



Por:  
Emile Nasrallah,  
Ingeniero, Especialista  
en Interruptores

Fouad Briki,  
Ph.D., Zensol  
Automation Inc.

Stéphane Perron,  
Hydro-Québec  
profesor

# Contactos eléctricos en los Interruptores de Potencia de MT y AT

## PREFACIO

Los sistemas de transmisión de la energía eléctrica están protegidos y controlados por interruptores de media y alta tensión.

Los interruptores tienen la función de crear e interrumpir el flujo de las corrientes eléctricas en las líneas de transmisión. Por ello la función del contacto eléctrico juega un importante y crítico rol en la operación apropiada del interruptor.

En este artículo encontrará una descripción resumida de los diferentes tipos de contactos eléctricos usados en los interruptores de potencia, los mayores riesgos para su apropiada operación y las pruebas principales para verificar su condición.

## INTRODUCCIÓN

Un interruptor es un switch eléctrico operado automáticamente diseñado para proteger un circuito eléctrico del daño ocasionado por una sobrecarga o un cortocircuito. A diferencia del fusible, el cual opera una vez y luego debe ser reemplazado, un interruptor se puede resetear (ya sea manual o automáticamente) para reanudar la operación normal.

Los interruptores se fabrican de diferentes tamaños, desde los pequeños dispositivos que protegen los artefactos eléctricos en un hogar, hasta los tableros de interruptores que están diseñados para proteger los circuitos de alta tensión que alimentan a toda una ciudad.

El interruptor de alta tensión tiene tres componentes principales:

**Cámara de interrupción:** donde ocurre la conducción y la interrupción de la corriente en el circuito de potencia. Generalmente es un volumen cerrado que contiene los contactos de apertura y cierre (make-break) y un medio de

interrupción (aire comprimido, aceite, SF6, vacío, etc.) usado para el aislamiento y para apagar el arco.

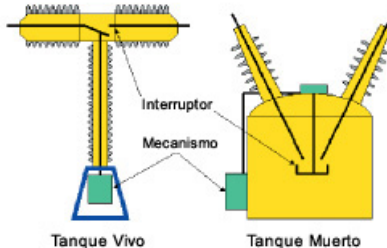


Figura 1

**Mecanismo de Operación:** donde se inicia la energía requerida para cerrar o abrir los contactos y para apagar el arco.

**Control:** donde se monitorea el estado y las órdenes que se generan para operar al interruptor.

## CONTACTOS ELÉCTRICOS EN INTERRUPTORES

Como ya se mencionó antes, la corriente pasa a través del material conductor en la cámara de interrupción (Fig. 2). Se unen varias partes para formar el material conductor. Las diferentes uniones forman los contactos eléctricos.

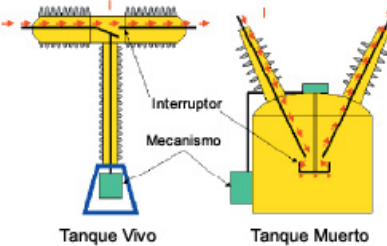


Figura 2

El contacto eléctrico se obtiene colocando dos objetos conductores en contacto físico. Esto se puede llevar a cabo de varias formas. Aunque hay una gran variedad de diseños de contactos en las cámaras de interrupción, éstos se pueden agrupar en cuatro categorías principales:

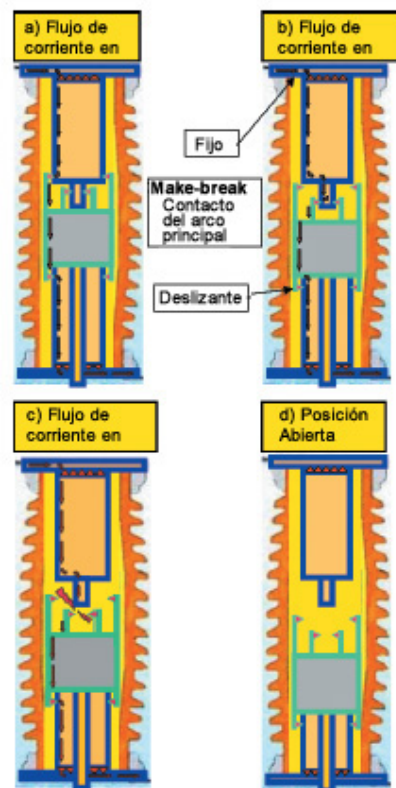


Figura 3

1. Contactos de abrir y cerrar (Make-break) - los que pueden abrir o cerrar bajo carga;
2. Contactos deslizantes (sliding) - los que mantienen el contacto durante el movimiento relativo
3. Contactos fijos - los que se pueden enganchar permanentemente por años y nunca ser abiertos
4. Contactos desmontables - los que pueden abrir o cerrar sin carga. Usados generalmente en tableros de interruptores blindados de media tensión

La Figura 3 es un esquema simbólico de una arquitectura típica de contacto y claramente muestra el flujo de corriente a través de tres de los tipos principales de contactos durante la secuencia de eventos de una operación

de apertura. En los tres tipos, se realiza el contacto tocando las superficies de contacto de cada componente.

#### CONTACTOS DE APERTURA Y CIERRE

El tipo de contacto de apertura y cierre (make-break) se puede subdividir de acuerdo a su nivel de potencia, empezando de mayor a menor:



Figura 4

Los contactos de interruptores de alta tensión con elevada corriente que desconectan las grandes cargas eléctricas y producen arcos, están contenidos en cámaras de arco especiales. Pueden estar a la presión normal o en un soplado de aire, en Sulfuro Hexafluoro (SF6), en aceite o en otro medio de extinción del arco, incluyendo el vacío.

Incluye un contacto móvil y uno estacionario. Generalmente uno de ellos es un anillo de dedos de contactos de cobre armado con resortes (del tipo de inserción como en la Figura 4 o de tipo tope), o la otra es de una varilla sólida de cobre. Los contactos pueden ser revestidos con un material resistente al arco para resistir la erosión de un arco de elevada potencia, y las superficies enchapan (por ejemplo con plata) para mejorar la conductividad.

Las propiedades mecánicas del cobre combinado con su excelente conductividad eléctrica y su buena resistencia al arco en aceite lo vuelven el metal preferido en esta aplicación.

En los interruptores en vacío, los contactos también son usualmente de cobre, mezclado con tungsteno y modelado especialmente para asegurar una adecuada distribución del campo eléctrico y el movimiento del inicio del arco.

Los interruptores de aire más pequeños (media tensión), usan el cobre en todas las partes conductoras internas, pero se aplican a los contactos una aleación de plata para resistir la soldadura.

Siendo estos interruptores, dispositivos de protección, raramente abren o cierran.

#### CONTACTOS DESLIZANTES



Figura 5

Estos pueden ser de diferentes tipos.

Los contactos deslizantes de alta velocidad y elevada corriente, se encuentran generalmente en las cámaras de interrupción de potencia.

Estos contactos deben tener una alta resistencia al desgaste mecánico, dado que su velocidad puede alcanzar hasta 10 metros por segundos o más.

#### CONTACTOS FIJOS

Estos contactos incluyen un amplio rango de contactos empernados y engarzados.

Una unión empernada evita la reducción de la sección cruzada ocasionadas por el taladrado para insertar los pernos y brinda una distribución más uniforme de la fuerza de contacto, haciendo al contacto más eficiente y por ello funciona a menor temperatura. Se usa el empernado porque es barato y es conveniente.

Las uniones engarzadas emplean la mayor fuerza para el cierre del contacto, lo que ocasiona que el metal fluya y que se realice una conexión permanente.

La naturaleza libre de problemas de estas uniones y la simplicidad y rapidez de la operación de engarzado lo convierte en un tipo de unión muy atractivo para las conexiones permanentes.

Los contactos empernados o los engarzados se usan en las cámaras de interrupción para asegurar y para

mantener la integridad de los componentes eléctricos.

#### CONTACTOS DESMONTABLES



Figura 6

Se encuentran en los interruptores blindados de media tensión. Ayudan a tomar al interruptor fuera de la red deslizando fácilmente de las barras de distribución para el mantenimiento. Esto debe realizarse sin carga.

Estos contactos, como los contactos de apertura y de cierre, pueden transportar elevadas corrientes a elevados voltajes (por ejemplo, los aisladores de alta tensión o los contactos fusibles de media o alta tensión). Deben transportar confiablemente la corriente por períodos más largos, sin un sobrecalentamiento o una pérdida del contacto, pero no realizan el cierre o la apertura de la corriente. No se les somete al esfuerzo del arco; por lo tanto no logran la acción de limpieza inherente asociado con éste. Se diseñan frecuentemente para que tengan una acción de fricción en el cierre para retirar el óxido superficial o las películas de corrosión que pueden impedir el contacto, y el cobre y sus aleaciones son los materiales más frecuentemente usados para el grueso de los contactos desmontables.

La característica de estos contactos es que tienen una gran fuerza de contacto, mucho mayor que otros interruptores de similar capacidad de corriente, pero no tanto como la fuerza de contacto de un contacto empernado, dado que podría ocurrir un excesivo desgaste mecánico al separar los contactos.

#### RESISTENCIA DE CONTACTO

Como ya se dijo, el contacto ocurre cuando dos superficies se tocan. Para la corriente eléctrica, si es un material conductor, es un camino por el cual fluirá.

La observación a nivel microscópico muestra que la superficie de contacto es realmente áspera aunque parezca suave al ojo sin entrenamiento.

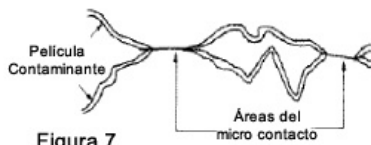


Figura 7

De hecho, como se muestra en el microscopio, el verdadero contacto entre dos superficies ocurre a través de una serie de pequeños dispositivos llamados micro contactos (Figura 7), distribuidos aleatoriamente dentro de los límites del área visible de contacto.

Es la suma de las áreas de todos los micro contactos que constituyen el área eficaz de contacto.

Dado que la resistencia del contacto eléctrico es inversamente proporcional al área de contacto, cuanto menor sea el área eficaz, mayor será la resistencia (Figura 8).

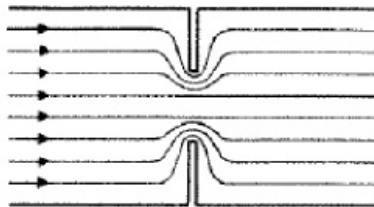


Figura 8

### EFFECTO DE LA RESISTENCIA DE CONTACTO

Cuando una corriente  $I$  pasa a través de un área  $A$  que tiene una resistencia  $R$ , la energía  $E$  absorbida por  $A$  es:

$$E = RI^2t$$

donde  $t$  es la duración del tiempo de  $I$ .

Sabemos que la temperatura  $T$  de  $A$  es directamente relacionada a  $E$  por la siguiente ecuación:

$$E = \lambda T$$

$\lambda$  es una función de la velocidad de disipación de calor



Figura 9

Para una corriente constante  $I_0$ , si  $R$  aumenta, entonces  $E$  aumentará, lo que nos llevará a un incremento de la temperatura del contacto. Si  $T$  continúa en aumento, el material del contacto puede alcanzar su punto de fundición, llevando a su destrucción (Figura 9).

### ELEMENTOS QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE CONTACTOS

#### OXIDACIÓN

Una delgada capa de óxido aislado que cubre el área de un sólo micro contacto podría tener poco efecto en la conductividad de los contactos en total. Pero apenas la capa de óxido se extiende hasta un número significativo de micro contactos, el área relacionada con la corriente se reducirá, incrementando de esta manera su resistencia. Un aumento en la resistencia aumentará la temperatura de contacto, llevando a su destrucción.

Todos los ambientes que contengan gases capaces de reaccionar con el material del contacto, tales como  $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2O$ ,  $H_2S$ , etc., serán favorables para producir capas de óxido aunque se cierre el contacto. Con el tiempo, el gas logrará penetrar y reaccionar con la superficie de contacto para degradar sus características e incrementará su resistencia.

WILLIAMSON estudió este fenómeno. La Figura 10 muestra el aumento del valor de la resistencia con el tiempo. Como se puede ver, el cambio de la resistencia no es significativo hasta un cierto punto en el tiempo donde la degradación aumenta rápidamente. LEMELSON obtuvo resultados similares para los contactos de cobre en aceite.

Estos resultados muestran un comportamiento interesante e indican la urgencia de una intervención en el mantenimiento cuando la resistencia del contacto empieza a incrementarse.

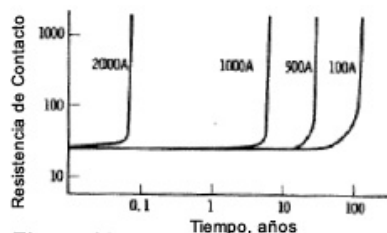


Figura 10

#### DESGASTE DE CONTACTOS

Mecánicamente, puede deberse al movimiento y a la fricción de los contactos y eléctricamente debido al efecto de arco (principalmente el contacto de cierre y apertura). El

desgaste del contacto afecta directamente la resistencia de contacto y hace que aumente dramáticamente si el desgaste está en un estado avanzado (Figura 11).



Figura 11

#### FROTAMIENTO

Una forma de oxidación acelerada es posible, si las superficies de contacto experimentan un movimiento cíclico entre ellos. Por ejemplo, si los contactos no se cierran cada vez en la misma área.



Figura 12

Este fenómeno fue observado hace tiempo pero su magnitud no fue reconocida hasta hace poco. Cuando se mueve un contacto de su posición anterior, una parte está expuesta al ambiente. Luego se forma una capa de oxidación. Cuando el contacto regresa a su posición, rompe la delgada capa y lo empuja a un lado. Este fenómeno se repite varias veces hasta que la capa de oxidación tiene un espesor lo suficientemente significativo para incrementar su resistencia.

BRAUNOVIC experimentó con el fenómeno del frotamiento (fretting) con bajas corrientes en el aluminio, y JOHNSON & MOBERLY lo estudiaron en altas corrientes y lograron resultados similares.

La resistencia se incrementa rápidamente luego de empezar a cambiar. La Figura 13 muestra un caso similar a la Figura 10, pero acelerado.

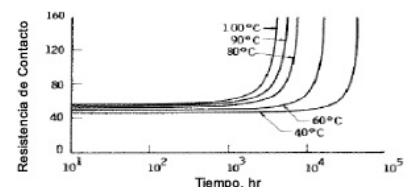


Figura 13

## FUERZA DEL CONTACTO

Como es conocido, la resistencia **R** es una función de la resistividad  $\rho$  y del área **S** del material de contacto, ( $R = \rho / S$ ).

$$R = k \rho \frac{H}{F}$$

**S** es la suma de todas las áreas de los puntos de contacto. Las áreas de los puntos de contacto son una función de la fuerza aplicada **F** y de la dureza del material **H** (**k** es una constante).

Si **F** disminuye, **S** también disminuye y entonces **R** aumentará.

**F** puede disminuir debido a los siguientes factores, por ejemplo:

1. Excesivo desgaste de la superficie de contacto;
2. Fatiga de los resortes de contactos con el tiempo;
3. Reacción química del material de resorte con el ambiente;
4. Contacto suelto o desalineado, etc.

Los materiales de resorte por lo tanto son elementos importantes a tomarse en cuenta. Usando la misma lógica, una precaución importante a tomar es evitar dejar que el resorte sea un camino de corriente, dado que el incremento de su temperatura ocasionará una debilidad de la fuerza **F** resultante.

## TEMPERATURA

Para un aumento de la temperatura **T** de los contactos, el material de los contactos se puede suavizar hasta el punto en que se reducirá la fuerza del contacto, lo que lleva a un rápido incremento de la resistencia de contacto.

## PRUEBAS

Hemos visto que la oxidación, el desgaste, el frotamiento, la fuerza y la temperatura afectan directamente al valor de la resistencia **R** (en micro ohmios) de los contactos.

De modo que para evaluar fácilmente las condiciones de los contactos del interruptor, se han establecido dos tipos de pruebas, ambos miden la resistencia **R** estática y dinámicamente y se usan ampliamente.

## MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONTACTOS

La medición de la resistencia de contacto se realiza usualmente usando los principios de la ley de Ohm:  $V = R I$ ;

**V** es el voltaje a través del contacto;

**I** es la corriente;

**R** es la resistencia.

Si aplicamos una corriente **I** y medimos el voltaje **V**, la resistencia **R** se puede obtener directamente dividiendo **V** por **I**.

$$R = V / I$$

Como se ve en la Figura 14.

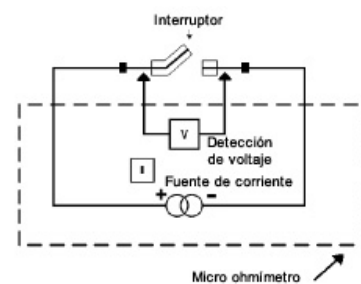


Figura 14

# ZENSOL, WE MAKE MACHINES, WE SHIP YOU SERVICE

GEN RECLOSER ANALYZER

CBA CIRCUIT BREAKER ANALYZER

RECLOSERS

BREAKERS

SIM CIRCUIT BREAKER SIMULATOR

CBV VIBRATION ANALYZER

ZENSOL.COM

THE CIRCUIT BREAKER AND RECLOSER TESTING SPECIALIST

SGS

Dado que la cámara de interrupción es un contenedor cerrado, sólo tenemos acceso a los conductores de entrada y de salida; la  $R$  medida entre estos dos puntos sería la suma de todas las resistencias de contacto halladas en serie (contactos fijos, de cierre y apertura y los deslizantes).

De acuerdo a la norma IEC 694, artículo 6.4.1, el valor de la corriente a usar debería ser lo más cercana a la corriente nominal para la que fue diseñada la cámara de interrupción. Si esto es imposible de lograr, se pueden usar corrientes más pequeñas pero no menos a 50 A para eliminar el efecto galvánico que podría afectar las lecturas.

Se deben observar precauciones especiales cuando se mide:

1. Los puntos medidos deben estar limpios y libres de oxidación;
2. Los puntos de medición siempre deben tener los mismos cada vez;
3. Realizar varias pruebas consecutivas y calcular el promedio.

La unidad usada es micro ohmio ( $\mu\Omega$ ).

$$1 \mu\Omega = 10^{-6} \text{ ohms } (\Omega)$$

Podemos tener en cuenta que el rango de los valores de la resistencia en micro ohmios que se pueden encontrar en los interruptores se divide en forma general de acuerdo a la capacidad de transporte del voltaje y de la corriente:

- 25 kV – 100 hasta 350  $\mu\Omega$ ;
- 120 kV – 80 hasta 200  $\mu\Omega$ ;
- 120 hasta 330 kV – 100  $\mu\Omega$  máx.
- 735 kV – 20 hasta 80  $\mu\Omega$ .

### MEDICIÓN DINÁMICA DE LA RESISTENCIA DE CONTACTOS

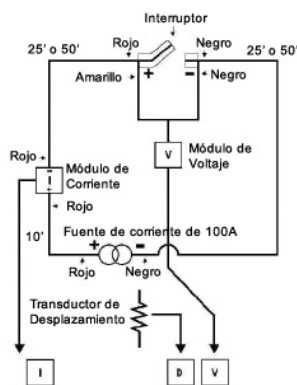
El micro ohmímetro descrito antes se usa para medir la resistencia de contacto con la cámara de interrupción en la posición cerrada, pero no da ninguna indicación de la condición de los contactos de arco.

Una opción es realizar una inspección interna pero esto toma bastante tiempo. En el caso de los interruptores SF6, se deben estrictamente los procedimientos de mantenimiento para manejar de forma segura el gas SF6 y los subproductos del arco.

Por ello se ha desarrollado la medición dinámica de la resistencia de contactos.

Por definición, como sugiere su nombre, empieza desde una posición cerrada, y a medida que se mueve a su posición de apertura, se inyecta una corriente y se mide el voltaje. Esto nos dará el valor de la resistencia en todo su recorrido desde la posición cerrada hasta la posición abierta.

Esta prueba requiere de un equipo especial (Figura 15) y un procedimiento más complicado que el método estático. La información recogida es de una naturaleza diferente y nos da un mayor entendimiento de la condición del contacto que no está disponible en la prueba estática.



**CBA-32P - Zensol**  
Medición Dinámica de la Resistencia de Contacto

Figura 15

No es relevante discutir la prueba dinámica en este artículo. Pero podemos tener en cuenta que esta prueba es capaz de darnos buena información del valor de la resistencia del contacto de arco y de la parte erosionada.

Esta información es crucial para ciertos interruptores, donde la calidad del apagado del arco es influenciado en gran medida por este hecho.

El efecto sería tan grande que podría llevar a la explosión de la cámara de interrupción.

También debemos saber que al realizar una medición dinámica de la resistencia de contacto en los contactos de tope no tiene sentido.

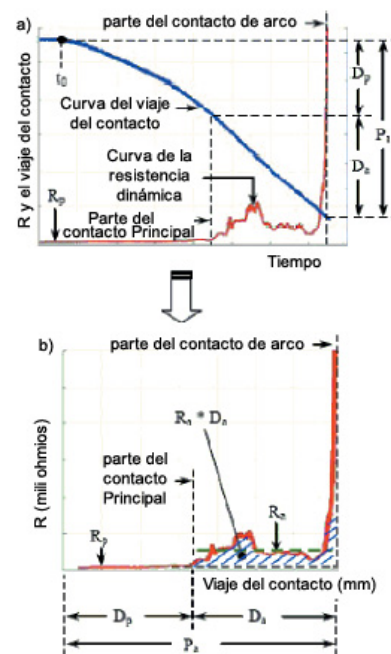


Figura 16

Una simple prueba estática con un micro ohmímetro es suficiente debido a la arquitectura de los contactos.

Así que antes de realizar la prueba dinámica de la resistencia de contacto, necesita verificar los tipos y la arquitectura mecánica de su interruptor. Este tema se discutirá con mayor detalle en nuestro próximo artículo.

### RESUMEN

El contacto eléctrico es un componente crucial en los interruptores de potencia. Un incremento en la resistencia de contacto puede ocasionar la falla del interruptor. Se pudo observar que todos los elementos que afectan la resistencia de contacto alcanzarán el mismo resultado. Si la resistencia de contacto empieza a incrementarse significativamente, el incremento en el valor crecerá exponencialmente.

La norma internacional IEC 56 establece como una lectura aceptable hasta un 20% de incremento con respecto al valor de prueba original. Por encima de este valor, es necesario realizar una inspección de apertura.