

GUÍA RÁPIDA FORMATIVA

MEDICIÓN DE AISLAMIENTO



►► TEMPER ENERGY INTERNATIONAL S.L.

INTRODUCCIÓN



"Desde Temper, aportamos soluciones para las inspecciones periódicas de las instalaciones eléctricas"

Es necesario que el conjunto de instalaciones y equipos eléctricos respeten unas características de aislamiento para garantizar su funcionamiento con total seguridad. Ya sea a nivel de los cables de conexión, de los dispositivos de seccionamiento y de protección o a nivel de los motores y generadores, el aislamiento de los conductores eléctricos se consigue con materiales que presentan una fuerte resistencia eléctrica para limitar al máximo la circulación de corrientes de fuga de los conductores.

La calidad de estos aislamientos se ve mermada al cabo de los años por las exigencias a las que se someten los equipos. Esta alteración provoca una reducción de la resistividad eléctrica de los aislantes que tiene como consecuencia un aumento de las corrientes de fuga.

A parte de las mediciones tomadas durante la puesta en funcionamiento de elementos nuevos o renovados, el control periódico del aislamiento de las instalaciones y equipos eléctricos permite evitar dichos accidentes mediante el mantenimiento preventivo. Éste permite detectar el envejecimiento y la degradación prematura de las características de aislamiento antes de que supongan un problema para la seguridad de las personas y un aumento de los costes por paradas de producción en la industria.

Llegados a este punto, conviene diferenciar entre dos tipos de medición que se confunden a menudo: la prueba dieléctrica y la medición de la resistencia del aislamiento. La prueba de rigidez dieléctrica, también conocida comúnmente como "prueba de perforación" mide la capacidad de un aislante de aguantar una sobretensión de duración media sin que se produzca una descarga disruptiva. En una situación real, esta sobretensión puede deberse a un rayo o a la inducción generada por un defecto en una línea de transporte de energía. El objetivo principal de esta prueba es garantizar que se respeten las normas de construcción relativas a las líneas de fuga y a las distancias de aislamiento.

La prueba se suele realizar aplicando tensión alterna, pero se puede realizar igualmente con tensión continua. El instrumento necesario para este tipo de medición es un **medidor de rigidez dieléctrica**⁽¹⁾. El resultado obtenido es un valor de tensión normalmente expresado en kilovoltios (kV). La prueba de rigidez dieléctrica tiene un carácter más o menos destructivo en caso de defecto, según los niveles de las pruebas y la energía disponible en el aparato. Por esta razón se limita a los ensayos de tipo en equipos nuevos o renovados.

Nota: Consulta nuestros equipos para estas mediciones en la página

Por su parte, la medición de la resistencia del aislamiento, en condiciones normales, no es destructiva. Se lleva a cabo aplicando una tensión continua de magnitud inferior a la de la prueba dieléctrica y da un resultado expresado en kW, MW, GW incluso TW. Esta resistencia expresa la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores. Su naturaleza no destructiva (puesto que la energía es limitada) hace que esta prueba sea especialmente interesante para el seguimiento del envejecimiento de los aislantes durante el período de explotación de un equipo o de una instalación eléctrica. Esta medición se lleva a cabo mediante un comprobador de aislamiento llamado **megaóhmetro**.⁽²⁾

AISLAMIENTO Y CAUSAS DE FALLO DE AISLAMIENTO



La medición del aislamiento mediante un megaóhmetro es parte de una política de mantenimiento preventivo, y es necesario comprender las diferentes causas que provocan la degradación del rendimiento del aislamiento para poder llevar a cabo la implantación de medidas para corregir la degradación. Estas causas de fallo del aislamiento se pueden clasificar en cinco grupos, siempre teniendo en cuenta que estas distintas causas se suman entre ellas en ausencia de medidas correctivas para dar lugar a los incidentes anteriormente citados.

1 Fatiga de origen eléctrico

Relacionada principalmente con fenómenos de sobretensión y caídas de tensión.

2 Fatiga de origen mecánico

Los ciclos de puesta en marcha y paro, sobre todo si son frecuentes, los defectos de equilibrado de máquinas rotativas y todos los golpes directos contra los cables y, de forma más general, contra las instalaciones.

3 Fatiga de origen químico

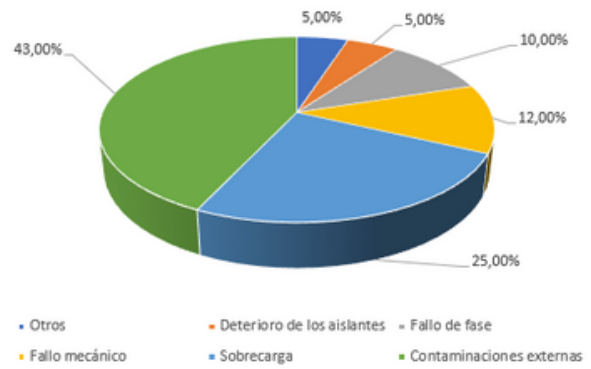
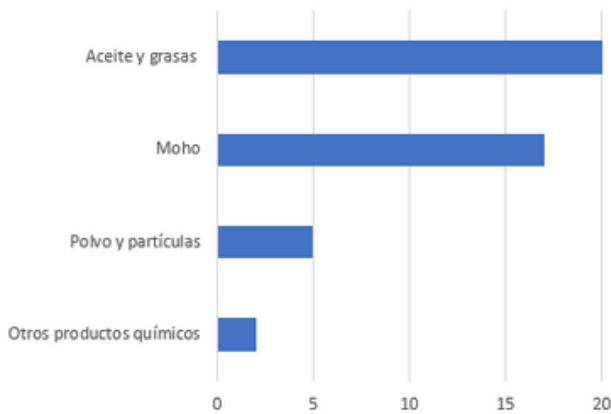
La proximidad de productos químicos, de aceites, de vapores corrosivos y de modo general, el polvo, afectan el rendimiento del aislamiento de los materiales.

4 La fatiga relacionada con los cambios de temperatura

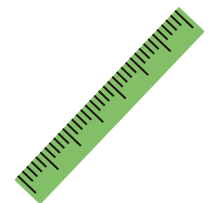
En combinación con la fatiga mecánica provocada por los ciclos de puesta en marcha y parada de los equipos, las exigencias de la dilatación o contracción afectan las características de los materiales aislantes. El funcionamiento a temperaturas extremas es también un factor de envejecimiento de los materiales.

5 La contaminación ambiente

La aparición de moho y la acumulación de partículas en entornos húmedos y calurosos provocan también la degradación de las características de aislamiento de las instalaciones. El control periódico del aislamiento de una instalación o de un equipo permite así vigilar esta degradación e intervenir antes del fallo total.



PRINCIPIO DE LA MEDICIÓN DEL AISLAMIENTO Y FACTORES DE INFLUENCIA



La medición de la resistencia se basa en la ley de Ohm. Al aplicar una tensión continua con un valor conocido e inferior al de la prueba dieléctrica y a continuación medir la corriente en circulación, es posible determinar fácilmente el valor de la resistencia. Por principio, la resistencia del aislamiento presenta un valor muy elevado pero no infinito, por lo tanto, mediante la medición de la débil corriente en circulación el megaohmetro indica el valor de la resistencia del aislamiento con un resultado en kW, MW, GW, incluso en TW en algunos modelos. Esta resistencia muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corrientes de fuga.

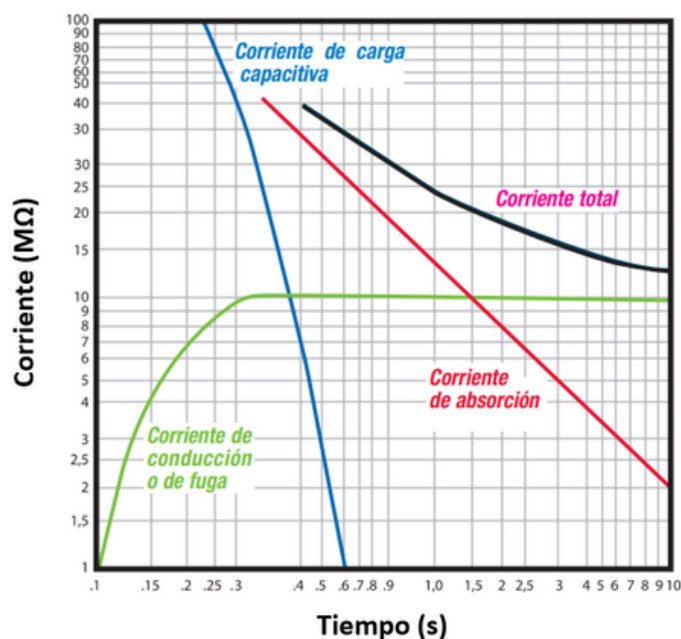
Existe un cierto número de factores que afectan el valor de la resistencia del aislamiento, así pues el valor de la corriente que circula cuando se aplica una tensión constante al circuito durante la prueba puede variar. Estos factores, por ejemplo la temperatura o la humedad, pueden modificar considerablemente la medición. Analicemos primero partiendo de la hipótesis de que estos factores no influyen la medición, la naturaleza de las corriente:

LA CORRIENTE TOTAL QUE CIRCULA EN EL CUERPO DEL AISLANTE ES LA SUMA DE TRES COMPONENTES

- La corriente de carga capacitiva, correspondiente a la carga de la capacidad del aislamiento probado. Esta corriente es transitoria, relativamente elevada al principio, y disminuye exponencialmente hacia un valor cercano a cero una vez el circuito probado está cargado eléctricamente (de forma similar a la carga de una capacidad). Al cabo de unos segundos o de unas decenas de segundos, esta corriente resulta inapreciable comparada con la corriente que se mide.

- La corriente de absorción corresponde a la aportación de energía necesaria para que las moléculas del aislante se reorienten bajo el efecto del campo eléctrico aplicado. Esta corriente decrece mucho más lentamente que la corriente de carga capacitiva y requiere más minutos para alcanzar un valor próximo a cero.
- Corriente de fuga o corriente de conducción. Esta corriente indica la calidad del aislamiento, es estable en el tiempo.

El gráfico siguiente ilustra la naturaleza de estas tres corrientes en función del tiempo (cabe señalar que la escala de tiempo es orientativa y puede variar según el aislamiento que se está probando):



La corriente total que circula por el aislante que se está probando es variable en el tiempo, lo cual implica una gran variación resultante del valor de resistencia de aislamiento ya que el circuito está alimentado con tensión constante.

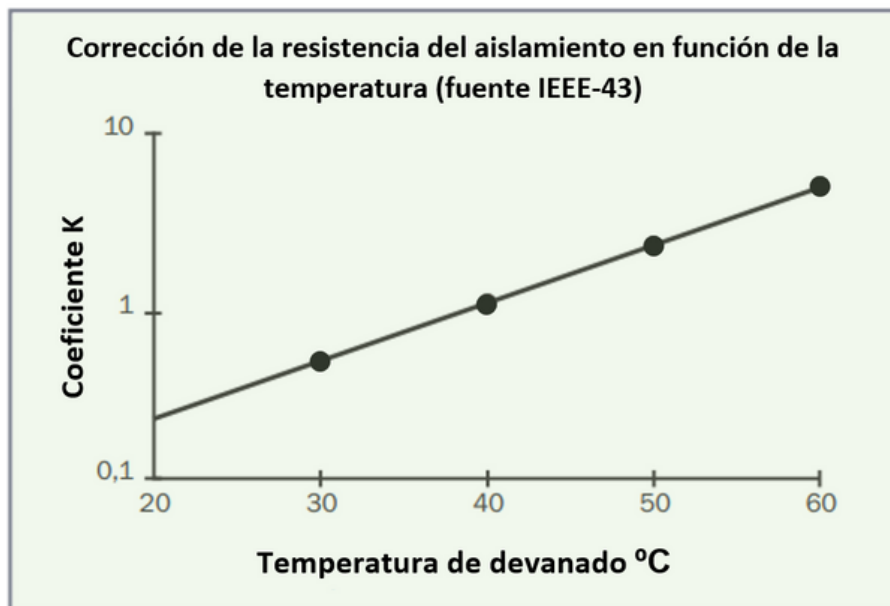
Antes de abordar detalladamente los diversos métodos de medida, es conveniente retomar los factores de influencia de la medida de resistencia de aislamiento.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

La temperatura hace variar el valor de la resistencia de aislamiento según una ley casi exponencial. Dentro de un programa de mantenimiento preventivo, es conveniente realizar medidas en condiciones de temperatura similares o, en el caso de que no resultara posible, corregirlas para acercarlas a unas condiciones de temperatura de referencia. Como ejemplo y aproximación rápida, un incremento de 10 °C se traduce por una disminución a la mitad de la

resistencia de aislamiento y a la inversa, una disminución de 10 °C de la temperatura duplica el valor de la resistencia de aislamiento.

La tasa de humedad influye sobre el aislamiento en función del nivel de contaminación de las superficies aislantes. Siempre hay que procurar no realizar una medida de resistencia de aislamiento si la temperatura es inferior a la del punto de rocío.



MÉTODOS DE MEDIDA E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

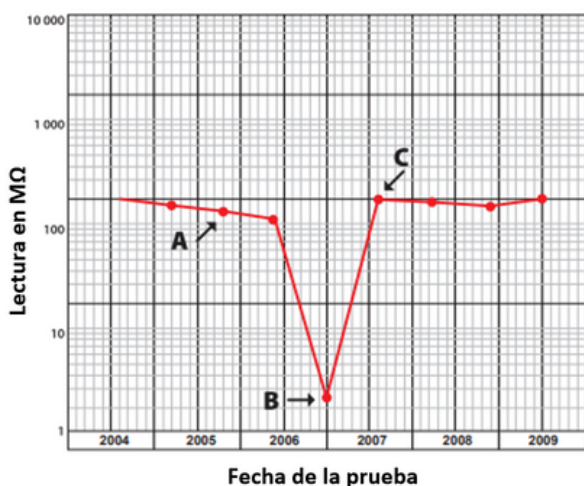


MEDIDA PUNTUAL O A CORTO PLAZO

Este método es el más sencillo, consiste en aplicar la tensión del ensayo durante un corto plazo de tiempo (30 ó 60 segundos) y en tomar nota del valor de la resistencia de aislamiento obtenido en este instante. Tal y como se ha mencionado anteriormente, esta medida directa de la resistencia de aislamiento se ve altamente perturbada por la temperatura y la humedad; por lo tanto es conveniente normalizar la medida a una temperatura estándar y leer el nivel de humedad para poder cotejar el resultado obtenido con las anteriores medidas. Con este método, se puede analizar la tendencia a lo largo del tiempo, lo cual es más representativo de la evolución de las características de aislamiento de la instalación o del equipo que se está probando.

El valor obtenido también se puede comparar con los umbrales mínimos a cumplir indicados en las normas relativas a las instalaciones o a los materiales eléctricos.

La interpretación de la evolución de las medidas periódicas permite, si las condiciones de medida se mantienen idénticas (misma tensión de ensayo, mismo tiempo de medición...), establecer un diagnóstico correcto acerca del aislamiento de la instalación o del material. Además del valor absoluto, conviene analizar sobre todo la variación en función del tiempo. Así, una lectura que muestra un valor relativamente bajo de aislamiento, pero muy estable en el tiempo, es en principio menos alarmante que una gran disminución en el tiempo de una lectura de aislamiento (incluso si ésta se sitúa por encima de los mínimos recomendados). En general, cualquier variación brusca en descenso de la resistencia de aislamiento es un indicador de un problema a indagar.



Durante el periodo **A**, la resistencia de aislamiento disminuye bajo el efecto del envejecimiento y de la acumulación de polvo.

En **B**, la disminución rápida indica un defecto de aislamiento.

En **C**, se ha reparado el fallo (rebobinado del motor) y la resistencia de aislamiento vuelve a un nivel alto con una tendencia estable en el tiempo.

MÉTODO BASADO EN LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA TENSIÓN DE ENSAYO

Estos métodos consisten en leer valores sucesivos de resistencia de aislamiento en determinados momentos. Presentan la ventaja de ser poco influenciados por la temperatura, lo cual permite aplicarlos con facilidad sin necesidad de corregir los resultados, bajo la condición de que el equipo que se está probando no soporte variaciones significativas de temperatura durante el ensayo.

Se recomiendan en el mantenimiento preventivo de las máquinas rotativas y al control de sus aislantes.

En el caso de un aislante en buen estado, la corriente de fuga o corriente de conducción es débil y la medición está altamente influenciada por las corrientes de carga capacitiva y de absorción dieléctrica. La medición de la resistencia de aislamiento aumentará, por lo tanto, durante el tiempo de aplicación de la tensión de ensayo, ya que estas corrientes parásitas disminuyen. Depende de la naturaleza de los aislantes el tiempo a partir del cual la medición de un aislamiento será estable.

En el caso de un aislamiento incorrecto (deteriorado, sucio y húmedo), la corriente de fuga o corriente de conducción es muy fuerte, constante y sobrepasa las corrientes de carga capacitiva y de absorción dieléctrica; la medición de la resistencia de aislamiento alcanzará en este caso, muy rápidamente, un nivel constante y estable.

Se puede determinar la calidad del aislamiento mediante el examen de las variaciones del valor del aislamiento en función de la duración de aplicación de la tensión de ensayo. Este método permite sacar conclusiones incluso si no hay historial de las medidas de aislamiento. Se recomienda sin embargo, dentro de un programa de mantenimiento preventivo, guardar las medidas periódicas. El análisis de las variaciones relativas, como en el caso de la medición a corto plazo, da informaciones correctas especialmente en los casos de grandes y bruscas variaciones en ausencia de algún acontecimiento externo identificado.

ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI)

En esta aplicación de las mediciones basadas sobre la influencia del tiempo de aplicación de la tensión de ensayo, se efectúan dos lecturas a 1 y a 10 minutos respectivamente. La ratio sin dimensión de la resistencia de aislamiento a 10 minutos sobre la de un 1 minuto se llama Índice de Polarización (PI) y permite definir la calidad del aislamiento.

Cabe destacar que el método de medida mediante lectura del índice de polarización es apropiado para el control de los circuitos aislantes sólidos; por consiguiente, no se recomienda para equipos de tipo transformadores de aceite para los que daría resultados débiles incluso en situaciones de buenas condiciones de aislamiento.

$$PI = R_{\text{aislamiento a 10 minutos}} / R_{\text{aislamiento a los 30 segundos}}$$

RELACIÓN DE ABSORCIÓN DIELECTRICA (DAR)

Para instalaciones o equipos que contengan aislantes en los cuales la corriente de absorción disminuye rápidamente, la lectura de las resistencias de aislamiento a los 30 y a los 60 segundos puede ser suficiente para calificar el aislamiento. La DAR se define de la siguiente forma:

$$DAR = R_{\text{aislamiento a los 60 segundos}} / R_{\text{aislamiento a los 30 segundos}}$$

VALOR DEL DAR	CONDICIÓN DE AISLAMIENTO
< 1.25	Insuficiente
< 1.6	OK
> 1.6	Excelente

MÉTODO BASADO EN LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN DE ENSAYO (MEDICIÓN POR ESCALONES)

Las medidas basadas en el tiempo de aplicación de la tensión de prueba (PI, DAR...) suelen revelar la presencia de contaminantes (polvo, suciedad...) o de humedad en la superficie de los aislantes. No obstante, el envejecimiento de los aislantes o ciertos daños mecánicos pueden escapar a veces a este tipo de ensayo practicado con una tensión débil en relación a la tensión dieléctrica del aislante probado. Un aumento significativo de la tensión de ensayo aplicada puede, en cambio, ocasionar la ruptura de estos puntos débiles, lo que se traduce en una disminución sensible del valor de aislamiento medido.

Debe realizarse una prueba en escala, repartiendo en 5 escalones iguales la tensión máxima a aplicar y una duración idéntica, 1 minuto típicamente, quedando por debajo de la tensión clásica de ensayo dieléctrico ($2 U_n + 1.000 \text{ V}$). Los resultados de este método son totalmente independientes del tipo de aislantes y de la temperatura, puesto que no se basa en el valor intrínseco de los aislamientos medidos sino en la disminución efectiva del valor leído al cabo de un tiempo idéntico, para dos tensiones de ensayo diferentes.

Una disminución del 25 % o más de la resistencia de aislamiento entre dos escalones consecutivos es una señal de deterioro del aislamiento habitualmente relacionado con la presencia de contaminantes.

MÉTODO DE PRUEBA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD)

La prueba de descarga dieléctrica DD también denominada prueba de corriente de reabsorción se efectúa midiendo la corriente durante la descarga del dieléctrico del equipo que se está probando.

Puesto que el conjunto de los tres componentes de la corriente (carga capacitiva, polarización y fugas) están presentes durante una prueba estándar de aislamiento, la determinación de la corriente de polarización o de absorción se ve potencialmente afectada por la presencia de la corriente de fuga.

Más que intentar medir la corriente de polarización durante la prueba de aislamiento, la prueba de descarga dieléctrica (DD) mide la corriente de despolarización y la corriente de descarga capacitiva al final de la prueba de aislamiento.

El principio de la medición es el siguiente: primero se carga el dispositivo a probar durante un tiempo suficiente hasta alcanzar un estado estable (se alcanza la carga capacitiva y la polarización y la única corriente que circula es la corriente de fuga). Se descarga entonces el dispositivo mediante una resistencia interna del megaohmetro y se mide la corriente que circula. Esta corriente está compuesta por las corrientes de descarga capacitiva y de reabsorción dando la descarga dieléctrica total. Se mide esta corriente tras un tiempo estándar de 1 minuto. La corriente depende de la capacidad global y de la tensión final de la prueba. El valor DD se calcula según la fórmula:

$$DD = \text{Corriente a 1 minuto} / (\text{Tensión de ensayo} \times \text{Capacidad})$$

La prueba DD puede identificar los excesos de corriente de descarga que se producen cuando una de las capas de un aislante multicapas está dañada o contaminada, defecto que puede pasar desapercibido en las pruebas puntuales o pruebas de tipo PI y DAR. La corriente de descarga será superior para una tensión de ensayo y una capacidad dadas si una de las capas de aislamiento falla. El valor constante de tiempo de esta capa individual ya no estará en relación con la de las demás capas, creando un aumento del valor alto de la corriente respecto a un aislamiento correcto. Un aislamiento homogéneo presentará un valor DD igual a cero, un aislamiento multicapas correcto presentará un valor de DD hasta 2. La siguiente tabla indica la calidad del aislamiento en función del valor de DD obtenido

DD	CALIDAD
> 7	Mala
4 a 7	Mediocre
2 a 4	A vigilar
< 2	Buena

Atención: este método de medición depende de la temperatura, convendrá pues intentar realizar la prueba a una temperatura estándar o al menos apuntar ésta con el resultado de la prueba.

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE PRUEBA



La siguiente proporciona las tensiones de prueba recomendadas en función de las tensiones de servicio de las instalaciones y equipos:

TENSIÓN DE SERVICIO CABLE/EQUIPO	TENSIÓN CONTINUA DE PRUEBA
24 a 50 V	50 a 100 VDC
50 a 100 V	100 a 250 VDC
100 a 240 V	250 a 500 VDC
440 a 550 V	500 a 1000 VDC
2400 V	1000 a 2500 VDC
4100 V	1000 a 5000 VDC
5000 a 12000 V	2500 a 5000 VDC
> 12000 V	5000 a 10000 VDC

En España, la norma REBT 2002 prescribe para las instalaciones eléctricas los valores de la tensión de ensayo así como la resistencia de aislamiento mínima (500 VDC y 0,5 MW para una tensión nominal de 50 a 500 VAC).

CONSEJOS



ANTES DEL ENSAYO

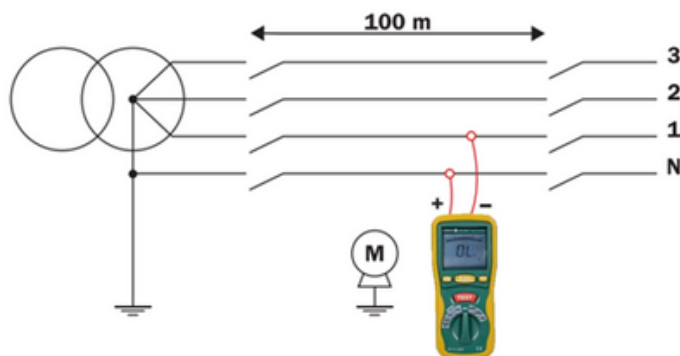
- 1** El ensayo debe efectuarse en una instalación **SIN TENSIÓN** y desconectada para asegurarse de que la tensión de ensayo no se aplicará a otros equipos que podrían estar conectados eléctricamente al circuito que se va a probar.
- 2** Asegurarse de que el circuito está descargado. La descarga puede efectuarse realizando un cortocircuito y/o uniendo a la tierra los terminales del equipo durante un tiempo suficiente (véase tiempo de descarga).
- 3** Se debe considerar una protección especial cuando el dispositivo a probar se encuentra localizado en un entorno inflamable o explosivo, ya que podrían producirse chispas durante la descarga del aislante (antes y después de la prueba) pero también durante la prueba en caso de aislamiento defectuoso.
- 4** Debido a la presencia de tensiones continuas que pueden ser altas, se recomienda reducir al máximo el acceso al personal y llevar equipamiento de protección individual especialmente guantes de protección eléctrica.
- 5** Se deben utilizar cables de conexión apropiados para la prueba a realizar y asegurarse de su perfecto estado. En el mejor de los casos, cables inapropiados inducirán a errores de medición pero sobre todo pueden resultar peligrosos.

TRAS EL ENSAYO

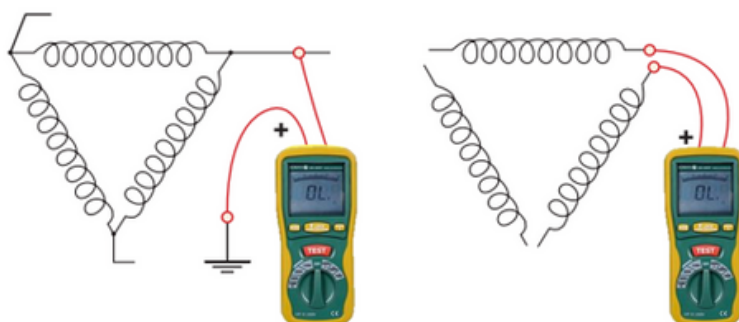
Al final del ensayo, el aislamiento ha acumulado una cantidad de energía que debe descargarse antes de cualquier otra intervención. Una regla sencilla de seguridad consiste en dejar que el equipo se descargue durante un tiempo CINCO veces igual al tiempo de carga (tiempo del último ensayo). Esta descarga se realiza creando un cortocircuito entre los polos y/o uniéndolos a la tierra. Todos los megaóhmetros presentados por Temper Energy S.L. disponen de circuitos internos de descarga que aseguran esta descarga de forma automática y con toda seguridad.

ALGUNOS EJEMPLOS DE PRUEBA DE AISLAMIENTO

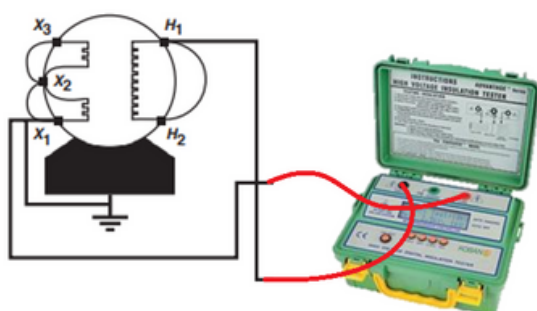
MEDICIÓN DE AISLAMIENTO EN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA



MEDICIÓN DE AISLAMIENTO EN UNA MÁQUINA ROTATIVA



MEDICIÓN DE AISLAMIENTO SOBRE UN TRANSFORMADOR



PRODUCTOS DE MEDIDA DE RIGIDEZ DIELECTRICA



Desde **TEMPER ENERGY INTERNATIONAL S.L.** contamos con productos para la medida de la rigidez dieléctrica con el principal objetivo de garantizar que se respeten las normas de construcción relativas a las líneas de fuga y a las distancias de aislamiento.

KRD-01 (0769705)

El KRD-01 es un medidor de rigidez dieléctrica destinado a la comprobación del estado del aislamiento interno de un equipo, que normalmente será un aislante líquido como es el aceite. Este medidor se basa en la aplicación del test de rigidez dieléctrica, siendo éste uno de los ensayos más importantes de seguridad eléctrica, donde se mide el valor límite de tensión (tensión ruptura) que puede soportar un aislante sin perforarse.



Puede operar con total automatización, ofreciendo una alta precisión. Además, su funcionamiento es fácil, es de pequeño tamaño y es ligero para transportarlo con mayor comodidad.

Tensión de salida	0-80 kV/CA ajustable
Tensión de alimentación	220 V/CA \pm 10%
Frecuencia	50Hz \pm 1Hz
Fuente de alimentación	200 W
Resolución	0,1 kV
Relación de distorsión de tensión	< 3%
Ratio aumento tensión	0,5-5 kV/S (ajustable)
Tiempo de espera	15 min (ajustable)
Intervalo de refuerzo	5 min (ajustable)
Frecuencia de impulso	1-6 veces
Capacidad de impulso	1,5 kVa
Precisión de medición	\pm 3%
Temperatura aplicable	0°C-45°C
Humedad aplicable	< 75% RH
Dimensión global	465x385x425



KRD-01

PRODUCTOS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO



Asimismo también contamos con productos para la medida de la resistencia de aislamiento para ajustándonos a las diferentes aplicaciones e instalaciones de estudio, siempre desde la eficiencia energética.

1.1. **KRA-4000M (0767530)**

Medidor de resistencia de aislamiento digital con categoría de empleo CATIII 1000V. Destinado a realizar mediciones o comprobaciones de resistencia de aislamiento, tensión AC/DC, tensiones de ensayo y continuidad. Dispone de pantalla retroiluminada, detector de partes activas, así como otras diversas características. Permite realizar mediciones de forma rápida en multitud de instalaciones.

1.2. **KRA-4104 (0875840)**

Medidor de resistencia de aislamiento y tensión alterna con pantalla LCD, recomendado para el instalador certificado de alta tensión, cumpliendo con todos los requisitos de equipamiento obligatorios presentes en la norma ITC-LAT 03 del RAT.

1.3. **KCER-01MF (0767532)**

Controlador multifunción de instalaciones para sistemas monofásicos con categoría de empleo CATIV 400V. Permite realizar diferentes tipos de pruebas como resistencia de aislamiento, resistencia de bucle, resistencia de tierra, continuidad, mediciones de tensión y frecuencia, secuencia de fases y comprobación de diferenciales. Permite ofrecer en un solo equipo mediciones necesarias e imprescindibles para la seguridad y el buen funcionamiento de instalaciones de sistemas eléctricos y edificios.



KRA-4000M



KRA-4104



KCER-01MF

Nota: Todos nuestros equipos son de medida puntual o de corto plazo.