



Interruptores – Resistencia Estática/Dinámica

Raidel Coa

Ingeniero de Aplicaciones – Megger

República Dominicana, 13-15 de Agosto de 2019

Megger[®]
Power on

Coordinadora

■ Karen Becerril

Especialista de marketing para Latinoamérica

Karen.Becerril@megger.com



■ Ariel Toribio

Gerente Regional para Latinoamérica
csasales@megger.com

Moderador



Presentador

■ Raidel Coa

Venezolano, Ingeniero electricista, posee estudios de cuarto nivel “Magister Scientiarum en Ingeniería Eléctrica”. Tiene 17 años de experiencia en pruebas eléctricas a equipos de alta tensión (11,4 a 800 kV). Fue miembro del comité de estudio A3 de CIGRE “High Voltage Equipment” durante los periodos 2010-2016.

Inspector de pruebas en fábrica (FAT) de CORPOELEC en:

- COELME-EGIC, seccionadores 420 kV (Venecia – Italia)
- ABB, interruptores, 245 y 420 kV (Ludvika – Suecia)
- SIEMENS, Interruptores, 115 kV (Grenoble – Francia)
- SIEMENS, Transformador de Potencia, 115/34,5 kV (Sao Paulo – Brasil)
- ALSTOM, Transformadores de corriente, 800 kV (Minas Gerais – Brasil)

Profesor universitario de las cátedras de “Técnicas de Alta Tensión” y “Subestaciones Eléctricas” en UNEXPO – Puerto Ordaz (Venezuela), desde 2010 hasta 2017.

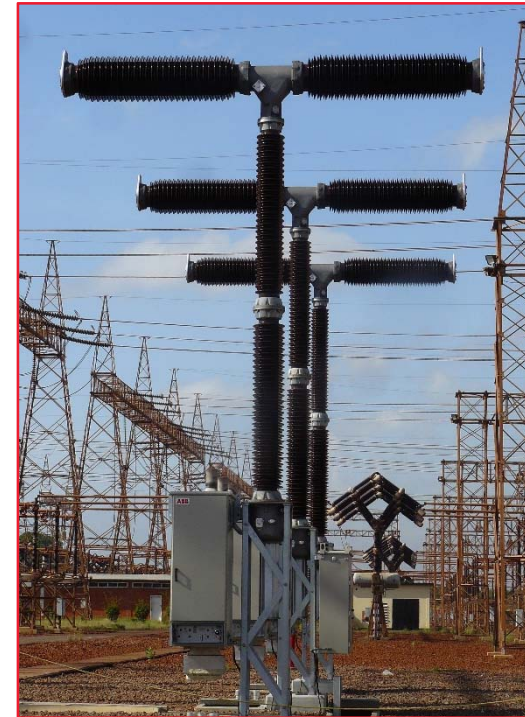
En la actualidad se desempeña como Ingeniero de Aplicaciones en Subestaciones para MEGGER (Centro, Sur America y el Caribe)



Megger
Power on

Contenido

- Introducción
- Efecto de la resistencia de contacto
- Elementos que afectan la resistencia de contacto
- Componentes a analizar
- Importancia de la prueba
- Casos de estudio
- Conclusiones





Introducción



Introducción

- 1827, Georg Simon Ohm publica su famoso libro *“Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet”*
Resistencia (R) = Tensión (E) / Corriente (I)
- En 1861, se crea el comité para desarrollar un estándar sobre resistencia. (Maxwell, Joule, Lord Thomson Kelvin y Sir Charles Wheatstone).
El National Bureau of Standards (NIST) define el “OHMIO.”
- En 1908 Evershed & Vignoles diseñaron el primero medidor de bajas resistencias “DUCTER ®”



Megger
Power on

Introducción

¿Qué es una Medición de Baja Resistencia?

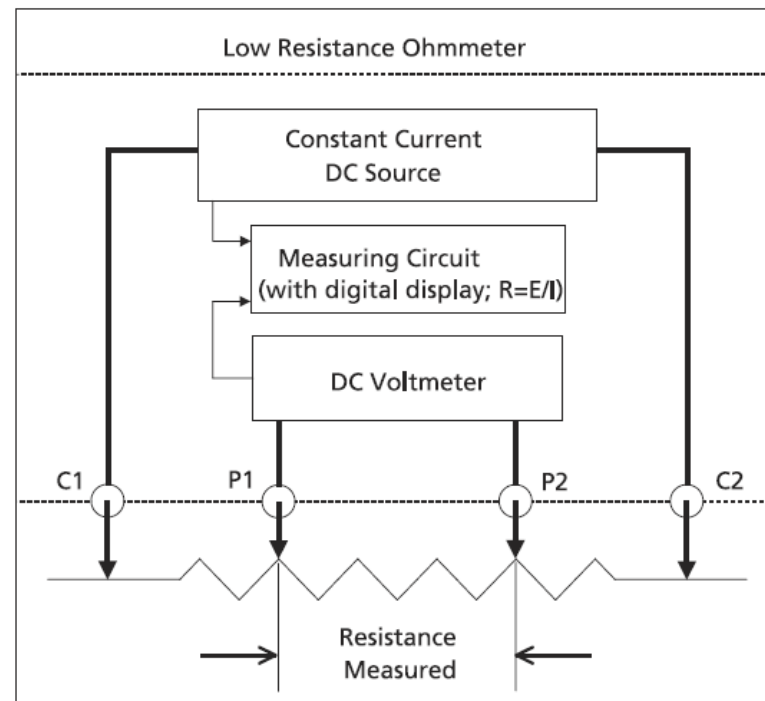
- Típicamente una medición $< 1.0 \text{ ohmio}$
- Posibles influencia de error:
 - Resistencia de los cables
 - Resistencia de contacto
 - Interferencias Externas – EMF Térmicas
- Respuesta: Método de 4 terminales
- Anteriormente se utilizaban Puentes de Kelvin – Thompson
Instrumentos actuales: “Mili-óhmetro” – “Micro-óhmetro” - “MOM” -
“DLRO” (Digital Low Resistance Ohmmeter) – “Ducter ®” etc



Megger
Power on

Introducción

Método de 4 Terminales





Introducción

¿Por qué medir Bajas Resistencia?

- Identificar un aumento inaceptable de la resistencia
- Prevenir daños en equipos
- Aumentar la eficiencia
- Testear conductores de corriente de falla
- Gerenciar mantenimiento predictivo

Introducción

Interruptores - Normas

IEC56, ahora IEC 62271-100 (European Standard):

Se requiere una corriente de prueba con cualquier valor conveniente **entre 50 A y la corriente normal nominal** al probar la resistencia de contacto.

ANSI C37.09 (American Standard):

- Especifica que la corriente de prueba debe ser como **mínimo de 100 A**.
- Describe un **incremento límite de aproximadamente 200%**, sobre el valor máximo especificado por fábrica.

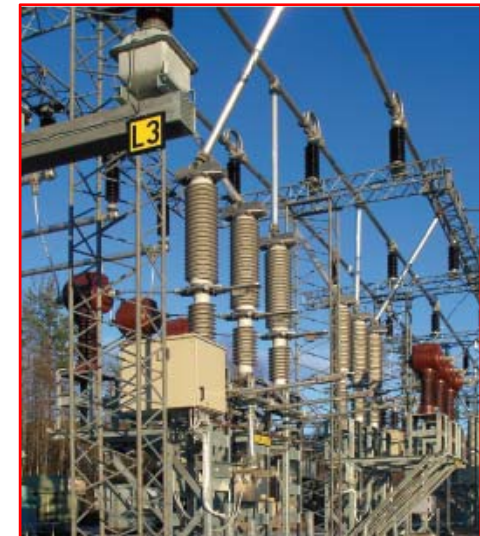


Megger
Power on

Introducción

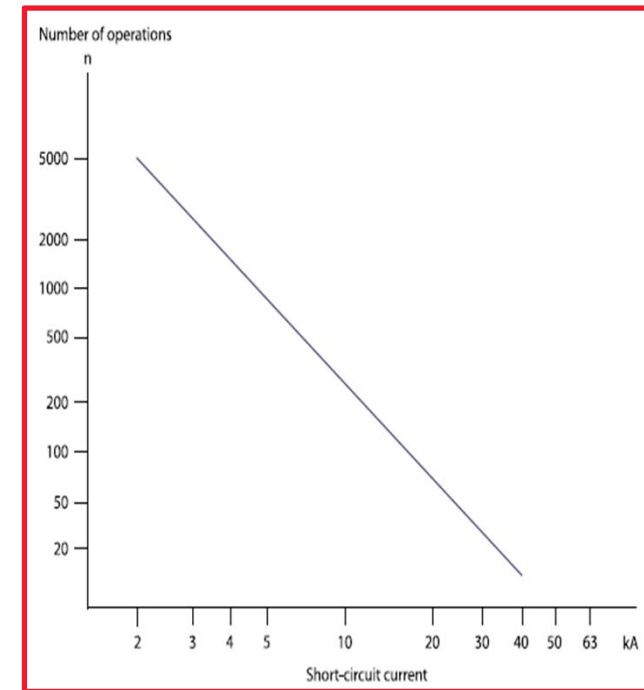
Interruptores - Valores típicos

Air circuit breakers			Oil Circuit Breakers		
kV	Amperes	Micro-ohms	kV	Amperes	Micro-ohms
5 - 15	600 1200 2000	100 50 50	7.2 - 15	600 1200 2000 4000	300 150 75 40
			23-24	All	500
			46	All	700
			69	600 1200 2000	500 500 100
			115-230	All	800



Introducción

- Con las mediciones tradicionales de interruptores (SF6) no se puede discriminar el estado de los contactos
- Problema
 - No se diferencian los contactos de arco y contactos principales
 - No hay información sobre la longitud de los contactos de arco
 - Para determinar la condición tanto de los contactos de arco como de los principales, se requiere de una inspección interna (consumo de tiempo y dinero)
- Solución: Prueba de DRM





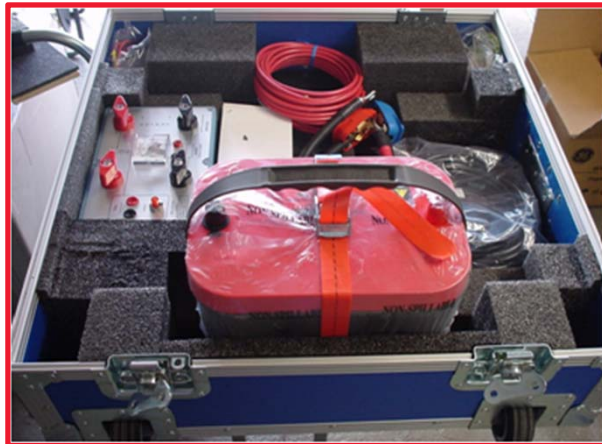
Introducción

- Finales de los 80's: Se escriben documentos técnicos
- 1992: Cooperación con ABB (Ludvika)
 - Pruebas extensas en interruptor tipo ABB (LTB), para determinar desgaste de los contactos de arco
 - Antes y después de las pruebas de corriente de cortocircuito
 - Durante 5000 operaciones
- 1993: Se desarrolló el método DRM a través de DRM10/DRM1000 y CABA DOs
- 2006: DRM TM1800
- 2009: SDR201/202

Introducción

■ Desarrollo del producto

DRM 1000
32 kg (70.5 lbs)



DRM 1800
12 kg (26.5 lbs)



Introducción

■ Desarrollo del producto

DRM 1800
6.8 kg (15 lbs)



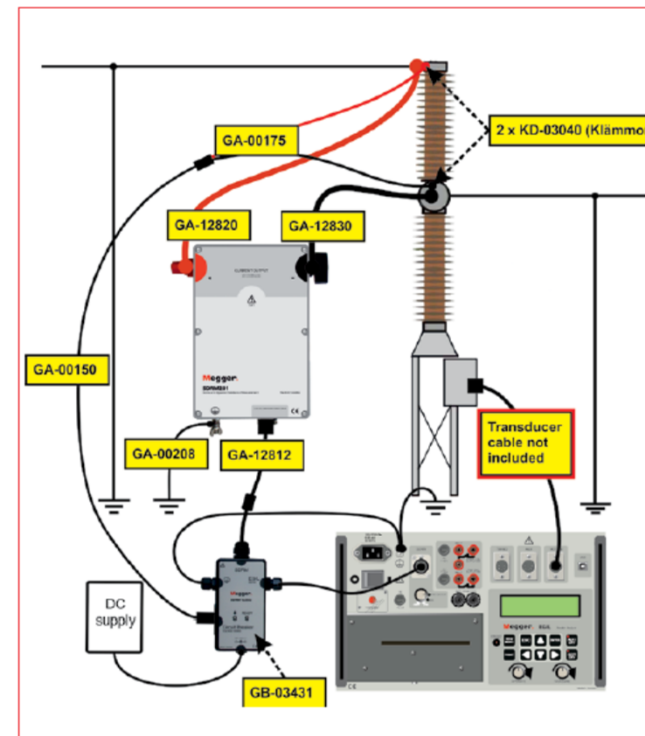
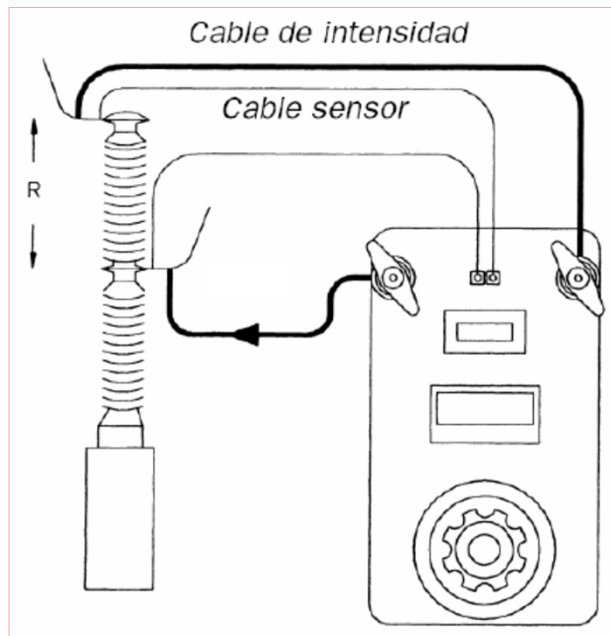
SDRM 202
1.8 kg (4 lbs)



Megger
Power on

Introducción

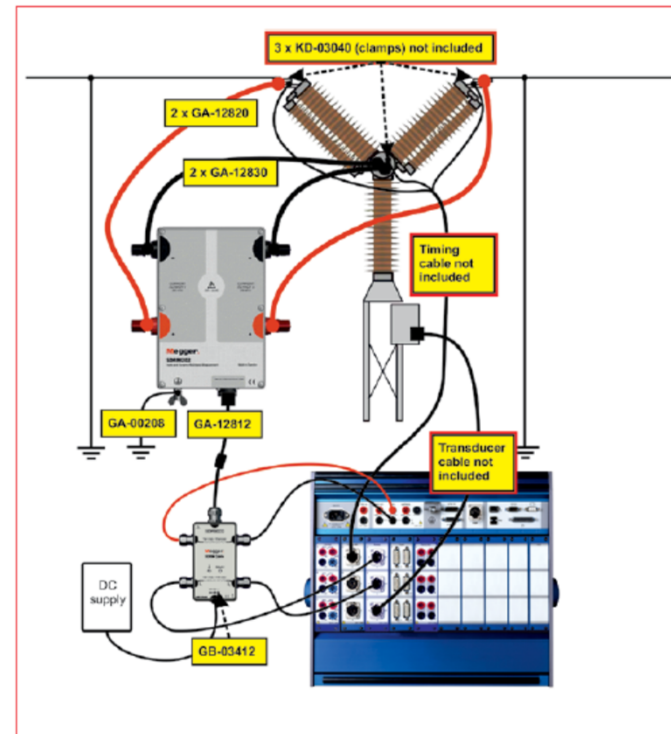
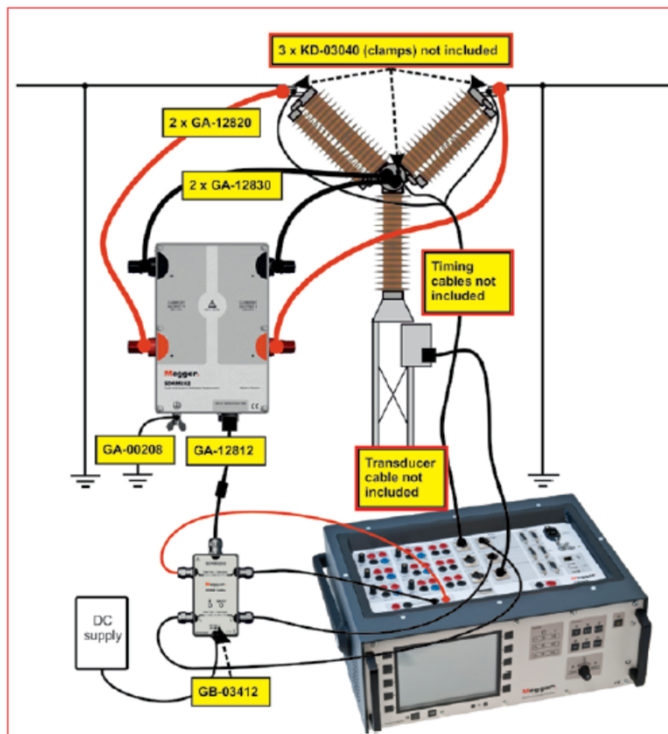
■ Diagramas de conexión



Megger
Power on

Introducción

■ Diagrama de conexión





Efecto de la resistencia de contacto

Megger[®]
Power on

Efecto de la resistencia de contacto

$$R = \rho / A$$



R: Resistencia de contacto del área "A"
 ρ : Resistividad del material
A: Área de contacto de dos elementos

$$E = R I^2 t$$



E: Energía absorbida por el área de contacto "A"
R: Resistencia de contacto del área "A"
I: Corriente que pasa por el área de contacto "A"
t: Duración de la corriente "A"

$$E = \lambda T$$



E: Energía absorbida por el área de contacto "A"
 λ : Función de la velocidad de disipación del calor
T: Temperatura del área de contacto

$$A = F / H$$



A: Área de contacto de dos elementos
F: Fuerza aplicada
H: Dureza del material

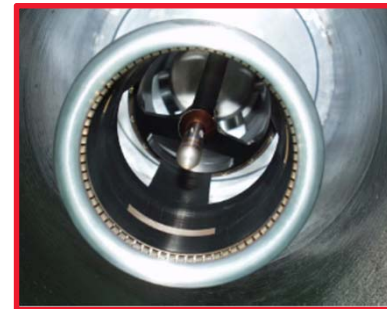


Elementos que afectan la resistencia de contacto

Megger[®]
Power on

Elementos que afectan la resistencia de contacto

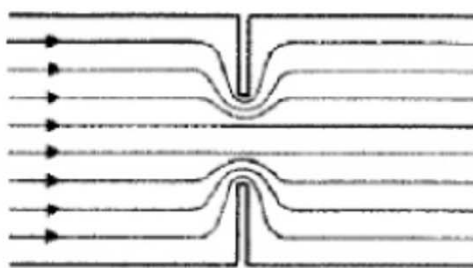
- Oxidación
- Desgaste de contactos (operación)
- Fuerza de contacto
- Frotamiento
- Temperatura
- Fatiga
- Corrosion
- Ataques químicos
- Humedad
- Sal
- Aceite (*Oil*)
- Demandas eléctricas abruptas
- Vibración
- Esfuerzos Mecánicos



Elementos que afectan la resistencia de contacto

Oxidación

Cuando una 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, ocasionando su destrucción.



$$\left\{ \begin{array}{l} R = \rho / A \\ E = R I^2 t \\ E = \lambda T \end{array} \right.$$

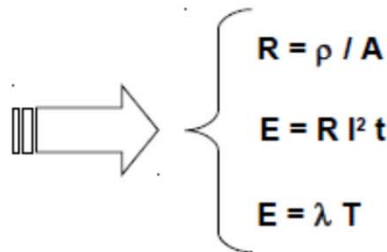


Elementos que afectan la resistencia de contacto

Desgaste de contactos

Mecánicamente el desgaste de los contactos se debe al movimiento y a la fricción de los mismos (contactos), mientras que eléctricamente se debe al efecto que el arco produce sobre estos (principalmente a los contactos de arco). El desgaste del contacto afecta directamente la resistencia de contacto y hace que aumente drásticamente si el desgaste está en un estado avanzado.




$$\begin{cases} R = \rho / A \\ E = R I^2 t \\ E = \lambda T \end{cases}$$



Desgaste de contactos $\uparrow$ $\Rightarrow$ $R \uparrow$ $\Rightarrow$ $E \uparrow$ $\Rightarrow$ $T \uparrow$

Elementos que afectan la resistencia de contacto

Fuerza de contacto

Las áreas de los puntos de contacto son una función de la fuerza aplicada **F** y de la dureza del material **H**. Si **F** disminuye, **A** también disminuye y entonces **R** aumentará. **F** puede disminuir debido a los siguientes factores, por ejemplo:

- a) Excesivo desgaste de la superficie de contacto
- b) Fatiga de los resortes de contacto con el tiempo
- c) Reacción química del material del resorte con el ambiente
- d) Contacto suelto o desalineado, etc.



$$A = F / H$$

$$R = \rho / A$$

$$E = R I^2 t$$

$$E = \lambda T$$



Elementos que afectan la resistencia de contacto

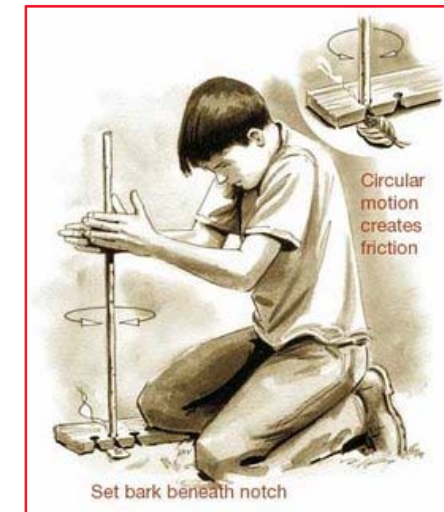
Frotamiento

Cuando se mueve un contacto de su posición anterior, una parte esta 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.



$$\begin{cases} R = \rho / A \\ E = R I^2 t \\ E = \lambda T \end{cases}$$

Frotamiento $\uparrow$ $\Rightarrow$ $R \uparrow$ $\Rightarrow$ $E \uparrow$ $\Rightarrow$ $T \uparrow$



Elementos que afectan la resistencia de contacto

Temperatura

Para un aumento de la temperatura T de los contactos, el material de los contactos se puede suavizar hasta el punto de “reducir la fuerza de contacto”, lo que lleva a un rápido incremento de la resistencia de contacto.

$$A = F / H$$

$$R = \rho / A$$

$$E = R I^2 t$$

$$E = \lambda T$$



Elementos que afectan la resistencia de contacto

Temperatura

- $U = (I \times R)$

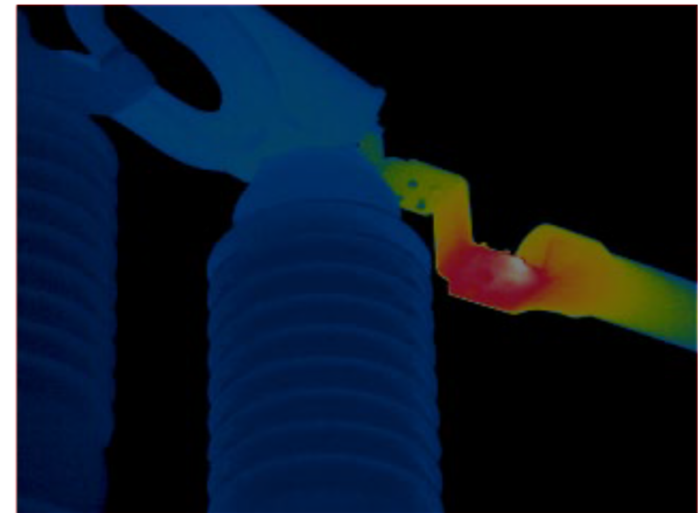
- $W = I \times U$

- $W = I \times (I \times R)$

- $W = I^2 \times R$

- 6000 A a través de una barra de $1 \mu\Omega = 36$ Vatios.

- 6000 A a través de una barra de $100 \mu\Omega = 3600$ Vatios.



Temperatura

■ $W = I^2 \times R$

Para $R = 0.1 \text{ Ohm}$

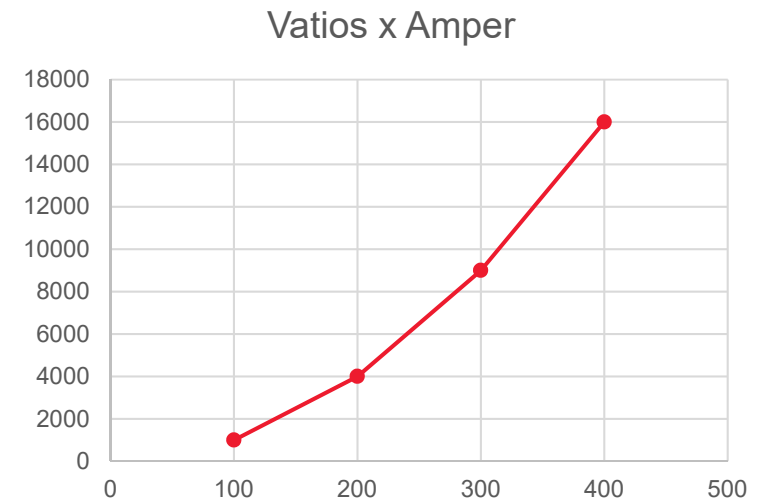
@ 100 Amperes $W = 100^2 \times 0.1 = 1000 \text{ Vatios}$

@ 200 Amperes $W = 200^2 \times 0.1 = 4000 \text{ Vatios}$

@ 300 Amperes $W = 300^2 \times 0.1 = 9000 \text{ Vatios}$

@ 400 Amperes $W = 400^2 \times 0.1 = 16000 \text{ Vatios}$

Elementos que afectan la resistencia de contacto



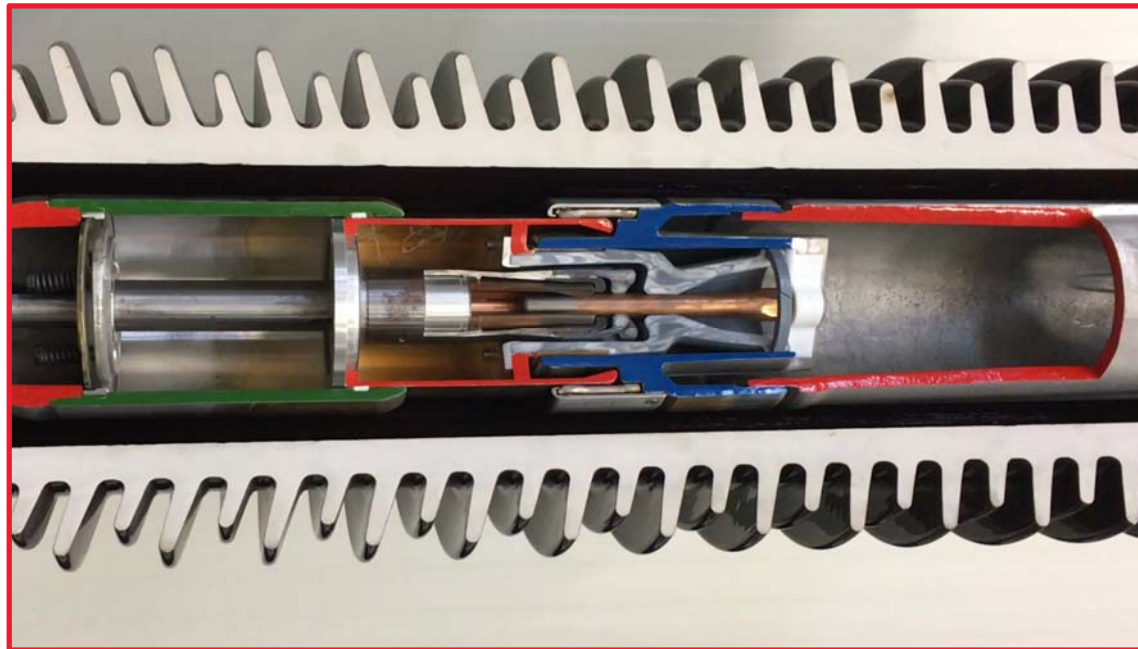


Componentes a analizar

Megger[®]
Power on

Componentes a analizar

Contactos Fijo y Móvil



Componentes a analizar

Contactos Fijo y Móvil



Componentes a analizar

Contactos Fijo y Móvil



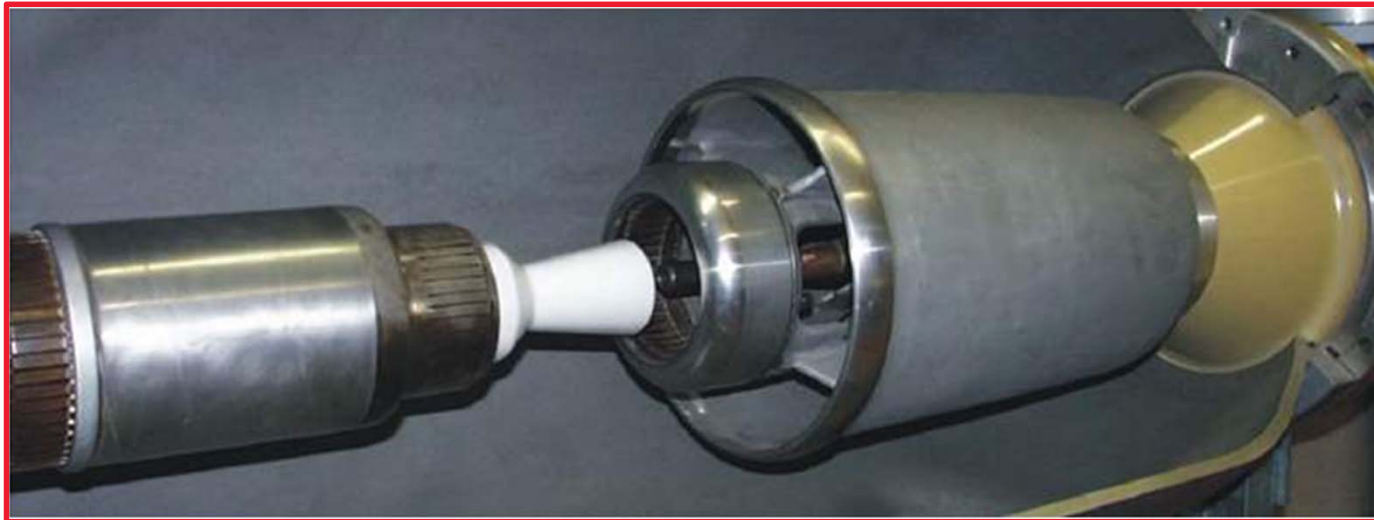
Componentes a analizar

Contactos Fijo y Móvil

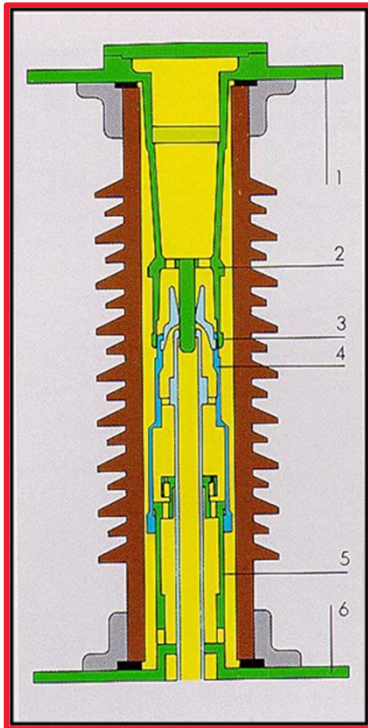


Componentes a analizar

Contactos Fijo y Móvil

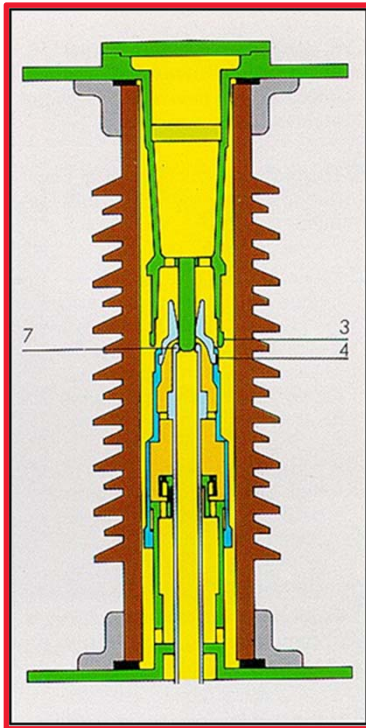


Componentes a analizar



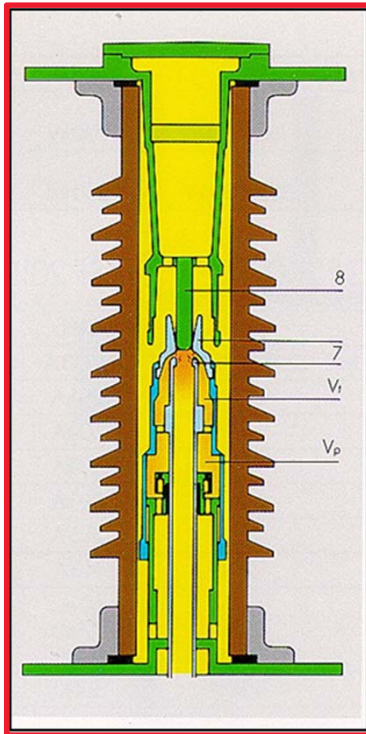
1. La corriente fluye a través del terminal superior
2. Soporte de contacto fijo
3. Contacto móvil
4. Cargador del piston de soplado
5. Terminal inferior

Componentes a analizar



- 3. Contacto principal fijo
- 4. Contacto principal móvil
- 7. La corriente pasa a través de los contactos de arco

Componentes a analizar

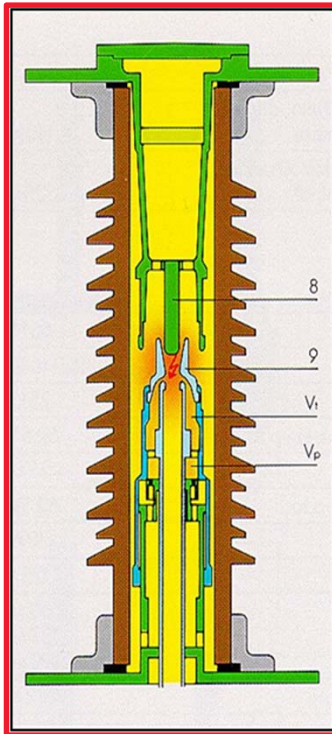


7. Se forma el arco eléctrico cuando se separan los contactos

V_t . La energía del arco eléctrico incrementa la presión en la cámara de expansión térmica

V_p . En la operación sin carga, la energía térmica es débil para desarrollar presión, el pistón de soplado adicional sopla el arco

Componentes a analizar

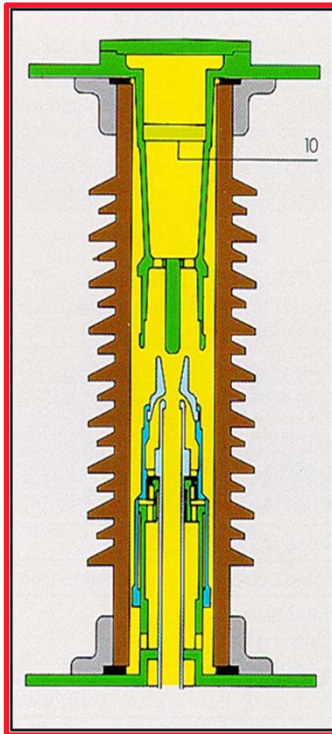


8. Contacto de arco fijo

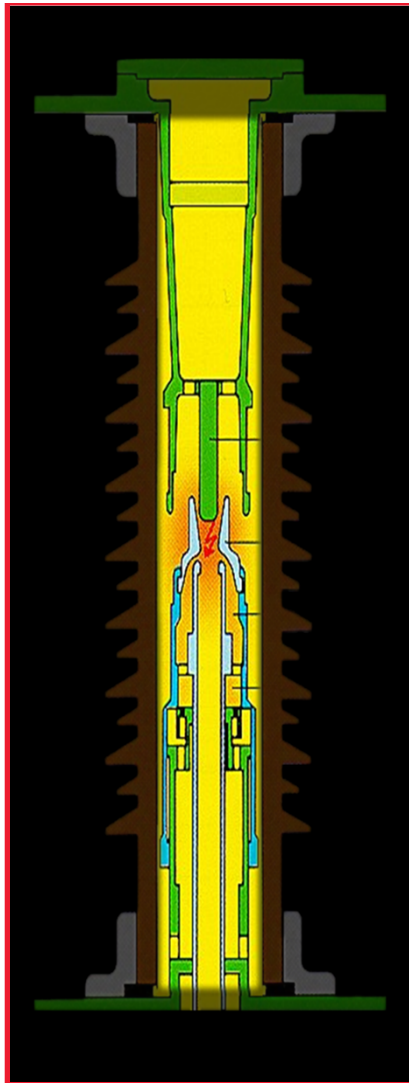
9. Tobera aislante

Vt. La sobrepresión térmica en la cámara de expansión es liberada. Esta energía extingue inmediatamente el arco eléctrico antes del paso de la corriente por cero.

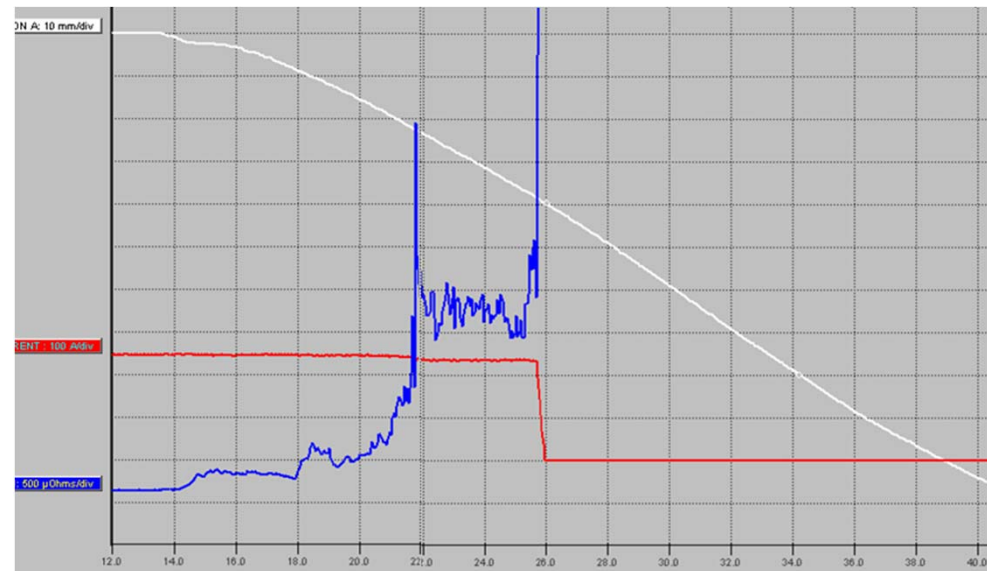
Componentes a analizar



10. Se extingue el arco. Las moléculas de SF6 se separan por la rebinación del arco simultáneamente. Los productos del arco formados la operación de extinción son atrapados en un absorbedor



Componentes a analizar



Componentes a analizar





Importancia de la prueba

Megger[®]
Power on



Importancia de la prueba

Resistencia de Contacto Estática

- Verifica estado de contactos principales (cobre/plata)
- Permite monitorear (indirectamente) la condición térmica de los contactos principales.
- Fácil conexión
- Prueba no destructiva
- Mucho más rápida que la inspección visual



Importancia de la prueba

Resistencia de Contacto Dinámica

- Analiza los contactos de arco (tungsteno)
- Determina la longitud del contacto de arco (desplazamiento)
- Prueba avanzada
 - Pruebas de Dual Ground (con limitaciones)
 - Interruptores Siemens (grafito/grafito)
- Fácil conexión
- Prueba no destructiva
- Mucho más rápida que la inspección visual



Casos de estudio

Megger[®]
Power on



Casos de estudio

Resistencia de Contacto Estática - Contaminación

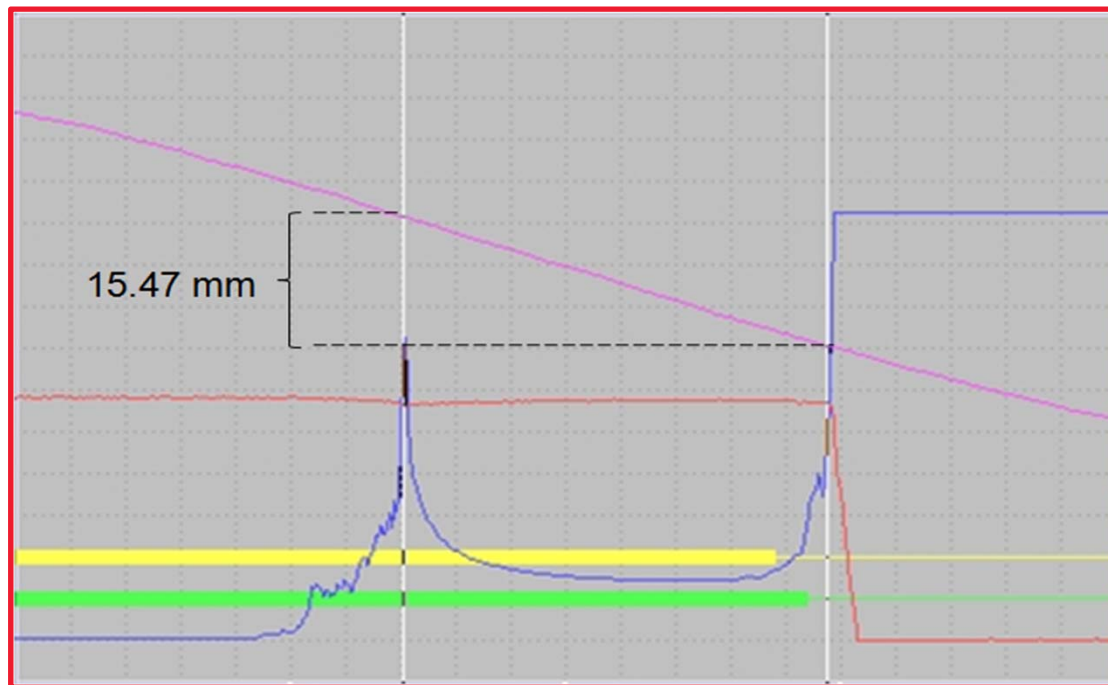
A veces se necesita una gran corriente para atravesar la contaminación de la superficie

Ejemplo

- Después de la revisión, se midió una resistencia de contacto principal de un interruptor de 300 $\mu\Omega$ utilizando una corriente de prueba de 100 A
- La prueba repetida con 600A dio un resultado de 80 $\mu\Omega$
- La prueba se repitió nuevamente con 100A dio un resultado de 80 $\mu\Omega$

Casos de estudio

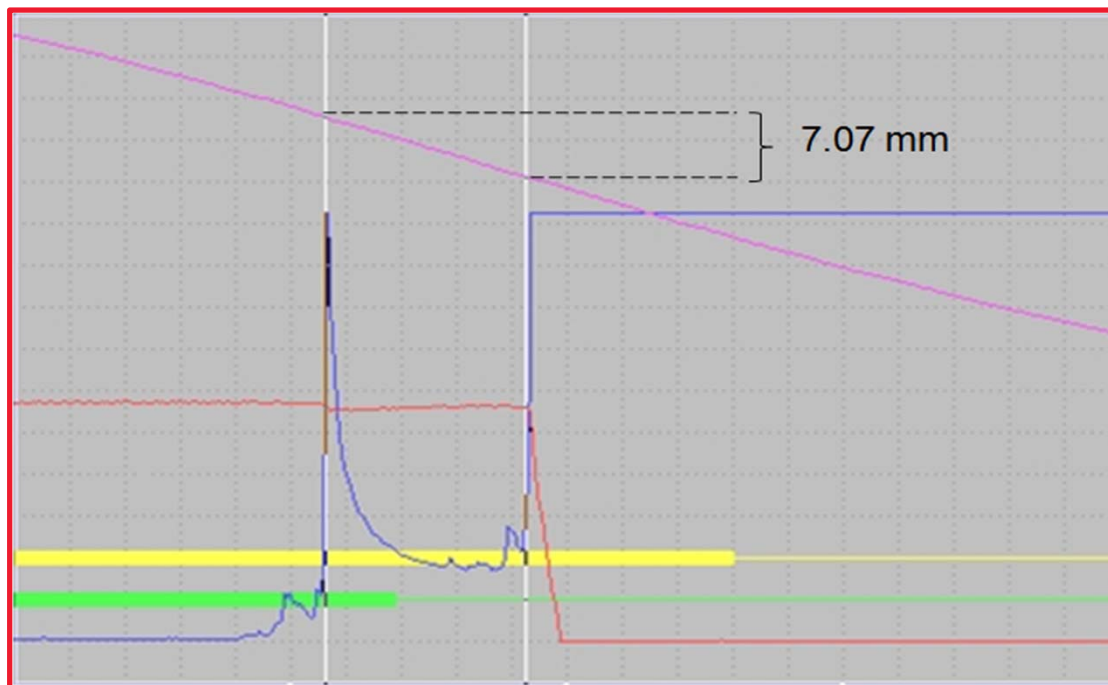
Resistencia de Contacto Dinámica - Cortocircuito



■ Interruptor nuevo

Casos de estudio

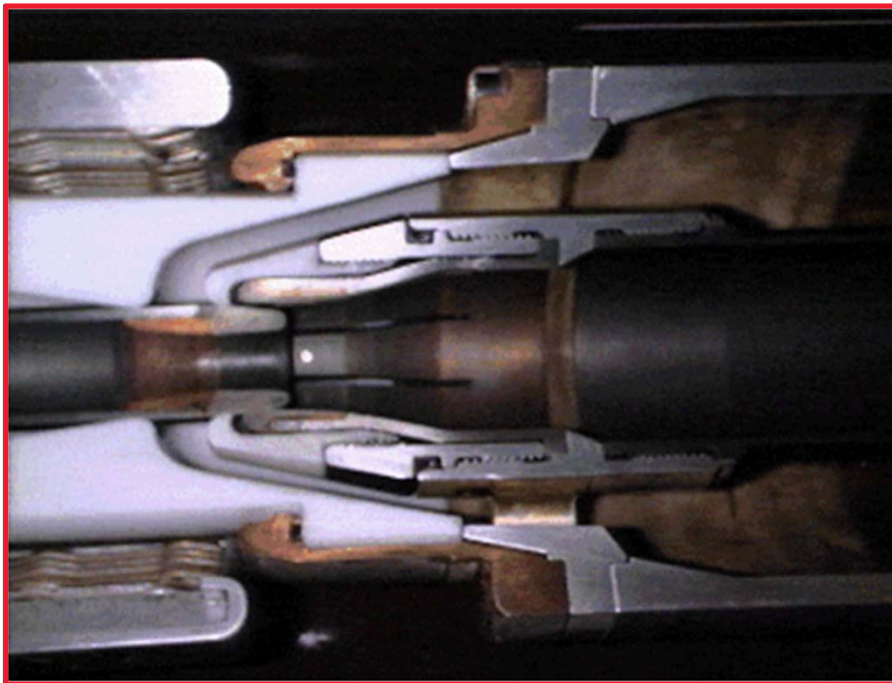
Resistencia de Contacto Dinámica - Cortocircuito



■ Interruptor después de cortocircuito

Casos de estudio

Resistencia de Contacto Dinámica - Cortocircuito



- Ensamble de contactos

Casos de estudio

Resistencia de Contacto Dinámica - Cortocircuito



- Contacto de arco móvil

Casos de estudio

Resistencia de Contacto Dinámica - Cortocircuito



- Contacto de arco fijo



Conclusiones

- Ambas pruebas (SDRM) se realizan en poco tiempo
- Ambos ensayos no son invasivos
- SRM permiten evaluar los contactos principales (interruptores)
- DRM permite evaluar el desgaste del contacto de arco y cuantificar la longitud del mismo (transductor) en interruptores SF6
- Las mediciones se comparan con resultados previos, para mejorar el análisis
- Estas pruebas previenen daños importantes en las cámaras de interrupción (interruptores)





**Cualquier otra pregunta, solicitud o comentario
adicional, pueden escribir al siguiente correo:**

raidel.coa@megger.com

o llamar al + 57 311 576 0238

Megger^R
Power on