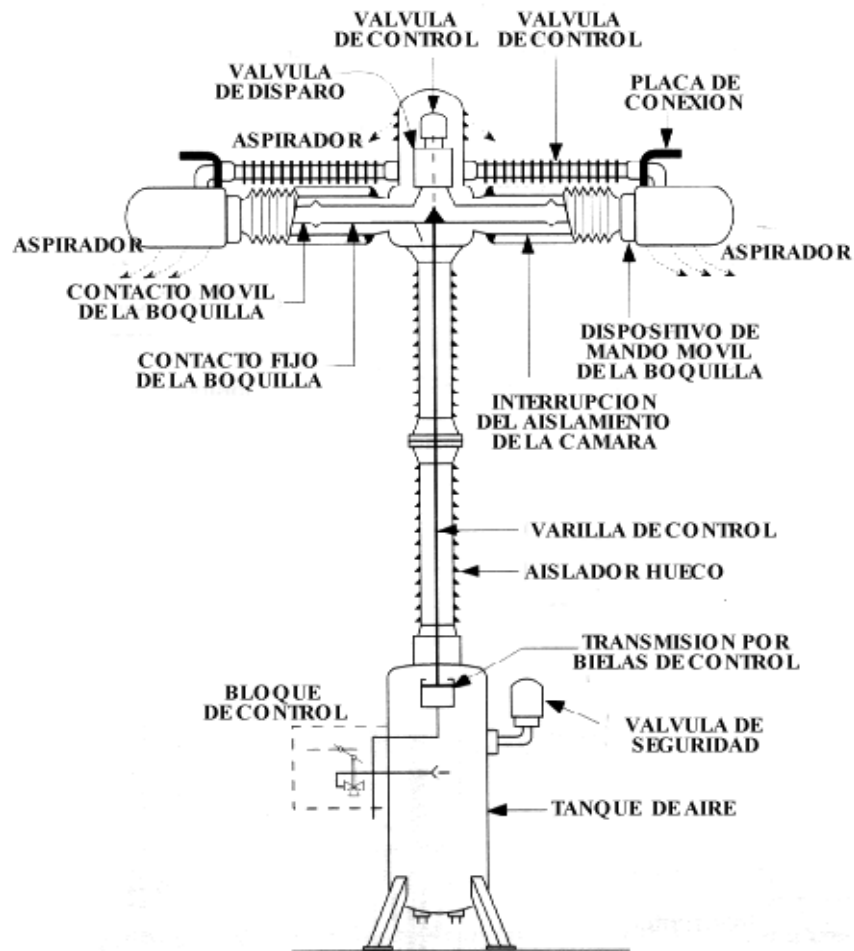


Figura 38
CB tipo disparo de aire

El aire proviene de un tanque de reserva que forma parte del equipo del CB. Un compresor accionado por motor mantiene el aire en el tanque de reserva bajo una presión alta, generalmente al-rededor de 3000 kPa (30 bar, o 400-500 libras/ pulgada cuadrada). Este aire debe mantenerse limpio y seco.

El interruptor por disparo de aire es costoso ya que requiere filtros, silenciadores y enfriadores de escape. Otra característica específica es su ruido operativo muy fuerte. Se utiliza en estaciones exteriores para tensiones altas y extra-altas, las que pueden alcanzar los 800 kV.

Su uso actualmente se refiere a equipos instalados

Interruptores de hexafluoruro de azufre (SF6)

El gas hexafluoruro de azufre (SF6), el cual tiene una fortaleza dieléctrica y una alta conductividad térmica, se utiliza como aislador y medio de extinción del arco en este tipo de CB. Se pueden utilizar un resorte tensionado por motor, un método hidráulico o neumático para el movimiento de los contactos (Figura 5).

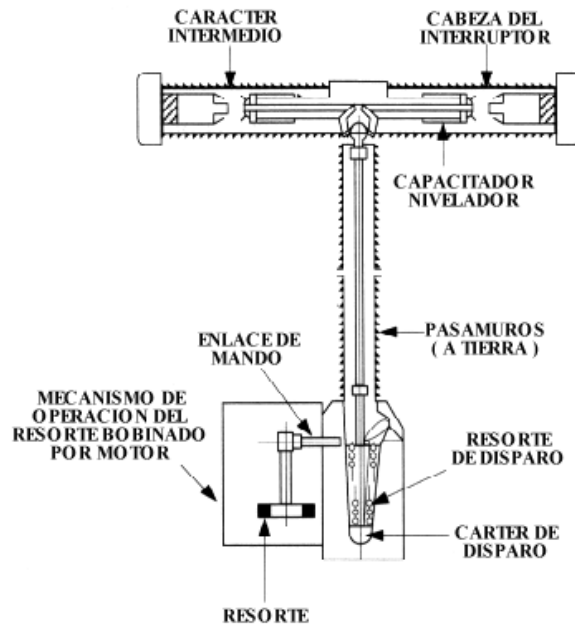


Figura 39

Muestra seccional del polo de un SF6 abierto

Actualmente es el equipo en uso.

1. A medida que los contactos se empiezan a separar, el volumen del cilindro de disparo de aire, que contiene el gas SF6 disminuye.
2. Esto produce que la presión del gas aumente hasta que los contactos móviles y fijos se separen.
3. El arco de corriente producido por la separación de los contactos aumenta aún más la presión del gas en el cilindro de disparo de aire.
4. En este punto, el SF6 comprimido es liberado hacia el arco de corriente para extinguir dicho arco.

Los CBs de SF6 se utilizan en los sistemas de media, alta y extra-alta tensión. La presión y la densidad del gas aumentan con el rango nominal de interrupción y la tensión del sistema. El gas se encuentra a una presión relativamente baja en comparación a un disyuntor de disparo de aire.

Estos CBs son caros, pero ellos tienen muchas ventajas que incluyen confiabilidad, baja mantención, y un tamaño pequeño y compacto; y además utilizan gas inerte (SF6), no tóxico, e incombustible.

Reconectores (Reclosers)

El reconector es un pequeño interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para re energizar la línea. Está dotado de control que permite varias reconexiones sucesivas y además permite variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconector abre en forma definitiva después de cierto número programado de operaciones (generalmente tres o cuatro), de modo que aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.

El empleo de reconectores automáticos en sistemas de distribución como elementos de protección, es bastante común; esto se fundamenta en que se ha comprobado que un gran porcentaje de las fallas que ocurren en las líneas de distribución son de carácter temporal.

Este tipo de falla temporal (o transitoria) requiere de un elemento de protección, como es el reconector, que sea capaz de aislarla antes que operen innecesariamente otras protecciones, tales como: interruptores automáticos, fusibles, que traen como consecuencia de sus operaciones, largas interrupciones del suministro de energía a los clientes, especialmente en áreas apartadas donde se requerirá de un operario para reconectar o reponer la unidad operada.

Por consiguiente, la tarea principal es discriminar entre una falla temporal y una de carácter permanente, dándole a la primera tiempo para que se aclare sola a través de sucesivas reconexiones; o bien, sea despejada por el elemento de protección correspondiente instalado aguas abajo de la posición del reconector, si esta falla es de carácter permanente. De otro modo, si después de haber ejecutado todas sus reconexiones programadas, la falla persiste o no ha sido aclarada por otro elemento de protección, el reconector la considera de carácter permanente, quedándose definitivamente abierto.

Para una mejor comprensión del funcionamiento de este elemento de protección es necesario precisar los siguientes conceptos:

a) Secuencia de Operación: Los reconectores pueden ser programados para un máximo de cuatro aperturas y tres reconexiones. Los tiempos de apertura pueden determinarse de curvas características tiempo/corriente. Cada punto de la curva característica representa el tiempo de aclaramiento del reconector para un determinado valor de corriente de falla. Se debe destacar que este dispositivo de protección consta de dos tipos de curvas, una de operación rápida y una segunda de operación retardada.

- b) Número total de operaciones o aperturas:** Los reconectores permiten programar desde una apertura hasta un máximo de cuatro, dependiendo esto del estudio de coordinación con otros elementos de protección y que resulta más favorable para cada caso en particular.
- c) Tiempo de reconexión:** Son los intervalos de tiempo en que los contactos del reconector permanecen abiertos entre una apertura y una orden de cierre o de reconexión.
- d) Tiempo de reposición:** Es el tiempo después del cual el reconector repone su programación, cuando su secuencia de operación se ha cumplido parcialmente, debido a que la falla era de carácter temporal o fue aclarada por otro elemento de protección.
- e) Corriente mínima de operación:** Es el valor mínimo de corriente para el cual el reconector comienza a ejecutar su secuencia de operación programada.

La secuencia de operación típica de un reconector para abrir en caso de una falla permanente se muestra en la Figura 16 donde se ha supuesto que la programación es C 22, es decir, dos aperturas rápidas con tiempos obtenidos de la curva **A** para la magnitud de corriente de falla correspondiente; y dos aperturas lentas con tiempos obtenidos de la curva **C** para la misma magnitud de corriente de falla.

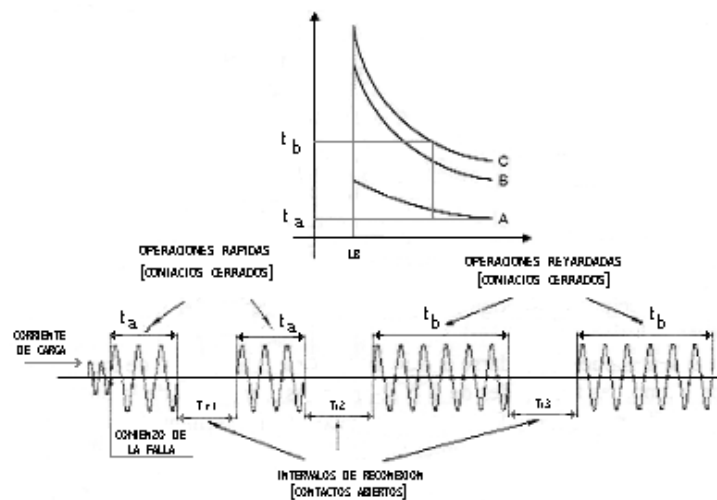


Figura 40

Secuencia de operación de un Reconector

Según esta Figura, en condiciones normales de servicio, por la línea protegida circula la corriente de carga normal, si ocurre una falla aguas debajo de la instalación del reconector y la corriente del cortocircuito es mayor a la corriente mínima de operación preestablecida, al reconector opera por primera vez según la curva rápida, demorando t_a segundos en abrir. Permanece abierto durante un cierto tiempo, usualmente 1 seg., al cabo del cual reconecta la línea fallada. Si la falla ha desaparecido el reconector permanece cerrado y se restablece el servicio. Si por el

contrario, la falla permanece, el reconectador opera por segunda vez en curva rápida y después la t_A segundos abre nuevamente sus contactos, luego de cumplirse el segundo tiempo de reconexión el reconectador cierra sus contactos y si aún la falla persiste, abre por tercera vez pero de acuerdo al tiempo de aclaramiento t_c correspondiente a la curva lenta tipo **C**. Una vez que se cumple el tiempo de la tercera y última reconexión, reconecta por cuarta y última vez cerrado sus contactos, si aún la falla está presente, el reconectador al cabo de t_c segundo abre definitivamente.

Como se dijo anteriormente, si el reconectador no ha contemplado su secuencia de operación, después de transcurrido el tiempo de reposición, éste repone su programación que tenía antes que ocurriera la falla, quedando en condiciones de ejecutar completamente su secuencia de operación en caso de presentarse una nueva condición de falla en la línea.

Factores de Selección

Cuando se requiere instalar un reconectador para la protección de un sistema de distribución, se deben considerar factores de ubicación y factores técnicos, los cuales son determinantes para una adecuada y eficiente selección del reconectador.

a) Factores para la ubicación, la primera decisión importante que se debe tomar en consideración, es la de determinar el punto adecuado de instalación en el sistema, y estos factores pueden ser:

- i) En la fuente de alimentación con el fin de proteger la mayor sección del sistema eléctrico. El reconectador se ubicará tan cerca de la fuente, como las limitaciones de corriente nominal y ruptura del aparato lo permitan y no cause otro tipo de perturbación, especialmente en la subestación.
- ii) Dependiendo del sistema, pueden instalarse otros reconectadores en serie en puntos seccionadores lógicos, para limitar el retiro del servicio al menor segmento práctico posible.
- iii) Idealmente, puede instalarse un reconectador en cada ramal de importancia.
- iv) Por último, las facilidades de acceso a ciertas secciones de la línea, el grado de protección requerido y factores económicos, son determinantes.

b) Factores técnicos, estos deben cumplir que:

- i) La tensión nominal del sistema de ser igual o menor a la tensión del diseño del reconectador.
- ii) La corriente máxima permanente de carga en el punto del sistema donde se ubicará, debe ser menor o igual a la corriente nominal de reconectador.
- iii) Debe tener una capacidad de ruptura mayor o igual, a la corriente máxima de falla en el punto de aplicación.
- iv) La corriente mínima de operación debe escogerse de modo que detecte todas las fallas que ocurran dentro de la zona que se ha encomendado proteger (sensibilidad).
- v) Las curvas tiempo/corriente característica y la secuencia de operación deben seleccionarse adecuadamente, de modo que sea posible coordinar su operación con otros elementos de protección instalado en el mismo sistema.

Tipos de Reconectores

Existen dos tipos que son los más comúnmente usados, los reconectores con mecanismo hidráulico y los con control electrónico. También los hay actualmente aquellos con control mediante un microprocesador, los que deberían definirse dentro de otra categoría.

A su vez, en los hidráulicos pueden, o podían hasta hace poco tiempo, encontrarse dos tipos, los sistemas hidráulicos duales y los de sistemas hidráulicos sencillos. En los primeros se utilizaba un tipo de aceite para el proceso de interrupción de la corriente, aislamiento de las partes energizadas, operación de cuenta (memoria) y reconexión, sin embargo, empleaba otro tipo de aceite diferente para calibrar las operaciones, mientras que en el segundo tipo, utilizaba el mismo aceite para todas estas funciones.

Los reconectores con control electrónico son más flexibles, de más fácil calibración y más exactos que los de control hidráulico. Suministrado en un gabinete separado de reconectador propiamente tal, el control electrónico es más conveniente, ya que permite cambiar las curvas características tiempo/corriente y secuencia de operación, sin desenergizar el sistema. Consta de varios accesorios que pueden ser suministrados para modificar las operaciones básicas y resolver muchos problemas de aplicación.

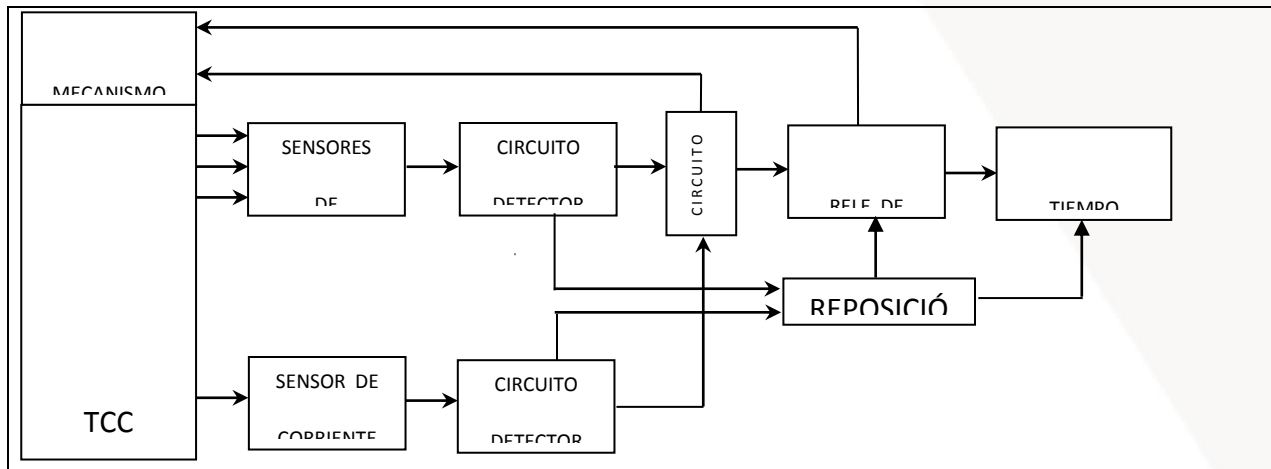


Figura 41

Diagrama de bloque simplificado del control electrónico

Por último, estos elementos de protección no requieren de fuente de alimentación externa y su ajuste es relativamente sencillo. La corriente mínima de operación en los reconectadores electrónicos es de un 100% de la corriente nominal de la bobina de disparo o ajuste, mientras que en los hidráulicos era de un 200%

Seccionalizadores

Este es un dispositivo de protección que aísla automáticamente las fallas en las líneas de distribución. Este elemento se instala necesariamente aguas debajo de un equipo con reconexión automática (por ejemplo: reconectadores). Para fallas ocurridas dentro de la zona de protección del seccionizador, este cuenta las aperturas y cierres efectuadas por el equipo dotado de reconexión automática instalado aguas arriba del seccionizador, y de adecuado a un ajuste previo, este dispositivo de protección abre en el momento en que el reconectador está abierto, es decir, el seccionizador cuenta los impulsos de corriente de falla que fluye en el sistema, ajustándose para que abra después de un determinado número de pulsos que pueden ser uno, dos o tres como máximo. Pero siempre debe ajustarse su calibración para un pulso menos que el número de operaciones del reconectador asociado.

Estos se usan a menudo en lugar de desconectores fusibles en arranques donde es necesario reponer el servicio rápidamente y donde no se justifica el uso de otro reconectador en serie. No tienen curvas características de operación tiempo/corriente, y se coordinan con los reconectadores, simplemente por sus corrientes nominales y sus secuencias de operación.

Los requisitos básicos que deben considerarse para una adecuada aplicación de los seccionalizadores, son los siguientes:

- i) El dispositivo de protección con reconexión automática, ubicado aguas arriba del seccionizador, debe tener la sensibilidad suficiente para detectar la corriente mínima de falla en toda la zona asignada para ser protegida por él.
- ii) La corriente mínima de falla del sector de la línea que debe ser aislada por el seccionizador debe exceder a su corriente mínima de operación.
- iii) El seccionizador debe ajustarse como máximo para que abra en una operación menos que las del dispositivo con reconexión automática aguas arriba.
- iv) No debe excederse los valores de corrientes máximas de corta duración del seccionizador.
- v) Puede ser usado en serie con otros dispositivos de protección, pero no entre dos reconectores.

Las ventajas de usar seccionizadores en líneas radiales de distribución son:

- i) Cuando se emplean en lugar de un reconector, resulta de un costo de inversión inicial y de mantención menor.
- ii) Cuando se emplean sustituyendo un desconectador fusible, no presentan dificultades de coordinación como se presentaría, al ser reemplazado por otro desconectador fusible de tamaño diferente.
- iii) Pueden ser utilizados para desconectar o conectar líneas de carga, siempre que éstas estén dentro de su rango admisible.

4.4 Tipos de interruptores: gran volumen de aceite, pequeño volumen de aceite, de aire comprimido, de auto-soplado en atmosfera de SF₆, de vacío, de soplado magnético.

Interruptor de gran volumen de aceite

Ventajas:

- Construcción sencilla,
- Alta capacidad de ruptura
- Pueden usarse en operación manual y automática,
- Pueden conectarse transformadores de corriente en los bushings de entrada.

Desventajas:

- Posibilidad de incendio o explosión.
- Necesidad de inspección periódica de la calidad y cantidad de aceite en el estanque.
- Ocupan una gran cantidad de aceite mineral de alto costo.
- No pueden usarse en interiores.
- No pueden emplearse en conexión automática.
- Los contactos son grandes y pesados y requieren de frecuentes cambios.
- Son grandes y pesados.

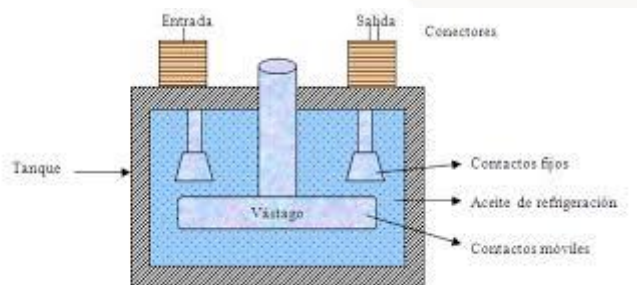
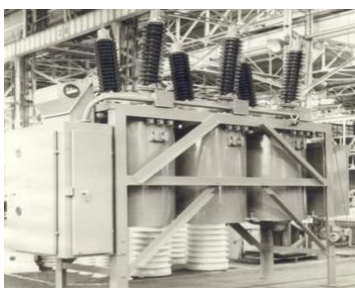


Figura 42
Interruptor de gran volumen de aceite.

Interruptores de pequeño volumen de aceite

Ventajas:

- Comparativamente usan una menor cantidad de aceite.
- Menor tamaño y peso en comparación a los de gran volumen.
- Menor costo.
- Pueden emplearse tanto en forma manual como automática.
- Fácil acceso a los contactos.

Desventajas:

- Peligro de incendio y explosión aunque en menor grado comparados a los de gran volumen.
- No pueden usarse con reconexión automática.
- Requieren una mantención frecuente y reemplazos periódicos de aceite.
- Sufren de mayor daño los contactos principales.

Interruptores de aire comprimido

Se usan principalmente en alta tensión y poseen las siguientes características:

Ventajas:

- No hay riesgos de incendio o explosión.
- Operación muy rápida.
- Pueden emplearse en sistemas con reconexión automática.
- Alta capacidad de ruptura.
- La interrupción de corrientes altamente capacitivas no presenta mayores dificultades.
- Menor daño a los contactos
- Fácil acceso a los contactos.
- Comparativamente menor peso.

Desventajas:

- Poseen una compleja instalación debido a la red de aire comprimido, que incluye motor, compresor, cañerías, etc.,
- Construcción más compleja,
- Mayor costo,

Interrupor de autosoplado de SF6

El SF 6 se usa como material aislante y también para apagar el arco. El SF 6 es un gas muy pesado (5 veces la densidad del aire), altamente estable, inerte, inodoro e inflamable. En presencia del SF 6 la tensión del arco se mantiene en un valor bajo, razón por la cual la energía disipada no alcanza valores muy elevados. La rigidez dieléctrica del gas es 2.5 veces superior a la del aire (a presión atmosférica). La rigidez dieléctrica depende de la forma del campo eléctrico entre los contactos, el que a su vez depende de la forma y composición de los electrodos. Si logra establecerse un campo magnético no uniforme entre los contactos, la rigidez dieléctrica del SF 6 puede alcanzar valores cercanos a 5 veces la rigidez del aire. Son unidades selladas, trifásicas y pueden operar durante largos años sin mantención, debido a que prácticamente no se descompone, y no es abrasivo.

Otra importante ventaja de este gas, es su alta rigidez dieléctrica que hace que sea un excelente aislante. De esta forma se logra una significativa reducción en las superficies ocupadas por subestaciones y switchgear. La reducción en espacio alcanzada con el uso de unidades de SF 6 es cercana al 50% comparado a subestaciones tradicionales. Esta ventaja muchas veces compensa desde el punto de vista económico, claramente se debe mencionar que hay un mayor costo inicial, en su implementación. La presión a que se mantiene el SF 6 en interruptores, es del orden de 14 atmósferas, mientras que en switchgear alcanza las 4 atmósferas.

El continuo aumento en los niveles de cortocircuito en los sistemas de potencia ha forzado a encontrar formas más eficientes de interrumpir corrientes de fallas que minimicen los tiempos de corte y reduzcan la energía disipada durante el arco. Es por estas razones que se han estado desarrollando con bastante éxito interruptores en vacío y en hexafluoruro de azufre (SF 6).

Interruptores de vacío

La alta rigidez dieléctrica que presenta el vacío (es el aislante perfecto) ofrece una excelente alternativa para apagar en forma efectiva el arco. En efecto, cuando un circuito en corriente alterna se desenergiza separando un juego de contactos ubicados en una cámara en vacío, la corriente se corta al primer cruce por cero o antes, con la ventaja de que la rigidez dieléctrica entre los contactos aumenta en razón de miles de veces mayor a la de un interruptor convencional (1 KV por μ s para 100 A en comparación con 50 V/ μ s para el aire). Esto hace que el arco no vuelva a reencenderse. Estas propiedades hacen que el interruptor en vacío sea más eficiente, liviano y económico.

La presencia del arco en los primeros instantes después de producirse la apertura de los contactos se debe principalmente a:

- Emisión termoiónica.
- Emisión por efecto de campo eléctrico.

En otras palabras, los iones aportados al arco, provienen de los contactos principales del interruptor. Conviene destacar que en ciertas aplicaciones se hace conveniente mantener el arco entre los contactos hasta el instante en que la corriente cruce por cero. De esta forma se evitan sobre-tensiones en el sistema, producto de elevados valores de di/dt . La estabilidad del arco depende del material en que estén hechos los contactos y de los parámetros del sistema de potencia (voltaje, corriente, inductancia y capacitancia). En general la separación de los contactos fluctúa entre los 5 y los 10 mm.

Ventajas

- Tiempo de operaciones muy rápidas, en general la corriente se anula a la primera pasada por cero.
- Rigidez dieléctrica entre los contactos se restablece rápidamente impidiendo la reignición del arco.
- Son menos pesados y más baratos.
- Prácticamente no requieren mantención y tienen una vida útil mucho mayor a los interruptores convencionales.
- Especial para uso en sistemas de baja y media tensión.

Desventajas:

- Dificultad para mantener la condición de vacío.
- Generan sobre-tensiones producto del elevado di/dt .
- Tienen capacidad de interrupción limitada.

Es importante destacar la importancia que tiene el material con que se fabrican los contactos de los interruptores en vacío. La estabilidad del arco al momento de separarse los contactos, depende principalmente de la composición química del material con que fueron fabricados. Si el arco es inestable, significa que se apaga rápidamente antes del cruce natural por cero de la corriente, generando elevados di/dt con las consiguientes sobre tensiones. Para evitar esta situación, se buscan materiales que presenten baja presión de vapor en presencia de arco. Estos materiales no son fáciles de encontrar, pues tienen propiedades no del todo apropiadas para uso en interruptores en vacío. Por ejemplo materiales con buena conductividad térmica y eléctrica, tienen bajos puntos de fusión y ebullición, y alta presión de vapor a altas temperaturas. Sin embargo, metales que presentan baja presión de vapor a altas temperaturas son malos conductores eléctricos. Para combinar ambas características se han investigado aleaciones entre metales y materiales no metálicos como Cobre-Bismuto, Cobre-Plomo, Cobre-Tantalio, Plata-Bismuto, o Plata-Telurio.

Interruptores de soplado magnético

El método de soplado magnético utiliza la técnica de romper el arco en Partes más Pequeñas. Es muy similar al método de cámara de arqueo. El movimiento natural de un arco es hacia arriba, en este caso, en una cámara de arqueo. Una bobina, que se conoce como bobina de extinción, se localiza en el centro de la cámara de arqueo. El arco es dividido en dos. Los arcos son alargados y enfriados conforme se elevan más. El enfriamiento reduce el régimen de ionización. Cuando la ionización se reduce por debajo del nivel necesario para sostener los arcos, se extinguen en la corriente cero. Antes que la tecnología de interruptores en vacío se volviera el método de elección con interruptores de media tensión para extinguir arcos, el método de bobina magnética funcionó bien durante muchos años.

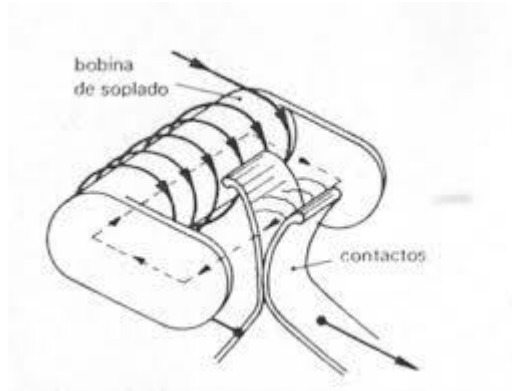


Figura 43

Soplado magnético

4.5 Especificaciones técnicas y pruebas

La selección de un interruptor de potencia para una determinada aplicación consiste en definir un conjunto de valores que limitan las condiciones de operación máximas del interruptor. Los parámetros a indicar son algunos de los cuales deben tenerse presente:

- **Tensión nominal.** Es el máximo valor efectivo de tensión al cual el interruptor puede operar en forma permanente. En general esta tensión es mayor al voltaje nominal del sistema.
- **Frecuencia nominal.** Es la frecuencia a la cual el interruptor está diseñado para operar. Este valor tiene incidencia en los tiempos de apertura y cierre de los contactos además del tiempo de apagado del arco.
- **Corriente nominal.** Es el máximo valor efectivo de corriente que puede circular a través del interruptor en forma permanente, a frecuencia nominal, sin exceder los límites máximos de temperatura de operación indicados para los contactos. La temperatura en los contactos depende del material que están hechos (cobre, plata o equivalente), del medio en que están sumergidos, y de la temperatura ambiente. En interruptores con contactos de cobre, las máximas temperaturas de operación, están referidas a una temperatura ambiente máxima de 40 °C y en caso de contactos de plata de 55 °C.

- **Rigidez dieléctrica (clase de aislación).** Define la máxima tensión que soporta el interruptor sin dañar su aislación. La rigidez dieléctrica debe medirse entre todas las partes aisladas y partes energizadas y también entre los contactos cuando están abiertos. Estas pruebas se realizan entre contactos y tierra (contacto cerrado), a través de los contactos, entre fases (con contactos cerrados).

- **Ciclo de trabajo.** El ciclo de trabajo normal de un interruptor de potencia se define como dos operaciones "cerrar-abrir" con 15 segundos de intervalo. Para este ciclo de trabajo, el interruptor debe ser capaz de cortar la corriente de cortocircuito especificada en sus características de placa.

- **Corriente de cortocircuito momentánea.** Es el valor máximo efectivo que debe soportar el interruptor sin que sufra un deterioro, debe ser capaz de soportar el paso de esta corriente en los primeros ciclos cuando se produce la falla (1 a 3 ciclos). Entre estas corrientes deben especificarse los valores simétricos y asimétricos.

- **Corriente de cortocircuito de interrupción.** Es el máximo valor efectivo medido en el instante en que los contactos comienzan a separarse. Esta corriente corresponde a un cortocircuito trifásico o entre líneas con tensión y ciclo de trabajo nominal. Entre estas corrientes deben especificarse los valores simétricos y asimétricos de interrupción.

a) La capacidad de interrupción simétrica

Es la máxima corriente RMS de cortocircuito sin considerar la componente continua que el interruptor debe ser capaz de cortar en condiciones de voltaje nominal y ciclo de trabajo normal. Para una tensión de operación diferente al valor nominal, la corriente de interrupción está dada por la ecuación (1.2):

$$I_{\text{interrupción simétrica}} = I_{\text{interrupción simétrica nominal}} \times (V_{\text{nom}} / V_{\text{op}}) \quad (1.2)$$

b) La capacidad de interrupción asimétrica

Corresponde al valor RMS de la corriente total (incluida la componente continua) que el interruptor debe ser capaz de interrumpir en condiciones de voltaje y ciclo de trabajo nominal.

4.6 Mantenimiento de interruptores

En el mantenimiento de interruptores, además de una adecuada limpieza, conviene realizar el procedimiento siguiente:

1. Medir Resistencias de Contacto
2. Medir Tiempo de Operación y Simultaneidad de Contacto
3. Medir Calidad de Aislación
4. Diagnosticar Condición Eléctrica de Interruptores
5. Canalizar la Distribución Interior. Fase 1
6. Canalizar la Distribución Interior. Fase 2

7. Ejecutar la Recepción Técnica de la Obra
8. Supervisar y Controlar la Obra
9. Programar la Ejecución de la Instalación

Rutina 1.- Medir Resistencia de Contacto

La Medición de Resistencia de Contacto se puede aplicar en: Bobinados, Cables, Accesorios eléctricos, Contacto de interruptores, Contacto de uniones eléctricas.

Nota: Siempre realizar esta prueba con el equipo desenergizado y fuera de su circuito. Para ello se utiliza un milióhmetro, conocido también como puente de Kelvin. El puente de Kelvin es una mejora sobre el puente de Wheastone puesto que logra compensar la resistencia de las puntas de prueba del instrumento.

Para medir la resistencia de un seccionador, circuito breaker, se debe colocar una punta del milióhmetro en cada contacto de un mismo polo. En posición de encendido, la resistencia debe ser de unos cuantos miliohms, Se debe consultar el manual del fabricante para encontrar el valor máximo permisible o en su defecto comparar con uno o más (idealmente tres) interruptores nuevos del mismo modelo que el interruptor de prueba.

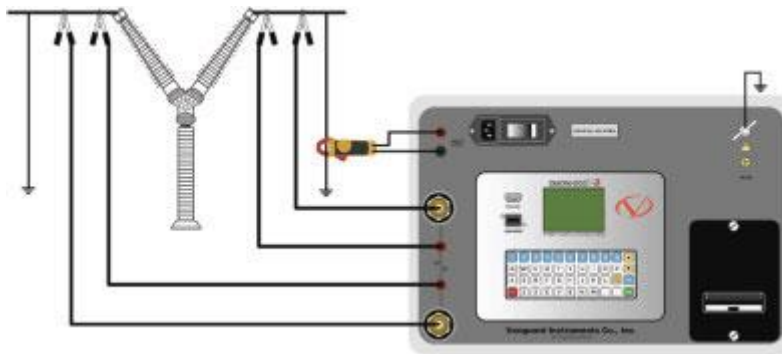


Figura 44

Prueba de resistencia de contacto.

Rutina 2.- Medir Tiempo de Operación y Simultaneidad de Contacto

Mediante un equipo similar al de la Figura anterior, y con un software apropiado se puede medir y establecer tolerancias para la simultaneidad de contacto. Esto es importante para evitar desbalances en las redes eléctricas al momento de la conexión y desconexión del sistema.

Rutina 3.- Medir Calidad de Aislación

Este ensayo consiste en medir la resistencia de aislación existente entre cada polo (si es un interruptor multipolar) y además entre los polos y las partes metálicas de sujeción o carcasas.

Nota: Esta prueba debe realizarse con el equipo desenergizado y fuera de su circuito. Para ello se utiliza un megóhmetro cuyo voltaje de prueba debe estar en relación con el voltaje de operación del interruptor. Para baja tensión se puede usar un megóhmetro de 500V a 1000V.

Opción de un test Hipot

Los instrumentos Hipot (Alto potencial) se encuentran disponibles en voltajes de prueba desde 5000V hacia arriba. Para asegurar que la aislación será capaz de resistir sobrevoltajes, conviene realizar un test hipot. No obstante, esta prueba es controvertida debido al estrés eléctrico que genera en los materiales aislantes y puede generar un canal de ruptura permanente en la pieza de prueba. Un test hipot debe estar rigurosamente documentado y realizado por personal entrenado.



Pruebas de aislación y hipot

Rutina 5.- Diagnosticar la Condición Eléctrica de Interruptores

En base a los ensayos anteriores, se deben obtener medidas para comparar con los resultados esperados según hoja del fabricante o de los procedimientos documentados de la empresa.

Una exhaustiva inspección visual debe realizarse para encontrar posibles daños en hilos de pernos, deformaciones en tuercas y golillas, eliminar corrosión y manchas de humedad o aceites.

Se debe recordar que el polvo, la humedad y factores ambientales combinados pueden generar canales de ruptura en los equipos de media y alta tensión.

5. Fluidos aislantes

5.1 Prueba de rigidez dieléctrica

Los aislantes líquidos son materiales que permanecen como tales en las aplicaciones eléctricas (máquinas, aparatos, componentes en general) y que cuando se encuentran en servicio no experimentan ninguna transformación física o química importante.

Se emplean para llenar espacios con dieléctrico homogéneo, para disipar el calor y para apagar arcos, como por ejemplo en: transformadores, cables, capacitores, aisladores pasantes, interruptores y otros aparatos.

Su presencia incrementa la rigidez dieléctrica entre partes pudiéndose observar aislantes sólidos impregnados y aparatos sumergidos en líquido aislante.



Figura 45
Aceite dieléctrico en un transformador

Las propiedades físicas de los dieléctricos líquidos como por ejemplo: peso específico, conductibilidad térmica, calor específico, constante dieléctrica, viscosidad, dependen de su naturaleza, es decir de la composición química, pero su rigidez dieléctrica, además está ligada a factores externos como por ejemplo: impureza en suspensión, en solución, humedad, etc., que, generalmente, reducen su valor, degradando la característica importante.

El aire y otros gases tienen elevadísima resistividad y están prácticamente exentos de pérdidas dieléctricas; su rigidez dieléctrica crece a medida que aumenta la presión.

El aire tiene una modesta rigidez, del orden de 32 kV/cm a la presión normal (1 bar), de alrededor de 160 kV/cm a 10 bar y aproximadamente 500 kV/cm a 30 bar.

La elevada rigidez dieléctrica a las más altas presiones se utiliza en los interruptores de aire comprimido para el apagado del arco. Se destaca que cada descarga en aire produce la formación de ozono activo, nocivo en particular para los aislantes a base de goma.

5.2 Prueba de factor de potencia

En los equipos que usan aceite dieléctrico se realiza el ensayo de factor de potencia. Se le suele confundir con el Tangente delta. El tangente delta es el factor de disipación.

Para medir el Tan delta, se aplica una tensión alterna entre dos puntos que deben estar aislados, por ejemplo, la carcasa de un transformador y uno de sus terminales. Idealmente, ese arreglo se puede modelar como un condensador, siendo el aceite una parte del dieléctrico. Sin embargo, los aislantes no son perfectos, tienen una resistencia de fuga que se modela en paralelo con el condensador. Una forma de establecer que esa resistencia es lo suficientemente alta, es medir el Tan delta. Para ello, se hace el siguiente arreglo.

$$\text{Factor de Potencia} = \cos \theta$$

$$\text{Factor de Disipación} = \tan \delta$$

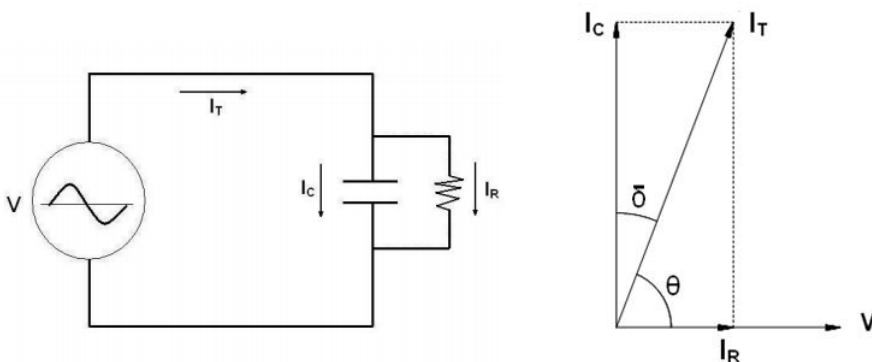


Figura 46

Significado físico del factor de disipación.

La presencia de la resistencia de fuga hace que el desfase entre voltaje y corriente de la fuente se desfasen en un ángulo delta (complemento de theta). Mientras mayor es el Tan delta, peor es la condición del aceite aislante.

Incrementos en el Tan delta significa:

- Contaminación
- Deterioro Químico
- Daño por sobrecalentamiento
- Humedad
- Si el sistema de aislamiento es dependiente de la tensión, la prueba (tip-up) puede identificar ionización

5.3 Pruebas físicas

Las pruebas físicas básicas del aceite son:

- **Apariencia Visual.** Se verifica que el aceite sea brillante y transparente, sin sedimentos, ni sólidos en suspensión.

- **Color.** Es un número que indica el grado de refinación de un aceite nuevo, y en un aceite en servicio indica el grado de envejecimiento y/o contaminación.
- **Tensión Interfacial.** Se mide la concentración de moléculas polares en suspensión y en solución con el aceite; por lo tanto proporciona una medición muy precisa de los precursores de sedimento disuelto en el aceite mucho antes de que algún sedimento se precipite.

5.4 Pruebas químicas

Contenido de Humedad. Un bajo contenido de agua, refleja en el aceite una alta rigidez dieléctrica, minimiza la oxidación del aceite y la corrosión de los metales del transformador.

Numero de Neutralización. Es un número usado como medida de los constituyentes ácidos presentes en un aceite. Un valor bajo, indica una baja conducción eléctrica y baja corrosión.

5.5 Cromatografía de gases

El aceite dieléctrico, con el calor durante la operación, se volatiliza en pequeñas cantidades. Estos gases pueden analizarse para determinar el estado del aceite y su capacidad de asegurar una vida útil del componente eléctrico. La técnica de cromatografía de gases consiste en separar gases en sus componentes para su posterior análisis. En cromatografía de gases la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatografía. La elución se produce por el flujo de una fase móvil que es un gas inerte, y a diferencia de la mayoría de los tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

Respecto a la cromatografía líquida, la cromatografía de gases tiene la ventaja de disponer de detectores mucho más universales (por ejemplo, el de ionización de llama). Además, para numerosas aplicaciones, los métodos son más simples, más rápidos y más sensibles que los correspondientes a la cromatografía líquida de alta resolución. La instrumentación requerida para cromatografía de gases también es mucho más sencilla y económica que la empleada en HPLC. Sin embargo, en cromatografía de gases, la influencia de la temperatura sobre la distribución del equilibrio es considerable, a diferencia de la cromatografía líquida. Por ello, la cromatografía de gases presenta limitaciones en tres casos:

- Compuestos poco volátiles, generalmente los de peso molecular superior a 300 u.m.a.
- Compuestos sensibles a una elevación de la temperatura incluso moderada (determinados compuestos de interés biológico)
- Compuestos que se encuentran en forma iónica (puesto que son en general poco volátiles)

Por esta razón, la cromatografía de gases se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350-400°C. En cambio, cuando los compuestos a analizar son poco volátiles y/o termolábiles, la técnica separativa adecuada suele ser la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).



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

