



Guía para pruebas  
de aislamiento  
eléctrico

**Megger**<sup>®</sup>  
Power on



# "Una puntada a tiempo"

Guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico

Copyright 2006

**Megger**

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

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
¿QUÉ ES UN AISLAMIENTO "ÓPTIMO"?	3
¿QUÉ HACE QUE EL AISLAMIENTO FRACASE?	4
CÓMO SE MIDE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	5
CÓMO INTERPRETAR LAS LECTURAS DE RESISTENCIA	6
FACTORES QUE AFECTAN LAS LECTURAS DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	8
TIPOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	10
TENSIÓN DE PRUEBA FRENTE A CALIFICACIÓN DEL EQUIPO	16
PRUEBA DE CA FRENTE A CC	17
USO DEL CONJUNTO DE PRUEBA DIELÉCTRICA DE CC	18
PRUEBAS DURANTE EL SECADO DEL EQUIPO	18
EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	21
EFFECTOS DE LA HUMEDAD	23
PREPARACIÓN DE APARATOS QUE SE PROBARÁN	24
PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	26
CONEXIONES PARA PROBAR LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS	27
NOTAS ADICIONALES SOBRE EL USO DE UN PROBADOR DE AISLAMIENTO DE MEGGER	33
VALORES MÍNIMOS DE INTERPRETACIÓN	36
VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	38
PRUEBAS CON PROBADORES DE AISLAMIENTO DE DIVERSAS TENSIONES DE MEGGER	42
MÉTODO DE TENSIÓN ESCALONADA	48
USO DE UN TERMINAL DE PROTECCIÓN	50
BUSHINGS, TERMINACIONES DE CABLE Y AISLADORES	54
INTERRUPTORES EXTERIORES EN ACEITE	57
CONFIGURACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	60
¿CON QUÉ FRECUENCIA DEBE PROBAR?	60
PROBADORES DE AISLAMIENTO DE 5, 10 Y 15 KV DE MEGGER	62
PROBADORES DE AISLAMIENTO DE 1 KV DE MEGGER	63

## ¿QUÉ ES UN AISLAMIENTO "ÓPTIMO"?

Cada cable eléctrico en su planta, ya sea de un motor, un generador, un cable, un interruptor, un transformador, etc., se recubre cuidadosamente con algún tipo de aislamiento eléctrico. El cable en sí suele ser de cobre o aluminio, los cuales se conocen por ser buenos conductores de la corriente eléctrica que alimenta el equipo. El aislamiento debe ser lo opuesto de un conductor: debe resistir la corriente y mantenerla en su trayectoria a lo largo del conductor.

Para comprender las pruebas de aislamiento, realmente no necesita estudiar las matemáticas de la electricidad. Sin embargo, una simple ecuación, la ley de Ohm, puede resultar muy útil para apreciar muchos aspectos. Incluso si ya conoce esta ley desde antes, puede ser una buena idea revisarla a la luz de la prueba de aislamiento.

El propósito del aislamiento alrededor de un conductor es muy similar al de una tubería por donde pasa agua, y la ley de Ohm de electricidad se puede comprender con mayor facilidad mediante una comparación con el flujo de agua. En la Fig. 1, mostramos esta comparación. La presión sobre el agua de una bomba produce el flujo a través de la tubería (Fig. 1a). Si la tubería tuviera una fuga, perdería agua y, por consiguiente, algo de presión.

Con la electricidad, la tensión es similar a la presión de la bomba, lo que produce que la electricidad fluya a través del cable de cobre (Fig. 1b). Como en una tubería de agua, existe cierta resistencia al flujo, pero es mucho menor a través del cable que a través del aislamiento.

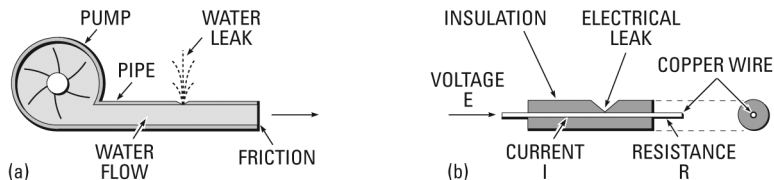


Figura 1: Comparación del flujo de agua (a) con la corriente eléctrica (b).

El sentido común nos dice que mientras más tensión tengamos, mayor será la cantidad de corriente. Además, cuanto menor sea la resistencia del cable, mayor será la corriente para la misma tensión.

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

$$E = I \times R$$

donde,

- E = tensión en voltios
- I = corriente en amperios
- R = resistencia en ohmios

Sin embargo, tenga en cuenta que ningún aislamiento es perfecto (es decir, que tiene una resistencia infinita), por lo que parte de la electricidad fluye a lo largo del aislamiento o a través de este hasta la tierra. Tal corriente puede ser solamente una millonésima parte de un amperio (un microamperio), pero es la base de equipos de prueba de aislamiento. Tenga en cuenta también que una tensión más alta tiende a generar más corriente a través del aislamiento. Resulta evidente que esta pequeña cantidad de corriente no dañaría un buen aislamiento, pero sería un problema si el aislamiento se deteriora.

Ahora, para resumir nuestra respuesta a la pregunta “¿Qué es un aislamiento ‘óptimo’?”, vimos que, esencialmente, “óptimo” significa una resistencia relativamente alta a la corriente. Con respecto a la descripción de un material aislante, “óptimo” también significaría “la capacidad de mantener una alta resistencia”. Por lo tanto, una forma adecuada de medición de resistencia puede decirnos cuán “óptimo” es el aislamiento. Además, si toma medidas en periodos regulares, puede comprobar las tendencias hacia el deterioro (encontrará más información más adelante).

## ¿QUÉ HACE QUE EL AISLAMIENTO FRACASE?

Cuando el sistema eléctrico y el equipo de la planta son nuevos, el aislamiento eléctrico debe estar en perfectas condiciones. Además, los fabricantes de alambre, cable, motores, etc., mejoran de manera continua los aislamientos para los servicios en la industria. Sin embargo, todavía hoy, el aislamiento está sujeto a muchos de los efectos que pueden hacer que falle: daños mecánicos, vibración, calor o frío excesivos, suciedad, aceite, vapores corrosivos, humedad proveniente de los procesos o simplemente la humedad de un día húmedo.

En diversos grados, estos enemigos del aislamiento intervienen a medida que pasa el tiempo, combinados con el estrés eléctrico que existe. A medida que se generan orificios o grietas, tanto la humedad como las materias extrañas penetran en las superficies del aislamiento, lo que proporciona una trayectoria de baja resistencia para la corriente de fuga.

Una vez que comienzan, los diversos enemigos tienden a ayudarse mutuamente, lo que permite la circulación de corriente excesiva a través del aislamiento.

A veces, la caída en la resistencia del aislamiento es repentina, como cuando el equipo se inunda. Sin embargo, por lo general, desciende gradualmente, lo que proporciona diversas advertencias si se revisa de manera periódica. Tales revisiones permiten llevar a cabo un reacondicionamiento planificado antes de que se produzcan fallas en el servicio. Si no se realizan revisiones, un motor con aislamiento deficiente, por ejemplo, no solo puede ser peligroso al tacto cuando se aplica tensión, sino que también se puede incendiar. Lo que era un aislamiento óptimo se convirtió en un conductor parcial.

## CÓMO SE MIDE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

Ya vio que un aislamiento óptimo cuenta con una alta resistencia, mientras que un aislamiento deficiente, con una resistencia relativamente baja. Los valores reales de la resistencia pueden ser mayores o menores en función de diversos factores, como la temperatura o el contenido de humedad en el aislamiento (la resistencia disminuye con la temperatura o la humedad). No obstante, con algo de mantenimiento de registros y sentido común, puede obtener una buena perspectiva de la condición del aislamiento a partir de los valores que solo son relativos.

El probador de aislamiento de Megger es un pequeño instrumento portátil que le proporciona una lectura directa de la resistencia del aislamiento en ohmios o megohmios. Para disponer de un buen aislamiento, normalmente la resistencia se lee en megohmios.

El probador de aislamiento de Megger es, esencialmente, un medidor de resistencia de alta gama (ohmímetro) con un generador de corriente continua integrado. Este medidor está fabricado de manera especial con bobinas de corriente y de tensión, lo que permite leer los ohmios reales de manera directa, independientemente de la tensión real aplicada. Este método no es destructivo; es decir, no causa deterioro del aislamiento.

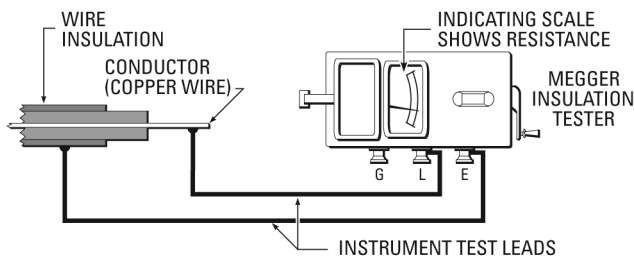


Figura 2: Conexión común de un instrumento de prueba de Megger para medir la resistencia del aislamiento.

El generador se puede accionar de manera manual o conectado a la red para desarrollar una alta tensión de CC que produzca una pequeña corriente a través de las superficies del aislamiento de prueba y sobre estas (Fig. 2). Esta corriente (normalmente a una tensión aplicada de 500 voltios o más) se mide con el ohmímetro, que posee una escala indicadora. En la Fig. 3, se muestra una escala común, que lee los valores de resistencia en aumento desde la izquierda hasta el infinito o una resistencia demasiado alta como para medirla.

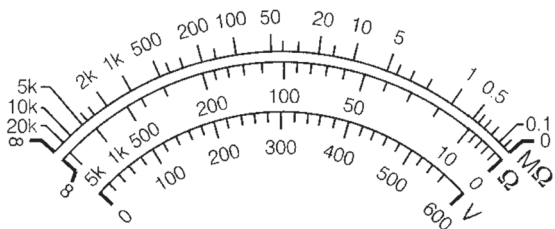


Figura 3: Escala común en el probador de aislamiento de Megger.

## CÓMO INTERPRETAR LAS LECTURAS DE RESISTENCIA

Como se mencionó anteriormente, se debe considerar que las lecturas de resistencia del aislamiento son relativas. Estas pueden ser muy diferentes en el caso de un motor o de una máquina sometidos a prueba durante tres días seguidos. No obstante, no son señal de un mal aislamiento. Lo que realmente importa es la tendencia en las lecturas realizadas durante un período, lo que muestra la disminución de la resistencia y la advertencia de problemas futuros. Por lo tanto, las pruebas periódicas son el mejor método para efectuar el mantenimiento preventivo de los equipos eléctricos con el uso de las tarjetas de registro, como se muestra en la Fig. 4.

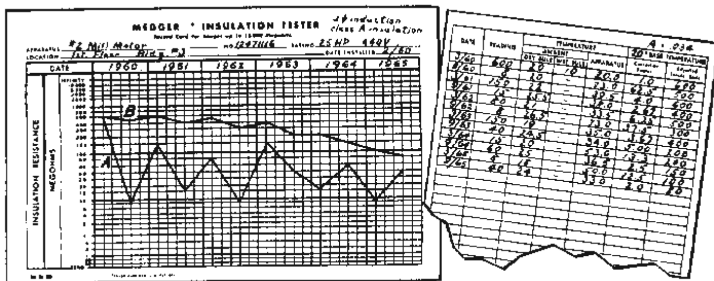


Figura 4: Registro común de resistencia del aislamiento del motor de un molino. La curva A muestra los valores de prueba medidos, mientras que la curva B muestra los mismos valores corregidos a 20 °C (consulte la página 22), lo que proporciona una clara tendencia descendente hacia una condición insegura. El reverso de la tarjeta (a la derecha) se utiliza para registrar los datos de la prueba.



Si realiza la prueba todos los meses, dos veces al año o una vez al año, depende del tipo, la ubicación y la importancia del equipo. Por ejemplo, un pequeño motor de bomba o un cable de control corto pueden ser fundamentales para un proceso en la planta. La experiencia es el mejor maestro en la puesta en marcha de los períodos programados para su equipo.

Cada vez que realice estas pruebas periódicas, debe hacerlo de la misma manera. Es decir, con las mismas conexiones de prueba y con la misma tensión de prueba aplicada durante el mismo período. También debe realizar las pruebas a aproximadamente la misma temperatura o corregirlas a la misma temperatura. Un registro de la humedad relativa cerca del equipo en el momento de la prueba también resulta útil para la evaluación de la lectura y la tendencia. En las secciones posteriores, se abarcan la corrección de la temperatura y los efectos de la humedad.

En resumen, aquí se proporcionan algunas observaciones generales sobre cómo puede interpretar las pruebas de resistencia del aislamiento periódicas y qué debe hacer con el resultado:

Condición	Qué hacer
(a) Valores aceptables a altos y de buena estabilidad.	No hay causas que requieran preocupación.
(b) Valores aceptables a altos, pero con una tendencia constante hacia valores inferiores.	Localice y corrija la causa, y revise la tendencia descendente.
(c) Bajos, pero se mantienen estables.	Es probable que la condición sea perfecta, pero se debe revisar la causa de los valores bajos.
(d) Demasiado bajos como para ser inseguros.	Limpie, seque o, de lo contrario, eleve los valores antes de poner el equipo en servicio (pruebe el equipo húmedo durante el secado).
(e) Valores aceptables o altos que se mantuvieron estables, pero que muestran un descenso repentino.	Lleve a cabo las pruebas en intervalos frecuentes hasta localizar y solucionar la causa de los valores bajos, hasta que los valores se estabilicen en un nivel inferior pero, seguro para el funcionamiento o hasta que los valores disminuyan tanto que sea inseguro mantener el equipo en funcionamiento.

## FACTORES QUE AFECTAN LAS LECTURAS DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

Recuerde que la resistencia medida (del aislamiento) se determina en función de la tensión aplicada y la corriente resultante ( $R = E/I$ ). Existe un sinnúmero de factores que afectan a la corriente, incluidos la temperatura del aislamiento y la humedad, como se mencionó en la sección anterior. Ahora, consideremos la naturaleza de la corriente a través del aislamiento y el efecto del tiempo en que se aplica la tensión.

La corriente a través y a lo largo del aislamiento se compone en parte de una corriente relativamente estable en las trayectorias de fugas sobre la superficie de aislamiento. Asimismo, la electricidad fluye a través del volumen del aislamiento. En realidad, como se muestra en la Fig. 5, nuestra corriente total consta de tres componentes:

### 1. Corriente de carga de capacitancia

Es la corriente que comienza alta y desciende después de que el aislamiento se cargó a la máxima tensión (como el flujo de agua en una manguera de jardín cuando abre la llave por primera vez).

### 2. Corriente de absorción

También es una corriente alta al inicio que luego disminuye (debido a razones que se analizan en la sección "Método de tiempo-resistencia").

### 3. Corriente de fuga o conducción

Se trata de una pequeña cantidad de corriente esencialmente estable que pasa a través del aislamiento y por sobre este.

Como se muestra en la Fig. 5, la corriente total corresponde a la suma de los tres componentes y es la corriente que se puede medir directamente con un microamperímetro o, en términos de megohmios a una determinada tensión, con un instrumento de Megger (ohmímetro). Debido a que la corriente total depende del tiempo en el que se aplica la tensión, ahora puede ver por qué la ley de Ohm  $R = E/I$  solo se sostiene, teóricamente, en un tiempo infinito (es decir, tendría que esperar por siempre antes de tomar una lectura).

En la práctica, como verá en los métodos de ensayo descritos a continuación, puede leer un valor que corresponde a la resistencia aparente: un valor útil para diagnosticar problemas, que es lo que se desea hacer.

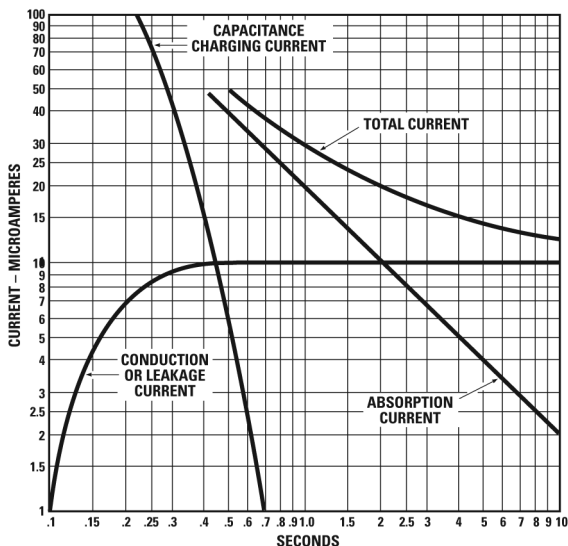


Figura 5: Curvas que exhiben los componentes de la corriente medida durante la prueba de aislamiento de CC.

Tenga en cuenta también que en la Fig. 5 la corriente de carga desaparece de manera relativamente rápida a medida que el equipo sometido a prueba se carga. Las unidades más grandes con más capacitancia tardarán más tiempo en cargarse. Esta corriente también corresponde a la energía almacenada que se descargó en un principio después de su prueba mediante un cortocircuito y la puesta a tierra del aislamiento. **SIEMPRE TOMA ESTA MEDIDA DE SEGURIDAD.**

Además, en la Fig. 5, puede ver que la corriente de absorción disminuye a un ritmo relativamente lento en función de la naturaleza exacta del aislamiento. Cuando se finalice la prueba, también se debe liberar esta energía almacenada, ya que requiere más tiempo que la corriente de carga de capacitancia: aproximadamente cuatro veces más que la de la tensión aplicada.

Con un aislamiento óptimo, la corriente de fuga o conducción se debe acumular hasta constituir un valor estable que sea constante con respecto a la tensión aplicada, como se muestra en la Fig. 5. Cualquier aumento de la corriente de fuga con el tiempo supone una advertencia de problema, como se analiza en las pruebas que se describen en la siguiente sección.

Ahora, con un contexto de cómo el tiempo afecta el significado de las lecturas de los instrumentos, consideremos los tres métodos de prueba comunes: (1) prueba de lectura a corto plazo o al azar; (2) prueba de tiempo-resistencia; y (3) prueba escalonada o multitensión.

## TIPOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

### Prueba de lectura a corto plazo o al azar

En este método, solo conecte el instrumento de Megger al aislamiento que se debe probar y hágalo funcionar durante un breve período específico (60 segundos es lo que se suele recomendar). Como se muestra esquemáticamente en la Fig. 6, simplemente eligió un punto en una curva de valores de resistencia en aumento; muy a menudo, el valor sería inferior a 30 segundos y superior a 60 segundos. Asimismo, tenga en cuenta que la temperatura y la humedad, así como la condición de su aislamiento, afectarán la lectura.

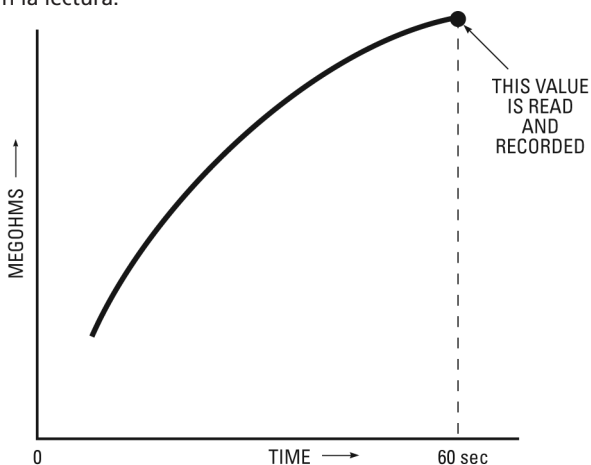


Figura 6: Curva común de resistencia del aislamiento (en megohmios) con tiempo para realizar el método de prueba de lectura a "corto plazo" o "al azar".

Si el aparato que somete a prueba presenta una capacitancia muy escasa, como un recorrido corto de cableado doméstico, lo que se necesita es la prueba de lectura al azar. Sin embargo, la mayoría de los equipos es capacitiva, por lo que la primera lectura al azar de los equipos en su planta que se realiza, sin pruebas previas, solo puede ser una guía aproximada de qué tan bueno o malo es el aislamiento. Durante muchos años, los profesionales de mantenimiento han utilizado la regla de un megaohmio para establecer el límite inferior permisible para la resistencia del aislamiento. La regla puede indicar:

***La resistencia del aislamiento debe ser aproximadamente de un megaohmio por cada 1000 voltios de tensión de funcionamiento, con un valor mínimo de un megaohmio.***

Por ejemplo, un motor con valor nominal de 2400 voltios debe tener una resistencia del aislamiento mínima de 2,4 megohmios. En la práctica, las lecturas de megohmios suelen estar considerablemente por encima de este valor mínimo en equipos nuevos o cuando el aislamiento está en buen estado.

Cuando recopila las lecturas de manera periódica y las registra, tendrá una mejor base para juzgar la condición de aislamiento real. Cualquier tendencia descendente que persista suele ser una advertencia razonable de problemas futuros, aunque las lecturas pueden ser superiores a los valores de seguridad mínimos sugeridos. Igualmente cierto, a medida que las lecturas periódicas sean consistentes, pueden ser aceptables, aunque inferiores a los valores mínimos recomendados. Las curvas que se presentan en la Fig. 7 muestran el comportamiento típico de la resistencia del aislamiento en diferentes condiciones de funcionamiento de la planta. Se graficaron las curvas a partir de las lecturas al azar tomadas con un instrumento de Megger durante un período que abarcó algunos meses.

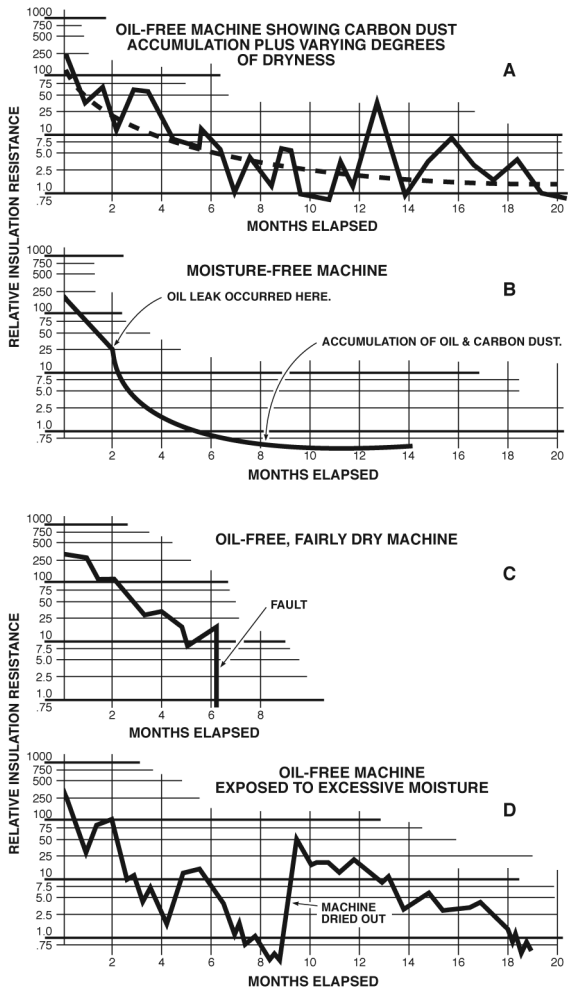


Figura 7: Comportamiento típico de resistencia del aislamiento durante un periodo de algunos meses en diferentes condiciones de funcionamiento (curvas graficadas a partir de las lecturas al azar realizadas con un instrumento de Megger).

## Método de tiempo-resistencia

Este método es bastante independiente de la temperatura y, a menudo, le puede proporcionar información concluyente, sin registros de pruebas anteriores. Se basa en el efecto de absorción de un buen aislamiento frente al de un aislamiento húmedo o contaminado. Solo tome lecturas sucesivas en tiempos específicos y observe las diferencias en las lecturas (consulte las curvas en la Fig. 8). A veces, las pruebas obtenidas a través de este método se denominan pruebas de absorción.

Tenga en cuenta que un buen aislamiento muestra un continuo aumento de la resistencia (menos corriente: consulte la curva A) durante un período (del orden de 5 a 10 minutos). Esto se debe a la corriente de absorción de la que hablamos anteriormente; un aislamiento óptimo muestra este efecto de carga durante un período mucho más prolongado que el tiempo necesario para cargar la capacitancia del aislamiento.

Si el aislamiento contiene mucha humedad o contaminantes, el efecto de absorción se ocultará tras una alta corriente de fuga que se mantiene en un valor relativamente constante, lo que mantendrá una baja lectura de resistencia (recuerde:  $R = E/I$ ).

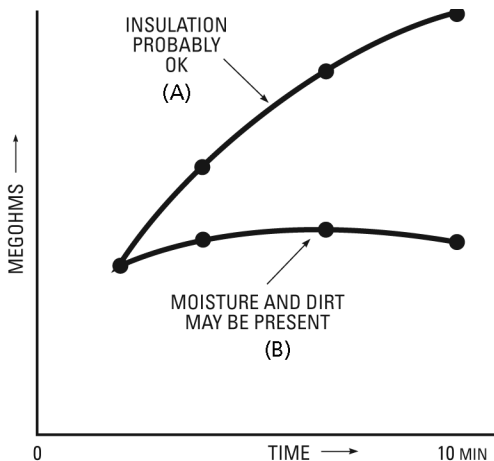


Figura 8: Curvas típicas que exhiben un efecto de absorción dieléctrico en una prueba de “tiempo-resistencia”, que se llevó a cabo en un equipo capacitivo, como un gran devanado de motor.

La prueba de tiempo-resistencia también es valiosa porque es independiente del tamaño del equipo. El aumento de la resistencia del aislamiento limpio y seco se produce de la misma manera en un motor grande o pequeño. Por lo tanto, puede comparar diversos motores y establecer normas para los nuevos, independientemente de las calificaciones de sus caballos de fuerza.

En la Fig. 9, se muestra cómo aparecería una prueba de 60 segundos de un aislamiento óptimo y, tal vez, deficiente. Cuando el aislamiento está en buenas condiciones, la lectura de 60 segundos es superior a la lectura de 30 segundos.

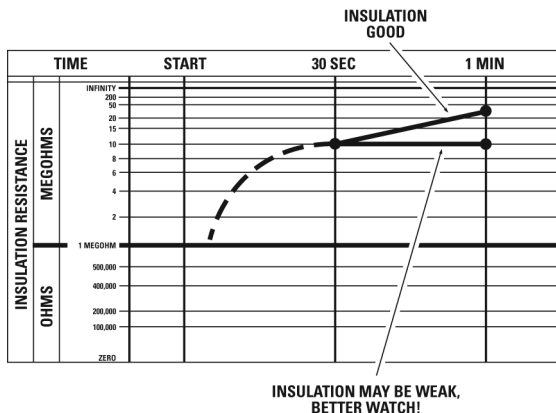


Figura 9: Gráfico de tarjeta típico de una prueba de doble lectura o de tiempo-resistencia.

Una ventaja adicional de esta prueba de doble lectura, como se denomina a veces, es que proporciona un panorama más claro, incluso cuando una lectura al azar indica que el aislamiento parece estar en buenas condiciones.

Por ejemplo, supongamos que la lectura al azar realizada en un motor síncrono fue de 10 megohmios. Ahora, asumamos que la revisión de doble lectura indica que la resistencia del aislamiento se mantiene estable en 10 megohmios mientras mantiene la tensión hasta 60 segundos. Esto significa que puede haber suciedad o humedad en los devanados que merecen atención. Por otro lado, si la aguja muestra un aumento gradual entre las revisiones de 30 segundos y de 60 segundos, puede una seguridad razonable de que los devanados se encuentran en buenas condiciones.

Las pruebas de tiempo-resistencia efectuadas en grandes máquinas eléctricas rotativas, especialmente con un alto nivel de tensión de funcionamiento, requieren altos rangos de resistencia del aislamiento y una tensión de prueba altamente constante. Un conjunto de pruebas de Megger para servicio pesado y conectado a la red satisface esta necesidad. Asimismo, dicho instrumento se adapta mejor a cables, bushings, transformadores y conmutadores de gran tamaño.



## Relación de absorción dieléctrica

La relación de dos lecturas de tiempo-resistencia (como una lectura de 60 segundos dividida por una lectura de 30 segundos) se denomina relación de absorción dieléctrica. Es útil para registrar información acerca del aislamiento. Si la relación se compone de una lectura de 10 minutos dividida por una lectura de 1 minuto, el valor se denominará índice de polarización.

Con los instrumentos manuales de Megger, es mucho más fácil ejecutar la prueba por solo 60 segundos, ya que obtendrá su primera lectura a los 30 segundos. Si cuenta con un instrumento conectado a la red de Megger, obtendrá mejores resultados mediante la ejecución de la prueba de 10 minutos, en la cual toma lecturas de 1 y 10 minutos para obtener el índice de polarización. En la tabla I, se indican los valores de las relaciones y las condiciones relativas correspondientes del aislamiento al cual hacen referencia.

**TABLE I — Condition of Insulation Indicated by Dielectric Absorption Ratios\***

<b>INSULATION CONDITION</b>	<b>60/30-SECOND RATIO</b>	<b>10/1-MINUTE RATIO (POLARIZATION INDEX)</b>
<b>Dangerous</b>	—	<b>Less than 1</b>
<b>Questionable</b>	<b>1.0 to 1.25</b>	<b>1.0 to 2***</b>
<b>Good</b>	<b>1.4 to 1.6</b>	<b>2 to 4</b>
<b>Excellent</b>	<b>Above 1.6**</b>	<b>Above 4**</b>

\*These values must be considered tentative and relative—subject to experience with the time-resistance method over a period of time.

\*\*In some cases, with motors, values approximately 20% higher than shown here indicate a dry brittle winding which will fail under shock conditions or during starts. For preventive maintenance, the motor winding should be cleaned, treated, and dried to restore winding flexibility.

\*\*\*These results would be satisfactory for equipment with very low capacitance such as short runs of house wiring.

## TENSIÓN DE PRUEBA FRENTE A CALIFICACIÓN DEL EQUIPO

Las tensiones de prueba de CC comúnmente utilizadas para el mantenimiento de rutina son las siguientes:

Calificación de CA del equipo	Tensión de prueba de CC
hasta 100 voltios	entre 100 y 250 voltios
de 440 a 550 voltios	entre 500 y 1000 voltios
2400 voltios	de 1000 a 2500 voltios o superior
4160 voltios y superior	de 1000 a 5000 voltios o superior

Las tensiones de prueba utilizadas para la prueba de validación del equipo son considerablemente superiores a las que se utilizan para el mantenimiento de rutina. Aunque no existen normas de la industria publicadas para las tensiones de prueba de validación máximas de CC que se deban utilizar con equipos giratorios, el programa que se proporciona a continuación se utiliza de manera habitual. Para obtener recomendaciones específicas sobre su equipo, debe consultar con el fabricante del equipo.

### Tensiones de prueba de validación para equipos giratorios:

Prueba de CA de fábrica = 2 x clasificación de la placa + 1000 voltios

Prueba de validación de CC en la instalación = 0,8 x prueba de CA de fábrica x 1,6

Prueba de validación de CC después del servicio = 0,6 x prueba de CA de fábrica x 1,6

### Ejemplo:

Motor con clasificación de placa de 2400 VCA:

Prueba de CA de fábrica =  $2(2400) + 1000 = 5800$  VCA

Prueba de CC máxima en la instalación =  $0,8(5800) \times 1,6 = 7424$  VCC

Prueba de CC máxima después del servicio =  $0,6(5800) \times 1,6 = 5568$  VCC

## PRUEBA DE CA FRENTE A CC

Hasta ahora, solo hemos hablado acerca de las pruebas con tensión de CC, pero pronto abordaremos las pruebas de CA, y debe conocer la diferencia. ¿Recuerda que hablamos sobre los tipos de corriente que se producen en el aislamiento mediante CC? (La sobretensión inicial de la corriente de carga, la disminución con el tiempo a la corriente de absorción y, luego, después de más tiempo, la corriente de conducción estable). Vimos que, en las pruebas de aislamiento, la corriente de fuga o conducción es la que nos proporciona la información que necesitamos.

Por el contrario, las pruebas con CA proporcionan una corriente de carga que es extremadamente considerable en comparación con la de otros tipos; la corriente de fuga es relativamente menor. La CA se utiliza frecuentemente para llevar a cabo pruebas de alto potencial; la tensión se aumenta hasta cierto punto especificado para ver si el aislamiento puede soportar esa tensión en particular. Es una prueba de tipo "satisfactorio/no satisfactorio" y puede causar deterioro del aislamiento, en contraste con la prueba de CC que básicamente no es destructiva.

Si se utilizó una tensión de prueba de CA y desea utilizar pruebas de CC como alternativa, deberá aumentar un poco la máxima tensión de prueba de CC para obtener resultados equivalentes.

En algunos casos, las pruebas de CA pueden ser más aptas para las pruebas de validación de los equipos (es decir, en las que se ve si el equipo cumple las normas prescritas). Ejecute la tensión hasta el valor seleccionado y el equipo pasará o no pasará la prueba. Con la prueba de CC, obtendrá una imagen más cualitativa; puede medir la corriente de fuga a medida que aumenta la tensión y obtener valores específicos de resistencia del aislamiento.

A medida que el tamaño del equipo aumenta, también existen ventajas económicas marcadas en las pruebas de CC por sobre las de CA. A medida que la tensión de prueba aumenta, el costo y el peso del equipo de CA sube mucho más rápido que con el equipo de prueba de CC comparable. Esto se debe a que el conjunto de pruebas de CA debe suministrar la corriente de carga que se torna y permanece muy elevada en las máquinas más grandes. Como se explicó anteriormente, en las pruebas de CC, esta corriente disminuye rápidamente después del período de carga inicial.

En resumen, los conjuntos de pruebas de CC se emplean casi exclusivamente para el mantenimiento de alta tensión y las pruebas en terreno debido a las siguientes razones:

1. Menor costo
2. Peso más ligero
3. Menor tamaño
4. No son destructivos
5. Proporcionan mejor información con respecto a calidad y cantidad

### **USO DEL CONJUNTO DE PRUEBA DIELECTRICA DE CC**

El instrumento de Megger, que lee directamente en ohmios y megohmios de resistencia del aislamiento, es la mejor opción para el mantenimiento de rutina en la planta. Sin embargo, algunas plantas, especialmente con mayores calificaciones de tensión en los equipos, utilizan otro producto de Megger: el conjunto de prueba dieléctrica. Por lo tanto, debe ser consciente de este instrumento y su utilización en las mediciones de resistencia del aislamiento.

El conjunto de prueba dieléctrica se puede utilizar para determinar la resistencia del aislamiento mediante los mismos métodos de prueba, como se describe para el instrumento de Megger; es decir, las pruebas a corto plazo, de tiempo-resistencia y de tensión escalonada. También está diseñado para otros usos, pero si se emplea para realizar pruebas de aislamiento, proporciona: (1) una tensión de salida ajustable y (2) un monitoreo de la corriente resultante en microamperios. Los conjuntos de prueba dieléctrica de CC de Megger están disponibles con salidas de tensión que varían entre los 5 kV y los 160 kV.

Las curvas de la Fig. 5 se representan como la corriente frente al tiempo, al igual que las curvas para las mediciones de aislamiento en equipos típicos que aparecen cerca del final de este manual. Megger suministra papel milimetrado que facilita la graficación en megohmios de la resistencia del aislamiento proveniente de sus lecturas de tensión y corriente.

### **PRUEBAS DURANTE EL SECADO DEL EQUIPO**

Los equipos eléctricos húmedos son un peligro común que enfrentan todos los ingenieros de mantenimiento. Si el equipo se humedeció con agua dulce, proceda a secarlo de inmediato. Sin embargo, si tiene agua salada, primero debe lavar la sal con agua dulce. De lo contrario, dejará depósitos de sal muy corrosivos sobre las superficies metálicas y aislantes, así como en las grietas presentes en el aislamiento. Con humedad, dichos depósitos forman un muy buen conductor de la electricidad. También, debe eliminar el aceite o la grasa del aislamiento con un disolvente adecuado.

Hay varias maneras de secar los equipos eléctricos en función de su tamaño y portabilidad. Puede utilizar un chorro de aire caliente, un horno, circulación de corriente a través de conductores o una combinación de las técnicas. Las condiciones de la planta y las instalaciones locales, junto con la información de los fabricantes de los equipos, pueden servir de guía para decidir cuál es el mejor método para su equipo en particular.

En algunos casos o con ciertos equipos, es posible que el secado no sea necesario. Puede revisar esto mediante las pruebas de resistencia del aislamiento si tiene registros de las pruebas anteriores que realizó en el aparato. Cuando el secado es necesario, tales registros también son útiles para determinar cuándo el aislamiento está libre de humedad.

**NOTA: Un equipo húmedo es susceptible a la ruptura de tensión. Por ende, debe utilizar un probador de Megger de baja tensión (de 100 o 250 VCC), al menos, en las primeras etapas del secado. Si no hay un instrumento de baja tensión disponible a la brevedad, es posible sustituir el arranque lento de un probador de 500 voltios.**

Muchos probadores tienen un rango de prueba adicional que mide en kilohmios (k $\Omega$ ). Normalmente, esta medición se realiza con solo unos cuantos voltios y es la medida inicial ideal para realizar en equipos inundados. Este rango mide por debajo del rango de megohmios y, por lo tanto, puede proporcionar una medición real para utilizar como referencia durante el monitoreo del proceso de secado. Si se obtiene una medición en kilohmios, significa que el aislamiento se saturó por completo, pero que aún puede ser útil. De manera alternativa, pruebe y seque observando cómo aumentan las lecturas hasta que alcancen el rango de Megaohmio, momento en el que se pueden realizar pruebas de mayor tensión de forma segura.

Como ejemplo de cuán importantes son las lecturas anteriores, echemos un vistazo a un motor de 100 hp inundado. Después de una limpieza, una lectura al azar con el probador de Megger muestra un resultado de 1,5 megohmios. De antemano, probablemente diría que esto está bien. Lo que es más, debería estar seguro si los registros anteriores mostraron que la resistencia del aislamiento se ejecutó entre 1 y 2 megohmios.

Por otro lado, si los registros anteriores mostraron que los valores de resistencia normales se ejecutaron a 10 o 20 megohmios, sabría que aún hay agua en los devanados del motor.

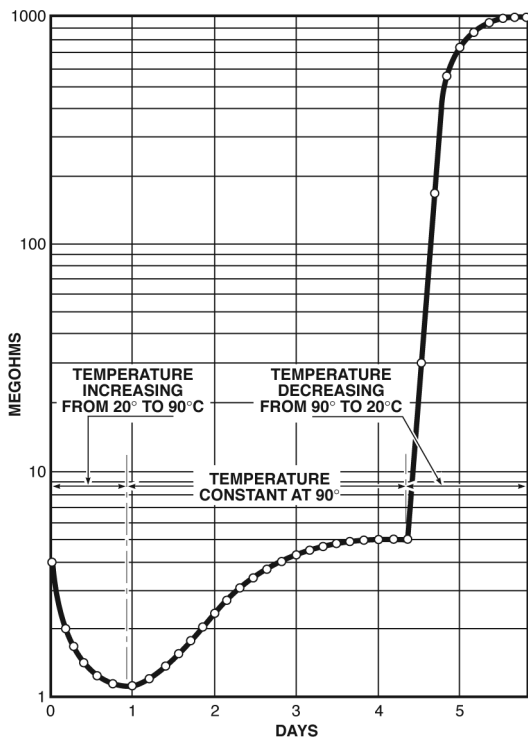


Figura 10: Curva de secado típica en la que se toman lecturas de resistencia del aislamiento de un minuto cada cuatro horas.

La curva de secado típica de una armadura de motor de CC (fig. 10) muestra cómo cambia la resistencia del aislamiento. Durante la primera parte de la ejecución, la resistencia en realidad disminuye debido a la mayor temperatura. A continuación, se eleva a una temperatura constante a medida que procede el secado. Por último, se eleva a un valor alto a medida que se alcanza la temperatura ambiente (20 °C).

Tenga en cuenta que si lleva a cabo pruebas de resistencia del aislamiento durante el secado y tiene lecturas de las pruebas anteriores del equipo seco, sabrá cuándo ha alcanzado el valor seguro de la unidad. Es posible que prefiera utilizar una prueba de tiempo-resistencia, que se toma de forma periódica (por ejemplo, una vez por turno), con el uso de la relación de absorción dieléctrica o el índice de polarización para seguir el progreso del secado (no es necesario corregir la temperatura).

## EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

La resistencia de los materiales aislantes disminuye de manera notable con un aumento de la temperatura. No obstante, como hemos visto, las pruebas realizadas con los métodos de tiempo-resistencia y de tensión escalonada son relativamente independientes de los efectos de la temperatura, lo que proporciona valores relativos.

Si desea realizar comparaciones fiables entre lecturas, debe corregir las lecturas a una temperatura de base, como 20 °C, o tomar todas sus lecturas a aproximadamente la misma temperatura (generalmente no es difícil de hacer). Trataremos algunas guías generales para realizar la corrección de temperatura.

Una regla general es:

**Por cada 10 °C de aumento de la temperatura,  
reduzca la resistencia a la mitad;  
o por cada 10 °C de disminución,  
duplique la resistencia.**

Por ejemplo, una resistencia de dos megohmios a 20 °C se reduce a  $\frac{1}{2}$  megohmios a 40 °C.

Cada tipo de material aislante tendrá un grado diferente de cambio de resistencia con la temperatura. No obstante, se desarrollaron factores para simplificar la corrección de los valores de resistencia. En la tabla II, se proporcionan estos factores para equipos giratorios, transformadores y cables. Multiplique las lecturas que obtenga por el factor correspondiente a la temperatura (que debe medir).

Por ejemplo, supongamos que tiene un motor con aislamiento de clase A y obtiene una lectura de 2,0 megohmios a una temperatura (en los devanados) de 40 °C (104 °F). Desde la tabla II, lee a 40 °C (104 °F) hasta la siguiente columna (para clase A) y obtiene el factor 4,80. El valor corregido de resistencia es el siguiente:

$$\begin{array}{cccc} 2,0 \text{ megohmios} & \times & 4,80 = & 9,6 \text{ megohmios} \\ \text{(lectura a } 40 \text{ °C} & \text{(lectura} & \text{(factor} & \text{de corrección a} \\ \text{[104 °F])} & & \text{corregido} & \text{20 °C [68 °F])} \\ & & \text{para} & \\ & & \text{aislamiento} & \\ & & \text{de clase} & \\ & & \text{A a } 40 \text{ °C} & \\ & & \text{[104 °F]} & \end{array}$$

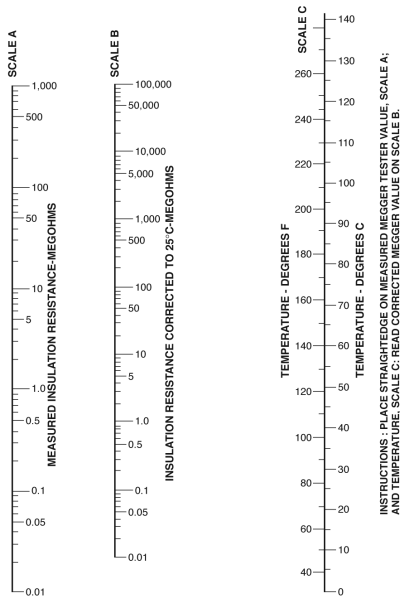
Tenga en cuenta que la resistencia es casi cinco veces superior a 20 °C (68 °F) en comparación con la lectura tomada a 40 °C (104 °F). La temperatura de referencia para el cable se proporciona como 15,6 °C (60 °F), pero el punto importante es que sea consistente y correcta con respecto a la misma base.

**TABLA II: Factores de corrección de temperatura\***

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

\*Corrected to 20°C for rotating equipment and transformers; 15.6°C for cable.





ADAPTED FROM BUREAU OF SHIPS MANUAL (REFERENCE 14)

Nomograma de valores de corrección de temperatura para lecturas de Megger (corregido a 25 °C). Para maquinaria rotativa con aislamiento de clase B.

### EFFECTOS DE LA HUMEDAD

Hemos hablado en varios puntos de este manual sobre la presencia de humedad en el aislamiento y su efecto muy notorio en los valores de resistencia. Por lo tanto, cabe esperar que el aumento de la humedad (contenido de humedad) en el aire circundante (ambiente) pudiera afectar la resistencia del aislamiento. Y puede hacerlo en diversos grados.

Si su equipo funciona con regularidad por sobre la temperatura de punto de rocío (la temperatura a la cual el vapor de humedad presente en el aire se condensa como líquido), la lectura de prueba normalmente no se verá afectada en gran medida por la humedad. Incluso si el equipo que se someterá a prueba está inactivo, lo mismo es válido, siempre que su temperatura se mantenga por sobre el punto de rocío.

**La declaración mencionada anteriormente asume que las superficies de aislamiento están exentas de contaminantes, tales como ciertas tinturas y ácidos o sales, que tienen la propiedad de absorber la humedad (los químicos los denominan materiales “higroscópicos” o “delicuescentes”). Su presencia podría afectar sus lecturas de manera impredecible; se deben retirar antes de que se lleven a cabo las pruebas.**

En equipos eléctricos, nos preocupamos principalmente de las condiciones de las superficies expuestas donde la humedad se condensa y afecta a la resistencia total del aislamiento. Sin embargo, diversos estudios demuestran que el rocío se formará en las grietas y hendiduras del aislamiento antes de que sean visiblemente evidentes sobre la superficie. Las mediciones de punto de rocío le darán una pista de si tales condiciones invisibles podrían existir y alterar los resultados de la prueba.

Por ende, como parte de sus registros de mantenimiento, es buena idea tomar nota al menos si el aire circundante estaba seco o húmedo cuando se efectuó la prueba, así como si la temperatura estaba por sobre o debajo de la temperatura ambiente. Cuando realice pruebas en equipos fundamentales, registre las temperaturas ambiente de bulbo húmedo y seco, de las cuales es posible obtener el punto de rocío y el porcentaje de humedad relativa o absoluta.

## **PREPARACIÓN DE APARATOS QUE SE PROBARÁN**

### **1. Déjelo fuera de servicio**

Apague el aparato. Abra los interruptores. Desenergice. Desconéctelo de los demás equipos y circuitos, incluidas las conexiones a tierra neutras y de protección (temporales para trabajadores). Consulte **Precauciones de seguridad** en la página 26.

### **2. Asegúrese de que sea solo lo que se incluye en la prueba**

Inspeccione la instalación con mucho cuidado para determinar qué equipo está conectado y se incluirá en la prueba, especialmente si es difícil o costoso desconectar los aparatos y los circuitos asociados. Preste especial atención a los conductores que conducen lejos de la instalación. Esto es muy importante porque mientras más equipo se incluye en una prueba, menor será la lectura, y la resistencia del aislamiento real del aparato en cuestión se puede ocultar tras aquella del equipo asociado.

Evidentemente, siempre es posible que la resistencia del aislamiento de la instalación completa (sin desconectar todo) sea satisfactoriamente elevada, en especial en el caso de una revisión al azar. Además, puede ser mayor que el rango del instrumento de Megger en uso, en cuyo caso nada se ganaría mediante la separación de los componentes, ya que la resistencia del aislamiento de cada parte sería aún mayor.

Para realizar una prueba inicial, puede ser necesario separar las distintas partes, aun cuando se vean involucrados mano de obra y gastos, y probar cada una por separado. Realice también una prueba de todos los componentes conectados en conjunto. Con esta información en el registro, puede que no sea necesario separar los componentes en futuras pruebas, salvo que se observen lecturas inaceptablemente bajas.

### 3. Descarga de capacitancia

Es muy importante que se descargue la capacitancia antes y después de una prueba de resistencia del aislamiento. Se debe descargar durante un período aproximadamente de cuatro veces, siempre que se haya aplicado tensión de prueba en una prueba anterior.

Los instrumentos de Megger suelen estar equipados con circuitos de descarga para este propósito. Si no se proporciona la función de descarga, se debe utilizar una varilla de descarga. Deje los aparatos de capacitancia alta (es decir, condensadores, devanados de gran tamaño, etc.) en cortocircuito hasta que estén listos para volver a energizarse.

### 4. Fuga de corriente en interruptores

Cuando el aparato se apague para la prueba de resistencia del aislamiento, asegúrese de que las lecturas no se vean afectadas por la fuga por encima o a través de los interruptores o bloques de fusibles, etc. Dicha fuga puede ocultar la resistencia del aislamiento real de los aparatos sometidos a prueba. Consulte Uso de un **terminal de protección** en la página 50.

Más grave aún, la corriente de una línea energizada puede filtrarse en el aparato y causar lecturas inconsistentes, especialmente si la línea activa es de CC. Sin embargo, es posible detectar dicha fuga, en general, cuando se observa la aguja del instrumento de Megger en el momento en el que los cables de prueba se conectan al aparato y antes de que el instrumento se ponga en funcionamiento. Antes de hacer estas observaciones, asegúrese de que toda la capacitancia se descargue mediante cortocircuitos o puestas a tierra del aparato.

**PRECAUCIÓN:** Nunca conecte un probador de aislamiento de Megger a líneas energizadas o a un equipo. Nunca utilice el probador o cualquiera de sus cables o accesorios para cualquier propósito que no se describa en este libro.

## PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Observe todas las normas de seguridad cuando ponga el equipo fuera de servicio. Bloquee los interruptores de desconexión. Realice pruebas para tensiones inducidas o extrañas. Aplique conexiones a tierra para trabajadores.

Recuerde que cuando se trabaja en torno a equipos de alta tensión, siempre existe una posibilidad de que se produzcan tensiones inducidas en el aparato sometido a prueba o líneas a las que está conectado, debido a su proximidad a equipo energizado de alta tensión. Por lo tanto, en lugar de eliminar la conexión a tierra para trabajadores con el fin de realizar una prueba, es más aconsejable desconectar el aparato, como un transformador o un disyuntor, desde el bus o la línea expuestos y dejar la última conexión a tierra. Utilice guantes de caucho cuando conecte los cables de prueba al aparato y mientras mantenga el instrumento de Megger en funcionamiento.

### ¡Los aparatos sometidos a prueba no deben estar encendidos!

Consulte **Preparación de aparatos que se probarán** en la página 24.

Si se deben desconectar las conexiones a tierra neutrales o de otro tipo, asegúrese de que no lleven corriente en el momento y, cuando se desconecten, que ningún otro equipo carezca de la protección necesaria.

Preste especial atención a los conductores que conducen lejos del circuito que se somete a prueba y asegúrese de que se hayan desconectados adecuadamente de cualquier fuente de tensión.

### Peligro de descarga eléctrica desde la tensión de prueba

Observe la calificación de tensión del instrumento de Megger y considérela con la debida precaución. Los equipos y los cables eléctricos de gran tamaño generalmente tienen la capacitancia suficiente para almacenar una cantidad peligrosa de energía de la corriente de prueba. Asegúrese de que esta capacitancia se descargue después de la prueba y antes de manipular los cables de prueba. Consulte también **Descarga de capacitancia** en la página 25.

### Peligro de incendio y explosión

Hasta el momento, no existe riesgo de incendio en el uso normal de un probador de aislamiento de Megger. Sin embargo, existe un riesgo cuando se prueban equipos ubicados en atmósferas explosivas o inflamables.

### **Se pueden encontrar chispas ligeras:**

- (1) Cuando conecta los cables de prueba a los equipos en los que la capacitancia no se haya descargado por completo
- (2) Durante una prueba, a través de un arco o mediante un aislamiento defectuoso
- (3) Después de una prueba cuando se descarga la capacitancia

### **PRECAUCIÓN:**

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

### **Sugerencias:**

Para (1) y (3): Organice las instalaciones de conexión a tierra instaladas de forma permanente y los cables de prueba a un punto donde se puedan realizar las conexiones de los instrumentos en un ambiente seguro.

Para (2): Utilice instrumentos de prueba de baja tensión o una resistencia en serie.

Para (3): No desconecte los cables de prueba durante al menos 30 a 60 segundos después de la prueba a fin de tener tiempo para que se descargue la capacitancia.

### **CONEXIONES PARA PROBAR LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS**

Los siguientes diagramas muestran cómo conectar un probador de aislamiento de Megger a diversos tipos de equipos eléctricos. Los diagramas también muestran en principio cómo se debe desconectar el equipo de otros circuitos antes de que el instrumento se conecte.

Estas ilustraciones son comunes y servirán como guía para las pruebas de resistencia del aislamiento de prácticamente todos los tipos de conductores y aparatos.

Antes de continuar con las pruebas, lea el artículo **Preparación de aparatos que se probarán** en la página 24.

**¡RECUERDE!** El probador de resistencia del aislamiento de Megger mide cualquier resistencia que esté conectada entre sus terminales. Esto puede incluir trayectorias de fuga en serie o paralelas a través del aislamiento o sobre su superficie.

## 1. Motores y equipo de arranque de CA

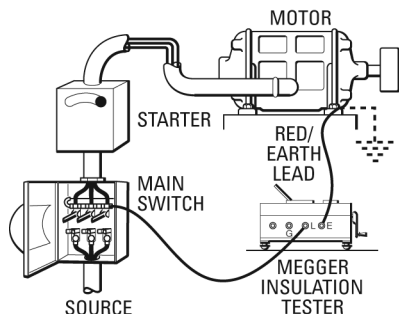


Figura 11

Conexiones para probar la resistencia del aislamiento de un motor, un equipo de arranque y líneas de conexión en paralelo. Observe que el interruptor de arranque está en la posición de encendido para realizar la prueba. Siempre es preferible desconectar las distintas partes y probarlas por separado a fin de determinar dónde existen deficiencias.

## 2. Generadores y motores de CC

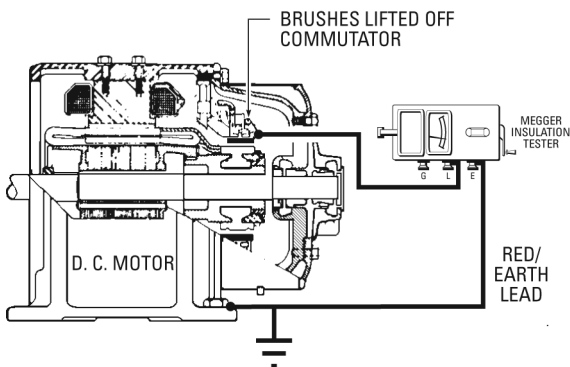


Figura 12

Con las escobillas levantadas como se indica, el montaje de las escobillas y las bobinas de campo se pueden probar por separado de la armadura. Además, se puede probar la armadura por sí misma. Con las escobillas bajadas, la prueba se llevará a cabo en el montaje de las escobillas, las bobinas de campo y la armadura de forma combinada.

### 3. Instalación del cableado

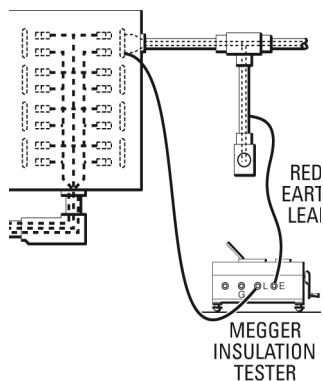


Figura 13

Conexiones para probar la puesta a tierra de cada circuito por separado, cuyo trabajo se realiza desde el panel de distribución.

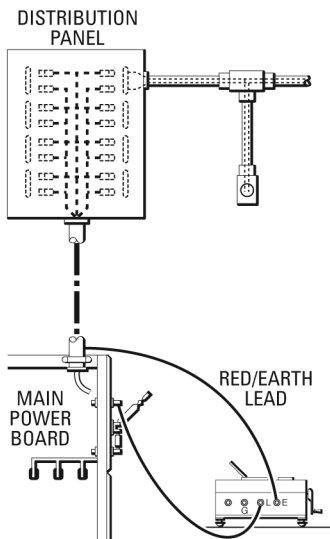


Figura 14

Conexiones en el tablero de alimentación principal, desde donde se puede probar todo el sistema puesto a tierra al mismo tiempo, siempre que todos los interruptores en el panel de distribución estén cerrados.

#### 4. Electrodomésticos, medidores, instrumentos y aparatos eléctricos varios

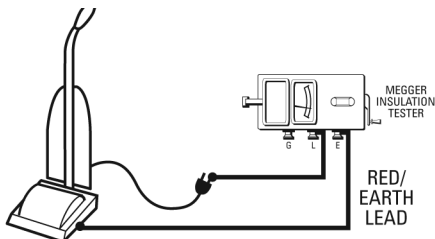


Figura 15

Conexiones para probar un electrodoméstico. La prueba se realiza entre el conductor (la unidad de calefacción, el motor, etc.) y las piezas metálicas expuestas. Se debe desconectar el aparato de cualquier fuente de alimentación y colocarlo en algún material aislante.

#### 5. Control, señalización y cables de comunicación

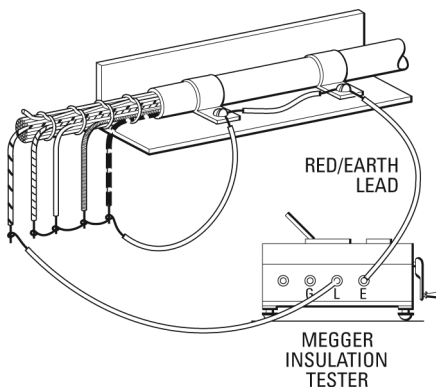


Figura 16

Conexiones para probar la resistencia del aislamiento de un cable en un cable multiconductor frente a todos los otros cables y la funda conectados juntos.



## 16. Cables de alimentación

Conexiones para probar la resistencia del aislamiento de un cable de alimentación. Cuando se prueba un cable, suele ser mejor desconectar ambos extremos con el fin de probar el cable por sí mismo y para evitar errores debido a una fuga en los tableros de conmutación o los tableros o a través de estos. Consulte también **Uso de un terminal de protección** en la página 50.

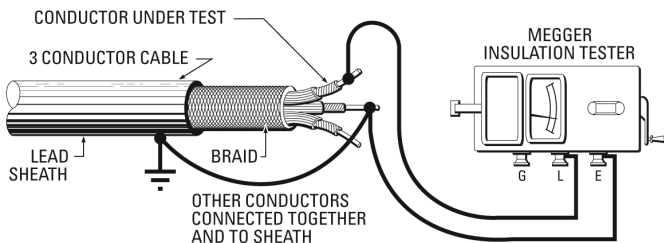


Figura 17

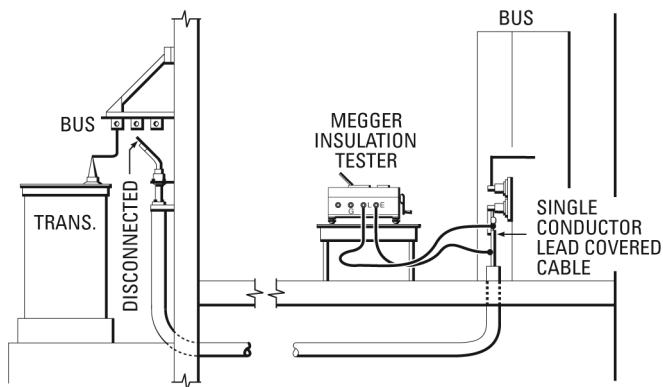


Figura 18

## 7. Transformadores de corriente

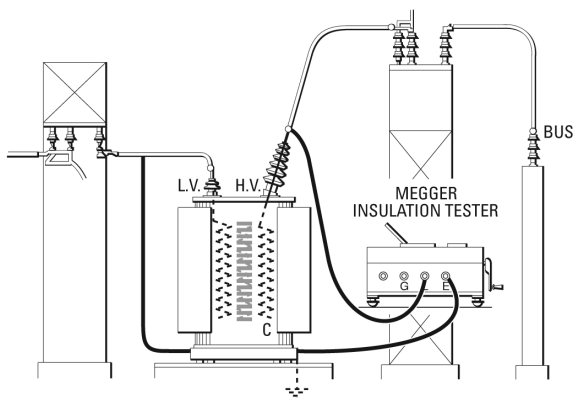


Figura 19

Conexiones para probar la resistencia del aislamiento de un transformador, devanados de alta tensión y bushings, y el interruptor de desconexión de alta tensión, en paralelo con respecto al devanado y la conexión a tierra de baja tensión. Observe que el devanado de baja tensión está conectado a tierra para los efectos de esta prueba.

## 8. Generadores de CA

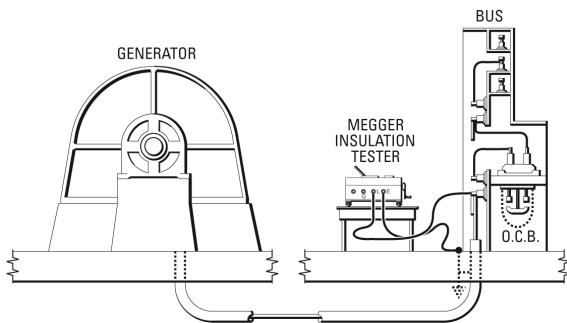


Figura 20

Con esta conexión, la resistencia del aislamiento será la del devanado del estator del generador y del cable de conexión de forma combinada. Para probar el devanado del estator o el cable en sí, el cable se debe desconectar de la máquina.

## **NOTAS ADICIONALES SOBRE EL USO DE UN PROBADOR DE AISLAMIENTO DE MEGGER**

### **Cables de prueba**

Los cables de prueba inferiores o defectuosos generarán resultados erróneos y poco fiables de las pruebas de resistencia del aislamiento. Tenga cuidado con este aspecto.

### **Cables sin aislamiento**

Para evitar errores debido al aislamiento de los cables, coloque el instrumento de Megger cerca del terminal sin conexión a tierra o del conductor del aparato sometido a prueba y conecte un pedazo corto de cable ligero y sin recubrimiento directamente desde la terminal de línea del instrumento hacia el aparato. Si se utiliza el terminal de protección, es posible emplear el mismo tratamiento. Un cable sólido de calibre n.º 18 o 20 será suficiente. Apoye el cable solamente mediante sus conexiones con el instrumento y el aparato.

Con este método de conexión desde el terminal de línea, la calidad del aislamiento, si la hay, del cable a tierra no es importante.

### **Cables aislados**

Cuando la dependencia se coloque sobre el aislamiento de los cables, estos deben ser duraderos y de material aislante de la mejor calidad. Se recomienda utilizar cables trenzados n.º 14, resistentes a los aceites, sintéticos, aislados con caucho y de un solo conductor. El revestimiento exterior debe ser suave, sin trenza exterior. Se deben colocar orejetas para la conexión a los terminales del instrumento, y se recomienda utilizar abrazaderas de resorte fuertes para conectar al aparato o el circuito sometidos a prueba. Es posible utilizar cualquier longitud de cable que sea conveniente. Se deben evitar las juntas.

Después de conectar los cables al instrumento y justo antes de conectarlos al aparato, asegúrese de que no haya fugas de cable a cable. Para ello, ponga el instrumento en funcionamiento, el cual debería mostrar el infinito. No corrija una fuga del cable ligera intentando restablecer el ajustador de infinito en un instrumento de gama alta. A continuación, haga que los extremos de prueba de los cables entren en contacto para asegurarse de que no se hayan desconectado o roto.

Las pruebas de corriente con probadores de aislamiento de gama alta de Megger (50 000 megohmios) requieren que el cable de prueba de línea se mantenga en un valor alto para que no se introduzca en la medición. El cable de prueba blindado, con el blindaje conectado a la protección, evita que se midan las fugas en las terminaciones o a través del material aislante del cable.

## Instrucciones de uso

Se debe conectar el extremo sin etiquetar del cable blindado a los terminales de línea y protección del instrumento de Megger: el terminal del extremo a la línea y el terminal lateral (blindado) a la protección. La abrazadera en el cable de línea se conecta al aparato sometido a prueba de forma regular. Se puede conectar el terminal de protección exterior a esa parte del aparato sometido a prueba que el usuario desea proteger. Se debe aislar el conductor empleado en esta conexión para la calificación de la tensión del instrumento de Megger utilizado.

## Efecto de capacitancia

Se debe cargar la capacitancia en el aparato sometido a prueba hasta que alcance la tensión de CC nominal del probador de aislamiento de Megger y se debe mantener durante 30 a 60 segundos antes de tomar una lectura final. Asegúrese de que la capacitancia se descargue por medio de cortocircuitos y conexiones a tierra del aparato antes de conectar los cables de prueba. Consulte **Descarga de capacitancia** en la página 25.

**NOTA: La capacitancia hace que la aguja se mueva hacia el cero mientras el instrumento se acelera y se desvía de la escala más allá del infinito cuando el generador se desacelera. Esto es simplemente la carga que fluye dentro y fuera de la capacitancia y a través de la bobina de deflexión del ohmímetro.**

Los efectos de la capacitancia son más evidentes en generadores de gran tamaño, en cables de alimentación y comunicación con una longitud de unos cientos de metros y en condensadores. En general, estos efectos son menores con una capacitancia inferior a 0,01 F y se hacen más perceptibles a medida que la capacitancia o la sensibilidad del instrumento aumentan. Es posible utilizar probadores de aislamiento de Megger para servicio pesado en condensadores de gran tamaño con buenos resultados, especialmente cuando se operan desde la red eléctrica en lugar de la palanca manual.

## Tiempo de funcionamiento

Una consideración muy importante en la realización de las pruebas de resistencia del aislamiento es el tiempo necesario que requiere la lectura de la resistencia del aislamiento para llegar a un valor máximo. El tiempo necesario para cargar la capacitancia geométrica es muy breve, generalmente no más de unos pocos segundos, y esto, que incurre en demoras adicionales para alcanzar la carga completa, corresponde a un efecto de absorción dieléctrica. Puede ser cuestión de minutos o incluso horas para que este tiempo de electrificación se complete y para que la aguja alcance un máximo absoluto.

## Lecturas a corto plazo

Para realizar lecturas a corto plazo de resistencia del aislamiento, opere el instrumento durante una determinada cantidad de tiempo, ya sean 30 segundos o 1 minuto, y efectúe la lectura al final de ese período. Continúe operándolo de manera constante a la velocidad de deslizamiento hasta que se tome la lectura. Realice futuras pruebas con la misma duración del tiempo de funcionamiento.

## Método de tiempo-resistencia

Cuando utilice un instrumento de accionamiento manual, hágalo funcionar continuamente durante 1 minuto. Tome una lectura al final de los primeros 30 segundos y otra lectura al final del minuto.

Cuando utilice un instrumento impulsado por motor u operado por rectificadores, los intervalos de tiempo suelen ser de entre 1 minuto y 10 minutos desde el momento en el que se aplica la tensión de prueba. O es posible tomar curvas de tiempo-resistencia durante un período de 10 a 30 minutos o más.

## Escalas de tensión

Algunos probadores de aislamiento pueden estar equipados con una escala de tensión para verificar la ausencia de tensión antes de realizar la prueba de aislamiento. Sin embargo, como se explica en la sección **Precauciones de seguridad**, nunca se deben conectar probadores de aislamiento a líneas o equipos energizados cuando se opere en cualquiera de los modos de prueba de aislamiento o prueba de resistencia.

## VALORES MÍNIMOS DE INTERPRETACIÓN

La resistencia del aislamiento de los equipos eléctricos se ve afectada por muchas variables, como el diseño del equipo; el tipo de material aislante utilizado, incluidos aglutinantes y compuestos de impregnación; el grosor del aislamiento y su área; la limpieza, la humedad y la temperatura. Para que las lecturas de resistencia del aislamiento sean una medición concluyente de la condición del equipo que se somete a prueba, se deben tener en cuenta estas variables.

Después de que el equipo se pone en servicio, factores, como el diseño del equipo, el tipo de material aislante utilizado, su espesor y el área, dejarán de ser variables, lo que permitirá establecer valores de resistencia del aislamiento mínimos dentro de tolerancias razonables. Las variables que se deben considerar después de que el equipo se pone en servicio y en el momento en el que se realizan las mediciones de resistencia del aislamiento son la limpieza, la humedad, la temperatura y los daños mecánicos (como las fracturas).

### Buen mantenimiento

Los requisitos más importantes para el funcionamiento confiable de los equipos eléctricos son la limpieza y la eliminación de la penetración de humedad en el aislamiento. Esto se puede considerar como buen mantenimiento y es un factor esencial para la mantención de todo tipo de aparatos eléctricos. El hecho mismo de que la resistencia del aislamiento se vea afectada por la humedad y la suciedad, con las debidas concesiones de temperatura, hace que el probador de aislamiento de Megger sea una herramienta valiosa para el mantenimiento eléctrico. A su vez, es un indicador de limpieza y buen mantenimiento, así como un detector de deterioro y problemas inminentes.

### Qué lecturas se deben esperar: pruebas periódicas

Se han desarrollado diversos criterios para los valores de resistencia del aislamiento mínimos y se resumen aquí. Deben servir como guía para el equipo en servicio. No obstante, las pruebas periódicas de los equipos en servicio revelarán, en general, lecturas considerablemente superiores a los valores de seguridad mínimos sugeridos.

Por lo tanto, se recomienda encarecidamente que se mantengan los registros de las pruebas periódicas, puesto que las tendencias descendentes constantes de la resistencia del aislamiento suelen proporcionar una advertencia razonable de problemas inminentes, aunque los valores reales pueden ser superiores a los valores de seguridad mínimos sugeridos.

Por el contrario, se deben considerar para los equipos en servicio que muestren valores de pruebas periódicas inferiores a los valores de seguridad mínimos sugeridos, siempre y cuando los valores se mantengan estables o consistentes. En tales casos, después de que se haya prestado la debida atención a las condiciones de temperatura y humedad en el momento de la prueba, es posible que no exista necesidad de preocuparse. Esta condición se puede deber a fugas distribuidas de manera uniforme, de carácter inofensivo, y no es posible que sea consecuencia de una peligrosa debilidad localizada.

Una vez más, los registros de las pruebas de resistencia del aislamiento efectuados durante un período revelan cambios que pueden justificar la investigación. La tendencia de la curva puede ser más importante que los propios valores numéricos.

### **La regla de un megaohmio**

Durante muchos años, se ha utilizado un megaohmio de manera extendida como límite inferior permitido aceptable para la resistencia del aislamiento de los equipos eléctricos industriales comunes con capacidad nominal de hasta 1000 voltios y aún se recomienda para aquellos que pueden no estar muy familiarizados con las prácticas de pruebas de resistencia del aislamiento o que tal vez no deseen enfrentar el problema desde un punto de vista más técnico.

Para un equipo con capacidad nominal superior a 1000 voltios, se suele indicar la regla de un megaohmio como el mínimo de un megaohmio por mil voltios. Aunque esta regla es, en cierta manera, arbitraria y puede recibir críticas por carecer de fundamentos de ingeniería, ha pasado la prueba de muchos años de experiencia práctica. Proporciona una cierta garantía de que el equipo no está demasiado mojado ni sucio y ha salvado a muchos de sufrir averías innecesarias.

Sin embargo, estudios más recientes sobre el problema han dado lugar a fórmulas para valores mínimos de resistencia del aislamiento que se basan en el tipo de material aislante utilizado y las dimensiones físicas y eléctricas de los tipos de equipo que están en consideración.

## VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

### Maquinaria rotativa

La guía IEEE, "Prácticas recomendadas para probar la resistencia del aislamiento de maquinaria rotativa", aborda el problema de realizar e interpretar las mediciones de resistencia del aislamiento de maquinaria rotativa. En esta, se examinan los factores que afectan o cambian las características de la resistencia del aislamiento, se describen y recomiendan métodos uniformes para realizar pruebas y se presentan las fórmulas para realizar el cálculo de los valores de resistencia del aislamiento mínimos aproximados para diversos tipos de maquinaria rotativa de CA y CC. La guía indica:

"La resistencia del aislamiento mínima recomendada  $R_m$  para los devanados de armadura de máquinas de corriente alterna y corriente continua y de los devanados de campo de las máquinas de corriente alterna y corriente continua se puede determinar mediante:

$$R_m = kV + 1$$

donde:

$R_m$  = resistencia del aislamiento mínima recomendada en megohmios a una temperatura de 40 °C de todo el devanado de la máquina

$kV$  = terminal de máquina nominal a potencial de terminal, en kilovoltios

En aplicaciones donde la máquina es fundamental, se ha considerado una buena práctica iniciar el reacondicionamiento si la resistencia del aislamiento, al estar muy por encima del valor mínimo dado por la Ec. 2, cae considerablemente cerca de ese nivel".

**Se recomienda que quienes operen y realicen el mantenimiento de las máquinas rotativas obtengan copias de la publicación de la guía IEEE, "Prácticas recomendadas para probar la resistencia del aislamiento de maquinaria rotativa", que se puede conseguir si se escribe a IEEE en 345 East 47th St., New York, NY, 10017.**

### Bushings

En el caso de los bushings de disyuntores exteriores en aceite, la experiencia ha demostrado que cualquier bushing, con sus miembros aislantes asociados ensamblados, a fin de obtener un funcionamiento fiable, deberá contar con un valor de resistencia del aislamiento superior a 10 000 megohmios a una temperatura de 20 °C. Esto supone que el aceite dentro del depósito está en buen estado, que el disyuntor se separa de sus conexiones externas a otros equipos y que el blindaje contra la intemperie de porcelana está protegido.



Esto significa que cada componente, como el propio bushing descubierto, el travesaño, la varilla de elevación, el blindaje de arco inferior, etc., debe tener una resistencia del aislamiento muy superior a ese valor.

Cualquier componente que cuente con una superficie limpia y seca y que tenga valores inferiores a 10 000 megohmios se suele deteriorar internamente, debido a la presencia de humedad o vías carbonizadas, hasta tal punto que no es confiable que ofrezca un buen servicio, a menos que se reacondicione. Esto suele ser así, en especial, cuando los equipos funcionan en condiciones de sobrecarga, como durante alteraciones de relámpagos. En el caso del propio bushing descubierto, el vástago inferior y el blindaje contra la intemperie superior deben estar perfectamente limpios o protegidos antes de juzgarlos como no confiables debido a un valor de resistencia del aislamiento inferior a 10 000 megohmios.

Lo que se ha dicho con respecto a los bushings descubiertos de disyuntores en aceite también es válido para los bushings de otros equipos, como transformadores. Dado que los bushings y otros miembros asociados presentan generalmente valores de resistencia del aislamiento muy elevados, se requiere un probador de aislamiento de Megger con un rango de al menos 10 000 megohmios para probar dicho equipo. Los instrumentos de Megger con rangos de hasta 50 000 megohmios posibilitarán la observación de las tendencias de deterioro en los bushings antes de que alcancen el valor cuestionable de 10 000 megohmios.

### **Cables y conductores**

Las instalaciones de cables y conductores presentan una amplia variedad de condiciones, desde el punto de vista de la resistencia del aislamiento. Estas condiciones son el resultado de los muchos tipos de materiales aislantes utilizados, la tensión nominal o el espesor del aislamiento, así como la longitud del circuito involucrado en la medición. Además, estos circuitos se suelen extender a grandes distancias y pueden estar sujetos a amplias variaciones de temperatura, lo que tendrá un efecto sobre los valores obtenidos de la resistencia del aislamiento. Los terminales de cables y conductores también tendrán un efecto sobre los valores de prueba, a menos que estén limpios y secos o protegidos.

La Asociación de Ingenieros de Cables Aislados (ICEA, <1>Insulated Cable Engineers Association</1>) proporciona valores mínimos de resistencia del aislamiento en sus especificaciones para diversos tipos de cables y conductores. Estos valores mínimos son para cables nuevos de un solo conductor después de haber sido sometidos a una prueba de alta tensión de CA y se basan en un potencial de prueba de CC de 500 voltios aplicados durante un minuto a una temperatura de 16 °C (60 °F).

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

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

donde:

- R = megohmios por 1000 pies de cable
- K = constante de material aislante
- D = diámetro exterior del aislamiento del conductor
- d = diámetro del conductor

### Valores mínimos de K a 16 °C (60 °F).

#### Tipo de aislamiento

Papel impregnado.....	2640
Batista barnizado.....	2460
Polietileno termoplástico.....	sobre 50 000
Polietileno compuesto.....	30 000
Polivinilo termoplástico:	
Cloruro de polivinilo a 60 °C.....	500
Cloruro de polivinilo a 75 °C.....	2000

Grado de	Caucho natural	Caucho sintético
Código.....		950
Rendimiento.....	10 560.....	2000
Resistente al calor.....	10 560.....	2000
Resistente al ozono.....	10 000 (butilo).....	2000
Kerite.....		4000

Consulte las páginas 44 y 45 para ver las tablas de  $\log_{10} \frac{D}{d}$

La resistencia del aislamiento de un conductor de un cable multiconductor para todos los demás y el recubrimiento es:

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

donde:

D = diámetro sobre aislamiento del cable de un solo conductor equivalente  
=  $d + 2c + 2b$

d = diámetro del conductor (para los cables del sector d igual al diámetro del conductor redondo de la misma sección transversal)

c = espesor del aislamiento del conductor

b = espesor del aislamiento del revestimiento

(todas las dimensiones se deben expresar en las mismas unidades)

## Transformadores

Los valores de resistencia del aislamiento aceptables para los transformadores secos y rellenos de compuesto deben ser comparables a los de las máquinas rotativas de clase A, aunque no se disponga de valores mínimos estándar.

Los reguladores de tensión o los transformadores rellenos de aceite presentan un problema especial en el que la condición del aceite tiene una marcada influencia sobre la resistencia del aislamiento de los devanados.

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

$$R = \frac{CE}{\sqrt{kVA}}$$

R = resistencia del aislamiento de CC mínima de 1 minuto a 500 voltios en megohmios de devanado a tierra, con otro devanado o devanados protegidos, o de devanado a devanado con núcleo protegido

C = una constante de mediciones a 20 °C

E = tensión nominal del devanado sometido a prueba

kVA = capacidad nominal del devanado sometido a prueba

Para las pruebas de devanado a tierra con el otro devanado o devanados a tierra, los valores serán muy inferiores a los que se obtuvieron con la fórmula. R en esta fórmula se basa en el aceite seco exento de lodo y ácido, y en bushings y tableros de terminales que están en buenas condiciones.

### Valores de C a 20 °C

	60 hercios	25 hercios
Tipo de relleno de aceite en el tanque	1,5	1,0
Tipo de relleno de aceite fuera del tanque	30,0	20,0
Tipo de relleno de compuesto o seco	30,0	20,0

Esta fórmula está pensada para transformadores monofásicos. Si el transformador sometido a prueba es de tipo trifásico y los tres devanados individuales están siendo probados como uno, entonces:

E = tensión nominal de uno de los devanados monofásicos (fase a fase para las unidades conectadas en delta y de fase a neutro para las unidades conectadas en estrella)

kVA = capacidad nominal del devanado trifásico completo sometido a prueba

### **PRUEBAS CON PROBADORES DE AISLAMIENTO DE DIVERSAS TENSIONES DE MEGGER**

Las tendencias de las prácticas de mantenimiento indican el valor de aislamiento de prueba con tensiones de CC a niveles algo superiores al valor máximo de la tensión nominal de CA del equipo sometido a prueba. En algunos casos, se ha demostrado que tales pruebas de CC revelan deficiencias incipientes no destructivas en el aislamiento que de otra manera no se podrían encontrar, excepto posiblemente mediante la detección de descarga parcial a niveles de tensión de prueba de CA no destructivos.

La técnica consiste en la aplicación de dos o más tensiones de CC y en la observación crítica de cualquier reducción de resistencia del aislamiento a la mayor tensión. Cualquier reducción marcada o inusual en la resistencia del aislamiento de un aumento prescrito en la tensión aplicada es una indicación de debilidad incipiente.

Es importante mencionar que los méritos de esta técnica surgen de investigaciones más recientes que indican que se puede utilizar una tensión de CC bastante alta para detectar debilidades sin dañar el aislamiento. El valor máximo de tensión que se debe utilizar dependerá en gran medida de la limpieza y la sequedad del aislamiento sometido a prueba.

En la realización de pruebas de aislamiento con tales tensiones de CC, el método del ohmímetro tiene al menos dos ventajas. Primero, los voltajes fijos prescritos se ponen en marcha y se realiza una medición del instrumento con el ohmímetro de lectura directa. Este es un método simple y reproducible frente a uno en el que se dispone de diversas elecciones de tensión. Otra ventaja importante

del ohmímetro se puede explicar en la Fig. 21. En esta figura, los cambios que pueden ocurrir en la corriente de fuga después de que la corriente de absorción haya desaparecido se muestran trazados en términos de resistencia del aislamiento frente a tres tensiones diferentes. Observe que no hay ningún cambio en la resistencia mostrada en la figura entre 500 y 1000 voltios, lo que indica que no hay cambio en el aislamiento como resultado de la aplicación de estas dos tensiones. Esta es una suposición, pero es una condición que es común en la práctica. Si el aislamiento aún es estable a 2500 voltios, no habrá ningún cambio en el valor obtenido de resistencia del aislamiento, lo que se muestra mediante la extensión de puntos de la línea horizontal en la figura. Cuando aparecen condiciones no lineales a una mayor tensión, la curva de resistencia de tensión revela esto de manera muy clara mediante un valor de resistencia inferior, indicado por la curva decreciente en la figura. Por ende, en la figura se revela la simplicidad para determinar la variación de la estabilidad del aislamiento con el uso de tres tensiones fijas que son fácilmente reproducibles cuando se realizan pruebas de tres tensiones de manera rutinaria.

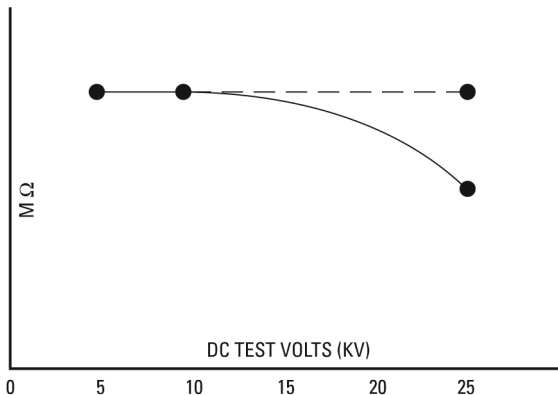


Figura 21

Queremos destacar que la curva de la Fig. 21 indica que el cambio de resistencia se debe solamente a la corriente de fuga y no a la corriente de absorción, que puede aparecer durante un período en cada cambio de tensión. Puede que sea necesario esperar una cantidad considerable de tiempo después de cada cambio de tensión para que la corriente de absorción desaparezca antes de tomar una lectura.

# VALORES DE $\log_{10} \frac{D}{d}$

A. W. G. or C. M.	INSULATION THICKNESS - INCHES												
	.047	.063	.078	.094	.109	.125	.141	.156	.172	.188	.203	.219	.234
14 Sol.	.392	.470	.537	.594	.645	.691	.732	.770	.804	.836	.866	.894	.921
12	.334	.405	.467	.520	.568	.611	.651	.686	.720	.751	.779	.806	.832
10	.283	.348	.404	.453	.498	.538	.575	.609	.641	.670	.698	.723	.748
8	.239	.296	.347	.392	.432	.470	.505	.537	.566	.594	.621	.645	.669
6 Str.	.225	.267	.305	.340	.373	.403	.431	.453	.483	.506	.529	.552	.550
5	.206	.245	.281	.314	.346	.373	.401	.426	.450	.463	.485	.495	.515
4	.187	.224	.257	.289	.318	.345	.371	.395	.418	.440	.460	.480	.480
3	.171	.204	.236	.265	.293	.318	.343	.366	.388	.409	.429	.448	
2	.155	.186	.215	.243	.269	.293	.316	.338	.359	.379	.398	.416	
1	.139	.168	.195	.220	.244	.267	.288	.309	.328	.347	.365	.382	
1/0	.126	.152	.177	.201	.223	.244	.264	.284	.302	.320	.337	.354	
2/0	.114	.138	.161	.183	.204	.223	.242	.261	.278	.295	.311	.327	
3/0	.102	.125	.146	.166	.185	.204	.221	.238	.255	.271	.286	.301	
4/0	.0923	.113	.132	.151	.168	.187	.202	.218	.233	.248	.262	.276	
250,000	.0854	.104	.123	.140	.157	.173	.189	.204	.218	.232	.246	.259	
300,000	.0787	.0963	.113	.130	.145	.160	.175	.189	.203	.216	.229	.250	
350,000	.0731	.0897	.106	.121	.136	.150	.164	.177	.190	.203	.215	.227	
400,000	.0688	.0845	.0995	.114	.128	.142	.155	.168	.181	.193	.204	.216	
500,000	.0620	.0763	.0901	.103	.116	.129	.141	.153	.165	.176	.187	.198	
600,000	.0700	.0853	.0952	.107	.119	.130	.141	.152	.163	.173	.183	.193	
700,000	.0686	.0769	.0888	.100	.111	.122	.133	.143	.153	.163	.172		
750,000	.0665	.0749	.0861	.0971	.108	.118	.129	.139	.148	.157	.167		
800,000	.0640	.0727	.0836	.0943	.105	.115	.125	.135	.144	.154	.163		
900,000	.0580	.0687	.0793	.0895	.0994	.108	.120	.128	.137	.146	.155		
1,000,000	.0551	.0656	.0755	.0851	.0948	.104	.113	.122	.131	.140	.148		
1,250,000	.0500	.0590	.0681	.0770	.0856	.0943	.103	.111	.119	.127	.134		
1,500,000	.0456	.0541	.0625	.0708	.0789	.0870	.0946	.102	.110	.116	.125		
1,750,000	.0423	.0502	.0581	.0658	.0734	.0810	.0889	.0954	.103	.110	.117		
2,000,000	.0397	.0472	.0546	.0619	.0691	.0761	.0830	.0898	.0965	.103	.108		
2,500,000	.0357	.0425	.0492	.0558	.0623	.0687	.0750	.0812	.0874	.0934			

Continuación de los valores en la siguiente página.



Para entender mejor la técnica de hacer pruebas de resistencia del aislamiento en dos o más tensiones, se proponen los siguientes pasos, con el uso de un motor de tracción o industrial clasificado entre los 300 y 1000 voltios como ejemplo:

1. Realice una prueba de un minuto con instrumentos de Megger a 500 voltios como base de comparación para los pasos posteriores.
2. Tras una cuidadosa operación de limpieza, realice una segunda prueba de 500 voltios para determinar la eficacia de la limpieza.
3. Si el valor de resistencia del aislamiento de un minuto es anormal o si la relación de resistencia del aislamiento de 60/30 segundos no es superior a uno en este punto, entonces una operación de secado puede ser necesaria antes de utilizar una tensión de prueba más alta. Sin embargo, si realiza otra prueba a 1000 voltios y compara estas lecturas con las de la prueba de 500 voltios, ayudará a determinar la necesidad de secado. Si el valor de prueba de 1000 voltios es considerablemente inferior a la de 500 voltios, se debe realizar una operación de secado. Por otro lado, si los valores de prueba de 1000 y 500 voltios son aproximadamente los mismos, es razonable asumir que la decisión de realizar una operación de secado se puede aplazar hasta después del próximo paso.
4. Lleve a cabo una prueba de instrumentos de Megger a 2500 voltios. Si no hay una diferencia apreciable en los valores de prueba de 500 y 2500 voltios, existe buena evidencia de que el motor en cuestión está en condiciones confiables en lo que se refiere a su aislamiento. Por otro lado, si hay una diferencia apreciable en ambas, hay buena evidencia de que se requiere un reacondicionamiento más exhaustivo. Si el aislamiento falla la prueba de 2500 voltios, después de seguir los pasos 1, 2 y 3, creemos que existe la posibilidad de que el motor en cuestión falle mientras está en servicio, aunque se hizo un intento de reacondicionamiento en función de las pruebas de baja tensión solamente.

El método de diversas tensiones también puede ser útil para determinar la presencia de exceso de humedad en el aislamiento de los equipos clasificados en tensiones equivalentes o superiores a la tensión más alta disponible en el instrumento de diversas tensiones de Megger que se utiliza. En otras palabras, a pesar de que la tensión más alta del instrumento de Megger disponible no hace que el aislamiento supere su clasificación, una prueba de dos tensiones puede revelar a menudo la presencia de humedad. Si la resistencia del aislamiento se prueba primero en la lectura a corto plazo



(primero a un nivel de tensión y luego a un potencial más alto), un valor más bajo de resistencia del aislamiento a la tensión de prueba de CC más alta suele indicar la presencia de humedad. Las tensiones aplicadas deben estar preferentemente en la relación de 1 a 5. La experiencia indica que un cambio del 25 % en el valor de resistencia del aislamiento, con una relación de 1 a 5 en las tensiones de prueba, se debe normalmente a la presencia de una cantidad excesiva de humedad.

Este método no se basa en fenómenos de absorción dieléctrica, pero tampoco se relaciona con el efecto Evershed. Al igual que con las mediciones de tiempo-resistencia, el método de diversas tensiones de prueba de resistencia del aislamiento tiene mayor valor cuando se realizan de forma periódica o programada.

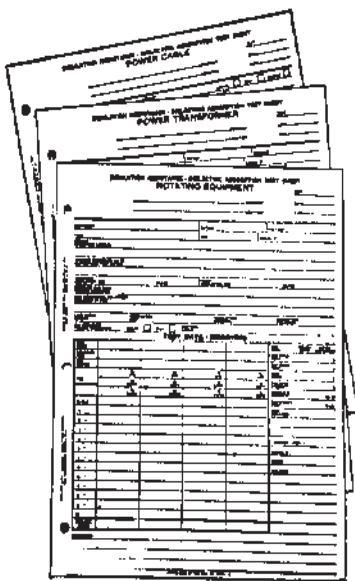


Figura 22: Formularios de prueba de tiempo-resistencia

## MÉTODO DE TENSIÓN ESCALONADA

En este método, necesita un instrumento de diversas tensiones de Megger para aplicar dos o más tensiones de forma gradual, como 500 voltios y luego 1000 voltios. Se busca cualquier reducción de la resistencia del aislamiento en la tensión más alta. Si la resistencia es inferior, es un signo de debilidad de aislamiento que se muestra solamente a la mayor tensión. En la Fig. 23 se muestra un ejemplo en el que, en lugar de aumentar progresivamente la tensión, primero se prueba a baja tensión (como 500 voltios) y, a continuación, después de descargar la muestra, se prueba de nuevo a una tensión mayor (como 2500 voltios). Cualquier diferencia en las dos pruebas en términos de megohmios mostrará signos de debilidad a la mayor tensión: una advertencia para investigar más a fondo. Como las condiciones dentro de la muestra se deterioran, el gráfico de mayor tensión, como se muestra en la Fig. 23, se reducirá en megohmios en comparación con el de menor tensión y su pendiente ascendente será menor.

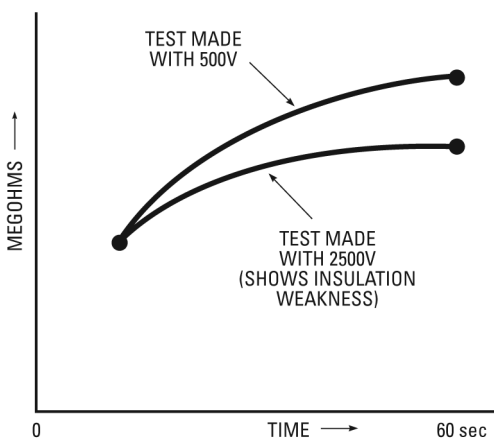


Figura 23: Curvas típicas con la prueba de "tensión escalonada".

La teoría detrás de la técnica de tensión escalonada es un poco compleja, pero intentaremos simplificar la explicación. Por lo general, las pruebas realizadas a tensiones muy inferiores a las que se esperan en servicio revelan la presencia de humedad y suciedad en el aislamiento. Sin embargo, es posible que los efectos de envejecimiento o daño mecánico presentes en el aislamiento medianamente limpio y seco no se revelen en tales condiciones de estrés inferiores.

Ahora, cuando se aumenta la tensión de forma gradual para producir estrés eléctrico que se acerque o supere a los niveles presentes durante el servicio, los puntos débiles locales influirán en la resistencia del aislamiento global cada vez más. Normalmente, la resistencia de dichas fallas locales disminuye rápidamente a medida que el estrés eléctrico en ellas aumenta más allá de un cierto límite. El gráfico de las lecturas consecutivas con los instrumentos de Megger muestra claramente la fuerte caída cuando esto ocurre (consulte la Fig. 24).

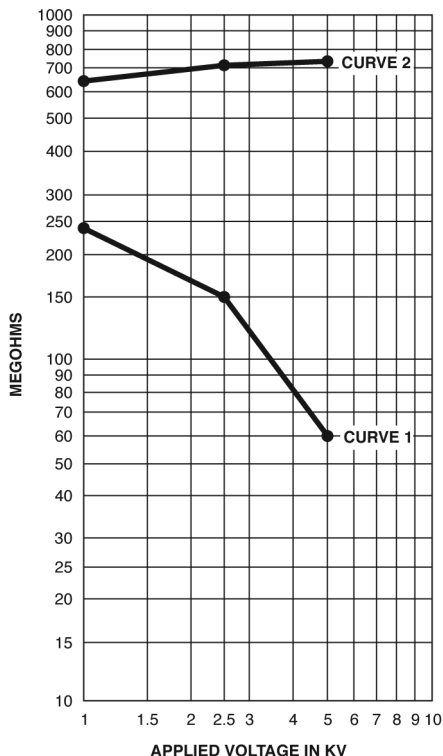


Figura 24: Curvas de la prueba mediante el método de tensión escalonada en comparación con los resultados obtenidos con buen o mal aislamiento. La curva 1 (gráfico inferior) muestra una disminución definida de la resistencia con tensión en aumento, lo que indica un problema. La curva 2 (gráfico superior) muestra las condiciones encontradas en el mismo devanado del motor después de operación de limpieza, cocción e impregnación.

Solo debe mantener la tensión de prueba constante entre los niveles durante unos 60 segundos. Este breve período no afectará la tendencia en el cambio de la resistencia. Sin embargo, el período siempre debe ser el mismo para un determinado equipo. Puede que toda la corriente de absorción no haya desaparecido en este momento, pero sus mediciones de resistencia se efectuarán en la misma base, por lo que serán significativas. Sus resultados son independientes del material de aislamiento y la temperatura, ya que está en busca del cambio en la resistencia, no de los valores de resistencia absoluta.

Como ocurre con las mediciones al azar y de tiempo-resistencia, el método de tensión escalonada se valora más cuando lo repite de forma periódica y programada.

El método de tensión escalonada es particularmente útil para determinar la presencia de un exceso de humedad u otros contaminantes en el aislamiento de los equipos que clasifican en tensiones equivalentes o superiores a la tensión más alta disponible en su instrumento de diversas tensiones de Megger. En otras palabras, a pesar de que su tensión más alta no hace que el aislamiento supere su clasificación, una prueba de dos tensiones puede revelar a menudo la presencia de tales contaminantes.

Por ejemplo, suponga que primero prueba la resistencia del aislamiento con una lectura a corto plazo a una tensión de 500 VCC y, luego, a un mayor potencial de, por ejemplo, 2500 VCC. Aunque la última tensión puede ser nominal en relación con la clasificación de tensión del equipo, un valor inferior de resistencia del aislamiento a una mayor tensión de prueba suele indicar la presencia de fracturas contaminadas u otras vías de fuga a través del aislamiento a tierra.

La tensión aplicada debe estar preferentemente en la relación de 1 a 5 o mayor (500 y 2500, por ejemplo). Los resultados hasta la fecha muestran que un cambio del 25 % en el valor de resistencia del aislamiento, con una relación de 1 a 5 en las tensiones de prueba, se debe normalmente a la presencia de una cantidad excesiva de humedad y otros contaminantes.

## **USO DE UN TERMINAL DE PROTECCIÓN**

Todos los probadores de aislamiento de Megger que cuentan con rangos de 1000 megohmios y superiores están equipados con terminales de protección. El propósito de este terminal es proporcionar facilidades para conformar una medición de red de tres terminales, de modo que sea posible determinar de manera directa la resistencia de una de las dos posibles vías. Además, tiene el propósito adicional o secundario de proporcionar una fuente de tensión de CC de buena regulación con una capacidad limitada de corriente.

El aislamiento de todos los aparatos eléctricos tiene dos conductores o vías de fuga: uno a través del material aislante y el otro sobre las superficies. Cuando se proporciona un tercer terminal de prueba en la vía de la fuga superficial, se divide en dos partes, lo que da forma a una red de tres terminales, tal como se muestra en la Fig. 25a. En la práctica, se puede proporcionar este tercer terminal, tal como se muestra en las figuras 26 a 38.

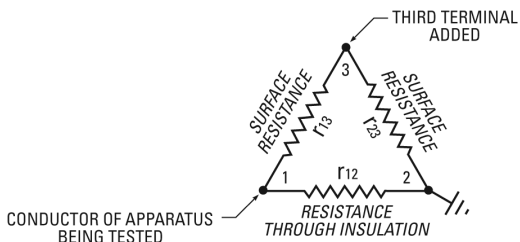


Figura 25a

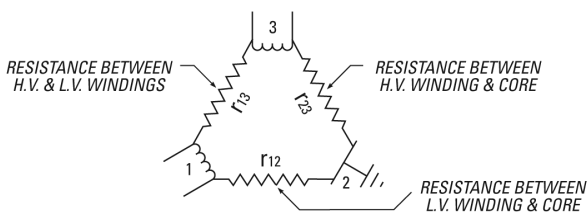


Figura 25b

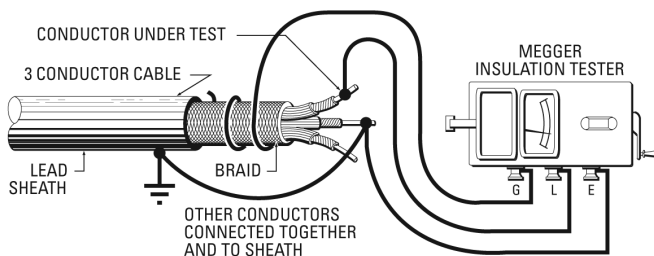


Figura 26: Muestra cómo utilizar el terminal de protección para eliminar los efectos de la fuga superficial a través del aislamiento expuesto a uno de los extremos de un cable. Consulte también las figuras 28, 30 y 31.

También hay casos, como los que se encuentran en dos transformadores de devanado o cables multiconductores, en los que se conforma una red de tres terminales, como se muestra en la Fig. 25b. Las figuras 30 y 33, así como otras, muestran las aplicaciones prácticas de esta forma de red de tres terminales.

Cuando lleva a cabo una prueba de tres terminales con solo una medición, el terminal de línea del instrumento de Megger se conecta al terminal 1 ,Fig. 25a, el terminal de protección al terminal 3 y el terminal de tierra al terminal 2. Esto proporcionará el valor real de  $r_{12'}$ , siempre que  $r_{23}$  y  $r_{13}$  no tengan un valor demasiado bajo. La pata  $r_{23'}$ , que se conecta a través del generador del instrumento de Megger, debe ser aproximadamente de 1 megaohmio o superior para evitar una carga excesiva en el generador y mantener una tensión del generador satisfactoria.

Durante el uso del terminal de protección, especialmente en el caso de los instrumentos de Megger impulsados por motor u operados por rectificadores, asegúrese también de que no exista ninguna posibilidad de que se produzca un arco entre el terminal de protección de la muestra y la tierra. Tal arco puede producir la formación indeseada de chispas en el conmutador del generador del instrumento.

La pata  $r_{13'}$ , que desvía la bobina de deflexión de Megger, debe ser de al menos 100 megohmios para obtener una exactitud de medición de aproximadamente el 1 %. La cifra de exactitud del 1 % se basa en el resistor de balasto de  $R'$  de 1 megaohmio, lo cual es común. Para conseguir determinaciones de exactitud con mayor precisión, escriba a Megger y proporcione el número de serie del instrumento en uso para obtener el valor exacto de  $R'$ .

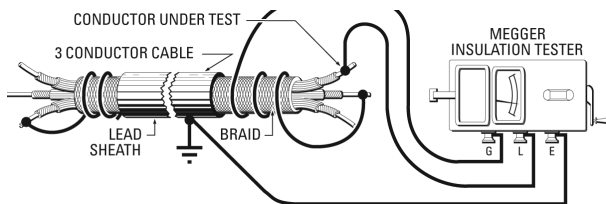
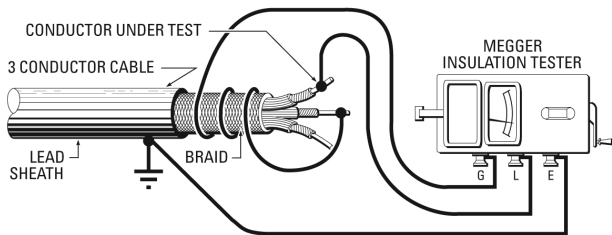


Figura 27: Muestra cómo usar la conexión de protección para eliminar los efectos de la fuga superficial a través del aislamiento expuesto en ambos extremos de un cable cuando un conductor de repuesto del cable está disponible para completar la conexión de protección.



En la Figura 28 se muestra el uso de la conexión de protección para eliminar el efecto de la fuga a tierra, como se muestra en la figura 26, y también el efecto de la fuga de los conductores adyacentes. Tenga en cuenta que el cable de protección se envuelve alrededor del aislante expuesto y también se conecta a los conductores adyacentes.

No confunda este diagrama con la figura 26, donde el cable de protección se conecta solo al aislamiento expuesto y los conductores adyacentes se conectan a tierra.

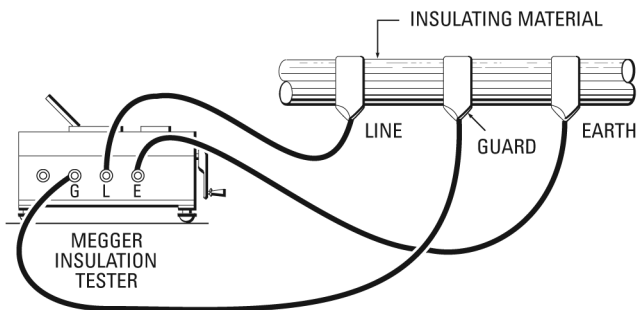


Figura 29: Para eliminar el efecto de la fuga superficial durante la medición de la resistencia real de un miembro aislante, como una varilla de elevación de un disyuntor.

La máxima exactitud se necesita en los casos que se muestran en la Fig. 25a o donde se requiere la resistencia real de cada pata, como en el caso de la Fig 25b; se necesitan tres mediciones y se utilizan las siguientes ecuaciones:

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

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

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

donde  $R_{12}$ ,  $R_{23}$  y  $R_{13}$  son las lecturas reales en megohmios medidas a través de los terminales de la red que se conectan a los terminales de línea y tierra del instrumento de Megger con los terminales 3, 1 y 2, respectivamente, conectados al terminal de protección del instrumento.  $R'$  es el valor de la resistencia de balasto en megohmios del instrumento en uso. En la realización de estas tres mediciones, no conecte el terminal de línea del instrumento al terminal a tierra de la red, ya que cualquier fuga sobre la caja del instrumento entre el terminal a tierra y la tierra desviaría la resistencia que se mide.

## BUSHINGS, TERMINACIONES DE CABLE Y AISLADORES

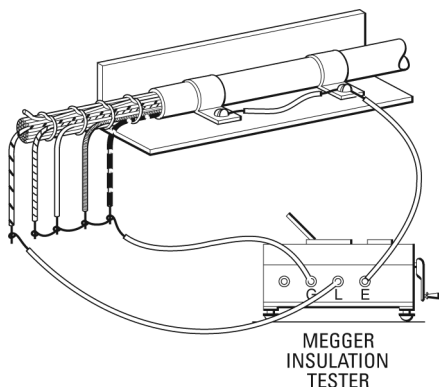


Figura 30: Conexiones para probar la resistencia del aislamiento entre un cable y la tierra, sin verse afectados por la fuga a otros cables. Nota: Utilice la conexión de protección.



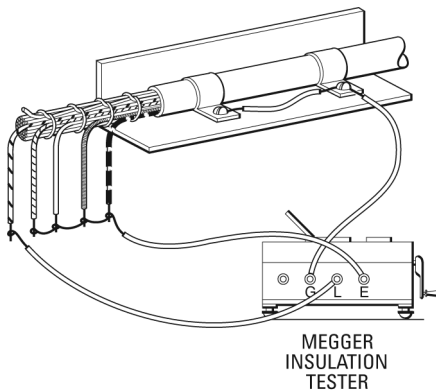


Figura 31: Conexiones para probar la resistencia del aislamiento entre un cable y todos los demás cables conectados, sin verse afectados por la fuga a tierra.

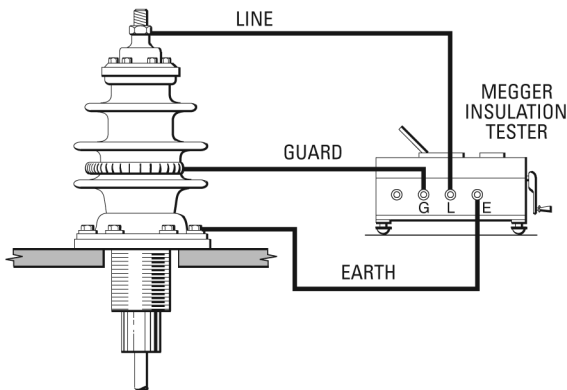


Figura 32: Muestra el uso de un collarín de resorte como conexión de protección para eliminar los efectos de la fuga superficial. Se debe desconectar el dispositivo sometido a prueba de los demás equipos.



## DISYUNTORES EXTERIORES EN ACEITE

Las cuatro ilustraciones (Fig. 35 a 38) muestran los métodos comunes para probar los bushings y las piezas asociadas de un disyuntor exterior en aceite, y la tabla anexa indica el procedimiento de prueba por fases.

Si los valores de prueba están por debajo de los 10 000 megohmios en cualquiera de las cuatro fases, el depósito se debe reducir o vaciar, de modo que las pérdidas excesivas se puedan aislar para efectuar pruebas e investigaciones adicionales. Si los valores de prueba están por debajo de los 50 000 megohmios en la prueba n.º 1, se deberá supervisar la tendencia de la condición del casquillo particular involucrado mediante la realización de pruebas con mayor frecuencia.

Test	Breaker Position	Bushing Energized	Bushing Guarded	Bushing Grounded	Part Measured
1	open	1 (2 to guard)	1	.....	Bushing 1
2	open	1	1	2	Bushing 1 in parallel with cross member
3	open	1 & 2	1 & 2	.....	Bushing 1 & 2 in parallel
4	close	1 & 2	1 & 2	.....	Bushing 1 & 2 in parallel with lift rod

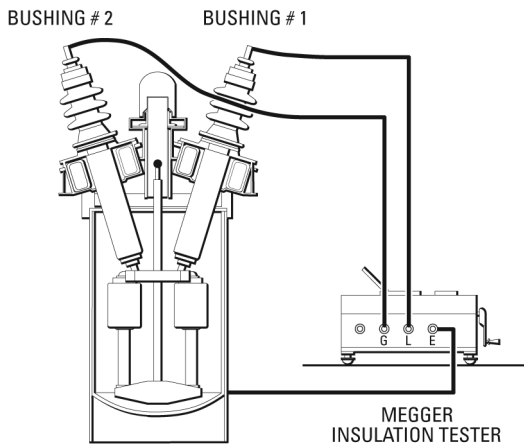


Figura 35: Fase 1

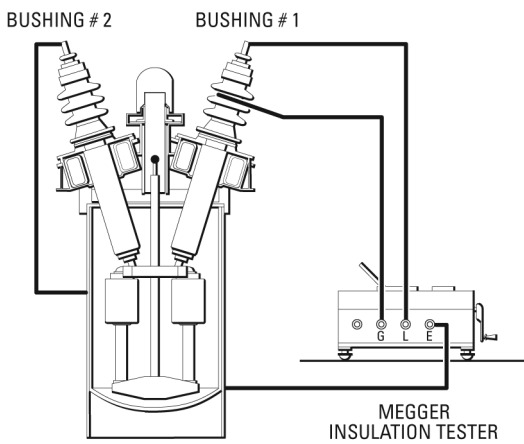


Figura 36: Fase 2

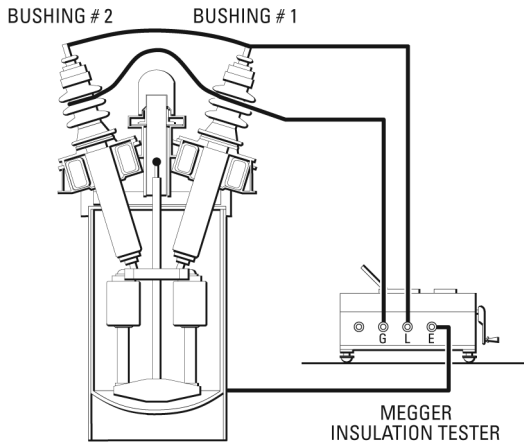


Figura 37: Fase 3

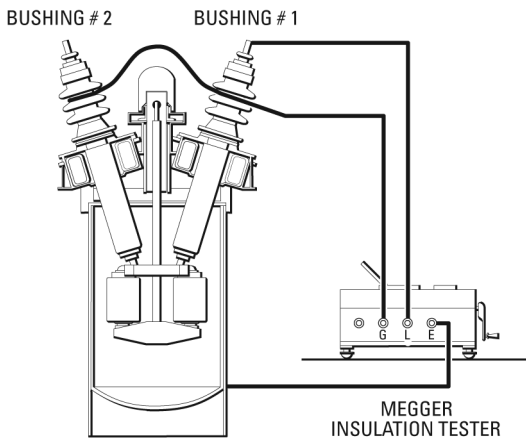


Figura 38: Fase 4

## CONFIGURACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Para iniciar la prueba de aislamiento existe una regla general: lo primero es lo primero; es decir, revisar todo el equipo eléctrico y clasificarlo con respecto a la importancia relativa. Por ejemplo, si ese motor de CA falló en el departamento A, ¿cómo afectaría a la producción global de la planta? Su personal de producción puede ciertamente ayudar con esto y debería estar sumamente interesado en la idea.

Si el tiempo lo permite al inicio, pruebe cada equipo eléctrico y haga una tarjeta de registro. Posiblemente, al principio, tendrá que combinar varias unidades, pero valdrá la pena a largo plazo tener registros de prueba para cada unidad individual. Luego, si aparecen puntos débiles en el aislamiento, su tarea de localizar la parte defectuosa será más fácil.

En la Fig. 40, se muestra un formulario de tarjeta de registro de pruebas, que está disponible en Megger. Lo siguiente es el tipo de información, que se vuelve más valiosa a medida que las pruebas se repiten en intervalos:

1. Nombre y ubicación del equipo
2. Fechas y valores de los resultados de la prueba (registre la lectura real en el momento de la prueba)
3. Rango, tensión y número de serie del instrumento de Megger utilizado
4. Temperatura del aparato (también, especialmente para las unidades de gran tamaño, temperaturas de bulbo húmedo y seco: para determinar la humedad y el punto de rocío)
5. Medición de resistencia del aislamiento corregida para la temperatura
6. Un gráfico de lecturas consecutivas para mostrar la tendencia a fin de que pueda anticipar fallas

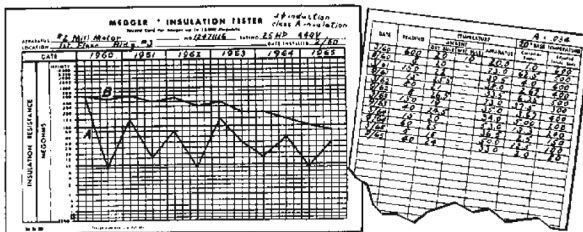


Figura 40

## ¿CON QUÉ FRECUENCIA DEBE PROBAR?

Esto depende del tamaño y la complejidad de su planta. Incluso las unidades idénticas pueden diferir en los períodos de revisión necesarios; la experiencia es su mejor guía. No obstante, por lo general, los aparatos de trabajo (motores, generadores, etc.) son más propensos a desarrollar deficiencias de aislamiento en comparación con el cableado, los aisladores y similares. Se debe establecer un programa de pruebas para el equipo de trabajo, que varíe cada 6 a 12 meses, en función del tamaño de los equipos y la severidad de las condiciones atmosféricas circundantes. Para el cableado y similares, la prueba una vez al año suele ser suficiente, a menos que las condiciones de la planta sean inusualmente severas.

## PROBADORES DE AISLAMIENTO DE 5 kV, 10 kV y 15 kV DE MEGGER

Los probadores de aislamiento de 5 kV, 10 kV y 15 kV de Megger están diseñados para aplicaciones industriales y de servicios públicos. Todos los probadores de aislamiento de Megger son resistentes y fiables para el uso de alto rendimiento. Ofrecen una capacidad nominal de seguridad de hasta 1000 V CAT IV en todos los terminales y están alojados en un estuche de polipropileno sólido con plena protección conforme a IP65 cuando se transporta. Un exclusivo diseño de estuche doble en todas las unidades posibilita la protección ignífuga mientras mantiene la solidez.

Los instrumentos de 10 kV ofrecen pleno cumplimiento del estándar IEEE 43-2000 "Prácticas recomendadas para probar la resistencia del aislamiento de maquinaria rotativa". Esto permite al usuario realizar pruebas de manera eficaz en cualquier motor existente. El instrumento de 15 kV ofrece pleno cumplimiento de los requisitos NETA para realizar pruebas en equipos con capacidad nominal por sobre los 35 kV.

### MIT515, MIT525, MIT1025 y MIT1525

La serie MIT consta de cuatro instrumentos: dos modelos de 5 kV, una unidad de 10 kV y una unidad de 15 kV. La serie está diseñada para la distribución energética e industrial. El MIT515 (modelo de 5 kV) se puede utilizar para realizar tanto pruebas de aislamiento simples de satisfactorio/no satisfactorio como pruebas básicas de diagnóstico del aislamiento, como el índice de polarización (IP). Dos nuevos modelos avanzados, el MIT1025 (modelo de 10 kV) y el MIT1525 (modelo de 15 kV) ofrecen memoria y pruebas de diagnóstico del aislamiento. El MIT1025 y el MIT1525 son aptos para efectuar pruebas más rigurosas en equipos de mayor tensión.



MIT1525 de Megger

Las unidades MIT tienen un circuito/terminal de protección completamente especificado para posibilitar resultados exactos en una amplia gama de situaciones de prueba. Se pueden realizar pruebas desde la batería o desde la alimentación de CA y beneficiarse de una batería de larga duración y un rápido tiempo de recarga. Para ayudar con los resultados de tendencias y almacenamiento, el MIT525, el MIT1025 y el MIT1525 incluyen memoria y descarga a PC a través de USB, así como pruebas de diagnóstico adicionales, como tensión escalonada (SV) y prueba de incremento gradual.



## PROBADORES DE AISLAMIENTO DE 1 kV DE MEGGER

Megger es el originador de las pruebas de resistencia del aislamiento y líder reconocido a nivel mundial en esta área. El primer instrumento para realizar dichas pruebas se presentó hace más de 100 años. Con base en una valiosa retroalimentación de los clientes y nuestra experiencia de muchos años, ofrecemos una completa gama de probadores de aislamiento de 1 kV (la serie MIT400/2, los MIT300 y los MIT200) diseñados para satisfacer las diversas necesidades y presupuestos de todos los tipos de clientes.

### SERIE MIT400/2 DE MEGGER

La serie MIT400/2 de probadores de aislamiento corresponde a la gama de probadores de aislamiento y continuidad en un diseño ergonómico con las últimas técnicas de medición y protección de circuito activo. Está diseñada para resistir condiciones de pruebas arduas y proporcionar excelente exactitud y confiabilidad en la medición, desde 0,01 ohmios hasta 200 gigaohmios.



Los últimos probadores de aislamiento y continuidad de la serie MIT400/2 cuentan con pruebas de continuidad más rápidas y tensiones de prueba de aislamiento estabilizadas para realizar pruebas de instalación más exactas y productivas.

Las pruebas de aislamiento cuentan con la adición de control de realimentación para estabilizar la tensión de prueba a menos del +2 % (+2 V) sobre la tensión, con el fin de propiciar una medición más exacta y segura.

La tensión de prueba variable también está disponible de 10 V a 1000 V. Ahora, la prueba de continuidad es totalmente automática desde 0,01 ohmios hasta 999 kΩ con detección de contacto rápido mientras se protege de manera continua frente al contacto accidental con circuitos activos.

Además, cuenta con pruebas de índice de polarización (IP) y relación de absorción dieléctrica (DAR), así como con almacenamiento y descarga de resultados de la prueba.

## SERIE MIT300 DE MEGGER

La serie MIT300 está diseñada de acuerdo con el principio familiar de Megger de características ascendentes sin pérdida de calidad básica. Cinco modelos componen la familia, cada uno basado en un diseño básico que garantiza la calidad y fiabilidad, que son las marcas registradas de Megger. El MIT300 es el modelo más simple, que ofrece funciones esenciales de la más alta calidad, pero no cuenta con características adicionales que puedan probar la redundancia en las aplicaciones básicas. Para aplicaciones en las que se debe evitar una prueba de 1 kV, el MIT300 ofrece solamente una prueba de 250 y 500 V. Combinado con advertencia de tensión y continuidad, además de todas las comodidades y características de seguridad que distinguen a la familia, este es el modelo de elección para las aplicaciones más sencillas.

Si la función básica aún es el objetivo, pero se requiere una prueba de 1 kV, el MIT310 es la opción perfecta. Con la posibilidad de trabajar a tensiones más altas, se ha reforzado el funcionamiento seguro con la inclusión de un voltímetro predeterminado.

Para aquellos que prefieren el tipo análogo mecánico tradicional de instrumento, el MIT310A ofrece todo lo necesario que posee el MIT310, pero con una pantalla de bovina móvil. La pantalla análoga se ve realizada con adhesivos en negro sobre un fondo blanco para proporcionar un alto contraste y una mejor visibilidad.

La familia se completa con los MIT320 y MIT330, que cuentan con todas las funciones. La versión anterior agrega un rango en kilohmios para efectuar mediciones entre los extremos de continuidad y de alta tensión. Con esta característica, se pueden llevar a cabo mediciones de forma continua desde  $0,01 \Omega$  hasta  $999 \text{ M}\Omega$ . Una pantalla con retroiluminación se ve realizada aún más con las selecciones de retroiluminación para que tanto la configuración como los resultados sean visibles con poca luz. El MIT320 también ofrece alarmas audibles en los rangos de megohmios y continuidad, ajustables en toda la gama.

Finalmente, el MIT330 ofrece todo lo descrito en el MIT320, además de un almacenamiento de hasta 1000 resultados, que se pueden descargar a través de un puerto USB mediante el software incluido, y una indicación visual de memoria restante.



MIT310 de Megger



MIT230 de Megger

## SERIE MIT200 DE MEGGER

¿Solo necesita pruebas de continuidad y aislamiento básicas de 1 kV, con ahorro como consideración primordial? ¡No hay necesidad de hacer sacrificios! Megger ofrece la única línea de alta calidad de probadores económicos en el mercado: la serie MIT200. Aunque se diseñaron considerando el ahorro, estos probadores no ocasionan pérdidas de calidad ni fiabilidad, que el nombre Megger implica. Además, no se ha sacrificado la seguridad, que es un problema grave con los probadores económicos que han reducido los costos, con el riesgo de un arco eléctrico y error del operador.

Hay cuatro modelos disponibles, que difieren solo en las tensiones de prueba que se ofrecen: El MIT200 es un modelo de 500 V para aplicaciones estándar; el MIT210 es un modelo de 1 kV, en el que la mayor tensión de prueba está en orden; el MIT220 ofrece dos tensiones, 250 y 500, para las aplicaciones más sensibles, en las que se deben evitar las pruebas de 1 kV; para aplicaciones de espectro completo, el MIT230 ofrece las tres tensiones: 250, 500 y 1 kV.

**Megger**<sup>®</sup>  
Power on

Stitch\_2017

La palabra 'Megger' es marca comercial  
registrada

Copyright © 2017

Calle Florida 1 Nave 16 P.E. Villapark  
28670 Villaviciosa de Odón

Madrid España

T: +34 916 16 54 96

E: [info.es@megger.com](mailto:info.es@megger.com)  
[es.megger.com](http://es.megger.com)

