



## Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento

**Megger** 

[WWW.MEGGER.COM](http://WWW.MEGGER.COM)

**DEDICATORIA**

Dedicado a T.A. "Ted" Balaska, quien contribuyó significativamente en esta publicación. Ted fue un experto en el campo del aislamiento, en las pruebas de aislamiento y lo mas importante fue un buen amigo.

**AUTORES**

David O. Jones  
Jeffrey R. Jowerr  
S. Graeme Thomson  
David S. Danner

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	2
¿QUÉ ES AISLAMIENTO? .....	3
¿Qué ocasiona que el aislamiento se degrade?-	3
Esfuerzo eléctrico .....	3
Esfuerzo mecánico .....	3
Ataque químico .....	3
Esfuerzo térmico .....	4
Contaminación ambiental .....	4
¿Cómo puede ayudar el mantenimiento predictivo? .....	4
Beneficios de la nueva tecnología .....	5
CÓMO SE MIDE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO .....	6
Cómo opera el probador de resistencia de aislamiento .....	6
Componentes de la corriente de prueba .....	6
Corriente de carga capacitiva .....	6
Corriente de absorción o polarización .....	6
Corriente de fuga superficial .....	7
Corriente de conducción .....	7
Conexión del probador de aislamiento .....	8
Conexiones típicas seleccionadas .....	9
Cable de potencia blindado .....	9
Interruptor / boquillas .....	9
Transformador de potencia .....	10
Generador de CA .....	10
Escala del probador de resistencia de aislamiento .....	11
Características de voltaje .....	12
EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	13
Interpretación de lectura infinita ( $\infty$ ) .....	13
PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO DE AISLAMIENTO DE ALTO VOLTAJE .....	15
Prueba de lectura puntual (spot) .....	15
Prueba de tiempo vs. resistencia .....	17
Prueba de índice de polarización .....	18
Prueba de voltaje de paso .....	20
Prueba de descarga dieléctrica .....	21
Diferentes problemas / Diferentes pruebas .....	23
APÉNDICES .....	24
Fuentes potenciales de error / Resultados de pruebas que aseguran la calidad .....	24
Puntas de prueba .....	24
Mediciones arriba de 100 GW .....	24
Declaraciones de precisión .....	24
Suministro del voltaje indicado .....	24
Rechazo de interferencia .....	25
Reglas sobre pruebas y comparación .....	25
Terminal de guarda .....	26
Efectos de la temperatura .....	29
Efectos de la humedad .....	31
Protección de penetración .....	33
Pruebas de potencial alto .....	35
Lecturas de corriente (nA) vs. Lecturas de resistencia (MW) .....	35
Capacidad de quemado .....	36
Secado de equipo eléctrico .....	36
Descarga del objeto de prueba .....	38
Tiempo de carga de equipo grande .....	39
Probadores de aislamiento operados por motor .....	39
PROBADORES DE AISLAMIENTO DE 5 kV DISPONIBLES DE MEGGER .....	40

MEGGER es el líder mundial en la fabricación y venta de equipos de prueba y de instrumentos de medición usados por empresas de luz y fuerza, empresas de telecomunicaciones, industrias y técnicos electricistas.

Con fábricas en los Estados Unidos y el Reino Unido, dedicadas a investigación, ingeniería y fabricación de equipos, contando con un grupo de soporte técnico y equipo de ventas en la mayoría de países, Megger satisface todas las necesidades de sus clientes en todo el mundo.

Mayor información sobre Megger y su diversidad de equipos de prueba e instrumentos de medición la encuentra en nuestra página de internet [www.megger.com](http://www.megger.com)

Segunda Edición: 2002

2002 Megger

**INTRODUCCIÓN**

El aislamiento eléctrico se degrada con el tiempo debido a las distintas fatigas que se le imponen durante su vida normal de trabajo. El aislamiento está diseñado para resistir esas fatigas por un periodo de años que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento. Esto con frecuencia dura décadas. La fatiga anormal puede llevar a un incremento en este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la vida de trabajo del aislamiento. Por esta razón es buena práctica realizar pruebas regularmente para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento y, si es posible, identificar si los efectos son reversibles o no.

Los propósitos de las pruebas de diagnóstico son:

- Identificar el incremento de envejecimiento.
- Identificar la causa de este envejecimiento
- Identificar, si es posible, las acciones más adecuadas para corregir esta situación

En su forma más simple, las pruebas de diagnóstico toman la forma de una “prueba puntual (spot)”. La mayoría de los profesionales de mantenimiento eléctrico han hecho pruebas puntuales (spot) cuando se aplica un voltaje al aislamiento y se mide una resistencia. El diagnóstico en este caso se limita a “el aislamiento es bueno” o “el aislamiento es malo”. Pero habiendo hecho este diagnóstico, ¿qué se hace sobre el caso? Es lo mismo que cuando se va al médico con un resfriado y él dice simplemente: “usted tiene un resfriado”. Usted no quedaría satisfecho y no saldría solamente con esa información. Usted esperaría que el médico lo examinara, le hiciera algunas pruebas y le dijera por qué tiene un resfriado y que hacer para curarlo.

En las pruebas de aislamiento, una prueba puntual (spot) en sí es el equivalente a que el médico le diga que usted está bien o que está enfermo. Es una información mínima. Esta es la clase de prueba que se aplica generalmente a los circuitos de bajo voltaje donde el costo de una falla es bajo y el equipo se puede reemplazarse fácilmente y sin grandes desembolsos. Puesto que el equipo que se está probando es de bajo voltaje, estas pruebas se realizan generalmente con un voltaje de prueba de 500 o 1000 V y será familiar para todo el personal de mantenimiento eléctrico. Sin embargo, si el médico registra los resultados de su examen y los compara con los de visitas anteriores, entonces habría una tendencia aparente que podría llevar a la prescripción de un medicamento. En forma similar, si se registran las lecturas de resistencia de aislamiento y se comparan con las lecturas registradas anteriormente es posible ver una tendencia y prescribir las acciones de remedio si así se les puede llamar.

Las pruebas de diagnóstico de aislamiento para voltajes arriba de 1 kV corresponden a un área menos familiar para mucha gente del personal de mantenimiento eléctrico. Los propósitos de este folleto, por tanto, son:

- Familiarizar al lector con la realización de diagnóstico de resistencia de aislamiento.
- Proporcionar los lineamientos para evaluar los resultados de esas pruebas de diagnóstico de resistencia de aislamiento.
- Presentar los beneficios de pruebas multi-voltaje a voltajes más altos.

Al final del folleto se incluyen una serie de apéndices para proporcionar al lector información adicional relacionada con las pruebas de diagnóstico de aislamiento. Probadores de aislamiento MEGGER®.

Este folleto se basa en los principios establecidos en el folleto "A Stitch in Time... The Complete Guide to Electrical Insulation Testing" publicado por primera vez en 1966 por la James G. Biddle Company.

## ¿QUE ES AISLAMIENTO?

Todo alambre eléctrico en una instalación, ya sea un motor, generador, cable, interruptor o cualquier cosa que esté cubierta con alguna forma de aislamiento eléctrico. Aunque el alambre en sí es un buen conductor (generalmente de cobre o aluminio) de la corriente eléctrica que da potencia al equipo eléctrico, el aislamiento debe resistir la corriente y mantenerla en su trayectoria a lo largo del conductor. La comprensión de la Ley de Ohm, que se enuncia en la ecuación siguiente, es la clave para entender la prueba de aislamiento:

$$E = I \times R$$

donde

E = voltaje en volts

I = tensión en amperinets

R = resistencia en ohms

Para una resistencia dada, a mayor voltaje, mayor corriente. Alternativamente, a menor resistencia del alambre, mayor es la corriente que fluye con el mismo voltaje.

Ningún aislamiento es perfecto (no tiene resistencia infinita), por lo que algo de la corriente fluye por el aislamiento o a través de él a tierra. Tal corriente puede ser muy pequeña para fines prácticos pero es la base del equipo de prueba de aislamiento. Entonces, ¿qué es un "buen" aislamiento? "Bueno" significa una resistencia relativamente alta al flujo de la corriente. Cuando se usa para describir un material aislante, "bueno" también significa "la capacidad para mantener una resistencia alta". La medición de la resistencia puede decir que tan "bueno" es el aislamiento.

## ¿Qué ocasiona que el aislamiento se degrade?

Existen cinco causas básicas para la degradación del aislamiento. Ellas interactúan una con otra y ocasionan una espiral gradual de declinación en la calidad del aislamiento.

### **Fatiga eléctrica**

El aislamiento se diseña para una aplicación particular. Los sobre voltajes y los bajos voltajes ocasionan fatiga anormal dentro del aislamiento que puede conducir a agrietamiento y laminación del propio aislamiento

### **Fatiga mecánica**

Los daños mecánicos, tales como golpear un cable cuando se excava una trinchera, son bastante obvios pero la fatiga mecánica también puede ocurrir por operar una máquina fuera de balance o por paros y arranques frecuentes. La vibración resultante al operar la máquina puede ocasionar defectos dentro del aislamiento

### **Ataque químico**

Aunque es de esperarse la afectación del aislamiento por vapores corrosivos, la suciedad y el aceite pueden reducir la efectividad del aislamiento

**Fatiga térmica**

La operación de una maquinaria en condiciones excesivamente calientes o frías ocasionará sobre expansión o sobre contracción del aislamiento que darán lugar a grietas y fallas. Sin embargo, también se incurre en fatigas térmicas cada vez que la máquina se arranca o se para. A menos que la maquinaria esté diseñada para uso intermitente, cada paro y cada arranque afectarán adversamente el proceso de envejecimiento del aislamiento.

**Contaminación ambiental**

La contaminación ambiental abarca una multitud de agentes que van desde la humedad por procesos hasta la humedad de un día húmedo y caluroso; también el ataque de roedores que roen su camino en el aislamiento.

El aislamiento comienza a degradarse tan pronto como se pone en servicio. El aislamiento de cualquier aplicación dada se diseña para proporcionar buen servicio durante muchos años en condiciones normales de operación. Sin embargo, las condiciones anormales pueden tener un efecto dañino que, si se deja sin atención, acelerará la rapidez de degradación y finalmente ocasionará una falla en el aislamiento. Se considera que el aislamiento ha fallado si no evita adecuadamente que la corriente eléctrica fluya por trayectorias indeseadas. Ello incluye el flujo de corriente a través de las superficies exterior o interior del aislamiento (corriente de fuga superficial), a través del cuerpo del aislamiento (corriente de conducción) o por otras razones distintas

Por ejemplo, pueden aparecer en el aislamiento agujeros pequeños y grietas, o la humedad y materiales extraños pueden penetrar la superficie. Estos contaminantes se ionizan fácilmente bajo el efecto de un voltaje aplicado y proporcionan una trayectoria de baja resistencia para la corriente de fuga superficial que aumenta en comparación con superficies sin contaminar secas. Limpiando y secando el aislamiento, sin embargo, se rectificará fácilmente esta situación. Otros enemigos del aislamiento pueden producir deterioro que no se cura fácilmente. Sin embargo, una vez que ha comenzado la degradación del aislamiento, los diferentes iniciadores tienden a asistirse entre ellos para aumentar la rapidez de declinación.

**¿Cómo puede ayudar el mantenimiento preventivo?**

Aunque hay casos donde la caída de resistencia de aislamiento puede ser repentina, tal como cuando se inunda el equipo, generalmente se reduce gradualmente, lo que permite una advertencia suficiente si se prueba periódicamente. Estas verificaciones regulares permiten el reacondicionamiento planeado antes que falle el servicio y / o una condición de choque.

Sin un programa de pruebas periódico todas las fallas se presentarán sorpresivamente, no planeadas, inconvenientes y posiblemente muy costosas en tiempo y recursos y, por tanto, caras para rectificarlas. Por ejemplo, considérese el caso de un motor pequeño que se usa para bombear un material, que se solidificará si se deja de bombear, en una plata de procesamiento. La falla inesperada de este motor costará miles y aún cientos de miles de dólares si se considera también el tiempo de paro de la planta en el cálculo. Sin embargo, si se hubieran considerado pruebas de diagnóstico de aislamiento en el programa de mantenimiento preventivo habría sido posible planear el mantenimiento o el reemplazo del motor con falla en el momento en que la línea estuviera inactiva y así minimizar los costos. Por cierto, el motor podría haber sido mejorado mientras todavía estaba en marcha

Si la degradación avanzada del aislamiento no se detecta, existe mayor posibilidad de choque eléctrico y aún de muerte para el personal; Hay mayor posibilidad de incendio producido eléctricamente; la vida útil del equipo eléctrico se puede reducir y / o las instalaciones pueden enfrentarse a paros no programados y caros. La medición de la calidad del aislamiento regularmente es una parte crucial de cualquier programa de mantenimiento puesto que ayuda a predecir y prevenir el paro del equipo eléctrico

Esto es particularmente adecuado ahora que se consideran las partes grandes de la red eléctrica, en Estados Unidos y Europa, que se instalaron en los años 1950s como un despliegue de inversión de la post guerra. Algunos equipos están aproximándose al final de su vida de diseño, mientras que otros ya la han excedido pero están aun operando satisfactoriamente.

Puesto que las pruebas de diagnóstico se reservan generalmente para detalles más críticos normalmente, pero no siempre, se encuentra que los probadores de diagnóstico tienen salida de voltaje de 5 o 10 kV; estos voltajes son más adecuados para probar las máquinas, cables transformadores, etc. de medio voltaje

### **Beneficios de la nueva tecnología**

Los probadores de aislamiento se remontan a principios del siglo XX cuando Sydney Evershed y Ernest Vignoles desarrollaron su primer probador de aislamiento (desarrollado en 1903 en el rango de probadores MEGGER®).

En los primeros días, la mayoría de los instrumentos eran operados manualmente por manivela. Esto limitaba su capacidad para realizar pruebas que tomaban tiempo para completarse, y limitaban la estabilidad del voltaje a la habilidad del operador para operar la manivela sostenidamente. Más tarde, estos mismos instrumentos fueron impulsados por un motor externo que ayudaba en las pruebas de larga duración pero que mejoraba muy poco la estabilidad del voltaje. Sin embargo, el rango de estos instrumentos raramente excedía 1000 MΩ. Los movimientos análogos eran muy pesados y realmente servían para amortiguar cualquier evento transitorio.

La aparición de la electrónica y el desarrollo de la tecnología de las baterías revolucionó el diseño de los probadores de aislamiento. Los instrumentos modernos son impulsados por potencia de línea o baterías y producen voltajes de prueba muy estables en un rango de condiciones muy amplio. También pueden medir corrientes muy pequeñas de modo que su rango de medición de resistencia de aislamiento se extiende varios miles de veces en el rango de los teraohms (TΩ). Algunos pueden aún reemplazar el lápiz, papel y cronómetro, que se usaban anteriormente para coleccionar los resultados manualmente, registrando los datos en la memoria para descargarlos y analizarlos posteriormente

Es una fortuna que estas mejoras asombrosas se hicieron desde que los fabricantes de materiales de aislamiento han estado trabajando duro, también, con el resultado que los materiales de aislamiento modernos ahora exhiben mejores características que aquellas de principios del siglo XX.

La tecnología más nueva ofrece un funcionamiento mejorado de modo que los procedimientos establecidos pueden producir mayor comprensión y se puede disponer de nuevos métodos. Los instrumentos modernos entregan un voltaje estable en todo su rango de resistencia, con sensibilidad de procesador en el circuito de medición que permite mediciones en el rango de TΩ.

La combinación de voltaje estable y la sensibilidad mejorada permite al probador medir las cantidades minúsculas de corriente que pasan por el aislamiento de calidad en el equipo mayor nuevo. Consecuentemente, se han desarrollado procedimientos sofisticados que dependen de mediciones precisas y que se pueden implementar fácilmente.

Ahora que el probador de aislamiento no está limitado a valores asociados con equipos defectuosos o envejecidos, se puede usar para localizar con toda precisión la posición del objeto de prueba en cualquier lugar a lo largo de su curva de envejecimiento. La indicación "infinito" que es una delicia para el técnico de reparación representa un espacio vacío para el que diagnostica. Algunos instrumentos tienen pruebas de diagnóstico programadas en su software y pueden correrlas automáticamente, llenando ese vacío con datos analíticos valiosos.

## CÓMO SE MIDE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

### Cómo opera un probador de resistencia de aislamiento

El probador de aislamiento MEGGER® es un instrumento portátil que proporciona una lectura directa de la resistencia de aislamiento en ohms, megaohms o teraohms (según el modelo seleccionado) independientemente del voltaje seleccionado. Para un buen aislamiento, la resistencia generalmente da lectura en el rango de megaohms o más alto. El probador de aislamiento MEGGER es esencialmente un medidor de resistencia de rango alto (óhmmetro) con un generador de cd incorporado.

El generador del instrumento, que puede operarse por manivela manualmente, batería o por línea, desarrolla un voltaje de cd alto que ocasiona varias corrientes pequeñas a través y sobre la superficie del aislamiento que se prueba. La corriente total la mide el óhmmetro que lleva una escala de indicación analógica, lectura digital o ambas

### Componentes de la corriente de prueba

Si se aplica un voltaje de prueba a través de una pieza de aislamiento, luego por medición de la corriente resultante y aplicando la Ley de Ohm ( $R = E / I$ ), se puede calcular la resistencia de aislamiento. Desdichadamente, fluye más de una corriente, que tiende a complicar las cosas.

### Corriente de carga capacitiva

Se está familiarizado con la corriente requerida para cargar la capacitancia del aislamiento que se está probando. Esta corriente inicialmente es grande pero su vida es relativamente corta, cae exponencialmente a un valor cercano a cero conforme el objeto bajo prueba se carga. El material aislante se carga del mismo modo que el dieléctrico de un capacitor

### Corriente de absorción o polarización

La corriente de absorción está compuesta realmente hasta por tres componentes, que decaen con un índice de decrecimiento a un valor cercano a cero en un periodo de varios minutos.

La primera es ocasionada por una deriva general de electrones libres a través del aislamiento bajo el efecto del campo eléctrico.

La segunda es ocasionada por distorsión molecular por la que el campo eléctrico impuesto distorsiona la carga negativa de las capas de electrones que circulan alrededor del núcleo hacia el voltaje positivo.

La tercera se debe a la alineación de moléculas polarizadas dentro del campo eléctrico aplicado. Esta alineación es casi aleatoria en un estado neutro, pero cuando se aplica un campo eléctrico, estas moléculas polarizadas se alinean con el campo a un mayor o menor grado.

Las tres corrientes se consideran generalmente juntas como una sola corriente y son afectadas principalmente por el tipo y las condiciones del material de unión usado en el aislamiento. Aunque la corriente de absorción se aproxima a cero, el proceso toma mucho más tiempo que con corriente capacitiva.

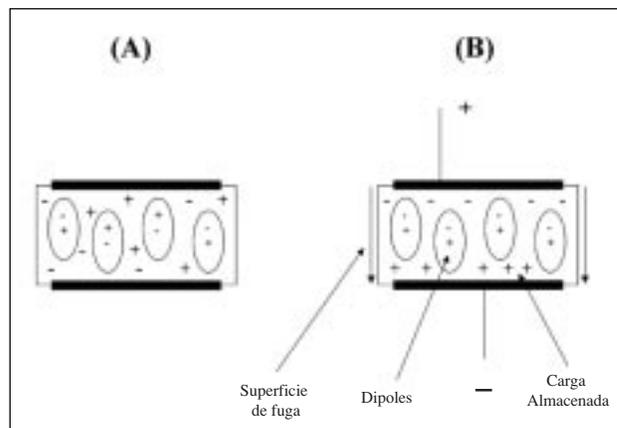


Figura 1. Alineación de moléculas polarizadas

La polarización de orientación se incrementa con la presencia de humedad absorbida puesto que los materiales contaminados están más polarizados. Esto incrementa el grado de polarización.

La despolimerización del aislamiento también lleva a un incremento en la corriente de absorción.

No todos los materiales poseen las tres componentes y, por cierto, los materiales tales como el polietileno, exhiben poca, si alguna, absorción por polarización.

### **Corriente de fuga superficial**

La corriente de fuga superficial se presenta porque la superficie del aislamiento está contaminada con humedad o con sales. La corriente es constante con el tiempo y depende del grado de ionización presente, que depende a la vez de la temperatura. Con frecuencia se ignora como corriente separada y se incluye con la corriente de conducción como la corriente de fuga total.

### **Corriente de conducción**

La corriente de conducción es estable a través del aislamiento y generalmente se representa por un resistor de valor muy alto en paralelo con la capacitancia del aislamiento. Es una componente de la corriente de fuga, que es la corriente que se mediría cuando el aislamiento está totalmente cargado y tiene lugar la absorción plena. Nótese que incluye la fuga superficial, que puede reducirse o eliminarse por el uso de la terminal de guarda (que se analizará más tarde).

La gráfica siguiente muestra la naturaleza de cada una de las componentes de corriente con respecto al tiempo

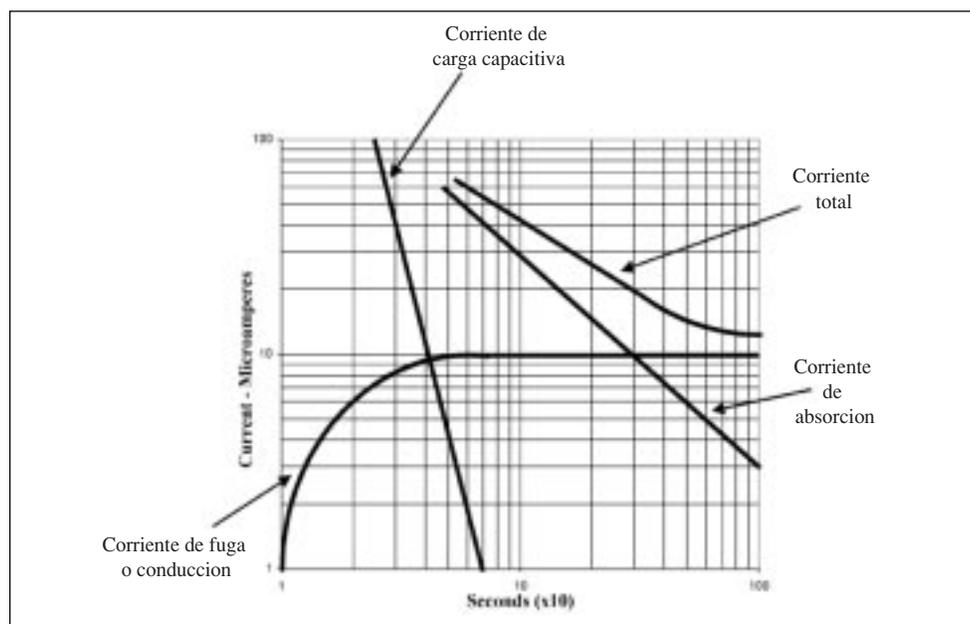


Figura 2: Componentes de la corriente de prueba

La corriente total es la suma de estas componentes. (La corriente de fuga se muestra como una corriente). Esta corriente es la que puede medirse directamente por medio de un micro amperímetro o, en términos de megaohms, a un voltaje particular por medio de un probador de aislamiento MEGGER. Algunos instrumentos ofrecen las alternativas de desplegar una medición en términos de corriente o como una resistencia.

## NOTAS

Debido a que la corriente total depende del tiempo que se aplica el voltaje, la Ley de Ohm ( $R = E / I$ ) sólo se mantiene, teóricamente, para un tiempo infinito (lo que implica esperar para siempre al tomar una lectura). También es altamente dependiente del arranque de un nivel base de descarga total. El primer paso en cualquier prueba de aislamiento es, por tanto, asegurar que el aislamiento esté completamente descargado.

*Nótese que:*

*La corriente de carga desaparece relativamente rápido conforme se carga el equipo bajo prueba. Las unidades grandes con más capacitancia tomarán más tiempo para cargarse. Esta corriente almacena energía y, por razones de seguridad, debe descargarse después de la prueba. Afortunadamente, la descarga de esta energía tiene lugar relativamente rápido. Durante la prueba, la corriente de absorción decrece con una rapidez relativamente baja, según la naturaleza exacta del aislamiento. Esta energía almacenada, también, debe liberarse al final de la prueba, y requiere mucho más tiempo para descargarse que la corriente de carga de la capacitancia.*

### **Conexión del probador de aislamiento**

Con los materiales aislantes modernos hay poca, si alguna, diferencia en la lectura obtenida, independientemente de la manera en que se conecten las terminales. Sin embargo, en los aislamientos antiguos, un fenómeno poco conocido llamado electroendósmosis ocasiona que se obtenga una lectura más baja con la terminal positiva conectada al lado a tierra del aislamiento que se está probando. Si se prueba un cable sub-terráneo, la terminal positiva se debe conectar normalmente al lado exterior del cable puesto que éste estará a tierra por contacto con el terreno, como se muestra en la Figura 3. Nótese que no se conecta directamente al aislamiento sino más bien al neutro del cable o tierra.

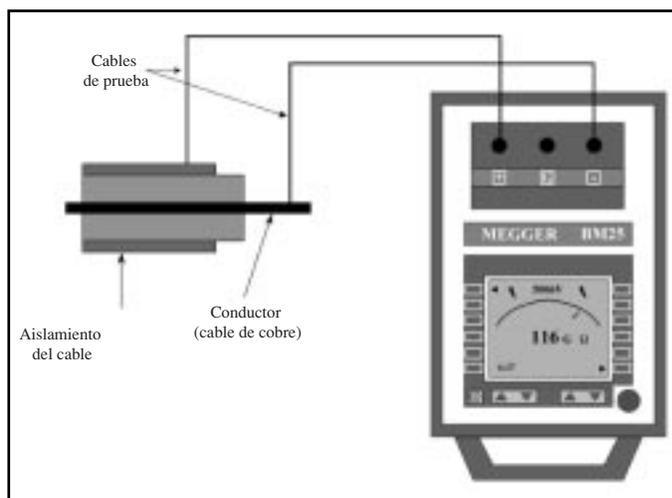


Figura 3: Conexión simple a un cable

## Conexiones típicas seleccionadas

### **Cable de potencia blindado**

Conectado para medir la resistencia de aislamiento entre un conductor y tierra.

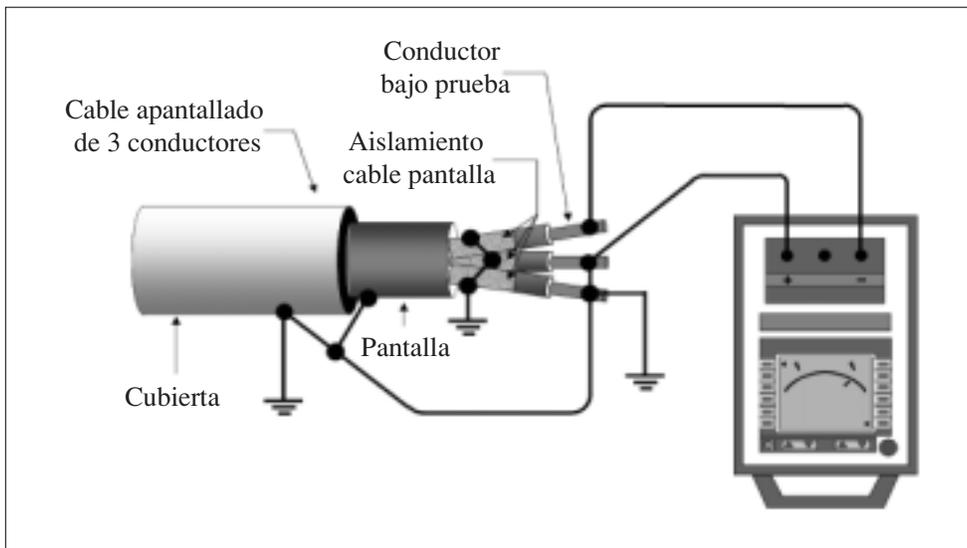


Figura 4: Conexión a un cable de potencia blindado

### **Interruptor / Boquillas**

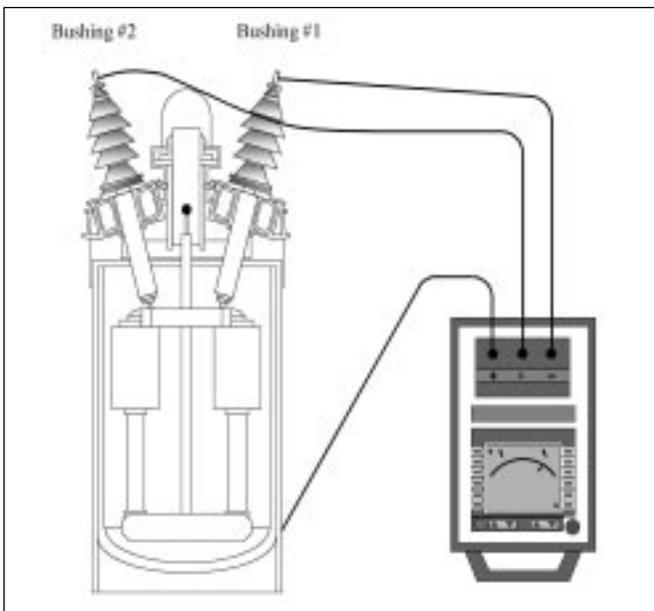


Figura 5: Conexión a un interruptor

NOTAS

## NOTAS

### Transformador de potencia

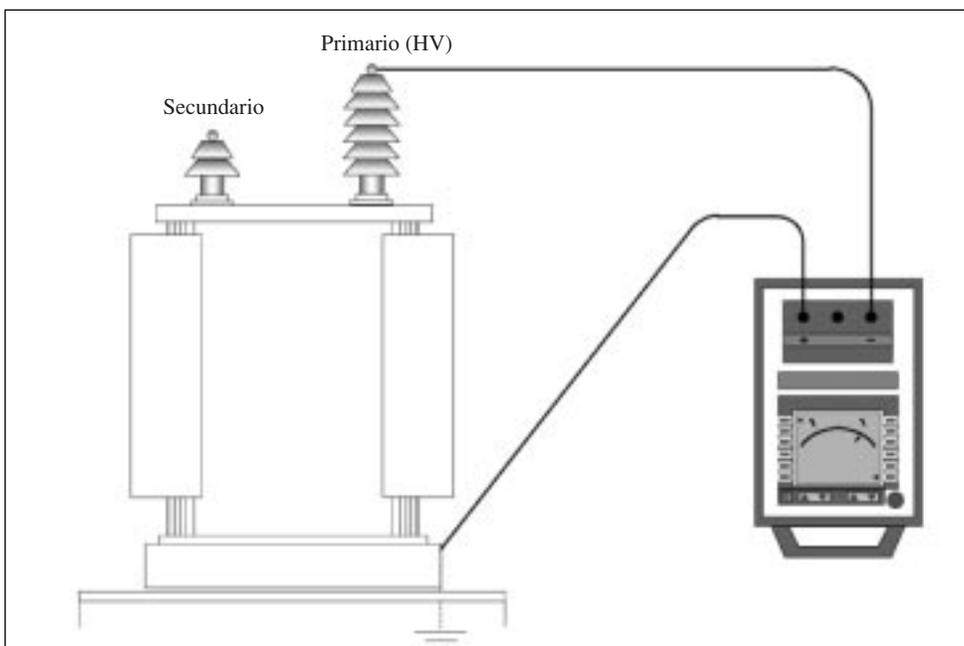


Figura 6: Conexión a un transformador de potencia

### Generador de CA

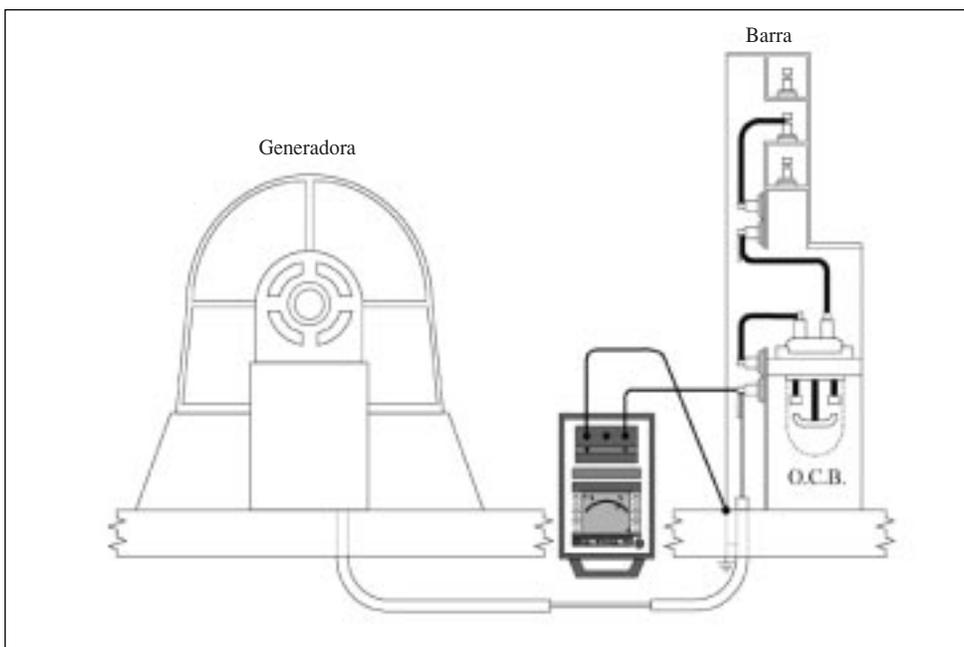


Figura 7: Conexión a un generador de CA

Los observadores agudos notarán la conexión para medir las boquillas del interruptor incluida la conexión de la tercera terminal o guarda. El uso de esta terminal se explica con mayor detalle más adelante en este folleto.

## Escala del probador de resistencia de aislamiento

La mayoría de los probadores de aislamiento modernos ofrecen pantallas que proporcionan al operador una lectura digital del resultado y alguna forma de lectura analógica. Más adelante se representa la pantalla del MEGGER BM25.



Figura 8: Pantalla del MEGGER BM25

proporcionar información a un operador con experiencia. ¿La aguja viaja suavemente o brincando? ¿Asciende uniformemente o regresa intermitentemente? Esta información complementaria valiosa sería difícil o casi imposible de discernir de los dígitos danzantes de una pantalla LCD. Enseguida se listan algunos ejemplos:

- Conforme se incrementa el voltaje de prueba y el objeto bajo prueba se aproxima a la ruptura, la descarga por efecto corona ocasionará que la aguja “tiemble”, lo que indica al operador que se está acercando al voltaje máximo que resiste el objeto. Esta advertencia sucede a tiempo para terminar la prueba antes de que ocurra la ruptura real, y el posible daño.
- Para el operador con experiencia, la velocidad a la que viaja la aguja da a conocer información de la capacitancia del objeto bajo prueba. Esta es una propiedad útil en pruebas de cables de alto voltaje, y se relaciona con las bases teóricas de las pruebas de descarga dieléctrica más sofisticadas que se describen en este folleto.
- Si la aguja avanza y retrocede alternativamente, podría indicar un arco en el objeto bajo prueba, demasiado pequeño para ocasionar la desconexión del probador. Tal información ayuda al operador a determinar algún problema.
- Observando la aguja conforme desacelera para un alto aparente (puede todavía estar moviéndose pero a una “velocidad” parecida a la de una manecilla del reloj) puede ser más agradable tomar una lectura rápida o puntual que tratar de decidir cuando se ha estabilizado razonablemente una pantalla digital. Ninguna pantalla digital se “congela” en un número preciso sin cuando menos cierta fluctuación del último dígito significativo.

Este tipo de detalle es difícil o imposible, para el ojo humano, extraerlo de los dígitos cambiantes de una pantalla electrónica. Pero mientras la aguja viaja puede ser deseable, cuando para, dejar al operador la interpolación de la lectura entre las marcas de la escala, lo que introduce un elemento de juicio, que puede ser una fuente de error.

## NOTAS

Cuando un probador de aislamiento “se engancha” al objeto que se va a probar, ocurren varias cosas. Fluyen las tres distintas corrientes, de carga capacitiva, de absorción dieléctrica y de conducción/fuga. La suma de estas tres corrientes ocasionará que la pantalla del instrumento varíe con la lectura incrementándose, al principio rápidamente y luego más lentamente con-forme transcurre el tiempo.

Con una pantalla analógica, el movimiento de la aguja puede

## NOTAS

Los modelos digitales no presentan tal problema, ya que informan al operador exactamente (dentro de las especificaciones de exactitud de la unidad) que medición se ha tomado. Y se debe recordar, que la mayoría dará un valor de capacitancia al final de la prueba.

La mayoría de los probadores de aislamiento MEGGER arriba de 1 kV vienen con una pantalla analógica / digital. Una de las ventajas de esta pantalla es que la porción analógica del medidor se balanceará y oscilará, lo que indica al operador que el objeto bajo prueba todavía no ha alcanzado el estado estable y que está todavía bajo la influencia de la corriente de absorción y carga. Esta indicación significa que el objeto se debe probar por más tiempo o que hay un problema. Cuando la porción analógica de la pantalla se hace estable, el instrumento despliega los resultados en forma de una lectura digital directa no ambigua, sin que se tengan que realizar multiplicadores u operaciones matemáticas

A diferencia de la pantalla analógica / digital mencionada anteriormente, un medidor de gráfica de barras de "sensibilidad promedio" no proporciona una indicación en tiempo real de la resistencia de aislamiento. Algunos instrumentos ofrecen una gráfica de barras curvada en lugar de un arco logarítmico genuino, en el que el extremo inferior de la escala se expande con relación al extremo superior. La gráfica de barras toma lecturas sobre el tiempo, realiza cálculos y luego despliega los resultados. El problema con este tipo de medidor es su principio de operación. Si ocurre un evento cuando la gráfica de barras no está tomando lecturas, se omitirá y no aparecerá en la pantalla. Además, las simulaciones de la gráfica de barras del viaje de la aguja pueden no parecer al ojo igual que el viaje de la aguja familiar y puede no replicar un movimiento mecánico al grado esperado.

Cuando se hacen pruebas de aislamiento, mientras que el operador conozca más sobre los resultados (durante y después de la prueba), su decisión sobre como corregir el problema será mejor, si existe alguna. Si algo se omite durante una prueba porque el instrumento tenía un medidor del estilo de gráfica de barras, también se podría omitir información importante.

### Características de voltaje

El voltaje de salida de un probador de aislamiento depende de la resistencia que está midiendo. A resistencias bajas, digamos decenas de ohms, el voltaje será cercano a cero, talvez algunos volts. Conforme la resistencia de la carga se incrementa, así el voltaje de prueba se incrementará hasta que alcanza el voltaje requerido. Conforme la resistencia crece más, el voltaje de prueba aumenta hasta que se alcanza un valor estable. Este valor probablemente estará ligeramente en exceso del voltaje nominal requerido (por ejemplo, 5104 V cuando se selecciona 5000 V).

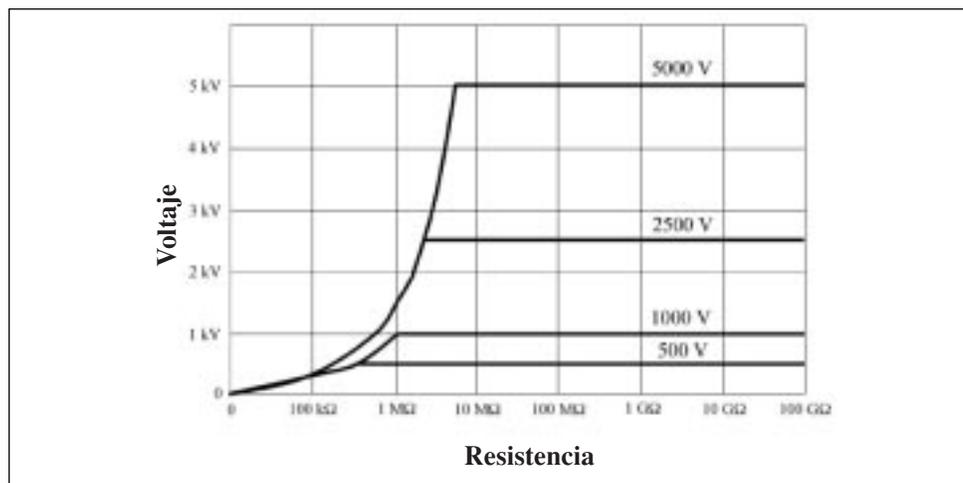


Figura 9: Curva de carga buena

Se debe siempre asegurar que un probador de aislamiento lleve una "gráfica de carga" que indique las características del voltaje de salida contra la resistencia de la carga o, alternativamente, un voltímetro integral que mida realmente el voltaje terminal durante una prueba y la despliegue en forma continua. Por este medio se puede asegurar que se produce un voltaje adecuado en el rango de resistencia de interés.

Un probador de aislamiento de buena calidad tendrá una característica de voltaje que exhiba una elevación brusca de voltaje hasta un nivel de resistencia correspondiente a un buen aislamiento. Un tiempo de elevación rápida asegura una medición efectiva. La característica de voltaje mostrada en la Figura 9 representa una característica buena. En este ejemplo, el voltaje de salida habrá alcanzado 500 V a una carga tan baja como 500 k $\Omega$  y 1000 V a 1 M $\Omega$ . Estos valores son legislados por las normas internacionales para probar el alambrado de casas, tiendas, etc. Aunque esto es apenas un uso típico para probadores de diagnóstico de aislamiento, proporciona un buen punto de referencia para el fabricante formal. Para voltajes más altos se aplicarían valores similares. El voltaje se debe elevar abruptamente hasta cualquier valor desde uno hasta cinco megaohms, según la selección de voltaje, y mantener ese voltaje para todas las resistencias más altas.

Con probadores de aislamiento de menor calidad, la rampa de voltaje es mucho más lenta. Los instrumentos tipificados por la curva pobre mostrada en la Figura 10, no producen el voltaje nominal hasta que no se han alcanzado resistencias mucho más altas. Así, las pruebas pueden producir resultados que proporcionan niveles de pase del aislamiento pero que sólo han estado sujetos a la mitad del voltaje de prueba deseado.

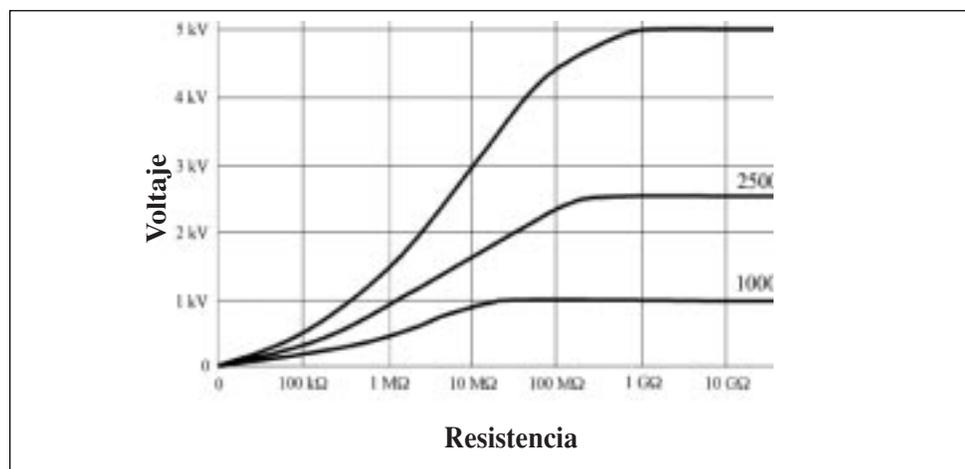


Figura 10: Curva de carga pobre

## EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### Interpretación de la lectura infinito ( $\infty$ )

Una de las características más importantes de un probador de aislamiento es el rango que puede medir el instrumento. Las metas de prueba determinan si la función básica es todo lo que se necesita, o si se recomienda un rango mejorado. Las aplicaciones en aislamientos simples, tales como el de un electricista que termina un trabajo, se pueden obtener con un rango básico de mil megaohms (M $\Omega$ ). Considerando equipo nuevo, si no está defectuoso o dañado.

Durante la instalación, sobrepasará el rango de todos los probadores, sobretodo el de los más avanzados, pero está bien. En tales casos, el electricista no está buscando un valor real, sino más bien quiere ver un valor alto e "infinito" ( $\infty$ ) que cumpla con ese

## NOTAS

critorio. Sin embargo, "infinito" no es una medición, es una indicación de que el aislamiento que se está probando tiene una resistencia que excede las capacidades de medición del probador y siempre se debe registrar como "mayor de 1000 MΩ" o cualquiera que sea el número disponible más alto en el probador de aislamiento. Generalmente esto es adecuado puesto que el valor mínimo aceptable de resistencia es probablemente mucho más bajo que la lectura máxima disponible

Pero para mantenimiento de equipo mayor, un probador con sólo un rango limitado "queda corto" para el operador. Para mantenimiento preventivo / predictivo, las lecturas infinitas no tienen uso. El operador sabe que el objeto en prueba está "bueno", pero no mucho más. Los probadores con rango ampliado, hasta teraohms ( $1 \text{ T}\Omega = 1,000,000 \text{ M}\Omega$ ), ofrecen mediciones reales desde el momento de la instalación, por lo que establece una línea de tiempo larga que da al profesional de mantenimiento "respiro" suficiente.

Los cambios significativos en la calidad del aislamiento pueden ocurrir a niveles altos de

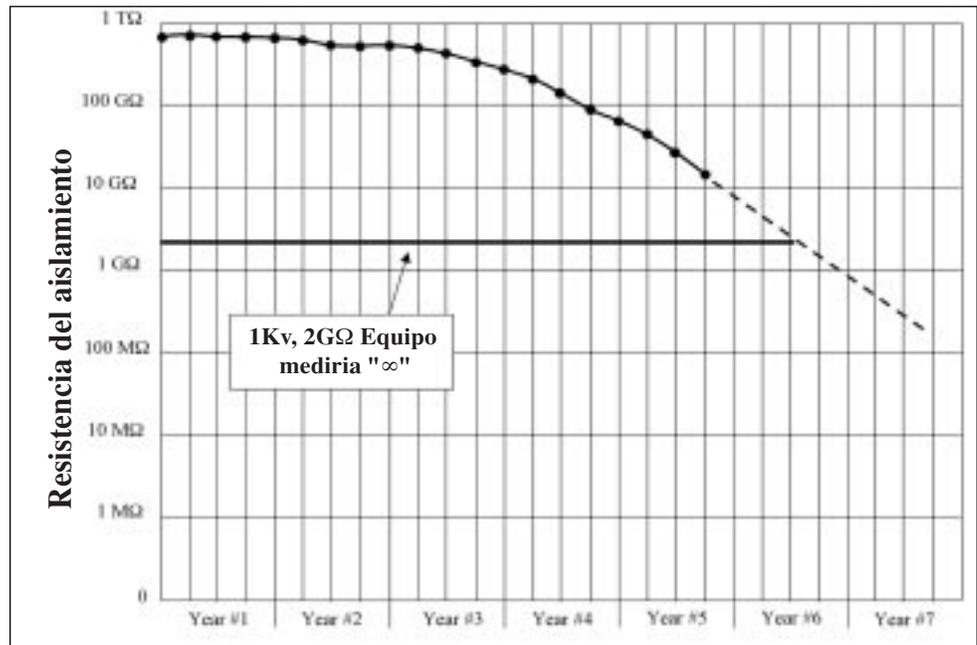


Figura 11: Cambios en la resistencia de aislamiento a valores altos

resistencia de aislamiento, más allá del rango de instrumentos más limitados, como se muestra en la gráfica siguiente.

En este ejemplo, un probador de rango limitado no capturaría estos datos valiosos. Se puede ver claramente que, aunque el último valor de aislamiento registrado excede de 10 GΩ, la rapidez de declinación se está incrementando; algo está mal. Un instrumento con un rango limitado a 2000 MΩ omitiría esto totalmente. En el momento en que las lecturas se hubieran degradado en el rango del instrumento, el personal de mantenimiento las dejaría con poco tiempo comparativamente para programar el mantenimiento de rutina fuera de línea. (Puede aún ser muy tarde para rectificar la condición de falla).

---

## PRUEBAS DE AISLAMIENTO DE DIAGNÓSTICO DE ALTO VOLTAJE

Las pruebas de aislamiento de diagnóstico estimulan eléctricamente el aislamiento y miden la respuesta. Según la respuesta, se pueden sacar algunas conclusiones sobre las condiciones del aislamiento.

Las pruebas de aislamiento de diagnóstico cubren un amplio rango de técnicas, algunas que involucran equipo portátil y algunas que requieren equipo fijo considerable. Aquí se considerarán sólo aquellas pruebas que se pueden realizar rápidamente con un probador de aislamiento de cd portátil. Estas son:

- Pruebas puntuales de tendencia
- Constante de tiempo
- Índice de polarización (PI)
- Voltaje de paso (SV)
- Descarga dieléctrica (DD)

Cada prueba da una vista diferente, o ventana, sobre las condiciones del aislamiento; el panorama completo está sólo disponible cuando se han completado todas las pruebas requeridas.

### Prueba de lectura puntual (spot)

La prueba de lectura puntual (spot) es la más simple de todas las pruebas de aislamiento y la más asociada con los probadores de aislamiento de voltaje más bajo; El voltaje de prueba se aplica por un periodo corto específico de tiempo (generalmente 60 segundos puesto que usualmente cualquier corriente de carga capacitiva decaerá en este tiempo) y luego se toma una lectura. La lectura se puede comparar con las especificaciones mínimas de la instalación. A menos que el resultado sea catastróficamente bajo, se usa mejor cuando tienda hacia los valores obtenidos previamente

Sin embargo, la resistencia de aislamiento es altamente dependiente de la temperatura y por tanto los resultados deben corregirse a una temperatura normal, generalmente 40° C. Aunque los efectos de la temperatura se cubrirán más adelante, una buena regla de dedo es que por cada 10° C de incremento en la temperatura la corriente se dobla (la resistencia se reduce a la mitad). La clave para hacer válida la prueba de lectura puntual (spot) es consistente con mantener el tiempo, mantener el registro efectivo, y la tendencia de los resultados.

Como se hizo notar anteriormente, el incremento de sensibilidad disponible en los probadores de aislamiento de diagnóstico con base en microprocesador permite al operador identificar los problemas de aislamiento en sus etapas iniciales más que cuando esos problemas se hacen catastróficos. En muchos casos, la tendencia es mucho más importante que el valor absoluto.

Compárense los dos trazos en la Figura 12. El aparato A muestra una resistencia de aislamiento alta mientras que el aparato B muestra un valor bajo. Sin embargo, cuando se examina la tendencia, el aparato B muestra pocas causas por qué preocuparse; ha estado alrededor del mismo valor por varios años y muestra todos los prospectos de continuar en las mismas condiciones por muchos años por venir. Por el contrario, la curva del aparato A se está clavando dramáticamente y el aparato fallará, si no se hace nada para evitarlo, en los próximos años.

## NOTAS

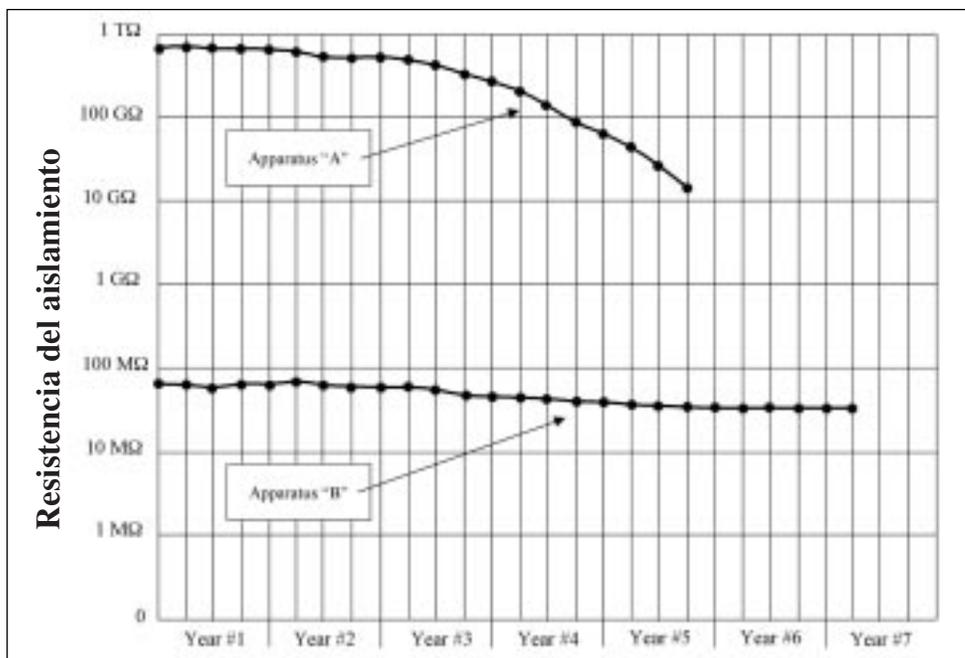


Figura 12: Comparación de las tendencias de los resultados de las pruebas

Mientras que el aparato A tiene valores de resistencia absoluta mucho más altos que el aparato B, la tendencia es bastante preocupante. El aparato B tiene una tendencia casi plana y consistente, lo que indica que la calidad del aislamiento es probablemente aceptable.

Las lecturas de resistencia de aislamiento se deben considerar relativamente más que absolutamente. Pueden variar de un motor o máquina probada tres días en una fila, todavía no significa un aislamiento malo. Como se mencionó, la información importante es la tendencia de las lecturas en un periodo de tiempo, que muestren reducción de la resistencia y advertencia de problemas venideros

Las pruebas periódicas son, por tanto, críticas en el mantenimiento preventivo del equipo eléctrico. El intervalo entre pruebas (mensualmente, semestralmente, anualmente, etc.) depende del tipo, localización e importancia del equipo. La evaluación de una serie de lecturas tomadas en un periodo de meses o años lleva al operador a convertirse en un diagnosta.

Las pruebas periódicas deben hacerse del mismo modo cada vez. También deben hacerse alrededor de la misma temperatura, o el operador debe corregirlas a la misma temperatura. El registro de la humedad relativa cerca del equipo en el momento de la prueba es útil para evaluar la lectura y la tendencia puesto que las temperaturas bajas y la humedad alta podrían sugerir condensación en la superficie del aislamiento. Por esta razón es esencial asegurar que el equipo que se va a probar esté a una temperatura en exceso del punto de rocío, puesto que de otra manera se formará condensación que distorsionará las lecturas a menos que la medición se "proteja" bien. Más adelante se dan mayores detalles sobre este asunto.

La tabla siguiente contiene algunas observaciones generales sobre cómo interpretar las pruebas periódicas de resistencia de aislamiento y de que se debe hacer con los resultados:

Condición	Qué hacer
<b>(a)</b> Valores aceptables a altos y bien mantenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es causa preocupación</li> </ul>
<b>(b)</b> Valores aceptables a altos, pero con una tendencia constante a valores más bajos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizar y remediar la causa y verificar la tendencia hacia abajo</li> </ul>
<b>(c)</b> Bajos pero bien mantenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las condiciones probablemente estén bien pero debe verificarse la causa de los valores bajos; tal vez sea simplemente el tipo de aislamiento usado</li> </ul>
<b>(d)</b> Tan bajos como para no ser seguros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpie y seque, o eleve los valores antes de poner el equipo en servicio (pruebe el equipo mojado mientras lo seca)</li> </ul>
<b>(e)</b> Valores aceptables o altos previamente bien mantenidos pero que baja súbita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haga pruebas a intervalos frecuentes hasta que la causa de los valores bajos se localice y se remedie o,</li> <li>• Hasta que los valores se estabilicen a un nivel más bajo pero seguro para la operación o,</li> <li>• Hasta que los valores sean tan bajos que sea inseguro para mantener el equipo en operación</li> </ul>

## NOTAS

### Prueba de tiempo vs. resistencia

Los procedimientos de prueba familiares normales que se han empleado por años se benefician de las capacidades perfeccionadas de las pruebas de diagnóstico mejoradas. La más básica de estas es el método tiempo-resistencia. Una propiedad valiosa del aislamiento, pero que debe entenderse, es que "carga" durante el curso de una prueba gracias al movimiento de los electrones como se explicó previamente. Este movimiento de los electrones constituye una corriente

Su valor como un indicador de diagnóstico se basa en dos factores opuestos; la corriente se desvanece conforme la estructura alcanza su orientación final, mientras que la "fuga" promovida por la humedad o el deterioro pasa una corriente constante comparativamente grande. El resultado neto es que con "buen" aislamiento, la corriente de fuga es relativamente pequeña y la resistencia se eleva continuamente conforme la corriente decrece por los efectos de carga y absorción dieléctrica. El aislamiento deteriorado pasará cantidades relativamente grandes de corriente de fuga a una tasa constante para el voltaje aplicado, que tenderá a disfrazar los efectos de carga y absorción

Graficando las lecturas de resistencia a intervalos de tiempo desde la iniciación de la prueba produce una curva uniforme para "buen" aislamiento, pero una gráfica "plana" para equipo deteriorado. El concepto de la prueba tiempo-resistencia es tomar lecturas sucesivas a tiempos especificados. Se basa en las magnitudes relativas de las corrientes de fuga y absorción en aislamientos limpios y secos comparada con la de aislamientos húmedos o contaminados; la corriente de fuga es mucho más grande y los efectos de la corriente de absorción son por tanto menos aparentes.

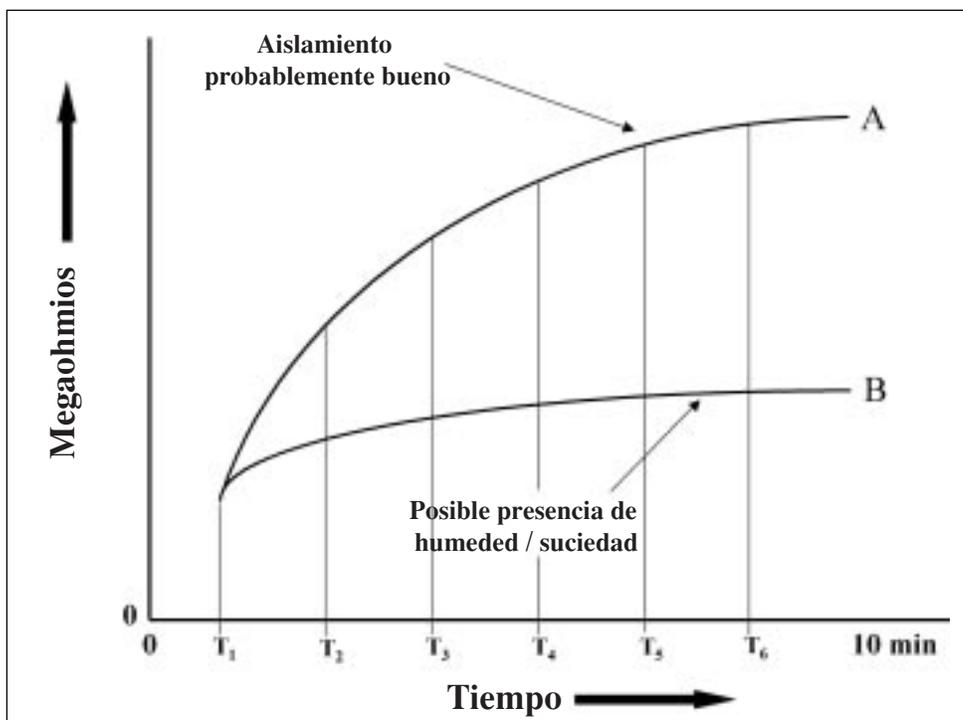


Figura 13: Gráfica de prueba tiempo-resistencia

Los beneficios de la prueba de tiempo-resistencia son que es relativamente independiente de la temperatura y puede dar información concluyente sin los registros de pruebas pasadas.

#### Prueba de índice de polarización

La implementación más simple de la prueba de tiempo-resistencia para un aislamiento sólido se representa por la prueba popular Índice de Polarización (PI), que requiere sólo dos lecturas seguidas por una división simple; La lectura de un-minuto se divide entre la lectura de diez-minutos para obtener una relación. El resultado es un número puro y se puede considerar independiente de la temperatura puesto que la masa térmica del equipo que se está probando generalmente es tan grande que el enfriamiento total que tiene lugar durante los diez minutos de la prueba es despreciable.

En general, una relación baja indica poco cambio, consecuentemente aislamiento pobre, mientras que una relación alta indica lo opuesto. Las referencias a valores PI típicos son comunes en la literatura, lo que hace que esta prueba sea fácilmente empleada. Sin embargo, se dice "en general" porque como se mencionó previamente hay materiales que exhiben muy poca o ninguna absorción dieléctrica. Llevando a cabo una prueba en esos materiales produciría entonces un resultado muy próximo a 1.

Nótese que las lecturas de resistencia son difíciles de trabajar, puesto que pueden ir de valores enormes en equipos nuevos a unos cuantos megaohms antes de retirarlos de servicio.

Una prueba como la PI es particularmente útil porque se puede realizar aún en equipos grandes, y produce una evaluación auto-contenida con base en lecturas relativas más que en valores absolutos. Pero no se puede calcular PI con un probador de rango limitado, porque "infinito" ¡no es un número! Los probadores avanzados alcanzan el rango de teraohms, y por tanto, no se salen de la gráfica. El equipo mayor más grande y más nuevo

se puede probar fácilmente para producir datos repetibles para registro y evaluación de tendencias subsecuentes. El cuadro siguiente pone de relieve valores PI seleccionados y lo que significan para el operador.

Índice de polarización de la condición del aislamiento	
< 1	Pobre
1-2	Cuestionable
2-4	OK
> 4	Bueno

Los valores arriba de 4 indican equipo excelente para el que probablemente no sea necesaria ninguna acción dentro del programa de mantenimiento inmediato. Sin embargo, el operador puede ser llamado para hacer juicios críticos. Algunos valores de PI (arriba de 5) podrían indicar aislamiento quebradizo o agrietado; esto podría ser casi obvio. Un aumento súbito de PI mayor de 20%, sin haber realizado mantenimiento alguno, debe servir como una advertencia; el aislamiento puede mantener su valor por periodos largos, pero no es probable que los mejore espontáneamente de por sí.

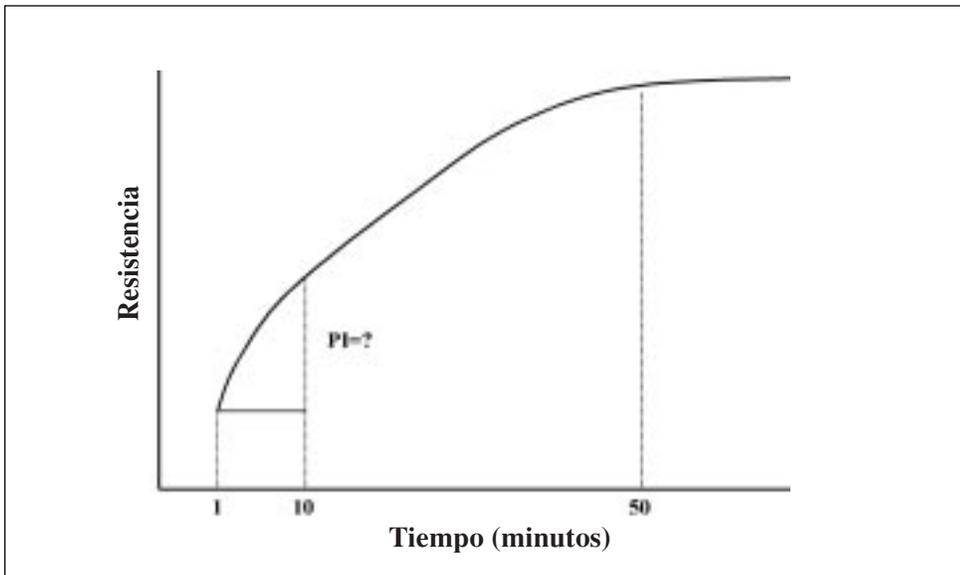


Figura 14: Beneficios de la prueba de polarización para equipo grande

Un beneficio de la prueba PI es que puede proporcionar una indicación de la calidad del aislamiento en diez minutos en partes muy grandes de equipo que podrían tomar una hora o más para cargarse totalmente. Con la prueba de lectura puntual (spot), el operador debe esperar hasta que se estabilice la lectura. Por esta razón es normal realizar una prueba PI con voltaje relativamente bajo antes de aplicar los voltajes altos usados en una prueba de resistencia

Aunque la tabla de valores PI se ha usado durante muchos años y es bien aceptada, se puede encontrar ocasionalmente que las lecturas PI son excepcionales. Hace muchos años se probó el estator de un generador de 3750 kVA y se obtuvo una lectura de PI de 13.4. El estator se había enfriado y no había duda de que todavía estaba en su fase de cura. Las pruebas subsiguientes produjeron valores reducidos de PI hasta que se estabilizaron en 4.7. Durante el mantenimiento de rutina los valores de PI no alcanzan esas alturas.

## NOTAS

Es interesante, también, hacer notar que mucha gente ha tratado de usar la prueba PI en transformadores llenados con aceite y no puede entender por qué un transformador que se sabe que está bueno les da resultados próximos a 1. La respuesta es simple. La prueba PI no es adecuada para transformadores llenados con aceite. El concepto depende de las estructuras relativamente rígidas de los materiales aislantes sólidos, donde se requiere energía de absorción para reconfigurar la estructura electrónica de moléculas comparativamente fijas en contra del campo del voltaje aplicado. Puesto que este proceso puede llevar a un estado teórico de terminación (en "tiempo infinito", que obviamente no puede lograrse en el campo práctico, pero que puede aproximarse razonablemente), el resultado es una disminución sostenida de la corriente conforme las moléculas llegan a su alineamiento "final". Debido a que la prueba PI se define por este fenómeno, no se puede aplicar con éxito a materiales fluidos puesto que el pasaje de la corriente de prueba a través de una muestra llena de aceite crea corrientes de convección que constantemente forman remolinos en el aceite, lo que da lugar a una carencia caótica de estructura que se opone con la premisa básica sobre la que descansa la prueba PI.

### Prueba de voltaje de paso

Puesto que el aislamiento bueno es resistivo, un incremento en el voltaje de prueba conducirá a un incremento en la corriente mientras la resistencia permanece constante. Cualquier desviación de esto podría significar aislamiento defectuoso. Con voltajes de prueba más bajos, 500 V o 1000 V, es bastante posible que estos defectos no se observen, pero conforme se eleva el voltaje se llega a un punto donde tiene lugar la ionización dentro de las grietas o las cavidades, lo que da por resultado un incremento de la corriente, y por tanto una reducción de la resistencia de aislamiento. Nótese que no es necesario llegar al voltaje de diseño del aislamiento para que estos defectos se hagan aparentes, puesto que se busca simplemente la ionización en el defecto

La prueba de Voltaje de Paso sigue exactamente este principio y puede emplearse útilmente con voltajes que alcanzan 2500 V y más. La prueba de Voltaje de Paso se puede emplear como una prueba de bajo voltaje o sobre voltaje. Sin embargo, se debe recordar que una prueba de sobre voltaje puede llevar a una falla catastrófica si se rompe el aislamiento debido a que los probadores de voltaje tienen mucha potencia disponible. Una prueba de bajo voltaje realizada con un probador de aislamiento tiene relativamente poca potencia disponible y por lo tanto es menos probable que resulte una prueba destructiva.

Un procedimiento normal reconocido es incrementar el voltaje en cinco pasos iguales en incrementos de un minuto y registrar la resistencia de aislamiento final en cada nivel. Cualquier reducción marcada o inusual de resistencia es una indicación incipiente de debilidad. La electrónica moderna permite que esas lecturas se capturen automáticamente.

Enseguida se dan algunos resultados posibles de una prueba de Voltaje de paso en un motor de 500 a 2500 volts y lo que significan para el operador:

- Si no hay diferencia apreciable en los valores - el aislamiento está en buenas condiciones.
- Si hay diferencia apreciable en los valores - el aislamiento requiere reacondicionamiento minucioso.
- Si el aislamiento falla a 2500 V – el motor es cuestionable; lo más probable es que falle cuando se ponga en servicio aún cuando se haga un intento de reacondicionarlo con base en pruebas de bajo voltaje solamente.

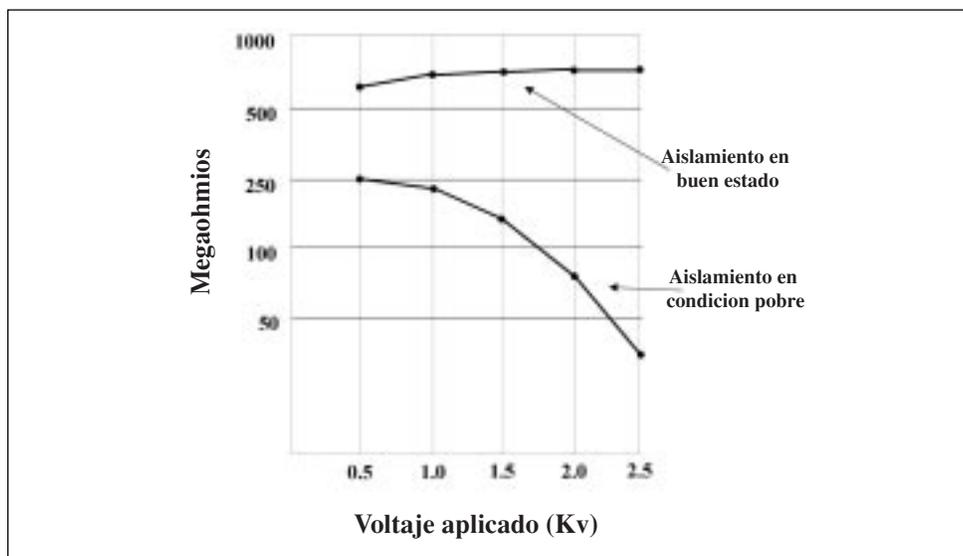


Figura 15: Gráfica de paso voltaje de paso

Las gráficas de la Figura 15 se tomaron de un motor inundado y sucio (trazo inferior) y después de limpiarlo y secarlo (trazo superior).

En general, si se observa una desviación de 25% en las mediciones de resistencia en el rango de voltajes sucesivos, es una indicación de la presencia de humedad u otro contaminante. El daño físico localizado puede revelarse más por ruptura o arqueo. Una aguja con movimiento tembloroso puede anticipar esta condición cuando se acerca al voltaje de ruptura. Puede ser deseable terminar la prueba en tal punto antes que la ruptura del aislamiento deteriore más las condiciones del objeto en prueba.

Como la prueba PI, la prueba de Voltaje de Paso es una prueba repetible, auto-evaluable que, por su corta duración, está libre de influencias extrañas como el efecto de la temperatura.

### Prueba de descarga dieléctrica

La prueba de Descarga Dieléctrica (DD) es un método de prueba relativamente nuevo que fue desarrollado por Electricité de France, con base en años de experiencia. Mientras que los otros métodos mencionados miden las corrientes que fluyen durante el proceso de carga, la prueba DD mide la corriente que fluye durante la descarga de la muestra bajo prueba. Como tal, no es una prueba de resistencia de aislamiento pura sino más bien un adjunto a las pruebas de aislamiento tradicionales.

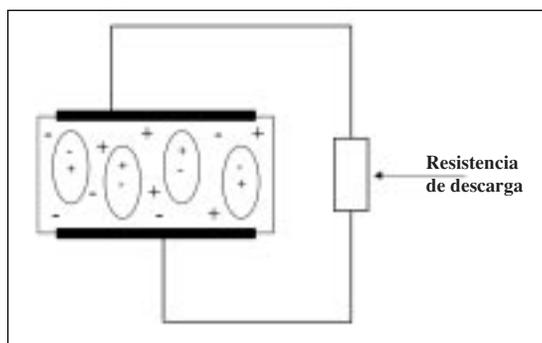


Figura 16: Descarga de la carga almacenada en el objeto en prueba

La carga que se almacena durante una prueba de aislamiento se descarga automáticamente al final de la prueba cuando los resistores de descarga del probador de aislamiento se intercambian en las terminales.

## NOTAS

La rapidez de descarga depende solamente de los resistores de descarga y de la cantidad de carga almacenada en el aislamiento. Sin embargo, la carga capacitiva se descarga rápidamente hasta que el voltaje a través del aislamiento se ha reducido casi a cero. En ese momento el efecto de las corrientes de fuga será despreciable. Así, sólo queda la inversión de la absorción dieléctrica. Esto se conoce como reabsorción dieléctrica y es una imagen de espejo de la absorción dieléctrica.

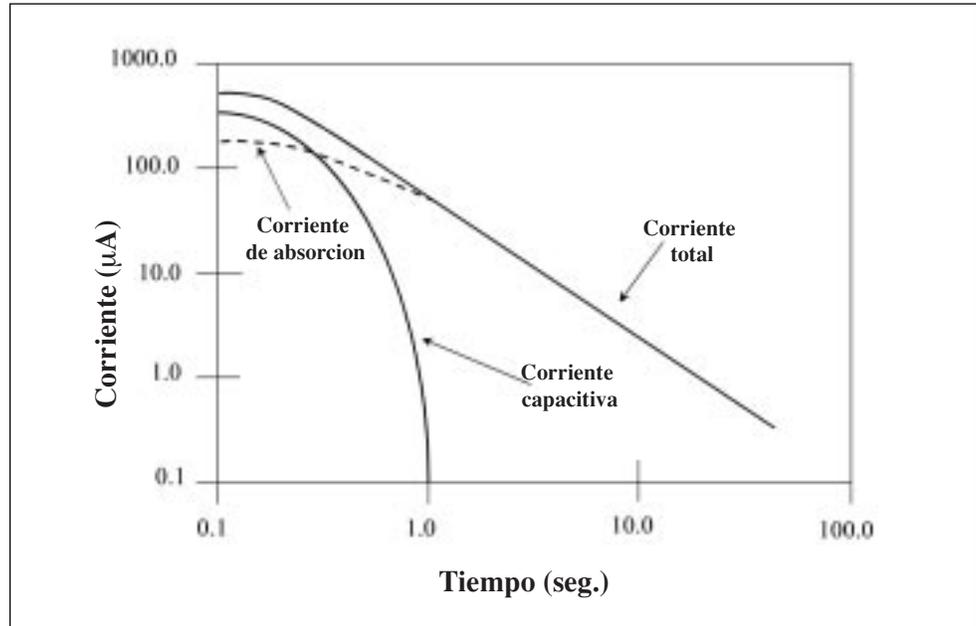


Figura 17: Corrientes de reabsorción

La corriente capacitiva decae rápidamente desde un valor alto con una constante de tiempo relativamente corta (unos cuantos segundos). La corriente de absorción (o reabsorción durante una descarga) siempre comienza a un nivel alto pero tiene una constante de tiempo mucho más larga (hasta muchos minutos). Es ocasionada por los dipolos que hacen aleatoria su alineación dentro del aislamiento y la capa de electrones que regresa a una forma no distorsionada. Esto tiene el efecto de una corriente que fluye si el circuito de descarga todavía está conectado, o un voltaje que reaparece en la muestra si se deja en circuito abierto. Removiendo rápidamente los efectos de las corrientes de fuga y capacitiva permite la posibilidad de interpretar el grado de polarización del aislamiento y relacionarlo con la humedad y otros efectos de la polarización.

El objeto en prueba se carga primero de 10 a 30 minutos a alto voltaje hasta que haya tenido lugar la absorción total. (Los probadores de aislamiento MEGGER que automatizan esta prueba cargan la muestra en prueba durante 30 minutos). En este tiempo, la capacitancia se carga totalmente y la absorción eléctrica está esencialmente completa. Sólo la corriente de fuga continúa fluyendo. En este punto se remueve el voltaje de prueba y el aislamiento se descarga a través de los resistores internos del instrumento para descargar rápidamente la carga capacitiva. Después de 60 segundos de descarga, se mide cualquier flujo de corriente remanente. En este tiempo, la capacitancia se descarga y el voltaje se colapsa de modo que la carga almacenada en los dipolos puede verse independientemente de las corrientes de "máscara" que dominan durante la fase de descarga de una prueba de aislamiento.

Los resultados medidos se introducen en la fórmula siguiente y se calcula un índice.

Corriente que fluye después de 1 minuto (nA)

Voltaje de prueba (V) x Capacitancia (mF)

La medición es dependiente de la temperatura, por lo que es importante probar a una temperatura de referencia o registrar la temperatura.

El aislamiento en equipos de alto voltaje consiste de capas, cada una tiene su propia capacitancia y la resistencia de fuga asociada. Cuando el aislamiento se construye de esta manera, la meta es hacer cada capa de modo que la fatiga de voltaje se comparta por igual entre las capas. Cuando se descarga el aislamiento, la carga de cada capa decrecerá en forma igual hasta que ya no hay voltaje remanente

Cuando hay una capa defectuosa entre dos capas buenas, su resistencia de fuga decrecerá mientras que la capacitancia probablemente permanece igual. Una prueba normal de aislamiento se determinará por las capas buenas, y probablemente para no revelar esta condición. Pero durante la descarga dieléctrica, la constante de tiempo de la capa defectuosa desempeñará las otras para producir un valor DD más alto. Un valor DD bajo indica que la corriente de reabsorción decae rápidamente, y la constante de tiempo es similar. Un valor alto indica que la reabsorción exhibe tiempos de relajación largos, que pueden apuntar hacia un problema.

Las condiciones típicas de investigación práctica, realizada principalmente en generadores por Electricité de France, llegaron a los valores de mérito de la tabla siguiente. Esta técnica se desarrolló para generadores HV pero tiene aplicaciones en cualquier aislamiento de capas múltiples.

Valor DD (en mA V -1 F -1)	Condiciones del aislamiento
> 7	Malo
4 - 7	Pobre
2 - 4	Cuestionable
< 2	OK

### Problemas diferentes / Pruebas diferentes

Como se acaba de ver, la prueba de Descarga Dieléctrica se puede usar para identificar problemas en aislamientos de una sola capa o de capas múltiples. Otros métodos de prueba podrían no apuntar a problemas sobre este tipo de estructura de aislamiento. En forma similar la prueba de Índice de Polarización es particularmente valiosa en la revelación del ingreso de humedad, aceite y contaminaciones penetrantes similares. Estos contaminantes invasores proporcionan trayectorias convenientes para fugas eléctricas, que dañan el aislamiento circundante y finalmente arden en forma de "corto". Este tipo de problemas se revela casi con cualquier voltaje de prueba y aparecerá como una PI característicamente "plana". La humedad y los contaminantes también disminuirán los valores de las lecturas, pero esto requiere un valor previo para comparación. La prueba PI tiene la ventaja de hacer una comparación interna.

Sin embargo, otros problemas parecen como que "pasan" una prueba PI o una prueba simple de lectura puntual (spot) produciendo valores de resistencia altos con un voltaje dado. Tales problemas incluyen daños físicos localizados como agujeros o aislamientos secos y quebradizos en equipos envejecidos. Las pruebas de voltaje de paso revelan tales problemas. Incrementando los números de las imperfecciones pasará corriente conforme se apliquen voltajes cada vez más altos, y que se reflejen en una resistencia declinante. El voltaje más alto producirá arcos a través de los pequeños espacios, proporcionando una "advertencia temprana" de un problema incipiente. Conforme envejece el equipo, tales espacios pueden estrecharse por acumulación de suciedad y humedad hasta que se produce un corto a tierra.

NOTAS

**APÉNDICES****Fuentes potenciales de error / Aseguramiento de resultados de prueba de calidad**

La sección siguiente identifica varias áreas de error potencial en pruebas de aislamiento arriba de 1 kV. Estos factores pueden ser de menor importancia en pruebas de 1 kV, pero los voltajes y las sensibilidades incrementados los hacen críticos para pruebas de mayor voltaje.

***Puntas de prueba***

Se debe tener cuidado de instrumentos con puntas de baja calidad cuya capacidad de voltaje es menor que el voltaje empleado. Es extremadamente importante que las únicas corrientes de fuga durante una medición son aquellas que se desarrollan por el aislamiento bajo prueba. Si esas puntas de por sí producen fugas, se puede estar midiendo la resistencia de aislamiento de las puntas y no la del objeto en prueba.

Todas las puntas suministradas con los probadores de aislamiento MEGGER son de alta calidad, que se han probado para resistir voltajes bastante arriba del voltaje más alto generado por el instrumento en particular. Aún entonces, es importante reducir las fugas vagabundas evitando que las puntas hagan contacto una con otra, con tierra y particularmente con agua.

***Mediciones arriba de 100 GΩ***

Las mediciones hasta de 100 GΩ se pueden hacer sin precauciones especiales, considerando que las puntas están razonablemente limpias y secas. La guarda (que se va a analizar más adelante) se puede usar para remover los efectos de fugas superficiales si es necesario. Se requieren mayores precauciones arriba de 100 GΩ porque las corrientes de fuga vagabundas pueden estropear la calidad de las lecturas tomadas. Tenga cuidado con lo siguiente:

- Las puntas de prueba no deben tocarse una con otra o con otro objeto puesto que esto inducirá trayectorias de fuga.
- Deben evitarse los puntos agudos en las conexiones de las puntas de prueba puesto que esto alentará la descarga por corona.
- Las terminales de prueba del instrumento deben ser profundas para que las fugas indeseadas no ocurran entre las terminales

***Declaraciones de precisión***

Ponga mucha atención a la declaración de precisión de un probador de aislamiento. No acepte un porcentaje más / menos para unidades digitales. La declaración también debe incluir más / menos un número de dígitos, puesto que ninguna pantalla digital puede fijar su último dígito (último dígito significativo ó l.s.d.) a un solo número. Las precisiones especificadas como "porcentaje de lectura" indican el mismo error en todos los puntos de la escala.

Las declaraciones analógicas listadas como "porcentaje de escala" o "deflexión total de escala" (f.s.d.) pueden ser engañosas. Debido a que el intervalo de precisión se basa en la longitud total de la escala, introduce un porcentaje creciente de error conforme se elevan las lecturas en una escala logarítmica. En otras palabras, el mismo número de anchos de aguja en el extremo bajo expandido de la escala contará solamente unos cuantos megaohms, mientras que en el extremo superior contraído será cientos de megaohms. Por tanto, cuando se encuentre o se requiera una especificación de precisión deseada, no se debe detener en la declaración de porcentaje sino que se deben examinar también los términos.

### **Suministro del voltaje indicado**

La regulación del voltaje de un probador de aislamiento se indica en el manual de instrucciones con una gráfica de carga que muestra el voltaje de salida contra la carga de resistencia. La curva de carga asegura que, con valores de resistencia de aislamiento típicos, el probador de aislamiento suministra el voltaje de prueba nominal pleno al objeto bajo prueba. Aunque esto puede parecer obvio, no es necesariamente el caso a menos que así lo establezca el fabricante de un probador dado. Un probador regulado pobremente puede bajar su carga con una carga de alta resistencia de modo que el aislamiento del objeto de prueba puede experimentar sólo una fracción del voltaje de prueba nominal, la que el transformador puede entregar solamente en condiciones máximas. Tal instrumentación no es probable que venga provista con una curva de carga.

Esta fue la condición que descubrieron los inspectores de agencias de especificaciones, como UL®, entre “probadores” que fueron “alterados” con transformadores a-mano y otros componentes en talleres para realizar pruebas de alto potencial. Las inadecuaciones de tales sistemas llevaron al lenguaje altamente específico perteneciente al voltaje de salida que aparece comúnmente ahora en la literatura de las normas. Los probadores de aislamiento MEGGER suministran y mantienen el voltaje de prueba nominal una vez que se aplica una carga mínima en proporción a los valores típicos de aislamiento (generalmente 1 a 10 MΩ, según el modelo y el voltaje seleccionados). El voltaje de prueba generalmente es de unos cuantos volts arriba del nominal, pero no debe caer por debajo de él, manteniendo la integridad de la prueba y la repetición cuando se realiza mantenimiento preventivo programado. Si se requiere información excepcional de datos precisos, algunos modelos despliegan el voltaje de prueba real además del voltaje seleccionado y esta información se incluye entre los datos proporcionados en la conclusión.

### **Rechazo de interferencia**

La interferencia es el ruido eléctrico producido a distintas frecuencias, que puede aparecer en la muestra que se está probando. Generalmente se debe a corrientes o voltajes inducidos por equipos adyacentes y es muy común en subestaciones, particularmente las de alto voltaje donde predominan las frecuencias de potencia. Este ruido eléctrico sobrepone una señal de ca en la corriente de prueba de cd y puede ocasionar variaciones considerables en las lecturas y puede impedir que el operador obtenga una lectura si está más allá de la capacidad de su instrumento. Como un ejemplo, un ruido de 4 mA de 50 / 60 Hz es bastante típico del ruido eléctrico que se puede encontrar en subestaciones grandes (400 + kV).

Tenga cuidado de que la capacidad del probador de aislamiento que se está usando cancele efectivamente los efectos de este ruido de ca, que redundaría en la posibilidad de hacer mediciones en condiciones crecientes más difíciles.

Sin embargo, no todo el ruido se limita a las frecuencias de potencia. Para adecuar otras frecuencias, algunos instrumentos en el tope del rango incorporan además filtros en el software que pueden eliminar los efectos de este ruido.

Es importante que el instrumento que se use concuerde con el nivel anticipado de frecuencia.

### **Reglas sobre pruebas y comparación**

La comparación de resultados para determinar la rapidez de degradación es clave para el concepto total de mantenimiento preventivo / predictivo. Sin embargo, se debe recalcar que este concepto se aplica a lecturas tomadas a intervalos discretos de mantenimiento. Aún entonces, son imperativos la normalización estricta de los procedimientos de prueba y las condiciones. La comparación de lecturas “en-el-punto” (on-the-spot) es un escenario total diferente y cargado con errores potenciales.

## NOTAS

Es tentador tratar de respaldar las pruebas con lecturas adicionales. Se pueden hacer algunos ajustes al objeto bajo prueba o a la disposición, o alguien más puede tener dificultades para aceptar el resultado y desea verificarlo. Pero ¡un probador de aislamiento no es lo mismo que un multímetro!

Las pruebas de alto voltaje se comportan mucho como el *Principio de Incertidumbre de Heisenberg* (no se pueden conocer ambas, la velocidad y la posición de un electrón) aplicado a aislamiento. Esto quiere decir, el acto de medir afecta al objeto que se está midiendo, de modo que las lecturas subsecuentes no se están tomando precisamente en el mismo objeto.

Como se ha descrito, el acto de aplicar una prueba de aislamiento polariza el material aislante. Este cambia en forma efectiva su configuración eléctrica y sus propiedades eléctricas. Debido a que el material aislante, por diseño, un conductor pobre, puede tomar un tiempo considerable para ocurra su "relajación", o el retorno a una configuración aleatoria. Inmediatamente después de la terminación de una prueba, *no* es precisamente el mismo que antes de la prueba. Una prueba de seguimiento inmediata será afectada, a veces en forma considerable, por la carga dejada de la primera prueba. ¿Qué medición es la correcta? ¡*Ambas* son correctas! Se puede esperar que cada una de ellas dé una medición correcta de las condiciones del aislamiento en el momento de la prueba. Además, los procedimientos de descarga normales de la industria no son suficientes para la institución de una prueba de repetición. Tales procedimientos tienen por objeto la seguridad del personal, no la calificación del objeto de prueba. Las cargas residuales pueden permanecer por horas, o aún días, lo que puede estar por debajo de la percepción humana aún enorme para un medidor sensible. El equipo se debe dejar conectado a tierra durante varias horas, o de preferencia hasta el día siguiente, antes de hacer pruebas adicionales. Y luego, los factores externos, especialmente la temperatura, no deben pasarse por alto.

Esto no significa que la vuelta a probar en-el-punto (on-the-spot) no deba realizarse nunca. Como información *relativa*, puede ser bastante valiosa. Pero se debe mantener en perspectiva. No se espere que las lecturas concuerden.

Dos operadores distintos también pueden no observar el mismo grado de detalle con respecto al procedimiento. La temperatura es un factor. Si el equipo está encendido, tal vez para verificar su funcionamiento, luego re-arrancado, la segunda prueba no es comparable con la primera. El tiempo de la prueba también fácilmente se pasa por alto. Un operador puede tomar el tiempo rígidamente mientras que otro simplemente espera la estabilización de la lectura. Esto puede dar lugar a que las mediciones se tomen en puntos diferentes de la curva de tiempo (como se ha ilustrado en la prueba de "lectura puntual" (spot-reading test)), y de nuevo los dos resultados no serán comparables.

Si esto parece como que se da excesiva atención a los detalles, considérense las agencias de normas. Organizaciones tales como UL® no escriben procedimientos que digan, en efecto, "enganche un medidor y tome una lectura". Más bien, ellos especifican cada variable, incluida la instalación, el procedimiento y las características del instrumento de prueba, antes que los resultados se consideren en conformidad. Los procedimientos de mantenimiento normales ameritan una atención no menor.

### **Pruebas de Resistencia de aislamiento a maquinas rotorias**

En marzo del 2000 la directiva de standares del IEEE SA., aprobó una revisión del standard IEEE 43-1974 hecha por el Comité de Maquinaria Eléctrica de la Sociedad de Ingeniería de Potencia del IEEE. Esta revisión es el standard 43-2000 del IEEE, la "Práctica recomendada por el IEEE para la Prueba de Resistencia de Aislamiento de Máquinas Rotatorias"

Los cambios efectuados a los diversos tipos de aislamiento usados en las máquinas eléctricas rotorias han resultado en diferentes características de la resistencia de aislamiento, y por lo tanto, ha sido requerida una revisión sustancial al standard IEEE. De acuerdo con el IEEE, el standard está dirigido para:

- Individuos / Organizaciones que fabrican maquinas rotatorias
- Individuos / Organizaciones que sean responsables para la aceptación de máquinas rotatorias nuevas
- Individuos / Organizaciones que prueben y den mantenimiento a máquinas rotatorias
- Individuos / Organizaciones que operan máquinas rotatorias

Megger recomienda que cualquiera que esté involucrado en la prueba y/o el mantenimiento de maquinaria rotatoria revise este standard detalladamente. Nosotros proporcionaremos algunos de los puntos preponderantes.

El standard 43-2000 del IEEE recomienda un procedimiento para la medición de la resistencia de aislamiento de los embobinados de la armadura y del campo en máquinas rotatorias clasificadas a 1hp, 750 W o mayor y se aplica a máquinas síncronas, máquinas de inducción, máquinas de CD y condensadores síncronos. Este no se aplica a máquinas de hp fraccionarios. También recomienda la prueba de voltaje del aislamiento (basada en los rangos del embobinado) y los valores mínimos aceptables de la resistencia de aislamiento para los embobinados de las máquinas rotatorias para CA y CD.

La siguiente tabla proporciona las guías para el voltaje de cd que será aplicado durante una prueba de resistencia de aislamiento. Nótese que los voltajes de hasta 10kv son recomendados para embobinados clasificados a voltajes mayores de 12kv.

<b>VOLTAJE (V) SELECCIONADO PARA EL *EMBOBINADO</b>	<b>VOLTAJE DIRECTO (V) EN PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO</b>
< 1000	500
1000 – 2500	500 - 1000
2501 – 5000	1000 - 2500
5001 – 12,000	2500 - 5000
> 12,000	5000 - 10,000

*\*Voltaje de línea-a-línea establecido para máquinas Trifásicas de CA, voltaje de línea-a-Tierra para máquinas monofásicas, y voltaje directo establecido para máquinas de CD o embobinados de campo.*

El standard recomienda que cada fase sea aislada y probada separadamente (de ser posible) dado que este acercamiento permite las comparaciones que deberán hacerse entre fases. Las dos fases que no están siendo probadas deberán ser puestas a tierra en la misma tierra que la del núcleo del estator o el cuerpo del rotor. Cuando todas las fases son probadas simultáneamente, únicamente el aislamiento a tierra es probado.

Las mediciones de resistencia de aislamiento deben ser hechas con todo el equipo externo (cables, capacitores, supresores de disturbios, etc.) desconectados y conectados a tierra debido a que estos objetos pueden influenciar la lectura de la resistencia. Una tierra común deberá usarse para prevenir pérdidas extraviadas (fuera de control) en el circuito a tierra que puedan afectar los resultados de la prueba.

El standard solicita a ambos: la prueba de resistencia de aislamiento y la prueba del índice de polarización (IP), y recomienda que ambas pruebas sean hechas (si es posible). Esto indica que el historial de las pruebas deberá ser usado para el seguimiento de los cambios. Si el historial no está disponible, el standard proporciona valores mínimos para ambas pruebas que pueden ser usadas para estimar la conveniencia para estimar la situación en que se encuentra el embobinado. Estos son los valores más bajos en los cuales un embobinado es recomendado para una prueba de sobrevoltaje o para operación.

## NOTAS

Los valores mínimos recomendados para el IP están basados en la clase termal de los materiales de aislamiento y se aplican a todos los materiales de aislamiento indiferentemente de su aplicación de acuerdo con el IEC 60085-01: 1984. La prueba del IP no es aplicable para embobinados de campo no aislados.

RANGO DE CLASE TERNAL	VALOR MINIMO DE IP
CLASE A	1.5
CLASE B	2.0
CLASE F	2.0
CLASE H	2.0

Tener cuidado de que un IP muy alto (mayor de 8) para lino o algodón barnizado, hojas de mica - resina o embobinados para estator asfáltico puede indicar que el aislamiento ha sido envejecido técnicamente y puede estar en riesgo de fallar. Una inspección física puede ser usada para confirmar si el aislamiento está reseco y quebradizo.

La resistencia de aislamiento mínima recomendada después de un minuto a 40°C puede ser determinada de la tabla siguientes. La resistencia mínima de una fase del embobinado de una armadura de tres fases probada con las otras dos conectadas a tierra deberá ser aproximadamente del doble del embobinado total. Si cada fase es probada separadamente (con los circuitos de guarda estando usados en las fases que no están bajo prueba), la resistencia mínima observada deberá ser tres veces el embobinado total.

RESISTENCIA MÍNIMA DE AISLAMIENTO (MW)	ESPÉCIMEN BAJO PRUEBA
$Kv^* + 1$	Para la mayoría de embobinados antes de 1970, todos los embobinados de campo, y otros no descritos abajo.
100	Para la mayoría de armaduras de cd y embobinados de CA construidos después de 1970 (espiras pre-formadas)
5	Para la mayoría de las máquinas con espiras del estator embobinadas al azar y espiras preformadas con rango menor de 1kv.

*\*kv es el voltaje de terminal – a- terminal de la máquina clasificada, en rms kv.*

El rango de la máquina determina si los embobinados del motor deben alcanzar el valor mínimo para cualquiera de las pruebas de resistencia de aislamiento ó prueba de IP, ó deben alcanzar el mínimo para ambas pruebas.

RANGO DE LA MAQUINA	CRITERIO DE EVALUACIÓN
10,000 kVA o menos	Debe tener , YA SEA un valor de la prueba de IP o un valor de la prueba de resistencia de aislamiento (a 40°C) arriba de los valores mínimos recomendados
Arriba de 10,000 kVA	Deben tenerse AMBOS un valor de la prueba del IP o un valor de la prueba de resistencia de aislamiento (a 40°C) arriba de los valores mínimos recomendados.

### Terminal de guarda

Algunos probadores de aislamiento tienen dos terminales, otros tienen tres. Como estos son probadores de cd, dos de las terminales son + y -. La tercera (si está presente) es una guarda; no tiene que usarse y muchos operadores usan probadores de aislamiento satisfactoriamente sin emplear nunca la guarda; sin embargo, ofrece al operador una función extra de diagnóstico de problemas del equipo. La guarda es un circuito de derivación que desvía la corriente de fuga superficial en torno de la función de medición. Si existen trayectorias de fuga paralelas, una conexión de guarda las eliminará de la medición y dará una lectura más precisa de la fuga entre los elementos restantes.

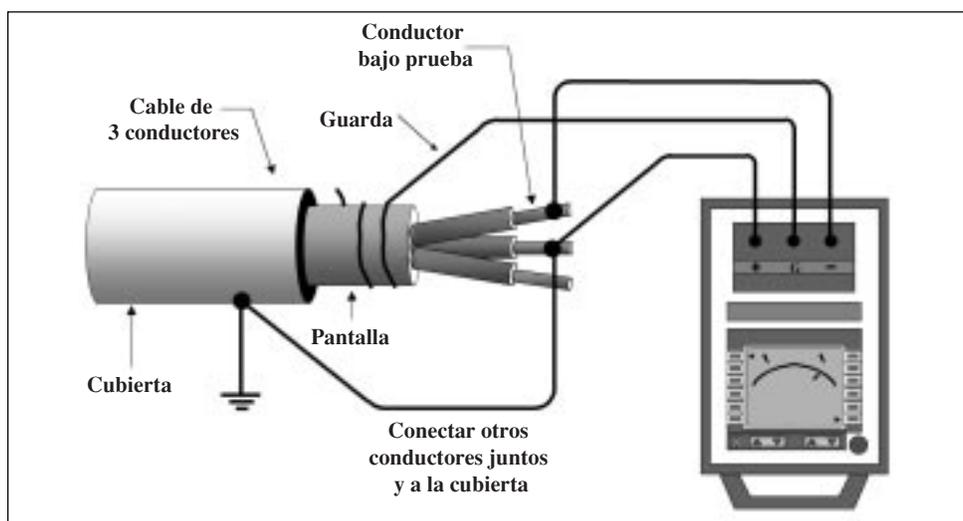


Figura 18: Uso de la terminal de guarda en un cable de potencia

Como un ejemplo, la suciedad y la humedad en una boquilla de un transformador promoverán la fuga superficial entre las conexiones + y -, consecuentemente se reduce la lectura y posiblemente da una falsa impresión de que la boquilla está defectuosa. Conectando la terminal de guarda a un alambre desnudo enrollado alrededor de la boquilla interceptará esta corriente y producirá una medición basada predominantemente en la fuga a través de los defectos en la cerámica.

Es muy importante no confundir la guarda con una tierra. Conectando la guarda y la punta de regreso al mismo elemento del objeto de prueba, sólo se deriva la corriente que se supone que se va a medir y por tanto pone en circuito corto la función de medición.

Cuando se selecciona un probador se deben considerar:

- Las metas de prueba (las verificaciones básicas de la instalación generalmente no requieren una guarda).
- La composición eléctrica de los objetos que se van a probar (los motores y los transformadores se pueden probar por fuga entre los embobinados, se omite la fuga a tierra).
- Los efectos posibles de fuga superficial (los alambres y los cables pueden llevar corrientes a través de la superficie, por la suciedad y la humedad, así como a través del material aislante).
- El grado al que se deben analizar los resultados (los objetos "malos", ¿simplemente se van a reemplazar o a descartar, o será necesario localizar fallas para posible reparación?).

## NOTAS

Los probadores con guarda generalmente cuestan un poco más que los modelos con dos terminales, pero en muchas aplicaciones, un modelo con dos terminales no dará el espectro total de la información que se puede obtener en la prueba de aislamiento.

Algo que se olvida con frecuencia es la diferencia en las capacidades del circuito de guarda. La capacidad de guarda del probador de aislamiento es mucho más importante cuando se mide aislamiento con fugas que la precisión de medición usual citada, que puede ser 5%. Considérese el ejemplo siguiente, un caso extremo donde la trayectoria de fuga superficial es 200 veces menor que la resistencia del aislamiento.

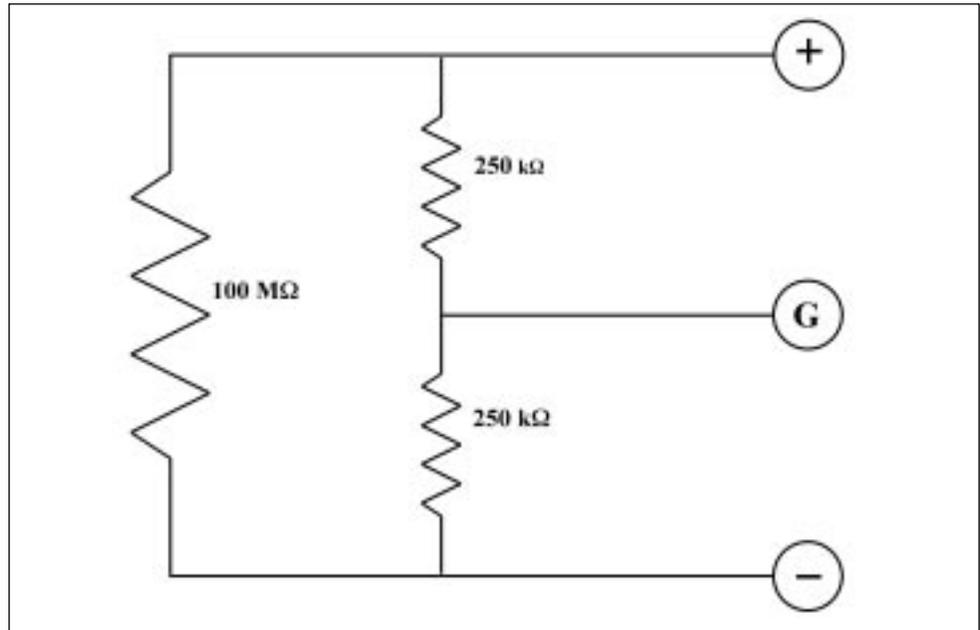


Figura 19: Diagrama de la terminal de guarda

Aquí se muestra un aislador de  $100\text{ M}\Omega$  que se desea medir. Está sucio y contaminado y así tiene una trayectoria de fuga superficial de  $500\text{ k}\Omega$ . Si se aplica el voltaje de prueba de la terminal positiva a la terminal negativa sin el circuito de guarda, fluirá una corriente 20 veces mayor a través de la fuga superficial en comparación con la corriente que fluye a través del aislamiento que se desea medir y se leerá una resistencia de sólo  $497\text{ k}\Omega$ .

Si se usa la terminal de guarda, mostrada aquí de modo que la resistencia de fuga se divide por igual en cada lado de la conexión de guarda, se puede eliminar el efecto de la fuga superficial hasta cierto grado. Cuánto se puede eliminar el efecto de la fuga superficial se basa en el circuito de guarda del probador de aislamiento usado. Según el instrumento seleccionado, este nivel de error puede ir de menos de 1.0% hasta más de 80.0%. Si se intenta usar la terminal de guarda, se debe investigar el nivel de error antes de comprar un instrumento

Este es un ejemplo clásico de la necesidad de comparar las pruebas en una base similar. Una medición sin guarda y una medición con guarda producen resultados diferentes. ¿Cómo puede saber un operador si la terminal de guarda se usó anteriormente a menos que los registros de prueba registren este detalle aparentemente sin importancia?

### Efectos de la temperatura

Las variaciones de temperatura pueden tener un efecto crítico en las lecturas de resistencia de aislamiento. La resistencia cae marcadamente con un incremento en la temperatura para el mismo aparato. Cada tipo de material aislante tiene un grado diferente de cambio de resistencia con la temperatura. Se han desarrollado tablas de factores de corrección por temperatura para distintos tipos de aparatos eléctricos y pueden adquirirse del fabricante. A falta de estas, se recomienda que uno desarrolle sus propias tablas de factores de corrección registrando dos valores de resistencia para el mismo equipo a dos temperaturas diferentes. Se puede trazar entonces una gráfica de resistencia ( en una escala logarítmica) contra temperatura (en una escala lineal). La gráfica es una línea recta y puede extrapolarse para cualquier temperatura de modo que los factores se pueden leer directamente.

En lugar de datos detallados, la "regla-de-dedo" es que por cada 10° C de incremento en temperatura, la resistencia se reduce a la mitad; o por cada 10° C de disminución de la temperatura, la resistencia se dobla. Por ejemplo, una resistencia de 100 GΩ a 20 ° C se hace 25 GΩ a 40° C.

¿Porqué es importante la corrección por temperatura? Considere el siguiente ejemplo de un motor probado en momentos diferentes del año a temperaturas diferentes ( todas dentro de una banda de 15° C). Los ajustes de temperatura se hicieron usando la corrección por la regla de dedo.

FECHA	RESIST. DE AISLAM. (MΩ)	TEMPERATURA °F	TEMP. AJUSTADA RESIST. DE AISLAM.(MΩ)
01-Ene-90	15,000	68	14,990
01-Jun-90	9,000	80	14,276
01-Ene-91	14,500	68	14,490
01-Jun-91	8,500	82	14,562
01-Ene-92	14,300	68	14,290
01-Jun-92	8,700	81	14,341
01-Ene-93	14,500	68	14,490
01-Jun-93	8,900	81	14,671
01-Ene-94	14,200	69	14,748
01-Jun-94	8,900	80	14,117
01-Ene-95	13,600	68	13,591
01-Jun-95	8,900	78	13,071
01-Ene-96	13,500	66	12,491
01-Jun-96	7,500	80	11,896
01-Ene-97	11,300	68	11,292
01-Jun-97	6,500	80	10,310
01-Ene-98	8,000	67	7,693

Las lecturas tomadas crean confusión si no se corrigen por temperatura. Cuando se trazan, producen una gráfica que es de uso limitado para determinar una tendencia.

## NOTAS

Si los mismos datos se corrigen por temperatura y se trazan, la gráfica comienza a proporcionar un cuadro valioso del deterioro del aislamiento.

La corrección por temperatura es particularmente importante cuando se prueba con mayores voltajes con altos niveles de sensibilidad.

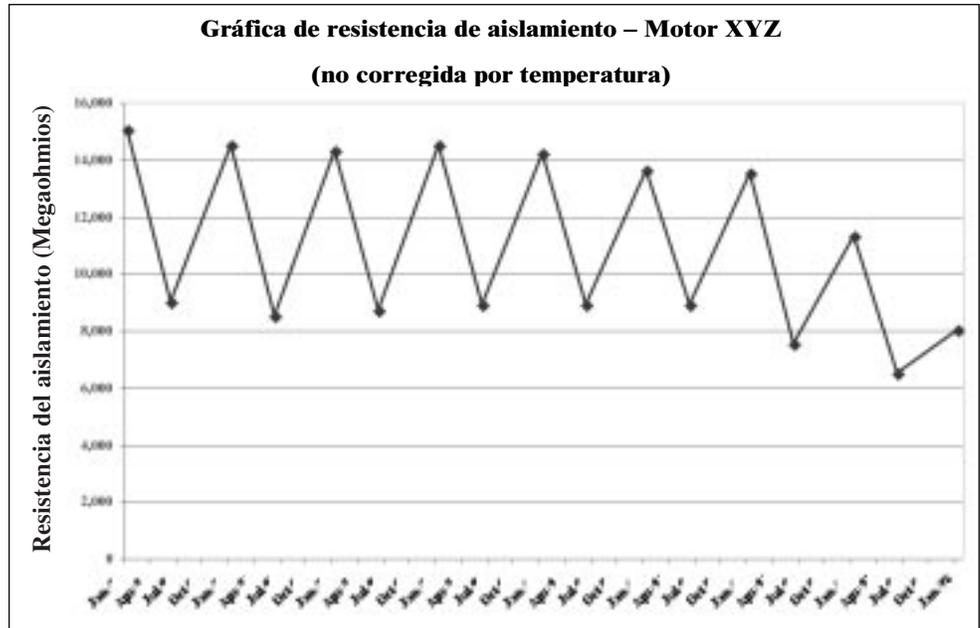


Figura 20: Gráfica de resistencia de aislamiento no corregida por temperatura

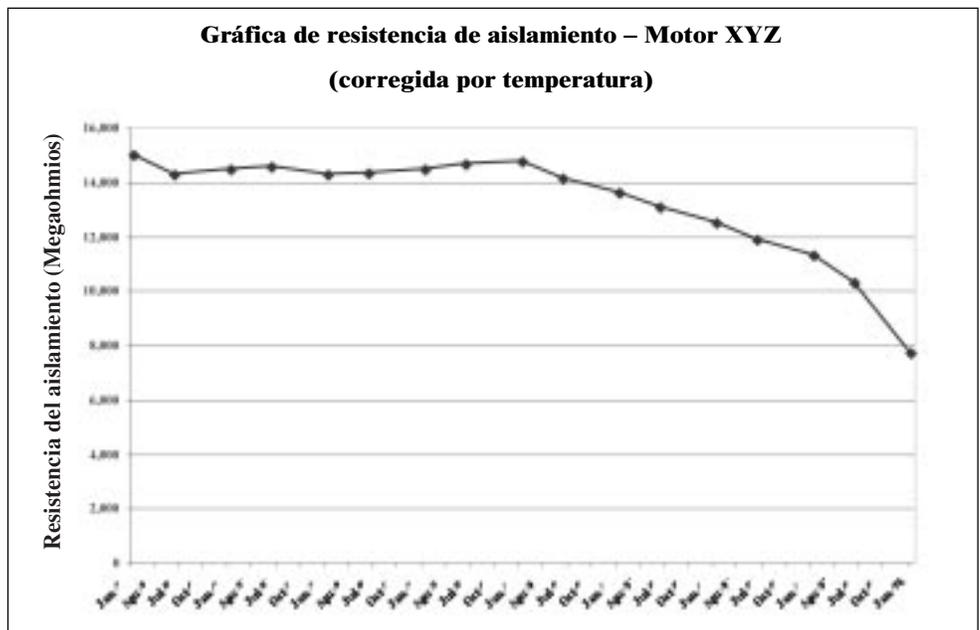


Figura 21: Gráfica de resistencia de aislamiento corregida por temperatura

## Efectos de la humedad

La humedad (contenido de humedad) tiene un efecto en la resistencia de aislamiento, pero no se puede cuantificar tan limpiamente como el de la temperatura debido a que los diferentes tipos de aislamiento absorberán humedad a distintos grados, como lo hacen las distintas edades y condiciones del mismo tipo. Lo mejor que se puede decir es que la humedad es un factor que no se debe pasar por alto cuando se evalúan los resultados. A diferencia de la temperatura, el efecto de la humedad no es un gradiente constante y en tanto la temperatura permanezca arriba del punto de rocío, la humedad no afectará en forma apreciable las lecturas de aislamiento.

El incremento de humedad en el aire del entorno (ambiente) puede afectar la resistencia de aislamiento a distintos grados. Si el equipo opera regularmente arriba de la temperatura del punto de rocío (la temperatura a la que se condensa el vapor de la humedad en el aire como un líquido), las lecturas de la prueba no serán afectadas por la humedad. Aún si el equipo que se va a probar está en vacío, no se afectan – en tanto su temperatura se mantenga arriba del punto de rocío (y las superficies del aislamiento estén libres de contaminantes tales como ciertas pelusas y ácidos o sales, que tiene la propiedad de absorber humedad).

En equipo eléctrico, la preocupación principal es la condición de las superficies expuestas donde se condensa la humedad y afecta la resistencia total del aislamiento. Los estudios muestran, sin embargo, que el rocío se forma en las grietas y huecos del aislamiento antes de que sea evidente en la superficie. Las mediciones del punto de rocío proporcionarán una pista de si tales condiciones invisibles pudiesen existir y alterar los resultados.

Los efectos de la humedad requieren mayor atención conforme crecen los voltajes de prueba porque los voltajes altos pueden dar lugar a la ionización mucho más fácilmente que los bajos voltajes. Como resultado, la humedad que no produce un efecto notable a 1 kV puede producir lecturas bajas perplejamente a 5 kV.

Esto no es necesariamente un problema. La diferencia en respuesta a dos voltajes diferentes se puede usar para detectar humedad y las pruebas realizadas con guarda y sin guarda se pueden usar para detectar humedad superficial o humedad interna.

## Protección de penetración

En algún lugar de la letra pequeña de los boletines de productos de equipo de prueba existe una clasificación IP, un número que da al operador información vital. De hecho, la clasificación IP permite al operador saber si un equipo de prueba es adecuado para su aplicación y el entorno de la prueba.

IP representa “ingress protection” (protección de penetración). Esto es el grado que el instrumento puede resistir la invasión de materia extraña. El sistema de clasificación IP ha sido establecido por la IEC (*International Electrotechnical Commission*) y su Norma 529, y se usa como una guía para ayudar al operador a proteger la vida del instrumento. También puede ayudar al operador a hacer una decisión de compra más informada asegurando que el equipo de prueba está diseñado en el entorno(s) que él enfrenta.

La clasificación IP está compuesta por dos dígitos, cada uno significa características separadas. La designación indica como está sellado el dispositivo contra la invasión por materiales extraños, tanto polvo como humedad (entre más alto el número(s), mejor será el grado de protección). ¿Qué le dice al comprador una clasificación típica IP54 sobre las capacidades de un modelo? Si se quiere hacer un sondeo de información de lo que es IP cinco-cuatro, no IP cinuenta y cuatro. Cada dígito se relaciona con una clasificación separada, no entre sí.

## NOTAS

El primer dígito se refiere a la penetración particular, refleja el grado al que los objetos sólidos pueden penetrar la cubierta. Un nivel de 5 indica "a prueba de polvo" así como protegido contra la introducción de un alambre de 1.0 mm. Solamente existe una categoría más alta "hermético al polvo". El segundo dígito se refiere a la humedad. Una clasificación de 4 significa resistencia a "salpicaduras de agua en cualquier dirección". Las clasificaciones más altas de 5 a 8 indican "chorro de agua" e inmersión "temporal" o "continua".

¿Y eso qué? Bien, supóngase que el instrumento en consideración estaba clasificado como IP43. ¿Qué diría esto al operador sobre su uso? ¿Se podría utilizar en una cantera o en una planta de cemento? ¡A duras penas! La clasificación particular 4 indica "objetos iguales o mayores de 1 mm". Esto es una roca grande redonda en comparación con las partículas producidas en un proceso industrial. El polvo volante podría poner la unidad fuera de servicio.

Supóngase que la unidad está clasificada como IP42. Una clasificación de humedad de 2 indica goteo de agua. Por tanto, no sería resistente a rocío volante. El adquirir un instrumento para un entorno que excede sus capacidades IP probablemente signifique que el operador necesitará otro muy pronto. ¿Qué tal una clasificación IP40? Una clasificación de humedad de 0 significa que la unidad no está protegida contra la penetración de líquidos.

Las tablas siguientes proporcionan una guía para distintas clasificaciones IP y lo que significan para el operador:

<b>Protección contra acceso a lugares peligrosos (primer dígito)</b>	
<b>Descripción de los números</b>	
0	No protegido
1	Protegido contra acceso con el dorso de la mano (50 mm)
2	Protegido contra acceso con los dedos juntos (12 x 80 mm)
3	Protegido contra acceso con una herramienta (2.5 mm)
4, 5, 6	Protegido contra acceso con un alambre (1.0 mm)

<b>Protección contra penetración de objetos extraños sólidos (primer dígito)</b>	
<b>Descripción de los números</b>	
0	No protegido
1	Objetos iguales o mayores de 50 mm
2	Objetos iguales o mayores de 12.5 mm
3	Objetos iguales o mayores de 2.5 mm
4	Objetos iguales o mayores de 1 mm
5	A prueba de polvo
6	Hermético al polvo

Protección contra la penetración de líquidos	
Descripción de los números	
0	No protegido
1	Goteo de agua verticalmente
2	Goteo de agua, inclinado hasta 15°
3	Rocío de agua, hasta un ángulo de 60° de la vertical
4	Salpicaduras de agua, en cualquier dirección
5	Chorro de agua, en cualquier dirección
6	Chorro de agua a presión, en cualquier dirección
7	Inmersión temporal en agua
8	Inmersión continua en agua

## NOTAS

### Pruebas de potencial alto

No existe, en verdad, una definición única de la prueba de "potencial alto". Se usa comúnmente, pero su definición es situacional, en el "ojo del que ve", podría decirse. Básicamente, una prueba de potencial alto es una prueba de fatiga eléctrica conducida a un voltaje dos o más veces el voltaje nominal y a veces se le conoce como prueba de resistencia o prueba de comprobación.

Puesto que la prueba se realiza con un voltaje considerablemente más alto que el voltaje nominal del equipo que se está probando, se conoce como una prueba de sobre voltaje diferente de la prueba de aislamiento de alto voltaje, que se aplica generalmente a un voltaje abajo del voltaje nominal del equipo. El acto de la prueba de sobre voltaje crea fatigas anormales en la muestra de prueba y puede contribuir a la aceleración del envejecimiento del aislamiento. Es cierto, algunas normas requieren que se incremente el voltaje hasta que la muestra bajo prueba se destruye.

Si se va a aplicar una prueba de sobre voltaje, es una práctica normal aplicar una prueba PI de bajo voltaje para pre-calificar el aislamiento.

Las pruebas de potencial alto se pueden realizar con voltajes ac o cd, según sea lo apropiado. Las muestras con capacitancia considerable aparecerán como corto-circuito en una prueba de ca que requiere un conjunto de pruebas con capacidades de potencia muy grandes para contrarrestar las corrientes de carga capacitiva. En situaciones tales como esta, es bastante normal aplicar una prueba de cd con el pico equivalente.

### Lecturas de corriente (nA) vs. Lecturas de resistencia (MΩ)

Los probadores de aislamiento miden la corriente y luego la convierten a lectura de resistencia. ¿Porqué se hace esto? Bien, predominantemente, es una tradición. Los aislamientos buenos producen una lectura alta mientras que los aislamientos pobres producen una lectura baja. También, los aislamientos son predominantemente resistivos. Si se duplica el voltaje de prueba, se dobla la corriente que fluye pero la resistencia permanece constante.

Sin embargo, algunas veces es más fácil diagnosticar problemas considerando la corriente real que fluye.

La selección es indistinta debido a que muchos probadores de aislamiento modernos son capaces de presentar las mediciones en cualquier unidad.

**Capacidad de quemado**

Los probadores de aislamiento de función-plena arriba de 1 kV a menudo incluyen un modo de "quemado". Es una característica que puede no usarse nunca; aún tiene una función viable dentro de un rango estrecho de aplicaciones.

Los probadores de aislamiento generarán voltajes altos en resistencias significantes. Sin embargo, si ocurre una falla dentro del aislamiento, la resistencia disminuye, la corriente aumenta y el voltaje cae. Si se deja a sus propios dispositivos esto ocasionaría que el arco de la falla se extinga, la resistencia aumente y el voltaje se incremente lo que a su vez ocasiona falla y así sucesivamente. Este ciclo continuo no permite la medición de la resistencia y es cierto que puede abrir agujeros o agrandar las trayectorias de quemado. Antes de causar mayor daño, la mayoría de los probadores de aislamiento se desconectarán.

Sin embargo, si se desea encontrar la localización de la falla esto puede ser extremadamente inconveniente. Por esta razón algunos instrumentos ofrecen un modo de quemado que puede seleccionar el operador; se sobre pasa la desconexión automática y se mantiene un arco de baja corriente. Se debe entender, sin embargo, que la limitación de corto circuito del instrumento todavía tiene efecto. El probador no proporcionará un corto "muerto". La función permite al operador localizar o identificar la falla buscando una chispa o vestigios de humo o tal vez por medio de un detector de ionización. Las perforaciones en los embobinados se pueden identificar, cubrirse con barniz aislante, y regresar el equipo a servicio. En mantenimiento de cables, para "romper" una falla de alta resistencia se usa un probador de potencial alto con corrientes mucho más altas que las de los probadores de aislamiento, convirtiéndola a una "apertura" que es mucho más fácil de reconocer por medio de técnicas de reflexión de arco.

**Secado de equipo eléctrico**

La electricidad y el agua no forman una asociación feliz y con frecuencia es necesario "secar" el aislamiento. Esto se puede hacer para remover la humedad superficial o tal vez impulsar la humedad del interior del aislamiento. Es cierto que algunos equipos tienen bobinas de calentamiento internas que pueden usarse para este propósito. Sin embargo, se dispone también de otros métodos para secar el equipo eléctrico

La solución más satisfactoria del problema implica colocar los embobinados en un horno con control adecuado de temperatura y circulación de aire apropiada. Se pueden usar bancos de lámparas infrarrojas cuando esto no sea posible, o se puede construir una caseta conveniente alrededor de la máquina, usando bobinas de vapor o resistencias eléctricas como fuente de calor. Se deben tener aberturas para la circulación libre del aire puesto que de otra manera la expulsión de la humedad simplemente daría lugar a un incremento de la humedad dentro de la cámara de secado. Se pueden utilizar ventiladores para aumentar el movimiento del aire.

El secado en vacío se ha usado también efectivamente para acelerar el retorno del equipo a servicio, pero este método requiere precauciones extra y solo debe emprenderse por personal experimentado.

Otro método usado con frecuencia es circular corriente de bajo voltaje por los embobinados. Sin embargo, este método no debe usarse hasta que la resistencia de aislamiento haya alcanzado un valor de cuando menos 100 MW. La corriente debe limitarse a sólo una fracción de los amperes de placa y se debe mantener una verificación cuidadosa de las temperaturas máximas de las partes aisladas. Las temperaturas máximas de secado en los embobinados no deben exceder de 194° F (90° C) medidas por medio de un termómetro. Esto evitará no sólo un rápido deterioro térmico del aislamiento sino también daños por las altas presiones que resultarían si se produjera vapor.

Si se requiere el secado, los registros ayudan a determinar cuando el aislamiento está libre de humedad. Como un ejemplo de la importancia de las lecturas pasadas, considérese un motor que se ha inundado. Después de una limpieza, una lectura puntual (spot) con el MEGGER indica 15 MΩ. Si los registros pasados indican que la resistencia de aislamiento estaba entre 10 y 20 MΩ, el motor estaría en buena forma. Si, por el contrario, los registros pasados muestran que los valores normales iban de 100 a 150 MΩ, el operador debe saber que existe humedad en los embobinados del motor

Durante las operaciones de secado, cuando se usan los valores de resistencia de aislamiento como un indicador de la aptitud de los embobinados para servicio o para aplicación de potencial de prueba, debe continuarse el secado por un tiempo suficiente para asegurarse de que los valores son confiables. Con frecuencia la curva de resistencia tomará una o más depresiones agudas antes de nivelarse o continuar incrementándose en una dirección positiva. Esto se debe a la acción de la humedad en los embobinados. Cuando la máquina está completamente seca, se requiere más trabajo para remover el polvo remanente. Esto se puede hacer por medio de aire comprimido a una presión que no exceda de 40 psi.

La siguiente es la curva típica de secado para la armadura de un motor de cd, que muestra como cambia la resistencia de aislamiento. Durante la primera parte de la corrida, la resistencia decrece debido a la temperatura más alta. Luego se eleva a una temperatura constante conforme avanza el secado. Finalmente, se eleva a un valor alto, conforme se alcanza la temperatura del cuarto (20° C).

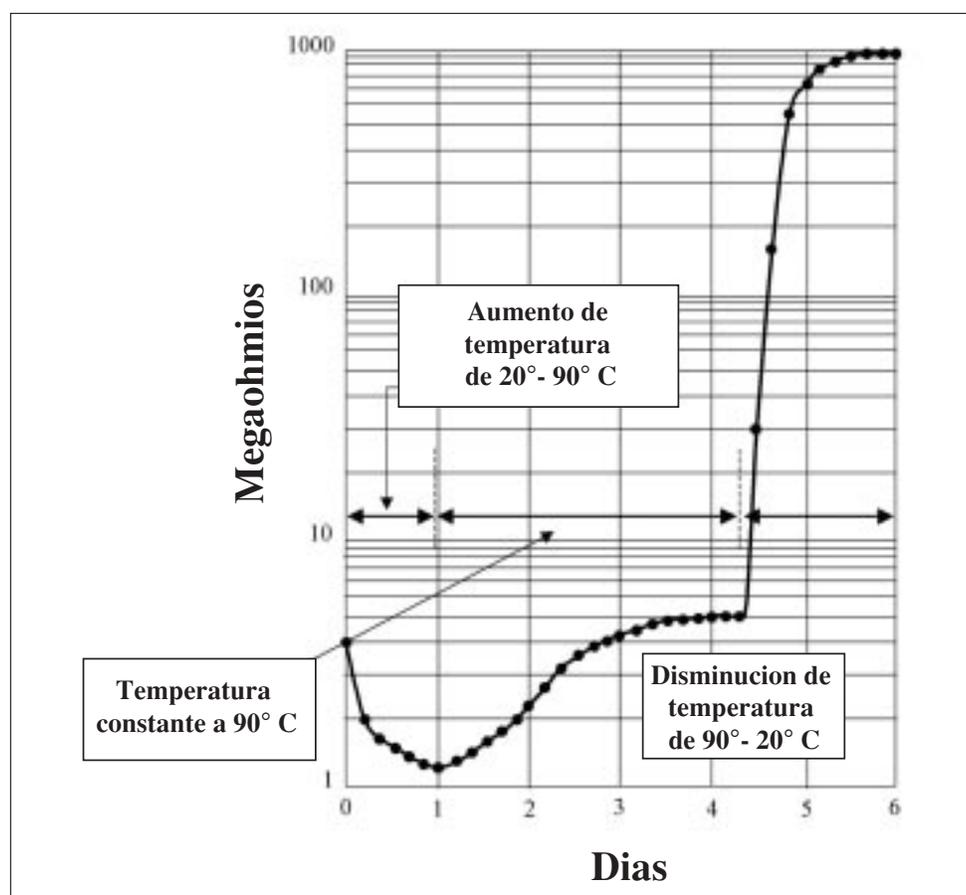


Figura 22: Gráfica típica de resistencia de secado

## NOTAS

Hay una advertencia significativa cuando se prueba un aislamiento húmedo con un probador de aislamiento; el equipo húmedo es susceptible a la ruptura de voltaje. Si los bobinados han absorbido mucha humedad aún los voltajes bajos pueden perforar el aislamiento. Por tanto, el operador debe tener mucho cuidado antes de aplicar voltajes altos. Los probadores de aislamiento MEGGER más avanzados permiten que se ajuste el voltaje de prueba desde 25 hasta 5000 volts en incrementos de 25 volts.

### **Descarga del objeto de prueba**

En la escuela se aprende a descargar un capacitor y luego almacenarlo con las terminales en corto. Se preguntará por qué, si se ha descargado el capacitor y tal vez se verificó que no había voltaje en las terminales, ¿se requiere poner en corto las terminales?

La razón es la corriente de absorción dieléctrica. Si las terminales se dejan abiertas, la energía almacenada por absorción dieléctrica se liberará lentamente con la carga negativa migrando a una terminal y la carga positiva a la terminal positiva. En un periodo de tiempo esta carga puede acumularse hasta un nivel peligroso, tan alto como el voltaje de prueba original y con una cantidad considerable de energía que lo respalda. Esta energía puede matar.

Al final de la prueba de aislamiento la muestra de prueba se parece mucho a un capacitor cargado, allí queda una cantidad considerable de energía almacenada dentro del dieléctrico del aislamiento.

Existe una "regla-de-dedo" importante sobre la carga y descarga de objetos bajo prueba. Esta regla sugiere que el operador descargue el objeto bajo prueba durante cinco veces el tiempo que duró la prueba. Si el operador realiza una prueba PI de 10 minutos, debe permitir la descarga de la unidad durante 50 minutos.

Un instrumento de buena calidad descargará la muestra de prueba automáticamente tan pronto como se complete o se interrumpa la prueba. Algunos instrumentos de menor calidad llevan una perilla selectora de descarga por separado, o un interruptor, que agrega un paso a una prueba. Si se olvida este paso, el objeto de prueba puede ser mortífero para la siguiente persona que lo maneje.

Los probadores de aislamiento MEGGER también detectan el voltaje a través de la muestra de prueba durante la fase de descarga y mostrarán este voltaje hasta que caiga a un nivel seguro. En este punto, es seguro manejar la muestra.

Sin embargo, todo lo que se ha descargado hasta este punto es la carga capacitiva almacenada. Como se explicó al principio de este folleto, al principio de la prueba cierta capacitancia se carga relativamente rápido. En forma similar, al final de la prueba la carga capacitiva se descarga relativamente rápido. Pero la corriente de absorción dieléctrica tarda mucho más entrar y también en emerger.

Así, aunque la muestra es segura de manejar inmediatamente, si las terminales no están en corto gradualmente adquirirán carga y se volverán peligrosas una vez más. Entonces, a menos que el equipo se regrese a servicio, se debe asegurar que las terminales se pongan en corto y a tierra.

### Tiempo de carga para equipo grande

Una pregunta que se hace con frecuencia es, "¿Cuánto tiempo toma cargar un equipo particular?" La respuesta es, "no se sabe".

¿Porqué no? Bien, la respuesta depende de la configuración real del equipo particular en cuestión. Por ejemplo, el MEGGER S1-5010 especifica un índice de carga de "menos de 5 segundos por microfarad con corriente de corto-circuito de 2 mA". Así, si se conoce la capacitancia de la muestra de prueba se puede calcular el tiempo de carga; no importa si es un motor, un cable o una capa de material aislante

### Probadores de aislamiento impulsados por motor

Otra pregunta que se hace frecuentemente es "¿Qué pasó a los viejos probadores de aislamiento en caja de madera impulsados por motor?" Alguna gente piensa que establecieron la norma para pruebas de aislamiento y todavía lo hacen.

Estos probadores en caja de madera impulsados por motor, con un motor externo, se produjeron entre 1910 y 1972 y usaban el "óhmetro de bobinas cruzadas" original patentado por Evershed. Era de movimiento pesado grande, que como su nombre sugiere, tenía dos bobinas en ángulo una con otra. Fue el primer "óhmetro verdadero". La construcción del movimiento tenía ventajas y desventajas.

Las ventajas principales eran, debido al peso del movimiento, tenía inercia considerable y era, por tanto, bastante insensible a eventos de interferencia y transitorios. Desdichadamente, el puro peso del movimiento lo hizo bastante delicado y así el instrumento tenía que manejarse con cuidado. Además, los instrumentos tenían que nivelarse antes de usarse y por tanto, llevaban un nivel en la escala y patas ajustables. Los movimientos eran también bastante insensibles con capacidades de resistencia máxima que podían medirse en megaohms altos o gigaohms bajos.

Se desarrollaron fuentes alternativas de potencia. El viejo generador era grande y pesado, como puede atestiguar alguien que haya operado con manivela uno de esos viejos instrumentos; es cierto que nadie querría hacer una prueba PI dando vueltas a la manivela, pero a falta de fuentes de potencia no había otra alternativa

Los avances tecnológicos permitieron que se pudieran usar "movimientos electrónicos" más robustos y exactos. Se desarrollaron nuevos generadores de bajo voltaje mucho más fáciles de impulsar y últimamente la tecnología de baterías permitió que se emplearan baterías únicamente. Esto dio lugar en el largo plazo a las fuentes de potencia muy estables con las que se cuenta hoy en día.

El uso de la electrónica ha resultado en instrumentos más ligeros, más robustos más exactos y que responden más rápidamente. Pueden proporcionar más información que permite ver eventos transitorios que anteriormente estaban ocultos por la inestabilidad relativa de las fuentes de potencia y la inercia de los movimientos.

¿Cuál es mejor? La decisión es suya.

**PROBADORES DE AISLAMIENTO DISPONIBLES DE MEGGER®****Probador de Resistencia de Aislamiento, de 10Kv.**

El modelo MG10-01 aumenta la capacidad de prueba del usuario final mediante el ofrecimiento de un rango de medición adicional de 10Kv. El MG10-01 ha sido diseñado para cualquiera que fabrique, utilice o dé mantenimiento a máquinas rotatorias.

El Standard IEEE43-2000 ("Práctica Recomendada por el IEEE para Pruebas de Resistencia de Aislamiento en Máquinas Rotativas") recomienda el uso de hasta 10kv cuando se haga una prueba de resistencia de aislamiento en embobinados clasificados a más de 12kv. El MG10-01 permite al usuario final probar a este nivel si así se requiriera. El standard recomienda también ambas: la prueba de resistencia de aislamiento y la prueba del Índice de Polarización (IP).



El MG10-01 incluye un timer integral para prueba de resistencia de aislamiento automáticas e incluye también el modo de prueba del IP automático. Todos los resultados son mostrados en el display analógico /digital del instrumento. Este incluye también la capacidad de almacenamiento de datos para su subsiguiente descarga en una PC o en una impresora.

El MG10-01 puede ser operado ya sea por el voltaje de línea o por una batería recargable. El MG10-01 está ajustado al IP54 (contra la admisión

de polvo o agua) y podrá operar en temperaturas de 20° C a 50° C (4° F a 122° F) y con una humedad relativa del 90 por ciento a 40° C (104° F).

Para mayores detalles sobre el standard 43-2000 del IEEE, favor de ver el apéndice en este libreto acerca de las pruebas de aislamiento en maquinas rotatorias que da principio en la pagina 26.

## Probadores de resistencia de aislamiento de 5kv de Megger®

Megger tiene siete modelos de donde escoger. Todos los probadores de resistencia de aislamiento de 5 kV ofrecen al electricista, al ingeniero de mantenimiento y al técnico de reparaciones, flexibilidad, versatilidad y capacidad ¡como nunca antes!

### Modelos BM11D y BM21

Estos modelos llevan pantallas digitales / analógicas que combinan las capacidades de diagnóstico de observación de la aguja con la precisión firme de una lectura digital. Los controles del teclado combinan facilidad de operación con la portabilidad robusta familiar.

El BM11D ofrece un rango de medición, a 500 GΩ digitales, 1 TΩ analógico. El BM21 ofrece un rango aún más alto, a 5 TΩ digitales y 1 TΩ analógico, más medición de corriente de fuga directamente en nA y mA, y capacitancia del objeto de prueba al final de la prueba.

El BM21 tiene dos características adicionales que lo colocan aparte. El voltaje de prueba se puede ajustar en incrementos de 25 V en el rango entero, haciéndolo virtualmente un probador ajustable continuamente. Y, un "timer" integrado se puede ajustar para terminar la prueba a un intervalo específico con la retención de las lecturas finales. Otra característica al alcance es un modo de quemado que permite la detección visual de puntos débiles por el flujo continuo de la corriente de falla.



BM11D



BM21

### Modelo S1-5010

Un probador de aislamiento "premium" para pruebas de diagnóstico de resistencia de aislamiento de todo tipo de equipo eléctrico. El S1-5010 realiza pruebas automáticas, permite la operación consistente sin entrada del operador, almacena los resultados y puede operarse desde una PC. Las opciones flexibles de suministro de potencia y la construcción portátil permiten que el instrumento se use en distintas aplicaciones. Es particularmente adecuado para el análisis de aislamiento de máquinas grandes, generadores HV y cables.



## NOTAS



### Modelo BM25

El modelo BM25 ofrece todas las características del BM11D y el BM21, más pruebas automatizadas y puerto RS232. Tiene programados tres procedimientos de prueba según las normas industriales y puede operar automáticamente, con el simple toque del control del teclado. Estos son Voltaje de Paso e Índice de Polarización (PI), más la prueba de Descarga Dieléctrica que se puede usar para detectar una capa mala en aislamientos de capas múltiples. Un RS232 aislado ópticamente permite la interface de la computadora y la descarga de resultados.



### Modelos MJ15 y BM15

El BM15 y el MJ15 son probadores de aislamiento de 5 kV compactos que son simples de usar y proporcionan una lectura exacta y rápida de la resistencia de aislamiento. Ambos instrumentos ofrecen cuatro voltajes de prueba (500 V, 1 kV, 2.5 kV y 5 kV), escalas analógicas y sensibilidad de medición a 20 GΩ. Ambas unidades incluyen cubiertas de pantalla "pasa / falla" para pruebas rápidas "va / no va" y análisis de tendencias.



El BM15 se impulsa por 8 baterías AA alcalinas recargables mientras que el MJ15 incluye un generador de manivela además de las baterías.

### Modelo BM11

Este modelo es un probador analógico con una escala grande fácil-de-leer, ideal para la observación cuidadosa del funcionamiento del aislamiento durante una prueba extensa. Con fuente de potencia recargable, la unidad es portátil y robusta. Cuatro voltajes de prueba, hasta 5000 V, permiten la medición a 100,000 MΩ. Hay una advertencia de voltaje externo, mientras se descarga a un nivel seguro la carga de prueba almacenada, y supervisada en la escala de un voltmetro a 1000 V ca o cd.



NOTAS

## MAS DE UN SIGLO COMO LIDERES EN PRUEBAS DE AISLAMIENTO...

Megger y las compañías que le antecedieron han sido sinónimos con las pruebas de aislamiento desde fines de los años 1800. Todas las aplicaciones prácticas de la electricidad en nuestras vidas diarias no habrían sido posibles y ningún paso hacia adelante se había dado hasta que Morse desarrolló el telégrafo eléctrico en 1844. Bell lo siguió con el teléfono en 1875 y, en 1879 Edison desarrolló la lámpara incandescente. La aceptación a la luz eléctrica comenzó a crecer después de 1882 cuando Edison puso en operación la estación de generación en Pearl Street y Benjamín Harrison fue el primer Presidente en disfrutar los beneficios de las lámparas eléctricas en la Casa Blanca en 1889.

Durante este tiempo, el aislamiento fue considerado como el "hijo adoptivo" de la industria eléctrica debido a que nadie sabía como proporcionar una guía y un entrenamiento sobre el mismo. El aislamiento fue el "techo" que continuamente frenaba el desarrollo eléctrico debido a que muy poco se conocía sobre él. El 12 de Enero de 1895 la edición del Electrical World describía al aislamiento de la corriente como "un revestimiento de caucho de las Indias vulcanizado, cubierto con una combinación de pasta de magnesio, talco, asbestos, goma, glicerina, bicarbonato de potasio, con adiciones de agua, silicato de sodio y aluminio, todo finalmente cubierto con un revestimiento de carbon y asfalto." Nosotros hemos recorrido un largo camino en 100 años.

Evershed & Vignoles Ltd., una compañía de Londres que eventualmente se desarrollaba como parte de Megger, descubrió que el aislamiento y su composición estructural cambiaban y se deterioraban con el tiempo, y que había la necesidad de medir la calidad del aislamiento. En 1888, ellos inventaron el medidor de resistencia a través de una bobina y continuaron con el desarrollo y la patente su primer medidor de aislamiento portátil en 1889. Para 1904, habían desarrollado su tecnología sobre pruebas y fue cuando introdujeron su primer probador de aislamiento a un determinado voltaje de prueba. Así como la tecnología de los aislantes ha tenido un desarrollo significativo durante los años, Megger ha continuado el desarrollo de las técnicas de prueba más allá de lo que los ingenieros en Evershed & Vignoles podrían haber imaginado.

Algunos de los pioneros de la industria eléctrica han sido parte de la familia de Megger, incluyendo a James G. Biddle fundador de la compañía Biddle en Philadelphia, Pennsylvania. La filosofía de los negocios que tenía James G. Biddle es todavía uno de los pilares de Megger y se lo puede conocer mejor en el siguiente principio que fundamentó sus negocios:

*"Somos una empresa que cree en las relaciones entre las personas, y con un intenso deseo de prestar un servicio especial, que no se encuentra en otro sitio"*





---

**UK**

Archcliffe Road, Dover  
CT17 9EN England  
T (0) 1 304 502101  
F (0) 1 304 207342

**UNITED STATES**

4271 Bronze Way  
Dallas, TX 75237-1088 USA  
T 1 800 723 2861  
T 1 214 333 3201  
F 1 214 331 7399

**OTHER TECHNICAL SALES OFFICES**

Norristown USA, Toronto CANADA,  
Mumbai INDIA,  
Paris FRANCE,  
Sidney AUSTRALIA,  
Guadalajara SPAIN and  
The Kingdom of BAHRAIN.

**ISO STATEMENT**

Registered to ISO 9001:1994 Reg no. Q 09250  
Registered to ISO 14001 Reg no. EMS 61597

**5KV\_UG\_Sp\_V01**

**[www.megger.com](http://www.megger.com)**

**Megger is a registered trademark**