

“Más Vale Prevenir...”

La guía Completa para
Pruebas de
Aislamiento Eléctrico

MEGGER®

Pruebas de Aislamiento



AVO INTERNATIONAL



AVO INTERNATIONAL

SEGURIDAD Se debe tener cuidado al hacer pruebas de aislamiento para evitar el peligro de un choque eléctrico.

Lea y entienda la sección de “Precauciones de Seguridad” antes de utilizar el instrumento Megger. Nunca conecte el instrumento Megger a líneas o aparatos energizados. Nunca utilice el instrumento Megger o sus cables y accesorios para ningún propósito no descritos en este libro. Si tiene dudas sobre cualquier aspecto de seguridad de prueba, pida ayuda.



“Más vale prevenir...”

La guía completa
para pruebas de
aislamiento eléctrico

Primera edición
Febrero de 1966

Segunda edición
Diciembre de 1978

Tercera edición
Junio de 1992

Copyright 2000
AVO INTERNATIONAL

Instrumentos eléctricos de prueba
y medición de precisión

DALLAS, TEXAS
Ph: (214) 330-3255
Fax: (214) 333-3533

CONTENIDO

¿Que es "buen" aislamiento?	3
¿Que hace que el aislamiento se deteriore?	5
¿Cómo se mide la resistencia de aislamiento?	6
¿Cómo interpretar las lecturas de aislamiento?	8
Factores que afectan las lecturas del aislamiento	10
Tipos de pruebas de resistencia de aislamiento	13
Prueba de tiempo corto o de lectura puntual	13
Método tiempo - resistencia	16
Relación de absorción dieléctrica	18
Condición de aislamiento indicada por las relaciones de absorción dieléctrica (Tabla I)	19
Prueba de voltaje vs voltajes nominales del equipo	20
Prueba de CA vs prueba de CD	21
Utilización del equipo de prueba dieléctrica de CD	22
Efecto de la temperatura en la resistencia de aislamiento	26
Factores de corrección de temperatura (Tabla II)	27
Corrección de temperatura con maquinaria rotatoria (Nomograma)	28
Efectos de la humedad	29
Preparación de aparatos para las pruebas	30
Precauciones de seguridad	32
Conexiones para prueba de resistencia de aislamiento de equipo eléctrico	34
Notas adicionales sobre la utilización de probadores de aislamiento Megger	40
Interpretación - valores mínimos	43
Valores mínimos de resistencia de aislamiento	46
Pruebas con el Megger multivoltaje	54
Método de voltaje por pasos	58
Utilización de una terminal de guarda	61
Boquillas, mufas y aisladores	66
Interruptores en aceite	68
Establecimiento de un programa de mantenimiento	71

Cada uno de los alambres eléctricos de su planta - sea que se encuentre en un motor, generador, cable, interruptor, transformador, etc. - está cubierto cuidadosamente con alguna forma de aislamiento eléctrico. El alambre en sí, generalmente de cobre o aluminio, es un buen conductor de la corriente eléctrica que da potencia a sus equipos. El aislamiento debe ser justamente lo opuesto de un conductor: Debe resistir la corriente y mantenerla en su trayectoria a lo largo del conductor.

Para entender las pruebas de aislamiento usted realmente no necesita entrar en las matemáticas de la electricidad, sólo en una ecuación - la ley de Ohm - puede ser de gran ayuda para apreciar muchos aspectos. Aún si usted ha utilizado esta ley antes, es una buena idea recordarla para las pruebas de aislamiento.

El propósito del aislamiento que envuelve a un conductor es similar al de un tubo que lleva agua, y la ley de Ohm en electricidad puede ser entendida más fácilmente por comparación con el flujo de agua. En la figura 1 se muestra esta comparación. La presión del agua de una bomba ocasiona el flujo a lo largo del tubo (figura 1a). Si el tubo tuviera una fuga, se gastaría agua y se perdería cierta presión.

En la electricidad, el voltaje es similar a la presión de la bomba y ocasiona que la electricidad fluya a lo largo de los alambres de cobre (figura 1b). Como en un tubo de agua, existe cierta resistencia al flujo, pero es mucho menor a lo largo del alambre que a través del aislamiento.

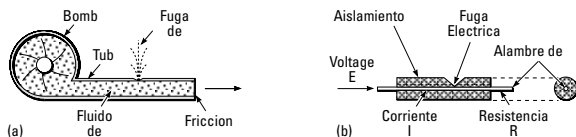


Figura 1 - Comparación del flujo de agua (a) con la corriente eléctrica (b).

El sentido común nos dice que a mayor voltaje se tendrá mayor corriente. También, que a menor resistencia del alambre se tendrá más corriente con el mismo voltaje.

Realmente, esta es la ley de Ohm, que se expresa de esta manera en forma de ecuación:

$$E = I \times R$$

donde

E = voltaje en volts
 I = corriente en amperes
 R = resistencia en ohms

Note, sin embargo, que ningún aislamiento es perfecto (su resistencia no es infinita), de modo que cierta cantidad de electricidad fluye a lo largo del aislamiento o a través de él a tierra. Tal corriente puede ser sólo de un millonésimo de amper (un microamper) pero es la base del equipo de prueba de aislamiento. Note también que un voltaje más alto tiende a ocasionar más corriente a través del aislamiento. Esta pequeña cantidad de corriente, por supuesto no dañaría un buen aislamiento pero sería un problema si el aislamiento se ha deteriorado.

Ahora, para resumir nuestra respuesta a la pregunta ¿qué es "buen" aislamiento? Hemos visto que, esencialmente "bueno" significa una resistencia relativamente alta a la corriente. Utilizado para describir un material aislante, "bueno" significaría también "la habilidad para mantener una resistencia alta". Así, una manera adecuada de medir la resistencia le puede decir que tan "bueno" es el aislamiento. También, si usted hace mediciones en periodos regulares, puede verificar la tendencia hacia su deterioro (más adelante se insistirá sobre este asunto).

Cuando el sistema eléctrico y el equipo de su planta son nuevos, el aislamiento eléctrico debe estar en la mejor forma. Además, los fabricantes de alambre, cable, motores, etc., han mejorado continuamente sus aislamientos para los servicios de la industria. A pesar de todo, aún hoy en día, el aislamiento está sujeto a muchos efectos que pueden ocasionar que falle - daños mecánicos, vibraciones, calor o frío excesivos, suciedad, aceite, vapores corrosivos, humedad de los procesos, o simplemente la humedad de un día nublado.

En distintos grados, estos enemigos del aislamiento están trabajando conforme pasa el tiempo - combinados con el esfuerzo eléctrico que existe. Conforme se desarrollan picaduras o grietas, la humedad y las materias extrañas penetran en la superficie del aislamiento y proporcionan una trayectoria de baja resistencia para la fuga de corriente. Una vez que comienzan, los distintos enemigos tienden a ayudarse entre sí y permiten una corriente excesiva a través del aislamiento.

A veces la caída de la resistencia de aislamiento es súbita, cómo cuando el equipo falla. Sin embargo, generalmente cae gradualmente, lo que da una advertencia suficiente si se verifica periódicamente. Tales verificaciones permiten el reacondicionamiento planeado antes de que falle el servicio. Si no se hacen verificaciones, un motor con poco aislamiento, por ejemplo, puede no solamente ser peligroso cuando se aplica voltaje y se toca, sino también puede estar sujeto a quemarse. Lo que era buen aislamiento se convierte en un conductor arriesgado.

CÓMO SE MIDE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Usted ha visto que un buen aislamiento tiene alta resistencia; un aislamiento pobre tiene baja resistencia relativamente. Los valores reales de resistencia pueden ser más altos o más bajos, dependiendo de factores como la temperatura o el contenido de humedad (la resistencia disminuye con la temperatura o la humedad).

Sin embargo, con los registros y un poco de sentido común, usted puede tener una buena imagen de las condiciones del aislamiento de valores que son sólo relativos.

El probador de aislamiento MEGGER es un instrumento pequeño y portátil que le da una lectura directa de la resistencia de aislamiento en ohms o megaoohms. Para un buen aislamiento, la resistencia se lee generalmente en el rango de los megaoohms.

El probador de aislamiento MEGGER es esencialmente un medidor de resistencia de alto rango (óhmetro) con un generador de corriente directa interconstruido. Este medidor es de construcción especial con bobinas de corriente y bobinas de voltaje que permiten que los ohms verdaderos se puedan leer directamente, independientemente del voltaje aplicado. Este método no es destructivo; es decir, no ocasiona deterioro del aislamiento.

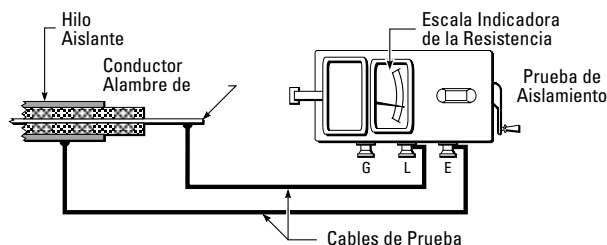


Figura 2 - Instrumento de prueba Megger típico conectado para medir resistencia de aislamiento.

El generador puede operarse manualmente o eléctricamente para desarrollar un voltaje alto de CD que ocasiona el flujo de una pequeña corriente a través y sobre las superficies del aislamiento bajo prueba (figura 2). Esta corriente (generalmente con un voltaje aplicado de 500 volts o más) se mide por medio del óhmetro, que tiene una escala de indicación. La figura 3 muestra una escala típica que lee valores crecientes de resistencia desde la izquierda hasta infinito, o una resistencia demasiado alta para medirse.

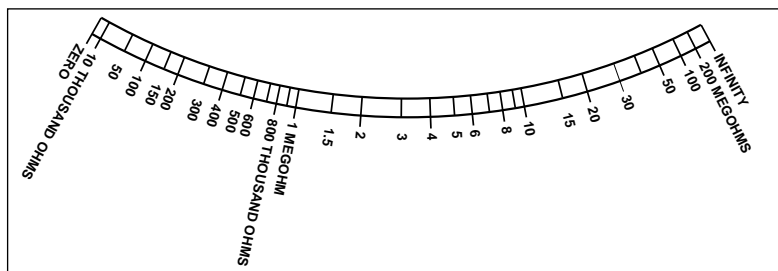


Figura 3 - Escala típica en el probador de aislamiento Megger.

CÓMO INTERPRETAR LAS LECTURAS DE AISLAMIENTO

Como se mencionó anteriormente, las lecturas de resistencia de aislamiento deben considerarse cómo relativas. Pueden ser bastante diferentes para un motor o una máquina probada durante tres días, y aún eso no significa mal aislamiento. Lo que realmente importa es la tendencia de las lecturas en un periodo de tiempo, en el que aparecen menor resistencia y advertencia de problemas posteriores. Las pruebas periódicas son, por tanto, su mejor aproximación para el mantenimiento preventivo del equipo eléctrico, utilizando tarjetas de registro como las que se muestran en la figura 4.

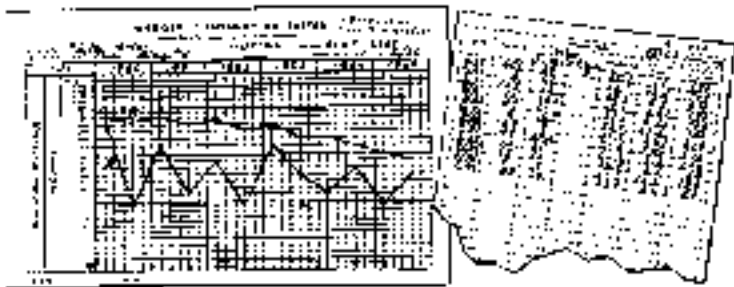


Figura 4 - Registro típico de resistencia de aislamiento del motor de un molino. La curva A muestra los valores de prueba medidos. La curva B muestra los mismos valores corregidos a 20° C (vea la página 27), que dan una tendencia definida hacia abajo hacia una condición no segura. El reverso de la tarjeta se utiliza para registrar los datos de prueba.

El que usted realice pruebas mensualmente, dos veces al año o una vez al año depende del tipo, localización e importancia del equipo. Por ejemplo, un motor de una bomba pequeña o un cable de control corto pueden ser vitales en un proceso de su planta. La experiencia es el mejor maestro para el establecimiento de los periodos programados para su equipo.

Usted debe realizar estas pruebas periódicas de la misma manera cada vez. Es decir, con las mismas conexiones de prueba y con el mismo voltaje aplicado durante la misma longitud de tiempo. También usted debe hacer pruebas más o menos a la misma temperatura, o corregirlas también a la misma temperatura. Un registro de la humedad relativa cerca del equipo en el momento de la prueba también es de ayuda para evaluar las lecturas y las tendencias. En secciones posteriores se cubren la corrección por temperatura y los efectos de la humedad.

En resumen, las siguientes son algunas observaciones generales sobre cómo puede usted interpretar las pruebas periódicas de resistencia de aislamiento, y lo que debe hacer con los resultados:

Condición *	Que hacer
(a) Valores buenos a altos y mantenidos.	No hay por que preocuparse.
(b) Valores buenos a altos pero con tendencia constante hacia valores más bajos.	Localice y remedie la causa y revise la tendencia a la baja.
(c) Bajos pero mantenidos.	Probablemente la condición es correcta, pero se debe revisar la causa de los bajos valores.
(d) Muy bajos como para ser inseguros.	Limpie, seque o de alguna manera eleve los valores antes de poner el equipo en servicio.
(e) Valores buenos o altos, anteriormente mantenidos pero con bajas súbitas.	Haga pruebas a intervalos frecuentes hasta localizar la causa de los valores bajos y remediarla; o hasta que los valores se hagan estables en un nivel más bajo pero seguros para la operación; o hasta que los valores sean tan bajos que sea inseguro mantener el equipo en servicio.

FACTORES QUE AFECTAN LAS LECTURAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Recuerde que la resistencia medida (del aislamiento) serán determinadas por el voltaje aplicado y la corriente resultante ($R = E/I$). Existen distintas cosas que afectan la corriente, incluidas la temperatura del aislamiento y la humedad, como se mencionó en la sección anterior. Ahora, consideremos sólo la naturaleza de la corriente a través del aislamiento y el efecto del tiempo que se aplica voltaje.

La corriente a través y a lo largo del aislamiento forma parte de una corriente relativamente estable en las trayectorias de fuga sobre la superficie del aislamiento. La electricidad también fluye a través del volumen del aislamiento. Realmente, como se muestra en la figura 5, nuestra corriente total comprende tres componentes:

- 1. Corriente de carga capacitiva** - Corriente que empieza alta y cae después de que el aislamiento se ha cargado a voltaje pleno (de manera similar al flujo de agua en una manguera de jardín cuando se abre la llave).
- 2. Corriente de absorción** - También una corriente alta inicialmente que luego cae (por razones que se analizan en la sección Método de tiempo - resistencia).
- 3. Corriente de conducción o fuga** - Una corriente pequeña esencialmente estable a través y sobre el aislamiento.

Como se muestra en la figura 5, la corriente total es la suma de las tres componentes y es la corriente que puede medirse directamente por un microampérmetro, o en términos de megaohms con un voltaje particular por medio de un instrumento MEGGER (óhmmetro). Debido a que la corriente total depende del tiempo que se aplica el voltaje, usted puede ver ahora porqué la ley de Ohm $R = E/I$ sólo se mantiene, teóricamente, para un tiempo infinito (es decir, usted debe esperar antes de tomar una lectura).

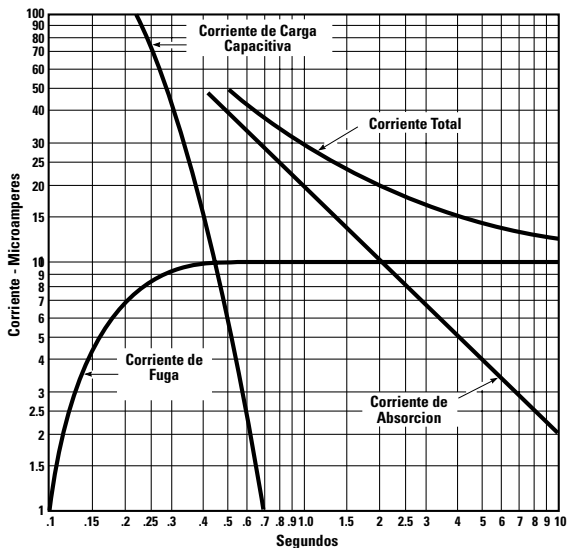


Figura 5 - Curvas que muestran las componentes de la corriente medida durante una prueba de aislamiento con CD.

En la práctica, como verá usted en los métodos de prueba que se describen enseguida, se necesita un valor que es la resistencia aparente - un valor útil para diagnosticar problemas, qué es lo que usted quiere hacer.

Note también en la figura 5 que la corriente de carga desaparece relativamente rápido conforme se carga el equipo bajo prueba. Las unidades grandes con más capacitancia tardarán más en cargarse. Esta corriente también es la energía almacenada descargada inicialmente después de su prueba, poniendo el aislamiento en corto circuito y a tierra. SIEMPRE TOME ESTA MEDIDA DE SEGURIDAD.

Usted puede ver además en la figura 5 que la corriente de absorción disminuye con una rapidez relativamente lenta, que depende de la naturaleza exacta del aislamiento. Esta energía almacenada, también, debe ser liberada al final de una prueba y requiere un tiempo más largo que la corriente de carga capacitiva - alrededor de cuatro veces el tiempo del voltaje aplicado.

Con buen aislamiento, la corriente de conducción o de fuga debe subir a un valor estable que es constante para el voltaje aplicado, como se muestra en la figura 5. Cualquier incremento de la corriente de fuga con el tiempo es una advertencia de problema, como se analiza en las pruebas de la sección siguiente.

Con un antecedente ahora de cómo el tiempo afecta el significado de las lecturas del instrumento, consideremos tres métodos comunes de prueba: (1) lectura de corto tiempo o puntual; (2) tiempo - resistencia; (3) absorción dieléctrica; y pruebas por pasos o multivoltaje.*

Prueba de corto tiempo o lectura puntual

En este método, usted conecta simplemente el instrumento MEGGER a través del aislamiento que se va a probar y lo opera por un periodo corto de tiempo específico (generalmente se recomienda 60 segundos). Como se muestra esquemáticamente en la figura 6, usted simplemente toma un punto en una curva de valores crecientes de resistencia; con frecuencia el valor sería menor para 30 segundos, más para 60 segundos. Tome en cuenta también que la temperatura y la humedad, así como la condición de su aislamiento afectan su lectura.

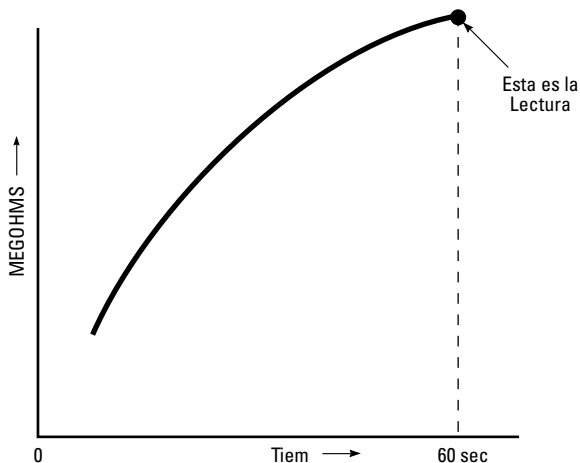


Figura 6 - Curva típica de resistencia de aislamiento (en megohms) con tiempo para el método de "corto tiempo" o "lectura puntual".

Si el aparato que está usted probando tiene una capacitancia muy pequeña, tal como un tramo corto de alambrado doméstico, la prueba de lectura puntual es todo lo que se requiere. Sin embargo, La mayoría de los equipos son capacitivos y así su primera lectura puntual en el equipo de su planta, sin pruebas previas, puede ser solamente una guía burda de que tan bueno o que tan malo es el aislamiento. Durante muchos años, los profesionales del mantenimiento han utilizado la regla de un megaohm para establecer el límite inferior permisible para la resistencia de aislamiento. Esta regla se puede enunciar como:

La resistencia de aislamiento debe ser aproximadamente un megaohm por cada 1,000 volts del voltaje de operación, con un valor mínimo de un megaohm.

Por ejemplo, un motor de 2,400 volts nominales debe tener una resistencia de aislamiento mínima de 2.4 megaohms. En la práctica, las lecturas de megaohms generalmente están considerablemente arriba de este valor mínimo en equipos nuevos o cuando el aislamiento está en buenas condiciones.

Tomando lecturas periódicamente y registrándolas, usted tiene una base mejor para juzgar las condiciones reales del aislamiento. Una tendencia persistente a la baja generalmente es una advertencia de problemas posteriores, aún cuando las lecturas sean más altas que los valores mínimos de seguridad sugeridos. Igualmente cierto, en tanto que sus lecturas periódicas sean consistentes, pueden estar bien, aún cuando sean menores que los valores mínimos recomendados. Las curvas de la figura 7 muestran el comportamiento típico de la resistencia de aislamiento bajo condiciones variables de operación de la planta. Las curvas se trazaron con lecturas puntuales tomadas con un instrumento MEGGER en un periodo de varios meses.

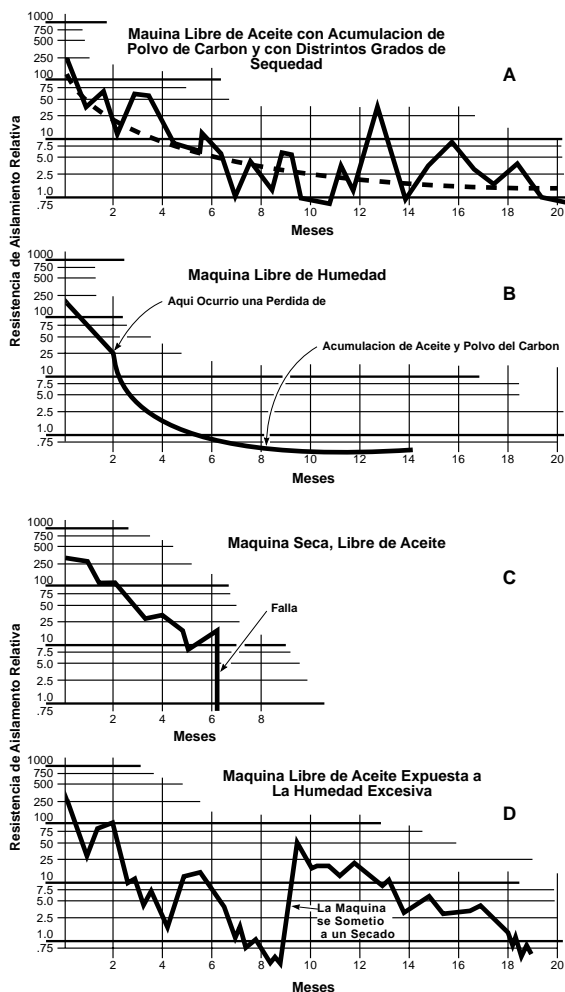


Figura 7 - Comportamiento típico de resistencia de aislamiento en un periodo de varios meses bajo condiciones variables de operación (curvas trazadas con las lecturas puntuales de un instrumento Megger).

Método tiempo - resistencia

Este método es casi independiente de la temperatura y con frecuencia puede darle información concluyente sin registros de las pruebas anteriores. Se basa en el efecto de absorción de buen aislamiento. Usted simplemente toma lecturas sucesivas en tiempos específicos y nota las diferencias en lecturas (vea las curvas de la figura 8). Las pruebas de este método se refieren a veces como pruebas de absorción.

Note que el buen aislamiento muestra un incremento continuo de resistencia (menos corriente - vea la curva A) en un periodo de tiempo (del orden de 5 a 10 minutos). Esto es ocasionado por la corriente de absorción de la que hablamos anteriormente; el buen aislamiento se observa en un periodo de tiempo mucho más largo que el tiempo requerido para cargar la capacitancia del aislamiento.

Si el aislamiento contiene mucha humedad o contaminantes, el efecto de absorción se enmascara por una corriente de fuga alta que permanece en un valor casi constante, manteniendo baja la lectura de resistencia (recuerde: $R = E/I$).

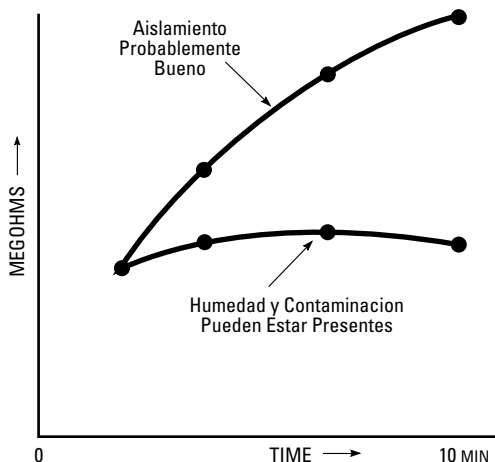


Figura 8 - Curvas típicas que muestran el efecto de absorción dieléctrica en una prueba "tiempo - resistencia", hecha en equipo capacitivo tal como el embobinado de un motor.

La prueba tiempo - resistencia también es de valor porque es independiente del tamaño del equipo. El incremento de resistencia para aislamiento limpio y seco ocurre de la misma manera ya sea que el motor sea grande o pequeño. Usted puede, por tanto, comparar varios motores y establecer las normas para motores nuevos, independientemente de sus capacidades de potencia.

La figura 9 muestra cómo una prueba de 60 segundos aparecería para buen y tal vez mal aislamiento. Cuando el aislamiento está en buenas condiciones, la lectura de 60 segundos es mayor que la lectura de 30 segundos.

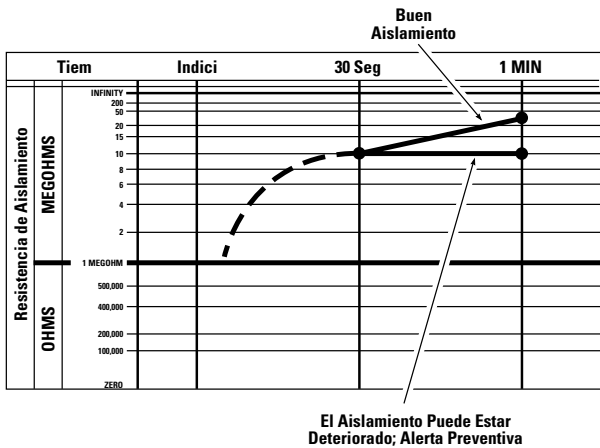


Figura 9 - Trazo típico de una prueba tiempo - resistencia de doble - lectura.

Una ventaja más de esta prueba de doble lectura, como se le llama a veces, es que le da una imagen más clara, aún cuando una lectura puntual diga que el aislamiento está bien.

Por ejemplo, supongamos que la lectura puntual en un motor síncrono fue de 10 megaohms. Ahora asumamos que la verificación de doble - lectura muestra que la resistencia de aislamiento se mantiene estable en 10 megaohms mientras usted mantiene el voltaje durante 60 segundos. Esto significa que puede haber suciedad o humedad en los embobinados que está observando. Por otro lado, si el puntero muestra un incremento gradual entre las verificaciones entre 30 y 60 segundos, entonces usted está razonablemente seguro que los embobinados están en buenas condiciones.

Las pruebas tiempo - resistencia en maquinaria eléctrica rotatoria grande - especialmente con voltaje de operación alto - requieren rangos altos de resistencia de aislamiento y un voltaje de prueba muy constante. Un MEGGER de prueba de trabajo pesado, operado eléctricamente, cumple con este requerimiento. En forma similar, tal instrumento se adapta mejor para cables grandes, boquillas, transformadores y cuchillas e interruptores.

Relación de absorción dieléctrica

La relación de dos lecturas tiempo - resistencia (tal como una lectura de 60 segundos dividida entre una lectura de 30 segundos) se llama una relación de absorción dieléctrica. Es útil en el registro de información sobre aislamiento. Si la relación es una lectura de 10 minutos dividida entre una lectura de un minuto, el valor se llama el índice de polarización.

Con instrumentos MEGGER operados manualmente, es mucho más fácil para usted realizar la prueba solamente para 60 segundos, tomando su primera a 30 segundos. Si usted cuenta con un MEGGER operado eléctricamente, obtendrá mejores resultados realizando la prueba de 10 minutos, tomando lecturas a 1 minuto y a 10 minutos, para obtener el índice de polarización. La tabla I da los valores de las relaciones y las condiciones relativas correspondientes del aislamiento que ellas indican.

TABLA I - Condiciones de aislamiento indicadas por las relaciones de absorción dieléctrica*

Condición del aislamiento	Relación 60/30 segundos	Relación 10/ minutos (índice de polarización)
Peligroso	–	Menos de 1
Dudoso	1.0 a 1.25	1.0 a 2***
Bueno	1.4 a 1.6	2 a 4
excelente	Arriba de 1.6**	Arriba de 4 **

* Estos valores se deben considerar tentativos y relativos - sujetos a la experiencia con el método tiempo - resistencia en un periodo de tiempo.

** En algunos casos, con motores, los valores aproximadamente 20% más altos que los mostrados aquí indican un embobinado quebradizo seco que fallará en condiciones de choque o durante los arranques. Para prevenir el mantenimiento, el embobinado del motor debe limpiarse, tratarse y secarse para restaurar las condiciones de flexibilidad.

*** Estos resultados serían satisfactorios para equipo con muy baja capacitancia tal como tramos cortos de alambrado doméstico.

PRUEBA DE VOLTAJE vs VOLTAJES NOMINALES DEL EQUIPO

Los voltajes de prueba de CD comúnmente utilizados para mantenimiento de rutina son los siguientes:

Capacidad del equipo de CA	Voltaje de prueba de CD
hasta 100 volts	100 a 250 volts
440 a 550 volts	500 a 1,000 volts
2,400 volts	1,000 a 2,500 volts o mayor
4,160 volts y mayor	1,000 a 5,000 volts o mayor

Los voltajes utilizados para prueba de equipo son considerablemente mayores que los utilizados para mantenimiento de rutina. Aunque no existen normas de la industria publicadas para voltajes máximos de prueba de CD para utilizarse con equipo rotatorio, el programa que se da enseguida se utiliza comúnmente. Para recomendaciones específicas sobre su equipo, usted debe consultar con el fabricante.

Voltajes de prueba para equipo rotatorio:

Prueba de fábrica de CA =
 $2 \times \text{nominal de placa} + 1,000 \text{ volts}$

Prueba de CD en la instalación =
 $0.8 \times \text{prueba de fábrica de CA} \times 1.6$

Prueba de CD después de servicio =
 $0.6 \times \text{prueba de fábrica de CA} \times 1.6$

Ejemplo:

Motor con 2,400 VCA nominales de placa -

Prueba de fábrica de CA =
 $2(2,400) + 1,000 = 5,800 \text{ VCA}$

Prueba de CD Máx. en la instalación =
 $0.8(5,800)1.6 = 7424 \text{ VCD}$

Prueba de CD Máx. después de servicio =
 $0.6(5,800)1.6 = 5,568 \text{ VCD}$

Hasta ahora, hemos hablado sobre pruebas con voltaje de CD, pero usted escuchará de pruebas de CA y necesitará conocer la diferencia. ¿Recuerda que hablamos de las clases de corriente producidas en el aislamiento por la CD? (El impulso inicial de la corriente de carga, la caída de la corriente de absorción con el tiempo, y luego, después de más tiempo, la corriente de conducción estable). Vimos que en las pruebas de aislamiento, la corriente de conducción o de fuga es aquella que nos da la información que necesitamos.

En contraste, las pruebas de CA dan una corriente de carga que es extremadamente grande comparada con las otras clases; la corriente de fuga es relativamente menor. Con frecuencia la CA se utiliza para pruebas de potencial alto; el voltaje se incrementa hasta cierto punto específico para ver si el aislamiento puede resistir ese voltaje particular. Es un tipo VA/NO-VA de prueba y puede ocasionar deterioro del aislamiento, en contraste con las pruebas de CD que básicamente no son destructivas.

Si se ha utilizado un voltaje de prueba de CA y usted desea utilizar pruebas de CD como una alternativa, necesitará incrementar algo el voltaje máximo de prueba de CD para obtener resultados equivalentes.

En algunos casos, las pruebas de CA pueden ser más adecuadas para prueba de equipo (es decir, ver que el equipo cumpla con las normas prescritas). Usted aplica el voltaje hasta el valor seleccionado y el equipo pasa o no pasa la prueba. Con la prueba de CD, usted obtiene una visión más cualitativa; usted puede medir la corriente de fuga conforme incrementa el voltaje y obtiene valores específicos de resistencia de aislamiento.

Conforme aumenta el tamaño de su equipo, existen también ventajas económicas marcadas en las pruebas de CD sobre las pruebas de CA. Conforme se incrementa el voltaje de prueba, tanto el costo como el peso del equipo de prueba de CA crece mucho más rápido que el del equipo de prueba comparable de CD. Esto se debe a que los equipos de prueba de CA deben suministrar la corriente de carga que se hace y permanece muy alta en las máquinas más grandes. Como se explicó anteriormente, en las pruebas de CD, esta corriente cae rápidamente después del periodo inicial de carga.

En resumen, los equipos de prueba de CD se emplean casi exclusivamente para pruebas de mantenimiento de alto voltaje y pruebas de campo por las razones siguientes:

1. Costo más bajo
2. Peso más ligero
3. Tamaño más pequeño
4. Pruebas no destructivas
5. Mejor información, tanto en calidad como en cantidad

UTILIZACION DEL EQUIPO DE PRUEBA DIELECTRICA DE CD

El instrumento MEGGER, por leer directamente en ohms y megaohms la resistencia de aislamiento, es su mejor selección para mantenimiento de rutina en la planta. Sin embargo, algunas plantas, particularmente con los equipos de voltaje más alto, utilizan otro producto Biddle - el equipo de prueba dieléctrica. De modo que usted debe estar al tanto de este instrumento y su utilización en mediciones de resistencia de aislamiento.

El equipo de prueba dieléctrica se puede utilizar para determinar la resistencia de aislamiento por los mismos métodos de prueba más alto que se mencionaron para el instrumento MEGGER; es decir, las pruebas de corto tiempo, tiempo - resistencia, absorción dieléctrica y voltaje por pasos. Está diseñado para otros usos, también, pero para pruebas de aislamiento proporciona: (1) un voltaje de salida ajustable y (2) una supervisión de la corriente resultante en microamperes. Los equipos de prueba dieléctrica Biddle de CD están disponibles con salidas de voltaje que van de 5 kV hasta 160 v.

Las curvas de la figura 5 están trazadas como corriente vs tiempo, puesto que son curvas para mediciones de aislamiento en equipos típicos dadas casi al final de este manual (figura 18 y 23 a 26). Biddle suministra papel gráfico que facilita el trazo de megaohms de resistencia de aislamiento de sus lecturas de voltaje y corriente.

PRUEBAS DURANTE EL SECADO DEL EQUIPO

El equipo eléctrico mojado es un peligro común que enfrentan todos los ingenieros de mantenimiento. Si el equipo está mojado por agua limpia, lo que procede es secarlo directamente. Sin embargo, si lo mojado proviene de agua salada, usted debe retirar la sal con agua limpia. De otra manera quedan depósitos muy corrosivos de sal en el metal y en la superficie y en las grietas de los aislamientos. Con la humedad, tales depósitos forman un conductor muy bueno de la electricidad. También usted debe retirar el aceite o la grasa del aislamiento, utilizando un solvente adecuado.

Existen varias maneras de secar el equipo eléctrico, dependiendo de su tamaño y su portabilidad. Usted puede utilizar un chorro de aire caliente, un horno, hacer pasar corriente por los conductores, o una combinación de tales técnicas. Las condiciones locales de la planta y las instalaciones, junto con la información de los fabricantes del equipo, pueden servir de guía como el mejor método para su equipo particular.

En algunos casos, o con ciertos equipos, el secado puede no ser necesario. Usted puede verificar esto por medio de pruebas de resistencia de aislamiento, si cuenta con registros de pruebas anteriores. Cuando se requiere el secado, tales registros también son útiles para determinar si el aislamiento está libre de humedad.

Nota: El equipo húmedo es susceptible de ruptura de voltaje. Por tanto, usted debe utilizar un probador MEGGER de bajo voltaje (100 ó 250 VCD), cuando menos en los primeros pasos del secado. Si no cuenta con un instrumento de bajo voltaje, el giro lento de un probador de 500 volts puede ser un sustituto.

Como un ejemplo de la importancia de las lecturas anteriores, consideremos el caso de un motor de 100 hp que se ha inundado. Después de una limpieza, una lectura puntual con el probador MEGGER es de 1.5 megaohms. Así de pronto, usted probablemente diría que eso está bien. Todavía más, si los registros anteriores muestran que la resistencia de aislamiento está entre 1 y 2 megaohms, usted estará seguro.

Por otra parte, si los registros anteriores muestran que los valores de resistencia están entre 10 y 20 megaohms, entonces todavía hay agua en los embobinados del motor.

La curva de secado típica para la armadura de un motor de CD (figura 10) muestra como cambia la resistencia de aislamiento. Durante la primera parte de la corrida, la resistencia realmente disminuye debido a la alta temperatura. Luego se eleva a una temperatura constante conforme avanza el secado. Finalmente, se eleva a un valor más alto, conforme se alcanza la temperatura del ambiente.

Note que si usted realiza pruebas de resistencia de aislamiento durante el secado, y cuenta con lecturas de pruebas anteriores con el equipo seco, usted sabrá cuando ha alcanzado el valor seguro para la unidad. Tal vez prefiera realizar una prueba tiempo - resistencia, tomada periódicamente (digamos, una vez), utilizando la relación de absorción eléctrica o el índice de polarización para seguir el progreso del secado (no se necesita hacer correcciones por temperatura).

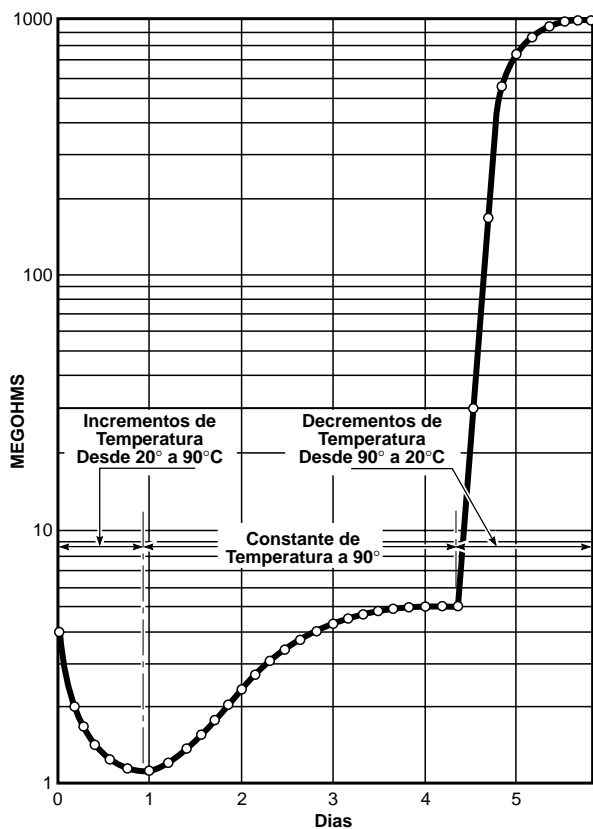


Figura 10 - Curva típica de secado. Lecturas de resistencia de aislamiento durante un minuto cada cuatro horas.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia de los materiales aislantes decrece marcadamente con un incremento en la temperatura. Sin embargo, como hemos visto, las pruebas por los métodos tiempo - resistencia voltaje por pasos son relativamente independientes de los efectos de la temperatura, por lo que dan valores relativos.

Si usted desea hacer comparaciones confiables entre lecturas, debe corregir las lecturas a una temperatura base, por ejemplo a 20° C, o tomar todas sus lecturas a la misma temperatura aproximadamente (generalmente no es difícil hacerlo). Cubriremos algunas guías generales para la corrección por temperatura:

Una regla de dedo es:

**Por cada 10° C de incremento de temperatura, divida entre dos la resistencia;
o por cada 10° C de disminución de temperatura duplique la resistencia.**

Por ejemplo, una resistencia de dos megohms a 20° C se reduce a 1/2 megohms a 40° C.

Cada tipo de material aislante tendrá diferente grado de cambio de resistencia con la temperatura. Sin embargo, se han desarrollado factores para simplificar la corrección de los valores de resistencia. La tabla II da tales factores para equipo rotatorio, transformadores y cables. Usted multiplica las lecturas que obtenga por el factor correspondiente a la temperatura (que necesita medir).

Tabla II - Factores de corrección por temperatura *

TEMP.		ROTATING EQUIP.		Transformador de Aciete	CABLES							
°C	°F	CLASS A	CLASS B		Código Natural	Código GR-S	Rendimiento Natural	Calor Resistencia Natural	Calor Resist. y Rend. de GR-S	Ozono Resist. y GR-S Natural	Cambrico Embarnizado	Papel Impregnado
0	32	0.21	0.40	0.25	0.25	0.12	0.47	0.42	0.22	0.14	0.10	0.28
5	41	0.31	0.50	0.36	0.40	0.23	0.60	0.56	0.37	0.26	0.20	0.43
10	50	0.45	0.63	0.50	0.61	0.46	0.76	0.73	0.58	0.49	0.43	0.64
15.6	60	0.71	0.81	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	68	1.00	1.00	1.00	1.47	1.83	1.24	1.28	1.53	1.75	1.94	1.43
25	77	1.48	1.25	1.40	2.27	3.67	1.58	1.68	2.48	3.29	4.08	2.17
30	86	2.20	1.58	1.98	3.52	7.32	2.00	2.24	4.03	6.20	8.62	3.20
35	95	3.24	2.00	2.80	5.45	14.60	2.55	2.93	6.53	11.65	18.20	4.77
40	104	4.80	2.50	3.95	8.45	29.20	3.26	3.85	10.70	25.00	38.50	7.15
45	113	7.10	3.15	5.60	13.10	54.00	4.15	5.08	17.10	41.40	81.00	10.70
50	122	10.45	3.98	7.85	20.00	116.00	5.29	6.72	27.85	78.00	170.00	16.00
55	131	15.50	5.00	11.20			6.72	8.83	45.00		345.00	24.00
60	140	22.80	6.30	15.85			8.58	11.62	73.00		775.00	36.00
65	149	34.00	7.90	22.40				15.40	118.00			
70	158	50.00	10.00	31.75				20.30	193.00			
75	167	74.00	12.60	44.70				26.60	313.00			

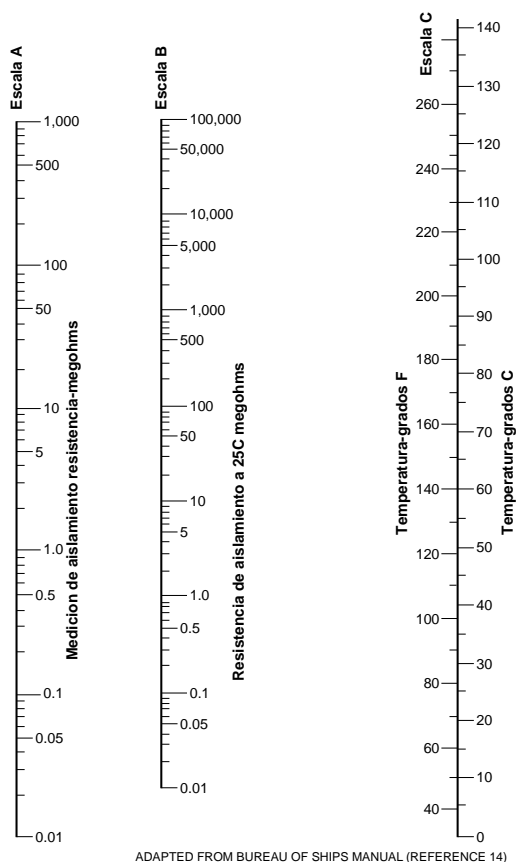
*Corregidos a 20°C para equipo rotatorio y transformadores; a 15.6°C para cables.

* Corregidos a 20° C para equipo rotatorio y transformadores; a 15.6° C para cables

Por ejemplo, supongamos que usted tiene un motor con aislamiento Clase A y usted obtiene una lectura de 2.0 megahms a una temperatura (en los embobinados) de 104° F (40° C). De la tabla II usted lee a través de 104° F a la columna siguiente (para Clase A) y obtiene el factor 4.80. Su valor corregido de resistencia es entonces:

$$\begin{array}{lcl}
 2.0 \text{ megahms} & \times & 4.80 = (\text{factor} \\
 (\text{lectura a} & & \text{de corrección} \\
 104^\circ \text{ F}) & & \text{para} \\
 & & \text{aislamiento} \\
 & & \text{Clase "A" a} \\
 & & 104^\circ \text{ F})
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 9.6 \text{ megahms} \\
 (\text{lectura} \\
 \text{corregida para} \\
 68^\circ \text{ F ó } 20^\circ \text{ C})
 \end{array}$$

Note que la resistencia es casi cinco veces mayor a 68° F (20° C), comparada con la lectura a 104° F. La temperatura de referencia para cables se da a 60° F (15.6° C), pero el punto importante es ser consistente y corregir a la misma base.



ADAPTED FROM BUREAU OF SHIPS MANUAL (REFERENCE 14)

Nomograma de valores de corrección por temperatura para lecturas MEGGER (corregidas a 20° C). Para maquinaria rotatoria con aislamiento Clase B.

Hemos hablado en varios puntos en este manual sobre la presencia de humedad en el aislamiento y su efecto muy marcado sobre los valores de resistencia. Usted podría esperar, por tanto, que aumentando la humedad (contenido de humedad) en el aire circundante (ambiente) podría afectar la resistencia de aislamiento. Y se puede en distintos grados.

Si su equipo opera regularmente arriba de la temperatura del punto de rocío (la temperatura a la que el vapor de la humedad en el aire se condensa como líquido), la lectura de la prueba normalmente no se afectará mucho por la humedad. Aún si el equipo que se va a probar está en vacío, también es cierto - mientras su temperatura se mantenga arriba del punto de rocío.

El enunciado anterior asume que las superficies del aislamiento están libres de contaminantes, tales como ciertas pelusas y ácidos o sales, que tienen la propiedad de absorber humedad (llamados materiales "higroscópicos" o "deliquescentes" por los químicos). Su presencia podría afectar impredeciblemente sus lecturas; deben retirarse antes de efectuar las pruebas.

En el equipo eléctrico nos interesan principalmente las condiciones de las superficies expuestas donde se condensa la humedad y afecta la resistencia total del aislamiento. Sin embargo, los estudios muestran que se formará rocío en las fracturas y grietas del aislamiento antes de que sea evidente en la superficie. Las mediciones del punto de rocío le darán un indicio de si existen tales condiciones invisibles, que alteran los resultados de las pruebas.

Como una parte de sus registros de mantenimiento, por tanto, es una buena idea tomar nota cuando menos de si el aire circundante estaba seco o húmedo cuando se hizo la prueba. También, si la temperatura estaba arriba o abajo del ambiente. Cuando usted prueba equipo vital, registre las temperaturas de bulbo mojado y seco, de las que se pueden obtener el punto de rocío y el porcentaje de humedad relativa y absoluta.

1. Puesta fuera de servicio

Desconecte el aparato. Abra sus interruptores. Desenergícelo. Desconéctelo de otros equipos y circuitos, incluidas las conexiones de tierra del neutro y la protección (temporales de los trabajadores).

2. Asegúrese de que está incluido en la prueba

Revise la instalación con mucho cuidado para determinar que equipo está conectado y que se incluirá en la prueba, especialmente si es difícil y caro desconectar los aparatos y los circuitos asociados. Ponga particular atención a los conductores que salen de la instalación. Esto es muy importante, porque mientras se incluya más equipo en una prueba, menor será la lectura, y la resistencia de aislamiento real del aparato en cuestión puede quedar enmascarada por la del equipo asociado.

Siempre es posible, por supuesto, que la resistencia de aislamiento de la instalación completa (sin desconectar todo) será suficientemente alta, especialmente para una verificación puntual. O, puede ser más alta que el rango del instrumento MEGGER que se utiliza, en cuyo caso no se ganará nada por la separación de los componentes, debido a que la resistencia de aislamiento de cada parte sería todavía más alta.

Para una prueba inicial, puede ser necesario separar las partes componentes, aún cuando se involucran trabajo y gastos, y probar cada una separadamente. También haga una prueba de todos los componentes conectados entre sí. Con esta información en los registros, puede ser necesario separar los componentes en pruebas futuras a menos que se observen lecturas bajas despreciables.

3. Descarga de capacitancia

Es muy importante que se descargue la capacitancia, tanto antes como después de una prueba de resistencia de aislamiento. Debe descargarse por un periodo de alrededor de cuatro veces el tiempo que se aplicó el voltaje de prueba en una prueba previa.

Los instrumentos MEGGER con frecuencia están equipados con interruptores de descarga para este propósito. Si no se proporciona una posición de descarga, se debe utilizar una varilla de descarga. Deje en corto circuito los aparatos de alta capacitancia (por ejemplo, capacitores, grandes embobinados, etc.) hasta que estén listos para reenergizarlos.

4. Fuga de corriente en interruptores

Cuando los aparatos se desconectan para la prueba de resistencia de aislamiento, asegúrese de que las lecturas no se afecten por fugas sobre o a través de los interruptores o los bloques de fusibles, etc. Tales fugas pueden enmascarar la resistencia de aislamiento real del aparato bajo prueba. Vea Utilización de una terminal de guarda.

O, lo que puede ser más serio, la corriente de una línea energizada puede fugarse dentro del aparato y ocasionar lecturas inconsistentes, particularmente si la línea viva es de CD. Sin embargo, tales fugas generalmente se pueden detectar observando el puntero del instrumento MEGGER en el momento que se conectan los cables de prueba al aparato y antes de que se opere el instrumento. Antes de hacer esas observaciones, asegúrese de que toda la capacitancia se ha descargado poniendo el aparato en corto circuito o a tierra.

PRECAUCIÓN:

Nunca conecte un probador de aislamiento MEGGER a líneas o equipo energizados. Nunca utilice el probador o cualquiera de sus cables o accesorios para ningún propósito no descrito en este libro

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Observe todas las reglas de seguridad cuando saque de servicio el equipo. Bloquee los interruptores de desconexión. Pruebe los voltajes extraños o inducidos. Aplique las tierras de seguridad de los operarios.

Recuerde que cuando se trabaja alrededor de equipos de alto voltaje existe siempre la posibilidad de voltajes inducidos en los aparatos bajo prueba o en las líneas a las que se conectan, debido al efecto de proximidad al energizar equipo de alto voltaje. Por tanto, en lugar de retirar una tierra de seguridad de los operarios para hacer una prueba, es más aconsejable desconectar el aparato, tal como un transformador o un interruptor, de la barra o de la línea expuestas y dejar estas últimas puestas a tierra. Utilice guantes de hule cuando conecte los cables de prueba al aparato y mientras opere el instrumento MEGGER.

***¡Los aparatos bajo prueba no deben estar vivos!
Vea Preparación de aparatos para prueba***

Si el neutro u otras conexiones a tierra tienen que desconectarse, asegúrese de que no están llevando corriente en el momento, y que cuando se desconecten ningún otro equipo carecerá de la protección necesaria.

Ponga particular atención a los conductores que salen del circuito que se está probando y asegúrese de que se hayan desconectado apropiadamente de cualquier fuente de voltaje.

Peligro de choque del voltaje de prueba

Observe que la capacidad de voltaje del instrumento MEGGER y véalo con precaución apropiada. Los equipos eléctricos grandes y los cables generalmente tienen suficiente capacitancia para almacenar una cantidad de energía peligrosa de la corriente de prueba. Asegúrese de que esta capacitancia se descargue después de la prueba y antes de manejar los cables de prueba. Vea también Descarga de capacitancia.

Peligro de explosión y fuego

Hasta donde se sabe, no existe peligro de fuego en la utilización normal de un probador de aislamiento MEGGER. Sin embargo, hay peligro cuando se prueba equipo localizado en atmósferas inflamables o explosivas.

Se pueden encontrar ligeras chispas:

- 1) Cuando se sujetan los cables de prueba a equipo donde la capacitancia no se ha descargado completamente.
- 2) Durante una prueba, con arco a través o sobre el aislamiento dañado.
- 3) Enseguida de una prueba cuando se descarga la capacitancia.

PRECAUCIÓN

**No utilice el instrumento
en una atmósfera explosiva**

Sugerencias:

Para 1)

- y 3): Arregle permanentemente las instalaciones de puesta a tierra y los cables de prueba en un punto donde las conexiones del instrumento se puedan hacer en una atmósfera segura.

Para 2): Utilice instrumentos de prueba de bajo voltaje, o una resistencia en serie:

Para 3): No desconecte los cables de prueba por lo menos antes de 30 a 60 segundos después de la prueba para permitir la descarga de la capacitancia.

CONEXIONES PARA PRUEBA DE RESISTENCIA AISLAMIENTO DE EQUIPO ELÉCTRICO

Los siguientes diagramas muestran cómo conectar un probador de aislamiento MEGGER a distintos tipos de equipo eléctrico. Los diagramas también muestran en principio cómo debe desconectarse el equipo de otros circuitos antes de conectar el instrumento.

Estas ilustraciones son típicas y servirán como guías para probar la resistencia de aislamiento de prácticamente todos los tipos de aparatos y conductores.

Antes de proceder con las pruebas, lea el artículo **Preparación de aparatos para prueba.**

¡RECUERDE! El probador de resistencia de aislamiento MEGGER mide cualquier resistencia que se conecte entre sus terminales. Esto puede incluir trayectorias de fuga serie o paralelo a través del aislamiento o sobre su superficie.

1. Motores y equipo de arranque de CA

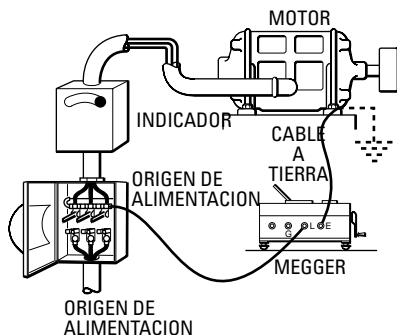


Figura 11

Las conexiones para prueba de resistencia de aislamiento de un motor, equipo de arranque y líneas de conexiones, en paralelo. Note que el interruptor de arranque está en la posición "on" para la prueba. Siempre es preferible desconectar las partes componentes y probarlas separadamente con objeto de determinar donde existe debilidad.

2. Generadores y motores de CD

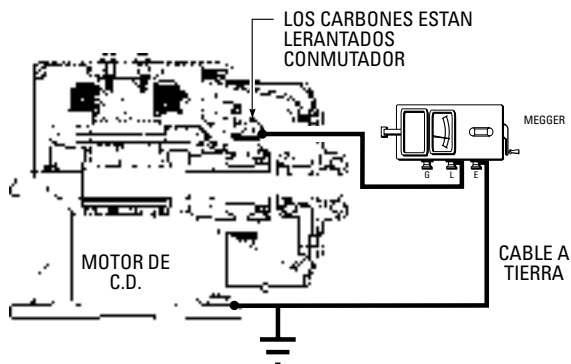


Figura 12

Con las escobillas levantadas como se indica, se pueden probar los cables de las escobillas y las bobinas de campo separados de la armadura. De la misma manera la armadura puede probarse por sí misma. Con las escobillas bajadas, la prueba será la de cables de las escobillas, bobinas de campo y armadura combinados.

3. Instalación del alambrado

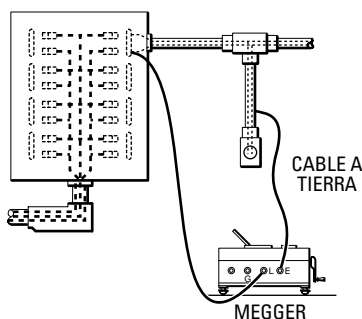


Figura 13

Conexiones para prueba a tierra de cada circuito por separado, trabajando desde el panel de distribución.

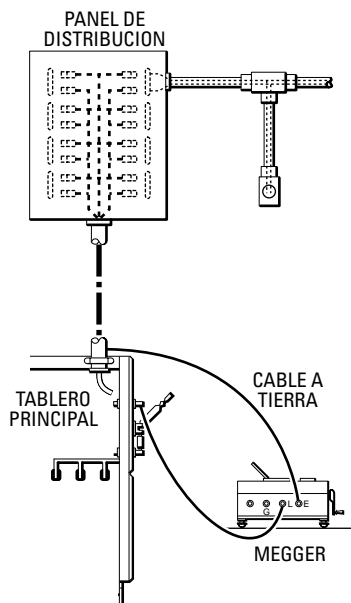


Figura 14

Conexiones en el tablero de potencia principal, desde donde se puede probar el sistema completo a tierra a la vez, siempre que todos los interruptores en el panel de distribución estén cerrados.

4. Medidores, instrumentos y aparatos eléctricos misceláneos

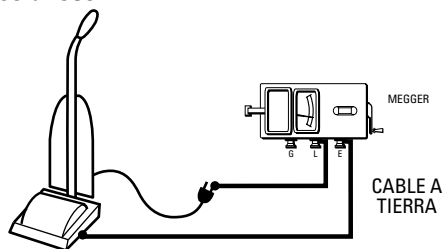


Figura 15

Conexiones para probar un aparato. La prueba se hace entre el conductor (la unidad de calefacción, motor, etc.) y las partes metálicas expuestas. El aparato debe desconectarse de cualquier fuente de potencia y colocarse sobre un material aislante.

5. Cables de control, señalización y comunicación

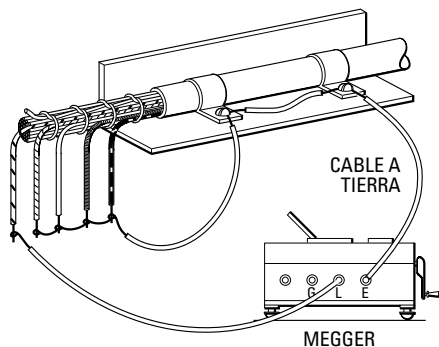


Figura 16

Conexiones para probar resistencia de aislamiento de un alambre en un cable multiconductor contra todos los otros alambres y la cubierta conectados entre sí.

6. Cables de potencia

Conexiones para probar la resistencia de aislamiento de un cable de potencia. Cuando se prueba un cable, generalmente es mejor desconectarlo en ambos extremos con objeto de probar el cable en sí, y evitar errores debidos a fugas a través o por los tableros de conmutación o los paneles. Vea también Uso de terminal de guarda.

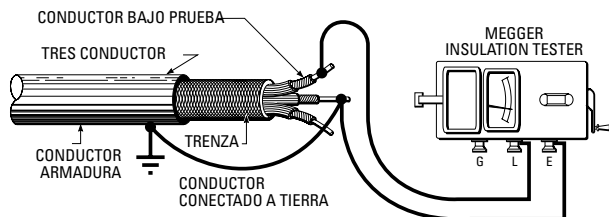


Figura 17

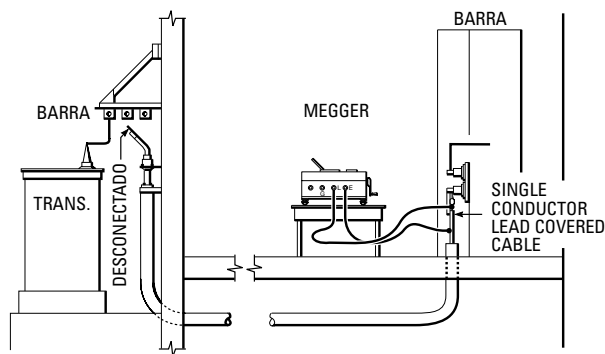


Figura 18

7. Transformadores de potencia

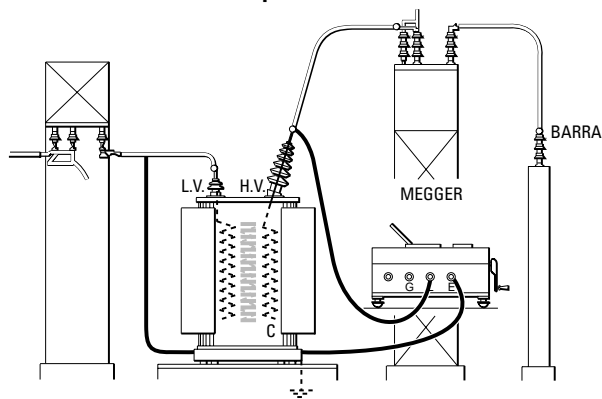


Figura 19

Conexiones para probar la resistencia de aislamiento del embobinado de alto y las boquillas de un transformador, y el interruptor de desconexión de alta tensión, en paralelo, con referencia al embobinado de baja tensión y tierra. Note que el embobinado de baja tensión está puesto a tierra para esta prueba.

8. Generadores de CA

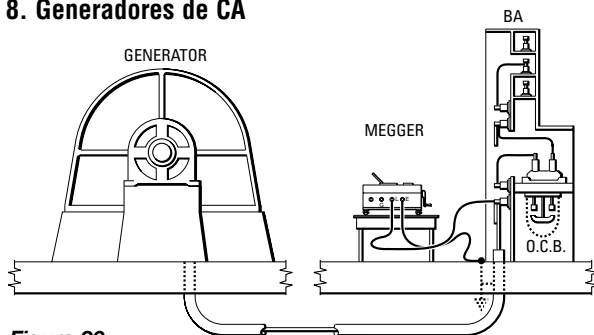


Figura 20

Con esta conexión, la resistencia de aislamiento será la del embobinado del estator del generador y la del cable de conexión combinadas. Para probar el estator o el cable por separado, el cable debe estar desconectado de la máquina.

Cables de prueba

Los cables de prueba de baja calidad o defectuosos ocasionarán resultados erróneos y engañosos de las pruebas de resistencia de aislamiento. Tenga cuidado al respecto.

Cables sin aislamiento

Para evitar errores debidos al aislamiento de los cables, coloque el instrumento MEGGER cerca de la terminal no conectada a tierra o conductor del aparato bajo prueba y conecte una pieza corta de alambre desnudo delgado de la terminal de línea del instrumento al aparato. Si se utiliza la terminal Guarda, se debe tratar en forma similar. Será suficiente alambre sólido No. 18 ó 20. Soporte el cable sólo por sus conexiones al instrumento y al aparato.

Con este método de conectar de la terminal Línea, la calidad del aislamiento, si hay alguna, del cable de tierra, es despreciable.

Cables aislados

Cuando se depende de cables aislados, deben ser durables y de material aislante de la mejor calidad. Se recomienda conductor simple No. 14, con aislamiento resistente al aceite, sintético o de hule. La cubierta exterior debe ser lisa sin trenzado exterior. Debe llevar orejas para sujetarlo a las terminales del instrumento, y se recomienda que lleve pinzas resistentes con resorte para conectar el aparato o el circuito bajo prueba. Se puede utilizar una longitud conveniente de cable. Se deben evitar los empalmes.

Después de conectar los cables al instrumento y antes de conectarlos al aparato, asegúrese de que no haya fugas de cable a cable. Para ello opere el instrumento que debe dar una lectura infinita. No corrija las fugas ligera de las puntas intentando restablecer el ajuste de infinito en un instrumento de alto rango. Luego toque los entre sí los extremos de los cables para asegurarse de que no están desconectados o rotos.

La prueba de corriente con probadores de aislamiento MEGGER de alto rango (50,000 megaohms) requiere que el cable de prueba de Línea se mantenga en un valor alto de modo que no entre en el instrumento. El cable de prueba con el blindaje conectado a Guarda evita que se mida cualquier fuga en sus terminales o a través del material aislante del cable.

Instrucciones de utilización

El extremo sin etiqueta del cable con blindaje se debe conectar a las terminales de línea y guarda del instrumento MEGGER - el extremo terminal a Línea y la terminal lateral (blindaje) a Guarda. La pinza en el cable Línea se conecta al aparato bajo prueba de la manera normal. La terminal Guarda fuera de borda puede conectarse a aquella parte del aparato bajo prueba que el usuario desea proteger. El conductor empleado al hacer esta conexión debe estar aislado para el voltaje nominal del instrumento MEGGER utilizado.

Efecto de la capacitancia

La capacitancia del aparato bajo prueba debe cargarse al voltaje nominal de CD del probador de aislamiento MEGGER, y debe mantenerse durante 30 a 60 segundos antes de tomar una lectura final. Asegúrese de que la capacitancia se descargue, poniendo en corto circuito y a tierra el aparato antes de conectar los cables de prueba. Vea Descarga de capacitancia.

Nota: La capacitancia ocasiona que el puntero se mueva hacia cero mientras el instrumento alcanza su velocidad, y que se mueva hacia más allá de infinito cuando el generador desacelera. Esto es simplemente la carga que fluye dentro y fuera de la capacitancia y a través de la bobina de deflexión del óhmetro.

Los efectos de la capacitancia son más notables en generadores grandes, en cables de potencia y cables de comunicación con longitudes de varios cientos de pies, y en capacitores. En general estos efectos son pequeños con capacitancia de menos de 0.01 F. Son más notables mientras se incrementa la capacitancia o la sensibilidad del instrumento. Los probadores de aislamiento MEGGER de la serie de trabajo pesado pueden utilizarse en capacitores grandes con buenos resultados, particularmente cuando se operan con la línea de potencia y no manualmente.

Tiempo de operación

Una consideración muy importante al hacer pruebas de resistencia de aislamiento es el tiempo requerido para que la lectura de resistencia de aislamiento alcance un máximo. El tiempo requerido para cargar la capacitancia geométrica es muy corto - generalmente no más de unos cuantos segundos - y lo que ocasiona mayor retraso en alcanzar la carga plena es un efecto de absorción eléctrica. Puede ser cuestión de minutos o aún horas para que se complete este tiempo de electrificación, y para que el puntero alcance un máximo absoluto.

Lecturas de corto tiempo

Para lecturas de corto tiempo de resistencia de aislamiento, opere el instrumento durante una cantidad de tiempo definida, 30 segundos ó 1 minuto, y haga la lectura al final de ese tiempo. Continúe girando establemente a la velocidad de deslizamiento hasta que se haya tomado la lectura. Haga pruebas futuras con la misma cantidad de tiempo de operación.

Método tiempo - resistencia

Cuando utilice un instrumento manual, opere continuamente durante un minuto. Tome una lectura al fin de los 30 segundos y otra lectura al fin de un minuto.

Cuando utilice un instrumento con motor eléctrico u operado por rectificador, los intervalos de tiempo son generalmente 1 minuto y 10 minutos a partir del momento que se aplica el voltaje de prueba.

Escalas de voltaje

Algunos probadores de aislamiento pueden suministrarse con una escala de voltaje para verificar la ausencia de voltaje antes de la prueba de aislamiento. Como se explicó en la sección Precauciones de seguridad, sin embargo, los probadores de aislamiento nunca deben conectarse a líneas o equipos energizados cuando se operen en alguno de los modos de prueba de aislamiento o prueba de resistencia.

La resistencia de aislamiento del equipo eléctrico se afecta por muchas variables tales como el diseño; el tipo de material aislante utilizado, incluidos las ataduras y los compuestos de impregnación; el espesor del aislamiento y su área; la limpieza, la humedad y la temperatura. Para que las lecturas de resistencia de aislamiento sean una medición concluyente de las condiciones del equipo que se prueba, deben tomarse en consideración estas variables.

Después de que el equipo se ha puesto en servicio, la clase de material aislante utilizado, y su espesor y el área dejan de ser variables, permitiendo que se establezcan los valores de resistencia mínimos dentro de tolerancias tolerables. Las variables que deben considerarse después de que el equipo se ha puesto en servicio, y el tiempo en que se hacen las mediciones de resistencia de aislamiento son limpieza, humedad, temperatura y daño mecánico (tal como fractura).

INTERPRETACIÓN DE VALORES MÍNIMOS

Buenos cuidados

Los requerimientos más importantes para la operación confiable del equipo eléctrico son limpieza, y la eliminación de la penetración de humedad en el aislamiento. Esto se puede considerar como buenos cuidados, y es esencial en el mantenimiento de todos los tipos de equipo eléctrico. El hecho de que la resistencia de aislamiento se afecta por la humedad y la suciedad, con los cuidados debidos de temperatura, hace del probador de aislamiento MEGGER una herramienta valiosa en el mantenimiento eléctrico. Es desde luego un indicador de limpieza y buenos cuidados así como un detector del deterioro y problemas inminentes.

Qué lecturas esperar - Pruebas periódicas

Se han desarrollado varios criterios para valores mínimos de resistencia de aislamiento que se resumen aquí. Deben servir como guía para equipo en servicio. Sin embargo, las pruebas periódicas del equipo en servicio revelarán generalmente lecturas considerablemente más altas que los valores mínimos de seguridad sugeridos.

Por tanto, se recomienda encarecidamente que se tengan registros de pruebas periódicas, porque la persistencia de tendencias hacia abajo en la resistencia de aislamiento generalmente dan una advertencia bastante buena de problemas inminentes, aún cuando los valores reales sean más altos que los valores de seguridad mínimos sugeridos.

Inversamente, Se deben ser indulgente con el equipo en servicio que muestra valores de prueba periódicos más bajos que los valores mínimos de seguridad sugeridos, en tanto que los valores permanezcan estables y consistentes. En tales casos, después de que se han hecho las consideraciones debidas por condiciones de temperatura y humedad en el momento de la prueba, tal vez no haya por que preocuparse. Esta condición puede ser ocasionada por fugas uniformemente distribuidas de naturaleza inocua. , y puede no ser el resultado de una debilidad localizada peligrosa.

De nuevo, los registros de resistencia de aislamiento durante un periodo de tiempo revelan cambios que pueden justificar una investigación. La tendencia de la curva puede ser más significativa que los valores numéricos en sí.

La regla de Un - Megaohm

Por muchos años un megaohm se ha utilizado ampliamente para un límite inferior bastante bueno de resistencia de aislamiento de equipo eléctrico industrial ordinario hasta de 1000 volts, y se recomienda todavía para quienes no estén muy familiarizados con las prácticas de prueba de resistencia de aislamiento, o quienes no deseen abordar el problema desde un punto de vista técnico.

Para equipo arriba de 1000 volts la regla de un megaohm generalmente se establece como un mínimo de un megaohm por mil volts. Aunque esta regla es algo arbitraria, y puede ser criticada como falta de fundamento de ingeniería, ha permanecido como buena durante muchos años de experiencia práctica. Da cierta seguridad de que el equipo no está muy mojado o sucio y ha evitado muchos cortes de servicio innecesarios.

Estudios más recientes del problema, han dado lugar a fórmulas para los valores de resistencia de aislamiento que se basan en la clase de material aislante utilizado y en las dimensiones eléctricas y físicas de los tipos de equipo en consideración.

Maquinaria rotatoria

La guía IEEE, "Prácticas recomendadas para probar la resistencia de aislamiento de maquinaria rotatoria", trata sobre el problema de hacer e interpretar las mediciones de resistencia de aislamiento para las máquinas rotatorias. Reseña los factores que afectan o cambian las características, subraya y recomienda métodos uniformes para hacer pruebas, y presenta fórmulas para el cálculo de valores mínimos aproximados de resistencia de aislamiento para distintos tipos de maquinaria rotatoria de CA y CD. La guía establece:

"La resistencia de aislamiento mínima R_m recomendada para los embobinados de la armadura y para los embobinados del campo de máquinas de corriente alterna y corriente directa se puede determinar por:

$$R_m = kV + 1$$

donde:

R_m = resistencia de aislamiento mínima recomendada en megaohms a 40° C del embobinado completo de la máquina

kV = potencial nominal de la máquina entre terminales, en kilovolts

En aplicaciones donde la máquina es vital, se ha considerado una buena práctica iniciar el reacondicionamiento si la resistencia de aislamiento, habiendo estado arriba del valor mínimo dado por la ecuación 2, cae apreciablemente a casi él ese nivel".

Se recomienda a quienes operan y mantienen maquinaria rotatoria obtengan copias de la publicación IEEE, "Prácticas recomendadas para probar resistencia de aislamiento de maquinaria rotatoria", que pueden obtenerse solicitándolas por escrito al IEEE a la dirección 345 East 47th St., New York, 10017.

Boquillas

En el caso de las boquillas de un interruptor intemperie, la experiencia ha mostrado que cualquier boquilla, con sus miembros asociados ensamblados, debe, para una operación confiable, tener un valor de resistencia de aislamiento arriba de 10,000 megaohms a 20° C. Esto asume que el aceite dentro del tanque esté en buenas condiciones, que el interruptor esté separado de sus conexiones externas con otros equipos, y que se garantice intemperie el blindaje de la porcelana. Esto significa que cada componente tal como la boquilla en sí, el elemento cruzado, la varilla de levantamiento, el blindaje inferior de arqueo, etc., debe tener una resistencia de aislamiento en exceso de ese valor.

Los componentes que estén superficialmente limpios y secos y tengan valores menores de 10,000 megaohms se deterioran internamente, por la presencia de humedad o trayectorias carbonizadas, a tal grado que no son confiables para un buen servicio a menos que se reacondicionen. Esto es particularmente así cuando operan bajo condiciones de impulso tales como disturbios durante las tormentas de rayos. En el caso de la boquilla en sí, la varilla inferior y el blindaje intemperie superior deben estar perfectamente limpios o protegidos hasta que se les condene como inconfiables debido a un valor de resistencia de aislamiento menor de 10,000 megaohms.

Lo que se ha dicho para las boquillas de interruptores en aceite también se aplica para boquillas de otros equipos, tales como transformadores. Puesto que las boquillas y otros miembros asociados tienen una resistencia de aislamiento muy alta normalmente, es necesario un probador de aislamiento MEGGER con rango de cuando menos 10,000 megaohms para probar tales equipos. Los instrumentos MEGGER con rangos hasta 50,000 megaohms permitirán la observación de tendencias de deterioro en las boquillas antes de que alcancen el valor cuestionable de 10,000 megaohms.

Cable y conductores

Las instalaciones de cables y conductores presentan una amplia variación de condiciones desde el punto de vista de la resistencia de aislamiento. Estas condiciones resultan de las distintas clases de materiales aislantes utilizados, la capacidad de voltaje del espesor del aislamiento, y la longitud del circuito involucrado en la medición. Además, tales circuitos generalmente se extienden sobre grandes distancias, y pueden estar sujetos a amplias variaciones de temperatura, que pueden tener un efecto en los valores de resistencia de aislamiento obtenidos. Las terminales de los cables y conductores también tendrán un efecto en los valores de prueba a menos que estén limpios y seco, o protegidos.

La Insulated Power Cable Engineers Association (IPCEA) da valores mínimos de resistencia de aislamiento en sus especificaciones para distintos tipos de cables y conductores. Estos valores mínimos son para alambres y cables de un solo conductor nuevos después de que han estado sujetos a una prueba de alto voltaje de CA y basada en una prueba de potencial de CD 500 volts aplicado durante un minuto a una temperatura de 60° F.

Esos valores mínimos normales (para cables de un solo conductor) se basan en la fórmula siguiente:

$$R = K \log_{10} D/d$$

donde:

R = megohms por 1000 pies de cable

K = constante del material aislante

D = diámetro exterior del aislamiento del conductor

d = diámetro del conductor

Transformadores

Los valores aceptables de resistencia de aislamiento aceptables para transformadores secos y en compuesto deben ser comparables con los de la maquinaria rotatoria clase A, aunque no hay disponibles valores mínimos normales.

Los transformadores en aceite o los reguladores de voltaje presentan un problema especial en que las condiciones del aceite tienen una influencia marcada en la resistencia de aislamiento de los embobinados.

En ausencia de datos más confiables, se sugiere la fórmula siguiente:

$$R = CE / (KvA)^{1/2}$$

donde:

R = resistencia mínima de aislamiento 1 minuto 500 volts CD en megaohms del embobinado a tierra, con otros embobinados o embobinados protegidos, o de embobinados entre sí con el núcleo protegido

C = una constante para mediciones a 20° C

E = capacidad de voltaje del embobinado bajo prueba

kVA = capacidad nominal del embobinado bajo prueba

Para pruebas del embobinado a tierra con el otro embobinado o embobinados a tierra, los valores serán mucho menores que los dados por la fórmula. R en esta fórmula se basa en aceite seco, libre de ácidos y sedimentos, y boquillas y terminales en buenas condiciones.

Valores de C a 20° C

	<u>60 Hertz</u>	<u>25 Hertz</u>
Tipo con tanque de aceite	1.5	1.0
Tipo sin tanque de aceite	30.0	20.0
Tipo seco o en compuesto	30.0	20.0

Esta fórmula es para transformadores monofásicos. Si el transformador bajo prueba es trifásico, y los tres embobinados individuales se prueban como uno, entonces:

E = capacidad de voltaje de los embobinados monofásicos (fase a fase para unidades conectadas en delta y fase a neutro para unidades conectadas en estrella)

kVA = capacidad nominal del embobinado completo bajo prueba

A.W.G. o.C.M.		Espesor del aislamiento - Pulgadas												
		0.047	0.063	0.078	0.094	0.109	0.125	0.141	0.15	0.804	0.836	0.866	0.894	0.921
14	solido	0.392	0.470	0.537	0.594	0.645	0.691	0.732	0.770	0.804	0.836	0.866	0.894	0.921
12		0.334	0.405	0.467	0.520	0.568	0.611	0.651	0.686	0.720	0.751	0.779	0.806	0.832
10		0.283	0.348	0.404	0.453	0.498	0.538	0.575	0.609	0.641	0.670	0.698	0.723	0.748
8		0.239	0.296	0.347	0.392	0.432	0.470	0.505	0.537	0.566	0.594	0.621	0.645	0.669
6	trenzado	0.225	0.285	0.287	0.305	0.340	0.373	0.403	0.431	0.453	0.483	0.506	0.529	0.550
5		0.206	0.245	0.245	0.281	0.314	0.346	0.373	0.401	0.426	0.450	0.463	0.495	0.515
4		0.187	0.224	0.224	0.257	0.289	0.318	0.345	0.371	0.395	0.418	0.440	0.460	0.480
3		0.171	0.204	0.204	0.236	0.265	0.293	0.318	0.343	0.366	0.388	0.409	0.429	0.448
2		0.155	0.186	0.186	0.215	0.243	0.269	0.293	0.316	0.338	0.359	0.379	0.398	0.416
1		0.139	0.168	0.168	0.195	0.220	0.244	0.267	0.288	0.309	0.328	0.347	0.365	0.382
1/0		0.126	0.152	0.152	0.177	0.201	0.223	0.244	0.264	0.284	0.302	0.320	0.337	0.354
2/0		0.114	0.138	0.138	0.161	0.183	0.205	0.223	0.242	0.261	0.278	0.295	0.311	0.327
3/0		0.102	0.125	0.125	0.146	0.166	0.185	0.204	0.221	0.238	0.255	0.271	0.286	0.301
4/0		0.092	0.113	0.113	0.132	0.151	0.168	0.187	0.202	0.218	0.233	0.248	0.262	0.276
250,000		0.085	0.104	0.104	0.123	0.140	0.157	0.173	0.189	0.204	0.218	0.232	0.246	0.259
300,000		0.078	0.096	0.096	0.113	0.130	0.145	0.160	0.175	0.189	0.203	0.216	0.229	0.250
350,000		0.073	0.089	0.089	0.106	0.121	0.136	0.150	0.164	0.177	0.190	0.203	0.215	0.227
400,000		0.069	0.084	0.084	0.099	0.114	0.128	0.142	0.155	0.168	0.181	0.193	0.204	0.216
500,000		0.062	0.076	0.076	0.090	0.103	0.116	0.129	0.141	0.153	0.165	0.176	0.187	0.198
600,000			0.070	0.070	0.085	0.095	0.107	0.119	0.130	0.141	0.152	0.163	0.173	0.183
700,000			0.068	0.068	0.076	0.088	0.100	0.111	0.122	0.133	0.143	0.153	0.163	0.172
750,000			0.066	0.066	0.074	0.086	0.097	0.108	0.118	0.129	0.139	0.148	0.157	0.167
800,000			0.064	0.064	0.072	0.083	0.094	0.105	0.115	0.125	0.135	0.144	0.154	0.163
900,000			0.058	0.058	0.068	0.079	0.090	0.099	0.108	0.120	0.128	0.137	0.146	0.155
1,000,000			0.055	0.055	0.065	0.075	0.085	0.095	0.104	0.113	0.122	0.131	0.140	0.148
1,250,000			0.050	0.050	0.059	0.068	0.078	0.086	0.094	0.103	0.111	0.119	0.127	0.134
1,500,000			0.046	0.046	0.054	0.063	0.071	0.079	0.087	0.095	0.102	0.110	0.116	0.125
1,750,000			0.042	0.042	0.050	0.058	0.066	0.073	0.081	0.090	0.095	0.103	0.110	0.117
2,000,000			0.040	0.040	0.047	0.055	0.062	0.069	0.075	0.083	0.090	0.097	0.103	0.108
2,500,000			0.036	0.036	0.043	0.049	0.056	0.062	0.069	0.075	0.081	0.087	0.093	0.099

A.W.G. o C.M.	Espesor del aislamiento - Pulgadas										
	0.250	0.266	0.281	0.297	0.313	0.328	0.344				
14 sólido	0.945										
12	0.856										
10	0.771	0.793	0.814	0.834	0.863	0.871	0.889				
8	0.691	0.712	0.731	0.751	0.770	0.787	0.804				
6 trenzado	0.570	0.590	0.608	0.626	0.643	0.660	0.676	0.699	0.706	0.720	0.746
5	0.535	0.554	0.572	0.589	0.606	0.622	0.637	0.652	0.667	0.680	0.707
4	0.500	0.517	0.535	0.551	0.568	0.583	0.598	0.613	0.625	0.640	0.678
3	0.466	0.483	0.500	0.516	0.532	0.547	0.562	0.576	0.589	0.603	0.640
2	0.433	0.450	0.466	0.482	0.497	0.512	0.526	0.540	0.553	0.565	0.590
1	0.399	0.415	0.431	0.445	0.461	0.474	0.487	0.501	0.513	0.525	0.549
1/0	0.369	0.385	0.399	0.414	0.428	0.441	0.454	0.466	0.479	0.491	0.514
2/0	0.342	0.356	0.370	0.384	0.397	0.410	0.422	0.435	0.446	0.458	0.480
3/0	0.315	0.329	0.342	0.355	0.367	0.380	0.392	0.403	0.414	0.425	0.447
4/0	0.289	0.302	0.315	0.327	0.339	0.351	0.362	0.373	0.384	0.395	0.415
250,000	0.272	0.284	0.296	0.309	0.320	0.331	0.342	0.363	0.363	0.373	0.392
300,000	0.254	0.266	0.278	0.289	0.300	0.310	0.321	0.331	0.341	0.351	0.369
350,000	0.239	0.250	0.262	0.272	0.283	0.293	0.303	0.313	0.323	0.332	0.350
400,000	0.227	0.236	0.249	0.259	0.269	0.279	0.289	0.298	0.308	0.317	0.334
500,000	0.208	0.218	0.228	0.238	0.248	0.257	0.266	0.275	0.284	0.292	0.309
600,000	0.193	0.203	0.212	0.221	0.230	0.239	0.248	0.256	0.265	0.273	0.289
700,000	0.181	0.191	0.199	0.209	0.217	0.225	0.234	0.242	0.250	0.258	0.273
750,000	0.176	0.185	0.194	0.203	0.211	0.220	0.228	0.236	0.243	0.251	0.266
800,000	0.172	0.180	0.189	0.198	0.206	0.214	0.222	0.230	0.237	0.245	0.260
900,000	0.164	0.172	0.180	0.189	0.196	0.204	0.212	0.219	0.227	0.234	0.249
1,000,000	0.157	0.165	0.173	0.181	0.189	0.196	0.203	0.211	0.218	0.225	0.239
1,250,000	0.142	0.150	0.157	0.165	0.172	0.179	0.186	0.192	0.199	0.206	0.219
1,500,000	0.132	0.139	0.146	0.153	0.159	0.166	0.172	0.179	0.185	0.190	0.204
1,750,000	0.123	0.130	0.136	0.143	0.149	0.155	0.162	0.168	0.174	0.180	0.191
2,000,000	0.116	0.122	0.128	0.135	0.141	0.145	0.153	0.159	0.164	0.170	0.181
2,500,000	0.105	0.111	0.117	0.122	0.128	0.134	0.139	0.144	0.150	0.156	0.165

PRUEBAS UTILIZANDO PROBADORES DE AISLAMIENTO MEGGER MULTIVOLTAJE

Las tendencias de las prácticas de mantenimiento indican el valor de las pruebas de aislamiento con voltajes de CD a niveles algo más altos que el valor pico del voltaje nominal de CA del equipo que se prueba. Tales pruebas de CD, en algunos casos han demostrado debilidad incipiente del aislamiento no destructiva que no se podría encontrar de otra manera, excepto la posibilidad por detección de descarga parcial a niveles de voltaje de prueba de CA no destructiva.

La técnica involucra la aplicación de dos o más voltajes de CD, y la observación crítica de cualquier reducción de la resistencia de aislamiento con el voltaje más alto. Cualquier reducción marcada o inusual de la resistencia de aislamiento para un incremento prescrito del voltaje aplicado es una indicación de debilidad incipiente.

Es importante mencionar que los méritos de esta técnica se desprenden de investigaciones más recientes que indican que se pueden utilizar voltajes de CD más altos para detectar debilidad sin dañar el aislamiento. El valor máximo de voltaje que debe utilizarse depende grandemente de la limpieza y de lo seco del aislamiento que se va a probar.

El hacer pruebas en el aislamiento con tales voltajes de CD, el método óhmetro tiene cuando menos dos ventajas. Primero, los voltajes fijos prescritos se intercambian para utilizarlos, y la medición de un instrumento se hace con el óhmetro de lectura directa. Este es un método simple y reproducible comparado con otro en el que se tienen disponibles muchas selecciones de voltaje. Otra ventaja importante del óhmetro se puede explicar viendo la figura 21. En esta figura, el cambio que puede ocurrir en la corriente de fuga después de que la corriente de absorción ha desaparecido se muestra trazada en función de la resistencia de aislamiento contra tres voltajes diferentes. Observe que no hay cambio de resistencia mostrado en la figura entre 500 y 1000 volts, lo que indica que no hay cambio en el aislamiento como resultado de aplicar estos dos voltajes.

Esta es una suposición, pero también es una condición que no es poco común en la práctica. Si el aislamiento continúa estable a 2500 volts, no habrá cambio en el valor de resistencia de aislamiento obtenido, que se muestra por la extensión punteada de la línea

horizontal en la figura. Cuando aparecen condiciones no lineales a un voltaje mayor, la curva de resistencia de voltaje revela esto muy claramente por un valor de resistencia más bajo, indicado por la curva hacia abajo en la figura. La figura, por tanto, revela la simplicidad de determinar el cambio en la estabilidad del aislamiento utilizando tres voltajes fijos que son fácilmente reproducibles cuando se hacen pruebas de tres voltajes como rutina.

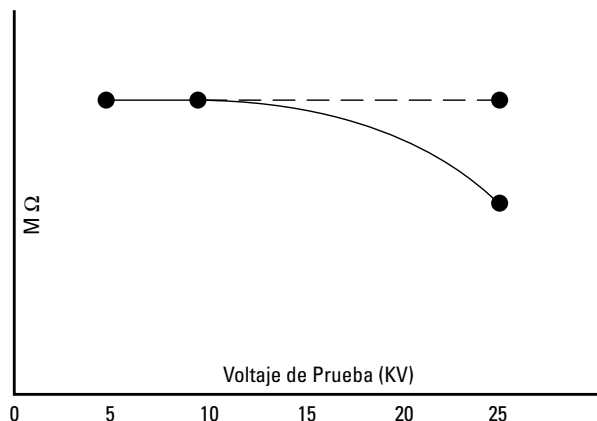


Figura 21

Deseamos enfatizar que la curva de la figura 21 indica el cambio de resistencia debido a la corriente de fuga solamente, y no a la corriente de absorción que puede aparecer por un periodo de tiempo con cada cambio de voltaje. Puede ser necesario esperar una cantidad apreciable de tiempo después de cada cambio de voltaje para que la corriente de absorción desaparezca antes de tomar una lectura.

Para entender mejor la técnica de realizar pruebas de resistencia de aislamiento con dos o más voltajes, se sugieren los siguientes pasos, utilizando un motor industrial o de tracción clasificado en el rango de 300 a 1000 volts.

1. Haga una prueba de un minuto con el instrumento MEGGER a 500 volts que sirva como base de comparación para pasos subsecuentes.
2. Después de una operación cuidados de limpieza haga una segunda prueba a 500 volts para determinar la efectividad de la limpieza.
3. Si el valor de resistencia de aislamiento de un minuto es anormal, o si la relación de resistencia de aislamiento de 60 a 30 segundos no es mayor de uno en este punto, entonces es deseable una operación de secado antes de utilizar un voltaje de prueba más alto. Sin embargo, haciendo otra prueba a 1000 volts y comparando estas lecturas con las de la prueba de 500 volts, ayudará a determinar la necesidad de secado. Si el valor de la prueba de 1000 volts es apreciablemente menor que el de la prueba de 500 volts, entonces se debe realizar una operación de secado. Por el contrario, si los valores de las pruebas de 1000 y 500 volts son aproximadamente iguales, es razonable asumir que la decisión de realizar una prueba de secado puede diferirse hasta después del siguiente paso.
4. Haga una prueba con el instrumento MEGGER a 2500 volts. Si no hay diferencia apreciable en los valores de las pruebas de 500 y 2500 volts, existe una buena evidencia de que el motor en cuestión está en condiciones confiables por lo que se refiere a aislamiento. Por el contrario, si hay una diferencia apreciable, existe una buena evidencia que se requiere un reacondicionamiento mayor. Si el aislamiento falla con la prueba de 2500 volts, después de los pasos 1, 2 y 3, nosotros creemos que existe la posibilidad de que el motor en cuestión fallaría en servicio aún cuando se hubiera hecho el intento de reacondicionarlo con las pruebas de bajo voltaje solamente.

El método multivoltaje también puede ser de ayuda para determinar la presencia de humedad excesiva en el aislamiento de equipo con capacidad de voltaje equivalente a/o mayor que le voltaje más grande disponible en el instrumento MEGGER multivoltaje que se utiliza. En otras palabras, aún cuando el voltaje más alto disponible del instrumento MEGGER no fatigue el aislamiento más allá de su capacidad, una prueba de dos voltajes puede, sin embargo, revelar a menudo la presencia de humedad. Si se prueba primero la resistencia de aislamiento con base en lecturas de corto tiempo (primero a un nivel de voltaje y luego a un potencial más alto), un valor más bajo de resistencia de aislamiento con el voltaje de prueba de CD más alto indica generalmente la presencia de humedad. Los voltajes aplicados deben estar preferentemente en relación de 1 a 5. La experiencia ha mostrado que un cambio de 25% en el valor de la resistencia de aislamiento, con una relación de 1 a 5 en los voltajes de prueba, se debe usualmente a la presencia de una cantidad excesiva de humedad.

Este método no se basa en el fenómeno de absorción dieléctrica, sino que se relaciona con el efecto Evershed. Como en el caso de mediciones tiempo - resistencia, el método de multivoltajes de prueba de resistencia de aislamiento aumenta su valor cuando se realiza de manera programada periódicamente.

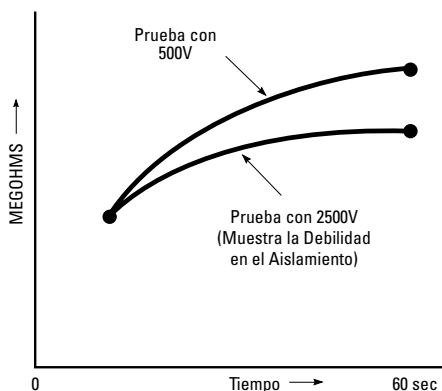


Figura 22 - Formas para la prueba tiempo - resistencia

MÉTODO DE VOLTAJE POR PASOS

En este método usted necesita un instrumento para medición de aislamiento (MEGGER) de voltajes múltiples para aplicar dos o más voltajes en pasos como 500Volts y después 1000 Volts. Usted mira para que la reducción en la resistencia de aislamiento a el voltaje más alto. Si la resistencia es menor, esto es un signo de una debilidad en el aislamiento que aparece únicamente con el voltaje mas alto. La Figura 23 muestra un ejemplo en el cual en lugar de incrementar progresivamente el voltaje, usted prueba primero a un bajo voltaje (tal como 500 Volts) y entonces, después de descargar la muestra usted prueba otra vez a un voltaje mas alto tal como 2,500 volts). Cualquier diferencia entre las dos pruebas en términos de megaohms, mostrara los signos de debilidad en el voltaje mas alto- una advertencia para investigación futura.

A medida que las condiciones dentro de la muestra se deterioraron, el trazo de voltaje mas alto, como se muestra en la figura 23 se reducirá en megaohms en comparación con el voltaje menor y su pendiente ascendente será menor.



23 Curvas típicas con la prueba de "Voltaje a Pasos"

La teoría detrás de la técnica de pasos es un poco compleja, pero trataremos de mantenerla lo mas simple.

La humedad y la suciedad - en el aislamiento son revelados usualmente por pruebas a voltajes mas bajos que aquellos esperados en servicio. Sin embargo los efectos por envejecimiento o daños mecánicos en el aislamiento confiablemente limpios y secos podrían no ser revelados a tales esfuerzos.

Ahora, cuando el voltaje es incrementado a pasos para producir esfuerzos eléctricos que se aproximan o exceden a aquellos encontrados por el servicio, entonces las partes locales débiles influencia la resistencia total del aislamiento más y más. La resistencia de tales fallas locales decrecen generalmente con rapidez a medida que los esfuerzos eléctricos en ellas se incrementan mas allá de un cierto límite. El trazo de las lecturas consecutivas efectuadas con un instrumento para medición de aislamiento (MEGGER) muestran la aguda caída cuando esto ocurre. (ver fig. 24)

Usted necesita únicamente mantener el voltaje de prueba constante entre los pasos aproximadamente 60 segundos. Este corto periodo no afectara la tendencia en el cambio de la resistencia. Sin embargo, el mismo período de tiempo deberá ser siempre el mismo para una pieza de equipo determinada.

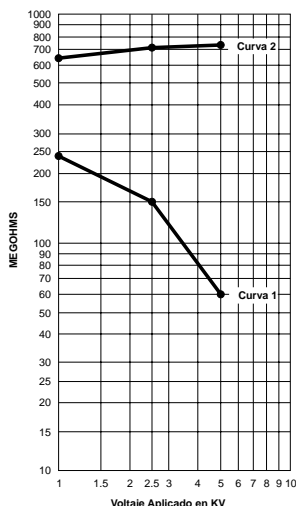


Fig. 24 Las curvas de prueba por el método de voltaje a pasos, comparan los resultados con aislamiento bueno y malo.

Curva 1 (Trazo más bajo) muestra la caída definitiva en la resistencia con el incremento de voltaje, indicando el problema.

Curva 2 (Trazo más alto) muestran las condiciones encontradas en el mismo embobinado del motor después de la limpieza, cocción y operación de impregnación.

Toda la absorción de corriente puede haber no desaparecido en este tiempo pero sus mediciones de resistencia serán hechas sobre las mismas bases y serán por lo tanto no significativas. Sus resultados serán independientes del material de aislamiento y su temperatura debido a que usted estará buscando el cambio en resistencia - no a los valores de resistencia absoluta.

Así como es cierta la lectura por zonas y tiempo - resistencia, el método de voltaje a pasos es mas valioso para usted cuando es mas repetido sobre bases periódicas programadas.

El método de voltaje a pasos es particularmente útil en la determinación de la presencia excesiva de humedad ú otros contaminantes en el aislamiento del equipo que esta especificado a voltajes equivalentes a/o mayores que el voltaje disponible mas alto en su instrumento MEGGER de multi-voltajes. En otras palabras, aun cuando su voltaje mas alto no estresa su aislamiento mas allá de sus especificaciones, una prueba de dos voltajes puede a pesar de todo relevar a menudo la presencia de tales contaminantes.

Por ejemplo, suponga que su primera prueba de resistencia de aislamiento hechas sobre las bases de una lectura de corta duración a un voltaje de 500 Vcd y después a un potencial más alto, de digamos 2,500 Vcd. A pesar de que el ultimo voltaje puede ser nominal en relación con el rango de voltaje de su equipo, un valor mas bajo de resistencia de aislamiento al voltaje de prueba mas alto, usualmente indica la presencia de facturas contaminadas ú otras, trayectorias de fuga a través del aislamiento a tierra.

Los voltajes aplicados deberán preferentemente estar en la relación de 1 a 5 ó mayores (500 y 2,500, por ejemplo).

Los resultados a la fecha demuestran que un cambio del 25% en el valor de la resistencia de aislamiento, con la relación de 1 a 5 en los voltajes de prueba, es debido usualmente a la presencia de una cantidad excesiva de humedad ú otro contaminante.

Todos los probadores de aislamiento MEGGER con rangos de 1000 megaohms y mayores están equipados con terminales de guarda. El propósito de esta terminal es proporcionar las facilidades para hacer las mediciones de red de tres terminales de tal manera que la resistencia de una de dos posibles trayectorias pueda ser determinada directamente. Esto tiene el propósito de proporcionar una fuente de voltaje CD de buena regulación y de una capacidad de corriente limitada.

El aislamiento de todos los aparatos eléctricos tiene dos trayectorias de conducción o fuga - una a través del material de aislamiento y la otra sobre sus superficies.

Proporcionando una tercera terminal de prueba en la trayectoria de la superficie de fuga, ésta queda separada en dos partes formando una red de tres terminales como se muestra en la Fig. 25a. En la práctica, esta tercera terminal puede proporcionarse como se muestra en las Figuras 26 a 38.

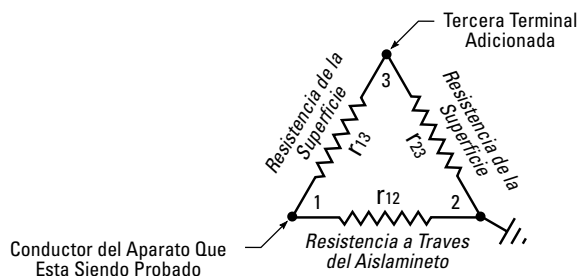


Fig 25a

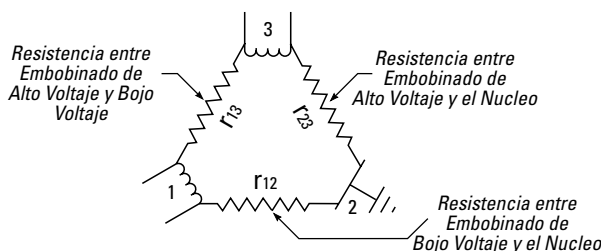


Fig 25b

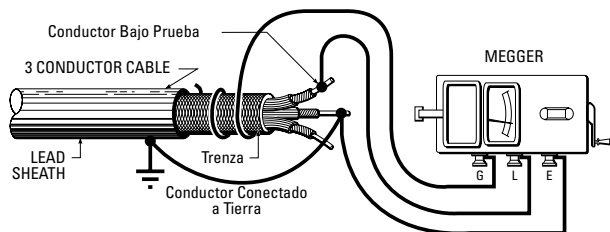


Fig. 26 Mostrando como usar la terminal de guarda para eliminar los efectos de fuga de superficie a través del aislamiento expuesto en un extremo del cable. Ver También Figuras 28, 30 y 31.

Hay también casos tales como los encontrados en los transformadores de dos embobinados o en los cables multiconductores, en donde una red de tres terminales está formada como se muestra en la Figura 25b.

Las Figuras 30 y 33 y otras, muestran aplicaciones prácticas de redes de tres terminales.

Al hacer una prueba de tres terminales involucrando una medición únicamente, la terminal de línea del instrumento MEGGER está conectada a la terminal 1, Fig. 25a, la terminal de guarda a la terminal 3, y la terminal de tierra a la terminal 2. Esto dará el valor verdadero de r_{12} , suponiendo que r_{13} no tengan un valor demasiado bajo. La parte r_{23} , que está conectada a través del instrumento generador MEGGER, debe ser aproximadamente un megaohm ó más para prevenir una carga excesiva sobre el generador, y mantener un voltaje del generador satisfactorio.

Durante el uso de la Terminal de Guarda, particularmente en el caso de instrumentos MEGGER operados por motor u operados por rectificador debe estarse seguro de que no exista la posibilidad de un arco entre la terminal protegida por la guarda de la muestra y la tierra. Un arco puede causar un arqueo indeseable en el conmutador del instrumento del generador.

La parte r_{13} , quien conecta en “shunt” la bobina reflectora del MEGGER, debe ser por lo menos de 100 megaohms para una precisión en la medición de aproximadamente 1%. El valor de precisión de 1% esta basado, en que el valor del resistor R' sea de un megaohm lo cual es típico. Para la determinaciones más precisas de exactitud, obtenga el valor exacto de R' escribiendo a la compañía BIDDLE y proporcionando el número de serie en uso.

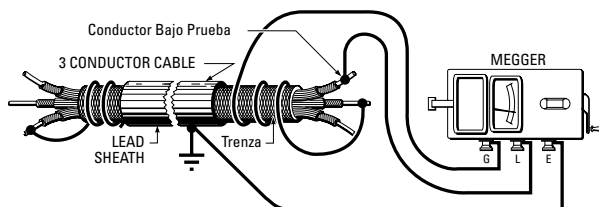


Fig. 27 Mostrando como usar la conexión de Guarda para eliminar los efectos de fuga de la superficie a través del aislamiento expuesto en ambos extremos de un cable cuando un conductor sobrante en el cable se encuentra disponible para completar la conexión de Guarda.

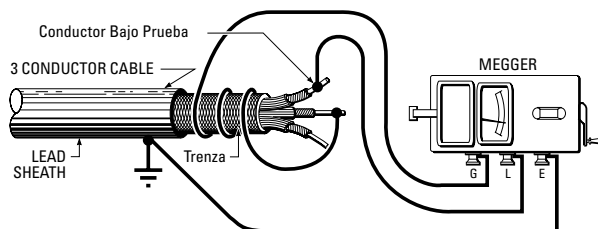


Fig. 28 Mostrando el uso de la conexión de Guarda para eliminar el efecto de fuga a tierra, como la Fig. 26, y también el efecto fuga a conductores adyacentes. Nótese que el alambre de guarda esta enrollado alrededor del aislamiento expuesto y también está conectado a los conductores adyacentes.

No confundir este diagrama con la Fig. 26, en donde el alambre de Guarda va únicamente al aislamiento expuesto y los conductores adyacentes están aterrizados.

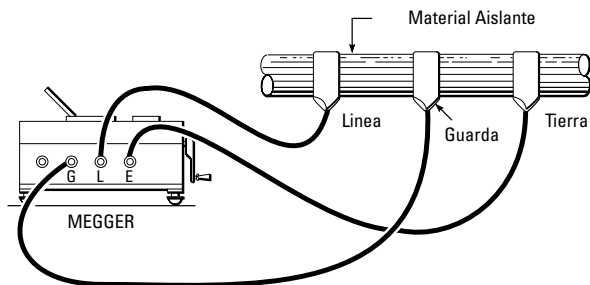


Fig. 29 Para eliminar el efecto de la fuga de superficie en la medición de la resistencia verdadera de un miembro del aislamiento, tal como una varilla elevadora en un interruptor.

La mas alta precisión es deseada en casos tales como los mostrados en la Fig. 25a ó en donde la resistencia verdadera de cada parte es deseada como en el caso de la Fig. 25, se requieren tres mediciones y las ecuaciones mostradas a continuación son usadas:

$$r_{12} = \frac{R_{12} R_{13} - (R')^2}{R_{13} + R'}$$

$$r_{23} = \frac{R_{12} R_{23} - (R')^2}{R_{12} + R'}$$

$$r_{13} = \frac{R_{12} R_{13} - (R')^2}{R_{12} + R'}$$

En donde R_{12} , R_{23} y R_{13} son las lecturas actuales en megaohms medidas a través de las terminales de la red las cuales están conectadas a la terminales de Línea a Tierra del instrumento MEGGER con las terminales 3, 1 y 2 conectadas respectivamente a la terminal de Guarda del Instrumento. R' es el valor de la resistencia de peso en megaohms del instrumento en uso. Al hacer estas tres mediciones, no conecte la terminal de Línea del instrumento a la terminal aterrizada de la red debido a que la fuga sobre la caja del instrumento entre la terminal de Tierra y la Tierra pondrán en "Shunt" a la resistencia que esta siendo medida.

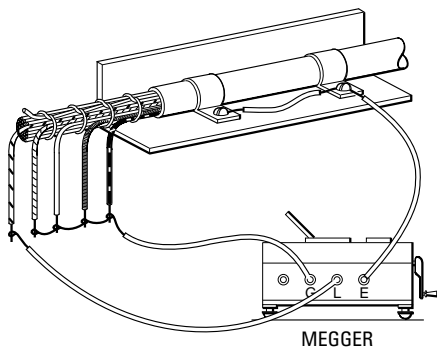


Fig. 30 Conexiones para probar la resistencia de aislamiento entre un alambre y tierra sin ser afectados por fugas a otros alambres.
Nótese el uso de la conexión de Guarda.

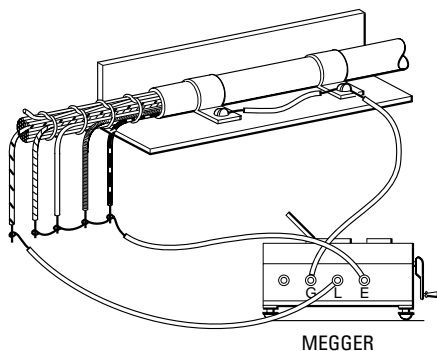


Fig. 31 Conexiones para pruebas de resistencias de aislamiento entre un alambre y todos los otros alambres conectados, sin ser afectados por fuga a tierra.

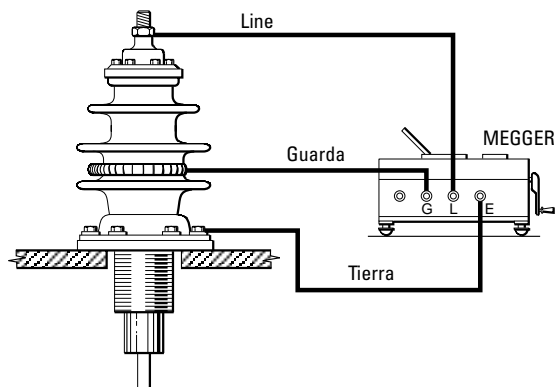


Fig. 32 Mostrando el empleo de un collarín de resorte como conexión de Guarda para eliminar los efectos de fuga de superficie. El dispositivo bajo prueba debe estar desconectado de todos los otros equipos

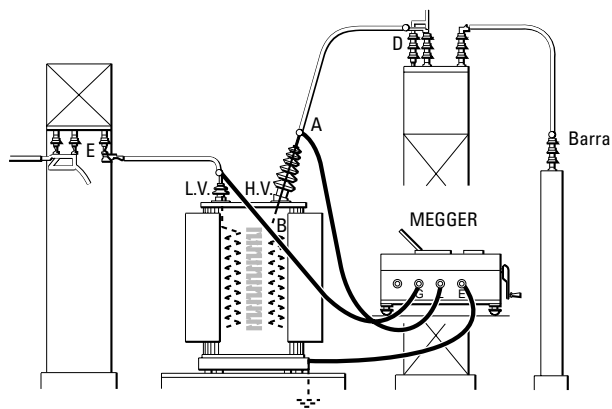


Fig. 33 Conexiones para las pruebas de resistencia de aislamiento de enbobinado de un transformador de alto voltaje y los bushings y el switch desconector de alta tensión en paralelo con referencia a tierra pero sin ser afectado por fuga entre los enbobinados de alto y bajo voltaje a través del uso de la conexión de Guarda.

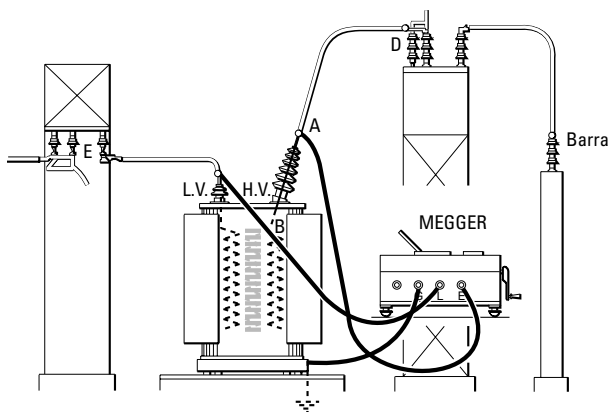


Fig. 34 Conexiones a las pruebas de resistencia de aislamiento entre los embobinados de alto y bajo voltaje sin estar afectados por una fuga a tierra.

INTERRUPTORES EN ACEITE

Las cuatro ilustraciones (Fig. 35 a 38) muestran los métodos usuales para probar los "bushings" y partes asociadas a un interruptor en aceite de intemperie, y al tabla adjunta indica el procedimiento de prueba a pasos..

Sin los valores de prueba están abajo de 10,000megaohms en cualquiera de los cuatro pasos, el tanque debe ser rebajado o drenado de tal manera que las pérdidas excesivas pueden ser separadas mediante pruebas futuras e investigaciones. Si los valores de prueba están abajo de 50,000 megaohms en la prueba #1, la tendencia de la condición del "bushing" particular involucrado deberá ser vigilado haciendo pruebas más frecuentes.

Prueba	Interruptor Posicion	Buje Excitar	Buje Guardado	Buje Tierra	Parte Medida
1	abierto	1 (2 to guard)	1	Buje 1
2	abierto	1	1	2	Buje 1 in paralelo con travesano
3	abierto	1 & 2	1 & 2	Buje 1 & 2 in paralelo
4	cerrado	1 & 2	1 & 2	Buje 1 & 2 in paralelo con barra elevador

Buje #2

Buje #1

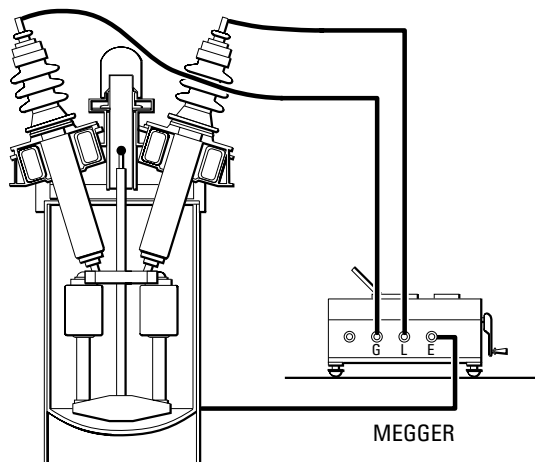


Fig. 35 Paso 1

Buje #2

Buje #1

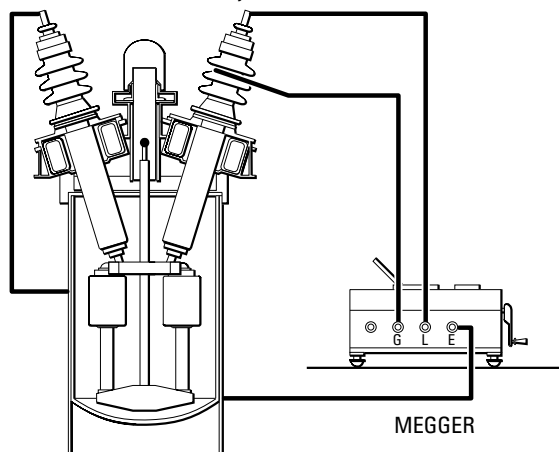


Fig. 36 Paso 2

Buje #2

Buje #1

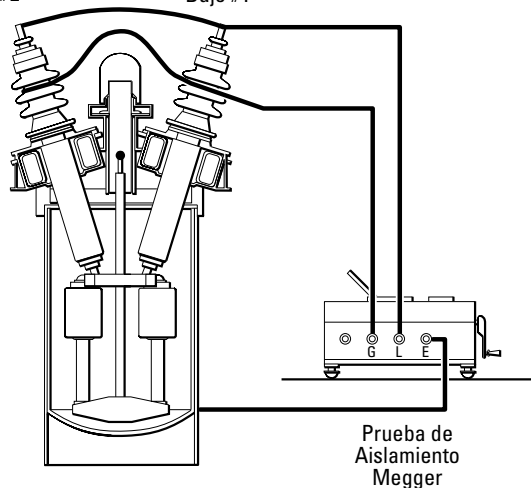


Fig. 37 Paso 3

Buje #2

Buje #1

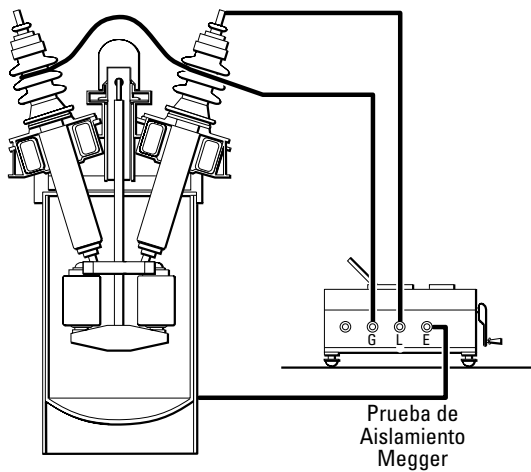


Fig. 38 Paso 4

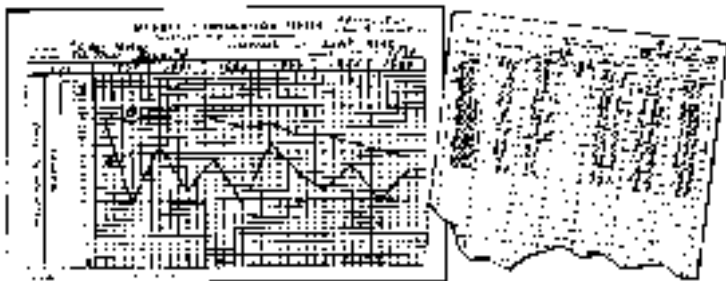
Para iniciar pruebas de aislamiento existe una regla general:

Poner primero las cosas primordiales. Esto es, revisar todo el equipo eléctrico y clasificarlo de acuerdo con su importancia. Por ejemplo, si aquel motor de CA falló en el departamento A, como puede esto afectar a la producción total de su planta. Su personal de producción puede ciertamente ayudar en esto y deberá estar interesado vitalmente en la idea.

Si el tiempo lo permite, al inicio pruebe todas las piezas de equipo eléctrico y elabore una tarjeta de registro. Posiblemente al principio usted tendrá que combinar varias unidades pero esto será beneficioso en el largo plazo para disponer de reportes de prueba para cada unidad. Entonces, si la debilidad del aislamiento no aparece, su trabajo en la localización de la parte dañada será más fácil .

Mostrada en la Figura 4 esta es una forma de las tarjetas de reportes de prueba, la cuál esta disponible por parte de BIDDLE. A continuación esta el tipo de información que llegará a ser mas valioso para usted a medida que las pruebas sean repetidas:

- 1.- Nombre y localización del equipo
- 2.- Fechas y valores resultantes de las pruebas
(registre la lectura actual en el nombre de la prueba)
- 3.- Rango, Voltaje y número de serie del instrumento
MEGGER empleado
- 4.- Temperatura del aparato (también particularmente para unidades grandes, de las medidas de temperatura, de humedad y seco- para la determinación de la humedad y punto de rocío).
- 5.- Medición de la resistencia del aislamiento corregida por la temperatura.
- 6.- Una tabla de lecturas consecutivas para mostrar la tendencia y capacitarlo a usted para anticipar fallas.



Que tan a menudo debe usted probar.

Eso depende sobre el tamaño y complejidad de su planta. Aún unidades idénticas pueden diferir en los periodos requeridos de chequeo; la experiencia es su mejor guía. En general sin embargo, los aparatos de trabajo (motores, generadores, etc.) son mas propensos a desarrollar debilidades en el aislamiento comparados con alambrados, aisladores y similares. Un programa de pruebas para un equipo de trabajo debe ser establecido variando de cada seis a doce meses, dependiendo del tamaño del equipo y al severidad de las condiciones atmosféricas circulantes. Para alambrados y similares, las pruebas una vez al año son generalmente suficientes a menos que las condiciones de la planta sean excepcionalmente severas.

AVO International fabrica una variedad de probadores de aislamiento bajo la marca MEGGER®. Todos los probadores de aislamiento MEGGER® realizan pruebas esencialmente de la misma manera. El probador necesitado para cualquier aplicación es determinado por el voltaje en prueba y las características requeridas.

A continuación proveemos una lista de dos categorías básicas de probadores de aislamiento MEGGER®. Las unidades de mano o portátiles 1kV y las unidades de 5 kV. Las unidades de 1 kV tienen voltaje con rango de 5V a 1000V y las superiores unidades de 5 kV tienen voltaje de medición de 25V a 5000V.

Probadores de aislamiento 1 kV

- BM100/4 la Serie - modelo tradicionalmente analógico
- BM120 la Serie - modelo digital con un costo reducido
- BM220 la Serie - modelo analógico/digital con múltiples voltajes
- BM400/2 la Serie - modelo con alto voltaje de pruebas,
alto rango de aislamiento
- BM80/2 la Serie - modelo con reducido voltaje de prueba para
equipo sensible o muy delicado con rango alto.
- BMM la Serie - modelo combinación de aislamiento de prueba
y multímetro

Probadores de aislamiento 5 kV

- MJ15 y BM15 - modelo analógico, económico de baterías o manivela.
- BM11 la Serie - modelo tradicionalmente analógico o analógico/digital
- BM21 - voltaje variable de 25V a 5 kV, contador incluido
- BM25 - probador automático que incluye PI, SV y pruebas DD,
RS232 terminal para computadora
- S1-5001 - modelo de alta corriente similar al BM21
- S1-5005 - modelo de alta corriente similar al BM25
- S1-5010 - unidad diagnóstica con memoria y fuente
de alimentación doble.

Para una explicación más detallada de estos instrumentos o información sobre otros productos de AVO International, por favor de ponerse en contacto con su representante local AVO o visiten nuestra website en www.avointl.com.



AVO INTERNATIONAL

4651 S. WESTMORELAND RD.
DALLAS, TEXAS USA

