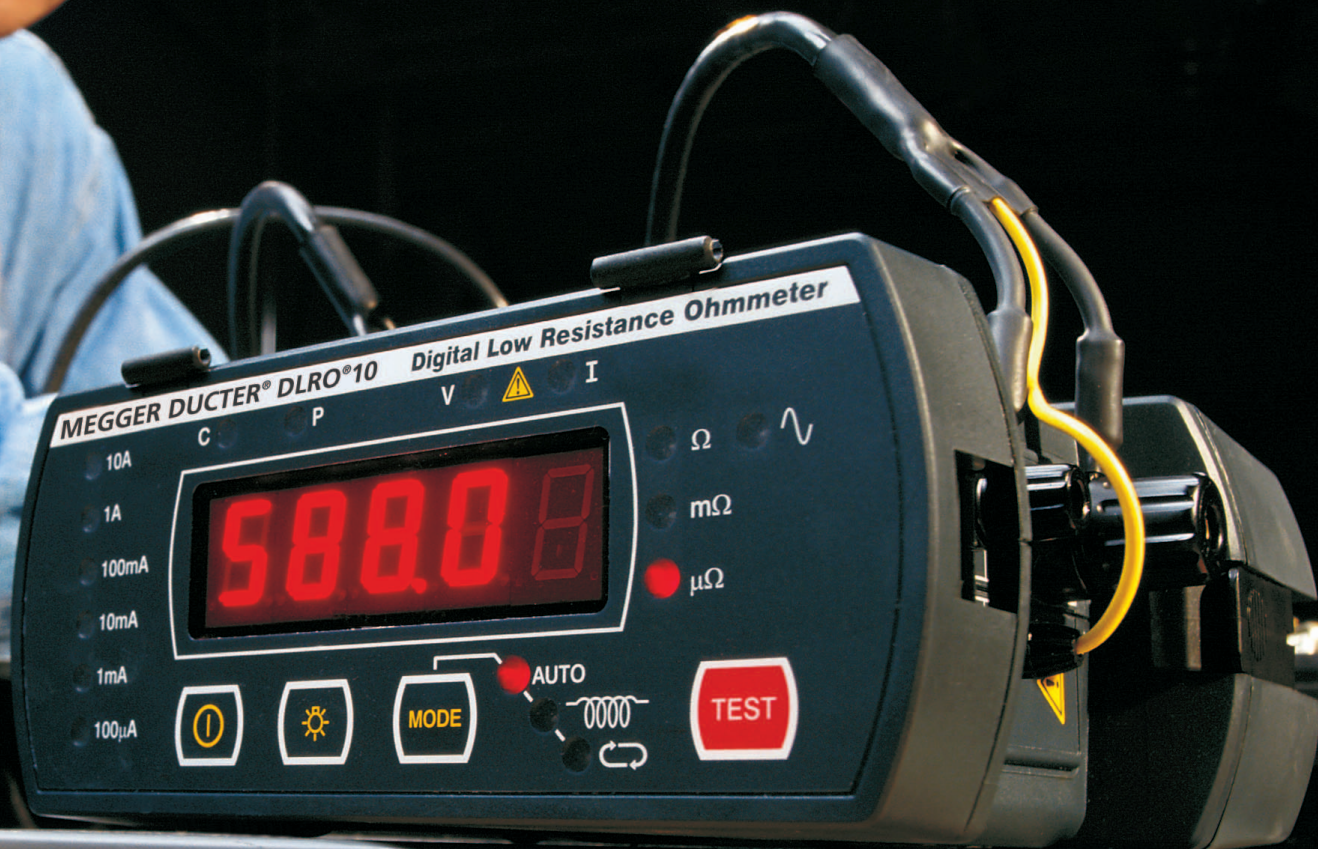


GUIA PARA PRUEBA DE BAJA RESISTENCIA

Entender y medir baja resistencia para asegurar
el rendimiento de un sistema eléctrico



Megger

WWW.MEGGER.COM

Introducción	2	Evaluación/Interpretación de Resultados	14
¿Porqué medir baja resistencia?	3	Repetitivo	14
¿Qué es la medición de baja resistencia?	3	Lecturas Puntuales/Expectativas Base para Lecturas	14
¿Qué le indica al operador la medición de baja resistencia?	3	Tendencia	14
¿Qué problemas crea la necesidad de ejecutar la prueba?	4	Interruptores de Circuito	15
Industrias con problemas significantes de resistencia	4	Sistemas de Reserva con Batería de Respaldo	15
Ejemplos específicos de aparatos que necesitan la prueba de baja resistencia	4	Apéndice	16
Armadura de Motor	5	Fuentes Potenciales de Error/Resultados de Aseguramiento de Calidad	16
Ensamble Automotriz	5	Cables de Prueba/Puntas de Prueba	16
Generación y Distribución de Potencia (juntas, conexiones y barras de alta corriente)	5	Declaración de Precisión	17
Prueba de Transformadores	5	Interferencia	17
Fuente de Poder Ininterrumpible – Puentes de Baterías	5	Suministro de Corriente de Prueba Declarada Bajo Carga	17
Plantas de Cemento y otras Aplicaciones de Procesamiento de Materias Primas	6	Tomando Mediciones en un Plano Estable	17
Interruptores de Circuito	6	Resistividad de Materiales	17
Ensamble de Aviones	7	Efecto de la Temperatura en Valores Medidos de Resistencia	18
Ligadura de Puente y Alambre en Segmentos de Riel (Industria del Ferrocarril)	7	Efectos de la Humedad	19
Electrodos de Grafito	7	Condiciones de Ruido de Fondo, Corriente y Tensión	19
Puntos o Costuras de Soldadura	7	Uso y Mal Uso de Ohmiómetros de Baja Resistencia	19
Carretes de Cable	7	Breve Historia de Ohmiómetros de Baja Resistencia	20
Como se hace la Medición de Resistencia	8	Calibración	20
Mediciones de CD de 2 Hilos, 3 Hilos y 4 Hilos	8	Protección de Ingreso	20
Mediciones de Dos Hilos	8	Varios Modos de Prueba	22
Mediciones de Tres Hilos	9	Modelos Diseñados en los Años 70 y 80	22
Mediciones de Cuatro Hilos	9	Modelos de 10 A Diseñados Recientemente	22
Prueba de CD vs.CA	9	Niveles de Corriente de Prueba Nominal versus Absoluto	22
¿Como Opera un Ohmiómetro de Baja Resistencia?	10	Auto-rango	23
Selección de Corriente	10	Prueba de Transformadores	23
Selección de Puntas de Prueba y Cables	11	Prueba Barra a Barra	24
Prueba de Rango Bajo	11	Prueba de Puentes de Baterías	26
Prueba de Muestras de Prueba “Muertas”	12	Puentes Wheatstone y Kelvin	27
Tipos de Probadores/Como Escoger	12	Puente Wheatstone	27
Milli-Ohmiómetro	12	Puente Kelvin	27
Micro-Ohmiómetro de 10 A	12	Seguridad	28
Micro-Ohmiómetro de 100 A+	12	Descripción General de Productos Megger	29
Ohmiómetro para Transformador	13		
Micro-Ohmiómetro para Laboratorio	13		

INTRODUCCION

El estudio cuantitativo de circuitos eléctricos se originó en 1827, cuando Georg Simon Ohm publicó su famoso libro "Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet" en el cual expuso su teoría completa de electricidad. En este creativo trabajo, él introdujo la relación o "Ley" que lleva su nombre:

$$\text{Resistencia (R)} = \text{Tensión (E)} / \text{Corriente (I)}$$

En esa época, no se habían desarrollado estándares para tensión, corriente y resistencia. La Ley de Ohm expresó el hecho de que la magnitud de la corriente circulando en un circuito depende directamente de las fuerzas o presión eléctricas e inversamente de una propiedad del circuito conocida como resistencia. Obviamente, sin embargo, él no tuvo unidades de la magnitud de los actuales voltios, amperios y ohmios para medir estos parámetros.

Actualmente, los laboratorios han desarrollado elementos de resistencia fabricados con hierro, cobre u otros materiales de aleación disponibles. Los laboratorios necesitaron aleaciones estables que podrían moverse de un lugar a otro para certificar las mediciones bajo revisión. La norma para el ohmio es que tenía que ser estable a la temperatura y con efectos mínimos debido al material conectado al estándar de ohmio.

En 1861, se estableció un comité para desarrollar un estándar de resistencia. Este comité incluía un número de hombres famosos con quienes ahora estamos familiarizados, incluyendo a James Clerk Maxwell, James Prescott Joule, Lord William Thomson Kelvin y Sir Charles Wheatstone. En 1864, se usó como estándar una bobina de alambre de aleación platino-plata sellado en un envase lleno con parafina. Esto se usó durante 20 años mientras se hicieron estudios para un estándar más confiable. Estos estudios continuaron y el antiguo National Bureau of Standards (NBS), conocido ahora como el National Institute of Standards and Technology (NIST), ha controlado el estándar para el "OHMIO." En la actualidad, las industrias usan aleación de Manganina debido

a que tiene un bajo coeficiente de temperatura en forma tal que su resistencia cambia muy poco con la temperatura (ver figura 1). La siguiente tabla "Basic Electrical Measurements" de Melvin B. Stout resalta las propiedades claves de la Manganina.

La EMF térmica contra el cobre indica la actividad de termocupla del material con que se genera una tensión simplemente conectando dos metales diferentes entre sí. El objetivo es minimizar la actividad de termocupla pues introduce error en la medición.

Con el sistema métrico, las mediciones son en metros y la resistividad se determina por un metro cúbico del material. Sin embargo, unidades más prácticas se basan en un centímetro cúbico. Con el sistema USA, la resistividad se define en ohmios por mil pies. El diámetro del alambre se mide en miles circulares (0.001)² y la longitud en pies.

La Figura 1 muestra la curva temperatura-resistencia del alambre de Manganina a 20° C. Para desviadores (shunts) de Manganina, la curva de 20° C se desplaza a 50° C, pues este material operará a una temperatura más alta debido a que la aleación de Manganina se diseñó para uso en bobinas aplicadas para hacer mediciones en condiciones estables de ambiente de cuarto a 20° C. La aleación es modificada por tiras de material usadas en la medición de desviadores, que operan a una temperatura ambiente más alta, hasta 50° C.

El propósito de este folleto es ayudar al ingeniero, técnico u operador a:

- Entender la razón detrás de la prueba de baja resistencia.
- Entender como hacer una medición de baja resistencia.
- Entender como seleccionar al instrumento apropiado para la aplicación de la prueba.
- Entender como interpretar y usar los resultados.

Porcentaje de Composición	Resistividad ⁱⁱ		Coeficiente de Temperatura por °C	emf Térmica Contra Cobre $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
	Microohmios por cm Cúbico	Ohms por Pie en mil Cir.		
Cu 84% Mn 12% Ni 4%	44 $\mu\Omega$	264 Ω	* $\pm 0.00001^{\circ}$	1.7

*La manganina muestra un efecto cero de 20° a 30° C.

i Swoope's Lessons in Practical Electricity; Eighteenth Edition; Erich Hausmann, E.E., ScD.; página 111

ii Swoope's Lessons in Practical Electricity; Eighteenth Edition; Erich Hausmann, E.E., ScD.; página 118

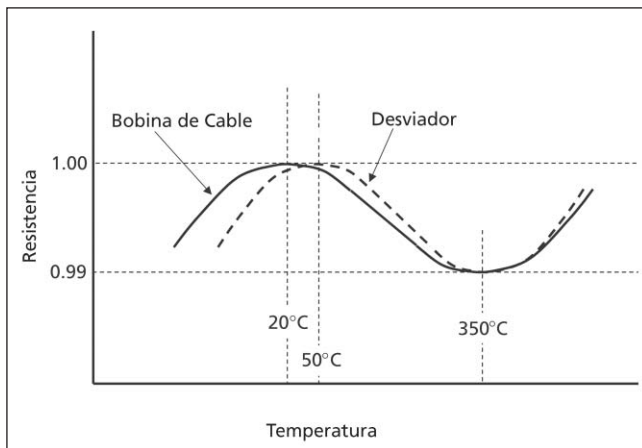


Figura 1: Curva cualitativa de resistencia-temperatura de la manganinaⁱⁱⁱ

¿PORQUE MEDIR BAJA RESISTENCIA?

La medición de baja resistencia ayuda a identificar elementos de resistencia que se han incrementado por arriba de valores aceptables. La operación de equipos eléctricos depende del flujo controlado de corriente dentro de los parámetros de diseño de una pieza dada de equipo. La Ley de Ohm establece que para una fuente específica de energía, operando en VCA o VCD, la magnitud de consumo de corriente dependerá de la resistencia del circuito o componente.

En la era moderna de la electrónica, se ha presentado una demanda incrementada en todos los aspectos de circuitería eléctrica. Años atrás, la capacidad para medir 10 mili-ohmios era aceptable, pero, en el ambiente actual de la electrónica industrial, el ingeniero de prueba de campo requiere hacer mediciones dentro del rango de unos pocos micro-ohmios o menos. Estos tipos de mediciones requieren la característica única del método de prueba de cuatro hilos del ohmímetro de baja resistencia, que se cubre en la página 9 en este folleto.

Se requieren las mediciones de baja resistencia para evitar daño a largo plazo a equipos existentes y para minimizar la energía desperdiciada como calor. Estas mediciones indican cualquier restricción en el flujo de corriente que pueda evitar que una máquina genere su potencia plena o provoque que circule un flujo de corriente insuficiente para activar aparatos de protección en el caso de una falla.

Se hacen pruebas periódicas para evaluar una condición inicial o para identificar cambios inesperados en los valores medidos y la tendencia de estos datos ayuda a indicar y puede pronosticar posibles condiciones de falla. Cambios

excesivos en los valores medidos apuntan a la necesidad de acciones correctivas para evitar una falla mayor. Cuando se hacen mediciones de campo, el operador debe tener valores de referencia que apliquen al aparato bajo prueba (el fabricante debe incluir esta información en la literatura o placa de características suministrada con el aparato). Si las pruebas son una repetición de pruebas anteriores, entonces estos registros se pueden usar también para observar el rango de las mediciones anticipadas.

Si al ejecutar las pruebas, el operador registra los resultados y las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las pruebas, la información se convierte en el inicio de una base de datos que se puede usar para identificar cualquier cambio por fatiga, corrosión, vibración, temperatura u otra condición que pueda ocurrir en el sitio de prueba.

¿Qué es una Medición de Baja Resistencia?

Una medición de baja resistencia es típicamente una medición por debajo de 1.0 ohmio. A este nivel es importante usar equipos de prueba que minimizarán los errores introducidos por la resistencia de los cables de prueba y/o resistencia de contacto entre el probador y el material que se está probando. Además, a este nivel, las tensiones permanentes a través del aparato bajo medición (p.ej. EMFs térmicas en las juntas entre metales diferentes) pueden causar errores que necesitan ser identificados.

Para permitir que una medición compense los errores, se emplea el método de medición de cuatro terminales con una corriente de prueba reversible y un medidor adecuado de Puente Kelvin. Los ohmímetros de baja resistencia están diseñados específicamente para estas aplicaciones. Adicionalmente, el tramo superior en algunos de estos medidores tendrá un rango dentro de kilo-ohmios, que cubre los rangos bajos de un Puente Wheatstone (ver por favor el apéndice para una discusión de los métodos de Puente Wheatstone y Kelvin). El rango más bajo en varios ohmímetros de baja resistencia resolverá 0.1 micro-ohmios. Este nivel de medición se requiere para ejecutar un número de pruebas de resistencia de rango bajo.

¿Qué le Indica al Operador una Medición de Baja Resistencia?

La resistencia (R) es la propiedad de un elemento o circuito que determina, para una corriente dada, la tasa a la cual la energía eléctrica se convierte en calor de acuerdo con la fórmula $W = I^2 R$. La unidad práctica es el ohmio. La medición de baja resistencia indicará al operador observador cuanta degradación existe, o se está creando dentro de un aparato eléctrico.

ⁱⁱⁱ Basic Electrical Measurements; Melvin B. Stout; 1950; página 61

Los cambios en el valor de un elemento de baja resistencia son una de las mejores y más rápidas indicaciones de que está ocurriendo una degradación entre dos puntos de contacto. Alternativamente, las lecturas se pueden comparar con muestras de prueba “parecidas”. Estos elementos incluyen ligaduras de rieles, ligaduras de puesta a tierra, contactos de interruptor de circuito, seccionadores, arrollamientos de transformadores, conexiones de puentes de baterías, arrollamientos de motores, barras de jaula de ardilla, barras con juntas de cable y conexiones de ligaduras a mallas de puesta a tierra.

La medición alertará al operador que se están produciendo cambios en las mediciones iniciales y/o subsecuentes. Estos cambios pueden ocurrir debido a un número de influencias incluyendo temperatura, corrosión química, vibración, pérdida de torque entre superficies en contacto, fatiga y manejo impropio.

Se requiere hacer estas mediciones en un ciclo regular de tiempo a fin de graficar cualquier cambio que esté ocurriendo. Los cambios estacionales pueden ser evidentes cuando se revisen datos de verano e invierno.

¿Qué Problemas Crea la Necesidad de Ejecutar la Prueba?

Asumiendo que un aparato ha sido instalado correctamente, la temperatura, operación, fatiga, vibración y corrosión, todos operan para provocar la degradación gradual del valor de resistencia de un aparato eléctrico. Estas influencias se incrementan sobre un periodo de tiempo hasta que se alcanza un nivel en el cual el aparato no opera más en forma correcta. El factor de degradación crítica será determinado por la aplicación.

El medio ambiente y los ataques químicos son implacables. Aún el aire oxidará materiales orgánicos mientras el ingreso de humedad, aceite y sal degradan las conexiones aún más rápidamente. La corrosión química puede atacar el área de sección transversal de un elemento, reduciendo el área mientras se incrementa la resistencia del componente. Esfuerzos eléctricos, particularmente sobre tensiones o impulsos sostenidos, pueden provocar que se aflojen soldaduras. Los esfuerzos mecánicos de vibración durante la operación pueden también degradar las conexiones, provocando que aumente la resistencia. Estas condiciones resultan en calentamiento excesivo en el punto donde el componente está transportando la corriente nominal, en base de la fórmula $W=I^2R$. Por ejemplo:

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

6000 A a través de una barra de $100 \mu\Omega = 3600$ Vatios, Lo que resulta en un calentamiento excesivo.

Si se los deja sin atención, este tipo de problemas puede conducir a fallas en el sistema eléctrico que contiene los componentes afectados. El calentamiento excesivo resultará finalmente en falla debido a quemaduras que pueden abrir un circuito energizado.

Los suministros de potencia con baterías de respaldo proporcionan un buen ejemplo práctico de cómo puede ocurrir la degradación bajo condiciones normales de operación. Los cambios en el flujo de corriente provocan la expansión y contracción de las conexiones terminales, provocando que las mismas se aflojen o corroan. Adicionalmente, las conexiones están expuestas a vapores ácidos, causando una degradación posterior. Estas condiciones resultan en una disminución del área de contacto superficie-superficie con un incremento asociado de la resistencia de contacto de la mencionada superficie-superficie, causando al final calentamiento excesivo en la junta.

Industrias con Problemas Significantes de Resistencia

La industria que consume vastas cantidades de potencia eléctrica, debe incluir mediciones de ohmiómetros de baja resistencia en sus operaciones de mantenimiento. La anormal alta resistencia no solamente provoca un calentamiento indeseado, posiblemente conduciendo a un peligro, sino que además provoca pérdidas de energía que incrementan los costos de operación; en efecto usted está pagando por energía que no puede usar.

Adicionalmente, existen industrias que tienen especificaciones críticas en conexiones de ligadura para asegurar conexiones sólidas a “mallas de puesta a tierra”. Las conexiones malas reducen la efectividad de la malla de tierra y pueden causar problemas significantes relacionados con calidad de servicio y/o fallas catastróficas en el evento de un frente de onda eléctrico mayor. Un número de operaciones de sub-ensamble suministra componentes a los fabricantes de aviones que especifican conexiones de baja resistencia para la estructura. Las conexiones de puentes entre celdas en un sistema de potencia de baterías de respaldo requieren también de muy baja resistencia. Una lista general de industrias incluyen:

- Generación de potencia y empresas de distribución
- Plantas químicas
- Refinerías
- Minas
- Ferrocarriles
- Empresas de telecomunicaciones
- Fabricantes automotrices
- Fabricantes de aviones
- Cualquiera con sistemas UPS de respaldo con baterías

Ejemplos Específicos de Aparatos que Necesitan Prueba de Baja Resistencia

Como se ha mostrado, los ohmiómetros de baja resistencia tienen aplicación en un amplio rango de industrias y pueden ayudar a identificar un número de problemas que podrían conducir a falla de aparatos. En general las industrias de fabricación, arrollamientos de motores, interruptores de circuito, conexiones de barras, bobinas, ligaduras de puesta a

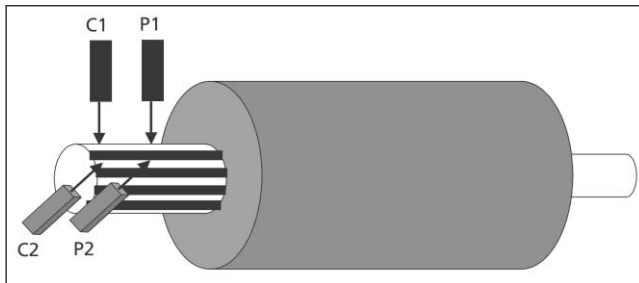


Figura 2: Prueba de Barra-Barra con Motor Rotor CD

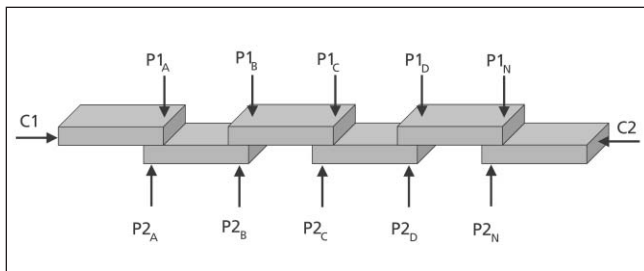


Figura 3: Conexiones de Barra de Distribución

tierra, seccionadores, juntas de soldadura, conductores para descargas atmosféricas, pequeños transformadores y componentes resistivos, todos requieren prueba de baja resistencia. Las siguientes son algunas de las aplicaciones típicas.

Armadura de Motor

Los arrollamientos de armadura se pueden probar para identificar cortos entre bobinas o conductores adyacentes. Las barras de jaula de ardilla en el rotor se pueden separar de las placas de los extremos, resultando en una pérdida de rendimiento. Si un motor aparenta que pierde potencia, se debe ejecutar una prueba de baja resistencia. Alternativamente, las pruebas se pueden hacer cuando se reemplacen rodamientos en el periodo de parada anual.

La prueba barra-barra en rotores de motores de CD se ejecuta para identificar bobinas en corto o abiertas (ver Figura 2). Estas pruebas se ejecutan con puntas de prueba cargadas por resorte. Este es un método dinámico para determinar la condición del arrollamiento y de las conexiones soldadas al conductor vertical en los segmentos del conmutador. Cuando se revisan periódicamente los datos de prueba, se pueden identificar los efectos de sobrecalentamiento debido a un excesivo aumento de temperatura.

Ensamble Automotriz

Los cables de salida en un "robot" soldador de puntos pueden operar reciamente a través de un continuo flexionar. Eventualmente puede ocurrir fatiga causando que se rompan hilos. Esta condición resulta en una alta resistencia del cable con pérdida de potencia a la soldadora, produciendo un punto malo de soldadura (pepitas) o aún una falla completa de la máquina.

Generación y Distribución de Potencia (juntas, conexiones y barras de alta corriente)

Las barras en un sistema de potencia consistente de juntas traslapadas y otras conexiones, se usan para suministrar corriente a los elementos en el sistema. Estas conexiones emperradas se pueden degradar por vibración y corrosión. (ver Figura 3). Los pernos son sometidos a esfuerzos a un ajuste específico (torque), y la manera más rápida y económica de determinar la calidad de la conexión es medir la resistencia a través de la junta. El operador debe tener datos históricos para determinar la conveniencia de la conexión. Si no se corrige, la pérdida de potencia y/o excesivo calentamiento, podrían conducir a una fundición de la conexión.

Prueba de Transformadores

La prueba de la medición de la resistencia CD de los arrollamientos de transformadores se ejecuta en la fábrica y luego periódicamente en el campo. La prueba en la fábrica se ejecuta a temperatura ambiente. Se hace una segunda prueba a potencia nominal en la fábrica para verificar que, a esta potencia, la resistencia de los arrollamientos permanece dentro de sus características diseñadas de aumento de temperatura.

Los grandes transformadores tienen "derivaciones", taps, tanto en el arrollamiento primario como en el secundario. La condición de las derivaciones requiere verificación, puesto que las derivaciones del secundario se operan diariamente y están expuestas a desgaste y vibración excesivos según el sistema de potencia balancea la carga transportada en los diferentes circuitos. Las derivaciones en el lado primario son críticas para ajustes mayores en la distribución de potencia y se deben probar para asegurar que está disponible una conexión de baja resistencia para la nueva condición de potencia. Las derivaciones se pueden corroer cuando no están en uso y se pueden recalentar debido a la alta corriente (que puede resultar en un incendio).

Fuente de Poder Ininterrumpible – Puentes de Baterías

En las baterías industriales conectadas en serie, los puentes (barras de cobre recubiertas de plomo) están asegurados a los terminales en baterías adyacentes, (+) a (-), con pernos de acero inoxidable. Estas superficies se limpian, engrasan y ajustan a un valor preajustado de torque. Como se indicó previamente, están sujetas a vibración, corrosión química y calor, debido a la carga y descarga de alta corriente asociadas con la aplicación. La manera más rápida y mejor para determinar la calidad de las conexiones es medir la resistencia entre los terminales de dos baterías adyacentes (ver Figuras 4 y 5). Esta es la única aplicación de campo en la cual el operador hace mediciones en un sistema energizado. Vea por favor el apéndice para más detalles en la prueba de puentes de baterías.

Note por favor que existen varios niveles de “corriente flotante” en un sistema de baterías y el procedimiento de prueba debe considerar este flujo de corriente. Se ejecuta una prueba con la corriente de prueba adicionada a la corriente flotante y se hace una segunda prueba con la corriente de prueba opuesta a la corriente flotante. Estas dos mediciones se promedian para determinar el valor “óhmico” de la conexión.

Los procedimientos estándar requieren mediciones en una programación regular, pues la experiencia pasada ha determinado que los puentes de baterías son uno de los elementos más débiles en la operación de un sistema de baterías. Cuando no se los atiende con un programa regular de pruebas, se pueden desarrollar conexiones de alta resistencia. Esta situación puede resultar en que la batería sea incapaz de suministrar suficiente corriente cuando se lo requiera o, cuando se combine con frentes de onda de corriente y gas hidrógeno desarrollado en las celdas de la batería, pueden causar un incendio en el sistema de baterías, destruyendo el UPS.

Tiras de soporte “soportan” las placas en una celda. Las placas cuelgan de las tiras de soporte dentro del líquido en la celda. Si la resistencia del terminal a la tira de soporte es demasiado alta, se limita la capacidad de la batería para transportar corriente. Adicionalmente a la medición de la resistencia de los puentes, se puede usar también un ohmímetro de baja resistencia para medir la calidad de estas soldaduras (ver Figura 6).

Plantas de Cemento y otras Aplicaciones de Procesamiento de Materia Prima

El sistema eléctrico en una planta de cemento u otras instalaciones de procesamiento de materia prima, incluye motores, relés, seccionadores desconectores, etc. La prueba de estos elementos transportadores de potencia como parte de un programa regular o cuando se hacen modernizaciones mayores es crítica para la operación continua de la planta. La calidad de las conexiones de corriente puede identificar elementos o conexiones débiles en el sistema. Note que el polvo de cemento es químicamente activo (corrosivo) y atacará conexiones metálicas.

Interruptores de Circuito

Debido al arco en las placas de los interruptores de circuito, se formarán capas carbonizadas y se reducirá o picará el área de contactos vivos, provocando el incremento de resistencia y calentamiento. Esta situación reduce la eficiencia del interruptor y puede conducir a fallas en un sistema activo de transmisión, resultando en la pérdida de una subestación. Cuando se planifique una prueba, el operador debe estar conciente de las normas IEC62271-100 y ANSI C37.09 para los requerimientos de corrientes de prueba. Cuando se prueben grandes interruptores de circuito en aceite, el mejor

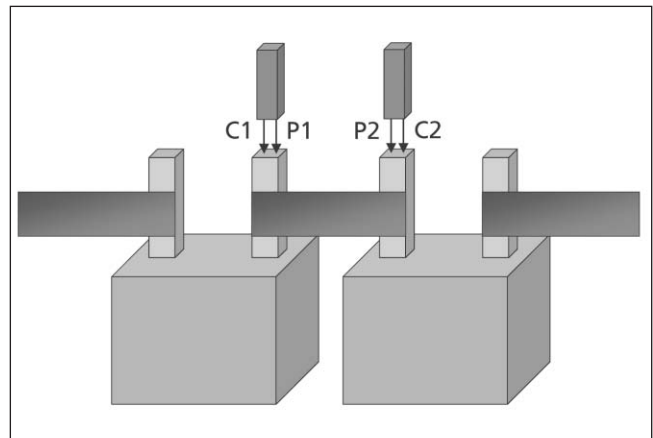


Figura 4: Puente de Batería único con dos Superficies de Contacto

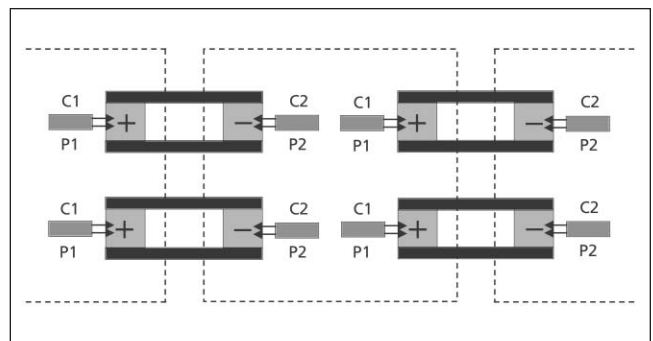


Figura 5: Puentes de Batería Paralelos en un Complejo de Batería Grande

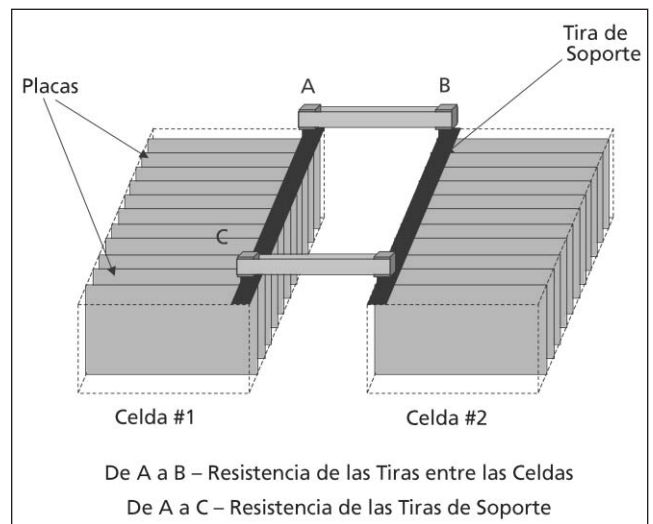


Figura 6: Medición de Resistencia de Tira de Soporte

instrumento es uno que incrementa en rampa la corriente, reteniéndola por un periodo de tiempo y luego disminuirla en rampa. Este método de prueba reduce la magnetización, que de otra manera se podría presentar por la conmutación súbita de conexión y desconexión de la corriente de prueba. Esto puede resultar en mediciones inexactas de los “TC” cuando el sistema retorna a operación normal de CA.

Se debe tener cuidado cuando se hace una medición a través de un TC pues altas corrientes de CD pueden saturarlo, desensibilizándolo para fallas potenciales. Además, el rizo en la corriente de prueba puede provocar que dispare el interruptor de circuito. La ubicación cuidadosa de las puntas de prueba de corriente evitaría que ocurra esto, y el rizo presente en la forma de onda de corriente se puede minimizar separando los cables de prueba.

Ensamble de Aviones

Se requiere la prueba de ligadura en todas las conexiones eléctricas y mecánicas de la estructura principal, para asegurar un “plano de tierra” estable dentro de un avión. Estas conexiones de “ligaduras” físicas proporcionan una ruta uniforme para que sea descargada la electricidad estática a los descargadores de electricidad estática (wicks) en el borde posterior del ensamble de alas y cola. Esta ruta reduce la oportunidad de que las descargas atmosféricas dañen el avión en el evento de un impacto de rayo. Al pasar el tiempo se debe inspeccionar la ligadura de los descargadores de estática, antenas, varillaje de control y terminales de batería. Se debe verificar y documentar también la integridad del sistema de escape soldado. En operaciones normales, la excesiva electricidad estática no afectará la operación de la mayoría de los sistemas de navegación y comunicaciones. La mejor (más baja) resistencia de conexiones mejorará el comportamiento de tales sistemas.

Ligaduras de Puentes y Alambres entre Segmentos de Rieles (Industria del Ferrocarril)

En el ambiente de ferrocarril, las ligaduras están expuestas a vibración al pasar las ruedas sobre los rieles (cada click-clack provoca vibración a través de la interfaz que liga el puente al riel). Estas ligaduras son parte del sistema de control que indica al operador la ubicación de los diferentes trenes. Dentro del sistema de rieles, un sistema telefónico usa los conductores de riel para comunicarse. La resistencia de estas ligaduras es crítica para el comportamiento del sistema de control. En sistemas que usan tres rieles, el tercer riel es la fuente activa de potencia para la máquina y la pérdida de potencia a través de una ligadura de alta resistencia (tal como una mala junta Cadweld), reduce la eficiencia del sistema de tránsito. El operador puede seleccionar una sección de cinco pies de riel sin una ligadura, hacer una medición y luego medir una sección de cinco pies con una ligadura para determinar la calidad de la conexión. Como regla práctica, estas mediciones deben estar dentro de unos pocos micro-ohmios (o $\pm 5\%$).

Electrodos de Grafito

Los electrodos de grafito tienen una característica de temperatura negativa. (Al incrementarse la temperatura del elemento, disminuirá la medición de resistencia). Se troquelean (extrude) trozos de grafito como cilindros de gran diámetro que pueden tener hasta seis pies de longitud. Una de las aplicaciones de estos grandes trozos es en las refinerías de aluminio donde se usan altas corrientes (150,000 A) para reducir el mineral bauxita a aluminio de alto grado.

Se hace la prueba de baja resistencia como un paso de control de calidad para verificar la densidad del troquelado de grafito. Debido al tamaño de los electrodos, esta prueba requiere un equipo especial de prueba para introducir la corriente de prueba a través de la superficie de los extremos, asegurando una densidad uniforme de corriente a través del volumen de la muestra. Las puntas de prueba de potencial se conectan entonces a través de una longitud conocida de la muestra para determinar los “ohmios por unidad de longitud” (ver Figura 7 en la siguiente página).

Punto o Costura de Soldadura

Se puede determinar la calidad de un punto de soldadura midiendo la resistencia a través de los materiales unidos. Se puede determinar la calidad de las costuras de soldadura con una serie de pruebas a lo largo de la costura. Las lecturas deben permanecer dentro de una banda angosta de valores. Un incremento y luego una disminución en las lecturas es una indicación de que la uniformidad de la soldadura está fuera de especificación. Para hacer las mediciones apropiadamente, el operador debe fabricar un equipo para mantener las puntas de prueba en una relación fija. Se toman entonces las lecturas en algunos puntos a través de la costura de soldadura y se grafican (ver Figura 8). Estas mediciones están normalmente en la región de micro-ohmios y se requiere tener cuidado en el diseño del equipo de prueba.

Carretes de Cables

Un carrete de cable aislado de cobre puede tener una etiqueta que indique el calibre del cable junto con los ohmios por unidad de longitud. Cuando sobra cable en el carrete después de uso parcial, la longitud sobrante se puede calcular midiendo la resistencia del cable y haciendo cálculos usando la especificación de ohmios por longitud (ver Figura 9).

Alternativamente, si está destruida la etiqueta, el operador puede cortar una longitud de cable conocida, medir la muestra y determinar los ohmios por unidad de longitud. Este valor se puede usar entonces con las lecturas tomadas cuando se midió el saldo de cable en el carrete para calcular la longitud sobrante. La temperatura del carrete de cable será aproximadamente la misma de la temperatura de la muestra. Aunque la temperatura interna del carrete puede ser ligeramente diferente, se puede calcular un estimado razonable de la longitud de cable sobrante. Si el operador

revisa los gráficos de temperatura de las páginas 18 y 19 en este libro, se puede determinar un estimado de inexactitud. Este método aplica además a cables de aluminio y acero con tal de que el cable tenga una chaqueta aislante para evitar los cortos entre vueltas adyacentes del cable.

COMO SE HACE LA MEDICION DE RESISTENCIA

Mediciones de CD de 2 hilos, 3 hilos y 4 hilos

¿Porqué tenemos instrumentos de medición de resistencia, algunos únicamente con dos cables de prueba, algunos con tres y aún algunos con cuatro cables de prueba? La respuesta depende del grado de información requerido de la medición y la magnitud de la resistencia que se mide. Las lecturas de resistencia cubren un amplio rango de valores desde micro-ohmios a la región de miles de mega-ohmios. La Figura 10 muestra el rango de medición en el cual cada tipo de instrumento rinde más.

Mediciones de Dos Hilos

La prueba de dos hilos es el método más simple y se usa para hacer una valoración general de un elemento de circuito, conductor, o la ruta de un conductor en un circuito. La configuración de dos cables de prueba es la más familiar para muchos operadores pues es la configuración usada en la mayoría de los multímetros. Se usa generalmente cuando la resistencia de contacto de la punta de prueba, resistencia de cables de prueba en serie o resistencia de fuga en paralelo no degrada la calidad de la medición, más allá de un punto aceptable al operador.

El valor medido incluirá la resistencia del cable de prueba y los valores de resistencia de contacto de la punta de prueba, que afectarán las mediciones adicionando algunas décimas de mili-ohmios a la resistencia real. En la mayoría de los casos, esto provocará una diferencia práctica pequeña con el valor medido, pero cuando la medición es por debajo de 1.0 ohmio, el método de dos hilos puede introducir fácilmente un error, que podría ser de algún porcentaje dentro del valor de resistencia medido.

Las especificaciones de algunos medidores manuales indican un rango de 200 mili-ohmios con sensibilidad de un mili-ohmio. La resistencia del cable de prueba se puede encerrar, pero deja la incertidumbre de las resistencias de contacto, que pueden cambiar con cada medición. Los valores de resistencia de contacto pueden estar en el rango de 35 mili-ohmios en cada punta de prueba y pueden variar con la temperatura del material bajo investigación.

El método de prueba de dos hilos es el mejor para usarlo en lecturas sobre 10.00 ohmios hasta 10.0 mega-ohmios.

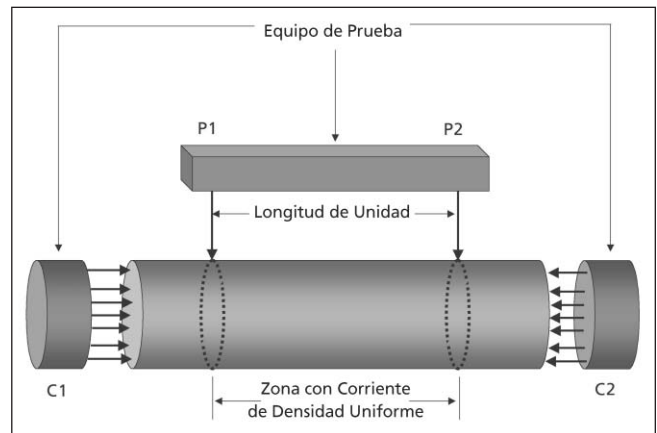


Figura 7: Prueba de Densidad Uniforme con Trozos de Grafito (ohms/pulgada)

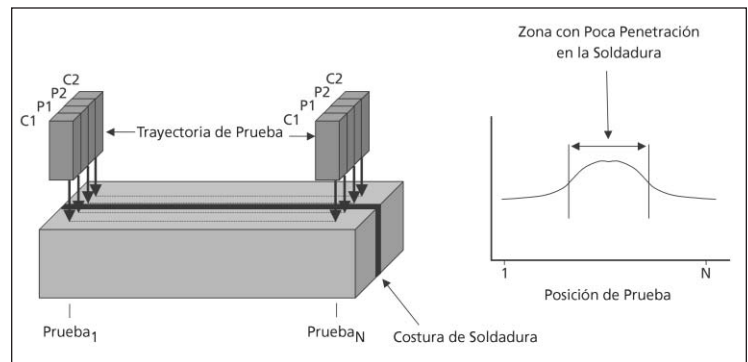


Figura 8: Serie de Medición a lo Largo de una Costura de Soldadura

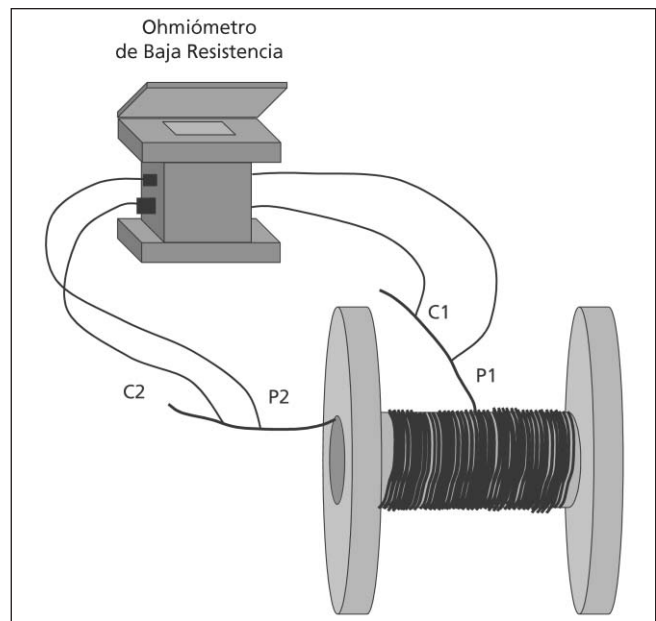


Figura 9: Determinación de la Extensión del Cable Sobrante en un Carrete

Mediciones de Tres Hilos

La prueba de tres hilos de CD está reservada para resistencias muy altas y se usa típicamente para mediciones por arriba de 10.0 mega-ohmios. Nosotros asociamos normalmente este tipo de prueba con diagnóstico de resistencia de aislamiento. El método de prueba usa un tercer cable de prueba como guarda, y permite que se eliminen de la medición las resistencias en paralelo con el circuito de prueba. Esta resistencia en paralelo se considera usualmente más baja que la resistencia de aislamiento que se está midiendo. De hecho, puede, en casos severos, cortocircuitar efectivamente la resistencia de aislamiento en forma tal que no se puede hacer una medición significativa sin el uso de un circuito de guarda.

Este método de prueba se describe e ilustra en los folletos de Megger "A Stitch in Time..." y "A Guide To Diagnostic Insulation Testing Above 1 kV."

Medición de Cuatro Hilos

La prueba de cuatro hilos es el método más preciso cuando se miden circuitos por debajo de 10.00 ohmios pues este método elimina los errores debido a las resistencias de cable de prueba y contacto. Este es el método de prueba asociado con los ohmiómetros de baja resistencia. Las mediciones de cuatro hilos de CD usan dos cables de prueba de corriente y dos de potencial. (ver Figura 11).

La medición de cuatro hilos de CD anula los errores debido a los cables de prueba y cualquier valor de resistencia de contacto en la lectura final, asegurando mediciones más precisas.

Prueba de CD vs. CA

El asunto aquí es la selección del tipo correcto de corriente de prueba. Se debe usar un instrumento de CD cuando se trate de medir la resistencia pura de un circuito o aparato. Se usa un instrumento de CA para aplicaciones tales como prueba de malla de tierra o prueba de impedancia.

Se usa un medidor especial de impedancia para ejecutar pruebas en baterías industriales. Se usa la palabra impedancia para indicar una medición compuesta de una resistencia y reactancia, que puede ser ya sea un componente inductivo o capacitivo. Estas mediciones se realizan como parte de un programa de mantenimiento de baterías; típicamente se usa un ohmiómetro de baja resistencia para ejecutar las pruebas de verificación de conexiones de puentes.

Los sistemas de medición de tres o cuatro hilos de CA se usan para ejecutar pruebas en "mallas de puesta a tierra" con frecuencias especiales que excluyen errores de medición de corrientes a tierra de 50/60 Hz. El uso de CA evita que la corriente de prueba polarice los iones en el suelo, cambiando así las condiciones y por ende los valores medidos. Esta es un área de interés para los campos de distribución de potencia eléctrica y telecomunicaciones. Se requiere la ruta de baja resistencia a tierra para mantener el potencial del alambre de puesta a tierra al potencial de "tierra". El comportamiento eléctrico del sistema de potencia minimiza los peligros de choque pues está disponible una ruta a tierra para la energía de descargas atmosféricas y otras tensiones estáticas que puedan afectar el sistema de control de potencia. Las mismas condiciones corresponden a sistemas telefónicos pues las puestas a tierra de alta resistencia pueden provocar ruido excesivo en las rutas de voz y datos. Vea por favor el folleto de Megger "Getting Down to Earth" para más información de la prueba de resistencia de tierra. Ambas industrias mencionadas requieren no solamente mallas de tierra de baja resistencia, sino también "ligaduras de CA/CD" de baja resistencia entre la malla de puesta a tierra y los circuitos activos.

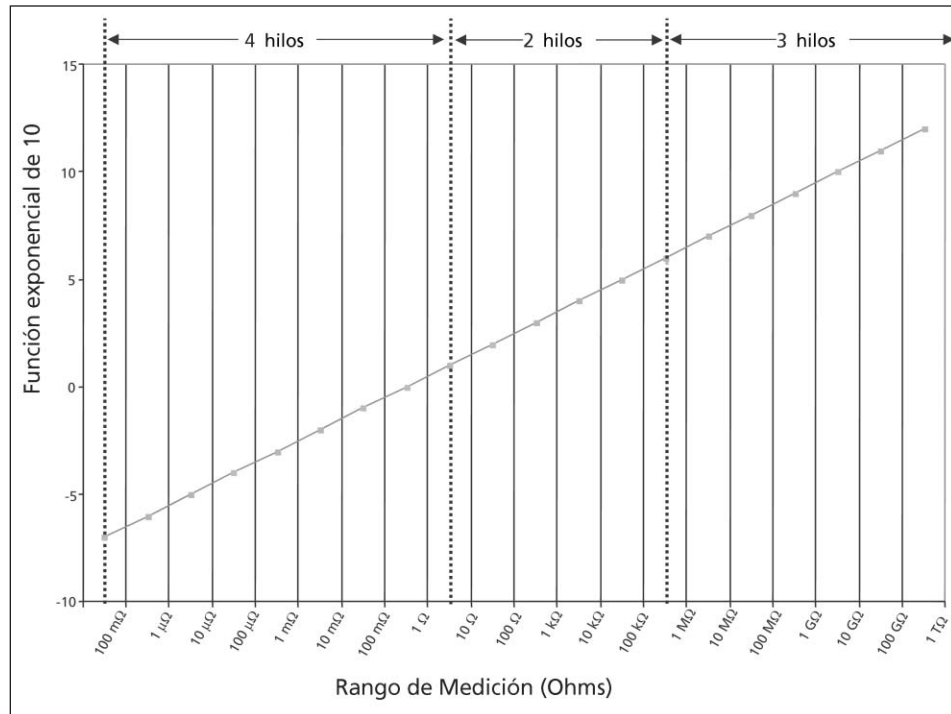


Figura 10: Selección de Técnica Óptima de Medidas

¿Cómo Opera un Ohmiómetro de Baja Resistencia?

Un ohmiómetro de baja resistencia usa dos circuitos internos de medición. La fuente inyecta una corriente en la muestra de prueba a través de dos cables, usualmente identificados como C1 y C2, y se mide la magnitud de la corriente. Concurrentemente, dos puntas de prueba (denominadas normalmente P1 y P2), miden el potencial a través de la muestra. El instrumento entonces hace cálculos internos para determinar la resistencia de la muestra de prueba.

¿Porqué este enfoque resulta en una medición que es independiente de la resistencia de los cables de prueba y de contacto?

Hemos representado el circuito completo de medición en la Figura 12. La corriente se inyecta dentro del aparato bajo prueba a través de los cables de prueba C1 y C2. La corriente que circula será dependiente de la resistencia total de este lazo y la potencia disponible para hacer circular la corriente a través de esa resistencia. Puesto que se mide esta corriente, y este valor medido se usa en cálculos subsecuentes, la resistencia del lazo, incluyendo la resistencia de contacto de los contactos C1 y C2 y la resistencia de los cables de prueba C1 y C2, no tienen efecto en el resultado final.

De la Ley de Ohm, si hacemos circular una corriente a través de una resistencia, generaremos una tensión a través de la misma. La tensión se detecta con las puntas de prueba P1 y P2. El voltímetro al que están conectadas internamente estas puntas de prueba tiene alta impedancia, lo cual evita que circule corriente en esta red de potencial. Puesto que no circula corriente, la resistencia de contacto de los contactos P1 y P2 no produce tensión y por lo tanto no afecta la diferencia de potencial (tensión) detectada por las puntas de prueba. Además, puesto que no circula corriente a través de los cables de prueba P, su resistencia no hace efecto.

Una entrada de alta corriente es una de las características que califican un verdadero ohmiómetro de baja resistencia. Los multímetros genéricos no suministran suficiente corriente para dar una indicación confiable de las capacidades de conducción de corriente de juntas, soldaduras, ligaduras y similares bajo condiciones reales de operación. Al mismo tiempo, se requiere una pequeña tensión puesto que las mediciones se hacen típicamente en el extremo inferior del espectro de resistencia. Únicamente la caída de tensión a través de la resistencia medida es crítica, y se mide a nivel de mili-voltios.

Los instrumentos buenos alertan al operador de condiciones de circuito abierto en los cables de prueba, mientras que unos pocos modelos tienen selección automática de rango.

Selección de Corriente

Dependiendo del instrumento escogido, la selección de corriente puede ser manual o automática. El operador debe seleccionar la corriente más alta adecuada para la prueba, para proporcionar la mejor relación señal a ruido para la medición. En instrumentos que ofrecen niveles de corriente en exceso de 10 A, se requiere tener cuidado para minimizar cualquier calentamiento de la muestra que podría causar por sí mismo que cambie la resistencia de la muestra.

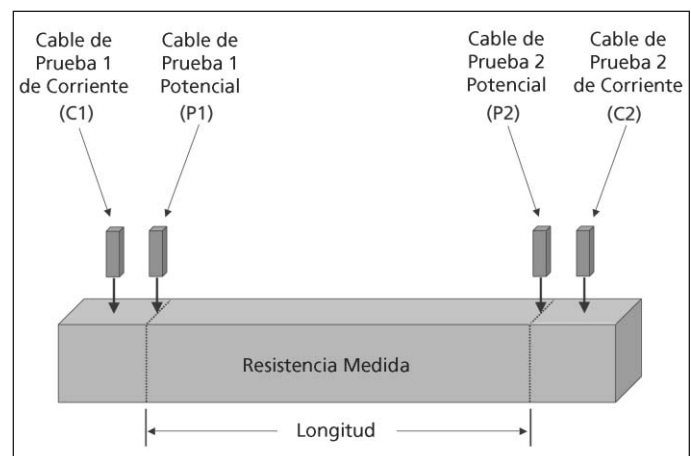


Figura 11: Ejemplo Simplificado de Medición de 4 Cables

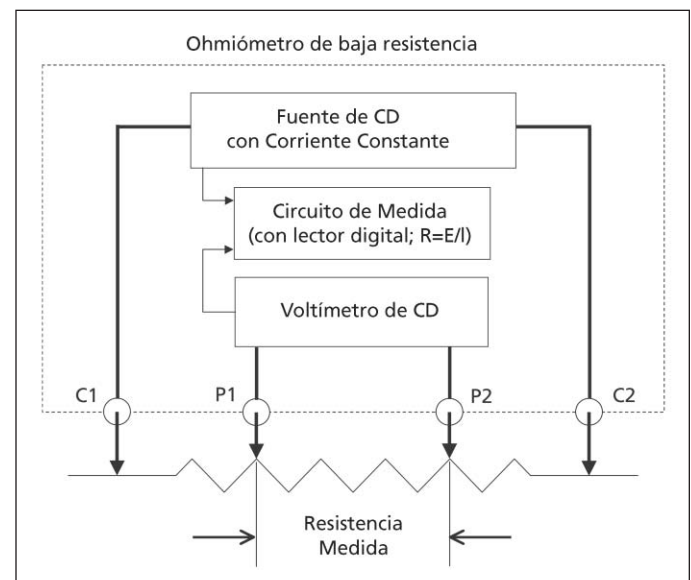


Figura 12: Diagrama de Operación Básica

Los instrumentos diseñados para prueba de interruptores de circuito, tienen características de corriente mucho más altas y el operador debe tener cuidado cuando ajuste el nivel de corriente de prueba. Los instrumentos diseñados específicamente para prueba de transformador tienen un nivel especial de potencia de alta tensión al inicio de la prueba para saturar el arrollamiento. Estas unidades luego conmutan a un modo de corriente constante más baja para medir el arrollamiento en el transformador.

Selección de Puntas de Prueba y Cables de Prueba

Los cables de prueba de potencial y corriente se conectan por separado o a una punta de prueba. Cuando se usan puntas de prueba, la conexión de potencial se identifica con "P." Las conexiones se ponen en contacto con la muestra en forma tal que los contactos o cables identificados con P se ubican enfrentándose. Los contactos de corriente se ubican entonces fuera o lejos de las conexiones de potencial. Esto provoca que circule la corriente con una densidad de corriente más uniforme a través de la muestra que se está midiendo.

Para la prueba más rigurosa, se usan cables de prueba separados y las conexiones de corriente se ubican lejos de las conexiones de potencial con una distancia que es 1 1/2 veces la circunferencia de la muestra que se está midiendo. La norma ASTM B193-65 proporciona pautas para hacer una medición que establecerá la densidad de corriente uniforme. Esta norma sugiere separar las puntas de prueba de corriente de las de potencial 1 1/2 veces el perímetro de la sección transversal de la muestra de prueba. La Figura 13 muestra una prueba que se está ejecutando según la norma a una muestra de prueba cilíndrica.

El uso de puntas de prueba, pinzas Kelvin o grapas C cumplirá con la mayoría de los requerimientos de campo puesto que el operador estará haciendo mediciones repetitivas bajo las mismas condiciones. Las partes agudas de la punta de prueba deben dejar una marca en la muestra para pruebas futuras. En algunas situaciones, una pluma marcadora puede indicar el área de prueba y las posiciones de las puntas de prueba se identificarán con las muescas de las mismas.

Están disponibles cables con varias longitudes para cumplir con los requerimientos de diferentes aplicaciones de campo. Se seleccionan cables de prueba separados de corriente y de potencial con pinzas para conectar a la muestra de prueba. Las puntas de prueba de resorte helicoidal tienen ambos probadores, de potencial y de corriente en la misma punta de prueba. La identificación "P" en la punta de prueba identifica la posición sobre la muestra en la cual se está tomando la medición. Este arreglo de punta de prueba proporciona un método práctico cuando se hacen mediciones repetitivas (ideal cuando se prueben conexiones de puentes en sistemas de suministros de baterías de UPS).

Las pinzas Kelvin y las grapas-C tienen las conexiones de corriente y de potencial separadas 180° entre sí, proporcionando conexiones separadas de corriente y de potencial. El tamaño de la conexión terminal determina cual seleccionar. Ver la Figura 14 para las diferentes configuraciones de puntas/cables de prueba.

Nota: El orden de conexión de las pinzas de potencial y corriente no es importante. Sin embargo, nunca conecte la pinza de potencial a la pinza de corriente pues esto provocará un error en la medición debido a la caída de potencial en la interfaz de conexión de corriente a la muestra.

Prueba de Rango Bajo

Cuando se está midiendo en el borde extremo de precisión y sensibilidad, factores que podrían ser muy pequeños para tener consecuencias en pruebas convencionales, se vuelven significantes. En pruebas de baja resistencia, emfs (fuerzas electromotrices) térmicas pueden producir gradientes de tensiones a través de la muestra de prueba. Aunque únicamente son a nivel de mili-voltios, y de pequeña o ninguna influencia en pruebas comunes de multímetro, estas pueden provocar fluctuaciones de varios dígitos. Tal inestabilidad entorpece el proceso de una medición de alta precisión. Adicionalmente, la interferencia de corriente alterna se puede inducir por campos eléctricos o magnéticos cercanos, o por la presencia de carga flotante en sistemas de baterías de reserva, o a través de seccionadores con fugas, desbalance eléctrico y así sucesivamente.

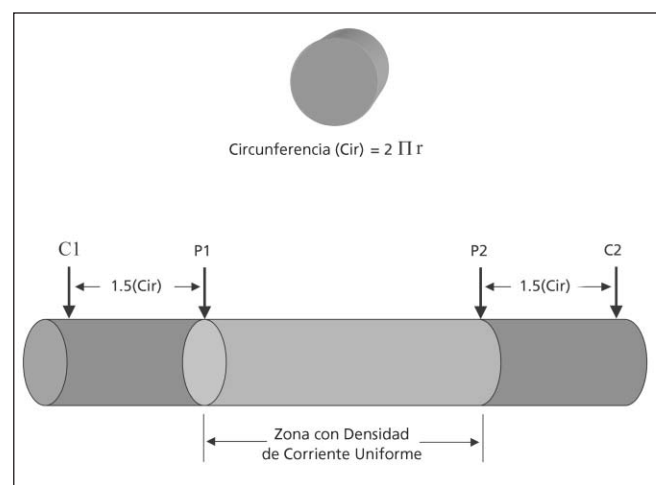


Figura 13: Norma ASTM B193-65

Este problema se supera fácilmente, sin embargo, tomando lecturas con polaridad hacia adelante e inversa y luego promediándolas. Algunos modelos consiguen esto con un conmutador de inversión operado manualmente, mientras otros ejecutan las dos mediciones automáticamente, desplegando entonces la lectura promedio. Si se desean mediciones unidireccionales para ahorrar tiempo (como al probar puentes de baterías), el probador debe tener una función de anulación. Otra técnica sofisticada mide automáticamente la magnitud y pendiente de emfs térmicas y las resta de la lectura desplegada.

Prueba en Muestras de Desenergizadas

Como medida general de seguridad, la prueba normal debe ejecutarse siempre en muestras des-energizadas. Se requiere de entrenamiento y equipos especiales para ejecutar pruebas en circuitos energizados. Están diseñados circuitos de entrada con fusible interno dentro de unos pocos instrumentos que protegerán a los mismos si se los conecta inadvertidamente a una muestra de prueba energizada. La baja impedancia de entrada de la fuente de corriente interna en los instrumentos en general se convierte en un fregadero deseoso de corriente cuando se conecta a través de un circuito vivo.

TIPOS DE PROBADORES/COMO ESCOGER

Mili-Ohmiómetros

Como su nombre lo indica, un mili-ohmiómetro es menos sensitivo que un micro-ohmiómetro, con capacidad de medición en mili-ohmios en lugar de un rango de micro-ohmios (resolución mínima de 0.01 mili-ohmios). Este tipo de instrumento se usa normalmente para verificación de circuitos en general y componentes. Los mili-ohmiómetros además tienden a ser menos costosos que los micro-ohmiómetros, haciéndolos una buena opción si la sensibilidad y resolución de medición no son críticas. La máxima corriente de prueba es típicamente menor que dos amperios y tan baja como 0.2 A.

Micro-Ohmiómetro 10 A

El micro-ohmiómetro portátil para campo con una corriente máxima de prueba de 10 A, es el instrumento "caballo de batalla" para la mayoría de los operadores debido a que cubre la mayoría de las aplicaciones de campo. La salida de 10 A no solamente proporciona una corriente de prueba confortable y adecuada a través de la muestra de prueba para hacer mediciones, sino que permite además un peso reducido y mejorada operación de la batería.

El mejor micro-ohmiómetro de 10A ofrece mediciones desde 0.1 micro-ohmios a 2000 ohmios con la mejor resolución de 0.1 micro-ohmios en el extremo bajo del rango y precisión de $\pm 0.2\%$, ± 0.2 micro-ohmios. En algunos instrumentos, se pueden seleccionar diferentes modos de medición lo cual sirve a diferentes tipos de condiciones de prueba. Los modos de medición podrían incluir prueba manual, automática o continua, o una prueba de alta potencia para arrollamientos grandes.

La siguiente es una lista seleccionada de aplicaciones de medición de resistencia de CD para ohmiómetros de 10 A.

- Resistencia de contactos de seccionadores e interruptores
- Juntas de barras y cables
- Ligaduras de estructura de aviones y circuitos de control de estática
- Integridad de juntas de soldadura
- Conexiones de puentes entre celdas en sistemas de baterías
- Componentes resistivos (control de calidad)
- Resistencia de transformadores pequeños y arrollamiento de motores
- Ligaduras de rieles y tuberías
- Resistencia de soldaduras de aleación de metales y fusibles
- Electrodo de grafito y otros compuestos
- Resistencia de alambres y cables
- Ligadura de antenas transmisoras y conductor contra descargas atmosféricas

Micro-ohmiómetro de 100+ A

De acuerdo a la norma IEC62271-100, la prueba de resistencia de contacto de interruptores de circuito de alta tensión de CA, demanda una corriente de prueba con cualquier valor conveniente entre 50 A y la corriente normal nominal. La norma ANSI C37.09 especifica que la corriente de prueba deber ser mínimo de 100 A. La mayoría de las empresas de servicio público prefieren probar a corrientes más altas, pues creen que son más representativas de las condiciones de trabajo.

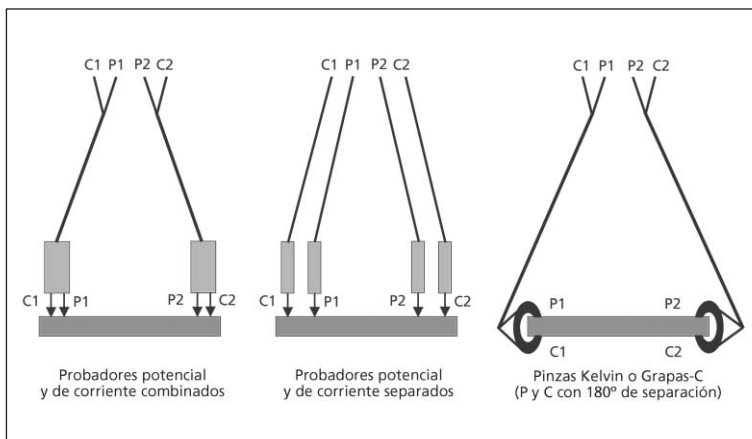


Figura 14: Configuraciones de Puntas/Cables de Prueba

Están disponibles micro-ohmiómetros portátiles para el campo que pueden suministrar cualquier valor entre 100 A hasta 600 A (sujeto a la resistencia de la carga y tensión de alimentación). Los mejores instrumentos tienen resolución de medición de 0.1 micro-ohmios y ofrecen corriente variable de prueba para satisfacer un amplio rango de aplicaciones. Probando a 10 A y luego a una corriente más alta, el operador puede entender mejor los requerimientos de mantenimiento del interruptor de circuito.

Adicionalmente a los interruptores de circuito, las empresas de servicio público de electricidad y empresas de pruebas, usan micro-ohmiómetros de corrientes más altas en otros aparatos de alta tensión, incluyendo:

- Cables
- Juntas de cables
- Soldaduras
- Barras
- Tableros en general

Los operadores que usan un ohmiómetro de 100+ A deben estar al tanto de ciertos asuntos técnicos relacionados con la prueba a corrientes altas. Algunos operadores han indicado que ejecutan una prueba a 10 A y luego observan lecturas mejoradas de resistencia con corrientes de prueba de 100+A. Esta diferencia en el aumento de mediciones motiva la pregunta de si existe la necesidad de mantenimiento adicional. Una lectura estricta de la Ley de Ohm no indica la necesidad de corrientes más altas para ejecutar la medición. En la ecuación $R = V/I$, no se define la magnitud de la corriente. ¿Es esta una situación donde la corriente alta está sacando contaminantes fuera de los contactos, y al mismo tiempo soldando los contactos entre sí? El operador debe estar al tanto de que puede estar enmascarando un problema potencial en un sistema de distribución de potencia y evitando mantenimiento necesario.

Los operadores deben conocer que los medidores de corrientes altas son para usarlos a corrientes altas. Su precisión se puede reducir considerablemente a corrientes bajas, particularmente cuando miden resistencias pequeñas.

Ohmiómetro para Transformador

El ohmiómetro para transformador está diseñado específicamente para problemas que se encuentran en medir los arrollamientos y cambiadores de derivaciones de transformadores (discutidos con mayor detalle en el apéndice). Algunos instrumentos incluyen medidores dobles con controles independientes de rango en forma tal que se puedan medir al mismo tiempo los arrollamientos del primario (alta resistencia) y secundario (baja resistencia) de un transformador.

El ohmiómetro para transformador es un aparato multi-corriente, tiene resolución de medición de 1 micro-ohmio y se usa en pruebas de fábrica y para verificación de operación en el campo.

La operación del ohmiómetro para transformador se mejora algunas veces conectando la corriente de prueba a través de ambos arrollamientos con polaridad opuesta, proporcionando así el tiempo de prueba más rápido (se minimiza la impedancia mutua entre arrollamientos). Esta operación de conexión de corriente se usa en transformadores estrella-estrella, estrella-delta y delta-delta. La capacidad de medir arrollamientos primarios y secundarios al mismo tiempo, acelera además el tiempo de prueba.

La fuente de poder se diseña a menudo para suministrar la energía para saturar el arrollamiento y proporcionar entonces un nivel estable de corriente de prueba. El equipo de prueba debe ser capaz también de probar los arrollamientos y resistencia de contacto en cambiadores de derivaciones con contactos make-before-break (contacto antes de abrir) y reguladores de tensión. Los cambiadores de derivaciones son la parte más vulnerable del transformador y enfrentan más fallas y apagones que cualquier otro componente. Se requiere la prueba frecuente para asegurar una operación apropiada y confiable.

El ohmiómetro para transformador se usa para:

- Verificar lecturas de prueba en fábrica.
- Ayudar a localizar la presencia de defectos en transformadores, tales como conexiones sueltas.
- Chequear la operación make-before-break en cambiadores de derivación bajo carga.
- Ejecutar "pruebas a valor nominal" para determinar los cambios internos de temperatura a través de la resistencia de arrollamiento, que ocurren bajo condiciones de corriente nominal.
(Ver la tabla para Cobre – Relación Temperatura/Resistencia en la siguiente página.)

Métodos adicionales de prueba de campo se muestran en el apéndice.

Micro-Ohmiómetro Lab

Los micro-ohmiómetros estilo lab están diseñados para medir resistencia de componentes y usa pulsos bajos de corriente (0.01 A – 1 A), con rangos de 199.9 micro-ohmios a 1999 ohmios. Los pulsos (+) y (-) permiten al medidor eliminar errores debido a emf térmicas a través de la muestra de prueba. Este tipo de instrumentos no son para medir circuitos inductivos. Debido a la baja corriente de prueba, la operación en el campo es limitada pues la condición señal a ruido reducirá la sensibilidad de la medición.

EVALUACION/INTERPRETACION DE RESULTADOS

Repetitividad

Un ohmiómetro de baja resistencia de buena calidad, proporcionará lecturas repetibles dentro de las especificaciones de precisión del instrumento. Una especificación típica de precisión es $\pm 0.2\%$ de la lectura, ± 2 lsd (dígito menos significativo). Para una lectura de 1500.0, esta especificación de precisión permite una variación de ± 3.2 ($0.2\% \times 1500 = 3$; 2 lsd = 0.2).

Adicionalmente, el coeficiente de temperatura debe incluirse dentro de la lectura si la temperatura ambiente se desvía de la temperatura estándar de calibración.

Expectativas para Lecturas Puntuales/Base

Las lecturas puntuales pueden ser muy importantes para entender la condición de un sistema eléctrico. El operador debe tener alguna idea del nivel esperado de la medición en base de la hoja de datos del sistema o de la placa de características del suministrador. Usando esta información como línea base se pueden identificar y analizar las variaciones. Se puede hacer además una comparación con datos colectados en equipos similares.

Como se observa, la hoja de datos o placa de características de un aparato, debe incluir los datos eléctricos relevantes para su operación. Los requerimientos de tensión, corriente y potencia se pueden usar para estimar la resistencia de un circuito y las especificaciones de operación se pueden usar para determinar el cambio permitido en un aparato (por ejemplo, con los puentes de baterías, las resistencias de conexión pueden cambiar con el tiempo). Varias normas nacionales de materiales proporcionan una guía para ciclos periódicos de pruebas.

La temperatura del aparato tendrá una fuerte influencia en la lectura esperada. Como ejemplo, los datos colectados de un motor caliente serán diferentes de las lecturas en frío tomadas al momento de la instalación. Según se calienta el motor, aumentarán las lecturas de resistencia. La resistencia de arrollamientos de cobre responde a cambios en la temperatura basados en la naturaleza básica del cobre como material. En el apéndice se cubre una revisión más detallada de los efectos de temperatura. Usando los datos de placa de características para un motor, se puede estimar el porcentaje de cambio esperado en resistencia debido a la temperatura usando la tabla mostrada a la derecha para arrollamientos de cobre, o la ecuación en la cual se basa.

Diferentes materiales tendrán coeficientes diferentes de temperatura. Como resultado, la ecuación de corrección de temperatura variará dependiendo del material que se está probando.

Cobre – Relación Temperatura/Resistencia

Temp. °F	Temp. °C	Resistencia $\mu\Omega$	Cambio Porcentual
-40°	-40°	764.2 $\mu\Omega$	-23.6%
32°	0°	921.5 $\mu\Omega$	-7.8%
68°	20°	1000.0 $\mu\Omega$	0.0%
104°	40°	1078.6 $\mu\Omega$	+7.9%
140°	60°	1157.2 $\mu\Omega$	+15.7%
176°	80°	1235.8 $\mu\Omega$	+23.6%
212°	100°	1314.3 $\mu\Omega$	+31.4%
221°	105°	1334.0 $\mu\Omega$	+33.4%

$$= \frac{R_{(\text{fin de prueba})}}{R_{(\text{comienzo de prueba})}} = \frac{(234.5 + T_{(\text{fin de prueba})})}{(234.5 + T_{(\text{comienzo de prueba})})}$$

Tendencia

Adicionalmente a comparar mediciones efectuadas con un ohmiómetro de baja resistencia, contra algunas normas pre-establecidas (prueba puntual), los resultados se deben grabar y hacerles seguimiento contra mediciones pasadas y futuras. El registro de mediciones en formularios estándar con los datos registrados en una base de datos central, mejorará la eficiencia de una operación de prueba. El operador puede revisar datos de pruebas anteriores y entonces se pueden determinar las condiciones en sitio.

El desarrollo de una tendencia de lecturas ayuda al operador a predecir mejor cuando una junta, soldadura, conexión u otro componente se volverá inseguro y hacer la corrección o correcciones necesarias. Recuerde que la degradación puede ser un proceso lento. Los equipos eléctricos enfrentan operaciones mecánicas o ciclos térmicos que pueden fatigar los cables, contactos y conexiones de ligaduras. Adicionalmente, estos componentes pueden también exponerse a ataques químicos ya sea de la atmósfera o situaciones creadas por el hombre. La prueba periódica y grabación de los resultados, proporciona una base de datos de valores que se pueden usar para desarrollar tendencias de resistencia.

Nota: Cuando se tomen lecturas periódicas, el operador debe conectar siempre los cables de prueba en el mismo lugar sobre la muestra de prueba para asegurar condiciones similares de prueba.

A continuación se dan varios ejemplos de cómo puede ayudar la tendencia al operador a tomar decisiones de mantenimiento con mejor información:

Interruptores de Circuito

Como se indicó previamente, el desgaste natural mecánico de los contactos de un interruptor de circuito que reduce el área de contacto de los mismos, combinado con chispas y/o arco, incrementará la resistencia a través de las conexiones de trabajo. Esta condición producirá calor que puede reducir la efectividad del interruptor de circuito. Las mediciones periódicas mostrarán la tasa de incremento del valor de resistencia de contacto. Cuando estos valores se comparan con la especificación original del fabricante, se puede tomar una decisión para continuar o reparar. Haciendo el seguimiento de la tendencia de las lecturas, el operador obtendrá una idea de cuando se debe sacar de servicio el interruptor de circuito antes de que sufra daños.

Sistemas de Respaldo con Baterías de Reserva

La interfaz entre los terminales y los puentes en sistemas de respaldo con baterías está sujeta a ataques químicos de la atmósfera ácida, cambios térmicos debido a los corrientes de carga y descarga y esfuerzos mecánicos debido a vibración. Cada uno de estos factores pueden provocar que se degrade la resistencia de las ligaduras, resultando en un incendio potencial a una descarga crítica de potencia (debido a la atmósfera de gas hidrógeno). Los sistemas de baterías requieren de una atención diligente puesto que las baterías de reemplazo son costosas y no están en stock. Una situación de falla puede resultar en que un sistema de baterías quede fuera de servicio durante varias semanas. Las mediciones periódicas de la resistencia de puentes identificarán aquellas conexiones de ligaduras que se han degradado desde la última prueba y se pueden planificar acciones correctivas.

Nota: Cuando las conexiones tienen mediciones de resistencia más altas que las normales, el operador no debe reajustar los pernos, puesto que esto sobre esforzará la conexión de cables suaves. El sobre ajuste no cura el problema. El procedimiento adecuado es desarmar los puentes, limpiar y engrasar y luego reconectar con los pernos ajustados según el nivel de torque del suministrador. Todas las conexiones se deben balancear dentro de una tolerancia pequeña de ± 10 a 20%.

En estos y muchos otros sistemas, la pérdida de tiempo para reparar equipos defectuosos puede ser pequeña

comparada con el costo de tener equipo fuera de servicio durante semanas. Las pruebas periódicas pueden evitar muchos problemas. El analizar los datos contra resultados anteriores y normas razonables, permite al operador seleccionar el momento en que se debe hacer trabajo correctivo.

El valor de un sistema está en su capacidad para ejecutar cuando se lo demanda. Está establecido que las operaciones en muchos sistemas estén disponibles en el momento en que se avise. Cuando un elemento queda fuera de servicio, se pierde producción y se desperdicia tiempo haciendo reparaciones de emergencia. Tomando y analizando mediciones periódicas de baja resistencia se ahorra dinero a las compañías ayudando a identificar problemas antes de que éstos resulten en fallas catastróficas.

El ejemplo práctico mostrado en la Figura 15 indica como haciendo tendencia de mediciones de baja resistencia hechas periódicamente, se proporciona información crítica al operador. Cuando se hacen mediciones de baja resistencia en cables trenzados de robot de soldadura de punto #23, el operador está obteniendo datos para estimar cuando la fatiga del conductor de corriente degradará la calidad del punto de soldadura. Los datos de prueba se inician con las especificaciones de alambre del fabricante. Se ha determinado que es aceptable un incremento de resistencia de hasta el 10%. En este caso, las mediciones se efectúan después de un número especificado de operaciones de soldadura. Cuando se grafiquen estos datos, observe la tasa de cambio según las lecturas se acerquen al fin de vida del cable trenzado (ver la Figura 15). El factor crítico podría ser la exposición a largo plazo a solventes químicos. En otras operaciones el factor crítico es tiempo cuando se ejecuten pruebas estacionales o en un número especificado de días.

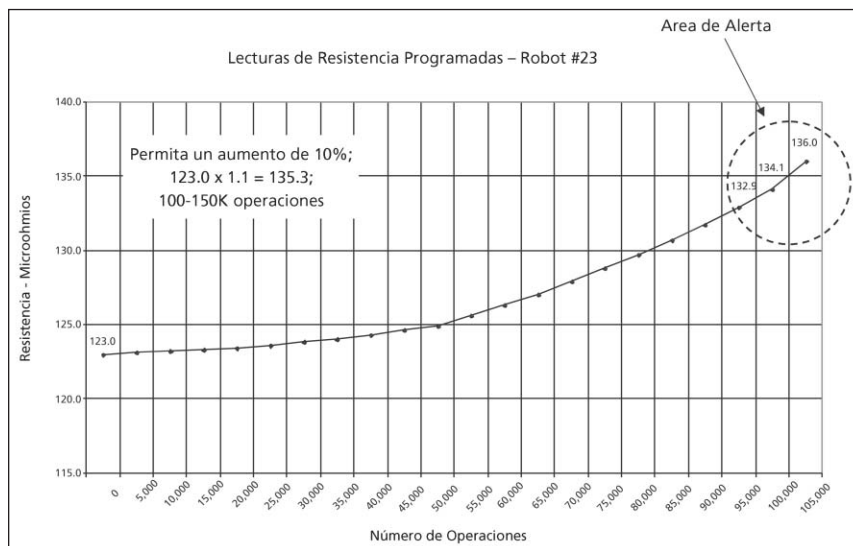


Figura 15: Análisis de Tendencia de las Lecturas de Baja Resistencia

APENDICES

Fuentes Potenciales de Error / Asegurando la Calidad de los Resultados

El operador puede comprometer las mediciones de baja resistencia si se selecciona un equipo incorrecto de prueba o no se determina y anota en la hoja de datos de prueba la temperatura en el sitio de prueba. Antes de la prueba puede ser crítica la preparación de la superficie. Se deben remover costras pesadas y recubrimientos de óxido para exponer una superficie limpia y asegurar una buena conexión de corriente.

Cable/Puntas de Prueba

Una especificación de instrumento debe tener una lista recomendada de cables de prueba adecuados. El operador siempre debe verificar que se estén usando los cables de prueba correctos pues los mismos pueden parecer iguales pero tienen resistencias diferentes, que pueden limitar la corriente máxima que puede producir el instrumento.

No use alambre de extensión de termocupla en lugar de cables de prueba de cobre puesto que la diferencia de materiales producirá datos erráticos que cambiarán según cambie la temperatura del sitio con las estaciones.

La selección de las puntas de prueba también es crítica. Las pruebas de alta corriente requieren conexiones seguras a la superficie de trabajo debido a que una resistencia alta en el punto de contacto puede limitar el nivel esperado de corriente de prueba, provocando una pobre relación señal a ruido, con resultados erráticos. El uso de puntas de prueba inadecuadas para la aplicación particular puede conducir a resultados no confiables.

En todos los casos las pruebas se ejecutan con inyección de corriente y mediciones de potencial hechas en ubicaciones diferentes sobre el componente. Las pinzas de prueba de potencial nunca se deben conectar a la conexión de corriente pues la caída de tensión en la interfaz de corriente se agregará a la medición de potencial y produce un error en la lectura. La conexión ideal de corriente inyecta corriente sobre la posición de la medición de potencial. Cuando estos

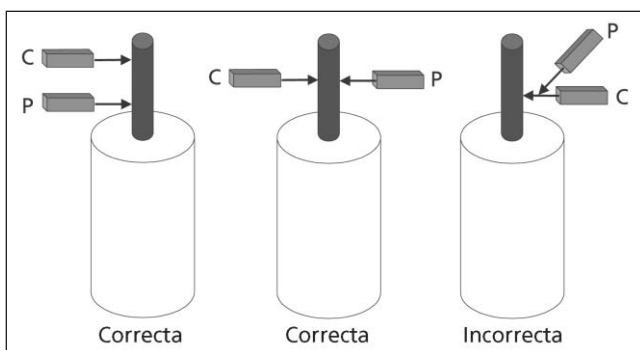


Figura 16: Colocación Correcta e Incorrecta de las Puntas de Prueba

puntos están cercanos entre sí, se usan las Pinzas Kelvin o grapas-C, inyectando corriente a 180° desde la conexión de potencial (ver Figura16).

Las puntas de prueba están disponibles en cinco estilos básicos; cada uno diseñado para atender situaciones específicas de campo y/o aplicación. La Figura 17 muestra algunos de los diferentes estilos.

Punto Fijo: Son las puntas de prueba más livianas y económicas.

Pinzas Kelvin: Tienen terminales espada en el extremo exterior y pinzas cocodrilo con mandíbulas aisladas enchapadas con plata u oro.

Puntas de Resorte Lineal: Diseñadas con puntas de resorte que se empujan dentro del cuerpo para permitir desniveles de la superficie. Están diseñadas para superficies limpias pues no tienen acción "cortadora" para permitirles agarrar a través de la contaminación de la superficie.

Puntas de Resorte Helicoidal: Las puntas rotan y se comprimen dentro del cuerpo de las mismas, permitiendo atravesar cualquier grasa o película de la superficie, asegurando una medición precisa. Adicionalmente, estas puntas de prueba dejarán una marca en la superficie de prueba para identificar los puntos donde se ejecutó la prueba. Se debe tener cuidado cuando se usen estas puntas de prueba si la superficie a contactar es sensible a puntos de presión.

Grapas-C: La corriente pasa a través de la grapa-C y el perno roscado mientras el potencial pasa a través de una quijada de cuatro puntos aislada del metal de la grapa.

Los cables de prueba se acoplan a medidores operados por batería para asegurar que se suministrará el nivel nominal de corriente de prueba a la muestra de prueba.

Finalmente, las puntas de prueba están diseñadas para hacer conexiones eléctricas con la muestra de prueba. Su intención no es limpiar superficies, romper estaño, etc.

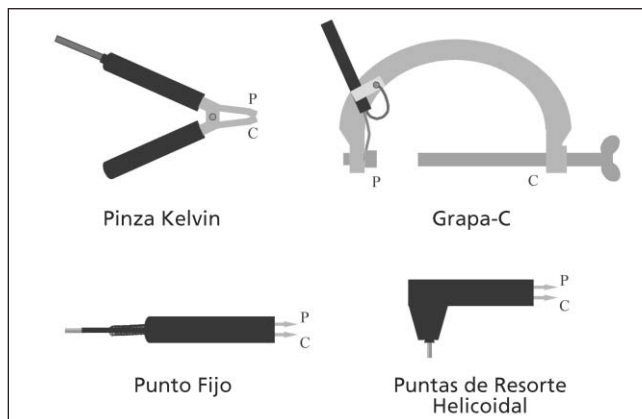


Figura 17: Estilos Básicos de Puntas de Prueba

Declaración de Precisión

Los ohmímetros de baja resistencia de calidad mostrarán su declaración de precisión como " $\pm X.X\%$ de lectura, $\pm X$ lsd." Tenga cuidado con precisiones de instrumentos declaradas como porcentaje de rango en lugar de porcentaje de lectura. Si bien estas declaraciones de precisión pueden lucir iguales, la medición hecha con un instrumento con precisión de (% of range) proporcionaría lecturas menos precisas.

La resolución de la lectura de un instrumento es típicamente la mitad del dígito menos significativo (lsd) anotado en la declaración de precisión. La magnitud del lsd influenciará la repetitividad de la medición. Un valor grande de lsd se debe a la baja sensibilidad del instrumento, agregando un error adicional a la medición.

Verifique el coeficiente de temperatura del instrumento seleccionado. El coeficiente de temperatura (% de lectura por grado) se multiplica por la diferencia de la temperatura del sitio y la temperatura calibrada del instrumento e influenciará la precisión de mediciones en el campo. Un instrumento que incluye una nota de precisión de $+0.2\%/^{\circ}\text{C}$ no se debe usar en el campo, pues su mejor utilización sería en un laboratorio con un ambiente constante.

El operador debe estar al tanto de todas estas características cuando seleccione el instrumento de prueba.

Interferencia

Un campo eléctrico fuerte, enlace de flujo desde un circuito de corriente alta o tensión inducida desde un conductor de alta tensión, pueden provocar interferencia en el sitio de prueba. Adicionalmente, corrientes a tierra pueden inducir ruido en un conductor. La Interferencia puede reducir la sensibilidad y producir lecturas inestables. Un instrumento con bajo rechazo de ruido o atenuación de zumbido, puede ser estable cuando pruebe en el banco pero errático en condiciones selectivas de campo. La electrónica moderna puede detectar el nivel de ruido y algunos instrumentos la usan para indicar cuanto está presente un ruido excesivo para hacer una medición válida.

Suministro de la Corriente de Prueba Declarada Bajo Carga

Los ohmímetros digitales de baja resistencia, operados con batería, tienen diferentes corrientes de prueba dependiendo del rango seleccionado. El rango más bajo de resistencia tiene el nivel más alto de corriente y según se incrementa el rango la corriente disminuirá. (Según se incrementa el rango en un factor de 10, la corriente de prueba disminuirá con un factor de 10). Esta característica permite un balance efectivo entre peso y funcionalidad.

La corriente de salida suministrada por el instrumento no es crítica, puesto que el instrumento estará midiendo la corriente de prueba real en el momento de la prueba. Sin embargo, el instrumento debe ser capaz de suministrar suficiente corriente para producir una señal clara en la presencia de ruido típico. Un instrumento típico puede tener una tolerancia de 10% a 20% sobre la máxima capacidad de corriente. Pero, para hacer una buena medición de potencial, la corriente debe estar estable. El factor crítico para la medición es la medición de tensión a través de cables de potencial (Ley de Ohm; $R = V/I$).

La única área de prueba donde la corriente de prueba es crítica es en un transformador debido a las características magnéticas del arrollamiento. Se necesita suficiente corriente para saturar el arrollamiento, y luego se usa una corriente constante más baja para hacer la medición.

Mediciones en un Plano Estable

Una muestra de prueba des-energizada proporciona una plataforma estable en la cual hacer la medición. Los circuitos vivos pueden producir una plataforma inestable de prueba. Un ejemplo de lo último es la prueba de puentes de baterías en un sistema UPS. Las corrientes de carga y/o descarga pueden inducir ruido a través de los puentes de batería que se están midiendo, y al mismo tiempo provocar que se incrementen los valores de resistencia (debido a calentamiento del puente y sus conexiones). Cuando se colecten datos, el operador debe definir las condiciones de prueba. Como se indicó previamente, la temperatura puede tener una influencia significativa en cualquier medición que se haga. El operador debe anotar la temperatura y documentar cualquier equipo eléctrico que está en operación en el área de prueba.

Resistividad de Material

Los conductores de iguales dimensiones tienen resistencias diferentes si están fabricados de materiales diferentes, debido al número variable de electrones libres en sustancias variables. Nosotros consideramos estas diferencias con el término resistividad, que es la resistencia de una muestra del material que tiene dimensiones con valores unitarios especificados. Mientras que los científicos tienden a considerar cubos de material como el estándar de medición (cubo de un centímetro o cubo de una pulgada), los conductores tienden a ser circulares, haciendo importante un estándar circular para usos prácticos. La resistividad de un material se define en milésimos de ohmios-circular por pie; esto es, la resistencia (en ohmios) de una pieza de material de un pie de longitud y un milésimo circular de sección. Esto se define a una temperatura de $20^{\circ}\text{C}/68^{\circ}\text{F}$.

La siguiente tabla muestra las resistividades para algunos materiales^{IV} conductores:

Resistividades de Conductores

Sustancia	Microohmios		Ohmio-CM por Pie
	CM Cúbico	Pulg. Cúbica	
Aluminio	2.83	1.11	17.0
Carbono (Grafito)	700	275	4210
Constantán (Cu 60%, Ni 40%)	49	19.3	295
Cobre (recocido)	1.72	0.68	10.4
Hierro (99.98% puro)	10	3.94	60.2
Plomo	22	8.66	132
Manganina (Cu 84%, Ni 4%, Mn 12%)	44	17.3	264
Mercurio	95.78	37.7	576
Platino	9.9	3.9	59.5
Plata	1.65	0.65	9.9
Tungsteno	5.5	2.17	33.1
Cinc	6.1	2.4	36.7

En la mayoría de las aplicaciones de campo, el operador determinará la conveniencia de una medición de campo contra una especificación pre-seleccionada. En la mayoría de los casos, estas especificaciones han sido generadas de la siguiente fórmula (a 20° C/68° F): $R = \rho L/A$

Donde:

ρ = resistividad del material en ohmios-CM por pie.

L = distancia entre dos puntos en el material, en pies.

A = área de la sección transversal medida en milésimos circulares.

Efecto de la Temperatura en los Valores de Resistencia Medidos

Las mediciones de resistencia son dependientes de la temperatura. Si los datos originales se leyeron a una temperatura, pero pruebas posteriores se ejecutaron a otras temperaturas, se requieren estos datos de temperatura para determinar la conveniencia de las mediciones. No todos los materiales reaccionan a la temperatura en el mismo grado. Aluminio, acero, cobre y grafito, tienen coeficientes específicos de temperatura que afectarán el grado de cambios que pueden presentarse con la temperatura en el sitio de la medición.

Las mediciones de baja resistencia dependen del operador que conduce las pruebas dentro del rango de temperatura de operación del instrumento (el operador debe estar al tanto de las condiciones de campo). Cuando el operador observa mediciones fuera de tolerancia, uno de los primeros pasos es verificar la lectura del instrumento con un derivador adecuado de calibración.

Como se indicó previamente, las mediciones de resistencia son dependientes de la temperatura. La resistencia de todos los metales puros se incrementa cuando aumenta la temperatura. El cambio proporcional en resistencia para un material específico con un cambio unitario en temperatura se denomina coeficiente de temperatura de resistencia para ese material. Los coeficientes de temperatura se expresan como el incremento relativo en resistencia para el incremento de un grado de temperatura. Mientras que la mayoría de los materiales tienen coeficientes positivos de temperatura (la resistencia se incrementa según se incrementa la temperatura), los materiales de grafito de carbón tienen coeficientes negativos de temperatura (la resistencia disminuye según se incrementa la temperatura).

La siguiente tabla muestra los coeficientes de temperatura de resistencia para materiales^V seleccionados.

Coeficientes de Temperatura de Resistencia

Material	Por °C	Por °F
Aluminio	0.0038	0.0021
Carbono (0-1850 °C)	-0.00025	-0.00014
Constantán (0-100 °C)	Insignificante	Insignificante
Cobre (a 20 °C)	0.00393	0.00218
Hierro	0.0050	0.0028
Plomo	0.0043	0.0024
Manganina (0-100 °C)	Insignificante	Insignificante
Mercurio	0.00090	0.00050
Platino	0.0038	0.0021
Plata	0.0040	0.0021
Tungsteno	0.0045	0.0025
Cinc	0.0037	0.0021

^{iv} Electrical Metermen's Handbook; Third Edition; 1965; página 479

^v Electrical Metermen's Handbook; Third Edition; 1965; página 480

La Figura 18 muestra las curvas temperatura-resistencia para algunos de estos materiales (basados en lecturas de línea de base de 1000 micro-ohmios a 20° C).

Cuando se hace una medición en un material específico, el operador puede calcular el cambio en resistencia debido a un cambio en temperatura, multiplicando la resistencia a la temperatura de referencia por el coeficiente de temperatura de resistencia y por el cambio en temperatura.

$$R_2 - R_1 = (R_1)(\alpha)(T_2 - T_1)$$

Donde:

R_1 = resistencia del conductor a la temperatura de referencia

R_2 = Resistencia del conductor cuando se hace la medición

T_1 = temperatura de referencia

T_2 = temperatura a la cual se hace la medición

α = coeficiente de temperatura de resistencia para el material que se está probando

El operador debe además estar al tanto de las especificaciones de temperatura de operación y almacenamiento del instrumento que está usando para asegurar que es la adecuada para el ambiente en el cual se usará.

Efectos de la Humedad

La humedad relativa de una muestra de prueba no debe afectar la lectura de resistencia a menos que el material sea higroscópico, en cuyo caso se absorberá más humedad dentro de la muestra a humedad más alta. Esto cambiará las condiciones de medición y afectará los resultados conseguidos. Sin embargo, la mayoría de los conductores son no higroscópicos. Por lo tanto, puesto que los instrumentos se diseñan típicamente con un rango de operación de 0 a 95% HR, siempre y cuando esa humedad no se esté condensando realmente en el instrumento, entonces se obtendrá una lectura correcta.

Condiciones de Ruido de Fondo, Corriente y Tensión

Las mediciones de resistencia se pueden degradar por tensiones estáticas y corrientes de rizo (ruido eléctrico) impresas en la muestra de prueba. El operador debe estar al tanto del nivel de rechazo de ruido en el instrumento que se está usando. El cambiar a un modelo diferente puede ayudar al operador a hacer mediciones en sitios de pruebas difíciles.

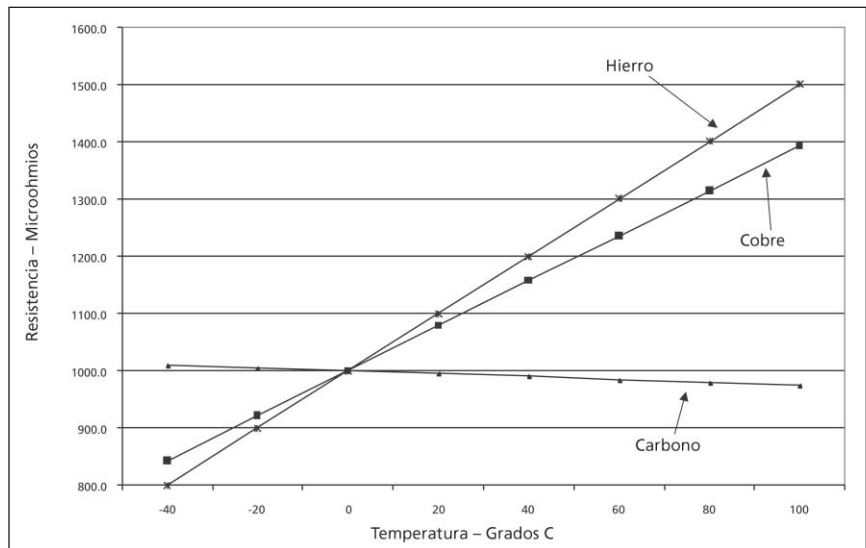


Figura 18: Curvas de Temperatura/Resistencia para Hierro, Cobre y Carbono

La magnitud de la corriente de prueba usada por el instrumento afectará la capacidad de rechazo de ruido de ese instrumento. Una corriente de prueba de 10 A proporcionará un rechazo de ruido mejor que una corriente de prueba de 0.1 A. Tenga conciencia que corrientes excesivas de prueba pueden cambiar o dañar la muestra de prueba debido a calentamiento ($W = I^2R$). Si se usan 100 A en lugar de 10 A, la muestra experimentará 100 veces el calor de la corriente de prueba más baja.

La tensión de circuito abierto en la mayoría de los ohmiómetros de baja resistencia es baja. Cuando se hacen mediciones en arrollamientos de transformadores, se requiere potencial adicional para saturar el arrollamiento y permitir que el medidor se estabilice más rápidamente. Los instrumentos diseñados para este tipo de aplicación tienen una tensión de circuito abierto más alta (en el rango de 30 VCD) para suministrar la energía necesaria para saturar el arrollamiento. Luego se usa un modo de operación de corriente constante para ejecutar la medición de resistencia.

Use y Mal Uso de Ohmiómetros de Baja Resistencia

La operación efectiva de un ohmiómetro de baja resistencia depende de que el operador use los cables correctos de prueba. Los instrumentos operados con batería están diseñados para una resistencia específica de cables, basada en la vida operacional de la secuencia de prueba. Los cables especificados permiten el consumo de una corriente razonable desde la fuente de poder para el ciclo de prueba. Si se usan cables con una resistencia más alta, la corriente usada para la prueba puede ser menor que la que requiere el medidor, causando un problema potencial de señal a ruido que puede reducir la precisión y/o repetitividad de la medición.

Si se usan cables con resistencia más baja que la especificada, el ciclo de prueba para el instrumento será más corto que lo anticipado. Esta situación puede ser adecuada si el medidor se usará en un programa de pruebas con alto ruido eléctrico de fondo. El uso de cables especiales con apantallamiento puede ser también una solución para estas situaciones de alto ruido.

Un error común en el campo es usar un ohmiómetro de baja resistencia para probar la resistencia de una malla de puesta a tierra. Esta aplicación es incorrecta puesto que el método para la malla de puesta a tierra requiere de un instrumento que conmute la señal de prueba a una frecuencia y nivel de corriente conocidos. Un ohmiómetro de baja resistencia usado en esta aplicación proporcionará una lectura errónea puesto que la corriente de tierra tendrá una influencia indebida en la medición. Un probador de puesta a tierra opera en esencialmente la misma manera que un ohmiómetro de baja resistencia, esto es, inyecta una corriente dentro de la muestra de prueba y mide la caída de tensión a través de ella. Sin embargo, el suelo típicamente transporta numerosas corrientes originadas de otras fuentes, tales como de la empresa de servicio público. Estas interferirán con la medición de CD que se está ejecutando con un ohmiómetro de baja resistencia. El probador de puesta a tierra genuino, sin embargo, opera con una onda cuadrada definitiva de CA a una frecuencia distinta de las armónicas de la empresa de servicio público. De esta manera, es capaz de ejecutar una medición discreta, libre de la influencia del ruido.

Breve Historia del Ohmiómetro de Baja Resistencia

El ohmiómetro de baja resistencia^{vi} original DUCTER™ fue desarrollado por Evershed & Vignoles (una de las compañías que evolucionó dentro de Megger y el desarrollador del primer probador de resistencia de aislamiento) en 1908 y usó el movimiento de medidor de bobina cruzada que se usó en el probador de resistencia de aislamiento. Este diseño inicial evolucionó dentro de unidades de campo en los 1920s y requerían de un procedimiento de nivelación al momento de la prueba debido a la sensibilidad de la bobina (a estar nivelada). Estos modelos iniciales no viajaban bien y fueron sensibles a choque y vibración.

Durante cincuenta años, los ohmiómetros de baja resistencia fueron unidades analógicas. En 1976, como respuesta a numerosos pedidos de nuestros clientes, la compañía James G. Biddle Company (que finalmente llegaron a ser Megger) desarrolló e introdujo un ohmiómetro de baja resistencia digital. Esta unidad se conoció por su nombre comercial, el DLRO® (una marca registrada de Megger). Finalmente, la compañía James G. Biddle Company presento las versiones

de 10 A y 100 A del DLRO, incluyendo el diseño de una caja para algunas versiones que simplificaron el proceso de prueba y un modelo de rango extendido.

Este estilo de instrumento sirvió bien a la industria durante varios años, y las varias versiones continúan ayudando a los usuarios finales a resolver problemas. Sin embargo, la tecnología de electrónica y baterías, ha avanzado a un punto donde se hicieron un número considerable de mejoras a los diseños de los 1970s. Los ohmiómetros de baja resistencia recientemente diseñados por Megger incluyen almacenamiento de datos y capacidad de descarga, modos adicionales de prueba, peso reducido, vida extendida de la batería, etc.

Calibración

La calibración de ohmiómetros de baja resistencia se puede chequear en el campo usando un shunt. La calibración se ejecuta con cables de cobre individuales de corriente y de potencial, calibre 12, para asegurar la correcta distribución de corriente a través del derivador y una medición precisa de potencial. Esté conciente que las “puntas de prueba” no proporcionan un posicionamiento preciso de los cables para verificar la calibración del instrumento. Ellas pueden, sin embargo, usarse para determinar la calibración relativa del instrumento.

La siguiente tabla muestra los shunt disponibles comercialmente:

Resistencia $\pm 0.25\%$ Valor	Potencia Indicadora
10.000 ohm	1.0 mA
1.0000 ohm	10 mA
0.1000 ohm	100 mA
0.0100 ohm	1 A
0.0010 ohm	10 A
0.0001 ohm	100 A

Estos shunt de calibración cuando se usan con un Certificado de Calibración, restreable según National Standards, ayudan al ingeniero de servicio de campo a demostrar a un cliente la precisión de las pruebas que se están ejecutando.

Protección contra Ingreso

En alguna parte de la letra pequeña (especificaciones) de la mayoría de los boletines de producto de los instrumentos de prueba, está una capacidad IP, un número que da al operador información vital. De hecho, la capacidad IP permite al operador conocer si una pieza de equipo de prueba es adecuado para su aplicación y ambiente de prueba.

^{vi} Basic Electrical Measurements; Melvin B. Stout; 1950; página 61

“IP” significa “protección de ingreso”. Este es el grado en que el instrumento puede soportar la invasión de materias extrañas. El sistema de capacidad IP fue establecido por la IEC (*Comisión Electrotécnica Internacional*), en su norma 529, y se usa como una guía para ayudar al operador a proteger la vida del instrumento. Esto puede ayudar también al operador a tomar una decisión de compra más informada asegurando que esa pieza de equipo de prueba está diseñada para trabajar en el ambiente(s) que enfrenta el usuario.

La capacidad IP comprende dos dígitos, cada uno significa una característica separada. La designación indica cuán bien está sellado el instrumento contra la invasión de materias extrañas, tanto humedad como polvo (mientras mayor es el número (s), mejor es el grado de protección). Qué le podría indicar a un comprador la capacidad típica IP54, acerca de las capacidades de aplicación de un modelo? Si desea parecer completamente conocedor, esto es IP cinco-cuatro, no cincuenta y cuatro. Cada dígito se refiere a una capacidad separada, no entre sí.

El primer dígito se refiere a ingreso de partículas, reflejando el grado en el cual pueden ingresar objetos sólidos a la caja. Un nivel “5” indica “protegido contra polvo” así como protección de invasión con un alambre por debajo de 1.0 mm. Existe solo una categoría más alta, “Sellado contra polvo.”

El segundo dígito se refiere a la humedad. Una capacidad “4” significa resistencia a “agua salpicada, cualquier dirección.” Las capacidades más altas de 5 hasta 8 indican “chorro de agua” e inmersión “temporal” o “continua”.

Como ejemplo, suponga que el instrumento bajo consideración se categorizó únicamente IP43. Que le diría esto al operador sobre su aplicabilidad? Podría usarse plenamente en una cantera o cementera? Difícilmente! La capacidad particular 4 indica “objetos iguales o mayores que 1 mm.” Esto es una roca en comparación con las partículas que se producen típicamente en procesos industriales. El polvo flotante podría poner fuera de servicio al instrumento.

Suponga que el instrumento tiene capacidad IP42. Una capacidad 2 de humedad indica goteo de agua. Por lo tanto, no será resistente a rocío flotante. El adquirir un instrumento para un ambiente que excede su capacidad IP significa probablemente que el operador necesitará otro muy pronto. Qué hay acerca de la capacidad IP40? Una capacidad de humedad 0 significa que el instrumento no está protegido contra **ningún** ingreso de líquidos.

Los gráficos siguientes proporcionan una guía para varias capacidades IP y que significan ellas al operador.

Protección contra el Acceso a Partes Peligrosas (Primer Dígito)

Número	Descripción
0	Sin protección
1	Protección contra acceso con el dorso de la mano (50 mm)
2	Protección contra acceso con un dedo articulado (12 x 80 mm)
3	Protección contra acceso con una herramienta (2.5 mm)
4,5,6	Protección contra acceso con un alambre (1.0 mm)

Protección contra el Ingreso de Objetos Sólidos Extraños (Primer Dígito)

Número	Descripción
0	Sin protección
1	Objetos iguales o mayores que 50 mm
2	Objetos iguales o mayores que 12.5 mm
3	Objetos iguales o mayores que 2.5 mm
4	Objetos iguales o mayores que 1 mm
5	Protección contra el polvo
6	Hermético al polvo

Protección contra el Ingreso de Líquidos (Segundo Dígito)

Número	Descripción
0	Sin protección
1	Agua goteando verticalmente
2	Agua goteando, cerradura con inclinación de hasta 15°
3	Agua rociada, hasta un ángulo de 60° desde la vertical
4	Agua salpicada, de cualquier dirección
5	Agua en chorro, de cualquier dirección
6	Agua en chorro potente, de cualquier dirección
7	Inmersión temporal en agua
8	Inmersión continua en agua

Modos de Prueba

Los ohmímetros de baja resistencia diseñados en los años 1970s y 1980s tienden a ofrecer dos modos de operación, cada uno diseñado para aplicaciones específicas. La tecnología reciente de microprocesador ha permitido que los instrumentos más recientes incluyan modos adicionales, ampliando más las capacidades de estos modelos. La siguiente es una breve revisión de los tipos de modos de prueba disponibles en los diferentes instrumentos de la gama:

Modelos Diseñados en los Años 1970s y 1980s

Modo Continuo: Esta posición de conmutador permite que circule la corriente de prueba y se tome una medición cuando las puntas de prueba de corriente y potencial contacten a la muestra de prueba. Este modo de operación se implementa usualmente cuando se usan puntas de prueba de resorte helicoidal y es el método normal cuando se hacen pruebas en el campo. Se extiende la vida de la batería, puesto que la corriente de prueba circula únicamente cuando se ejecutan la misma.

Modo Momentáneo: Esta posición de conmutador requiere que ambos conjuntos de puntas de prueba se conecten a la muestra de prueba. La medición se ejecuta cuando el conmutador cambia a posición momentánea. Este modo de operación se usa cuando se conectan puntas de prueba separadas de corriente y potencial a la muestra de prueba.

Modelos Diseñados Recientemente de 10 A

Modo Normal: Modo de prueba donde el operador conecta todas las cuatro puntas de prueba y presiona el botón de prueba en el instrumento para iniciar la misma. El instrumento chequea la continuidad de las conexiones de prueba y entonces aplica corriente hacia adelante e inversa. La lectura se despliega durante un periodo corto (10 segundos).

Modo Auto: Modo de prueba que permite que se hagan mediciones de corriente hacia adelante e inversa (se despliega el valor promedio) simplemente haciendo contacto con todas las cuatro puntas de prueba. Cada vez que se desconectan y reconectan las puntas de prueba de la carga, se ejecuta otra prueba. Este modo, que es similar al Modo Continuo que tienen los instrumentos antiguos, es un método excelente que ahorra tiempo probando puentes de batería con puntas de prueba. Tiene la ventaja adicional, cuando se prueba con puntas de prueba, que la detección de contacto asegura un buen contacto antes de aplicar corrientes altas. Esto evita arco cuando se hace contacto, el mismo que erosiona las puntas de prueba así como también es potencialmente dañino para la superficie del item bajo prueba.

Modo Continuo: Modo de prueba que permite que se hagan mediciones repetidas en la misma muestra de prueba. Una vez que se conectan las puntas de prueba y se presiona el botón de prueba, se hace una medición durante los segundos ajustados hasta que se abra el circuito.

Modo Unidireccional: Este modo aplica corriente en una dirección únicamente. Mientras que este tipo de instrumento no anula las emfs permanentes, acelera el proceso de medición. En muchas condiciones de prueba, tales como la prueba de puentes de baterías, no es necesario ejecutar pruebas de corriente inversa en la muestra. Este modo se usa también cuando se prueben objetos con propiedades inductivas tales como motores y transformadores.

Modelos Diseñados Recientemente de 100+ A

Modo Normal: Modo de prueba donde el operador conecta todas las cuatro puntas de prueba y presiona el botón de prueba en el instrumento para iniciar la misma. El instrumento chequea la continuidad de las conexiones de prueba y entonces aplica la corriente de prueba.

Modo Continuo: Este modo de prueba se usa para monitorear condiciones de prueba durante un periodo de tiempo. Después que se conectan las puntas de prueba y se presiona el botón de prueba, se grabará la prueba durante los segundos ajustados hasta que se presione el botón prueba o se abra el contacto en cualquiera de las puntas de prueba.

Modo Auto: Con este modo, debido a que se usan corrientes altas de prueba, el operador conecta los cables de corriente, selecciona la corriente de prueba deseada y presiona el botón prueba. Tan pronto se conecten los cables de potencial, se iniciará una prueba. Para hacer otra prueba, el operador abre el contacto con las puntas de prueba de tensión y luego vuelve a hacer contacto. Este es un modo excelente para medir juntas individuales en una barra.

Nivel de Corriente de Prueba Nominal vs. Absoluto

Los ohmímetros digitales de baja resistencia operados por batería, tienen diferentes corrientes de prueba, que son una función del rango seleccionado. El rango más bajo tiene el nivel de corriente más alto y según se incrementa el rango, disminuye la corriente. Según se incrementa el rango con un factor de 10, la corriente de prueba disminuirá con un factor de 10. Esta acción permite un balance de peso y función; si la corriente se incrementará según se incrementa el rango, este instrumento de campo perdería mucho de su portabilidad y decrecería significativamente su utilidad para pruebas de campo. En plantas generadoras, subestaciones y sitios de distribución, el equipo de prueba está expuesto a interferencia de corrientes altas generadas en el área. El operador tendrá que determinar el nivel de corriente de prueba para proporcionar las mediciones más precisas y repetibles.

Las corrientes de prueba estándares de la industria, se desarrollaron originalmente de acuerdo a la tecnología disponible en medición. Con tecnología antigua, se necesitaron corrientes enormes a fin de desarrollar una tensión medible a través de una muestra de prueba con resistencia despreciable. Según la Ley de Ohm, un medidor típico de 1 mili-voltio a escala plena, requeriría 100 A a fin de medir tan bajo como en micro-ohmios. Siendo los micro-ohmios la unidad preferida de medición para prueba de baja resistencia, esto hace que los probadores de 100 A sean el diseño estándar para la instrumentación antigua.

Desafortunadamente, este diseño hace que los probadores sean grandes, difíciles de mover y de limitada viabilidad en el campo. El desarrollo de bobinas móviles cruzadas, con balance de tensión y corriente en dos bobinas separadas operando la aguja, producen un incremento dramático en sensibilidad y brindan corrientes de prueba manejables bajando hasta el nivel familiar de 10 A. Por supuesto, los microprocesadores han ampliado más la sensibilidad de los instrumentos modernos. Pero este proceso está limitado por la necesidad de una adecuada supresión de ruido. Los ohmiómetros de baja resistencia miden a niveles de varias potencias de diez por debajo de los multímetros comunes. El ruido se agranda por comparación y hace crítica la supresión del mismo para la función adecuada del instrumento. El probador, por lo tanto, debe mantener una adecuada relación señal a ruido.

Los probadores con salidas de alta corriente se usan ampliamente todavía, para probar tipos específicos de equipos. El factor limitante en el extremo alto es principalmente la generación de calor. La prueba a corrientes demasiado altas puede provocar un efecto de calentamiento en las mediciones, ser perjudicial para el item bajo prueba y aún provocar la soldadura de los contactos. Ciertos tipo de equipos tales como interruptores de circuito de CA (ver IEC62271-100) tienen conductores y áreas de contacto suficientemente grandes para conducir corrientes de varios cientos de amperios sin experimentar estos efectos dañinos. La demanda para la corriente de prueba es crítica cuando se prueban bobinas, transformadores u otros componentes magnéticos debido a las características inductivas de estos tipos de componentes. Los estándares de la industria, entonces, pueden requerir alguna corriente alta especificada. Tal selección es típicamente un compromiso entre varios factores, según se discute arriba, con una vista hacia la viabilidad, en lugar de requerimientos justificados científicamente. Los probadores sofisticados balancearán automáticamente la corriente contra la carga, para una máxima

precisión y mínimo efecto del calor, por lo tanto no es necesario imponer valores específicos, pre-seleccionados en el procedimiento de prueba. Algunos suministradores especifican 200+ A para contactos de interruptores en SF6 a fin de superar la oxidación de la superficie de los contactos.

Nota: El instrumento de Puente Kelvin que se ha usado para hacer mediciones en la región de sub-micro-ohmios, usa aproximadamente 5 A de corriente de prueba.

Autorango

La capacidad de autorango de un instrumento permite al operador usar totalmente las puntas de prueba. Un instrumento con autorango selecciona automáticamente el rango para el lleno total de la pantalla, proporcionando la lectura más sensitiva durante la medición y optimizando la resolución de la lectura. Cuando se tomen una serie de lecturas, el operador podrá maximizar el uso de su tiempo.

Prueba de Transformadores

La prueba regular de transformadores puede ayudar a identificar problemas que reducen el rendimiento del sistema y pueden conducir a apagones inesperados. La resistencia de CD del arrollamiento de un transformador puede indicar la temperatura interna del arrollamiento cuando se compara la resistencia al ambiente con la resistencia en caliente. El método ideal de prueba es hacer lecturas de resistencia con intervalos de un minuto según se vayan enfriando el arrollamiento caliente. Cuando se grafican estos datos, se puede calcular la resistencia a tiempo cero (ver Figura 19).

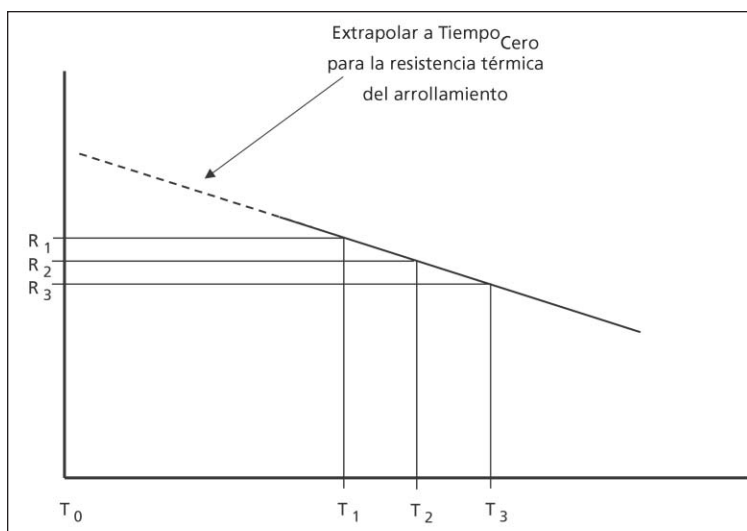


Figura 19: Gráfica de Resistencia de Enfriamiento del Arrollamiento del Transformador – Prueba de Calentamiento en Carga

La prueba típica indicará sobre calentamiento excesivo en las bobinas debido a fatiga o corrosión de la bobina interna y/o conexiones internas. La prueba de baja resistencia se hace para arrollamientos de transformadores pequeños, medianos y grandes, monofásicos, polifásicos y auto-transformadores. Las pruebas se ejecutan en:

- Arrollamientos dobles con la corriente de prueba conectada a través de los arrollamientos en polaridades opuestas.
- Arrollamientos estrella-estrella con y sin conexión de neutro; el terminal del otro arrollamiento se conecta al cable de potencial para medir la tensión en la conexión interna.
- Arrollamientos estrella-delta; se usa un puente para conectar la corriente del arrollamiento en estrella al arrollamiento en delta (este modo de prueba reduce el tiempo de la misma).
- Arrollamiento Delta-delta; el tiempo de prueba se puede mejorar conectando el puente de corriente al primario y secundario de la misma fase en polaridades opuestas.

Se usan derivaciones para mejorar la regulación de tensión y se ajustan diariamente. El desgaste excesivo y aflojamiento debido a vibración, se puede identificar con mediciones de baja resistencia. Se pueden ejecutar pruebas consecutivas en cambiadores de derivaciones en el secundario (estilo de derivaciones en corto). Los transformadores grandes tienen muchas posiciones de derivaciones y se reducirá el tiempo de prueba, puesto que la corriente de prueba no tiene que desconectarse entre pruebas. Las pruebas en derivaciones primarias (derivaciones abiertas) se deben ejecutar como pruebas individuales con la corriente de prueba desconectada entre pruebas.

El ohmímetro de baja resistencia debe tener suficiente capacidad de corriente para saturar los arrollamientos. El tiempo de prueba dependerá de la corriente de prueba disponible. Los transformadores grandes requieren especial atención antes de ejecutar las pruebas. El aislamiento entre los arrollamientos almacenará energía, similar al dieléctrico en un cable, y debe descargarse antes de que se pueda ejecutar una prueba.

Cuando se prueban transformadores trifásicos, ocurrirá una interacción entre los arrollamientos primario y secundario. Esta situación será más evidente cuando se prueben transformadores con arrollamientos estrella y delta, y se puede minimizar conectando la corriente de prueba para que circule a través de los arrollamientos primario y secundario. El efecto neto es reducir el acoplamiento mutuo entre los arrollamientos y minimizar el flujo de corriente circulando en el arrollamiento en delta.

La prueba de corriente debe limitarse a la corriente de magnetización, que es de cerca de 1% de la corriente a plena carga. Las corrientes de prueba más bajas reducen los esfuerzos en el núcleo magnético del arrollamiento. Las corrientes de prueba altas producen grandes fuerzas en el núcleo y pueden provocar daños.

Prueba Barra-Barra

Se usan puntas de prueba helicoidales para medir el valor de resistencias barra-barra del rotor en un motor de CD (ver Figura 2 anterior). Esta prueba se ejecuta típicamente a nivel de corriente de 10 A con las mediciones de resistencia de bobina típicas en el rango de 6000 micro-ohmios. Estas pruebas identifican soldaduras rotas/sueltas o conexiones soldadas entre las bobinas y barras del conmutador. Las mediciones de resistencia deben permanecer consistentes. Las lecturas pueden ser más altas en un motor calentado, debido a la temperatura de las bobinas. Según se enfrían las bobinas, los valores de resistencia pueden caer a algún valor de referencia anterior registrada a temperatura ambiente.

La Figura 20 muestra un arrollamiento traslapado, un estilo donde los arrollamientos están conectados a barras colocadas juntas. Para hacer una prueba, la punta de prueba de corriente debe colocarse en el extremo de la barra del conmutador y la punta de prueba de potencial debe colocarse en la conexión al arrollamiento (la elevación sobre la barra del conmutador). El operador mide la resistencia de los arrollamientos entre cada juego de barras que se están probando 1-2, 2-3, 3-4, etc.). En este ejemplo, existe una junta de soldadura posiblemente débil entre las barras 4 y 5, y una rotura en la bobina entre las barras 12 y 13 (el instrumento indicará esto como abierto).

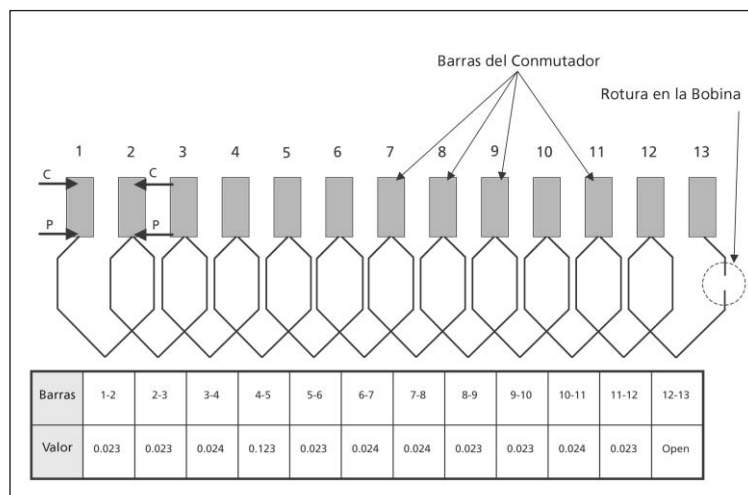


Figura 20: Prueba de un Arrollamiento Traslapado

En la Figura 21 (arrollamiento traslapado, 24 bobinas), todas las bobinas están conectadas en serie. Se medirá la resistencia de cada bobina con la resistencia de todas las demás bobinas conectadas en paralelo. La pregunta principal para el operador es qué constituye una lectura aceptable para una bobina específica (R_m) puesto que las restantes 23 bobinas en paralelo disminuirán la resistencia de la bobina que se está probando. Para este ejemplo, asumiremos que la resistencia de la bobina antes de la inserción dentro del motor (R_c) fué de 1.00 ohmio. La resistencia esperada se puede calcular con la ecuación: $R_m \text{ Esperada} = (R_c) (\# \text{ de bobinas bajo prueba} / (\# \text{ de bobinas en paralelo} + \# \text{ de bobinas en paralelo}))$. En este ejemplo:

$$R_m \text{ Esperada} = (1.00 \text{ ohmio})(1)(23)/(1 + 23)$$

$$R_m \text{ Esperada} = .958 \text{ ohmios}$$

La Figura 22 muestra un arrollamiento en serie, otra técnica de fabricación para colocar bobinas de alta resistencia en un motor. En este ejemplo, la bobina está entre la barra de conmutador 1 a 6 a 11 a 16 y luego retorna el lazo alrededor de la armadura a la barra de conmutador 2 (conectada en serie). Cuando el operador mide entre las barras 1 y 2, está chequeando la resistencia de la bobina devanada en serie (el lazo completo). En este ejemplo, existe una rotura en la bobina entre las barras 12 y 17. Este problema aparecerá cuando se midan las barras 2 y 3, puesto que ellas son las barras inicial y final del lazo.

La Figura 23 muestra las conexiones de conmutador del arrollamiento en serie a las bobinas internas y las conexiones de la punta de prueba a las barras de conmutador individuales. Esto es un arreglo simplificado, puesto que el anillo completo muestra las conexiones serie para todas las bobinas en la armadura. Un motor de CD tendrá un número diferente de bobinas, dependiendo de los caballos de potencia y el valor nominal de tensión. En este ejemplo (probando desde la barra #1 a la barra #2), están dos bobinas en serie y diez y nueve en paralelo. Si una bobina se abre en el anillo, la medición de la barra #1 a la barra #2 será el valor de la serie de las dos bobinas. Si las puntas de prueba están a través de la bobina abierta, se desplegará la resistencia total de las demás diez y nueve bobinas.

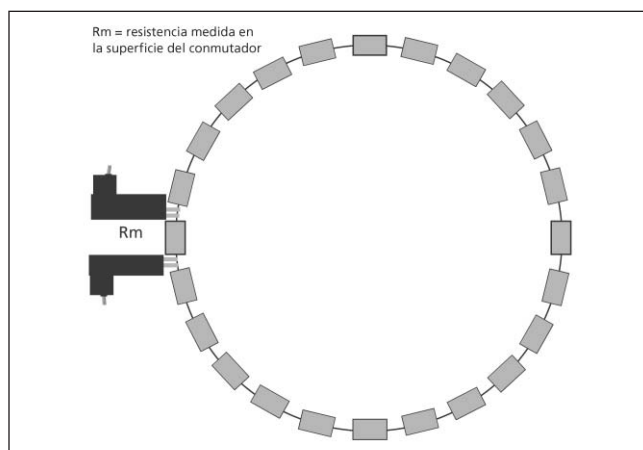


Figura 21: Conmutador con 24 Bobinas en Serie

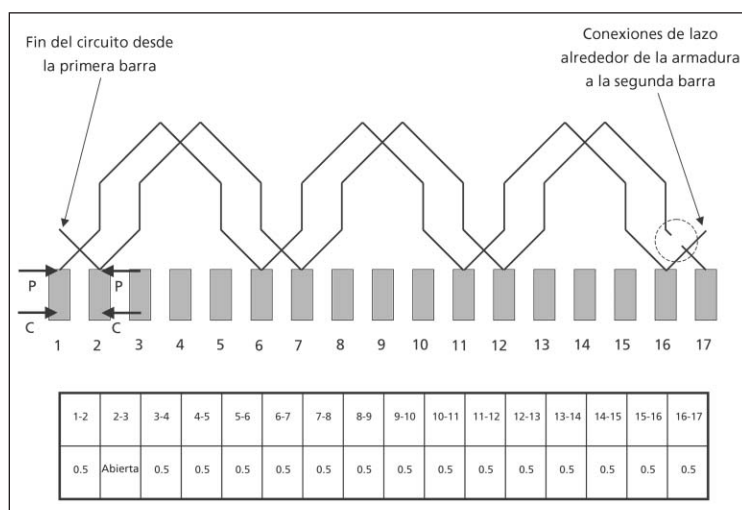


Figura 22: Prueba de un Arrollamiento en Serie

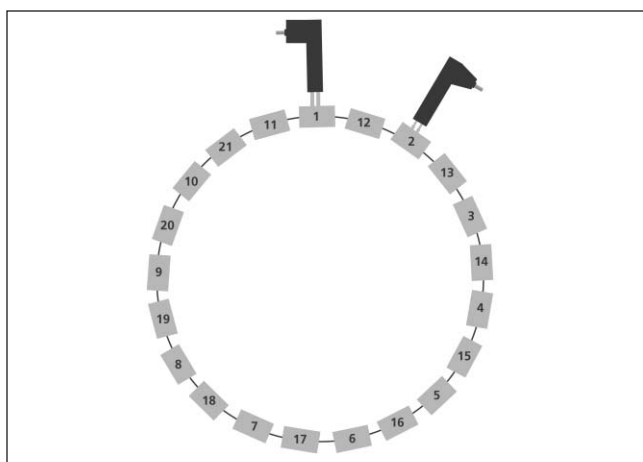


Figura 23: Arreglo de Bobinas en un Arrollamiento en Serie

Prueba de Puentes de Baterías

Cuando se prueben puentes de baterías, el operador debe tener valores de línea base u objetivos para comparar contra los resultados reales. A continuación se dan varios ejemplos de como determinar estos niveles de objetivo.

En el primer ejemplo (ver Figura 24), el operador está midiendo la resistencia (R_0) a través de un solo puente de batería (ambos lados del terminal). Los puentes en cada lado del terminal tienen una resistencia de 20 micro-ohmios y cada una de las conexiones a los terminales tienen una resistencia de 5 micro-ohmios. Bajo estas condiciones, la resistencia objetivo que desea ver el operador es de 15 micro-ohmios. Una variación significativa de esta resistencia en la lectura real indicaría una conexión floja.

El segundo ejemplo (ver Figura 25) muestra los terminales conectados en paralelo con tiras de soporte con una resistencia de 100 micro-ohmios. En este caso, la resistencia objetivo que desea ver el operador es de 14 micro-ohmios.

Si existe un puente abierto entre los terminales "a" y "b," la lectura de resistencia sería significativamente mayor que la objetivo, así:

$$R_{a-b} = R_{a-c} + R_{c-d} + R_{b-d}$$

$$R_{a-b} = 100 + 15 + 100$$

$$R_{a-b} = 215 \mu\Omega$$

Se pueden ejecutar pruebas adicionales entre terminales de la misma polaridad en una celda. Tal prueba ayudará a determinar la calidad de las soldaduras terminal-barra y los principales problemas con la barra interna a la cual están soldadas las placas, puesto que todas están conectadas en serie. En este ejemplo, la resistencia medida entre terminales parecidos en la misma celda debe estar en el rango de 100 micro-ohmios.

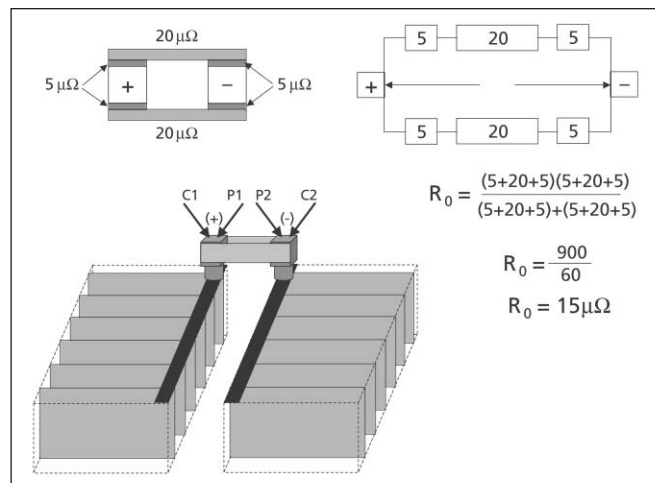


Figura 24: Resistencia Objetivo de un Puente de Batería

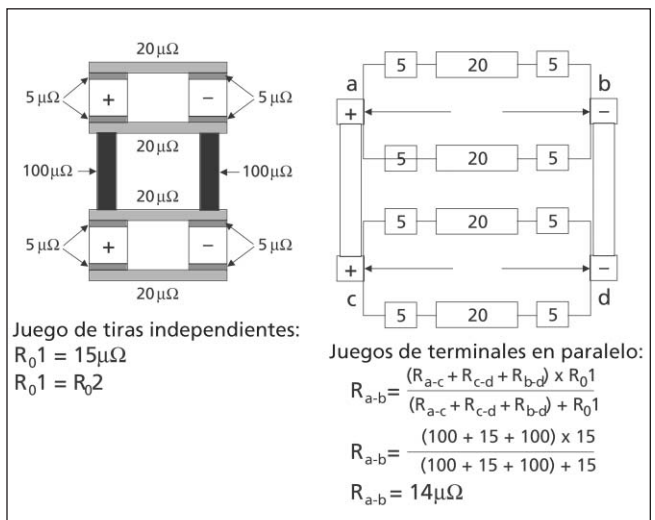


Figura 25: Resistencia Objetivo de Tiras de Soporte en Paralelo

Puentes Wheatstone y Kelvin

Puente Wheatstone

Un método pionero para medir resistencia se inventó en 1833 por S. H. Christie y se hizo público por Sir Charles Wheatstone. El arreglo más simple es un patrón cuadrado de cuatro resistencias con un galvanómetro conectado a través de una diagonal y una batería a través de la otra (ver Figura 26). Dos de las resistencias son de valores apropiados conocidos y comprenden al ramal de relación (A + B). Una tercera tiene un valor conocido que se puede variar en incrementos pequeños sobre un rango amplio, y se designa como ramal reóstato (R). La cuarta es la resistencia que se está midiendo, el ramal desconocido (X).

Se considera balanceado el puente cuando se ha ajustado (pinchado) el ramal reóstato en forma tal que la corriente se divide de manera que no existe caída de tensión a través del galvanómetro y éste deja de defleccionar (se anula). La resistencia que se está midiendo se puede calcular entonces conociendo los valores de resistencia de relación y el valor ajustado del ramal reóstato. La fórmula básica es:

$$X = B/A \times R$$

Donde:

B y A son las resistencias de relación

R es el reóstato

El Puente de Wheatstone se puede construir en una variedad de rangos y se usa generalmente para todas las mediciones, menos las más altas y las más bajas. Es adecuado para un rango entre 1 a 100,000 ohmios.

Puente Kelvin

El Puente Kelvin (conocido también como Puente Thomson) se usa para mediciones de precisión por debajo del rango típico del Puente Wheatstone. Sir William Thomson (Lord Kelvin) inventó el concepto en 1854. El arreglo clásico tienen seis resistencias en un rectángulo, bisecado por un galvanómetro (ver Figura 27). Una corriente comparativa grande se pasa a través de la resistencia desconocida y una resistencia conocida de bajo valor. El galvanómetro compara la caída de tensión a través de estas dos resistencias con el circuito de relación doble compuesto por las otras cuatro resistencias.

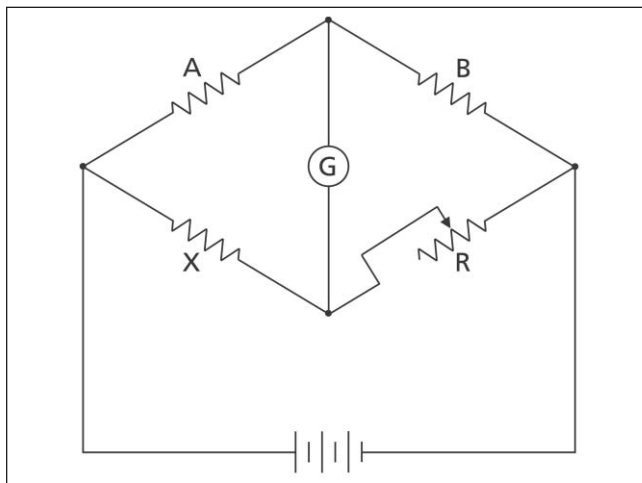


Figura 26: Circuito del Puente Wheatstone^{vii}

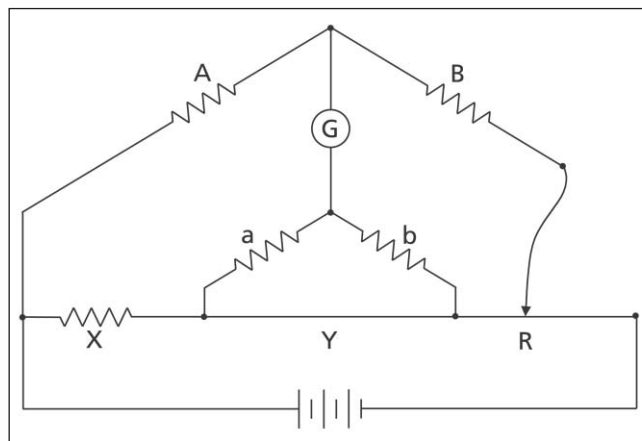


Figura 27: Circuito del Puente Kelvin^{viii}

^{vii} Electrical Meterman's Handbook; Third Edition; 1965; página 479

^{viii} Electrical Meterman's Handbook; Third Edition; 1965; página 480

Para mediciones muy bajas, el Puente Kelvin tienen la ventaja de anular resistencias extrañas de cables y contactos empleando el sistema de ramal de doble relación. Las resistencias de los cables de conexión están en serie con el ramal de alta resistencia y no con la resistencia de referencia y en prueba. Los dos pares de resistencias de relación (A/B, a/b) están en paralelo entre sí y conectados a través del galvanómetro. Un par (a/b) está en serie con la resistencia desconocida (X) y la resistencia estándar de referencia (R). La última es una resistencia baja ajustable, usualmente una barra de manganina con un contacto deslizable. Cuando está balanceado el potencial a través de los dos circuitos paralelos, la resistencia desconocida es equivalente a la relación paralelo multiplicada por el valor de referencia ajustado.

$$X = A/B \times R$$

Un eslabón de conexión (Y), algunas veces denominado yugo, deriva el par de resistencias de relación (a/b) que de otra manera están en serie con las resistencias desconocida y estándar, pero tiene efecto mínimo en la precisión de la medición, mientras que los dos pares de resistencias de relación en paralelo se mantienen exactamente igual (desde A hasta a, B hasta b). Las resistencias de cables y contactos están incluidas en el valor de los pares de resistencias de relación y cualquier efecto puede anularse manteniendo la resistencia del yugo extremadamente baja. Manteniendo baja la resistencia del yugo permite además las altas corrientes de prueba usadas a menudo en los Puentes Kelvin sin provocar efectos indeseados de calentamiento.

Seguridad

La seguridad es responsabilidad del ingeniero o técnico de prueba de campo, cualquiera que esté en contacto con la muestra que se está probando. La mayoría de las pruebas de campo se ejecutan en circuitos des-energizados. Cuando se prueban componentes magnéticos, puede ocurrir un estado de saturación de arrollamiento. El operador debe hacer un cortocircuito a través del arrollamiento para neutralizar la energía almacenada en el mismo y luego hacer una prueba de tensión para verificar el estado neutro de la muestra. Algunos instrumentos tienen lámparas indicadores en las puntas de prueba para alertar al operador de una condición de circuito vivo.

La prueba de puentes de baterías representa una condición especial, pues las baterías deben permanecer conectadas. Se requiere que el operador use guantes aislados, máscara y un delantal para el cuerpo para protección cuando ejecute estas pruebas. Esta es una de las pocas veces en que las pruebas de resistencia eléctrica se ejecutan en el campo en sistemas energizados. Están disponibles puntas de prueba especiales, con capacidad de operación a 600 V, con los instrumentos nuevos para ejecutar estas pruebas.

El uso de instrumentos con capacidad de almacenar los valores medidos mejora la seguridad pues el operador no tiene que escribir las lecturas entre cada prueba.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE PRODUCTOS MEGGER

Megger ofrece soluciones para asegurar el rendimiento de los sistemas eléctricos con su línea completa de Ohmiómetros y Micro-ohmiómetros de Baja Resistencia.

A continuación tenemos una descripción general de los diversos productos disponibles. Para más información de estos y muchos otros productos Megger, contáctenos por favor al (800) 723-2861 o (214) 333-3201. O visite nuestro sitio web www.megger.com para las más recientes noticias, productos e información de servicio...24 horas al día.

Ohmiómetro Digital de Baja Resistencia DLRO-10

La más avanzada tecnología brinda un probador de 10 A con la más alta precisión ($0.1 \mu\Omega$), más modernas características de conveniencia para mejorar y ampliar la facilidad, conveniencia y capacidad de prueba. Cuatro modos de prueba por separado permiten al operador cumplir con desafíos específicos con máxima eficiencia.

Adicional a la operación con pulsador en el modo normal, un modo auto inicia automáticamente una nueva prueba cada vez que el contacto se abre y se hace de nuevo. Un modo continuo monitorea los cambios en resistencia y despliega una nueva medición cada tres segundos. Un modo de alta potencia incrementa la potencia para superar grandes cargas inductivas y proporcionar una medición rápida.

Los circuitos de medición están diseñados con características extra de ahorro de batería, en forma tal que la corriente circula únicamente cuando se está ejecutando una medición real. Se ejecutan automáticamente inversión de polaridad y promediado para cancelar emfs permanentes.

El probador es liviano y altamente portátil, permitiendo una fácil maniobrabilidad alrededor del ambiente de prueba. Indicadores de advertencia alertan al operador de problemas comunes como tensión viva o contacto insuficiente y el probador se suministra con un juego de puntas de prueba dobles.



Ohmiómetro Digital de Baja Resistencia DLRO-10X

El DLRO-10X tiene todas las características, beneficios y capacidades del DLRO10 agregando más! El DLRO-10X adiciona capacidad de almacenamiento y descarga de datos a través de un puerto RS232 a una PC portátil o impresora. Se pueden almacenar hasta 700 pruebas, con descarga en tiempo real facilitando un almacenamiento aún más grande.

La administración de datos adicional incrementa los ya prolíficos beneficios disponibles en el DLRO-10. Un teclado alfa-numérico permite el ingreso de notas de prueba de hasta 200 caracteres. Se pueden ajustar límites alto/bajo para pruebas pasa/falla, con resultados incluidos en los reportes de prueba.

Las características de control incluyen selección manual de corriente y un modo de prueba adicional unidireccional para una mayor velocidad, donde las emfs permanentes no son un problema.



Micro-ohmiómetro Digital DLRO600

Todas las características de los instrumentos DLRO-10 y 10X, más corriente adicional de hasta 600 A para satisfacer las normas preferidas para la prueba de contactos de interruptor de circuito. Todavía se mantiene la característica de portabilidad pues el probador pesa únicamente 33 libras!

El rango de medición desde $0.1 \mu\Omega$ a 1Ω facilita todos los requerimientos estándar de alta corriente. La memoria almacena hasta 300 resultados mientras que un puerto RS232 permite la descarga a una impresora o PC portátil. Las capacidades agregadas de manipulación de datos permiten limitación de corriente a valores estándar de hasta 600 A, eliminando así la necesidad de múltiples probadores a fin de cumplir con una variedad de normas.



Micro-Ohmiómetro Digital

Para pruebas según normas que requieren una corriente más robusta, el modelo **247100** combina las características básicas y especificaciones de los modelos de 10 A con una fuente de poder adicional (**247120**) que incrementa la corriente de prueba a 100 A. La fuente de poder se acopla con un cable de interconexión a una unidad paquete-doble que se puede usar por separado como un probador estándar de 10 A, con rango adicional bajo de hasta $0.1 \mu\Omega$.

Si se prefiere el diseño compacto para la unidad separable de 10 A, el modelo **247101** proporciona los 100 A de alimentación con un módulo de paquete-simple.

Cat. No. 247101



Ohmiómetro Digital de Baja Resistencia Serie 247000

Esta línea tradicional de Megger ha sido el sello de calidad y confiabilidad desde la presentación del DLRO, y permanece tan popular hoy como siempre. Décadas de uso probado en el campo los han hecho el estándar que define robustez y portabilidad.

Tres modelos de 10 A en la serie, ofrecen la más alta precisión, combinada con facilidad de operación amigable al usuario. El **Cat. No. 247000** ofrece el diseño probado y popular de paquete-doble, donde el cargador es una pieza separada que puede estar en la parte posterior mientras el módulo de medición permite lo máximo en portabilidad. Donde la característica auto-contenido es premiada, el **Cat. No. 247001** combina el módulo de medición y cargador en una unidad paquete-simple sin pérdida de la conveniente portabilidad. El **247002** es también una unidad de paquete-simple, con un rango agregado para precisión extra y resolución baja de hasta $0.1 \mu\Omega$.

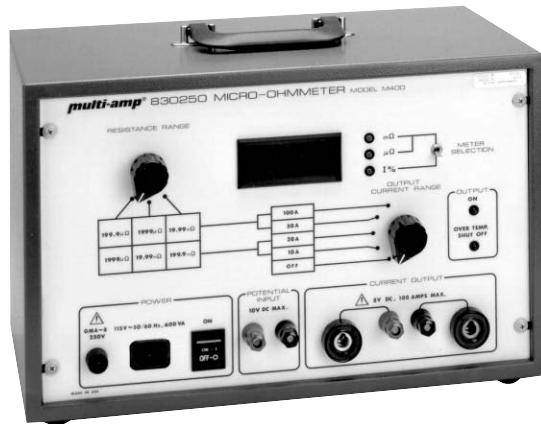


Cat. No. 247000

Micro-ohmiómetro Digital de 100 A

Para máxima portabilidad en una unidad de 100 A, el M-400 proporciona un módulo simple operado por la línea de potencia. Su portabilidad lo hace ideal para pruebas alrededor de barras e interruptores de circuito.

Un circuito regulador de corriente estabiliza contra la tensión de línea, haciendo posible mediciones de 0.1 mΩ. Cuatro corrientes de prueba seleccionables a 10, 20, 50 y 100 A facilitan el cumplimiento de una variedad de normas, con una capacidad de corto tiempo en las salidas de alta corriente que hacen posible el diseño compacto.



Ohmiómetro de Baja Resistencia BT51

Donde la economía y simplicidad de operación son lo principal, el Megger DUCTER BT51 requiere únicamente el ajuste de un conmutador de rango de dos posiciones. Son seleccionables rangos de 2000 mΩ y 20 mΩ, con 1 mΩ y 0.01 mΩ de resolución, respectivamente.

La unidad opera con una corriente de prueba de 2 A, proporciona indicadores de advertencia y se suministra con puntas de prueba dobles.

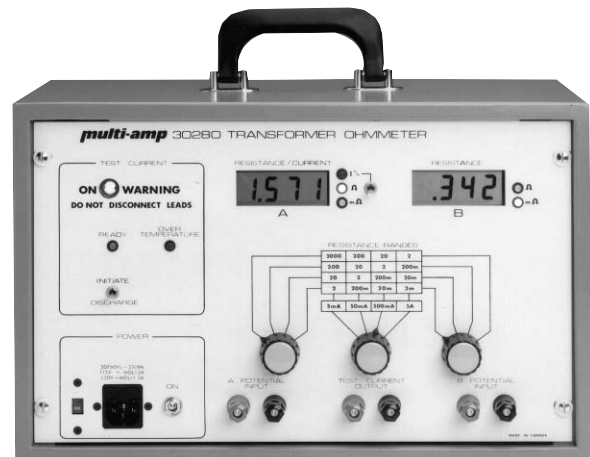


Ohmiómetro de Transformador

El ohmiómetro de transformador es una unidad operada por la línea, portátil para uso en el campo, diseñada para prueba rápida de cargas inductivas de arrollamientos magnéticos en transformadores, cambiadores de derivaciones bajo carga y maquinaria rotativa.

Dos canales independientes de medición permiten la prueba simultánea de los arrollamientos primario y secundario para atenuar la corriente circulante y mejorar diez veces el tiempo de prueba. Los canales dobles pueden también agilizar la prueba midiendo dos fases a la vez. El apagado automático es accionado por contragolpe de tensión si se abren los contactos del cambiador de derivaciones.

Un circuito de descarga, descarga en forma segura el aparato bajo prueba al terminar la misma, si se desconecta un cable de prueba o si se pierde la alimentación. Las corrientes de prueba de 5, 50 y 500 mA y 5 A proporcionan mediciones de hasta 1999 Ω, con resolución baja de 0.001 mΩ.



Un solo sitio para todas sus necesidades de equipos de prueba eléctrica.

- Equipo de Prueba de Batería
- Equipo de Localización de Falla de Cables
- Equipo de Prueba de Interruptores de Circuito
- Equipo de Prueba de Comunicación de Datos
- Equipo de Prueba de Fibra Óptica
- Equipo de Prueba de Resistencia de Tierra
- Equipo de Prueba de Factor de Potencia del Aislamiento (C&DF)
- Equipo de Prueba de Resistencia de Aislamiento
- Equipo de Prueba de Línea
- Ohmímetros de Baja Resistencia
- Equipo de Prueba de Motor y Rotación de Fases
- Multímetros
- Equipo de Prueba de Aceite
- Equipo de Prueba de Descarga Parcial
- Probador Portátil de Artefactos y Herramientas
- Instrumentos de Calidad de Servicio
- Equipo de Prueba de Reconector
- Equipo de Prueba de Relés
- Equipo de Prueba de Red T1
- Tacómetros e Instrumentos para Medir Velocidad
- Equipo de Prueba TDR
- Equipo de Prueba de Transformadores
- Equipo de Prueba de Deterioro de Transmisión
- Equipo de Prueba de Medidor de Vatios-Hora
- Borneras y Caja de Prueba de Contactos STATES®
- Programas Profesionales de Entrenamiento Técnico Práctico y de Seguridad

Megger es un líder mundial en la fabricación y suministro de instrumentos de prueba y medición usados dentro de las industrias de potencia eléctrica, cableado de edificios y telecomunicaciones.

Con instalaciones de investigación, ingeniería y fabricación en los Estados Unidos de América y en el Reino Unido, combinado con ventas y soporte técnico en la mayoría de los países, Megger está singularmente posicionado para suplir las necesidades de sus clientes a nivel mundial.

Para más información acerca de Megger y su diversificada línea de instrumentos de prueba y medición, contáctenos a:

Llamadas: 1-214-333-3201 - Fuera de USA y Canadá

Fax: 1-214-331-7379

Email: latinsales@megger.com

O visite nuestro sitio web: www.megger.com

Autores:

Peter E. Langan

Jeffrey R. Jowett

S. Graeme Thomson

David O. Jones

With sales offices and authorized distributors in most countries, Megger can provide a unique local service for the electrical and communications industries across a complete range of test and measurement instruments. Contact Megger today for expert assistance.

Avec des bureaux de vente et de distributeurs autorisés dans la plupart des pays, Megger peut fournir un service local unique pour les industries spécialisées dans l'électricité et la communication à travers une gamme complète d'instruments d'essai et de mesure. N'hésitez pas à contacter Megger dès aujourd'hui pour une assistance spécialisée.

Gracias a las oficinas de ventas y de distribución autorizadas en la mayoría parte de los países, Megger puede proporcionar a un servicio local único a las industrias especializadas en eléctrica y comunicación a través de una gama completa de los de instrumentos de prueba y medida. No vacilen en contactar Megger a partir de hoy para la asistencia especializada.

Mit Verkaufsbüros und autorisierten Distributoren in vielen Ländern bietet Megger einen einzigartigen Service an Elektrischen und Kommunikations Prüf und Messgeräten. Für Fachbetreuung setzen Sie sich jetzt gleich mit Megger in Verbindung.



Megger Pty Limited
PO Box 118 Cherrybrook
SYDNEY
NSW 2126
AUSTRALIA
T +61 (0)2 9875 4765
F +61 (0)2 9875 1094
E ausales@megger.com

Megger
PO Box 15777
Kingdom of BAHRAIN
T +973 411311
F +973 413399
E mesales@megger.com

Megger Limited
110 Milner Avenue Unit 1
Scarborough Ontario M1S 3R2
CANADA
T 1 800 297 9688 (Canada only)
T +1 416 298 6770
F +1 416 298 0848
E casales@megger.com

Megger
MBE No 393
C/Modesto Lafuente 58
28003 Madrid
ESPAÑA
T + 44 1304 502100
F + 44 1304 207342
E espana@megger.com

Megger SARL
23 rue Eugène Henaff
ZA du Buisson de la Coudre
78190 TRAPPES
FRANCE
T +01 30 16 08 90
F +01 34 61 23 77
E infos@megger.com

Megger
PO Box 12052
Mumbai 400 053
INDIA
T +91 22 6315114
F +91 22 6328004
E insales@megger.com

Megger Limited
Archcliffe Road Dover
CT17 9EN
UK
T +44 (0) 1304 502100
F +44 (0) 1304 207342
E uksales@megger.com

Megger
4271 Bronze Way
Dallas TX 75237-1019 USA
T 1 800 723 2861 (USA only)
T +1 214 333 3201
F +1 214 331 7399
E ussales@megger.com

Megger
Valley Forge Corporate Center
2621 Van Buren Avenue
Norristown PA 19403 USA
T 1 800 723 2861 (USA only)
E ussales@megger.com

Megger®

WWW.MEGGER.COM