

Manual de Contenido
del Participante

Instrumentos de Medición Eléctrica



TX-TIP-0001

ESPAÑOL

Propósito y Objetivos de este Manual

Este manual tiene como propósito introducir los diversos instrumentos de medición del voltaje, corriente y resistencia, los principios físicos bajo los cuales funcionan, y los procedimientos para llevar a cabo las mediciones.

Los objetivos de este manual se orientan al cumplimiento de los siguientes puntos:



Definir los conceptos básicos acerca de las medidas eléctricas.



Identificar los diferentes tipos de medidas eléctricas.



Reconocer las características de los instrumentos de medición eléctrica.

Es importante comprender las consecuencias que el desconocimiento de los conceptos y principios explicados en este manual puede ocasionar en el ambiente, seguridad y salud ocupacional y en la calidad del producto final.

Cómo Utilizar este Manual

Este manual le muestra cuáles son los distintos instrumentos utilizados para medir el voltaje, la corriente y la resistencia.

En este manual Ud. puede encontrar la explicación detallada de instrumentos y procedimientos de medición, junto con actividades pensadas para reforzar la comprensión de los temas.



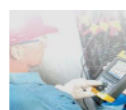
CAPÍTULO 1 5
Introducción a las Medidas Eléctricas



CAPÍTULO 2 26
Medición de la Tensión e Intensidad de Corriente



CAPÍTULO 3 38
El Multímetro



CAPÍTULO 4 85
Medición de Potencia



CAPÍTULO 5 103
Medición de Resistencias y Aislamiento



CAPÍTULO 6 126
Pruebas de Aislamiento



CAPÍTULO 7 153
Medición de Capacidad e Inductancia



CAPÍTULO 8 161
Medición de Campos Magnéticos y Frecuencias



CAPÍTULO 9 165
Ejecución de Aparatos Eléctricos de Medida

ANEXO 182

El manual contiene pequeñas figuras que se repiten en todos los capítulos y que son una forma de organización de la información para hacer más fácil y dinámica la lectura. Estas figuras se denominan íconos.

A continuación hay una descripción de la utilización de cada ícono, es decir en qué oportunidad aparecen:



GLOSARIO

Explica términos y siglas.



RECUERDE

Refuerza un concepto ya mencionado en el texto del manual.



ANEXO

Profundiza conceptos.



MANTENIMIENTO

Resalta procedimientos necesarios de mantenimiento.



PREGUNTAS

Presenta preguntas disparadoras.



ATENCIÓN

Destaca conceptos importantes.



EJEMPLO

Ilustra con situaciones reales los temas tratados.



ACTIVIDAD

Señala el comienzo de un ejercicio que le permitirá reforzar lo aprendido.



EXAMEN FINAL

Señala el comienzo de la evaluación final.



FIN DE CAPÍTULO

Señala la finalización del capítulo.



FIN DE MANUAL

Señala la finalización del manual.

Introducción a las Medidas Eléctricas

TEMAS DEL CAPÍTULO 1

1.1 Conceptos Generales	6
1.2 Sistemas de Unidades	12
1.3 Principios Aplicables a la Técnica de Medidas	15
1.4 Métodos de Medida	24

En este capítulo se mostrarán los principios básicos de funcionamiento de los aparatos eléctricos de medición y los distintos conceptos que los acompañan.



1.1 Conceptos Generales

Bajo el concepto de medir se entiende la acción de registrar numéricamente magnitudes cuyo conocimiento es importante, por ejemplo, para estudios de carácter científico, en el servicio de instalaciones, en la producción y distribución de bienes o energía.

Medir significa comparar una magnitud correspondiente con una unidad apropiada.

Magnitud de Medida

Aquella magnitud física, química o de cualquier otro tipo, que se pretende medir.

En los métodos de medida se aprovechan determinadas propiedades o efectos del objeto de la medición para relacionar, en un dispositivo de medida apropiado y montado a este fin, la magnitud correspondiente con una unidad definida, o bien con uno o varios valores prefijados.

Valor de Medida

Es el de la magnitud de medida determinado con ayuda de un dispositivo adecuado. Se expresa como el producto del valor numérico por la unidad correspondiente.

El dispositivo de medida (denominado también instalación o equipo de medida) es el conjunto de todos aquellos componentes con los que se realiza un método de medida basado en un principio determinado. Si el dispositivo consta de un solo componente se denomina instrumento de medida.

Como instrumento de medida se designan también a aquellas partes de un dispositivo que son determinantes para las propiedades de medición (amplificador de medida, transformador de intensidad, patrones, etc.).

Los restantes componentes de un dispositivo de medida, que no son decisivos para las propiedades de medición, tales como fuentes de energía, elementos de ajuste, amplificadores de valor cero, conductores de unión, etc., se denominan aparatos auxiliares (accesorios).

Las partes de un dispositivo de medida que se pueden distinguir según su función (detectores, elementos de transformación y elaboración, emisores), no siempre forman componentes propios de aparatos.

Entre las partes de un dispositivo de medida se transmiten las llamadas señales de medida, que constituyen una medida de la magnitud pero que no tienen que ser iguales a ésta desde el punto de vista físico. Por ejemplo, el par de giro mecánico, como medida de la corriente eléctrica que pasa a través de un sistema, la corriente registrada en la salida de un amplificador como medida de la tensión de entrada, etc.

Mediciones Analógicas	Mediciones Digitales
En éstas se puede representar y registrar de forma continua cualquier valor de la magnitud de medida, dentro del margen previsto. Por consiguiente, la señal de medida puede asumir cualquier valor que esté comprendido dentro del margen de señales que corresponda al de la medida.	En éstas se pueden representar únicamente y de forma discontinua, valores discretos de la magnitud de medida con una graduación más o menos fina. El valor de medida viene dado por la suma de pequeños valores parciales y se emite con ayuda de indicadores de cifras o impresores. Como la mayor parte de las magnitudes de medida pueden variar de forma continua, hay que cuantificarlas primeramente, es decir, dividir las en escalones a los que se ha asignado una señal de medida discreta. Sólo algunos procesos de cómputos, tales como la medida de radiación (cuantos), proporcionan de por sí resultados cuantificados.

La exactitud de los métodos de medición digital depende exclusivamente del grado de fineza de los escalones de cuantificación y se puede lograr mediciones de mayor exactitud con aparatos de mayor costo.

La ventaja principal de los métodos de medición digital radica en la posibilidad de almacenar las señales de medida cuantificadas y procesarlas sin que se produzcan errores adicionales.

El valor de una magnitud determinado por un instrumento de medida no está exento de errores.

La diferencia entre el valor medido y el real se denomina error.

El error se expresa en las unidades de la magnitud correspondiente (error absoluto) o en porcentaje de un valor de referencia (error relativo) del margen de medida o del valor teórico.

Los límites de error en la técnica de medida son las desviaciones extremas, convenidas o garantizadas, hacia arriba o hacia abajo, de la indicación correcta o de un valor prescrito.

La precisión que se puede alcanzar en la medida depende sobre todo del instrumento utilizado, pero también de la constitución y del manejo del dispositivo completo de medida.

ATENCIÓN



No siempre es conveniente tender a alcanzar la mayor precisión posible, ya que por lo general los aparatos resultan tanto más costosos cuanto mayor sea su calidad y, en ocasiones, aumenta su sensibilidad a las perturbaciones. Además, es necesario poner mucha atención en su manejo y al leer los valores indicados, si es que se pretende aprovechar realmente sus propiedades.

Para la precisión en la medida son de gran importancia las llamadas magnitudes de influencia, es decir, magnitudes físicas variables que influyen sobre la relación entre las magnitudes de entrada y de salida dentro del sistema de medida.

RECUERDE



Cuando se facilitan datos cuantitativos se debe evitar la expresión “precisión en la medida”. En estos casos conviene usar exclusivamente los conceptos de incertidumbre de medida, tolerancia o límites de error.

Las magnitudes de influencia más importantes son:

- Temperatura;
- Humedad;
- Presión del aire;
- Posición;
- Vibraciones;
- Campos perturbadores;
- Tensión de la red;
- Frecuencia de la red;
- Tensiones parásitas.

La influencia viene dada por modificaciones en la magnitud de salida como consecuencia de una desviación de la magnitud considerada respecto de su valor nominal, cuando todas las demás magnitudes variables mantienen su valor nominal.

Con frecuencia se indican valores nominales o márgenes nominales para diferentes magnitudes de influencia, esto significa que si se observan estas condiciones nominales, rigen los límites de error garantizados por el fabricante del aparato.

Reglas para aparatos eléctricos de medida

Según estas reglas “VDE 0410” (cuya validez no se extiende a los aparatos electrónicos), se pueden proveer de un signo de clase a los sistemas eléctricos de medida indicadores, registradores y emisores de contactos, o a una parte de ellos, siempre que los errores relativos y las influencias bajo las condiciones de prueba prefijadas, se mantengan dentro de límites determinados.

- Instrumentos de cuadro: 1; 1,5; 2,5 y 5.
- Instrumentos de medida de precisión: 0,1; 0,2 y 0,5.
- Resistencias recambiables en serie y en paralelo: 0,05; 0,1; 0,2 y 0,5 (deben ser una clase mejor que el instrumento correspondiente).

Estos números expresan los límites que no debe sobrepasar el error relativo de indicación dentro del margen de medida.

Mediciones Digitales

Para estas reglas “VDE 0414”, se han fijado análogamente los signos de clase K1 0,1; K1 0,2; K1 0,5; K1 1 y K1 3 para transformadores de medida; en los transformadores de intensidad con gran escala se añade la designación adicional G.

Margen de Medida

(De un aparato indicador o registrador). Viene dado por el margen de valores de la magnitud de medida, dentro del cual el aparato se atiene a los límites de error definidos por la clase correspondiente.

Margen de Indicación

Comprende toda la escala del instrumento, puede ser más amplio que el margen de medida. Por ejemplo, al principio de la escala cuando la característica no es lineal o al final de la misma tratándose de márgenes de sobrecarga.

Margen de Señalización

Es el correspondiente a la magnitud eléctrica de entrada de un instrumento de medida. Puede diferir del margen de medida en los dispositivos provistos de resistencias en serie y en paralelo, transformadores o amplificadores de medida.

La escala de un instrumento puede diseñarse para el margen de medida, mientras que el sistema se dimensiona y se ajusta según el margen de señalización prescrito por el circuito exterior.

Sensibilidad

Corresponde al aparato de medida, viene dada por la relación existente entre la variación de las indicaciones (no la del ángulo de desviación) y la modificación de la magnitud de medida ocasionada por aquellas. En la mayoría de los casos, a mayor sensibilidad corresponde un menor consumo propio.

Umbral de Medida o Valor de Reacción

Variación de la magnitud de medida que ocasiona, de forma reproducible, un cambio mínimo apreciable en la indicación. Los datos respecto de estos valores suelen ser muy ambiguos en la mayoría de los casos.

Punto Cero Mecánico

Es el que señala la aguja indicadora del instrumento de medida en estado de reposo. No tiene que ser necesariamente un punto de la escala. No es necesario que el punto cero de la escala coincida con el punto cero mecánico.

El consumo propio de un instrumento de medida viene dado por la potencia absorbida bajo las condiciones de prueba, del portador de la señal dado por el sistema de medida y por las resistencias en serie y en paralelo incorporadas. La capacidad de sobrecarga instantánea se comprueba mediante un breve impulso de corriente (de duración aproximadamente igual al tiempo de ajuste), con el doble del valor final del margen de medida cuando se trata de instrumentos de precisión, con el doble de dicho valor final en el caso de los instrumentos de cuadro y en el circuito voltimétrico y en el circuito amperimétrico con diez veces el valor extremo del margen de medida. Después de esta carga, la desviación del punto cero debe ser como máximo del 0,5% de la longitud de la escala, y se han de mantener las condiciones de la clase correspondiente.

ATENCIÓN

El consumo propio ha de considerarse en todas las mediciones exactas.

La capacidad de sobrecarga permanente de un instrumento de medida equivale generalmente, dentro del margen de temperatura de operación y bajo las condiciones nominales, al valor final del margen de medida y a la temperatura nominal para dicho valor multiplicado por 1,2.

ATENCIÓN

Las partes de un instrumento de medida sometidas a tensión tienen que aislarse entre sí y con el exterior, con arreglo a la tensión de servicio (tensión nominal) del circuito de medida. Para las tensiones nominales más comunes se han fijado valores de prueba, con los que se comprueba el aislamiento.

GLOSARIO

Registrar: sinónimo también de examinar, reconocer, asentar, etc. Técnicamente se miden diferentes magnitudes y luego se anotan. A la acción de anotar las mediciones en forma secuencial cronológica se le llama registrar. La toma de estos valores en la unidad de tiempo originan los gráficos del componente medido. Estos gráficos se guardan para estudios posteriores como análisis, estadísticas, etc. que servirán después de estudios para sacar las conclusiones requeridas.

Graficar: bosquejar, dibujar, trazar. Técnicamente se dice que es el acto de representar en forma de figura los valores medidos. Se toman, por ejemplo, valores de voltaje de líneas a diferentes horas del día durante un mes y luego, colocados sobre papel, se puede observar el gráfico que muestra el comportamiento de la señal con todas sus variantes. Esto lleva a guardar o almacenar estos gráficos para, en forma comparativa, sacar conclusiones futuras.

Guardar: almacenar, preservar, conservar. Para estudios posteriores es necesario guardar los gráficos de una manera práctica y sencilla para su reconocimiento y comparación. También es conveniente tener la capacidad de obtener la mayor cantidad de valores en el menor espacio posible a manera de lograr su comparación con el menor esfuerzo.

Capacidad: cabida, suficiencia, contar con el espacio y la forma adecuada para recibir sin dificultad la información enviada; es decir, poder guardar los valores y de manera sencilla buscarlos para los trabajos posteriores correspondientes.

ACTIVIDAD 1.

Se han dado a conocer los conceptos generales de los instrumentos de medición.

Una con flechas el concepto con la definición correspondiente.



Instrumento de Medida

Valor que marca el aparato de medición cuando se encuentra en estado de reposo.

Valor de Reacción

Componente con el que se lleva a cabo un método de medida que se basa en un principio determinado.

Margen de Medida

Conjunto de componentes que basan su método de medida en un principio determinado.

Valor de Medida

Aquél que se obtiene con la ayuda del dispositivo adecuado.

Punto Cero Mecánico

Rango de valores dentro del cual el aparato se rige según los límites de error que se designan según la clase.

Error

Variación en la magnitud de medida que genera un cambio apreciable aunque mínimo en la indicación.

Dispositivo de Medida

Diferencia entre el valor medido y el real.

1.2 Sistemas de Unidades

Los sistemas de unidades están compuestos de números determinados de unidades básicas definidas independientemente, de las cuales se deducen las demás.

Sistema Internacional de Unidades (SI).

En el Sistema Internacional se han tomado como base las siguientes magnitudes y unidades:

Longitud	>	Metro (m)
Masa	>	Kilogramo (kg)
Tiempo	>	Segundos (s)
Intensidad de corriente eléctrica	>	Amperio (A)
Temperatura	>	Kelvin (K)
Intensidad Luminosa	>	Candela (Cd)

ATENCIÓN

El sistema parcial basado en las cuatro unidades fundamentales m, kg, s y A se denomina sistema MKSA o Georgi.

Sistema Técnico de Medida.

En el Sistema Técnico se definen las siguientes magnitudes y unidades fundamentales:

Longitud	>	Metro (m)
Fuerza	>	Kilogramo fuerza (kgf) o Kilopondio (kp)
Tiempo	>	Segundos (s)

Sistema Físico (CGS).

El sistema Físico (CGS) se basa en las tres unidades fundamentales centímetro, gramo, segundo.

Las unidades electrostáticas y electromagnéticas del sistema CGS se deducen por separado de las unidades fundamentales, con ayuda de las leyes de Coulomb.

El sistema electrostático se deriva de la ecuación:

$$F = \alpha \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

El sistema electromagnético se deriva de la ecuación:

$$F = \beta \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Donde:

F: Fuerza.

Q: Carga eléctrica.

m: Intensidad de los polos magnéticos.

r: Distancia que separa las cargas o los dipolos magnéticos.

ACTIVIDAD 2.

Coloque las siguientes unidades en la casilla del sistema al cual corresponden.



m, kgf, s, cm, kg, A, cd, K, g, kp.

1

Sistema Internacional

2

Sistema Técnico de Medida

3

Sistema Físico

Unidades Eléctricas y Magnéticas.

Tabla 4: Unidades eléctricas y magnéticas

Magnitud y símbolo	Unidad práctica		Una unidad práctica es igual al		Denominación de la unidad electromagnética
	Denominación	Abreviatura	Unidades electrostáticas	Unidades electromagnéticas	
Intensidad corriente eléctr.	amperio	A	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	
Tensión eléctrica	voltio	V	$1/3 \cdot 10^{-2}$	10^8	
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	$1/9 \cdot 10^{-11}$	10^9	
Conductividad eléctrica	siemens	S	$9 \cdot 10^{11}$	10^{-9}	
Cantidad eléctrica	culombio amperio segundo	C ; As	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	
Capacidad eléctrica	faradio	F	$9 \cdot 10^{11}$	10^{-8}	
Flujo magnético	webwer	Wb ; Vs	$1/3 \cdot 10^{-2}$	10^8	maxwell
Autoinducción	henrio	H	$1/9 \cdot 10^{-11}$	10^9	
Potencia	vatio	W ; Va	10^7	10^7	ergio/s
Trabajo	julio	J ; Ws	10^7	10^7	ergio
Fuerza	Julio/m	J ; m	10^5	10^5	dina
Intensidad campo	voltio/m	V / m	$1/3 \cdot 10^{-4}$	10^6	
Desplazamiento eléctrico	coulomb/m ²	C / m ²	$12 \pi \cdot 10^5$	$4\pi \cdot 10^{-5}$	
Densidad corr. eléctrica	amper./m ²	A / m ²	$12 \pi \cdot 10^5$	$4\pi \cdot 10^{-5}$	
Resistencia específica	ohmio/m	Ω / m ²	$1/9 \cdot 10^9$	10^{11}	
Conductividad eléctrica	siemens/m	S / m ²	$9 \cdot 10^9$	10^{11}	
Corriente magnética	amperio	A	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	
Intensidad campo magn..	amperio/m	A / m	$12\pi \cdot 10^7$	$4\pi \cdot 10^{-3}$	oersted
Inducción magnética	weber/m ²	Wb / m ²	$1/3 \cdot 10^{-4}$	10^{-14}	gauß
Tensión magnética	amperio	A	$12\pi \cdot 10^9$	0.4π	gilbert
Conductividad magnética	henrio	H	$1/9 \cdot 10^{-11}$	10^9	

1) Velocidad de la luz en el vacío $c \approx 3 \cdot 10^{10}$ cm/s.

1.3 Principios Aplicables a la Técnica de Medidas

Fuerzas Electrostáticas entre Cargas Eléctricas.

Según la ley de Coulomb, sobre toda carga eléctrica que se encuentra en el campo de otra actúa una fuerza que depende de la magnitud de las cargas y de la disposición geométrica de sus portadores.

ATENCIÓN

Las cargas de igual signo se repelen y las de distinto signo se atraen.



En la existencia de estas fuerzas se basa el funcionamiento del electroscopio, que sirve para registrar cargas eléctricas, y del electrómetro, con el que se miden, con una potencia prácticamente nula, cargas eléctricas o diferencias de potencial (tensiones).

De igual modo que a los electrones, también se pueden influenciar radiaciones corpusculares mediante campos eléctricos.

EJEMPLO

El flujo de electrones de una válvula de amplificación se puede regular mediante la interacción existente entre los campos eléctricos y los portadores de carga, en este caso los electrones libres.



Descarga Eléctrica en Gases.

Al producirse una descarga eléctrica en un gas, se aceleran en un principio las moléculas ionizadas existentes por efecto del campo eléctrico.

Dependiendo de la intensidad del campo eléctrico, de la presión y del tipo de gas, dichas moléculas ionizadas (iones) pueden ionizar, a su vez, otras moléculas (ionización por choque), de forma tal que el número de portadores de carga aumenta rápidamente.

Al aumentar la presión del gas, se producen descargas de arco, en puntas y chispas, mientras que al reducirse (en algunos Torr) se originan efluvios que presentan fenómenos de luminiscencia por capas. Según la disposición de estas capas, se puede deducir, manteniendo constante la presión del gas, la polaridad y la magnitud aproximada de la tensión existente y de la intensidad de corriente.

El cátodo está cubierto por una fina película luminosa. En el siguiente espacio oscuro se produce un efluvio negativo de contornos bien marcados y, a continuación, sigue otro espacio oscuro con una zona difusa de transición. La columna positiva, que ocupa el espacio restante hasta el ánodo, puede ser continua o estar constituida por capas, según la presión del gas, la tensión y la longitud del tramo de descarga. Los colores de la luz vienen determinados por la clase de gas.

ATENCIÓN

El funcionamiento de los tubos contadores se basa en el efecto ionizante de las radiaciones de gran energía sobre las moléculas de gas.

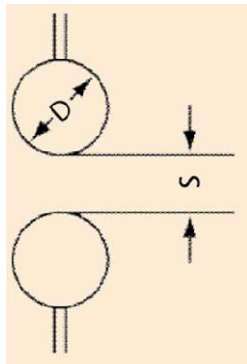
Tensión de Descarga Eléctrica.

La tensión de una descarga eléctrica entre dos electrodos depende de la forma de éstos y de su separación, así como del tipo y del estado de ionización del dieléctrico.

EJEMPLO

Esta relación entre tensiones se aprovecha, por ejemplo, en explosores esféricos para medir altas tensiones.

Tensiones de descargas eléctricas en explosores esféricos al aire, según VDE parte 2/8.



D (cm)	2	10	25	50	150	200
S (cm)	0.005	1	5	30	60	150
U _D (kV)	2.8	31.7	137	585	1280	2250

Nota: U_D son los valores de umbral a 20°C y 760 Torr.

Fenómenos Electrolíticos.

Al pasar una corriente eléctrica por líquidos conductores, se desplazan iones. Los fenómenos electrolíticos se pueden aprovechar para determinar la polaridad de corrientes continuas.

- ✓ Algunos fenómenos electrolíticos son:
En una solución acuosa de ácido, se produce hidrógeno en el polo negativo.
- ✓ El papel de tornasol se vuelve rojo al humedecerlo en el polo positivo.
- ✓ En una solución salina, los iones metálicos se desplazan hacia el electrodo, en el que se depositan.

Con ayuda de los denominados voltímetros, es posible determinar de forma exacta la intensidad de la corriente, a partir del tiempo que tarda en pasar del ánodo al cátodo y de la cantidad de metal depositado.

Efecto Joule.

El calor producido por la corriente eléctrica en un conductor depende de la resistencia de éste, de la intensidad de la corriente y de las condiciones de refrigeración. En los convertidores termoelectrónicos para alta frecuencia la tensión de un par termoelectrónico caldeado por el conductor principal es directamente proporcional a la intensidad de la corriente que fluye por este último.

En el caso de los amperímetros térmicos y bimetalicos se aprovecha, para medir la intensidad de la corriente, la dilatación experimentada por el material conductor. Los elementos bimetalicos están compuestos por dos tiras de metal fijamente unidas, con distintos coeficientes de dilatación térmica. Al calentarse, el elemento se curva hacia el lado del metal de menor coeficiente de dilatación térmica.

Relación entre la resistencia y la temperatura.

La dependencia térmica de la resistencia, especialmente notoria en determinados semiconductores, desempeña un papel importante en la técnica de las medidas.

ATENCIÓN

La dependencia térmica de la resistencia de circuitos se puede compensar, cuando convenga, utilizando componentes de temperatura opuestos.

Existen termistores con coeficientes de temperatura negativo, es decir, cuya resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura, y termistores con coeficiente de temperatura positivo, cuya resistencia se incrementa con el aumento de la temperatura.

Termoelectricidad.

En el punto de contacto de dos metales diferentes se establece un paso de electrones que genera un campo eléctrico entre los dos metales, debido a que el trabajo de emisión de los electrones es distinto en cada metal.

Si se calienta el punto de unión (soldadura), aumenta la tensión de contacto con respecto a los extremos fríos de los conductores, de forma tal que esta tensión termoelectrónica sirve para medir la temperatura.

La tensión termoelectrónica entre los metales, referida a una diferencia de temperaturas de 100°C entre el punto de medida y el de comparación, viene dada por la diferencia de los valores indicados en la serie de tensiones termoelectrónicas.

A continuación, las series de tensiones termoelectrónicas de los metales:

Metal	fem	Metal	fem	Metal	fem
Bismuto	-7.70	Plomo	0.41/0.46	Manganeso	0.57/0.82
Konstantan	-3.47/-3.40	Magnesio	0.4/0.43	Iridio	0.65/0.68
Cobalto	-1.99/-1.52	Aluminio	0.37/0.41	Oro	0.56/0.80

Metal	fem	Metal	fem	Metal	fem
Níquel	-1.94/-1.20	Wolframio	0.65/0.90	Cadmio	0.85/0.92
Mercurio	-0.07/0.04	Rodio	0.65	Molibdeno	1.16/1.31
Platino	0.00	Plata	0.67/0.79	Hierro	1.87/1.89
Grafito	0.22	Cobre	0.72/0.77	Cromo	2.20
Tántalo	0.34/0.51	Acero V2A	0.77	Antimonio	4.70/4.86
Estaño	0.40/0.44	Cinc	0.60/0.79	Silicio	44.8
				Teluro	50.0

Efecto Fotoeléctrico.

Algunos metales y semiconductores emiten electrones al absorber la luz. Los cuantos de luz incidentes han de poseer una energía mínima igual al trabajo de emisión de electrones; la frecuencia de la radiación no debe ser inferior a un valor determinado.

Efecto Fotoeléctrico Normal

El número de electrones emitidos aumenta al incrementarse la frecuencia de la radiación.

Efecto Fotoeléctrico Selectivo

El número de electrones alcanza un valor máximo a una frecuencia determinada. Este efecto se produce para algunos metales y combinaciones, como por ejemplo compuestos de metales alcalinos y alcalino-férreos.

Los multiplicadores de fotoelectrones son válvulas de vacío en las que se multiplican los electrones emitidos por el cátodo, éstos se disparan bajo el efecto de un campo eléctrico sobre uno o varios electrodos intermedios (dinodos), de forma que cada electrón desprende de éstos varios electrones secundarios.

ATENCIÓN

Empleando de ocho a doce dinodos (tensión total de 2 a 3 kV) se incrementa el flujo de electrones en el factor 106. aproximadamente.

Los elementos fotoeléctricos están constituidos de forma similar a los rectificadores secos. En la zona límite de junta entre el metal portador (por ejemplo, hierro) y la capa aplicada por vaporización (por ejemplo, de selenio), se enriquecen los electrones al incidir la luz originando una tensión eléctrica de algunos centenares de milivoltios.

En las células fotoeléctricas, al vacío o rellenas de gases nobles y provistas generalmente de un cátodo de Cs o Cd, se precisa una tensión auxiliar para desplazar al ánodo los electrones emitidos por el cátodo.

Efecto Fotoeléctrico Externo.

Los cristales y semiconductores contaminados con átomos extraños se vuelven conductores al absorber luz o aumentar su conductibilidad, de forma que se pueden emplear como “conductores fotoeléctricos” (compuestos de Se, Se-Te o Tl, así como CdS, CdSe ó PbS; Ge y Si en el vacío). En las células de germanio y silicio, el efecto fotoeléctrico depende de la dirección, por lo que dichas células se denominan también fotodiodos perfeccionados en los que, al mismo tiempo, se puede amplificar la corriente fotoeléctrica.

Piezoelectricidad.

Al actuar una fuerza F (presión o tracción) sobre la superficie A de un prisma cuadrangular de cuarzo, en la dirección del eje eléctrico (línea de intersección de un plano perpendicular al eje eléctrico y otro perpendicular al óptico), se establece una carga eléctrica Q en dos electrodos de superficie S , dispuestos perpendicularmente al eje eléctrico.

$$Q = k \cdot \frac{F \cdot S}{A}$$

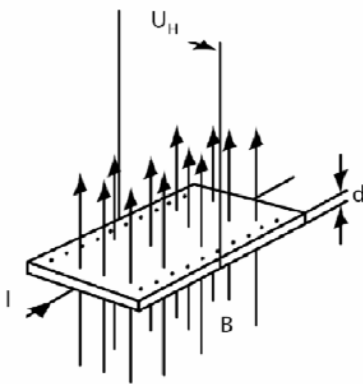
ATENCIÓN

El efecto piezoeléctrico se puede invertir aplicando una tensión eléctrica a los electrodos: el cuarzo se contrae o dilata según sea el signo de la carga eléctrica.

Efectos Galvanomagnéticos.

Efecto Hall.

Al pasar una corriente eléctrica en sentido longitudinal a través de una placa de material conductor o semiconductor, dispuesta transversalmente a las líneas de fuerza de un campo magnético, se establece entre los lados de la placa una diferencia de potencial, que se denomina tensión Hall.



Este fenómeno se debe a que el campo magnético desvía los electrones en sentido perpendicular a su movimiento (sentido opuesto al de la corriente) y al campo magnético, de forma que en un lado de la placa aumenta la densidad de electrones, mientras que en el otro disminuye.

I = Corriente.

B = Inducción Magnética.

d = Espesor de la Placa.

U_H = Tensión Hall.

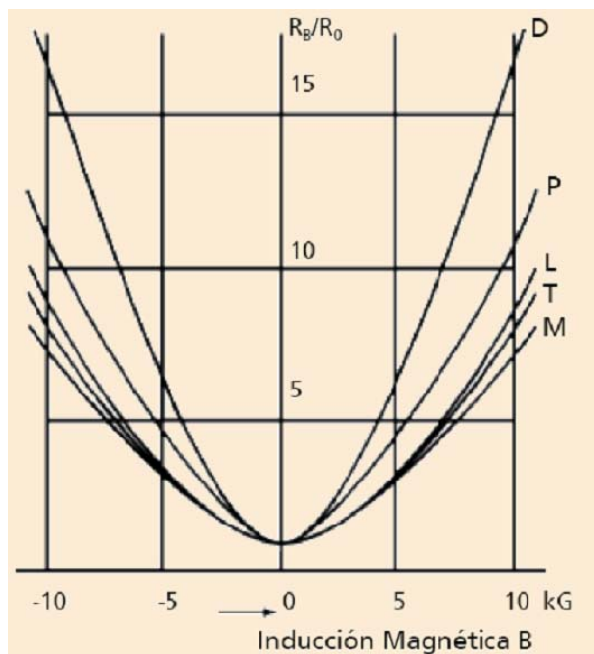
Dicha variación de la densidad de electrones dura hasta que la fuerza que ejerce el campo magnético establecido sobre los electrones, es igual a la que desarrolla el campo magnético en sentido contrario.

La tensión Hall U_H es directamente proporcional al producto de la intensidad de la corriente I por la inducción magnética B , e inversamente proporcional al espesor de la placa d .

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

La constante de Hall R_H depende del material. Por ejemplo, para el antimonio de indio (In Sb) a 20°C es igual a 240 cm³/As, y para el arseniuro de indio (In As) de 120 cm³/As.

EJEMPLO



Se pueden fabricar placas de campo de antimonio de indio con incrustaciones de antimonio de níquel, orientadas y de gran conductibilidad eléctrica que, al introducir las en un campo magnético de 10 kG, aumentan su resistencia a un valor veinte veces mayor que el de la resistencia básica R_0 .

Relación de resistencias R_B/R_0 en dependencia de la inducción magnética B , para placas de campo de diferentes tipos.

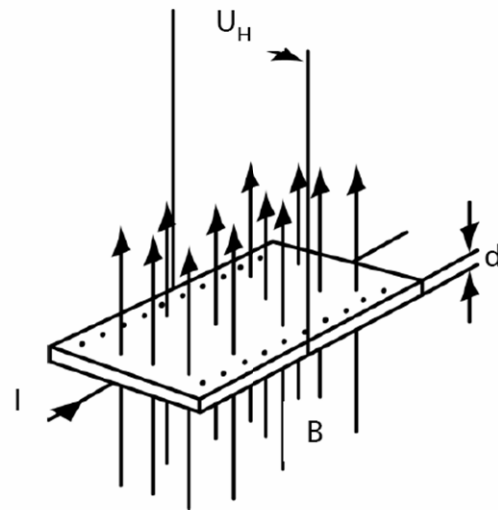
En la figura se representan las curvas características de diferentes tipos de placas de campo a 22°C. La resistencia aumenta según una función cuadrática hasta alcanzar 4kG, y a partir de este valor, crece en forma prácticamente lineal hasta llegar a los 100 kG.

La condición para las variaciones indicadas de la resistencia es que el campo magnético actúe perpendicularmente al sentido del paso de la corriente. Al desviarse la inducción magnética de dicha dirección, disminuye la pendiente de las curvas características.

Efecto Gauss.

La resistencia eléctrica en sentido longitudinal de la placa representada en la figura depende de la intensidad del campo magnético. Por este motivo, se habla del efecto de resistencia magnética, que se aprovecha en resistencias que se pueden mandar magnéticamente.

De forma similar a como ha ocurrido con los generadores Hall, no ha sido posible desarrollar equipos de resistencias de mando magnético (placas de campo) de utilidad técnica hasta que se ha dispuesto de los nuevos materiales semiconductores apropiados para ello.



Magnetostricción.

Las vibraciones en forma de sonido son causadas por la frecuencia de las fluctuaciones del campo, lo cual constituye la principal causa de que se encuentren vibraciones de 100 Hz ó 120 Hz en máquinas eléctricas como motores y transformadores.

GLOSARIO



Se denomina magnetostricción a la propiedad de los materiales magnéticos que hace que estos cambien de forma al encontrarse en presencia de un campo magnético.

Al introducir un cuerpo ferromagnético en un campo magnético homogéneo, se orientan los denominados recintos de Weib (zonas de imanes elementales que comprenden de 10^{11} a 10^{15} átomos en un volumen máximo de 10^{-8} cm^3 aproximadamente).

La estructura reticular del material se deforma, produciéndose tensiones internas. Estas tensiones ocasionan modificaciones de la longitud y el volumen, por ejemplo, el hierro se dilata y el níquel se contrae. El punto de transición de valores negativos a positivos, es decir, el de magnetostricción nula, corresponde a una liberación total de tensiones y, por consiguiente, a los valores máximos de la permeabilidad.

Efecto Magnetoelástico.

Las tensiones mecánicas traen consigo variaciones (direcciones preferentes) de la magnetización. Este defecto fue descubierto hace 100 años cuando observaron que la aguja de una brújula arriba de una probeta de metal cambia su posición cuando se le aplica una carga mecánica a esa probeta. Los científicos estudiaron la relación entre tensiones mecánicas y los cambios de la derivada magnética del metal y elaboraron los métodos para localizar las líneas de concentración de tensiones.

Fuerzas Electromagnéticas.

Según la ley fundamental de la electrodinámica, cuando las cargas eléctricas o los polos magnéticos realizan movimientos relativos entre sí, actúan fuerzas que dependen de la intensidad y sentido del campo magnético y de la cantidad de carga así como de la velocidad y de la dirección del movimiento.

Un conductor por el que fluye una corriente eléctrica, queda sometido, en un campo magnético, a una fuerza proporcional a la intensidad de la corriente y al campo magnético. En este fenómeno se basan el funcionamiento de los instrumentos de medida electrodinámicos y los provistos de bobina móvil.

Asimismo, al mover un conductor dentro de un campo magnético, se induce en él una corriente que se puede aprovechar en la técnica de medidas, por ejemplo, con ayuda de emisores de velocidad de rotación.

Una corriente eléctrica genera a su alrededor un campo magnético. En una bobina arrollada en el mismo sentido se suman las intensidades del campo a las diferentes espiras. Al introducir piezas de hierro dulce en el campo de una bobina, las primeras sufren una magnetización proporcional a la intensidad de la corriente. Una pieza de hierro móvil es atraída hacia el interior de la bobina en el sentido de la intensidad del campo creciente mientras que varias piezas de hierro magnetizadas en el mismo sentido se repelen.

Al introducir un imán permanente móvil en un campo magnético externo se orientará siempre en el sentido de las líneas de fuerza. En la brújula de tangentes, que se utiliza para realizar mediciones del magnetismo terrestre, una aguja magnética señala la dirección del campo resultante de la superposición del campo magnético terrestre con el de una bobina.

ATENCIÓN



Conociendo la intensidad de la corriente que fluye a través de la bobina y el número de espiras, se puede calcular la intensidad del campo magnético de la tierra. Los voltímetros y amperímetros de imán móvil funcionan según el mismo principio, pero están provistos de un apantallamiento contra los campos magnéticos extraños y de un dispositivo mecánico de reposición para el sistema móvil.

ACTIVIDAD 3.

Se han desarrollado los distintos efectos físicos en los que se basan los aparatos eléctricos para realizar las mediciones.



Indique cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas y cuáles falsas.

1

Cuando se aplica una tensión eléctrica a los electrodos es posible disminuir el efecto piezoeléctrico.

Verdadero ☐Falso ☐**2**

La constante de Hall depende del tipo de material conductor y de la corriente que circula por éste.

Verdadero ☐Falso ☐**3**

Todo conductor por el cual circula una corriente eléctrica está sometido a un campo magnético.

Verdadero ☐Falso ☐**4**

La condición para que se produzca un fenómeno electrolítico es la existencia de un medio líquido conductor.

Verdadero ☐Falso ☐**5**

La dependencia de la resistencia de un material con la temperatura es despreciable.

Verdadero ☐Falso ☐**6**

Al producirse una descarga eléctrica en un gas sometido a presión, pueden producirse chispas.

Verdadero ☐Falso ☐**7**

Cuanto mayor sea la distancia entre dos electrodos, menor será la descarga de tensión entre ellos.

Verdadero ☐Falso ☐

1.4 Métodos de Medida

En todas las mediciones se ha de cumplir la condición fundamental de que las influencias perturbadoras que actúan sobre el objeto de medida sean los menores posibles.

Los aparatos eléctricos de medida se aplican sobre el objeto como elementos adicionales, influyendo más o menos sobre sus valores de resistencia, intensidad y tensión y, por consiguiente, la magnitud de medida.

RECUERDE



Según el cometido propuesto, hay que mantener reducida la influencia del aparato de medida adaptándolo correctamente al circuito de medida, empleando conexiones especiales o bien calculando los errores debidos al circuito y corrigiendo los valores indicados por los circuitos de medida correspondientes.



Antes de elegir los aparatos de medida y establecer los circuitos, hay que calcular aproximadamente la exactitud requerida o posible.



No conviene exigir innecesariamente una precisión excesiva, ya que cuanto mayor sea la exactitud requerida más elevados serán los gastos que implican el equipo de los aparatos y su servicio.

En muchas mediciones de servicio es suficiente el empleo de aparatos de medida con límites de error comprendidos entre el 1 y el 5%. Estos aparatos no son, por regla general, tan sensibles a tratamientos rudos y a las condiciones ambiente como los de precisión. Sin embargo, para algunas mediciones en campos de prueba y laboratorios, así como en algunos casos de servicio, se precisan procedimientos y aparatos más exactos, sobre todo cuando los valores de medida se deban elaborar a posteriori e influyan considerablemente en los resultados.

Para la elección de un aparato de medida, es decisivo, además de su precisión, el margen de medida. Ya que las tolerancias indicadas y garantizadas se refieren generalmente al valor máximo del margen de medida, lo que implica tener, en el centro de la escala, una tolerancia doble con respecto al valor teórico. Por este motivo, la zona de mayor interés es la comprendida en el último tercio de la escala.

Junto a los aparatos de precisión conocidos se están empleando cada vez más los instrumentos de medida digitales, que trabajan con gran exactitud y se proveen de las conexiones adecuadas.

La exactitud de los dispositivos adicionales a los aparatos de medida (resistencias en serie y en paralelo, líneas de acometida con resistencias en paralelo, etc.) deben ser, por lo menos, un grado mayor que la de los instrumentos utilizados para que el resultado de la medida no quede influenciado inadmisiblemente.

En todos los instrumentos de medida conmutables se recomienda prever un margen mayor que el que se va a necesitar, para proteger el sistema de medida al realizar la conexión.

Al efectuar mediciones exactas con instrumentos de precisión, se han de observar los siguientes puntos:

- 1 El aparato debe estar colocado en posición aproximadamente horizontal y de forma que no quede expuesto a movimientos.
- 2 El aparato se debe colocar a una distancia suficiente de las masas de hierro (aproximadamente a 10 cm) y de los cables de energía. Si esto no es posible, y se cuenta con la influencia de campos externos de gran intensidad, será necesario comprobar si en el puesto de medida actúan campos perturbadores.
- 3 El indicador debe señalar el punto cero de la escala cuando por el aparato de medida no pase corriente. De no ser así, se corregirá la indicación ajustando el dispositivo en uso.
- 4 Durante la medición no se debe limpiar el cristal de la escala, puesto que éste se puede cargar electrostáticamente e influenciar la indicación. Se eliminan dichas cargas electrostáticas empañando el cristal.

ACTIVIDAD 4.



Marque la opción correcta.

- 1 ¿Cuándo se debe definir la exactitud requerida en una medida?
Antes de medir ☐
Después de medir ☐
- 2 Si usted opta por no exigir una precisión excesiva al aparato de medición, lo hará por una cuestión de ...
Capacidad de efectuar una medición correcta. ☐
Costos excesivos asociados ☐
- 3 Cierta medición requiere de un equipo principal y otro auxiliar. ¿Cuál requiere mayor precisión?
Auxiliar ☐
Principal ☐

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 1.

A continuación se desarrollará el capítulo Medición de la Tensión y la Intensidad de Corriente.



Medición de la Tensión e Intensidad de Corriente

TEMAS DEL CAPÍTULO 2

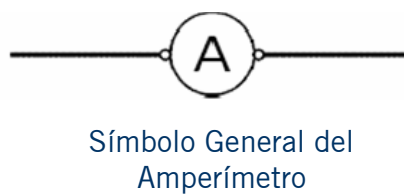
2.1 Amperímetros y Voltímetros	27
2.2 Galvanómetros	33
2.3 Pinzas Amperimétricas y Medidores de Panel	36

En este capítulo se describen los distintos instrumentos utilizados para medir tensión y corriente.



2.1 Amperímetros y Voltímetros

Los amperímetros se conectan a la línea cuya intensidad de corriente se desea medir, y los voltímetros se aplican a los puntos cuya diferencia de potencial se pretende determinar.



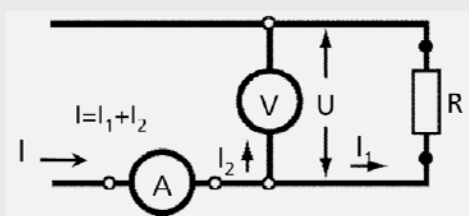
Un amperímetro sólo debe producir una pequeña caída de tensión, es decir, que su resistencia interna debe ser pequeña. Por el contrario, un voltímetro debe absorber sólo una corriente de baja intensidad, es decir, que su resistencia interna ha de ser la mayor posible.

ANEXO

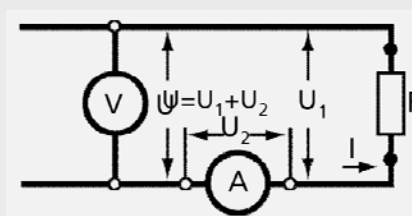
Las referencias de los símbolos utilizados se encuentran en el anexo.

Para medir simultáneamente la tensión y la intensidad de la corriente se pueden emplear los circuitos A y B representados en las siguientes figuras, los cuales también se pueden utilizar para conectar los circuitos amperimétricos y voltimétricos de los vatímetros.

Medición de la intensidad de corriente y de la tensión en el receptor R



Circuito A



Circuito B

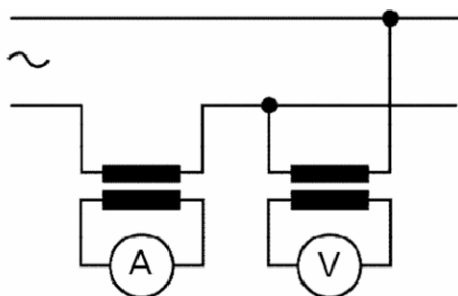
- En el circuito A se mide la tensión correcta U y la intensidad $I = I_1 + I_2$. A pesar de esto, este circuito es apropiado si I_1/I_2 es grande.
- En el circuito B se mide la intensidad correcta I y la tensión $U = U_1 + U_2$. No obstante, este circuito es apropiado si U_1/U_2 es grande.

En aquellas mediciones de tensión en las que haya que considerar los errores de medida debidos al circuito, es preferible el empleo del circuito A, puesto que la resistencia interna del voltímetro es generalmente conocida y está sometida a muchas menos variaciones que la del amperímetro.

Los amperímetros y voltímetros de corriente alterna para conexión directa se usan, según sea el tamaño de la caja, solamente para corrientes de intensidad y tensión limitadas.

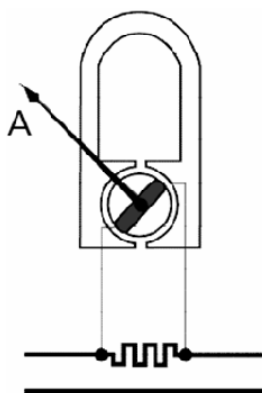
- Al aplicarlos a corrientes de intensidad excesiva, se calentarían demasiado, la conexión resultaría muy difícil y la posición de las líneas de la acometida influiría sobre la indicación.
- Al aplicarlos a tensiones demasiado altas, se producirían corrientes de fuga inadmisibles.

Por este motivo, se emplean en estos casos instrumentos previstos para su conexión a través de transformadores.

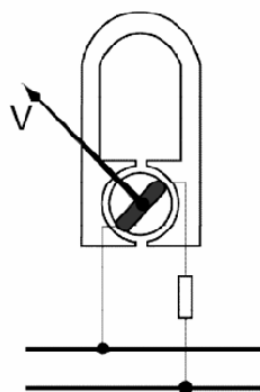


Conexión de un amperímetro y un voltímetro de corriente alterna a través de transformadores

Amperímetros y Voltímetros de Bobina Móvil.

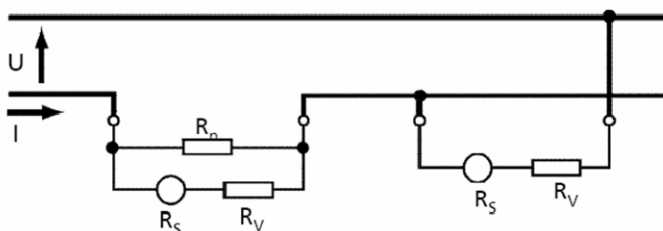


Instrumento magnetoeléctrico para medición en corriente continua utilizado como amperímetro



Instrumento magnetoeléctrico para medición en corriente continua utilizado como voltímetro

En la siguiente figura se muestran las conexiones y los circuitos internos. En ambos circuitos se conecta una resistencia R_v (hecha de Manganina que no depende de la temperatura) delante de la bobina móvil (cuya resistencia R_s depende de la temperatura, por ser de alambre de cobre). La resistencia R_v preconectada es mucho mayor que la de R_s .



R_v = Resistencia en serie
 R_s = Resistencia de la bobina móvil
 R_n = Resistencia en paralelo

De este modo se consigue mantener dentro de los límites admisibles el error debido a las variaciones de la temperatura.

- En los amperímetros con una resistencia $R_s \sim 1.8 \Omega$, se dispone otra resistencia R_v de forma que $R_s + R_v$ sea, por ejemplo, igual a 6Ω .
- En los voltímetros, la resistencia preconnectada R_v está dimensionada generalmente de tal manera que la resistencia total interna sea igual a un valor de $1/I$ característico de un instrumento de $1000 \Omega/V$ aproximadamente.
- En los aparatos destinados a fines especiales, por ejemplo para mediciones en circuitos de válvulas o tensiones de pH, dicha resistencia puede ser considerablemente mayor.

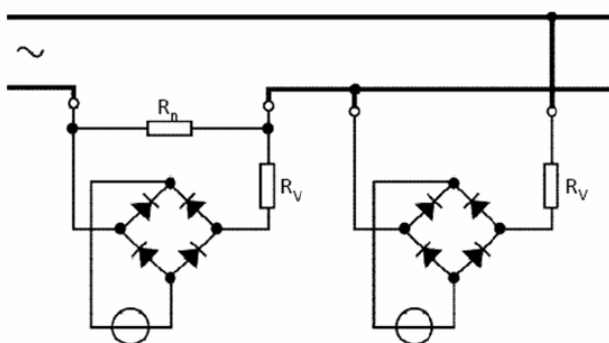
Para aprovechar la gran estabilidad de los sistemas de medida con bobina móvil en las mediciones de tensión e intensidad de corrientes alternas y, por lo tanto, para abarcar márgenes de medida inferiores a los obtenidos con sistemas de hierro móvil, se utilizan rectificadores.

Los rectificadores están montados en el aparato ya que sus curvas características se deben considerar al graduar la escala.

ATENCIÓN

Los instrumentos provistos de rectificadores reaccionan a la media aritmética de los valores de la magnitud de medida. Sin embargo, la indicación depende fundamentalmente de las armónicas ya que la escala está graduada para los valores efectivos de la tensión y la corriente sinusoidales.

En la siguiente figura, se representan los circuitos internos de voltímetros y amperímetros de bobina móvil provistos de rectificadores de medida apropiados para su montaje en tableros de maniobra.

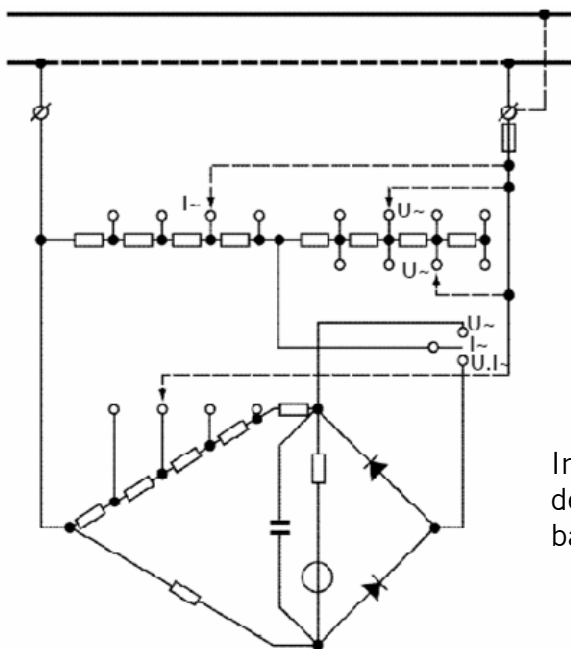


Conexiones de amperímetros y voltímetros con sistema de medida de bobina móvil y rectificadores

R_v = Resistencia en serie
 R_n = Resistencia en paralelo

En el caso del amperímetro se precisa una resistencia en serie R_v para mantener reducido el error, debido a los cambios de temperatura, y contrarrestar la falta de linealidad de la escala, que deriva de las características cuadráticas de los rectificadores. Para corregir esto se admite una mayor pérdida de tensión.

Los instrumentos de mesa provistos de bobina móvil y rectificadores de medida son, por regla general, múltiples. En la siguiente figura se muestra el circuito básico de un aparato de este tipo.

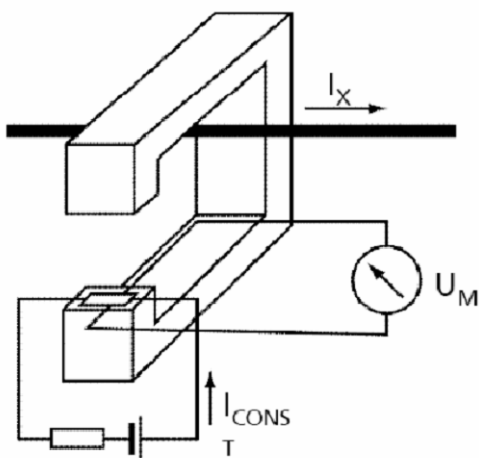


Instrumento múltiple con sistema de medida de bobina móvil y rectificadores (circuito básico).

En este tipo de instrumentos también se pueden ampliar los márgenes de medida de la corriente mediante transformadores de intensidad externos o resistencias en paralelo, y los márgenes de medida de la tensión mediante transformadores de tensión externos o resistencias en serie.

Para medir corriente continua de alta intensidad se utiliza un método, especialmente ventajoso, en el que se aplica el efecto Hall.

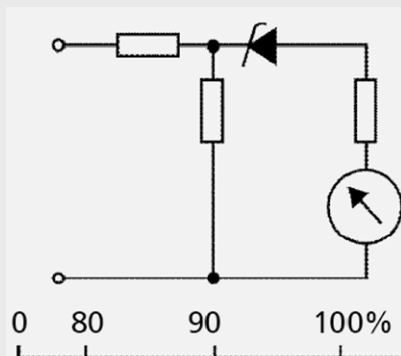
En la siguiente figura se representa la disposición de un generador Hall en la ranura de un núcleo de hierro que circunda al conductor.



Con un instrumento de bobina móvil debidamente calibrado se mide la tensión Hall, que es proporcional a la intensidad del campo magnético existente en la ranura y, por consiguiente, a la corriente que fluye por el conductor principal. El circuito de medida está separado galvánicamente del "principal".

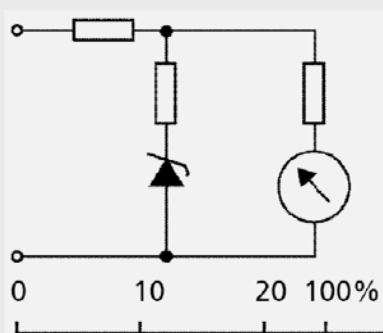
Medida de la Corriente Continua con un Generador Hall

La escala de un voltímetro se puede influenciar con díodos Zener.



Conexión Serie del Diodo Zener

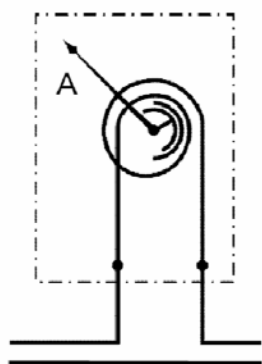
Conectando el diodo Zener en serie (como se observa en la figura), éste no permite que la corriente pase a través del circuito de medida hasta que se haya alcanzado una tensión determinada a la que se denomina tensión de paso. A partir de este momento, la intensidad de la corriente aumenta en forma aproximadamente igual a la tensión.



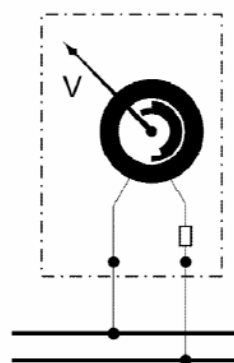
Conexión Paralelo del Diodo Zener

Un diodo Zener conectado en paralelo con el circuito de medida (como se observa en la figura), apenas influye sobre la indicación por debajo de la tensión de paso. Al sobrepasarse dicha tensión, el diodo cortocircuita en forma creciente el dispositivo de medida. Este tipo de circuito se puede emplear para proteger el dispositivo de medida contra sobretensiones.

Amperímetros y Voltímetros de Hierro Móvil.



Instrumento de hierro móvil para medición en corriente continua y alterna utilizado como amperímetro



Instrumento de hierro móvil para medición en corriente continua y alterna utilizado como voltímetro

Los amperímetros y voltímetros de hierro móvil indican valores efectivos, independientemente de la clase de corriente y de la forma de las curvas.

ATENCIÓN

El consumo propio de los instrumentos de hierro móvil es generalmente mayor que el de los instrumentos de bobina móvil de iguales dimensiones, y la graduación de su escala es menos lineal. No obstante, a veces los primeros se prefieren para incorporar en tableros de maniobra y en aparatos porque son más robustos y baratos.

También hay una serie de aparatos de precisión provistos de dispositivos de medida de hierro móvil, entre ellos algunos de gran sensibilidad, que se han desarrollado especialmente para medir la tensión y la intensidad de corriente alterna, siendo para ello de gran importancia su reducida dependencia de las formas de las curvas.

El margen de medida de los amperímetros de hierro móvil viene determinado por la bobina de campo, y no se puede ampliar mediante resistencias externas en paralelo debido al alto consumo propio. Por consiguiente, sólo se pueden modificar los márgenes de medida conmutando partes de dicha bobina (sin que varíe el número de amperios-vueltas). Conectando resistencias en serie es posible ampliar el margen de medida de la tensión, al igual que en los instrumentos de bobina móvil.

El margen de frecuencias de los amperímetros y voltímetros de hierro móvil apropiados para incorporar en tableros de maniobra está comprendido entre 15 y 60Hz. También existen ejecuciones especiales, ajustadas a una determinada frecuencia de 1000 Hz. En los instrumentos de mesa y de precisión se alcanzan igualmente empleando los medios constructivos adecuados, márgenes comprendidos entre 10 y 1000 Hz.

ACTIVIDAD 5.

Por favor, responda las siguientes preguntas.

1

¿Cómo deben ser las resistencias internas de los amperímetros y los voltímetros?
¿Por qué?

2

¿Cuál es la ventaja de usar un rectificador para medir tensión y corriente?

3

¿Por qué elegiría un instrumento de hierro móvil sobre uno de bobina móvil?

2.2 Galvanómetros

En aquellos casos en que los instrumentos calibrados de bobina móvil no son suficientes para medir intensidades y tensiones muy bajas en corriente continua, y cuando no se pueden utilizar amplificadores de medida, se emplean galvanómetros, cuya escala no está calibrada según los valores de tensión o intensidad de corriente.

Con frecuencia se utilizan galvanómetros como instrumentos de cero al centro en circuitos de compensación y de puente, con ellos se pueden registrar corrientes de hasta 10-12 A.

ATENCIÓN



Los galvanómetros no están sometidos a un determinado margen de medida ni a un tiempo de ajuste, sino que se pueden adaptar al cometido en cada caso.

En los galvanómetros se utilizan generalmente sistemas de bobina móvil con una fuerza de reposición pequeña. Las bobinas no están arrolladas sobre bastidores metálicos, de forma que en la bobina solo puede fluir a través del circuito exterior, una corriente de inducción que amortigua las oscilaciones. Esta atenuación depende, por consiguiente, de la resistencia total del circuito de medida. Con una determinada resistencia externa- denominada resistencia límite- la aguja indicadora del galvanómetro alcanza en un tiempo muy breve la desviación máxima sin sobreoscilación (ajuste aperiódico). Este tiempo es aproximadamente igual al 60 % del período de oscilación propio T_0 del sistema no atenuado y puede ascender en galvanómetros de alta sensibilidad a 20s o más.

Al aumentar la resistencia total y, por lo tanto la atenuación, la aguja del galvanómetro avanza muy lentamente hasta alcanzar la desviación teórica. Con resistencias mayores se producen sobreoscilaciones y penduleos.

Para medir impulsos de corriente y tensión se emplean galvanómetros balísticos, provistos de sistemas móviles de gran inercia. Si la duración del impulso de la corriente es muy breve en comparación con el período de oscilación propio del sistema, la desviación de la aguja es proporcional a la energía cinética y, por consiguiente, a la energía $I \cdot t$ del impulso de la corriente. El valor de la medida se lee en el punto de retroceso de la aguja.

MANTENIMIENTO



Al trabajar con circuitos de medida provistos de galvanómetros de alta sensibilidad, hay que tener cuidado de que no se produzcan tensiones termoeléctricas en los puntos de unión de los conductores de diferente material. A distintas temperaturas dichas tensiones pueden falsear la medida.

Además de los sistemas de bobina móvil, se usan dispositivos de imán móvil (galvanómetros de aguja) que tienen que estar muy bien aislados contra los campos externos (galvanómetros acorazados).

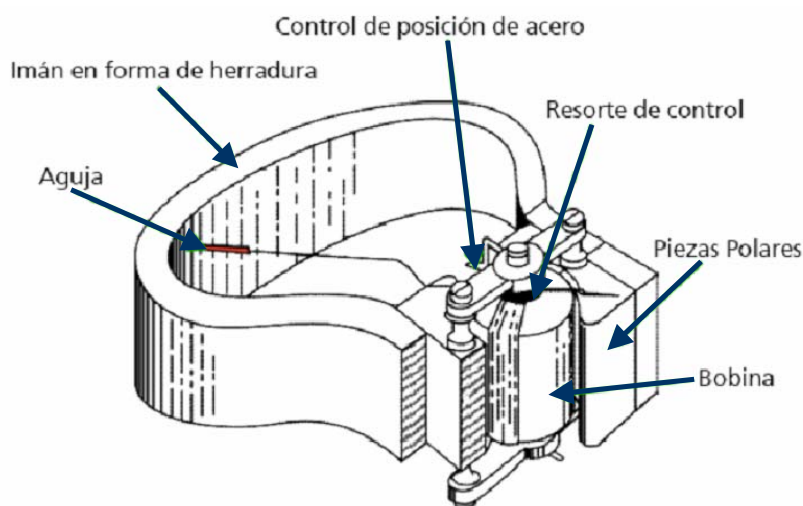
Entre los galvanómetros de aguja se distinguen los de indicador luminoso o los de espejo, que son aptos para diferentes aplicaciones y tienen distinta sensibilidad (creciente en el orden indicado).

Principio físico de funcionamiento del galvanómetro.

El principio físico en que se basa el funcionamiento del galvanómetro es aquel que postula que cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor que se encuentra en un campo magnético, se produce una fuerza en el conductor.

La fuerza en el conductor es directamente proporcional a la magnitud de la corriente eléctrica y del campo magnético. Así, si el campo magnético es fijo, la fuerza será proporcional a la magnitud de la corriente directa. Esto es lo que ocurre en un galvanómetro.

Partes principales del Galvanómetro.



El galvanómetro tiene un imán o magneto permanente que proporciona el flujo magnético. La corriente eléctrica se hace pasar a través de una bobina instalada en un núcleo metálico soportado en un eje, de esta forma la bobina y su núcleo tienen la capacidad de realizar una acción de giro.

El núcleo se mantiene en posición (plenamente a la izquierda) mediante un resorte. En el extremo del eje giratorio de la bobina y del núcleo se encuentra una aguja indicadora cuyo desplazamiento sobre una escala mostrará la magnitud de la variable bajo medición.

- Cuando fluye una corriente por la bobina, dado que se encuentra dentro de un campo magnético, se produce una fuerza que actúa sobre el resorte en espiral y modifica la posición de la aguja. Si la corriente es grande, la fuerza será grande y se tendrá un mayor desplazamiento de la aguja sobre la escala, lo que permitirá reconocer un valor grande de la variable a medir.
- Cuando no fluye corriente a través del galvanómetro, el resorte mantiene al núcleo, la bobina y la aguja en su extremo izquierdo (donde generalmente la escala marca el valor 0). Aquí, se considerará que una corriente de 1 mA producirá una fuerza que flexionará la aguja totalmente hacia la derecha, a esto se le conoce como plena escala FS (del inglés full scale).

Como consecuencia cuando no circula corriente, cualquier variable eléctrica que se desee medir deberá tener un escalamiento y conversión a una corriente directa en un rango de 0 a 1 mA. Si se aplicara una corriente mayor al galvanómetro, podría dañar su mecanismo.

ATENCIÓN

Al modificar la posición del selector de variable a medir (voltaje, corriente o resistencia) se deberá tener la precaución de realizar la medición en su escala correspondiente.

Resumiendo ...

Un galvanómetro es un dispositivo que permite producir el desplazamiento de una aguja indicadora sobre una escala, donde la amplitud del desplazamiento es proporcional a la corriente que fluye a través de él. El desplazamiento pleno de la aguja se tendrá siempre a la misma corriente (1 mA), por lo que cualquier variable eléctrica a medir deberá ser convertida y escalada a una corriente directa en ese rango.

ACTIVIDAD 6.

Marque la opción correcta.

1

Una corriente mayor a 1mA ...

Dañará al galvanómetro. ☐No dañará al galvanómetro. ☐**2**

Cuando se cambia el parámetro a medir ...

No es necesario verificar la escala. ☐Se debe verificar la escala. ☐**3**

El flujo magnético es proporcionado por ...

La bobina. ☐El imán. ☐**4**

Se determina que no fluye corriente porque ...

La aguja se encuentra en el extremo izquierdo. ☐La aguja se encuentra en el extremo derecho. ☐**5**

El galvanómetro se usa ...

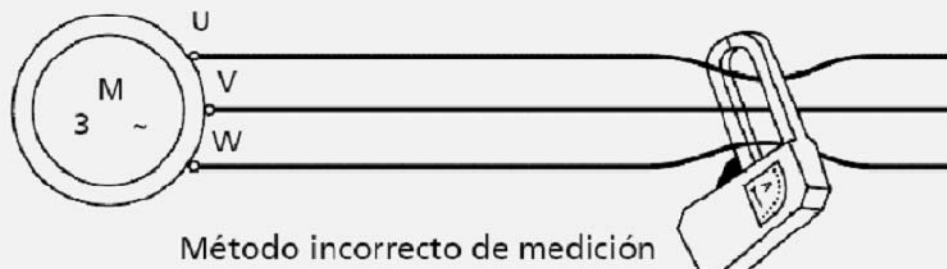
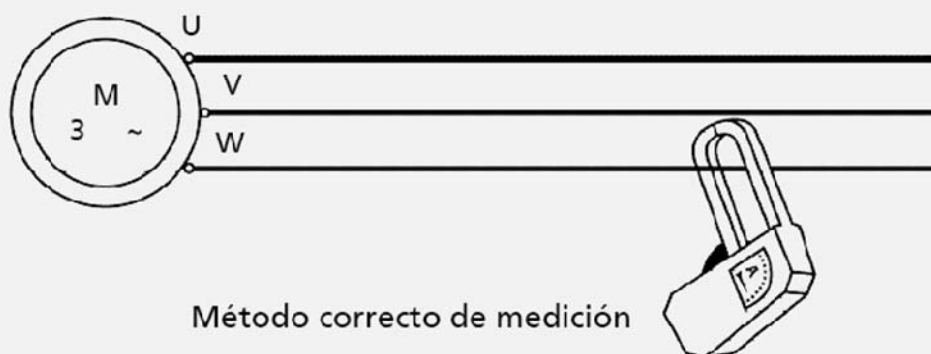
Para medir bajas tensiones y corrientes. ☐Para medir altas tensiones y corrientes. ☐

2.3 Pinzas Amperimétricas y Medidores de Panel

Pinzas Amperimétricas.

Medida de la intensidad de corriente en un sistema trifásico con Electropinza.

Se deben medir las tres fases por separado (intensidad I_R , I_S e I_T). Si el sistema es equilibrado, entonces las tres fases medirán igual.



La suma de las tres intensidades, al ser medidas juntas con la electropinza, es igual a 0. Esto es lo que sucederá si no se emplea el método correcto de medición.



Medidores portátiles de Tensión y Corriente.



- Para medidas eléctricas básicas
- Permiten medir la tensión, continuidad y la corriente con un único instrumento compacto.
- Seleccione voltios, ohmios ó ampere y el instrumento hará todo lo demás.
- La tecnología de mandíbulas abiertas permite medir corrientes hasta 100 A.

Medidores de Panel de Tensión, Corriente y Frecuencia.



- Diferentes formatos: 48x48, 22x 22, 96x 96, 96x 48.
- Programable
- Medición de valor eficaz
- Clase 0,1; 0,2; 0,5
- Resolución: hasta 13 bits
- Capacidad de display 3 ½digit
- Salida relé disponible
- Salida analógica
- Comunicación con PC RS 232, RS 485, Mod bus RTU

ACTIVIDAD 7.



Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas.

1

Es correcto medir la intensidad de corriente pasando los tres conductores por la electropinza.

Verdadero ☐Falso ☐

2

Para un sistema equilibrado las intensidades de corriente de cada fase serán iguales.

Verdadero ☐Falso ☐**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 2.

A continuación se desarrollará el capítulo El Multímetro.



El Multímetro

TEMAS DEL CAPÍTULO 3

3.1 Multímetro Analógico	39
3.2 Medición con el Multímetro Analógico	42
3.3 Multímetro Digital	51
3.4 Utilización del Multímetro Digital	56
3.5 Medición con el Multímetro Digital	70

En este capítulo se introducirán los conocimientos necesarios para el manejo del multímetro analógico y digital. También se podrán observar las características que los diferencian.



3.1 Multímetro Analógico

Partes principales del Multímetro Analógico.

La parte principal o corazón de un multímetro analógico es el galvanómetro.

El galvanómetro convierte una señal de corriente eléctrica en un desplazamiento de una aguja indicadora sobre una escala. Es un dispositivo que opera con corriente de CD (corriente directa) o CC (corriente continua). Por lo tanto, si se necesita conocer el valor de una resistencia, una corriente de CA (corriente alterna) o de CD, o un voltaje de CA o de CD, el valor de la variable a medir se debe convertir a un valor equivalente de corriente de CD. Debido a esto, el multímetro requiere de distintos circuitos para convertir el voltaje, la corriente y la resistencia a una corriente de CD en el rango definido para el galvanómetro.

El multímetro analógico cuenta con un selector de función (switch rotatorio) que permite definir:

- Tipo de variable que se desea medir: voltaje, corriente o resistencia.
- Rango en el que se desea medir.

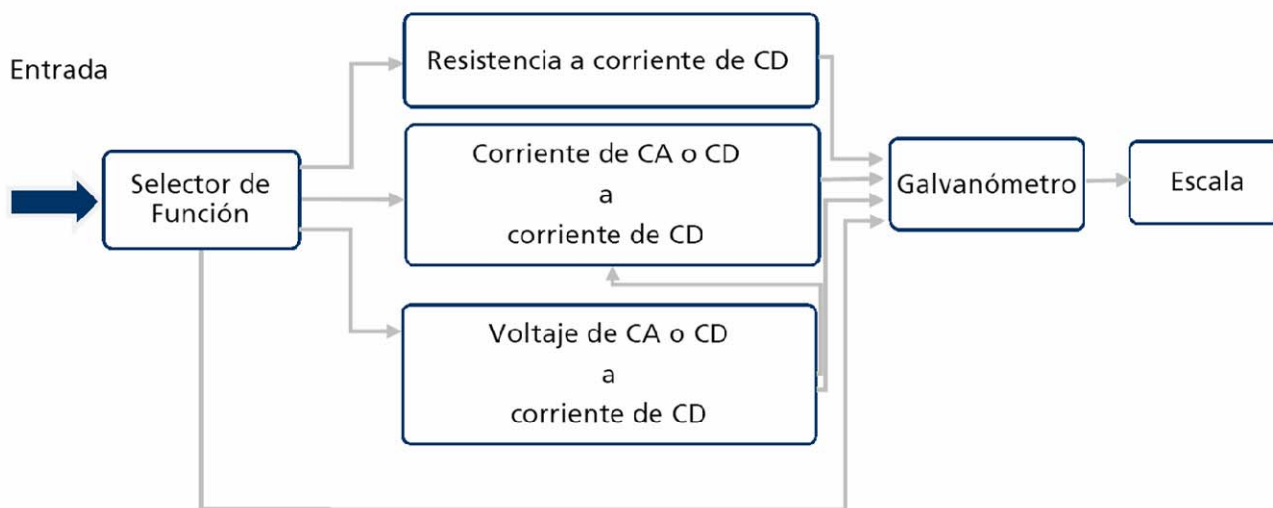
GLOSARIO



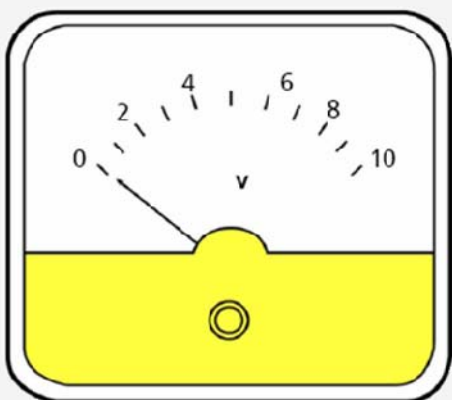
CC \equiv CD: Corriente continua/directa.
CA: Corriente alterna.

Independientemente del tipo de variable eléctrica a medir y de su rango, el selector de función y el circuito de conversión realizan el escalamiento y la conversión de la variable a medir a una señal equivalente de corriente directa, la cual produce un movimiento en la aguja del galvanómetro. Para cada caso se leerá la medición en una escala diferente.

Diagrama de bloques con las partes principales de un multímetro analógico.



Todos los instrumentos eléctricos de medición de aguja operan bajo este principio: cuentan con un galvanómetro que permite, mediante el desplazamiento de una aguja, conocer la amplitud de la señal o variable que se está midiendo.



Medidor de Aguja sencillo



Medidor de Aguja con escalas múltiples

Circuito de Escalamiento y Circuito de Rectificación.

Circuito de Escalamiento.

Otra de las partes principales de los medidores analógicos es el circuito de escalamiento, que permite realizar mediciones de distintos rangos, como por ejemplo de 1 volt, 50 volts, 100 volts, 500 volts, con el mismo instrumento.

El circuito de escalamiento consiste en selectores de resistencias que permiten medir voltajes y corrientes de diferentes rangos de magnitud, manteniendo en cualquier caso la corriente a través del galvanómetro dentro de un mismo rango.

La principal razón de la existencia de estos circuitos es que el desplazamiento en la escala de la aguja indicadora del galvanómetro se realiza en un solo rango de corriente, generalmente de 0 a 1mA a plena escala. Por lo tanto, el circuito de escalamiento permite reducir las magnitudes, en las mediciones de corriente o de voltaje, al rango de operación del galvanómetro, de 0 a 1mA.

Circuito de Rectificación.

Dado que el galvanómetro es un dispositivo que opera con corriente directa, el circuito rectificador es el encargado de convertir las señales a medir de corriente y voltaje de CA a un valor equivalente de CD.

El circuito rectificador está formado por diodos. Los diodos son dispositivos semiconductores que permiten el flujo de corriente eléctrica en un solo sentido.

El circuito rectificador, en conjunto con el circuito de escalamiento y el galvanómetro, permitirán leer la magnitud de la señal mediante la posición de una aguja sobre una escala graduada.

ACTIVIDAD 8.

A partir de lo desarrollado acerca del multímetro analógico, realice la actividad que se encuentra a continuación.



Responda las siguientes preguntas.

1

¿Con qué tipo de corriente opera el galvanómetro?

2

¿De qué se encarga el selector de función y el circuito de conversión en un galvanómetro?

3

¿Por qué el multímetro necesita un circuito de escalamiento?

4

¿Qué dispositivo es el encargado de convertir las señales a medir de corriente y voltaje de CA a un valor equivalente de CD?

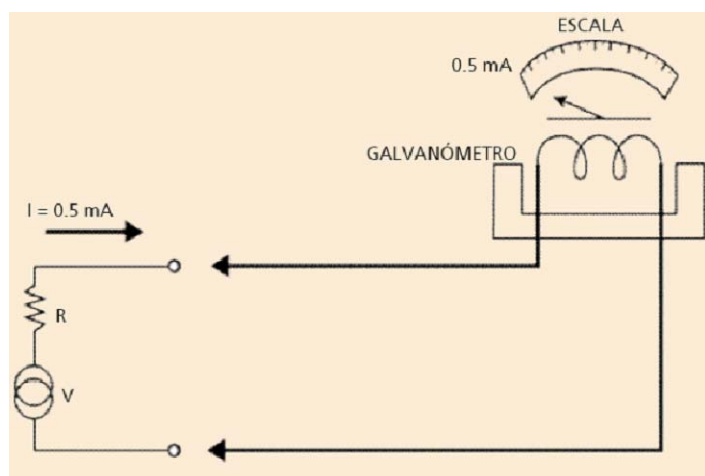
3.2 Medición con el Multímetro Analógico

Medición de Corriente.

Con un multímetro analógico la corriente se debe medir en serie y, dependiendo de su valor, se conectan resistencias en paralelo con el galvanómetro de tal forma que la corriente a medir se divida, manteniendo un flujo de corriente de 0 a 1 mA a través del galvanómetro.

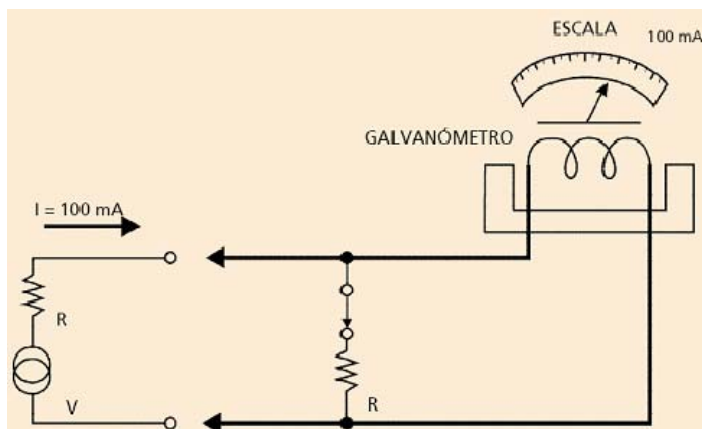
Analicemos las siguientes ejemplos de mediciones, para distintos valores de I (corriente).

EJEMPLO



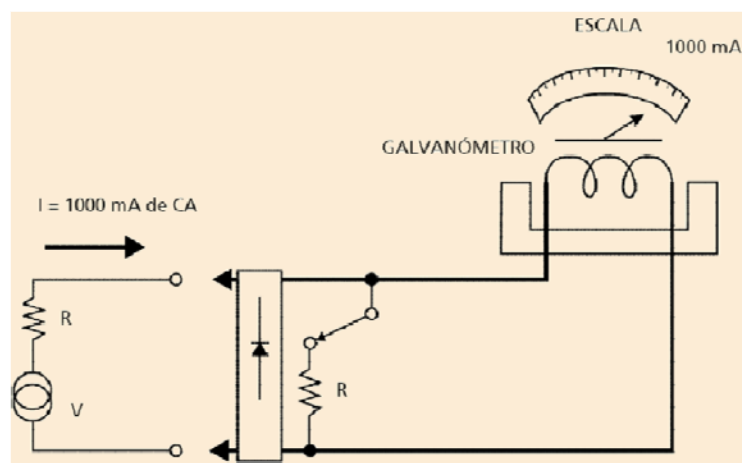
$I = 0.5 \text{ mA de CD}$

Si la corriente que se desea medir tiene un valor dentro del rango de 0 a 1 mA, no se requiere de ninguna resistencia. Esto se debe a que no existe la necesidad que el valor de la corriente CD sea dividido para que una porción pase a través del galvanómetro sin dañarlo.



$I = 100 \text{ mA de CD}$

El circuito de medición necesitará una resistencia en paralelo con el galvanómetro, a través de la cual puedan pasar 99 mA, ya que a través del galvanómetro pasará 1 mA.



$I = 1000 \text{ mA de CA}$

En el circuito de medición se necesitará un puente rectificador apropiado ya que el multímetro analógico normal utiliza un medidor de CD, además de una resistencia en paralelo por la cual puedan pasar 999 mA, ya que a través del galvanómetro pasará 1 mA.

Medición de Voltaje.

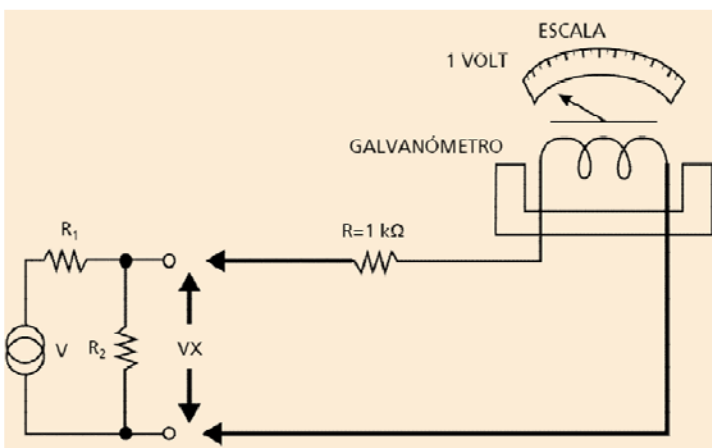
Cuando se mide voltaje con un multímetro analógico, se hace que ese voltaje produzca una corriente que al pasar por el galvanómetro flexione la aguja indicadora.

ATENCIÓN

Se debe tener la precaución que la corriente producida por el voltaje no exceda la de plena escala del galvanómetro.

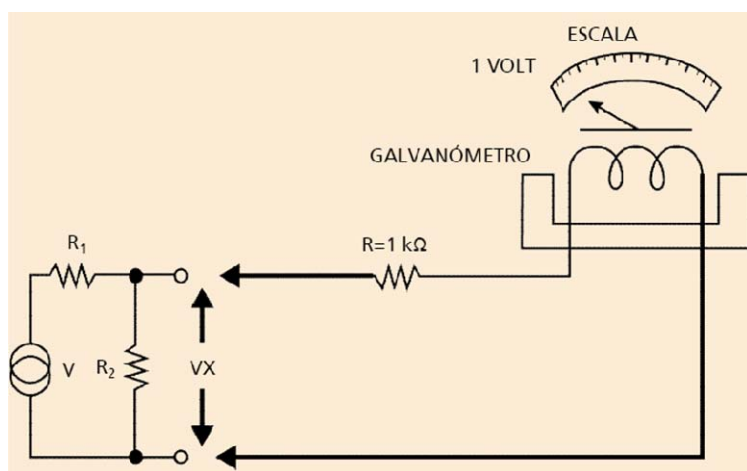
A continuación se ilustran dos ejemplos de medición de voltaje en rangos distintos.

EJEMPLO



$0 < V < 1 \text{ volt}$

Se coloca una resistencia de $1 \text{ k}\Omega$ en serie con el galvanómetro (considerando que la resistencia del galvanómetro es cero) para, de esta manera, limitar la corriente que pasa por el galvanómetro al rango de 0 a 1 mA.



$0 < V < 100 \text{ volts}$

Se deberá tener el selector en ese rango, lo cual conecta una resistencia de $100 \text{ k}\Omega$ en serie con el galvanómetro, manteniendo el rango de corriente de 0 a 1 mA . Por supuesto, en este caso la medición de voltaje se hará tomando como base la escala de 0 a 100 volts .

RECUERDE

Cuando se requiere medir voltaje de corriente alterna, se necesita un puente rectificador además de una resistencia en serie con el galvanómetro como en el caso de medición de corriente alterna.



Medición de Resistencia.

Para las mediciones de voltaje y corriente, el galvanómetro del multímetro toma la corriente que flexiona su aguja de los mismos puntos de medición. Debido a que una resistencia no puede suministrar corriente para el galvanómetro, se requiere de un suministro de energía eléctrica.

En un multímetro analógico se cuenta generalmente con una batería interna, la cual es conectada a la resistencia a medir, a una resistencia interna (de calibración o de rango) y al galvanómetro. La batería proporciona voltaje a un circuito de componentes en serie, entre los cuales se encuentra el galvanómetro y la resistencia a medir. En este circuito, todos los elementos tienen valor conocido, sólo se desconoce el valor de la resistencia a medir.

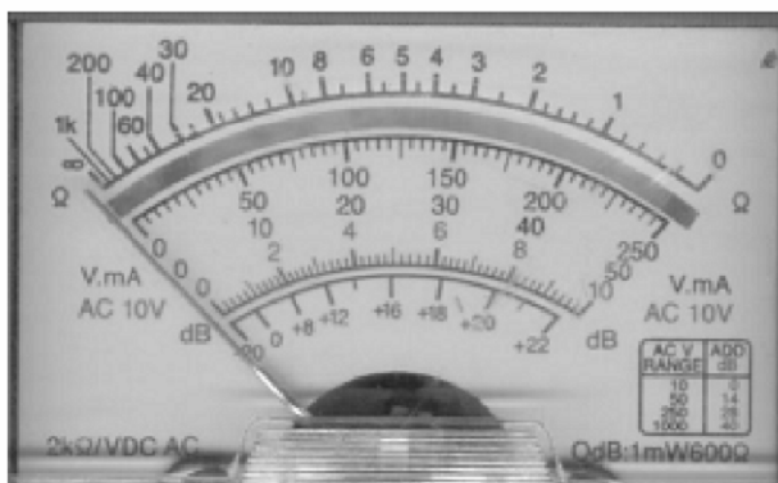
Valor de la resistencia a medir	
Bajo	Alto
<ul style="list-style-type: none"> • Valor alto de corriente. • La aguja se flexionará hacia la derecha indicando un valor bajo de resistencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valor bajo de corriente. • El galvanómetro mostrará alta resistencia en la escala. La aguja se flexionará poco, por lo que se encontrará cerca a su extremo izquierdo.

RECUERDE

Es importante hacer notar que en la escala de resistencia, la indicación de un valor infinito (∞) o una muy alta resistencia, se encuentra en el extremo izquierdo (la aguja tendrá una posición cercana a plenamente hacia la izquierda), y la indicación de cero 0 resistencia está totalmente a la derecha (en este caso la corriente es máxima y la aguja se flexiona hacia la derecha).

ATENCIÓN

Con respecto a las escalas de voltaje y corriente, la escala de resistencia se encuentra invertida, mostrando valores mínimos a la derecha y máximos a la izquierda.



Escala del Multímetro Analógico

Antes de realizar la medición de la resistencia en un circuito, las puntas o terminales de medición del multímetro se juntan para calibrar el medidor a cero, ya que existen variaciones debidas al uso de la batería interna y al largo de las puntas de medición, entre otros factores.

Al tener las puntas en corto, la corriente del medidor está en su valor máximo y la aguja deberá calibrarse para indicar un valor de cero (0). La indicación de un valor infinito (∞) se leerá cuando las puntas del medidor estén separadas o abiertas ya que se tiene precisamente una resistencia infinita entre ambas puntas donde no existe un flujo de corriente.

Medición de una Resistencia Desconocida.

Para la medición de una resistencia desconocida (R_X), se requiere de una resistencia interna en el multímetro (de calibración y de rango), además de la batería.

En este caso se conocen los valores de:

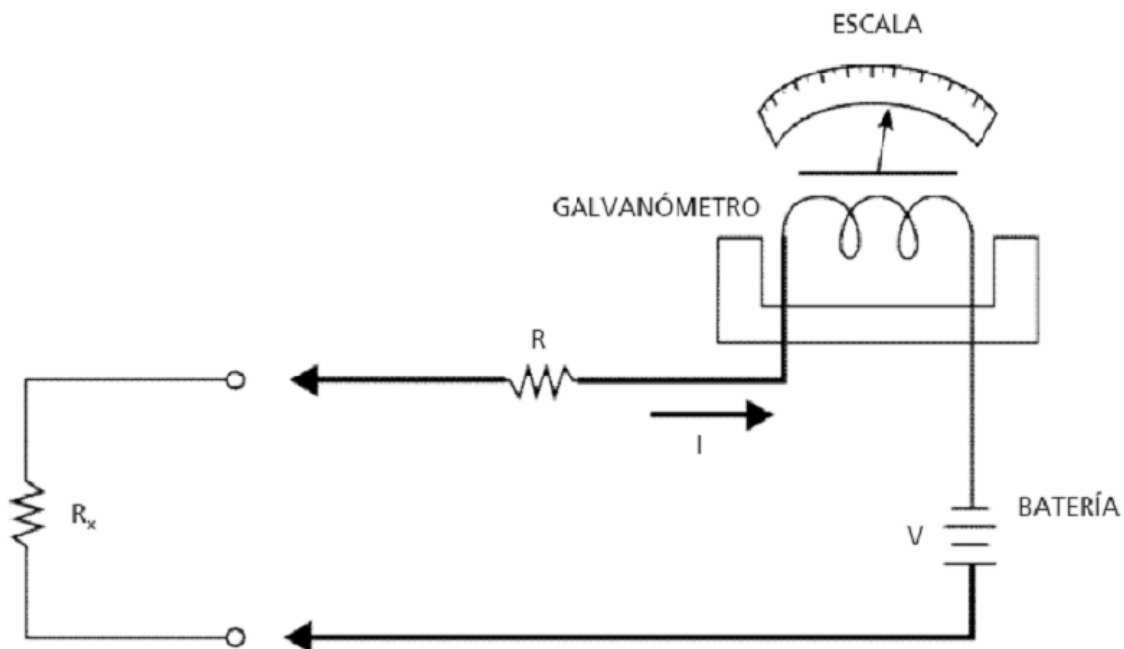
- Corriente (I)
- Voltaje (V)
- Resistencia de rango (R).

Como R_X y R están en serie, tenemos que:

$$R_X + R = \frac{V}{I}$$

Donde el valor de R_X es:

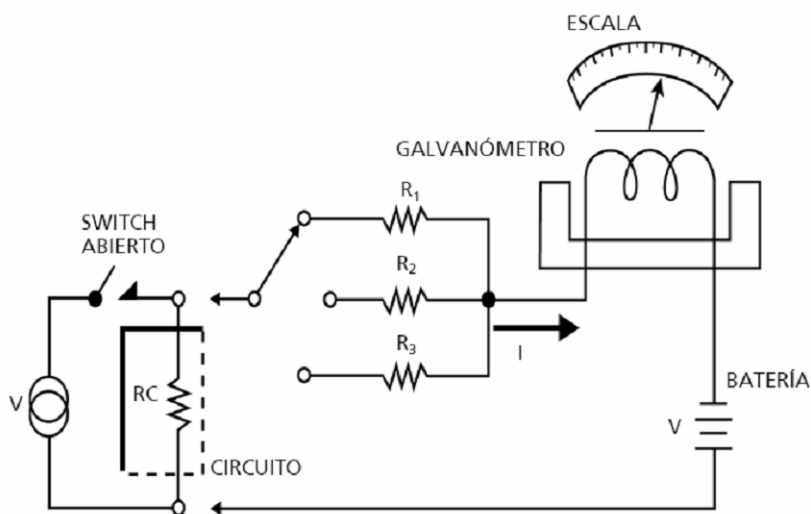
$$R_X = \frac{V}{I} - R$$



Medición de una resistencia desconocida

Medición de la Resistencia en un Circuito.

En ocasiones, es necesario medir la resistencia que tiene un circuito.



En esta figura se muestra la forma en que se deben hacer las conexiones para realizar la medición. En este circuito, la corriente de la batería V pasa a través de la resistencia del circuito, la resistencia de rango seleccionada y el galvanómetro, controlando la flexión de la aguja indicadora. El flujo de corriente dependerá de la RC del circuito, de la resistencia de rango y de la resistencia del galvanómetro.

Antes de realizar la medición de una resistencia en un circuito, se debe calibrar el multímetro a cero para eliminar las probables variaciones que se hayan generado.

ATENCIÓN

El switch del circuito a medir siempre debe estar en su posición de apagado o abierto. Esto evita que el voltaje de la fuente del circuito pase a través del medidor, lo cual podría causar un daño en el galvanómetro o una desviación en la medición.



Las puntas del multímetro se deben conectar entre los terminales del circuito que se desea medir, para que la corriente producida por la batería del multímetro fluya a través de él.

El flujo de corriente a través del galvanómetro dependerá del valor de la resistencia del circuito a medir.

Como el multímetro ha sido ajustado a cero, la indicación del galvanómetro dependerá únicamente de la resistencia del circuito.

La resistencia del circuito permite el paso de cierto flujo de corriente a través del galvanómetro y por consiguiente la aguja indicadora se flexiona indicando el valor de la resistencia del circuito en la escala.

Si la resistencia del circuito fuera reemplazada por una resistencia de valor óhmico más elevado, la corriente a través del galvanómetro se disminuiría aún más y la indicación en la escala sería la de una resistencia más elevada.

Esto ratifica que:

La escala en Ω del multímetro es inversamente proporcional al flujo de corriente a través del galvanómetro.

Como el rango de valores de la resistencia puede variar de pocos Ω hasta $M \Omega$ (1,000,000 Ω), para que un multímetro analógico pueda indicar cualquier valor de resistencia con un mínimo error, cuenta con escalas de multiplicación o multiplicadores.

Un multímetro analógico típico cuenta con 3 multiplicadores:

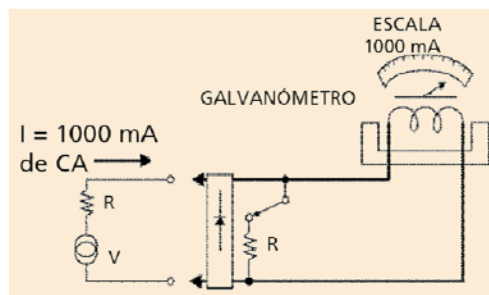
- $R \times 1$
- $R \times 10$
- $R \times 100$

Estos tres multiplicadores son conectados a tres resistencias diferentes localizadas dentro del multímetro. Mediante el switch selector se selecciona el rango o escala de multiplicación deseada.

El rango a utilizar en la medición de cualquier resistencia desconocida depende del valor óhmico aproximado de la resistencia desconocida.

EJEMPLO

La mayor escala de medición de resistencia del multímetro analógico de la figura, donde se mide corriente de 1000 mA de CA, está en el rango de cero a 1000, esto es en la escala de $R \times 1$.



¿Como varía la medición con la elección del rango?

- Si RX tiene un valor de por ejemplo 3750 Ω y se utiliza el rango de $R \times 1$, el multímetro no podrá medirla. Esto ocurre debido a que la distancia entre 1000 e infinito en la escala es muy pequeña y no cuenta con valores intermedios.
- Si se selecciona el siguiente rango, $R \times 10$, la aguja se flexionaría indicando 375 Ω ($3750/10$). El cambio de rango genera la flexión de la aguja debido a que la resistencia de $R \times 10$ tiene sólo 1/10 de la resistencia de $R \times 1$.
- Si se utilizara el rango de $R \times 100$ para medir la misma resistencia de 3750 Ω , la aguja se flexionaría aún más, a la posición de 37.5 Ω ($3750/100$). Esta flexión ocurriría debido a que la resistencia $R \times 100$ tiene sólo 1/10 de la resistencia $R \times 10$. Así, al seleccionar la resistencia en serie más pequeña se flexiona más la aguja indicadora.
- El arreglo del circuito de la figura de medición de una resistencia en un circuito hace que fluya la misma cantidad de corriente a través del galvanómetro del multímetro, ya sea que la resistencia sea de 10.000 Ω en la escala de $R \times 1$, o 100.000 Ω en la escala de $R \times 10$, o 1.000.000 Ω en la escala de $R \times 100$.



Puesta a cero en un multímetro análogo

ATENCIÓN

Como las resistencias de los multiplicadores son de diferentes valores, siempre se debe ajustar el multímetro a cero después de hacer un cambio en el switch del factor multiplicador.

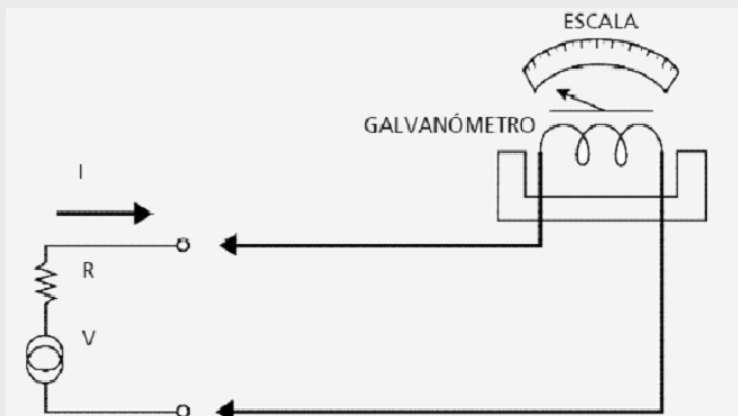
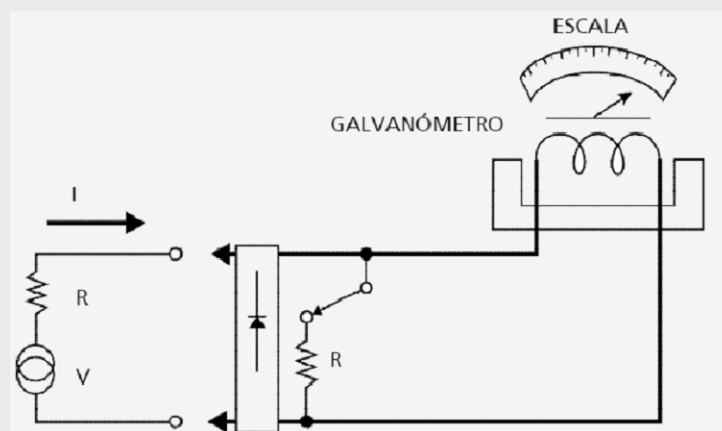
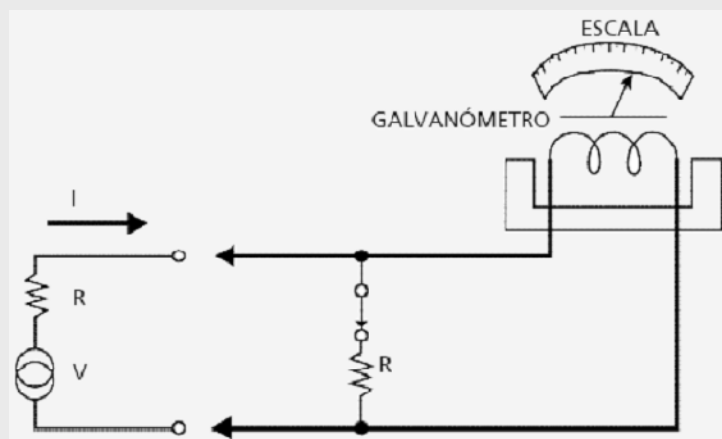


ACTIVIDAD 9.

Para profundizar lo visto sobre Medición con el Multímetro Analógico, realice la siguiente actividad.



A continuación se presentan tres mediciones de corriente. Marque con una cruz la o las opciones que considere correctas en cada caso, según el arreglo del circuito que corresponda a cada medición.

1 $I = 150 \text{ mA}$ ☐ $I = 0.5 \text{ mA}$ ☐ $I = 0.7 \text{ mA}$ ☐**2** $I = 1000 \text{ mA de CD}$ ☐ $I = 10 \text{ mA de CA}$ ☐ $I = 1000 \text{ mA de CA}$ ☐**3** $I = 100 \text{ mA}$ ☐ $I = 1000 \text{ mA}$ ☐ $I = 100 \text{ mA de CA}$ ☐

3.3 Multímetro Digital

Los multímetros digitales se clasifican de acuerdo al tipo de convertidor analógico/digital (A/D) que incluyen en su diseño. La función del convertidor A/D es transformar o convertir un voltaje de entrada analógico en una representación numérica.

Partes principales del Multímetro Digital.

- 1 Display (pantalla).
- 2 Botones de función.
- 3 Un selector rotatorio.
- 4 Entradas para las terminales de medición.
- 5 Terminales de medición.



1 Display (pantalla).

El display del multímetro se divide en dos partes:

1.1 Parte digital.

1.2 Parte analógica.

1.1 Parte Digital

La parte digital muestra las lecturas como sigue:

- En valores desde 00000 hasta 99999.
- En caso de un valor negativo se muestra el signo menos (-).
- El punto decimal se coloca automáticamente.

1.2 Parte Analógica

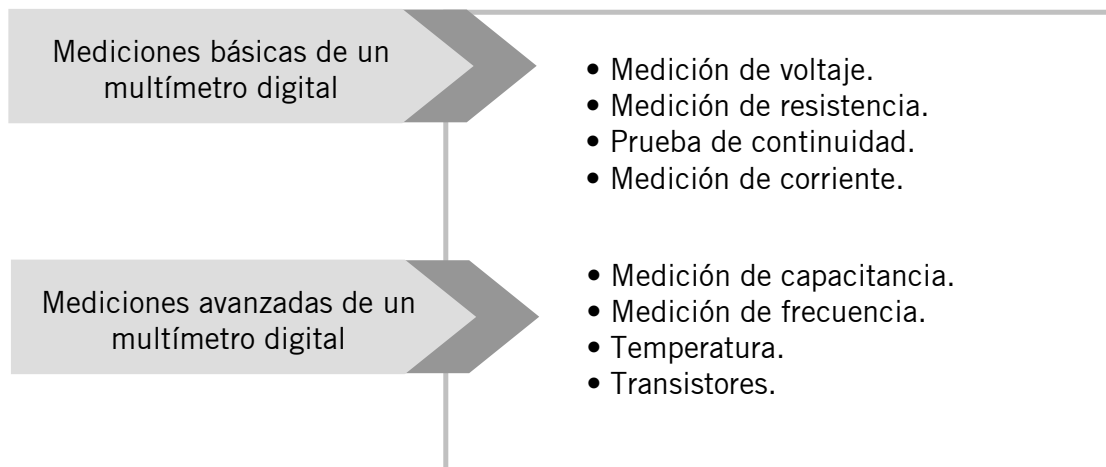
La parte analógica muestra las lecturas en un apuntador de 32 segmentos. Otros modelos tienen 31 segmentos. Este apuntador analógico actualiza su lectura 25 veces por segundo, mientras que el digital solo 2 veces por segundo. Hay que mencionar que no todos los multímetros digitales cuentan con esta parte así que sólo se menciona como un complemento.



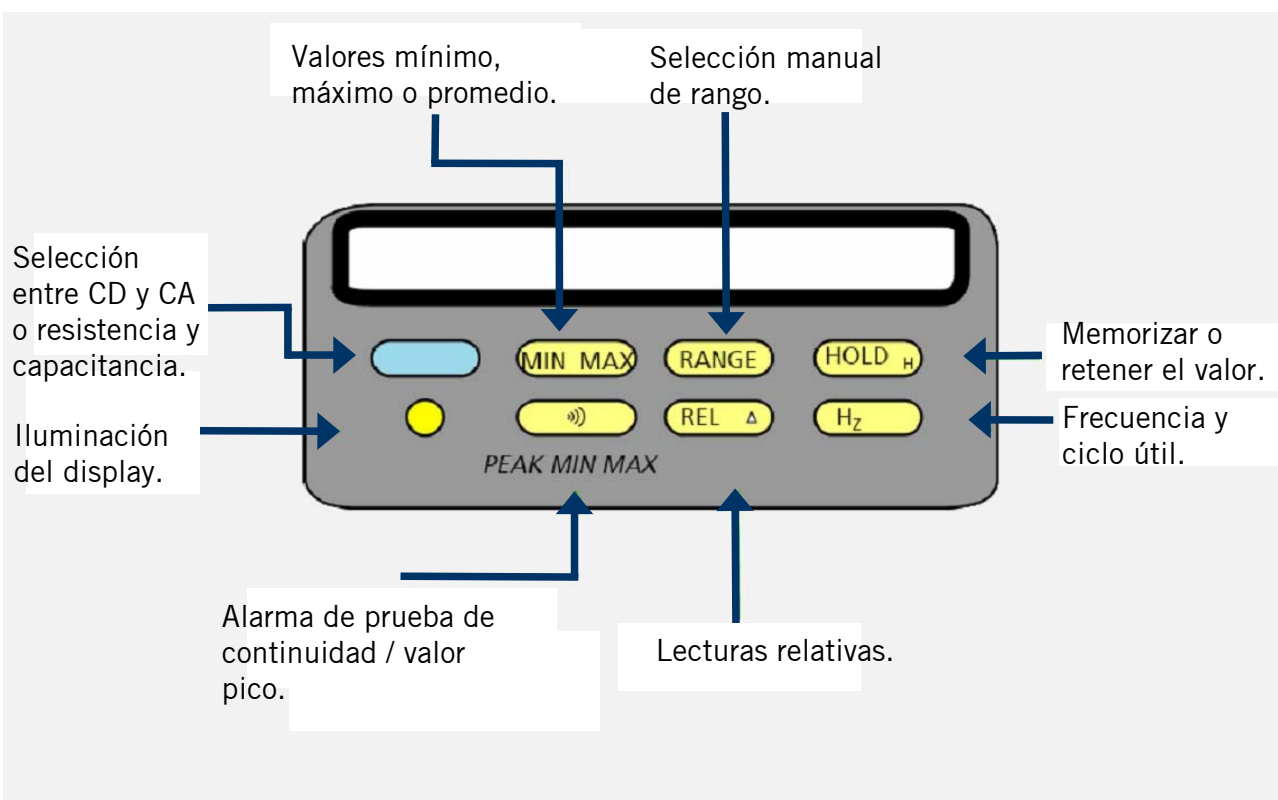
2

Botones de Función

Los botones de función se utilizan junto con el selector rotatorio, para escoger modos de operación.

**ATENCIÓN**

No todos los multímetros tienen estos botones, pues dependiendo del modelo y de la marca pueden variar.



3 Selector Rotatorio

El selector rotatorio es una perilla que se puede girar para escoger alguna de las funciones que realiza el multímetro.

Funciones a seleccionar.

- **Voltaje de CA:** selección automática de rangos para 400mV, 4V, 40V, 400V o 1000V de CA.
- **Voltaje de CD:** selección automática de rangos para 4V, 40V, 400V o 1000V de CD.
- **Milivolts de CD:** Rango de 400 mV de CD.
- **Resistencia (Ω), conductancia ($1/\Omega$), capacitancia o prueba de continuidad (\rightarrow).**
- **Prueba de semiconductores:** mide el voltaje necesario para producir una corriente de 1 mA a través de la o las uniones de materiales semiconductores (PN), esto dentro de un rango de 3 volts. Si con 3 volts no se alcanza una corriente de 1 mA, el display mostrará una indicación **OL**.
- **Miliamperes o amperes de CD o CA:** al encender el multímetro automáticamente selecciona CD. Para cambiar a CA se presiona el botón azul ó su similar. La selección automática de rangos es para 40 mA o 400 mA cuando se utiliza el punto de entrada mA, μ A o para 4000 mA o 10 A cuando se utiliza el punto de entrada A.
- **Microamperes de CD o CA:** al encender el multímetro automáticamente se selecciona CD. Para cambiar a CA se presiona el botón azul o su equivalente. La selección automática es 400 μ A o 4000 μ A al utilizar el punto de entrada mA μ A.
- **Temperatura.**

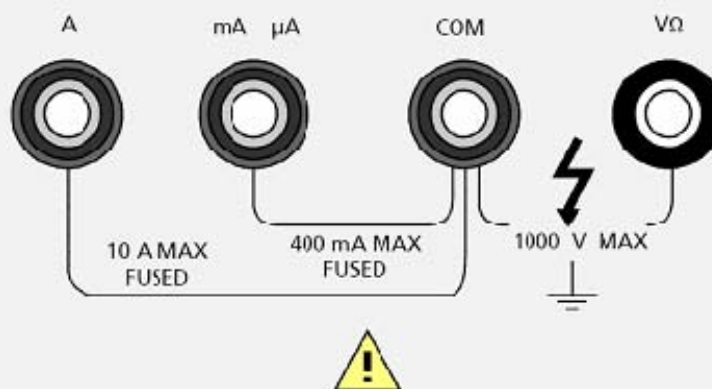


EJEMPLO

En esta figura se ve seleccionada la función Temperatura.

4 Entradas para los Terminales de Medición

En la parte inferior del multímetro hay 4 entradas para las terminales de medición. En estas entradas se introducen las terminales de medición.



¿Para qué se usa cada una de ellas?

- **A:** Medición de corriente en amperes. Se usa para mediciones de corriente (CA o CD) hasta 10 amperes continuos, o bien, 20 amperes sólo por 30 segundos.
- **mA, μ A:** Medición de corriente en miliamperes y microamperes. Se usa para mediciones de corriente hasta de 400 mA (CA o CD) ó menos.
- **COM:** Terminal común. Es el terminal común o de retorno que se usa para todas las mediciones.
- **V Ω :** Se usa para medición de voltaje, resistencia o prueba de semiconductores.

5

Terminales de medición

Un punta del terminal de medición es roja y la otra es negra; en ocasiones, una o ambas puntas son acondicionadas con pinzas con mordaza tipo caimán para facilitar la sujeción.

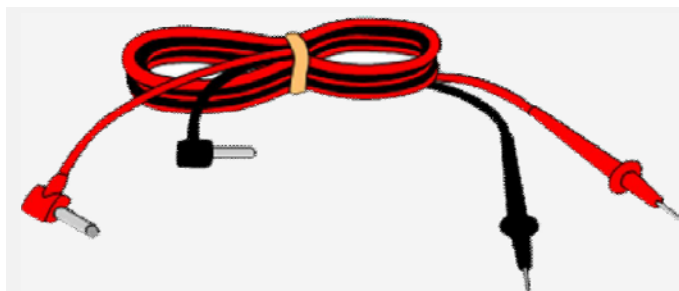
Para realizar mediciones siempre se conecta:

Terminal Roja

A la entrada requerida:
A, mA, mA, ó V Ω .

Terminal Negra

Al común COM.



ACTIVIDAD 10.

Para afianzar los conceptos acerca del Multímetro Digital marque con una cruz la o las opciones correctas a las siguientes proposiciones.



1

El multímetro digital sólo mide tensión y corriente.

Si. ☐

No. ☐

2

La terminal negra se conecta a la entrada...

Requerida: A, mA, mA, ó V Ω . ☐

Al común COM. ☐

3

La terminal común COM se utiliza...

Sólo para medición de corriente. ☐

Para todas las mediciones. ☐

4

Al encender el multímetro automáticamente selecciona...

CD. ☐

CA. ☐

3.4 Utilización del Multímetro Digital

Antes de utilizar un multímetro digital se debe estar informado acerca de las medidas de seguridad tanto para el usuario como para el aparato.

Se utilizarán las palabras:

Advertencia : al tratarse de algo que pudiera dañar al multímetro.

Precaución : al tratarse de algo que pueda significar peligro para el usuario.

Medidas de seguridad

- Evitar realizar mediciones estando solo.
- No usar el multímetro si está dañado, para evitar mediciones erróneas.
- Revisar que el aislamiento de las terminales de medición no esté dañado. Revisar la continuidad de las terminales de medición y reemplazarlas si están dañadas.
- El multímetro debe estar en buenas condiciones de operación. En la prueba de continuidad, una lectura que va desde OL a 0, generalmente indica que el multímetro funciona correctamente.
- Seleccionar la función y rango apropiados para la medición. Para evitar una descarga (shock) eléctrica, se deberá tener especial precaución al trabajar con voltajes superiores a 60 VCD o 25 VCA RMS.
- Desconectar primero la terminal conectada a voltaje (vivo) antes de desconectar la que está conectada a común (tierra).
- Seguir todos los procedimientos de seguridad del equipo bajo prueba. Desconectar el voltaje de alimentación y descargar todos los capacitores (especialmente los de alto voltaje) antes de probar las funciones de continuidad Ω .
- Al realizar una medición de corriente (se abre el circuito y se conecta al multímetro en serie), desconectar la alimentación antes de conectar el multímetro al circuito.
- Revisar los fusibles del multímetro antes de medir corriente en transformadores de corriente. Un fusible fundido podría producir un alto voltaje peligroso.

ATENCIÓN

Precaución: Para evitar una descarga eléctrica o un daño al multímetro, no se debe aplicar más de 600 volts entre cualquier terminal y tierra.

Instrucciones de Uso para un Multímetro Digital.

A continuación se describirá cómo operar un multímetro digital. Estas instrucciones están basadas en la serie comercial 80 V, marca registrada de FLUKE.

La forma del multímetro que se tenga a mano a la hora de hacer mediciones eléctricas, puede variar, así como sus funciones especiales y limitaciones. Es por eso que se recomienda revisar el manual específico del multímetro en caso de necesitarse mayor información.

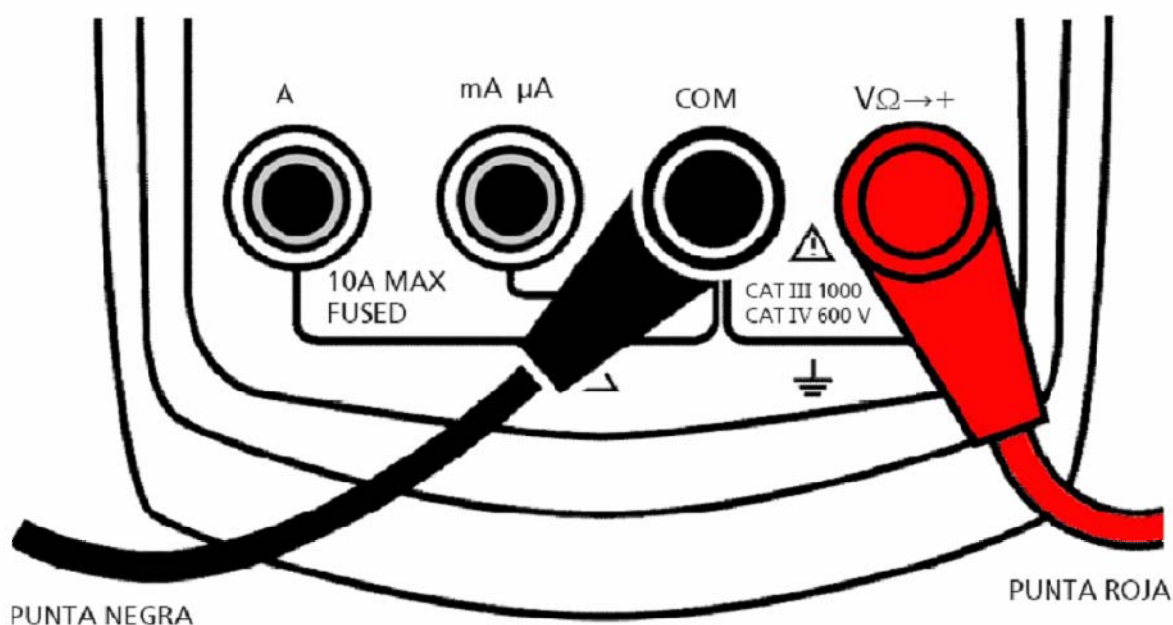
Medición de Voltaje de Corriente Alterna.

Para realizar una medición de corriente alterna, primero es necesario tener las puntas del multímetro desconectadas del punto de medición.

Posteriormente, siga los siguientes pasos:

1

Conecte las puntas negra y roja como se muestran en la figura.

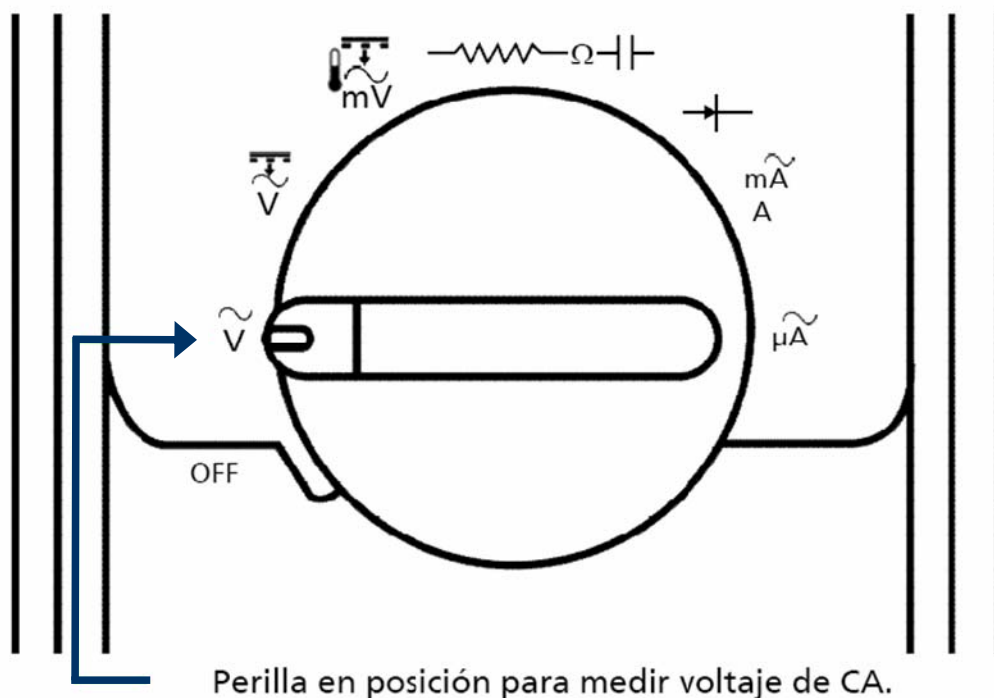


ATENCIÓN

Antes de poder iniciar una medición eléctrica, es necesario tomar precauciones y asegurarnos que el multímetro está en la posición correcta.

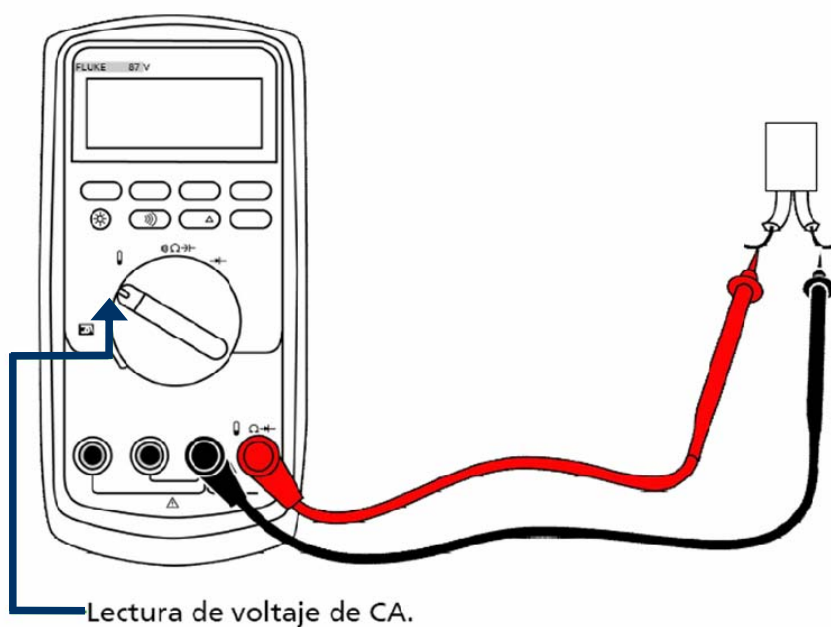
2

Gire la perilla del multímetro y seleccione el símbolo ilustrado en la figura. Ahora el multímetro ya está listo para realizar una medición de corriente alterna.



3

Tome las puntas negra y roja y conéctelas en paralelo al punto donde desea medir, como se ilustra en la figura.

**RECUERDE**

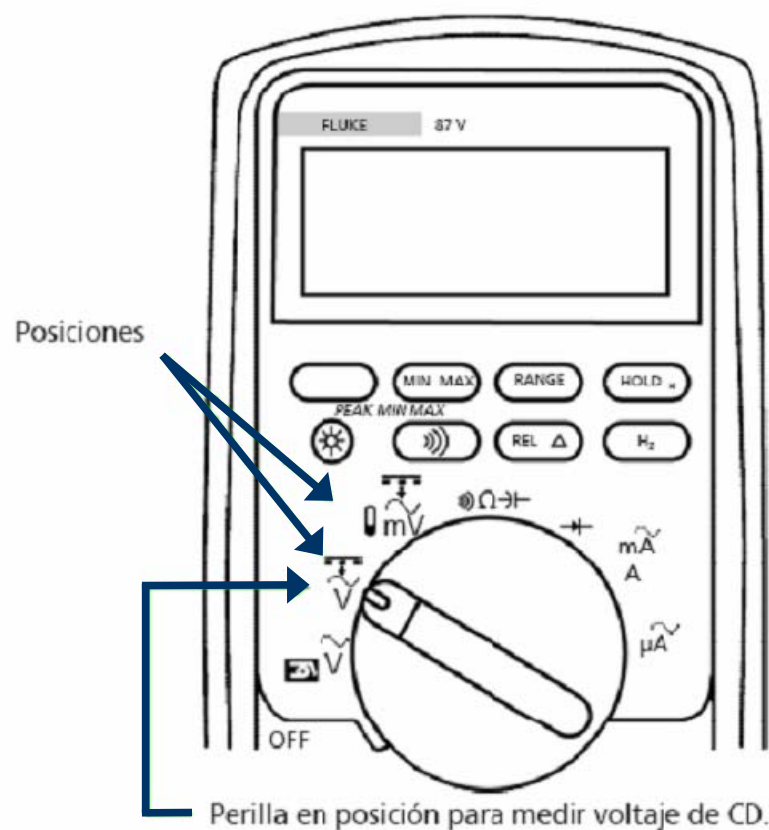
Recuerde que los voltajes de CA no son constantes, por lo que el multímetro indicará el valor RMS del mismo.

Medición de Voltaje de Corriente Directa.

Para hacer la medición de un voltaje de corriente directa, las puntas del multímetro deben estar desconectadas del punto de medición y también debe seguirse el paso N° 1 mencionado en la medición de voltajes de corriente alterna.

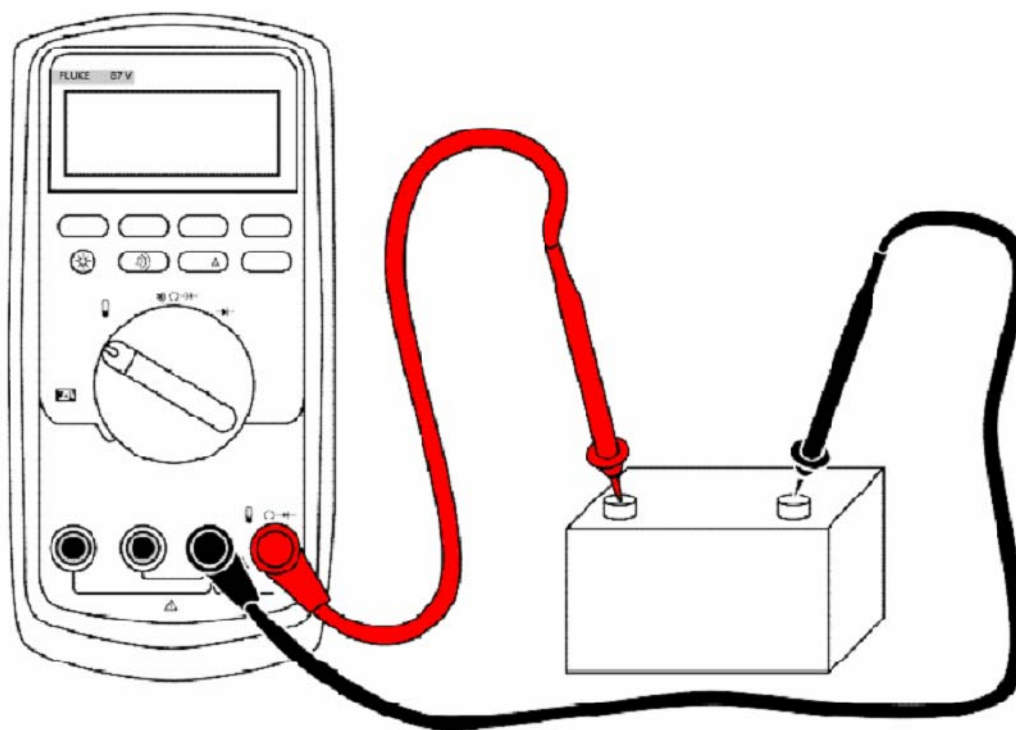
Los siguientes pasos se muestran a continuación:

- 1 Ídem paso N°1 Medición CA.
- 2 Dependiendo la magnitud de voltaje que se espera leer, se debe girar la perilla a una de las dos posiciones mostradas en la figura



3

Tome las puntas negra y roja y conéctelas en paralelo al punto donde desea medir, como se ilustra en la figura. Recuerde que la punta roja se usa para el positivo y la punta negra para el negativo. En caso de conectarse al revés, la lectura de voltaje resultará invertida. Por ejemplo, supongamos que la batería que se lee en la figura es de 24 VCD. Si se invirtiera la conexión de las puntas, el voltaje medido sería de -24 VCD.



Lectura de voltaje de CD

Medición de Resistencia.

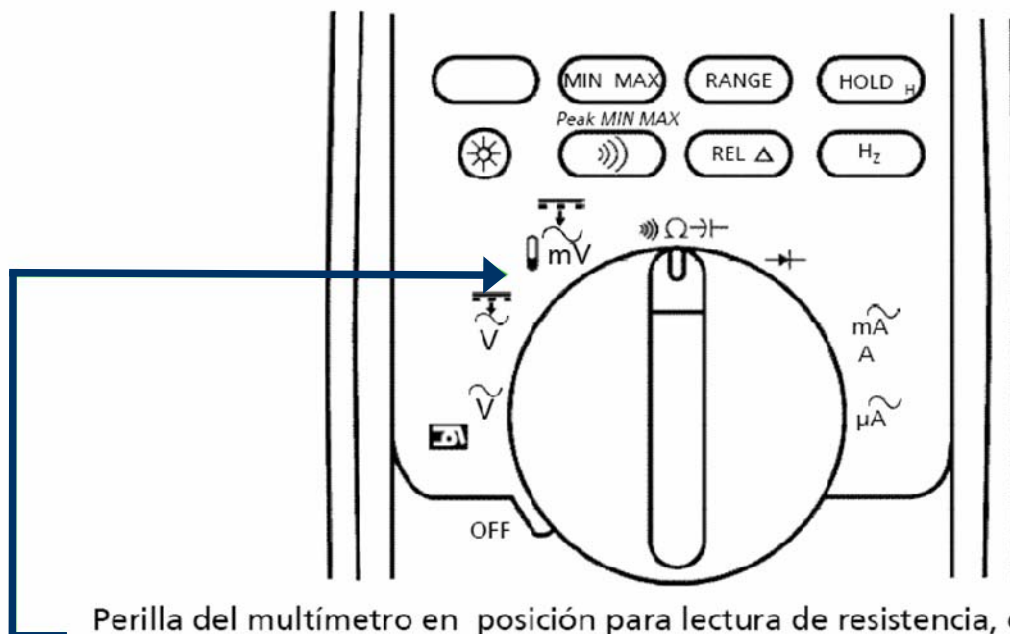
Para medir el valor resistivo de un circuito, es necesario desconectar las puntas de cualquier circuito donde pudieran estar puestas.

Luego se continúa con los siguientes pasos:

1

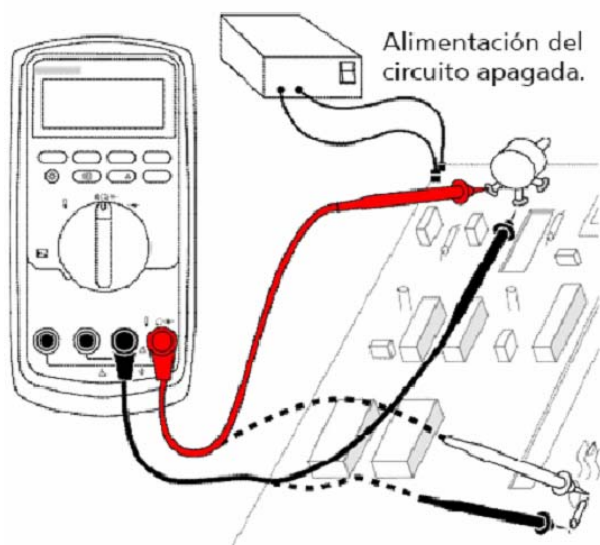
Ídem paso N°1 Medición CA.

- 2 Gire la perilla del multímetro como se muestra en la figura. Este modelo de multímetro tiene integrado la medición de resistencia, la lectura de capacitancia y de la continuidad en un circuito.

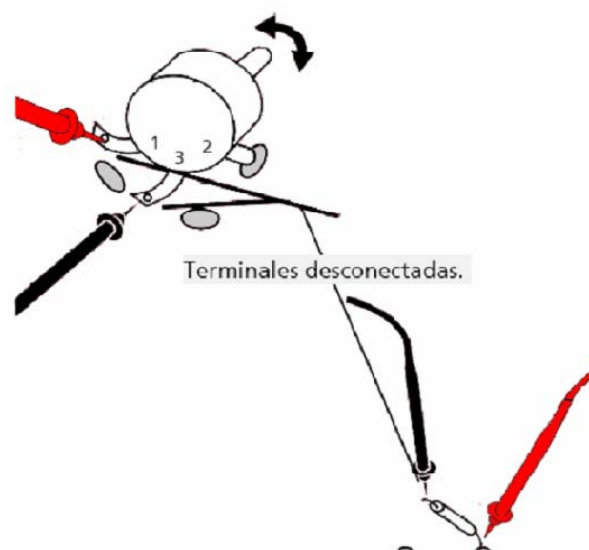


Perilla del multímetro en posición para lectura de resistencia, capacitancia y comprobación continuidad.

- 3 Conecte las puntas en el circuito o elemento resistivo que se desea medir. Recuerde que el multímetro hará circular una corriente muy pequeña a través del circuito al cual se conectó y de esta forma medirá su resistencia. Por lo tanto, si desea obtener sólo el valor resistivo de un elemento y no de todo el circuito, asegúrese de desconectar ese elemento antes de medirlo, como se muestra en la figura.



Toma de lectura del valor resistivo en dos puntos de un circuito (Resistencia y Potenciómetro).



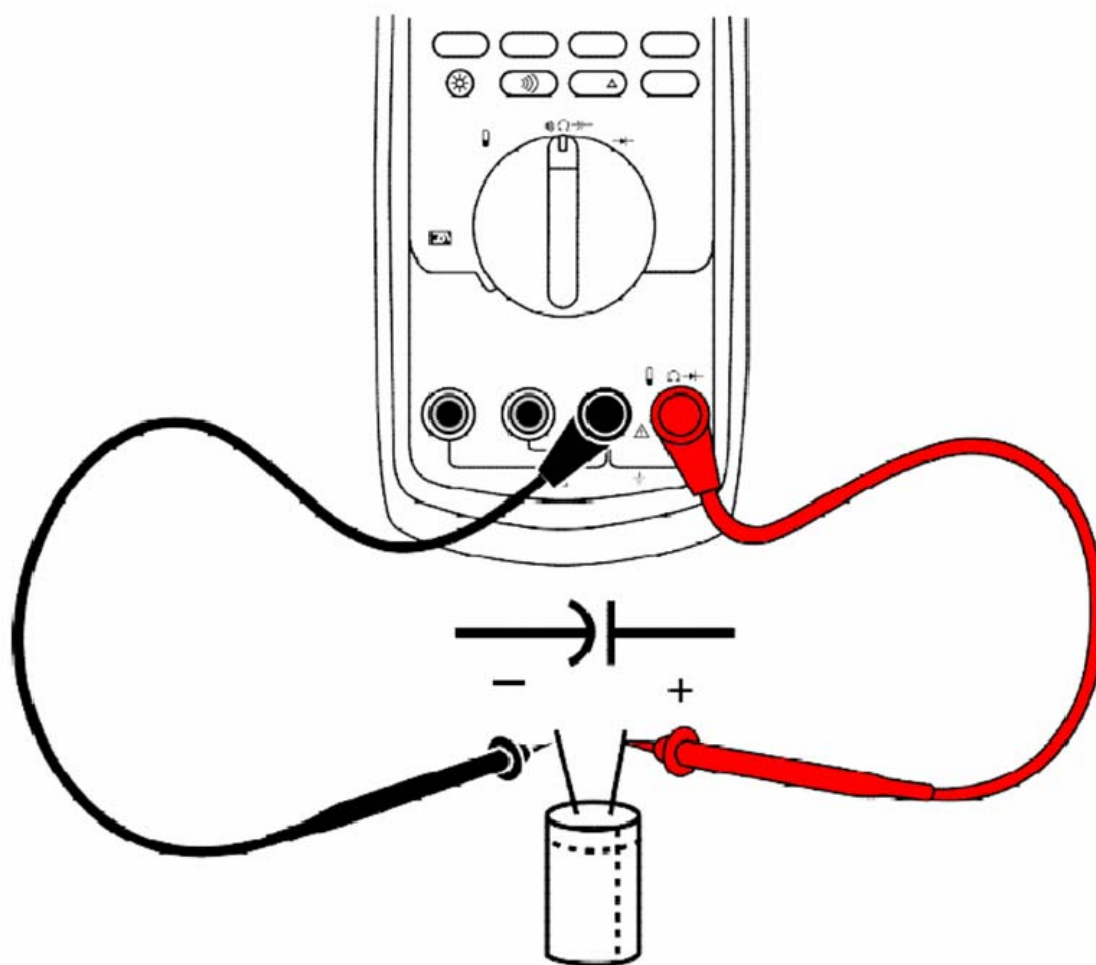
Ejemplo de toma de lectura del valor resistivo de dos elementos desconectados de un circuito.

Medición de Capacitancia.

La mayoría de los multímetros digitales tienen integrada la medición de capacitancia junto con la de resistencias.

Para medir un valor capacitivo primero asegúrese de tener desconectadas las puntas de cualquier circuito.

- 1 Ídem paso N°1 Medición CA.
- 2 Ídem paso N° 2 Medición de Resistencia.
- 3 Coloque las puntas de medición como se muestran en la figura.



Toma de lectura de un capacitor

Comprobación de Continuidad.

Como se mencionó en las instrucciones para medir resistencia en un circuito, al colocar la perilla en posición de lectura de resistencia, también se está preparando al multímetro para comprobar la continuidad de un circuito.

Para comprobar la continuidad de un circuito se siguen estos pasos:

- 1 Ídem paso N°1 Medición CA.
- 2 Ídem paso N° 2 Medición de Resistencia.
- 3 Oprima el botón de sonido, que se muestra en la figura. De esta forma, al haber continuidad en un circuito, el multímetro generará un sonido que le permitirá darse por enterado sin tener que voltear a ver la pantalla. Para desactivar el sonido, basta con apretar el botón nuevamente.



La comprobación de continuidad es especialmente útil para identificar fallas en circuitos.

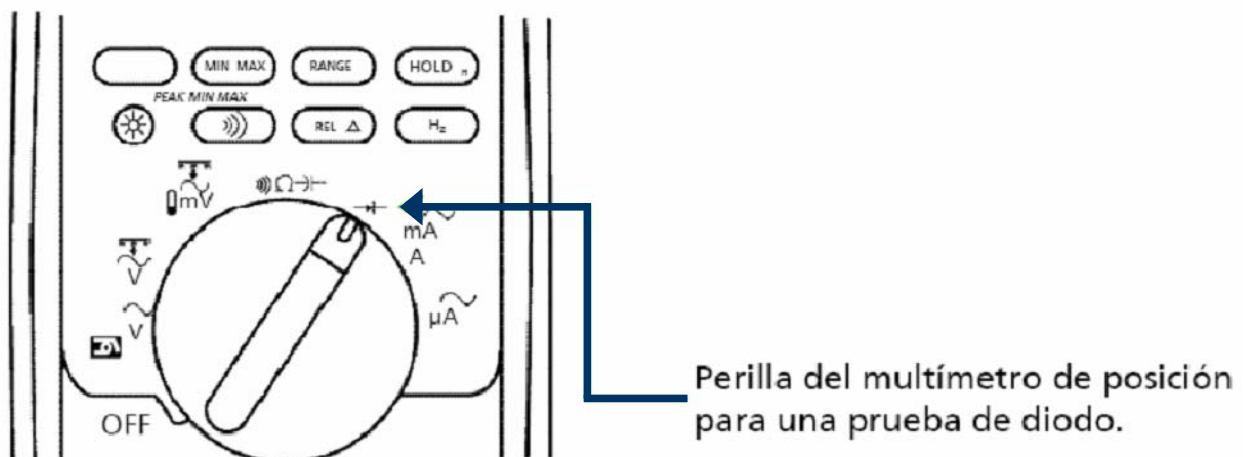
- 4 Haga contacto con las puntas del multímetro en el circuito o elemento del que se desea verificar la continuidad.



Prueba de Diodo.

Para comprobar que un diodo se encuentra en buen estado, asegúrese de desconectar las puntas del multímetro y luego siga el siguiente procedimiento:

- 1 Ídem paso N°1 Medición CA.
- 2 Gire la perilla a la posición mostrada en la figura.



- 3 Haga contacto con las puntas del multímetro en las terminales del diodo. Las lecturas que corresponden al estado del diodo se interpreta según las lecturas de la siguiente forma:

Bueno

$V < 0.85 \text{ VCD.}$

Malo

$V \leq 0.1 \text{ VCD}$ (Corto circuito) o "OL" (si el diodo está abierto).

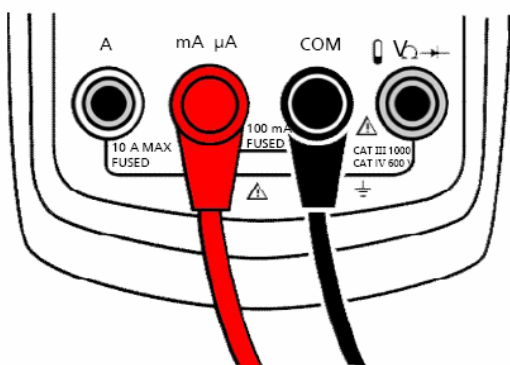
Medición de CA y CD.

ATENCIÓN

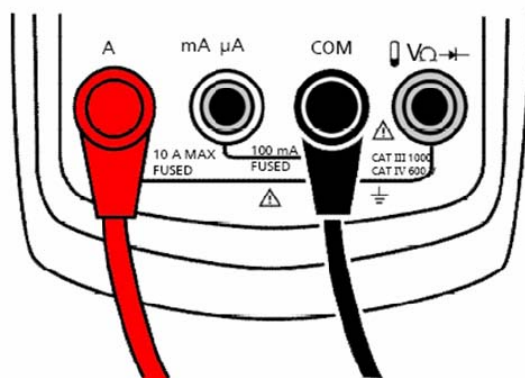
Es importante recordar que por ningún motivo deben colocarse las puntas del multímetro sobre el circuito si aún no está listo para efectuar la medición que se desea efectuar.

Para medir la corriente que pasa a través de un circuito (ya sea CA o CD), siga los siguientes pasos:

- 1 Conecte las puntas del multímetro como se muestran en la figura. Observe que existen dos entradas distintas para la medición de corriente. Una de ellas es para mA/μA y la otra para A, por lo tanto, se deberá tener una idea de la magnitud de corriente que se espera leer.



Conexión de las puntas del multímetro para lectura de corriente en mA.

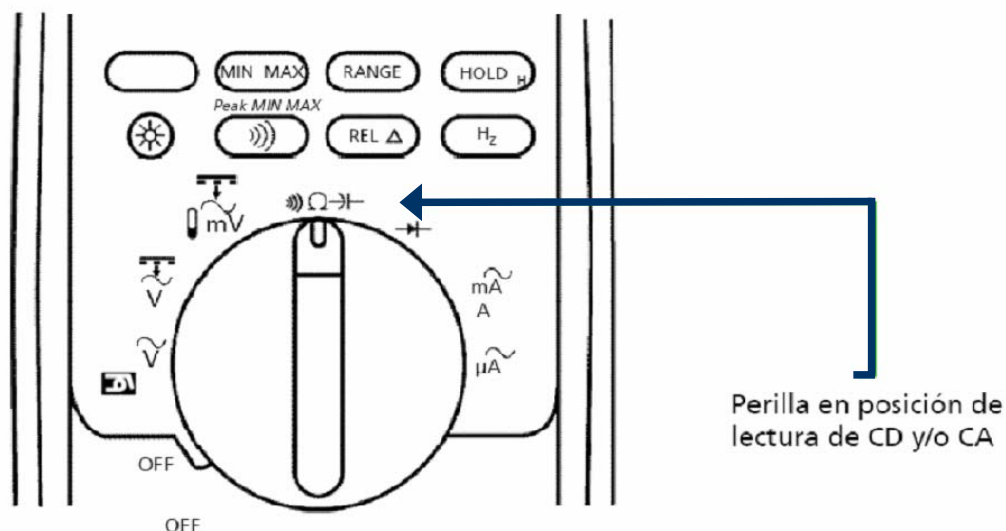


Conexión de las puntas del multímetro para lectura de corriente en A.

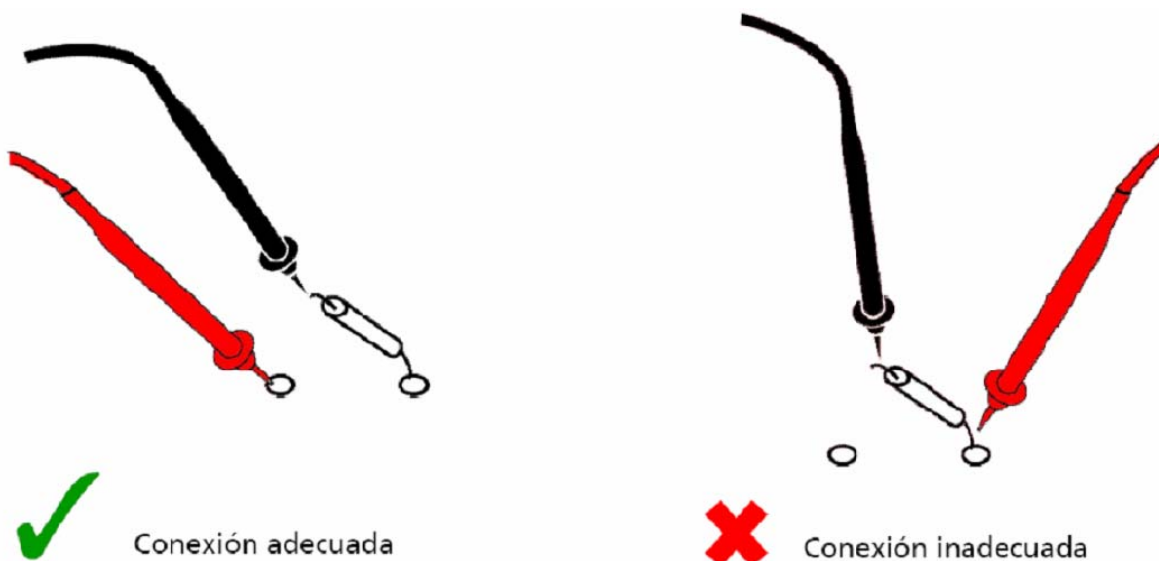
ATENCIÓN

Si no está seguro de la magnitud a la que puede llegar la corriente, evite conectar el multímetro como se muestra en la figura que corresponde a una lectura en mA, ya que la exposición prolongada a una corriente mayor a la que es capaz de soportar provocará que se queme el fusible de protección.

- 2 Gire la perilla a la posición mostrada en la figura.



- 3 Apague la fuente de alimentación del circuito que se analizará y posteriormente abra la rama donde desea medir la corriente.
- 4 Conecte el multímetro en serie, de forma que el circuito quede cerrado. En la figura se muestra cómo debe y cómo no se debe conectar un multímetro cuando se desea medir la corriente que pasa a través de una resistencia.



- 5 Después de efectuar la medición, apague la fuente de alimentación, desconecte el multímetro y vuelva a cerrar la rama que se abrió previamente.

Mantenimiento Preventivo y Verificaciones.

Las puntas de prueba y los cables suelen ser fuentes de problemas, ya que están sujetos a una manipulación constante. Además las puntas de prueba desmontables pueden aflojarse y hacer mal contacto, o las conexiones internas romperse y tornarse intermitentes.

Verificación de las Puntas de Prueba.

Estos inconvenientes pueden verificarse colocando la llave de funciones en Ω y cortocircuitando las puntas, flexionando los conductores y tirando de ellos. Mientras se observa que no se produzcan cambios irregulares en la lectura (caso contrario, indica conexiones flojas).

Las funciones de intensidad y tensión deben verificarse en forma similar mientras está conectada a una fuente de tensión de prueba.

ATENCIÓN



Es muy importante para la seguridad personal realizar la verificación correspondiente del estado de los instrumentos cuando se realizan tareas en circuitos energizados.

Verificación de la Batería (Analógico).

Para realizar una correcta medición de resistencia debe verificarse la condición de la batería.

Pasos para la verificación:

1. Colocar el selector de funciones en Ω .
2. Colocar el control de rango en $R \times 1$ y cortocircuitar las puntas. Girar el potenciómetro de ajuste en Ω para llevar la aguja a una desviación de plena escala (posición) o puesta a cero.
3. Si es posible, ajustar la aguja a plena carga, sino la batería debe reemplazarse.
4. Si alcanza la plena escala se debe mantener cortocircuitadas las puntas durante 10 segundos. En caso que se observe una desviación apreciable de la aguja, alejándose de plena escala, indica que la batería está débil.

Verificación de la batería (Digital).

1. Se observará en el display la leyenda Low Batt.

Consideraciones Generales.

- El multímetro es un elemento muy delicado, por ese motivo no debe ser golpeado ni colocado en ambiente húmedo, ni expuesto al sol o altas temperaturas.
- El selector de funciones debe ser girado con lentitud para mantenerlo en buen estado y cuando no se utiliza, colocarlo en posición OFF.
- Se debe verificar la posición de la aguja en cero cuando el instrumento esté desconectado, caso contrario, se lo deberá corregir con el tornillo de ajuste.
- Cuando se desconozca el valor de la magnitud eléctrica a medir (corriente-tensión de CA o de CD) antes de aplicar las puntas, se colocará la llave selectora en el alcance correspondiente a la magnitud más alta para asegurarse de no dañar el instrumento, efectuando la primer lectura, se reducirá el alcance al rango más adecuado.
- Cuando no se conozca la polaridad del circuito se unirá una de las puntas a uno de los puntos a medir y se hará un rápido toque con la otra punta, siempre en un alcance alto, para verificar en qué dirección desvía la aguja.

Desarrollo de las Medidas de Seguridad.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) desarrolla normas internacionales de carácter general para la seguridad en la medida, control y uso de equipos eléctricos.

La norma IEC 61010 – 1 se utiliza como base para las siguientes normas nacionales:

- ANSI/ISA- S82.01-94 de EE.UU.
- CAN C22.2 N° 1010.1-92 de Canadá.
- EN61010 – 1:2001 de Europa.

ATENCIÓN



Los multímetros fabricados para ambientes con peligro de exposición llevan la palabra “Ex” en el nombre del modelo e impreso el símbolo:





ACTIVIDAD 11.

Para entender con mayor profundidad la utilización del multímetro, responda si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas.



1

Primero, se debe desconectar la terminal conectada a voltaje (vivo) y luego, hay que desconectar la que está conectada a común (tierra).

Verdadero ☐Falso ☐

2

Para realizar una medición de corriente alterna, primero es necesario tener las puntas del multímetro conectadas del punto de medición.

Verdadero ☐Falso ☐

3

El selector rotatorio cuando no se utiliza, se debe colocar en posición "Temperatura".

Verdadero ☐Falso ☐

4

Para realizar una correcta medición de resistencia se debe verificar la condición de la batería.

Verdadero ☐Falso ☐

3.5 Medición con el Multímetro Digital

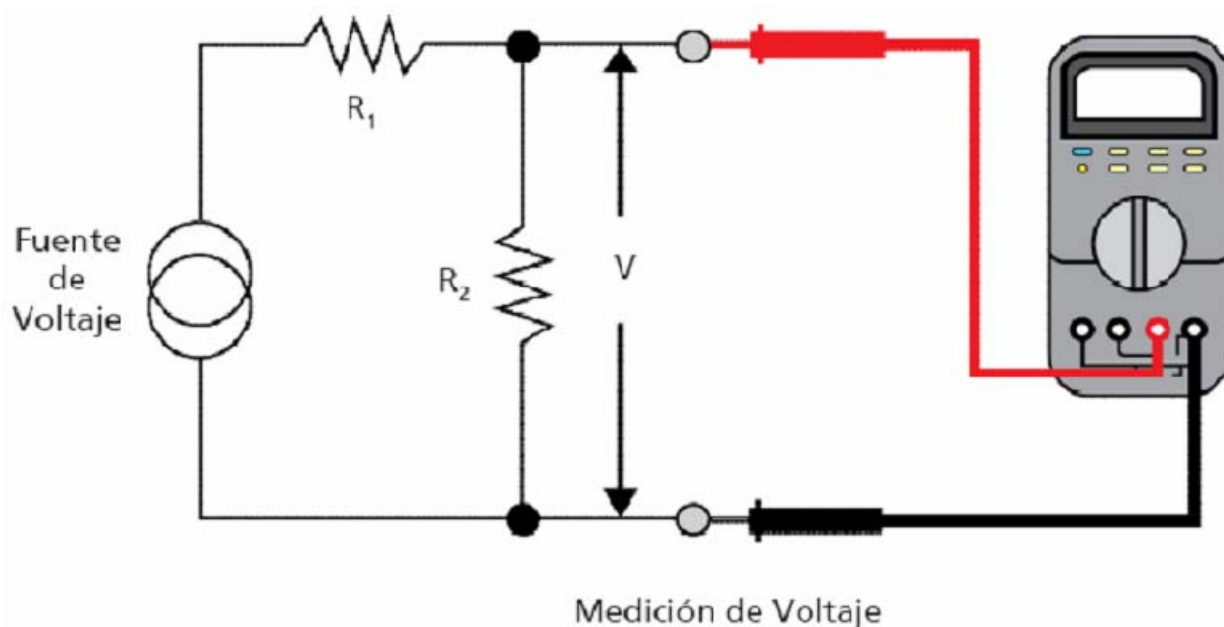
A continuación se describen las formas de realizar las mediciones con el multímetro digital. Al mismo tiempo que se detallan las medidas de precaución necesarias para cuando se realizan estas mediciones.

Si al realizar alguna medición aparece en la pantalla las letras OL significa que se ha sobrepasado el máximo valor de un rango (Over Limit).

Medición de Voltaje.

Para medir voltaje se realiza el siguiente procedimiento:

- 1 Se inserta la terminal de color negro en la entrada COM.
- 2 Se inserta la terminal de color rojo en la entrada V Ω .
- 3 Se elige determinado tipo de voltaje: CA, CD de entre 0.001 V-1000 V y CD de entre 0.01 mV-400 mV. El multímetro se coloca en paralelo con el dispositivo a cual se le va a medir el voltaje.
- 4 Se pone una terminal de medición en cada extremo del dispositivo al cual se le va a medir el voltaje, de tal manera que el dispositivo quede en paralelo con el multímetro como se muestra en la figura.

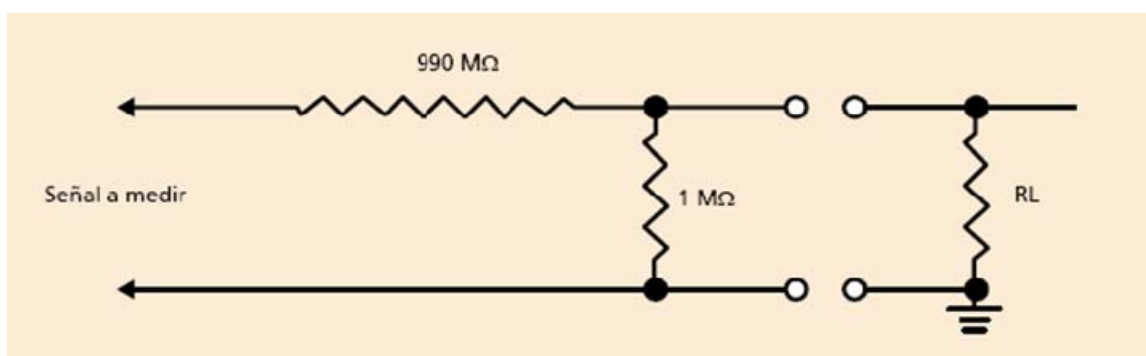


Medición de Alto Voltaje.

La mayoría de los multímetros digitales pueden medir hasta 600 volts en su rango más alto. Sin embargo, a veces se requiere medir un voltaje mayor, y para esto se debe utilizar una punta de medición de alto voltaje.

Una punta de alto voltaje es un divisor de resistencia como el que se muestra en el ejemplo.

EJEMPLO



Punta de medición de alto voltaje

Como la resistencia en serie es de $999\text{ M}\Omega$ y la de salida del divisor es de $1\text{ M}\Omega$, se tiene un divisor con una relación de 1000 a 1. 30.000 volts en la punta de medición de alto voltaje se convertirán en 30 volts en la entrada del multímetro.

Debido a la presencia de alto voltaje, las resistencias en serie deben estar selladas e instaladas en la parte aislada de la punta de medición de alto voltaje. Considerando la razón del divisor de 1000 a 1, aún las pequeñas variaciones en la resistencia de salida del divisor afectan la precisión de la medición.

Una medición de alto voltaje de CD típica tendrá una precisión del 1% respetando sus especificaciones de temperatura y humedad. Si la humedad relativa pasa del 90%, o si la temperatura baja de $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($3.2\text{ }^{\circ}\text{F}$) o sube más de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($104\text{ }^{\circ}\text{F}$), la medición no será muy precisa.

En mediciones de alto voltaje de CD el terminal de tierra es usualmente un cable negro separado que sale del mango de la punta de alta tensión.

La medición de alto voltaje con un multímetro digital es como cualquier medición de alto voltaje sólo que además de la precisión de la punta de medición de alto voltaje a utilizar, se debe tener presente el peligro que implica un alto voltaje.

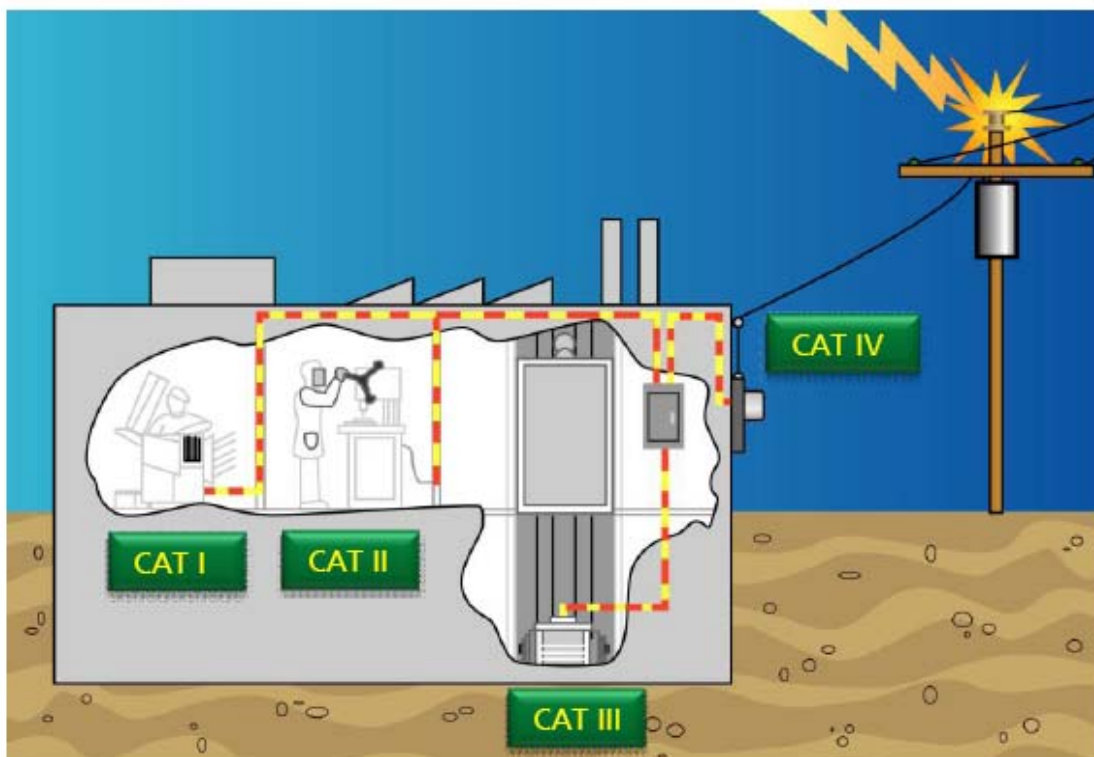
Categorías de instalación por sobretensión.

Categoría de sobretensión	En resumen	Ejemplos
CAT IV	Conexión trifásica en dispositivo, cualquier conductor exterior.	<ul style="list-style-type: none"> Indica el “origen de la instalación”, es decir, donde se realiza la conexión de baja tensión (acometida) a la alimentación de alta tensión. Contadores de electricidad y equipos de protección principales contra sobrecorrientes. Entrada exterior y de servicio, cable de acometida desde el origen de alta tensión al edificio, tramo entre el contador y el cuadro. Línea aérea hasta edificios no adosados, línea subterránea a la bomba del pozo.
CAT III	Distribución trifásica, incluida la iluminación comercial monofásica.	<ul style="list-style-type: none"> Equipo en instalaciones fijas, como conmutadores de alta tensión y motores polifásicos. Alimentadores y colectores de plantas industriales. Alimentadores y ramales cortos, dispositivos de cuadros de distribución. Sistemas de iluminación en grandes edificios. Tomas de corriente de dispositivos eléctricos con conexiones cortas a entradas de servicio.
CAT II	Cargas monofásicas de recepción conectadas.	<ul style="list-style-type: none"> Dispositivos eléctricos, instrumentos portátiles y otras con cargas domésticas similares. Tomas de corriente y ramales mas largos. Tomas de corriente a más de 10 metros de una fuente CAT III. Tomas de corriente a más de 20 metros de una fuente CAT IV.
CAT I	Electrónica.	<ul style="list-style-type: none"> Equipo electrónico protegido. Equipo conectado a circuitos (de fuente) en los que se han tomado medidas para reducir las sobretensiones de los transitorios a un nivel bajo apropiado. Cualquier fuente de alta tensión y baja potencia derivada de un transformador de alta resistencia de devanado, como la sección de alta tensión de una fotocopidora.

Nota: La norma IEC 61010 – 1 aplica a los equipos de medida de baja tensión (< 1000 V).

Medidas de Seguridad:

- La punta de medición de alto voltaje siempre se debe conectar con el equipo desenergizado. Cuando se requiera hacer una medición con el equipo energizado, debe hacerse primero la conexión a tierra y después tocar rápidamente el punto a medir con la punta de medición.
- Los arcos que se forman entre la punta de alto voltaje y el punto de medición de alto voltaje podrían ser dañinos tanto para la punta de medición como para los componentes del equipo bajo prueba. Se deben evitar estos arcos.
- Al realizar una medición de alto voltaje, se debe asegurar que tanto las manos como la punta de alto voltaje estén secas. Como medida de seguridad adicional se recomienda conservar una mano dentro del bolsillo.
- Al medir un voltaje desconocido, el multímetro se debe ajustar en la escala más alta antes de usar la punta de medición de alto voltaje. Se debe evitar en lo posible una sobrecarga al multímetro.



Categorías de sobretensión

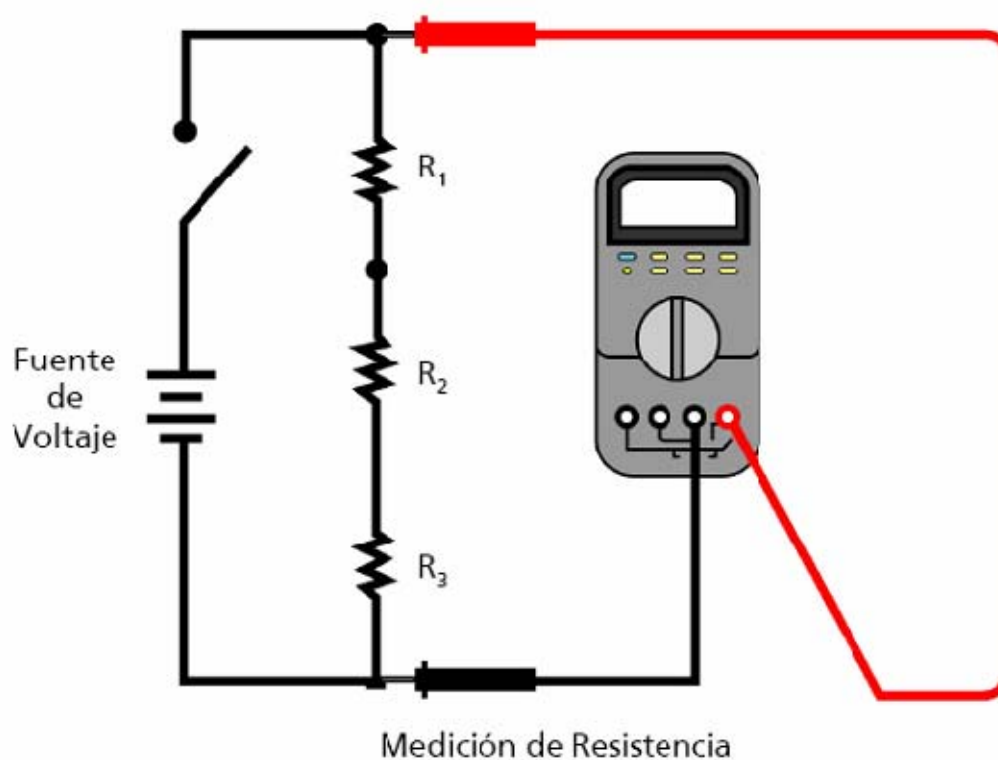
Medición de Resistencia.

ATENCIÓN

Es importante desenergizar el equipo bajo prueba y descargar todos los capacitores. Para descargar los capacitores sólo se necesita cortocircuitar sus terminales.

Siga el siguiente procedimiento para leer el valor resistivo de un circuito o un dispositivo:

- 1 Se debe asegurar de que el contacto entre las terminales y el circuito a medir no tengan polvo, grasa, soldadura, u otras impurezas. Esto produciría lecturas erróneas.
- 2 Se conecta la terminal negra a la entrada COM y la terminal roja a la entrada V Ω .
- 3 El selector rotatorio se coloca en la posición " Ω ".
- 4 El rango de resistencias que se pueden medir es de 0,01 Ω hasta 40 M Ω .
- 5 Se colocan las terminales al circuito en forma similar a como se muestra en la figura.
- 6 Se toma la lectura de resistencia en el display.



Prueba de Continuidad.

Mediante la prueba de continuidad se verifica si las conexiones del circuito y sus líneas (conductores) están en buen estado.

La prueba de continuidad es tan rápida que se utiliza para detectar aperturas de circuitos, o bien cortocircuitos de tan corta duración como 1 milisegundo.

Esta característica también permite la búsqueda de fallas intermitentes en cables, conexiones, switches, relevadores, etc.

RECUERDE



Es importante desenergizar el equipo bajo prueba y descargar todos los capacitores.

Esta prueba se realiza mediante el siguiente procedimiento:

- 1 Se conecta la terminal negra a la entrada COM y la terminal roja a la entrada $V\Omega$.
- 2 El selector rotatorio se coloca en la posición “ Ω ”.
- 3 Se presiona el botón. Esto habilita una alarma audible, sin embargo, no todos los multímetros cuentan con este botón.
- 4 Se coloca cada terminal del multímetro en una de las partes del circuito entre las cuales se quiere verificar la continuidad.
- 5 Si se produce un sonido es que hay continuidad (conexión eléctrica) entre las dos partes. De lo contrario, no existe continuidad.

Medición de Corriente.

Para medir corriente se realiza el siguiente procedimiento:

- 1 Se inserta la terminal de color negro en la entrada COM.
- 2 Se escoge donde insertar la terminal de color rojo como sigue:

En A

Para CD o CA cuyos valores estén entre 1 mA y 20 A.

En mA, μA

Para CD o CA cuyos valores estén entre 0.1 μA y 400 mA.

- 3 Se escoge la posición del selector rotatorio como sigue:

En mA, A

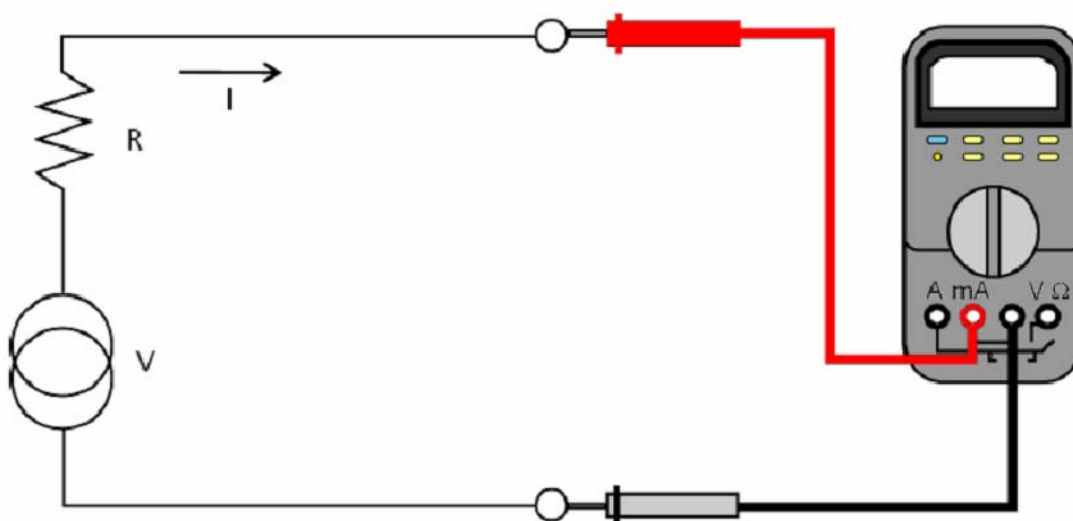
Para CD o CA cuyos valores estén entre 0.01 mA y 20 A.

En μ A

Para CD o CA cuyos valores estén entre 0.1 μ A y 4000 μ A.

- 4 Se toma la lectura de corriente eléctrica.

- 5 Se conecta en serie el multímetro, tal como se muestra en la figura.



Cuando se mide corriente el multímetro se coloca en serie con el dispositivo al cual se le va a hacer la medición.

- 6 Se toma la lectura de corriente eléctrica.

ATENCIÓN

No se debe intentar realizar una medición de corriente en un circuito cuyo potencial sea mayor a los 600 volts. Esto dañaría al multímetro (o su fusible) y principalmente el usuario correrá un gran peligro de descarga eléctrica.

Medición de Señales de CA.

Es importante tener en claro el significado de una medición. Así, se puede tener para una misma señal, un valor máximo o de pico, un valor promedio o de corriente directa y un valor RMS o eficaz. Entender estos términos permitirá encontrar sentido a las diferencias de estas mediciones.

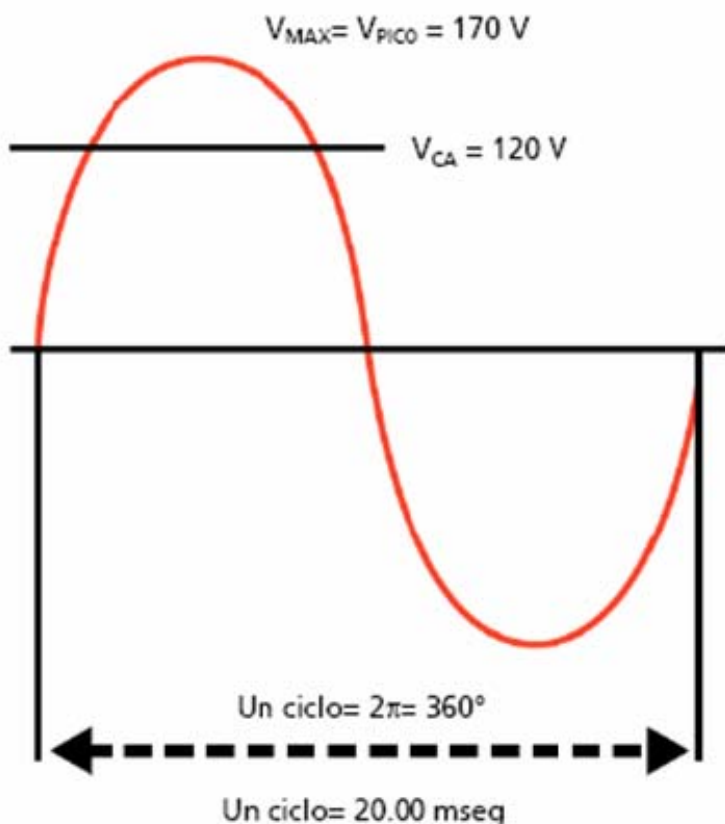
A continuación se describirán los conceptos de:

- a. Voltaje máximo o de pico.
- b. Voltaje promedio o de corriente directa.
- c. Voltaje eficaz o RMS.

a. Voltaje máximo o de pico.

El voltaje de corriente alterna utilizado tanto en instalaciones domésticas como industriales tiene la forma de una señal senoidal y su frecuencia es de 50 Hz o 50 cps.

En este voltaje de corriente alterna, la frecuencia de 50 Hz indica que se presenta esta señal 50 veces en 1 segundo. El período de la señal es el tiempo que pasa entre 2 máximos o 2 mínimos, para el caso de 50 hz, es de 0.02 segundos o 20 milisegundos, lo cual también puede representarse como 2π ó 360° .



En el caso de 60 Hz el período es de 0.016 segundos o 16.67 ms

Ciclo del voltaje de corriente alterna y relación de voltaje de corriente alterna a voltaje de pico.

Como se muestra en la figura anterior, el valor instantáneo del voltaje cambia constantemente adquiriendo valores positivos y negativos, pasando por cero 120 veces en 1 segundo.

El valor instantáneo máximo es conocido como voltaje máximo o voltaje de pico.

La ecuación que lo define es:

$$V_{MAX} = V_{PICO} = \sqrt{2} \cdot V_{CA}$$

EJEMPLO



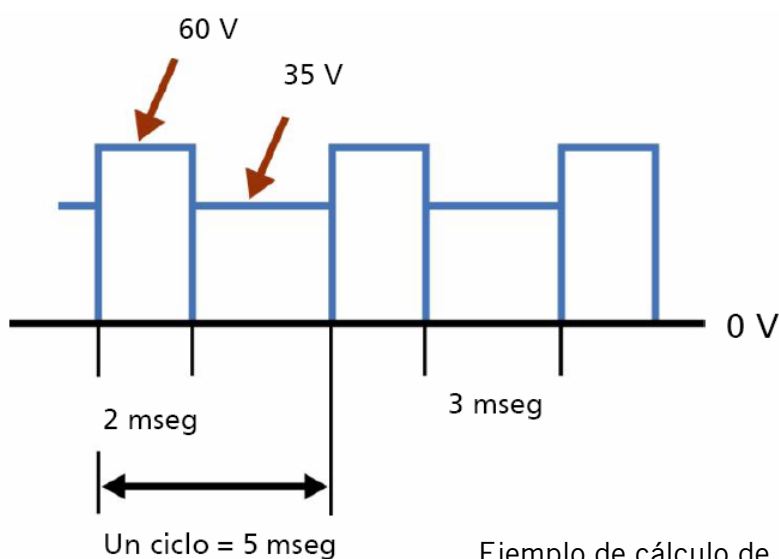
Si se cuenta con un voltaje de corriente alterna de 120 VCA, el voltaje máximo o de pico puede ser determinado multiplicando ese valor por la raíz cuadrada de 2, obteniéndose un voltaje de pico de 170 V. Esto se puede comprobar experimentalmente utilizando un osciloscopio. El valor obtenido de 170 volts es un valor instantáneo, el cual es frecuentemente utilizado, por ejemplo, para la selección de aislamientos de conductores.

Así:

$$\sqrt{2} \cdot 120V = 1.414 \cdot 120 V = 170 V$$

b. Voltaje promedio o de corriente

En este caso, el valor instantáneo del voltaje es siempre el mismo. Así, su valor promedio o de corriente directa es igual a ese voltaje instantáneo. En los casos en que esto no ocurre, hay necesidad de calcular el valor promedio del voltaje.

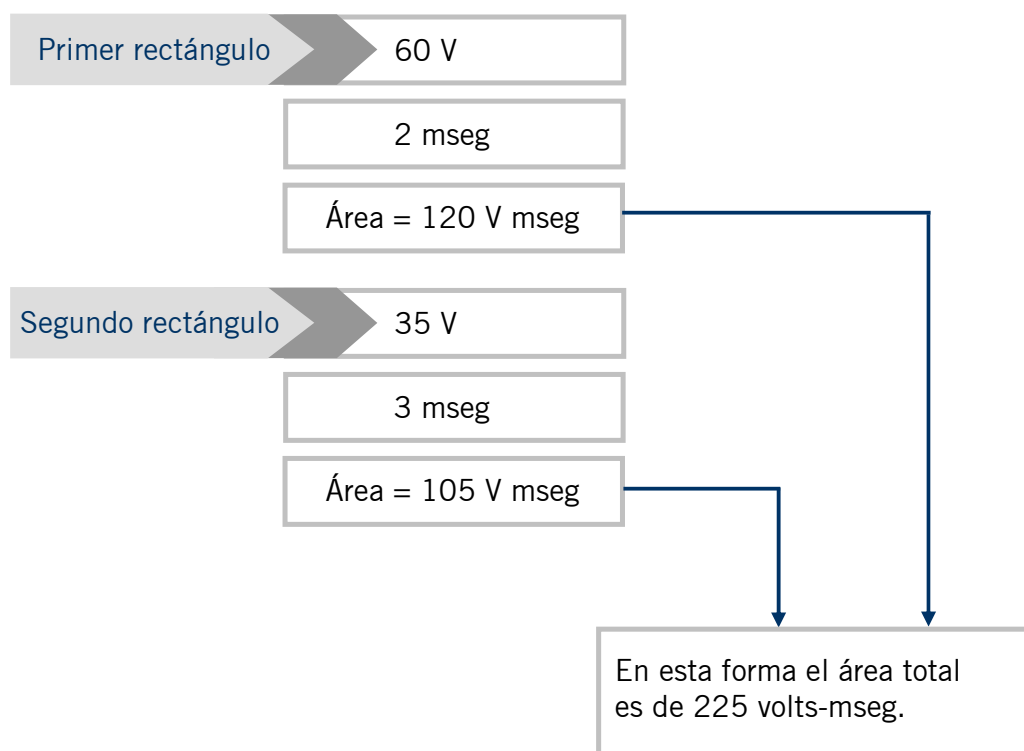


Ejemplo de cálculo de voltaje promedio.

En la figura anterior se presenta una señal de voltaje que mantiene una amplitud de 60 volts constantes durante 2 milisegundos y posteriormente presenta una amplitud de 35 volts durante 3 milisegundos, repitiéndose este patrón periódicamente a una frecuencia de:

$$f = \frac{1}{0.005 \text{ seg}} = 200 \text{ Hz} = 200 \text{ cps}$$

Para calcular el voltaje promedio en este ejemplo, primeramente se calcula el área de los rectángulos que aparecen en un período.



El segundo paso es dividir el área total entre el tiempo transcurrido en el período, así:

$$V_{\text{PROMEDIO}} = V_{\text{CD}} = \frac{225 \text{ V} \cdot \text{mseg}}{5 \text{ mseg}} = 45 \text{ V}$$

Este es el voltaje promedio o de corriente directa de esta señal y es el que mostraría en medición un multímetro digital en la función de voltaje de corriente directa.

Voltaje eficaz o RMS.

El voltaje eficaz o RMS es uno de los conceptos más frecuentemente utilizados en sistemas eléctricos y electrónicos. Es importante conocer claramente su significado.

Al operar con:

- **Corriente directa**, los valores de la corriente y del voltaje permanecen constantes y están relacionados en cualquier circuito mediante la ley de Ohm.
- **Corriente alterna**, los valores instantáneos tanto del voltaje como de la corriente están constantemente cambiando y aún cuando se pueden describir mediante sus valores máximos o de pico, es necesario encontrar una equivalencia con respecto a sus similares de corriente directa.

El método que se sigue para determinar esta equivalencia utiliza el efecto de calentamiento que se presenta tanto con voltajes como con corrientes directa o alterna en cargas resistivas. Esto se debe a que el calentamiento es independiente a la dirección del flujo de corriente.

El calentamiento producido en una resistencia está relacionado con la potencia consumida en ella, la cual está definida por:

$$P = I^2 \cdot R$$

Donde:

P = potencia en Watts.

I = corriente en Amperes.

R = resistencia en Ohms.

El objetivo es encontrar un valor de corriente alterna cuya magnitud en corriente directa produzca el mismo efecto de calentamiento. A este valor se le conoce como valor eficaz o RMS.

Para el caso de otra forma de onda en corriente alterna (cuadrada o rectangular) se puede seguir el siguiente procedimiento:

1. Eleve al cuadrado los valores instantáneos de la señal, esto durante un período.
2. Calcule el promedio de los valores obtenidos, este resultado es equivalente al cuadrado de la señal de corriente directa.
3. Finalmente, extraiga la raíz cuadrada del valor promedio obtenido, en esta forma se obtiene el valor eficaz o RMS.

GLOSARIO

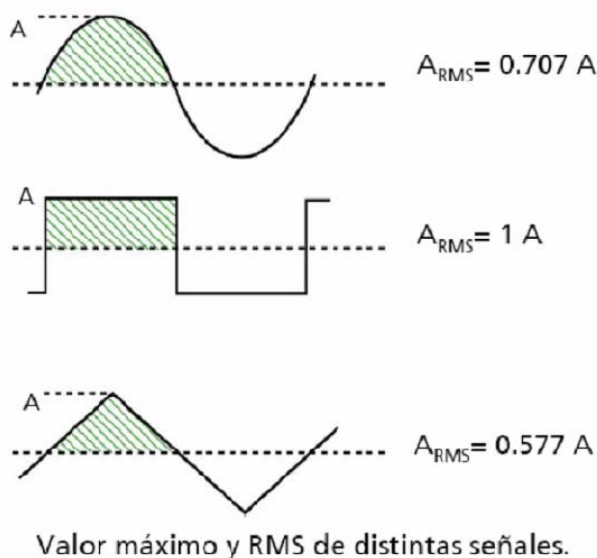


El término RMS proviene de las palabras Root-Mean-Square, que describe el procedimiento ya presentado, esto es, la raíz cuadrada del promedio de los valores al cuadrado.

Para medir el valor RMS o eficaz se utiliza un multímetro digital seleccionando la función de voltaje o corriente de corriente alterna. Todos los multímetros digitales tienen la capacidad de mostrar el valor RMS de señales senoidales, pero no todos pueden mostrar el valor RMS de señales de otro tipo.

Para medir una señal que no tenga forma senoidal se pueden utilizar multímetros digitales que tengan la especificación TRUE RMS de lo contrario se obtendría una medición errónea. Por lo tanto es importante conocer el tipo de señal a medir.

En la siguiente figura se muestra el valor RMS de una onda senoidal, una cuadrada y una triangular respectivamente.



ATENCIÓN

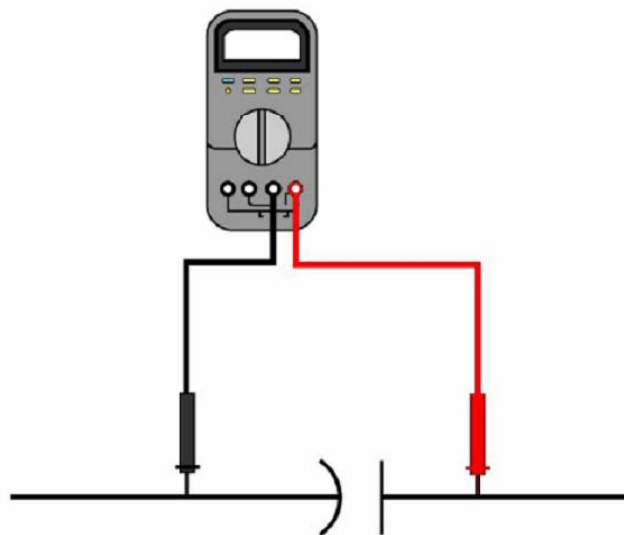


Si para los casos anteriores se multiplicara el valor máximo por 0,707, el resultado sería correcto sólo en el de la señal senoidal. Se deberá tener especial precaución al medir valores RMS en inversores y convertidores, pues en algunas ocasiones las variables bajo medición no tienen forma senoidal. En este caso se deberá utilizar un multímetro capaz de medir valores TRUE RMS.

Medición de Capacitancia.

Para obtener el valor de capacitancia en capacitores se realiza el siguiente procedimiento:

- 1 Se desconecta cualquier fuente de energía que alimente al capacitor.
- 2 Se descarga el capacitor. Para verificar que el capacitor esté descargado se mide el voltaje de corriente directa entre sus terminales.
- 3 Se coloca la terminal negra en la entrada COM y la terminal roja en la entrada $V\Omega$.
- 4 Se ubica el selector rotatorio en la posición " Ω ".
- 5 Se presiona el botón azul para seleccionar el modo de medición de capacitancia (en algunos capacitores la selección de esta función puede variar).
- 6 Los valores de capacitancia que se pueden medir van desde 0.01 nF hasta 5.00 μ F.
- 7 Si el capacitor es electrolítico se une la terminal roja a la terminal positiva del capacitor y la terminal negra a la terminal negativa del capacitor, como se muestra en la figura:



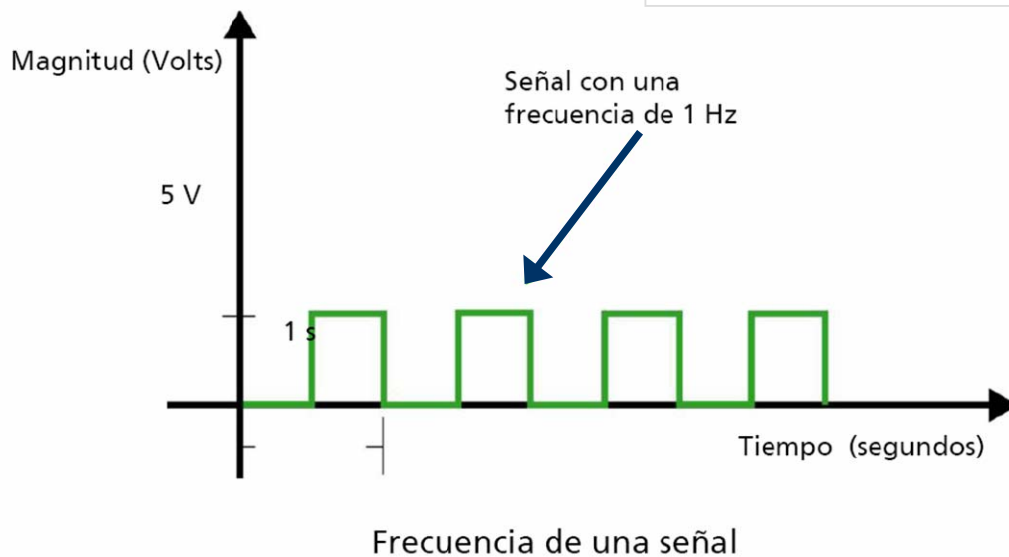
- 8 Si el capacitor no es electrolítico se unirán las terminales de medición a las terminales del capacitor en cualquier orden.
- 9 Se toma la lectura.

Medición de Frecuencia.

La unidad de la frecuencia se mide en Hertz (Hz) o ciclos por segundo (cps).

GLOSARIO

La frecuencia es el número de ciclos de una señal por unidad de tiempo.



Para la medición de la frecuencia de señales se realiza el siguiente procedimiento:

- 1 Se coloca la terminal negra en la entrada COM y la terminal roja en la entrada $V \Omega$.
- 2 Se coloca el selector rotatorio en la posición de AC.
- 3 Se presiona el botón "Hz".
- 4 Se toma la lectura de la frecuencia de la señal.
- 5 Se conectan las terminales medidoras del multímetro a las partes del circuito en donde se encuentra la señal.

ACTIVIDAD 12.

En este capítulo se han desarrollado los procedimientos para las diferentes mediciones con el multímetro digital. A continuación resuelva la actividad propuesta.



Responda las siguientes preguntas.

1

¿Qué interpreto si en el display aparece la inscripción “OL”?

2

¿Con qué fin o fines se realiza la prueba de continuidad?

3

En el caso de un voltaje de CA de 210 V, ¿Cuál es el voltaje de pico?

4

¿El efecto de calentamiento depende de la dirección del flujo de corriente?

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 3.

A continuación se desarrollará el capítulo Medición de Potencia.



Medición de Potencia

TEMAS DEL CAPÍTULO 4

4.1 Medición de Potencia Activa	86
4.2 Medición de Potencia Reactiva	91
4.3 Medición del Factor de Potencia	93
4.4 Instrumentos para la Medición de Potencia	96
4.5 Medidor Integral de Variables Eléctricas	99

A continuación se mostrarán distintos circuitos que permiten medir la potencia.



4.1 Medición de Potencia Activa

La potencia de una corriente continua (siempre potencia activa) se puede determinar midiendo la tensión y la intensidad de la corriente, y haciendo uso de la ecuación:

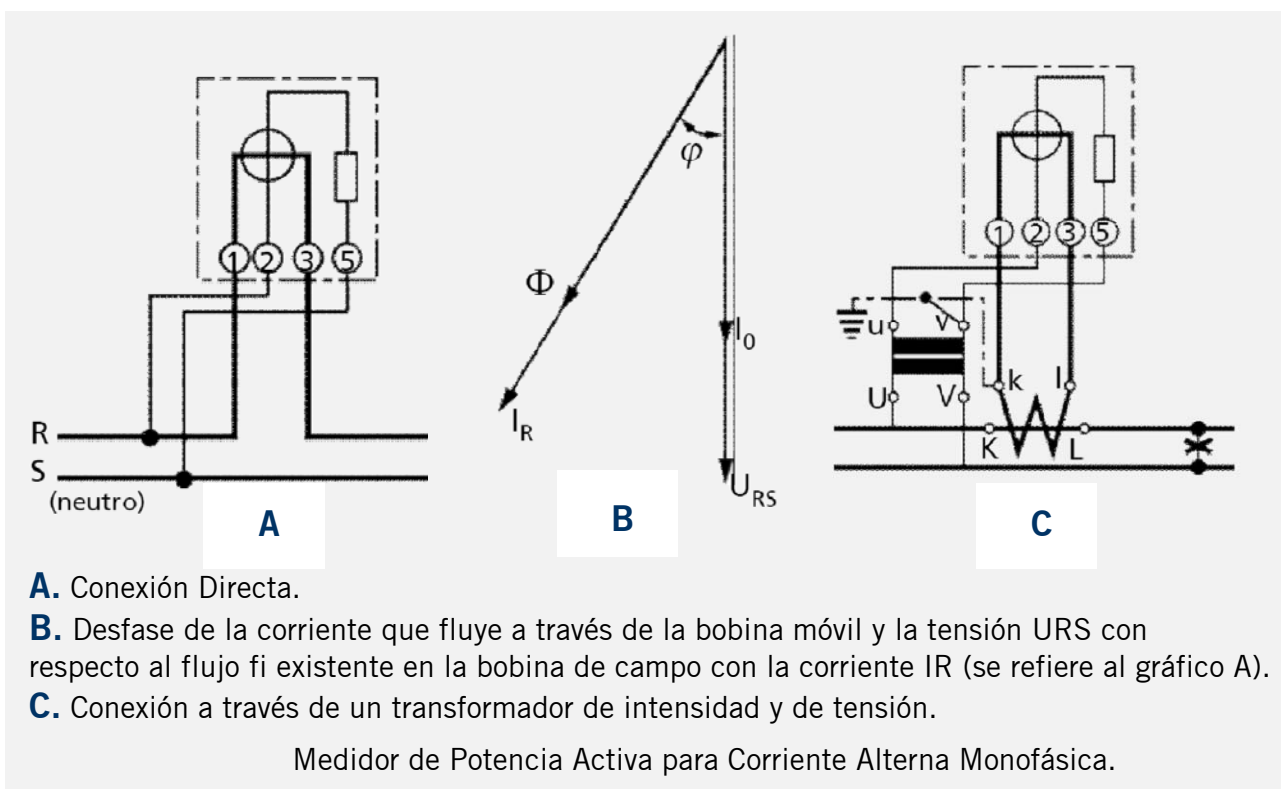
$$P = U \cdot I$$

Sin embargo, en la mayoría de los casos, se utilizan vatímetros con dispositivos de medida electrodinámicos, los cuales indican directamente la potencia activa si se conectando los circuitos amperimétricos y voltimétricos en la forma adecuada.

Al medir la potencia de corrientes continuas de mayor intensidad, aproximadamente mayores que 20 A, la bobina del campo se pone bajo tensión a través de una resistencia en serie, así, la bobina móvil forma con dicha resistencia el circuito amperimétrico conectada con una resistencia en paralelo.

Tratándose de corriente alterna monofásica, un medidor o registrador de la potencia conectado según la siguiente figura indica la potencia activa cuya ecuación es:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$



MANTENIMIENTO



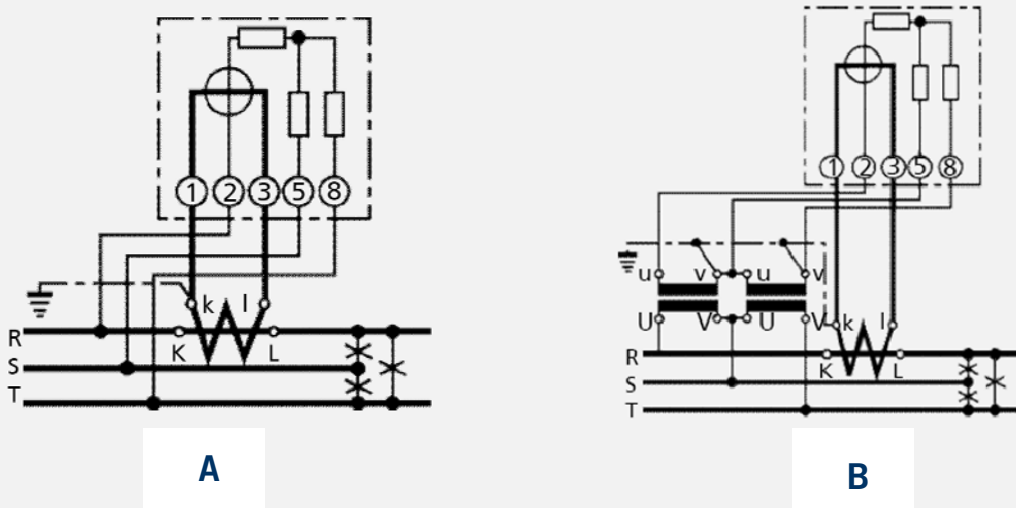
Hay que observar que, según la norma DIN43807, se deben conectar los circuitos voltimétricos de los instrumentos destinados a aparatos y tableros de maniobra, delante de los circuitos amperimétricos (con sentido de la potencia de izquierda a derecha), y que en caso de conexión a través de transformadores, los secundarios de éstos se pongan siempre todos juntos a tierra. De lo contrario, se pueden establecer tensiones inadmisiblemente altas entre los circuitos amperimétrico y voltimétrico.

La potencia activa de una corriente trifásica es igual a la suma de las potencias en las tres fases:

$$(\Delta)P=(\sqrt{3}) \cdot U_L \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (Y)P=3 \cdot U_F \cdot I \cdot \cos\varphi$$

La forma más correcta y exacta para medir dicha potencia consiste en utilizar tres sistemas de medida, cuyos pares de giro se suman mecánicamente a través de un eje común o un acoplamiento de banda, para indicar o registrar los valores totales. Para reducir los costos, y debido a que en las cajas no siempre hay lugar suficiente para un conjunto de tres sistemas, se eligen soluciones más sencillas, si así lo permite la exactitud requerida.

Dispositivo de Medida de la Potencia con un Sistema.

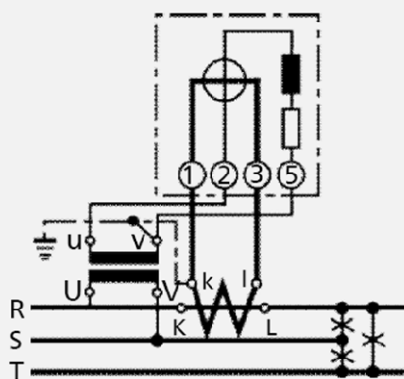
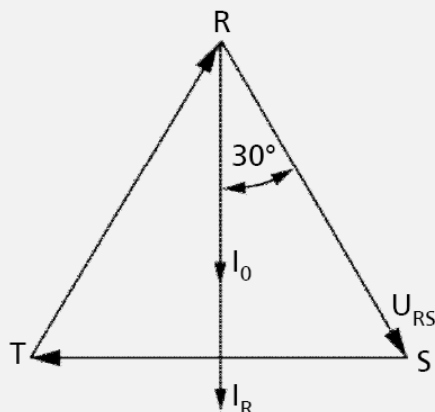


A: Conexión a través de un transformador de intensidad.

B: Conexión a través de un transformador de intensidad y dos transformadores de tensión con aislamiento bipolar.

Medidor de Potencia Activa para Corriente Trifásica en tres conductores de igual carga con sistema sencillo de medida y resistencias de ajuste del punto cero.

Mediante una reactancia incorporada (circuito artificial) se puede poner la vía de tensión a la tensión en triángulo (ver siguiente figura). La reactancia suprime el desfase en 30° con respecto a la tensión en estrella.

**A****B**

A. Conexión a través de un transformador de intensidad y de tensión.

B. Posición de fase de la corriente I_0 que fluye a través de la bobina móvil.

Medidor de Potencia Activa para Corriente Trifásica en tres conductores de igual carga con sistema sencillo de medida y circuito artificial.

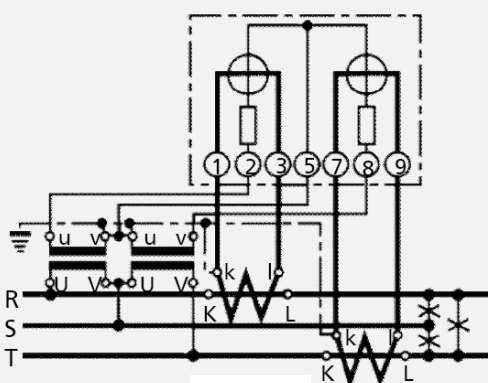
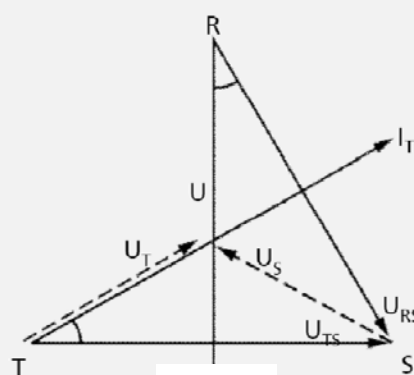
Dispositivo de medida de la potencia con dos sistemas (Corriente trifásica de tres hilos de carga arbitraria)

La potencia de la corriente trifásica es: $P = U_R I_R + U_S I_S + U_T I_T$

En la red de tres hilos, la suma de las intensidades de corriente es nula: $I_R + I_S + I_T = 0$

Sustituyendo $I_S = -I_R - I_T$ se obtiene: $P = U_R \cdot I_{RS} + U_T \cdot I_{TS}$

Circuito Arón.

**A****B**

A. Conexión a través de un transformador de intensidad y de tensión.

B. Diagrama vectorial para $\cos \phi = 1$. Los dos sistemas de medida forman los productos $U_{RS} \cdot I_{RS}$ y $U_{TS} \cdot I_T$.

I_R sigue a U_{RS} con un desfase de 30° , I_T precede a U_{TS} en 30° .

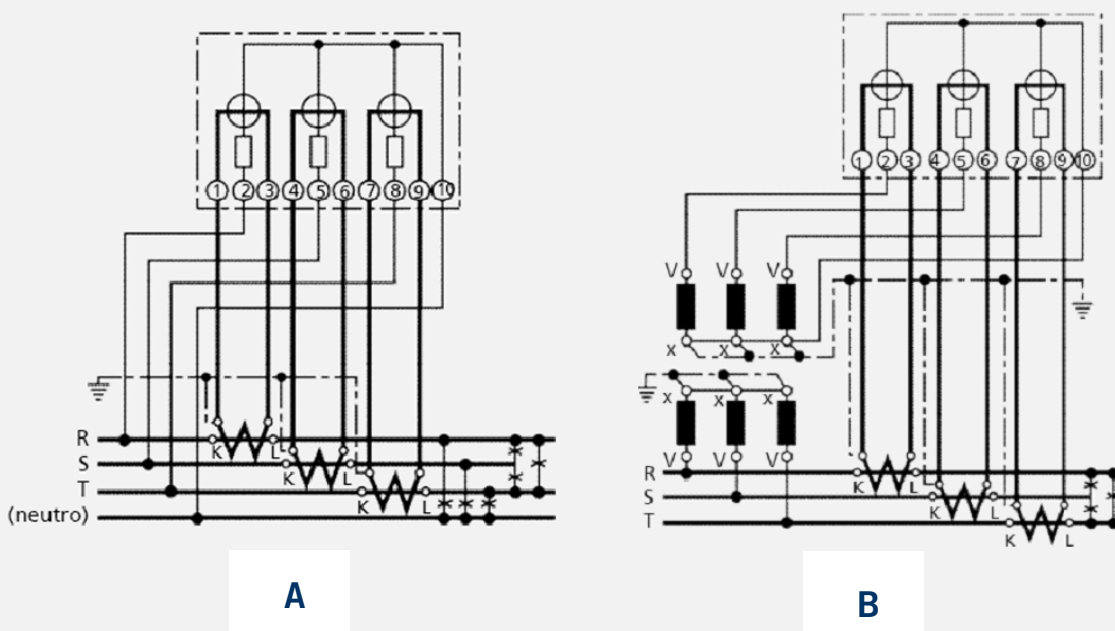
Medidor de Potencia Activa para Corriente Trifásica en tres conductores de igual carga con sistema sencillo de medida en circuito Arón.

En el circuito Arón se forma en cada sistema de medida el producto de una diferencia de tensiones (entre todas las tensiones estrella) por una intensidad de corriente. Mediante este circuito se consigue que la medida sea independiente de las asimetrías de la tensión, obteniéndose los resultados correctos si la suma geométrica de las corrientes de los tres hilos principales es igual a cero. Esta condición se cumple en este caso (ya que no hay neutro), siempre que no se produzcan contactos a tierra o corrientes capacitivas aparentes con respecto a tierra.

Dispositivo de medida de la potencia con tres sistemas (Corriente trifásica de cuatro hilos de carga arbitraria)

En cada sistema de medida se forma el producto de una diferencia de intensidades por una tensión (estrella). Los sistemas de medida tienen una segunda bobina de campo a través de la cual se hace pasar, en sentido contrario, la corriente del tercer conductor. El punto neutro en el circuito voltimétrico se establece artificialmente. A diferencia del circuito Arón, éste no depende de las asimetrías de la corriente y no implica errores de medida si la suma geométrica de las tensiones de los conductores principales no es igual a cero. Por consiguiente, se aprovecha el hecho que la simetría de las tensiones en las redes de cuatro hilos queda más garantizada que la simetría de las intensidades de corriente.

Utilizando los circuitos de la siguiente figura, se obtienen resultados correctos, tanto si las tensiones son asimétricas como simétricas, es decir, si también pasa corriente a través del neutro.



A: Conexión a través de un transformador de corriente.

B: Conexión a través de un transformador de intensidad y tres de tensión con aislamiento monopolar en redes de alta tensión de tres conductores.

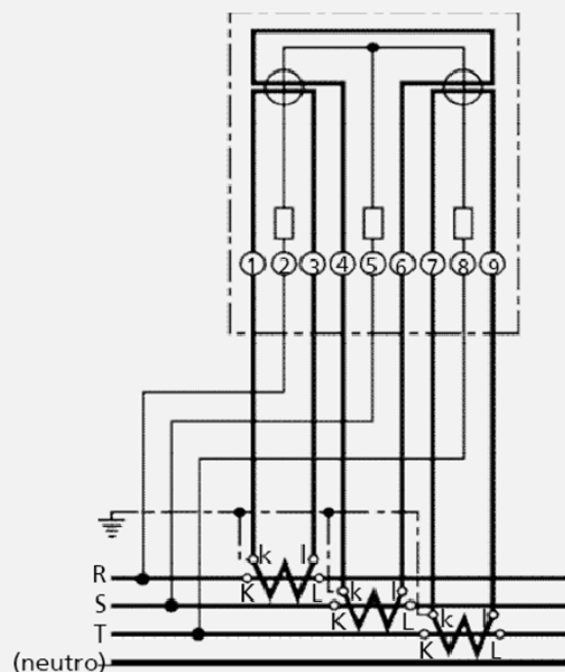
Medidor de Potencia Activa para Corriente Trifásica carga arbitraria con sistema de medida triple.

La potencia de la corriente trifásica es también en este caso: $P = U_R I_R + U_S I_S + U_T I_T$

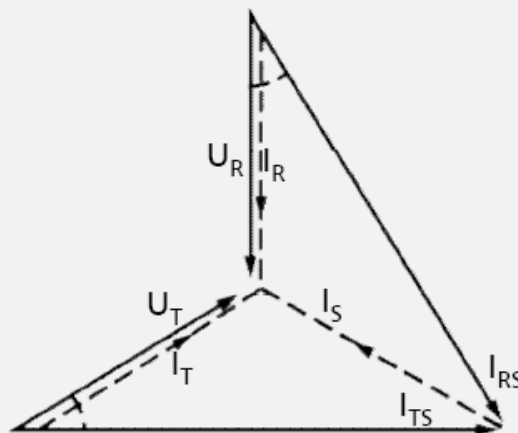
Si las tensiones son simétricas entonces: $U_R + U_S + U_T = 0$

Sustituyendo $U_S = U_R - U_T$

Se obtiene: $P = U_R \cdot I_{RS} + U_T \cdot I_{TS}$



A



B

A: Conexión a través de un transformador de intensidad.

B: Diagrama vectorial del circuito $2 \frac{1}{2}$ para $\cos \phi = 1$.

Los dos sistemas forman los productos $U_R \cdot I_{RS}$ y $U_T \cdot I_{TS}$.

I_{RS} precede a U_R en 30° , I_{TS} sigue a U_T con desfase de 30° .

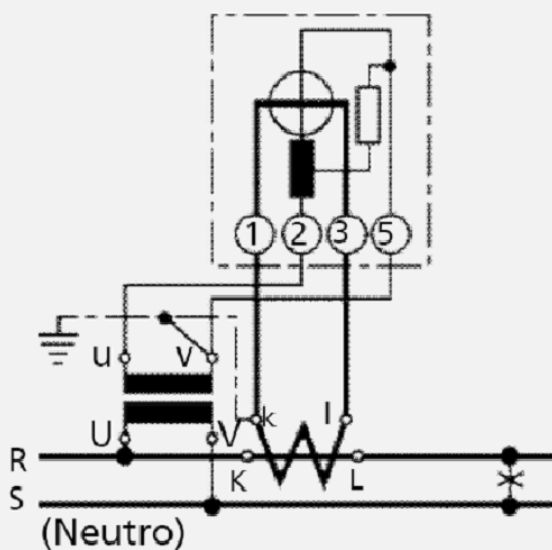
Medidor de Potencia Activa para Corriente Trifásica en cuatro conductores de carga arbitraria con sistema de medida doble en circuito $2 \frac{1}{2}$.

4.2 Medición de Potencia Reactiva

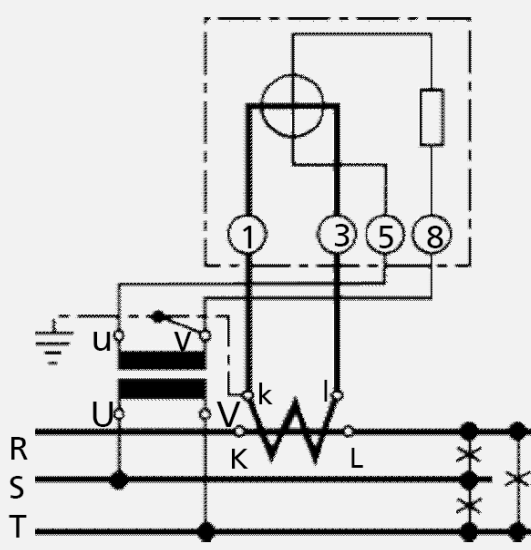
Los instrumentos de servicio que miden la potencia reactiva están provistos de dispositivos de medida electrodinámicos con circuito magnético de hierro y uno, dos o tres sistemas.

Los circuitos que se muestran en la siguiente figura son especialmente apropiados para registradores o instrumentos de montaje en tableros de maniobra.

Partiendo de la medición de la potencia activa, la potencia reactiva P_Q se mide desplazando la tensión en un ángulo de 90° .



Medidor de potencia reactiva para corriente alterna monofásica, en circuito de 90° .



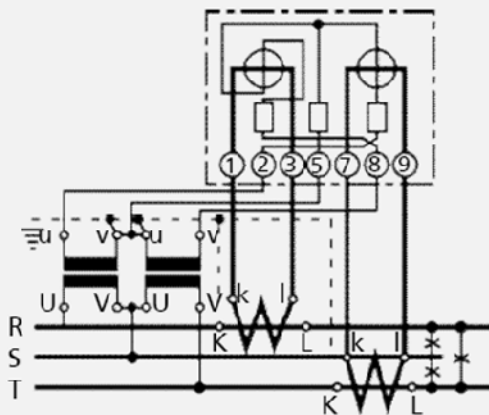
Medidor de potencia reactiva para corriente trifásica en tres conductores de carga arbitraria, con sistema de medida doble.

En el caso de corriente alterna monofásica ($P_Q = U \cdot I \cdot \sin \phi$), se realiza dicho desplazamiento con un circuito como el representado en la figura anterior ("conexión a 90° "), mientras que en el caso de corriente trifásica ($P_Q = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \sin \phi$, (Δ) $P_Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I \cdot \sin \phi$), dicho desplazamiento se consigue aplicando a los dispositivos de medida una tensión que esté girada en 90° con respecto a la utilizada para medir la potencia activa.

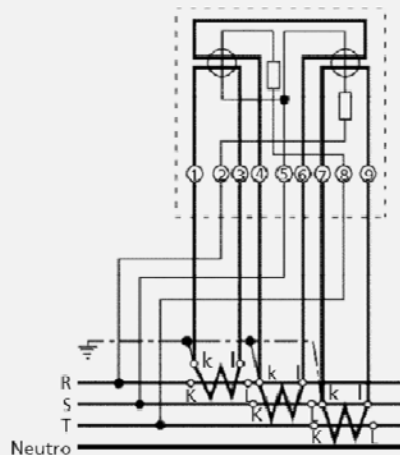
ATENCIÓN

Los vatímetros de ejecución portátil están conectados de forma similar, pero se pueden conmutar a distintas tensiones y, algunos de ellos, a potencia activa o reactiva.

A continuación se muestra otro método que ofrece, frente a la “conexión 90°”, la ventaja que la medida no depende de la frecuencia.



Medidor de Potencia Reactiva para Corriente Trifásica en tres conductores de carga arbitraria, con sistema de medida doble.



Medidor de Potencia Reactiva para Corriente Trifásica en cuatro conductores de carga arbitraria, con sistema de medida doble en “Circuito 2 ½”

RECUERDE

La unidad de potencia reactiva es el VAR (voltio-amperio reactivo).

ACTIVIDAD 13.

Indique Verdadero o Falso.

1

Los dispositivos de medida de potencia con dos o tres sistemas, es independiente de las asimetrías de tensión.

Verdadero ☐

Falso ☐

2

Los vatímetros portátiles sólo miden potencia activa.

Verdadero ☐

Falso ☐

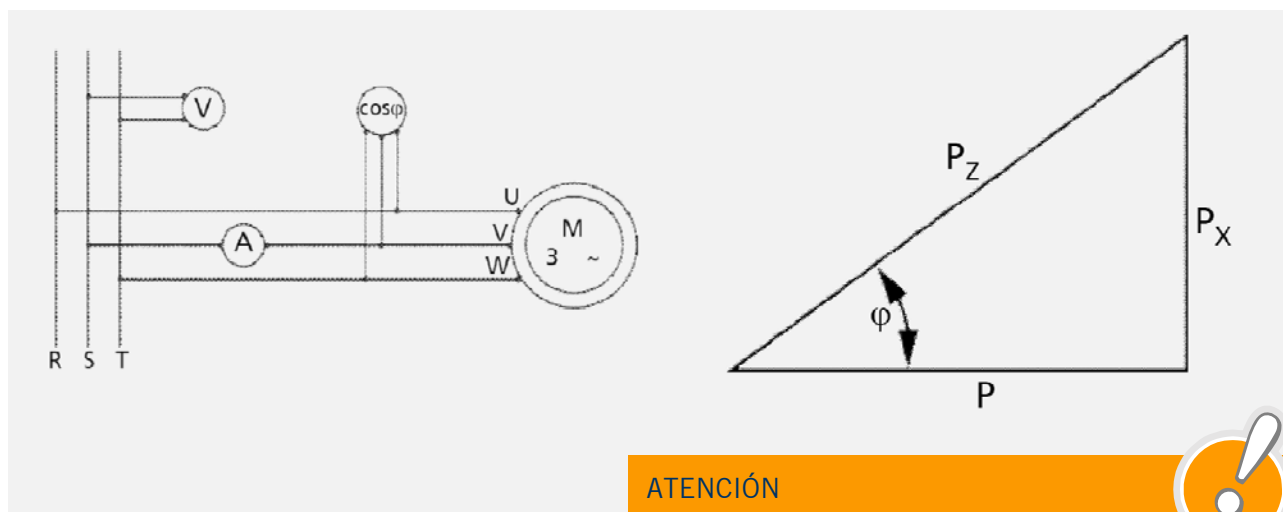


4.3 Medición del Factor de Potencia

Al conectar en un circuito de corriente alterna resistencias inductivas y capacitivas, la intensidad de corriente no varía al mismo tiempo que la tensión, sino que se adelanta o se retrasa.

Por consiguiente, estas resistencias ocasionan un desplazamiento cronológico entre la intensidad y la tensión, es decir, un “desfase” que, en una representación vectorial, se indica como un ángulo de desfase ϕ , el cual está comprendido entre 0° y 90° .

Dado que el coseno del ángulo de desfase forma parte de la potencia activa, se denomina $\cos \phi$ al factor de potencia.



ATENCIÓN

Con un amperímetro, un voltímetro y un vatímetro de potencia activa se puede efectuar una comprobación ocasional del factor de potencia de una instalación.

El factor de potencia se determina de la siguiente manera:



Para corriente alterna monofásica:

$$\cos \phi = \frac{P}{U \cdot I}$$



Para corriente trifásica de tres hilos y carga equilibrada:

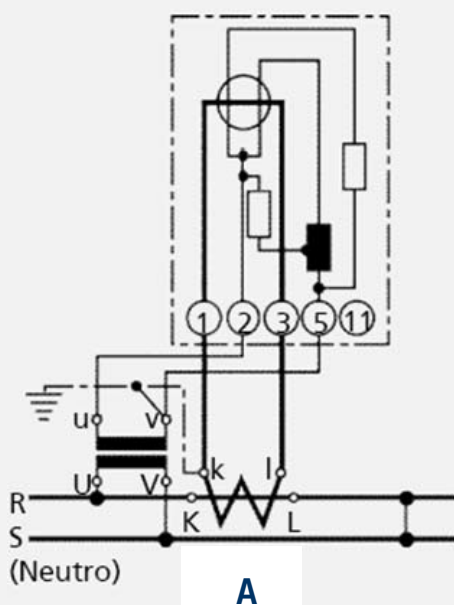
$$\Delta \cos \phi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I} \quad \text{Y} \quad \cos \phi = \frac{P}{3 \cdot U_F \cdot I}$$

Para vigilar continuamente el desfase (por ejemplo, en centrales eléctricas y en receptores grandes) se utilizan fasímetros y fasímetros registradores.

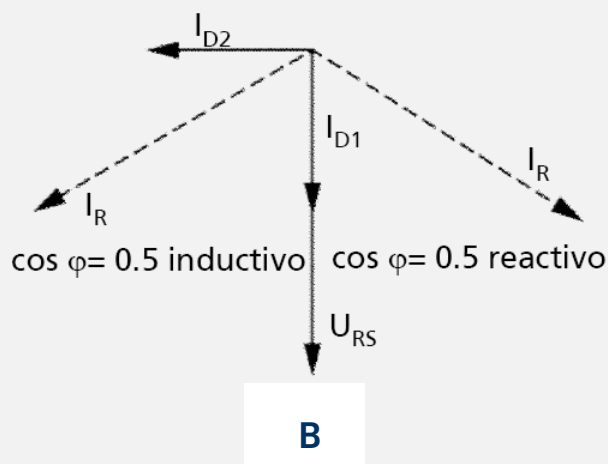
Estos aparatos están equipados con medidores electrodinámicos de cocientes provistos de circuitos magnéticos de hierro, cuyas piezas polares son de tal forma que el entrehierro existente entre cada una de ellas y el núcleo es mínimo en el centro y máximo en los extremos.

De este modo, se consigue que el campo generados por el circuito amperimétrico sea aproximadamente sinusoidal. Las dos bobinas móviles están cruzadas y sometidas a tensiones desfasadas en el circuito de cocientes. Las corrientes que fluyen a través de las bobinas móviles originan en el campo magnético no homogéneo pares de giro opuestos, que dependen de la disposición de las bobinas.

Mientras que en el caso de corriente alterna monofásica hay que establecer, mediante un circuito artificial, una tensión desfasada con respecto a la de la red, cuando se trata de corriente trifásica, la tensión desfasada se toma directamente de la red (ver la siguiente figura).



A



B

A. Conexión a través de un transformador de intensidad y de tensión.

B. Diagrama vectorial para la medida del factor de potencia en corriente alterna monofásica. La corriente que fluye a través de la bobina móvil ID1 está en fase con URS y la superficie de las espiras de la bobina móvil 1 es paralela a la aguja; la corriente que fluye a través de la bobina móvil ID2 sigue a URS con un desfase de 90°, y la superficie de las espiras de la bobina móvil 2 es perpendicular a la aguja.

Medición del Factor de Potencia para Corriente Alterna Monofásica, en circuito artificial con el margen de medida 0.5 capacitivo -1- 0.5 inductivo.

Ajuste

Es una función directa del ángulo de desfase φ , de forma que la escala se puede graduar en valores del $\cos \varphi$ (0,5 cap-1-0,5 ind; 0,8 cap-1-0,2 ind; 0-1, si se supone una carga inductiva).

Par Ajuste

Depende de la intensidad de corriente que pasa por el circuito amperimétrico y su magnitud es tal que, a tensión nominal, es suficiente el 20% de la corriente nominal para un ajuste seguro de la aguja indicadora.



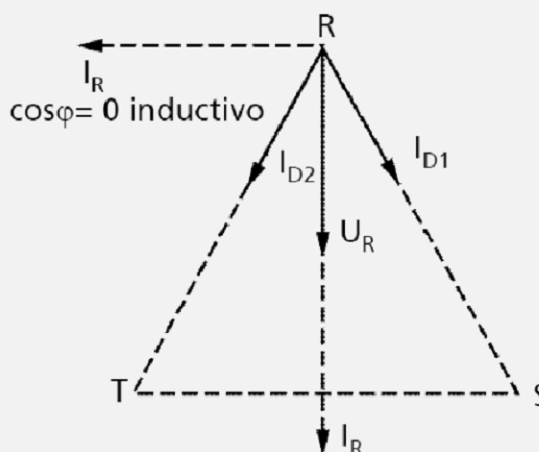
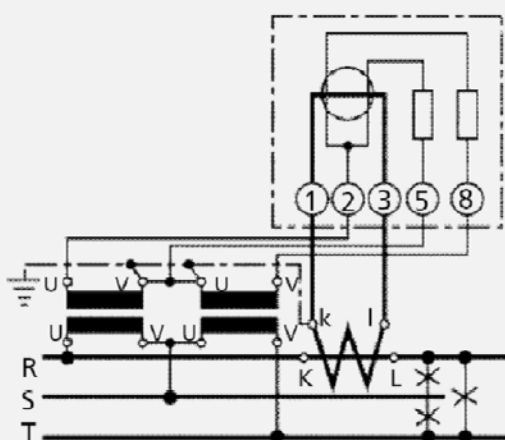
Los fasímetros no tienen muelles direccionales, entonces cuando no fluye corriente a través del instrumento, la aguja no señala una posición determinada de reposo.



Los dispositivos de medida son prácticamente insensibles a las perturbaciones debidas al campo magnético de dispersión.

ATENCIÓN

Hay que tener en cuenta que los fasímetros indican el factor de potencia de la línea en la que está conectada la bobina, y que por consiguiente, para corriente trifásica hay que suponer una carga uniforme.



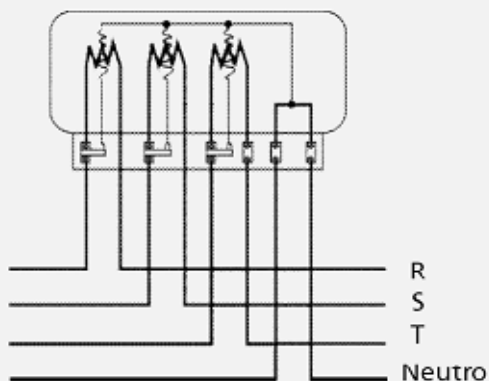
A: Conexión a través de un transformador de intensidad y de tensión.

B: Diagrama vectorial para la medida del factor de potencia en corriente trifásica en tres conductores. Las corrientes que fluyen a través de la bobina móvil I_{D1} e I_{D2} están desfasadas con respecto a U_R en 30° , es decir que están en fase con U_{Rs} y U_{TR} .

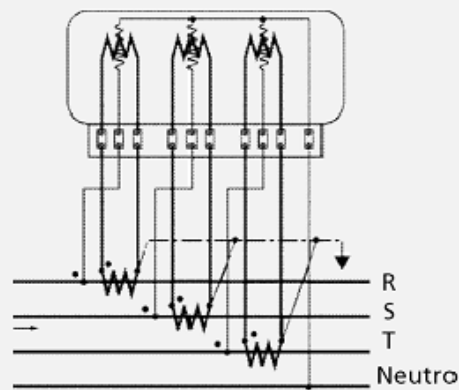
Medición del Factor de Potencia para Corriente Trifásica en tres conductores de igual carga, con el margen de medida 0-1.

4.4 Instrumentos para la Medición de Potencia

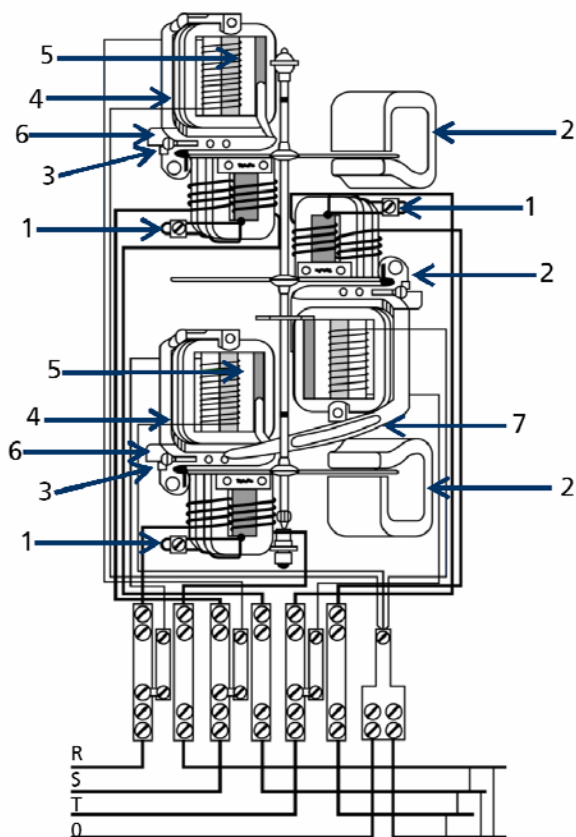
Contador de Energía.



Contador Trifásico conectado directamente.



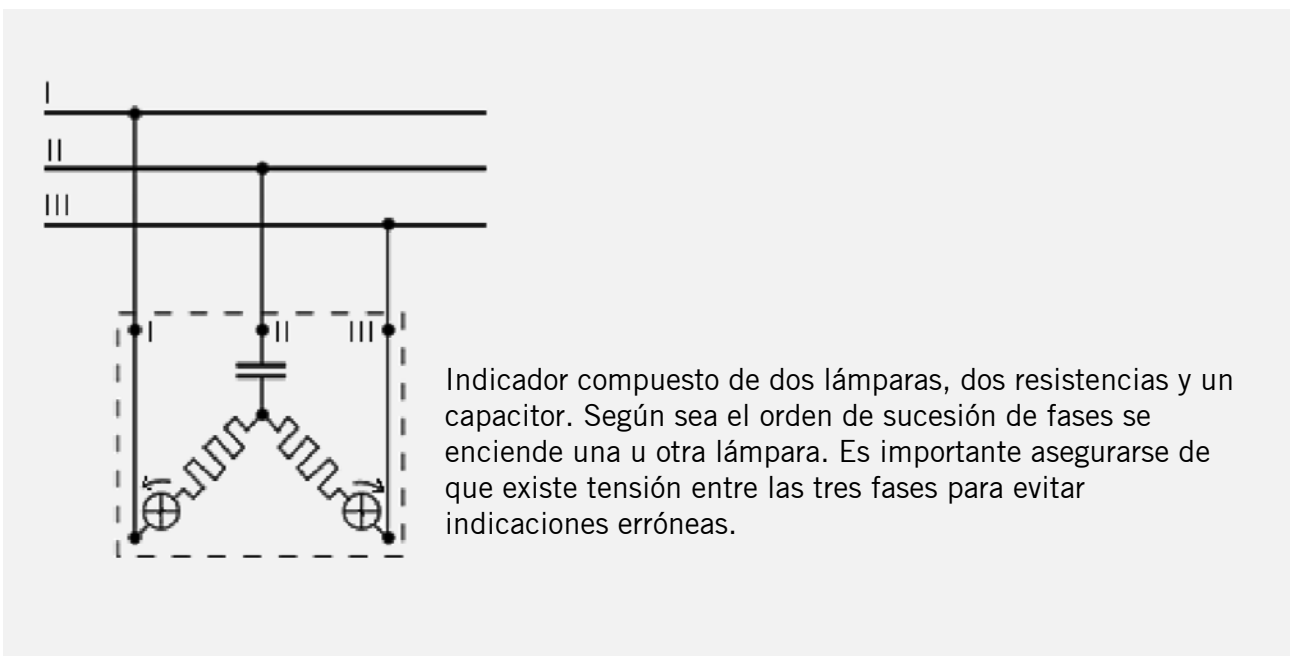
Conexión a la red de un transformador trifásico mediante tres transformadores de intensidad y derivando los secundarios a tierra.



Contador de inducción con tres sistemas de medida, para mediciones de energía en corriente alterna trifásica neutro.

1. Dispositivo de ajuste en el bucle de la resistencia.
2. Imán de freno.
3. Tornillo de ajuste de pequeña carga en el núcleo de tensión.
4. Angulo de marcha en vacío.
5. Gancho de marcha en vacío.
6. Dispositivo de ajuste.
7. Dispositivo de ajuste de dispersión magnética.

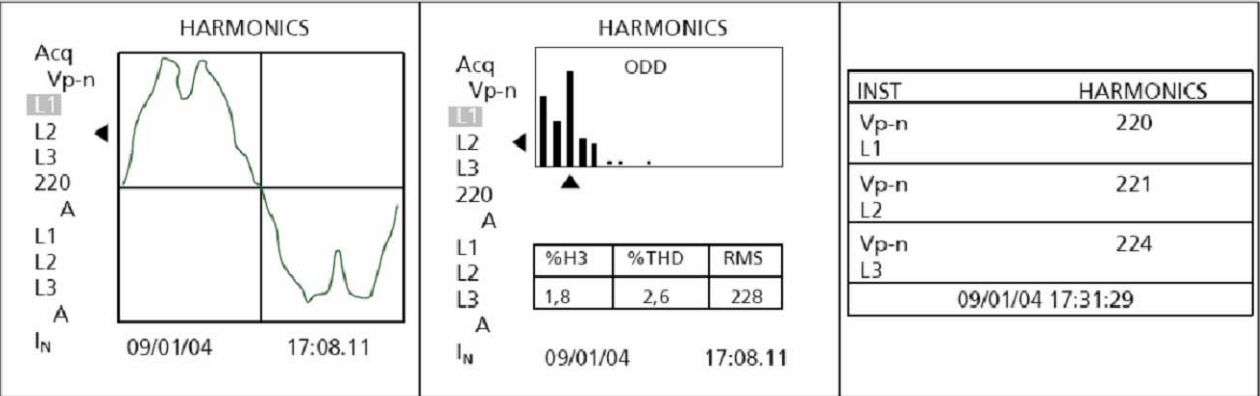
Secuencímetro.



Analizador Portátil de Energía.



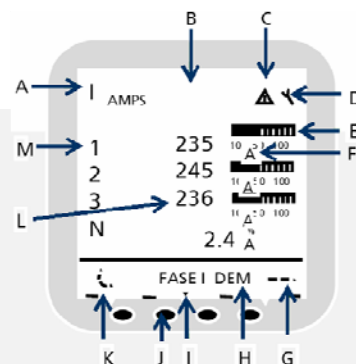
- Analiza todas la magnitudes eléctricas del sistema.
- Tiene 4 canales de corriente y voltaje.
- Autodisparador con la opción de reconfigurar de acuerdo a la magnitud requerida.
- Archivos individuales para cada parámetro de medición.
- Programable en campo.
- Capaz de grabar armónicos, disturbios, transitorios, flicker, contador de energía, etc.
- Comunicación con PC.
- Autodetección de la pinza de corriente
- Memoria lineal o rotativa.
- Autoselección de parámetros a ser grabados.



4.5 Medidor Integral de Variables Eléctricas



- A. Tipo de medida.
- B. Título de pantalla.
- C. Indicador de alarmas.
- D. Ícono de mantenimiento.
- E. Gráfico de barras (%).
- F. Unidades.
- G. Mostrar más elementos de menú.
- H. Elementos de menú.
- I. Indicador de menú seleccionado.
- J. Botón.
- K. Volver al menú anterior.
- L. Valores.
- M. Fase.



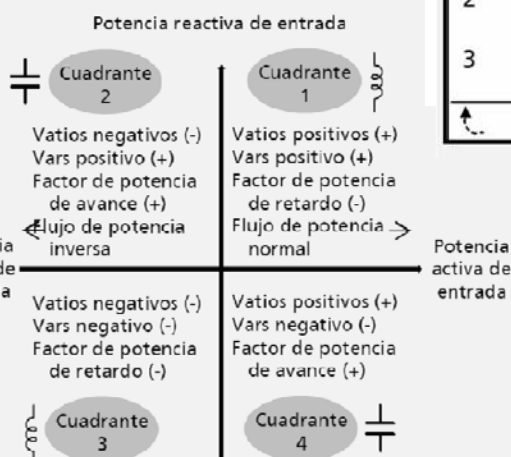
Lecturas en tiempo real	Análisis de potencia
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad (por fase, residual, trifásica) • Tensión (L-L,L-N, trifásica) • Potencia activa (por fase, trifásica) • Potencia reactiva (por fase, trifásica) • Potencia aparente (por fase, trifásica) • Factor de potencia (por fase, trifásica) • Frecuencia • THD (intensidad y tensión) 	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de potencia de desplazamiento (por fase, trifásica) • Tensiones fundamentales (por fase) • Potencia activa fundamental (por fase) • Potencia reactiva fundamental (por fase) • Potencia aparente (por fase, trifásica) • Desequilibrio (intensidad y tensión) • Rotación de fases • Magnitudes y ángulos de tensión e intensidad armónicos (por fase) • Componentes de secuencia
Lecturas de energía	Lecturas de la demanda
<ul style="list-style-type: none"> • Energía acumulada, activa • Energía acumulada, reactiva • Energía acumulada, aparente • Lecturas bidireccionales • Energía reactiva por cuadrante • Energía incremental • Energía condicionada 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de intensidad (por fase presente, media trifásica) • Medida de factor de potencia (total trifásico) • Demanda de potencia activa (por fase presente, punta) • Demanda de potencia reactiva (por fase presente, punta) • Demanda de potencia aparente (por fase presente, punta) • Lecturas coincidentes • Demandas de potencia pronosticadas

Lecturas en tiempo real	Rango aceptable
Intensidad	
Por fase	De 0 a 32.767 A
Neutro	De 0 a 32.767 A
Media trifásica	De 0 a 32.767 A
% desequilibrio	De 0 a 100,0%
Tensión	
Fase a fase, por fase	De 0 a 1.200 kV
Fase a fase, media trifásica	De 0 a 1.200 kV
Fase a neutro, por fase	De 0 a 1.200 kV
Fase a neutro, media trifásica	De 0 a 1.200 kV
% desequilibrio	De 0 a 100,0%
Potencia activa	
Por fase	De 0 a 3.276,70MV
Total trifásico	De 0 a 3.276,70MV
Potencia reactiva	
Por fase	De 0 a 3.276,70MVAR
Total trifásico	De 0 a 3.276,70MVAR
Potencia aparente	
Por fase	De 0 a 3.276,70MVA
Total trifásico	De 0 a 3.276,70MVA
Factor de potencia (real)	
Por fase	De -0,002 a 1,000 a -0,002
Total trifásico	De -0,002 a 1,000 a -0,002
Factor de potencia (desplazamiento)	
Por fase	De -0,002 a 1,000 a -0,002
Total trifásico	De -0,002 a 1,000 a -0,002
Frecuencia	
45-65 Hz	De 23,00 a 67,00 Hz
350-450 Hz	De 23,00 a 67,00 Hz

El signo de factor potencia aparece junto a la lectura.



Convención de signos IEC del factor de potencia



Convención de signos IEEE del factor de potencia

FP REAL	
1	0.757
2	0.704
3	0.744
TOTAL	
FP REAL	FP D

Valor	Rango aceptable
THD – tensión, intensidad	
Trifásico, por fase, neutro	De 0 a 3.276,7%
thd – tensión, intensidad	
Trifásico, por fase, neutro	De 0 a 3.276,7%
Tensiones fundamentales (por fase)	
Magnitud	De 0 a 1.200%kV
Ángulo	De 0,0 a 359,9°
Tensiones fundamentales (por fase)	
Magnitud	De 0 a 32.767A
Ángulo	De 0,0 a 359,9°
Varios	
F.P. de desplazamiento (por fase, trifásico)	De -0,002 a 1,000 a + 0,002
Rotación de fases	123 o 321
Desequilibrio (intensidad y tensión) ¹	De 0,0 a 100,0%
Magnitudes de tensión e intensidad de los armónicos individuales ²	De 0 a 327,67%
Ángulos de tensión e intensidad de los armónicos individuales ²	De 0,0° a 359,9°

¹ Las lecturas sólo se obtienen a través del enlace de comunicaciones.
² PM810 con un PM810LOG: Las magnitudes de los ángulos de tensión e intensidad armónicos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 se muestran en la pantalla.

La central de medida proporciona una serie de valores de análisis de la potencia que se pueden emplear para detectar problemas de calidad de la energía, diagnosticar problemas de cableado, etc. En la tabla anterior se muestra un resumen de los valores de análisis de potencia.

• **THD:** La distorsión armónica total (THD) es una medida rápida de la distorsión total presente en una forma de onda y es la relación de contenido armónico con el fundamental. Ofrece una indicación general de la “calidad” de una forma de onda. El THD se calcula para tensión y para intensidad. La central de medida utiliza la siguiente ecuación para calcular el THD, donde H es la distorsión armónica.

$$THD = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + \dots}}{H_1} \cdot 100\%$$

• **thd:** Es un método alternativo para calcular la distorsión armónica total, utilizado ampliamente en Europa. Considera en el cálculo la intensidad armónica total y el contenido de rms total en lugar del contenido fundamental. La central de medida calcula la thd para tensión y para intensidad. La central de medida utiliza la siguiente ecuación para calcular la thd, donde H es la distorsión armónica.

$$tdh = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + \dots}}{\text{Total derms}} \cdot 100\%$$

• **Factor de Potencia de Desplazamiento:** El factor de potencia (PF) representa el grado en que la tensión y la intensidad que entran en una carga está fuera de fase. El factor de potencia de desplazamiento se basa en el ángulo entre los componentes fundamentales de intensidad y tensión.

• **Valores Armónicos:** Los armónicos pueden reducir la capacidad del sistema de potencia. La central de medida determina las magnitudes y los ángulos armónicos individuales por fase hasta el armónico de orden 31 para todas las intensidades y tensiones. Las magnitudes de los armónicos se pueden formatear como porcentaje del fundamental (predeterminado), como porcentaje del valor eficaz o como el propio valor eficaz.

ACTIVIDAD 14.

A partir de los datos propuestos, calcule los valores solicitados para este circuito:



En la chapa de características de un transformador se lee:

- Potencia Nominal: 150 kVA.
- Tensión primaria Nominal: 13200V.
- Tensión secundaria Nominal: 220V.

1

Calcular la corriente nominal en el primario y en el secundario.

2

Sobre los bornes del secundario se conecta una resistencia de $0,4 \Omega$. Calcular los valores de la corriente y de la potencia disipada en la misma, alimentando el transformador desde el primario, como tensión nominal.

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 4.
A continuación se desarrollará el capítulo Medición de Resistencias y Aislamiento.



Medición de Resistencias y Aislamiento

TEMAS DEL CAPÍTULO 5

5.1 Medición de Resistencias	104
5.2 Puentes de Medición	107
5.3 Medición de Puesta a Tierra	111
5.4 Medición de Aislamiento	113
5.5 Aparato Megger	117
5.6 Otros Aparatos de Medida	124

En este capítulo se desarrollarán distintos métodos de medición de resistencias dentro de circuitos.



5.1 Medición de Resistencias

Las resistencias se pueden medir con instrumentos de medición directa o indirecta (métodos de punto cero o de comparación de desviación).

ATENCIÓN



La elección adecuada del aparato es decisiva para lograr además de la rapidez las medidas con la exactitud requerida.

EJEMPLO



Para medir resistencias inferiores $10\text{-}2\Omega$, son apropiados únicamente los métodos de medida indirecta.

Hay que tener en cuenta que las tolerancias de los aparatos indicadores se refieren a la longitud de la escala, mientras que en los puentes de medida se refieren al valor teórico. Por este motivo, en los puentes de medida, la exactitud que se puede alcanzar dentro de los márgenes indicados permanece constante y muy superior a la de los aparatos de indicación directa, cuyas escalas suelen ser hiperbólicas, de forma que los valores indicados al final de la escala sólo son.

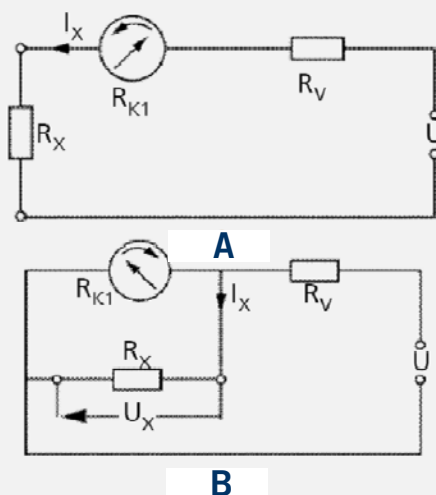
Aparatos de Medida con Indicación Directa.

Las medidas de resistencia con estos aparatos se deducen generalmente de mediciones de corriente, es decir, que a la resistencia que se pretende medir se le aplica una determinada tensión, y se mide la corriente que fluye a través de ella.

ATENCIÓN



Para la indicación se utilizan por regla general instrumentos de bobina móvil con gran sensibilidad, cuyas escalas están calibradas en ohmios y transcurren de derecha a izquierda, puesto que la corriente es máxima cuando $R_x=0$, y nula si $R_x=\infty$.



U = Tensión de medida.
 R_V = Resistencia en serie.
 R_{K1} = Resistencia del instrumento.
 R_X = Resistencia a medir.
 I_X = Corriente que fluye a través de R_X .
 U_X = Caída de tensión en R_X .

- A.** Instrumento y R_X conectados en serie (la medición de las resistencias se reduce a una medida de la corriente, punto cero a la derecha).
- B.** Instrumento y R_X conectados en paralelo (la medición de las resistencias se reduce a una medida de la tensión, punto cero de la izquierda).

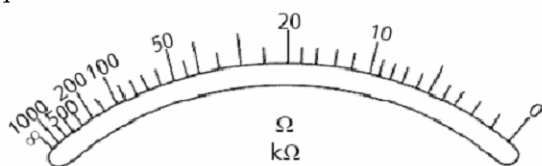
Circuitos Básicos para medir Resistencias.

Figura A: Ya que la intensidad de la corriente y, por consiguiente, la desviación de la aguja del instrumento es inversamente proporcional a la resistencia que se desea medir, **la escala es hiperbólica**. Para el transcurso de la escala es decisiva la resistencia $R_{K1} + R_V$, que determina el valor medio de la escala, pues con la resistencia $R_X = R_{K1} + R_V$, es la corriente que fluye con $R_X = 0$. Para aprovechar al máximo la exactitud garantizada durante la medida, conviene elegir un margen de medida en el que el valor a medir sea del mismo orden de magnitud que el valor medio.

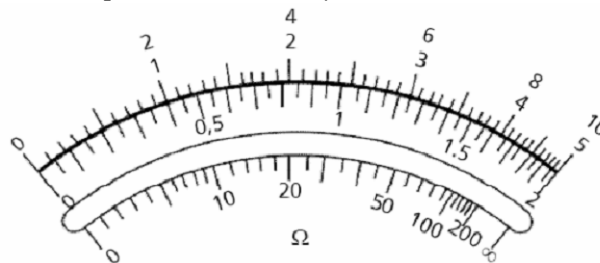
En muchos casos, especialmente cuando se trata de medir pequeñas resistencias, se trabaja con una tensión de medida reducida, en consideración a la capacidad de carga de la resistencia y para no solicitar demasiado la batería, y la resistencia se determina midiendo la tensión, como se muestra en la figura anterior.

Figura B: Conectando en paralelo R_X y R_{K1} , la corriente que pasa a través de R_{K1} es nula si $R_X = 0$, y máxima para $R_X = \infty$. Por consiguiente, el punto cero de la escala se encuentra a la izquierda, de igual forma que en un voltímetro normal. Este circuito facilita una ejecución linealizada de la escala y permite establecer un límite superior, según la resistencia R_V elegida.

En aparatos con varios márgenes de medida se combinan, a veces, ambos circuitos. En consecuencia, pueden estar provistos de una escala que transcurra de izquierda a derecha y otra de derecha a izquierda.



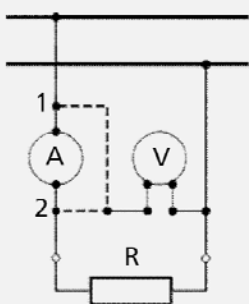
Escala del ohmímetro de aguja II, de alta resistencia óhmica.



Escala del ohmímetro de aguja I, de baja resistencia óhmica.

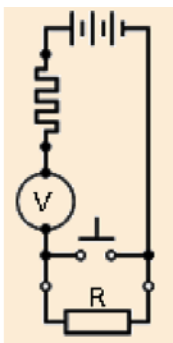
Escalas de los ohmímetros de aguja.

Si se utiliza una batería como fuente de la tensión de medida, se puede eliminar, dentro de ciertos límites, la influencia de la disminución que con el tiempo experimenta la tensión de la batería. Antes de efectuar la medida y estando en cortocircuito los bornes del instrumento (método de corriente) o puenteadas mediante una resistencia adicional incorporada (método de tensión), se gradúa un shunt magnético o una resistencia, de tal forma que la aguja del instrumento señale cero o la raya final de la escala.



Si no se conoce el valor de la tensión aplicada, el modo de efectuar la medición de una resistencia R por medio de un amperímetro y un voltímetro ($R=U/I$). El voltímetro se conecta en el punto 1 si la resistencia a medir es de alto valor y en 2 si es de valor bajo.

EJEMPLO



Esquema de un ohmímetro formado por una pila y un voltímetro en serie.

ACTIVIDAD 15.

Marque la opción correcta.



1

Dentro de los instrumentos de medición directa, los puentes de medida tienen ...

Menor exactitud. ☐

Mayor exactitud. ☐

2

Si se mide una resistencia donde se conoce el valor de la caída de tensión y se coloca un amperímetro en serie, el punto cero de la escala estará:

A la derecha. ☐

A la izquierda. ☐

3

Cuando se miden resistencias pequeñas, se trabaja con tensiones reducidas para ...

No descargar la batería. ☐

No quemar a la resistencia. ☐

5.2 Puentes de Medición

Los puentes de medición son apropiados en primer lugar para medir resistencias. También se utilizan para medir otras magnitudes que se puedan representar como valores de resistencia.

ATENCIÓN

Efectuando el ajuste de cero con aparatos de gran sensibilidad, es posible obtener resultados muy exactos (error aproximado $\pm 0,02\%$).

El ajuste de cero es tanto más sensible cuanto mayor sea la tensión de alimentación; sin embargo, ésta queda limitada por la capacidad de carga de las resistencias. Así por ejemplo, un termómetro de resistencia no debe calentarse por efecto de la corriente de medida.

Un factor decisivo para la precisión de la medida es la exactitud de las resistencias que forman el puente, pero también el tipo de conexión de éste último. **Son muy favorables los puentes de medida** cuyas resistencias son aproximadamente de la misma magnitud que la resistencia que se desea medir.

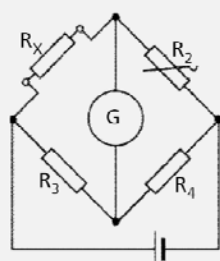
Resistencias grandes y medias

Puente de Wheatstone

Resistencias $< 1 \Omega$

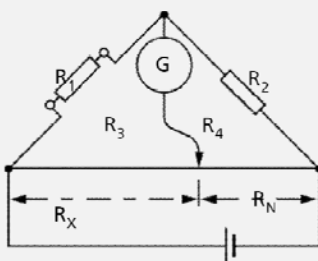
Puente de Thompson

Nota: Para el segundo caso hay que tener en cuenta los valores de los cables de acometida y conexión.



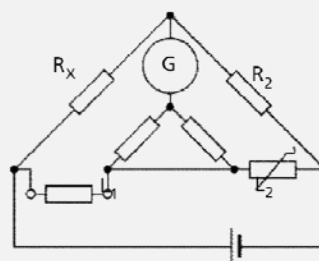
Puente de Wheatstone

$$R_X = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$$



Puente de Thomson

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$



Puente de alambre y cursor

$$R_X = R_2 \cdot \frac{L_1}{L_2}$$

Puentes de medida, circuitos básicos y condiciones de ajuste.

Nota: Cuando la exactitud requerida no es muy grande (tolerancia aproximada $\pm 1\%$) y los valores de resistencia oscilan entre $0,2 \Omega$ y $50 \text{ k}\Omega$, son suficientes los puentes de alambre y cursor.

Las resistencias de aislamiento se pueden determinar, además que con los aparatos de medida de indicación directa, por comparación de desviación (dispositivo de medida de $M\Omega$ mF).

Según su constitución mecánica, se distingue entre los puentes de medida provistos de cursor, conmutadores giratorios y contactos de clavija.

Hilo Cursor

Es la ejecución más sencilla y económica de una resistencia de medida, permite una medición rápida, pero únicamente se puede utilizar para mediciones de servicio, debido a sus reducidas posibilidades de ajuste.

Conmutador Giratorio

Con los puentes provistos de este elemento es también posible realizar medidas con gran rapidez. Estos puentes se efectúan para mediciones de servicio y de precisión. Los conmutadores giratorios de precisión garantizan una resistencia de comparación mínima y constante y una capacidad propia muy reducida (esto es de gran importancia al medir grandes resistencias, debido al ángulo de pérdidas).

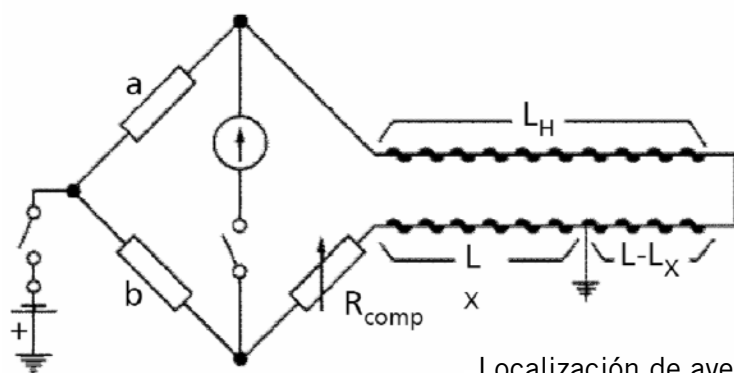
Contactos de Clavijas

Los puentes provistos de clavijas, que son muy exactos pero difíciles de ajustar, están actualmente en desuso, empleándose en su lugar los provistos de conmutadores giratorios.

Localización de Defectos en Cables.

Las mediciones necesarias para localizar defectos en cables se pueden efectuar, en parte con un **puente normal de Wheatstone**, según el **método de Varley** o por **comparación de los conductores**.

Método de Varley.



a/b : Relación del div. de tensión.
 R_{comp} : Resistencia de comparación.
 L : Longitud del cable.
 Lx : Tramo del cable hasta un punto defectuoso.
 LH : Longitud del conductor auxiliar.

Localización de averías según Varley y Comparación de Conductores con un circuito básico.

La resistencia del tramo Lx hasta el lugar del defecto se complementa con la resistencia de comparación R_{vg1} hasta el valor correspondiente del tramo restante del bucle ($L-Lx+LH$), por lo tanto, el punto defectuoso constituye un vértice del puente. Previamente, hay que medir con un circuito en puente normal, la resistencia del bucle R_L+R_{LH} .

Suponiendo que la resistencia del cable L sea igual a la del conductor auxiliar LH (generalmente un segundo conductor del cable), rige la ecuación:

$$L_x = 2 \cdot L \frac{2 \cdot R_L - R_{vg1} \cdot \frac{a}{b}}{2 \cdot R_L (1 + \frac{a}{b})}$$

Si se ajusta $a/b = 1$, se tiene:

$$L_x = L \frac{2 \cdot R_L - R_{vg1}}{2 \cdot R_L}$$

Método de Comparación de Conductores.

Para este método se utiliza el mismo circuito que en el de Varley, con la única diferencia que se supone el punto defectuoso artificial en el extremo lejano del cable. En este caso la ecuación a utilizar es:

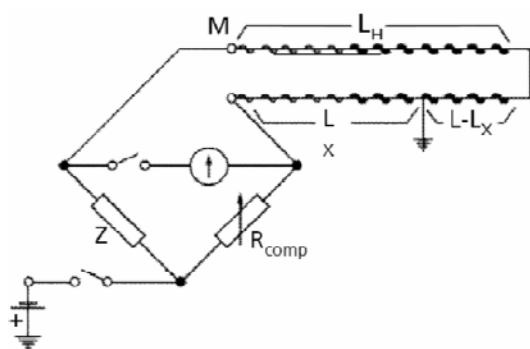
$$\frac{a}{b} = \frac{R_{LH}}{R_{vg1} + R_L}$$

Si $a/b = 1$ es $R_{LH} = R_{vg1} + R_L$ y, por consiguiente, $R_{LH} - R_L = R_{vg1}$

Puente de Wheatstone.

Para localizar defectos según el puente de Murray, se complementa el puente de Wheatstone con las resistencias adicionales Z y un buen borne M que une el puente de medida al cable. El puente se debe ajustar mediante R_{vg1} . En tal caso rigen las ecuaciones:

$$L_x = \frac{R_{vg1}}{Z + R_{vg1}} (L + L_H) \quad \text{ó} \quad L_x = 2 \cdot L \cdot \frac{R_{vg1}}{Z + R_{vg1}}$$



Z : Resistencia de adicionales.

R_{comp} : Resistencia de comparación.

L : Longitud del cable.

L_x : Tramo del cable hasta un punto defectuoso.

L_H : Longitud del conductor auxiliar.

Localización de averías según Murray con un circuito básico.

ACTIVIDAD 16.

Responda las siguientes preguntas.



1

¿Cuál es la ventaja de tener un puente con un conmutador giratorio?

2

¿Qué factores son decisivos al momento de realizar una medición con un puente de medida?

3

¿Qué métodos se utilizan para detectar defectos en los cables?

5.3 Medición de Puesta a Tierra

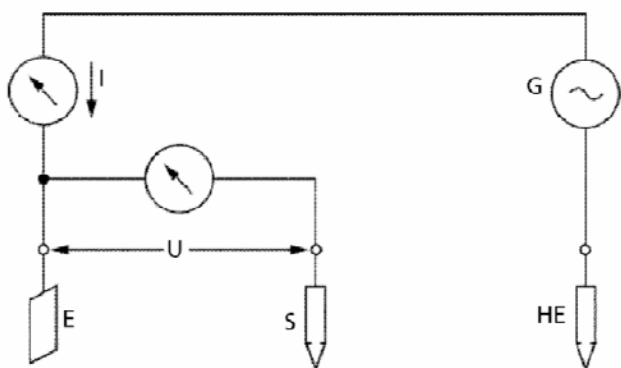
En muchas instalaciones eléctricas, por ejemplo, en redes de abastecimiento de baja tensión en líneas sencillas de telecomunicaciones, se encuentran un polo puesto a tierra o bien se cierra el circuito a través de tierra.

ATENCIÓN

En las instalaciones con todos los polos aislados se ponen a tierra las partes metálicas, que durante el servicio no están sometidas a tensión, para desviar las corrientes que puedan surgir en caso de deteriorarse el aislamiento. En todos estos casos, la resistencia de puesta a tierra, compuesta por la de línea de acometida, la de transición entre el elemento de puesta a tierra y el suelo y la de propagación de éste, ha de ser tan pequeña que en ella no se puede establecer una caída de tensión inadmisibles.

La conductibilidad del suelo puede fluctuar según sean las condiciones atmosféricas. Además, es posible que la resistencia de transición entre el elemento de puesta a tierra y el suelo varíe continuamente debido a la corrosión o a la polarización. Por este motivo es preciso efectuar con frecuencia mediciones de vigilancia, que en los distintos campos de aplicación están fijadas en las prescripciones correspondientes.

Para determinar la resistencia de puesta a tierra, se hace pasar una corriente a través del elemento de puesta a tierra y se mide la caída de tensión establecida. Para que el resultado de la medida no quede falsificado por fenómenos de polarización, se emplea generalmente corriente alterna (procedente de un magneto o de un vibrador alimentado por una batería).



E: Elemento de puesta a tierra.
HE: Elemento auxiliar de puesta a tierra.
S: Sonda.
G: Generador de tensión alterna.

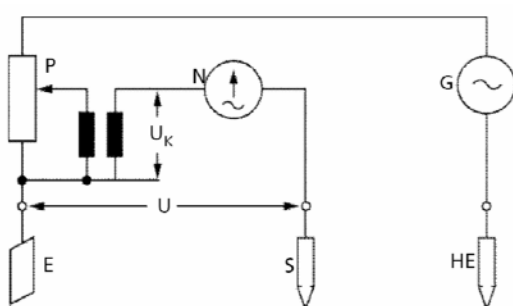
Circuito Básico para medir Puesta a Tierra.

Si en este circuito la corriente que fluye a través del voltímetro y la sonda es mucho menor que la que pasa a través del elemento de puesta a tierra, la resistencia de dicha sonda se puede despreciar, y la resistencia de puesta a tierra R_E viene dada por la tensión y la intensidad de la corriente, según la fórmula $R_E = U/I$.

MANTENIMIENTO



- Al instalar el dispositivo de medida hay que tener cuidado de que el elemento auxiliar de puesta a tierra y la sonda queden a una distancia suficiente del elemento principal de puesta a tierra, de forma que los “conos de tensión” (caída fuerte de tensión en las inmediaciones de los electrodos) no se superpongan, falsificando de este modo la medida.
- La sonda debe colocarse a una distancia aproximada equivalente a cinco veces la longitud del elemento de puesta a tierra, y como mínimo a 20m de él. Por este motivo, antes de efectuar la medición, conviene conocer la posición, la forma y las dimensiones del elemento de puesta a tierra.



E: Elemento de puesta a tierra.
 HE: Elemento auxiliar de puesta a tierra.
 S: Sonda.
 G: Generador de tensión alterna.
 P: Potenciómetro.
 N: Indicador de cero.
 U_k : Tensión de compensación.

Circuito Básico.

Aspecto Exterior del Aparato. Medidor de Puesta a Tierra con batería.



ACTIVIDAD 17.



Marque la opción correcta.

1

En las mediciones de tierra se usa corriente alterna

Para evitar los efectos de la polarización. ☐Para incrementar los efectos de la polarización. ☐

2

Para realizar la medición de puesta a tierra se necesita

Un solo elemento conectado a tierra. ☐Un elemento principal y uno auxiliar conectados a tierra. ☐

3

El elemento auxiliar y la sonda deben estar ...

Alejados del elemento principal puesto a tierra. ☐Cerca del elemento principal puesto a tierra. ☐

5.4 Medición de Aislamiento

Aislamiento Eléctrico.

El aislamiento eléctrico es un proceso mediante el cual se aíslan los conductores y el equipo, con la finalidad de obtener una alta resistencia y evitar que se produzcan corrientes eléctricas indeseables.

ATENCIÓN

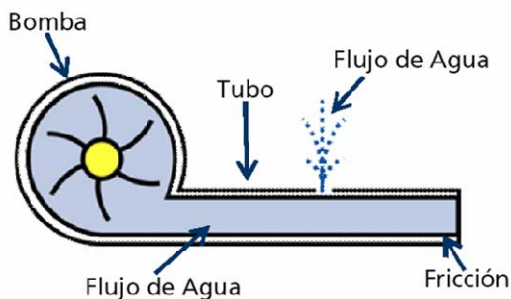
El aislamiento debe ser lo opuesto al conductor: debe resistir la corriente y mantener la corriente en la trayectoria del conductor.

EJEMPLO

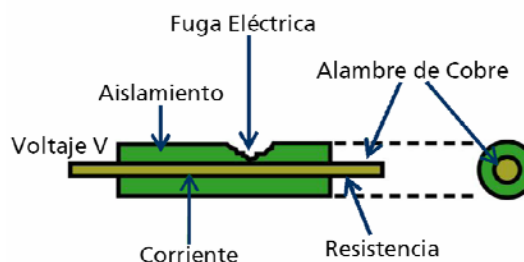
Cada cable eléctrico utilizado para un motor, un generador, un cable, un transformador, etc., es cuidadosamente cubierto con muchas formas de aislamiento eléctrico. El cable que alimenta los equipos, usualmente de cobre o aluminio son conocidos como buenos conductores de electricidad.

Para entender el aislamiento, no se necesita penetrar en las matemáticas o en la electricidad, solo hace falta una ecuación simple y sencilla, la ley de Ohm, la cual puede ser de una gran ayuda en muchos aspectos.

El propósito del aislamiento alrededor del conductor es parecido a un tubo llevando agua; la ley de Ohm de resistencia puede ser más fácilmente entendida y comprendida realizando una comparación con un flujo de agua. En la siguiente figura se muestra un tubo; si el tubo tiene un orificio, se pierde agua y también presión.



El voltaje es como la bomba de presión que produce electricidad, la cual fluye a lo largo del cable de cobre. Como en el tubo de agua, aquí es mayor la resistencia al flujo, pero es mucho menor a lo largo del cable que tiene el aislamiento.



Comparación de Flujo de Agua y Corriente Eléctrica.

El sentido común nos dice que al tener más voltaje, más corriente existe y, al tener una menor resistencia en el cable, se tendrá más corriente para el mismo voltaje. Actualmente, esta ley de Ohm es expresada en forma de la siguiente ecuación:

$$V = I \cdot R$$

Donde:

V = Voltaje en volts.

I = Corriente en amperes.

R = Resistencia en ohms.

ATENCIÓN

Hay que destacar que no existe ningún aislamiento perfecto (que tenga una resistencia infinita) por lo tanto mucha corriente eléctrica fluye a lo largo del aislamiento o pasa a la tierra.

Así, un aislamiento con una resistencia muy alta presenta una oposición grande al flujo de corriente, de tal manera que sólo en estos casos, permite el paso a una cantidad muy pequeña de corriente a través de él. La corriente puede ser de una millonésima de amper (un micro amper) y éstas son las bases del equipo para pruebas de aislamiento. También es necesario comprender que un alto voltaje tiende a causar más corriente a lo largo del aislamiento. Esta corriente puede o no, causar un problema al aislamiento.

Factores que afectan al Aislante.

Cuando el sistema de planta eléctrica y equipo son nuevos, el aislamiento eléctrico puede estar en su mejor forma. Sin embargo, a pesar de que los fabricantes de alambre, cable, motores, etc. han estado mejorando continuamente para darle un mejor servicio a la industria; incluso hoy en día, el aislamiento puede sufrir muchos efectos que pueden causar las fallas o daños mecánicos, vibración, excesivo calor o frío, suciedad, aceites, vapores corrosivos, humedad de procesos o la humedad de un día. Todos estos efectos hacen que, con el tiempo, se permita una excesiva corriente a través del aislamiento.



Muchas veces la caída en la resistencia del aislante es repentina, como cuando el equipo es inundado. Usualmente, sin embargo, estas caídas son graduales, dando aviso si se verifican periódicamente. Tales verificaciones permiten planear condiciones antes de la falla del servicio.



Si no existen verificaciones, un motor con pobre aislamiento, por ejemplo, puede no solamente ser peligroso al tocarlo cuando tiene voltaje aplicado, sino que también se puede quemar: lo que fue un buen aislante se convirtió en un parcial conductor.

Principales causas de deterioro del Sistema Eléctrico.



Efectos de la Temperatura

Generalmente, las mediciones de resistencia de aislamiento pueden cambiar entre una prueba y otra por causa de las variaciones de la temperatura del material aislante.



MANTENIMIENTO



La mejor manera de obtener resultados consistentes en las mediciones, es realizar la prueba de aislamiento bajo condiciones estándar, típicamente a una temperatura base de 20 °C (68 °F).

En caso que la temperatura del material bajo prueba sea mayor o menor que la temperatura base, se debe hacer una corrección por temperatura. Como regla general, el valor de la resistencia de aislamiento puede ser corregido de dos formas:

- Dividiendo el valor de la resistencia medida por cada 10 °C (50 °F) arriba de la temperatura base 20 °C (68 °F).
- Doblando el valor de la resistencia medida por cada 10 °C (50 °F) abajo de la temperatura base.



Efectos de la Humedad

Como se ha mencionado, la presencia de humedad en el aislamiento tiene marcados efectos en el valor de resistencia, por lo tanto, un aumento en la humedad del medio ambiente, afecta la resistencia de aislamiento.

Por lo tanto es de principal interés es disminuir las condiciones de humedad de la superficie del aislamiento del equipo.

Si el equipo opera regularmente a temperaturas superiores al llamado punto de rocío, las lecturas de la prueba, por lo general, no se verán afectadas por la humedad.

Esto será así para el caso en que las lecturas del aislamiento están libres de toda contaminación, como pelusa, ácidos o sales, las cuales tienen la propiedad de absorber la humedad, y cuya presencia puede afectar las lecturas de manera imprevista, por lo que deben ser removidos antes de la prueba.

MANTENIMIENTO



Como parte de los registros de mantenimiento, sería recomendable tomar nota al menos, de si el aire del medio ambiente estaba seco o húmedo cuando se llevó a cabo la prueba.

ATENCIÓN



Existen estudios que demuestran que la gota de rocío se formará en la cavidades y en las roturas del aislamiento mucho antes de que se haga visible en la superficie del mismo. La medición del punto de rocío proporciona una pista de la posibilidad de que exista o no esa condición invisible, lo cual se logra haciendo mediciones alternadas.

ATENCIÓN

La reducción de resistencia de aislamiento es muy peligrosa al ser ésta una de las magnitudes decisivas de una posible falla (cortocircuito). Además, pueden aparecer corrientes derivadas entre dos conductores sometidos a potenciales distintos, lo que provoca un calentamiento del punto donde aparece la falla, con el siguiente recalentamiento y resecamiento del aislante.

En los motores con funcionamiento normal, los bobinados de campo y del inducido están completamente aislados de la carcasa de la máquina. Tomando la resistencia entre la carcasa y los bobinados, se tiene que leer infinito o varios millones de Ohms. A veces, debido al recalentamiento producido por exceso de carga o a factores mencionados anteriormente, la resistencia de aislamiento puede disminuir y parte de la corriente se filtrará a través del aislamiento llegando a la carcasa. Esta filtración o fuga de corriente acelera el deterioro del aislamiento y, si no se la descubre a tiempo el daño será mayor, se producirá un cortocircuito entre las bobinas y la carcasa (a la bobina en estas condiciones se la denomina bobina a masa). El cortocircuito hará que todo el bobinado se recaliente y se queme.

MANTENIMIENTO

Los bobinados de los motores deben inspeccionarse a intervalos regulares para verificar el estado del aislamiento o un posible contacto a masa antes de que se produzcan serios desperfectos. Para probar el aislamiento, no se puede emplear el óhmetro común porque, a menudo, las derivaciones (corriente de fuga) sólo se ponen de manifiesto cuando se aplica la tensión alta. El óhmetro es incapaz de medir las derivaciones (valores de tensión) acordes a la tensión del circuito a verificar, para ello se emplea un instrumento llamado Megger que suministra el alto voltaje necesario y está calibrado para acusar resistencias muy altas.

ACTIVIDAD 18.

Indique cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas y cuáles falsas.

1

El aislamiento debe permitir que pase la mayor cantidad de corriente posible.

Verdadero ☐Falso ☐**2**

El riesgo de la reducción de la reducción de aislamiento es un cortocircuito.

Verdadero ☐Falso ☐**3**

La humedad es uno de los principales factores a controlar para que no ocurran fallas en el aislamiento.

Verdadero ☐Falso ☐**4**

Si el voltaje es alto entonces la corriente en el aislamiento disminuye.

Verdadero ☐Falso ☐

5.5 Aparato Megger

El Megger (del inglés megohmmeter) o megóhmetro es un instrumento de prueba que se usa para medir la resistencia del aislamiento de los conductores.

El Megger deja pasar una cantidad específica de voltaje a través del dispositivo que se está probando y mide la resistencia que este voltaje encuentra. Su nombre fue tomado del primer instrumento que se fabricó en Inglaterra.

Actualmente se fabrican básicamente tres tipos:

- ✓ De generador de corriente continua (accionado a mano);
- ✓ De generador de corriente alterna (accionado a mano) con un sistema rectificador;
- ✓ De baterías.

Su uso es muy simple y la lectura da directamente el valor de la resistencia en ohms o megaohms sin cálculo alguno.



Ejemplos del instrumento de medición Megger.

El valor de la resistencia se indica en la escala del Megger. La indicación de la escala debe multiplicarse por el factor de ajuste correcto ya sea en gigas (1×10^9), por megas (1×10^6), etc.

Si la resistencia es muy alta, no todos los Megger pueden usarse para obtener medidas exactas de esta. En algunos Meggers más pequeños, una medida de resistencia alta puede producir que la escala señale una resistencia infinita. Un Megger de alto potencial, muestra los valores de resistencia en cantidades exactas antes de llegar a la indicación de infinito en la escala.



Algunos Meggers tienen una manivela que se gira para producir el voltaje para la prueba, otros son accionados eléctricamente. En ambos casos, debido a que se desarrollan altos niveles de voltaje, debe usarse el equipo de seguridad eléctrica durante la prueba. La cantidad de voltaje puede variarse y por lo tanto la cantidad de corriente que pasa por la resistencia, razón por la cual hay gran diversidad de equipos.

ATENCIÓN

- La mayoría de los Meggers tienen un conmutador de tres posiciones que se usa para seleccionar la función adecuada para la prueba: carga, medida o descarga.
- La posición de descarga es una característica de seguridad.
- Durante la prueba, puede acumularse algún voltaje en el transformador. Si cuando el Megger se desconecta todavía hay una carga en el transformador, puede formarse un arco peligroso.
- Cuando el conmutador está en la posición de descarga, este voltaje se descarga automáticamente.

Partes Principales del Megger.

Antes de comenzar a describir la manera en que se utiliza el Megger y cómo es que se interpreta una lectura medida en él, empezaremos por nombrar sus partes fundamentales. La siguiente figura muestra un Megger analógico típico, que se utiliza para medir la resistencia de aislamiento, sus partes también aplican para uno digital ya que su diferencia radica en que éste último utiliza un display como salida de la lectura y el analógico utiliza una escala graduada en la cual una aguja se desplaza según la medida que haya tomado.

**Megger Digital**

Las partes principales del Megger analógico son:

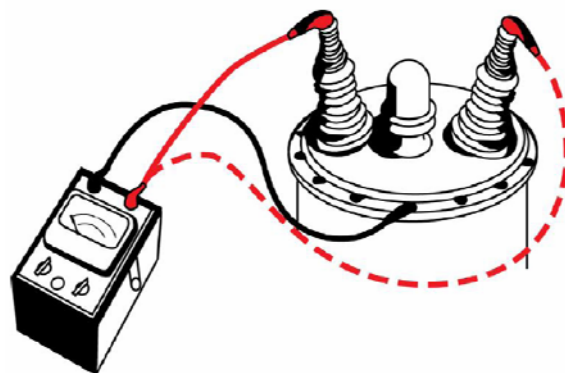
- Dos **terminales (LO y HI)** que sirven de conexión entre el Megger y el equipo en el que se desea medir la resistencia de aislamiento.
- Una **escala de medición analógica**, donde se lee el valor de la resistencia del aislamiento. Por lo general se incluyen varias escalas.
- Un **interruptor selector** que permite elegir la escala de medición según el voltaje a aplicar en la prueba de aislamiento.

Terminales.

La conexión de la terminal **HI** se conecta al equipo a probar. Esta terminal, generalmente de color rojo, contiene el voltaje que se ha elegido en el selector del Megger, y la terminal **LO**, generalmente de color negro, se conecta en el conductor localizado en el otro lado del aislamiento.

ATENCIÓN

Las puntas o terminales de medición que están defectuosas, o que son de mala calidad, causarán mediciones erróneas de la resistencia de aislamiento, por lo que es necesario tomar la precaución de observar su estado.



Conexión de las terminales del Megger.

Características de Terminales y Cables.

- 1 La cubierta exterior de las terminales deberá ser lisa, sin ningún trenzado.
- 2 Los cables deberán contar con terminales que permitan la conexión con el aparato de prueba.
- 3 Se recomienda usar caimanos de resorte robustos para la conexión con el aparato bajo prueba.
- 4 Se deben evitar empalmes en los conductores de las terminales.

Interpretación de las Resistencias Leídas.

Como fuera previamente mencionado, las lecturas de la resistencia del aislamiento deben considerarse relativas. Éstas pueden ser un poco diferentes en un motor de una máquina probada 3 días seguidos, aunque esto no signifique un mal aislamiento. Lo que realmente pasa es que la tendencia en las lecturas durante un periodo de tiempo, muestra una disminución en la resistencia y por consiguiente un aumento en la posibilidad de surgimiento de problemas. Por lo tanto las pruebas periódicas son la mejor aproximación para prevenir el mantenimiento a un equipo eléctrico, usando hojas de control parecidas a las que se muestran en la siguiente figura.

La curva A muestra los valores de varias pruebas efectuadas y la curva B muestra los mismos valores corregidos a 20 °C (68 °F) señalando una tendencia hacia abajo y hacia una condición insegura. En el reverso de la hoja (aparece a la derecha de la figura) es usada para registrar los datos de las pruebas.

MANTENIMIENTO



Las pruebas pueden realizarse mensualmente, 2 veces al año o 1 vez al año, dependiendo del tipo, localización y la importancia del equipo. Por ejemplo, el pequeño motor de una bomba o un cable de control pequeño pueden ser vitales dentro de un proceso en su planta. Un control de la humedad relativa cerca del equipo que se está probando, es benéfico para evaluar las lecturas y las tendencias. La experiencia es la mejor maestra en fijar los períodos de prueba de los equipos.

La siguiente tabla muestra las acciones que se deben de tomar según la interpretación de las pruebas periódicas de la resistencia de aislamiento.

Condición	Actividad a realizar
Valores medios a altos y bien mantenidos.	No causa problemas.
Valores medios a altos pero mostrando tendencias hacia valores bajos.	Localizar y remediar la causa, chequear la tendencia hacia abajo.
Bajo pero bien mantenido.	La condición es probablemente correcta, pero la causa de los valores bajos debe ser verificada.
Tan bajo que puede ser inseguro.	Limpie, seque todo, o de otro modo, aumente los valores después de localizado el equipo de servicio.
Valores medios o altos, previamente bien mantenidos, pero mostrando repentinos descensos.	Realice pruebas a intervalos frecuentes hasta que la causa de los valores bajos lleguen a un nivel bajo pero seguro para operación i hasta que los valores sean tan bajos que sea inseguro mantener el equipo en operación.

Factores que afectan la lectura de las Resistencias.

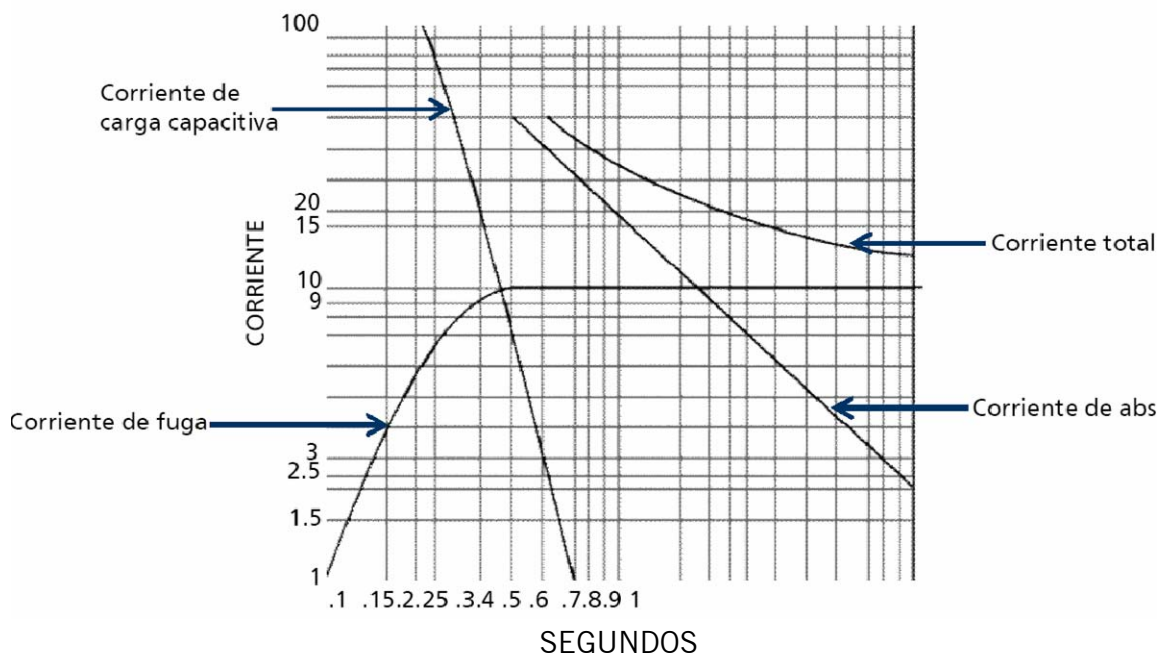
RECUERDE



Recordando que la medida de resistencia del aislamiento puede ser determinada por el voltaje aplicado y la corriente resultante ($R = V/I$). Existen varios factores que afectan la corriente, incluyendo la temperatura del aislamiento y humedad, como ya fue mencionado anteriormente.

Ahora consideremos la naturaleza de la corriente hacia el aislamiento y el efecto de como el voltaje es aplicado. La electricidad también fluye hacia el volumen del aislante.

Como se muestra en la figura, la corriente total abarca 3 componentes.



Curvas mostrando componentes de la corriente medida durante las pruebas de aislamiento.

- **Corriente de carga capacitiva:** Es una corriente que tiene un alto valor inicial, pero que disminuye conforme se carga el aislamiento al voltaje pleno.
- La **corriente de carga capacitiva** desaparece relativamente rápido conforme el equipo bajo prueba se carga. Esta corriente es también la energía almacenada que se descarga inmediatamente después de que se terminó de efectuar la prueba, cortocircuitando y aterrizando el aislamiento.
- **Corriente de Absorción:** Es una corriente inicial alta que disminuye paulatinamente.
- La **corriente de absorción** decrece lentamente en forma relativa, dependiendo de la naturaleza exacta del aislamiento, esta energía almacenada también debe ser liberada al finalizar la prueba, requiriendo de un tiempo mayor que la corriente de carga capacitiva, alrededor de cuatro veces el tiempo que el voltaje estuvo aplicado.
- **Conducción o Corriente de Fuga:** Es una corriente pequeña esencialmente estable a través de y sobre el aislamiento.
- Con un buen aislamiento, la **corriente de fuga** deberá alcanzar un valor estable, el cual es constante para el valor de voltaje aplicado, cualquier incremento en la corriente de fuga con respecto al tiempo es una advertencia de problemas.
- La corriente total es la suma de las tres componentes, y es la corriente que puede ser medida por un micro-amperímetro, o por medio de un Megger (ohmetro) en términos de $M\Omega$ a un voltaje determinado. Debido a que la corriente depende del tiempo en que se aplica el voltaje, la ley de Ohm es cierta, sólo en teoría, para tiempos infinitos.

ATENCIÓN

En la práctica, se toma la lectura de la resistencia aparente, que es un valor de mucha utilidad para el diagnóstico de problemas.

Precauciones de Seguridad para el uso del Megger.

Se deben seguir todas las reglas de seguridad cuando se está poniendo el equipo fuera de servicio. Algunas de éstas reglas pueden ser:

- bloquear los interruptores.
- verificar la existencia de voltajes inducidos o externos.
- utilizar la tierra personal de seguridad.

RECUERDE



Al trabajar con un equipo de alto voltaje, siempre existe la posibilidad de que se encuentren presentes voltajes inducidos en el aparato bajo prueba o en las líneas a las que está conectado, debido a la cercanía del equipo de alto voltaje energizado.

En lugar de eliminar la tierra personal de seguridad, es recomendable desconectar el aparato. También es recomendable utilizar guantes de hule o dieléctricos al conectar las puntas del Megger y al operar este equipo de medición con ciertas precauciones.

1

El aparato bajo prueba debe estar desenergizado

Si se tiene que desconectar el neutro o alguna conexión a tierra, es importante asegurar que no conduzcan corriente en ese momento, y que al momento de hacer la desconexión, no quede ningún otro equipo desprotegido por falta de dicha conexión.

2

Peligro de descarga del aparato bajo prueba

Los cables o equipos eléctricos grandes almacenan cantidades peligrosas de energía, por lo que es necesario asegurar que se han descargado al terminar cualquier prueba y antes de manipular las terminales.

3

Peligro de explosión y de incendio

Con el uso normal del Megger, no hay peligro de incendio. Sin embargo, hay riesgo latente si el equipo de prueba está ubicado en una zona con atmósfera inflamable o explosiva.

Por lo tanto, no es recomendable utilizar el aparato en áreas con atmósfera explosiva ya que una pequeña chispa se puede generar bajo las siguientes condiciones:

- Cuando se conectan las puntas de prueba a algún aparato que no ha sido previamente descargado. En este caso se recomiendan puntos de prueba en un área donde el instrumento pueda conectarse y desconectarse sin peligro de explosión.
- Con el arqueo, durante la prueba de un aislamiento dañado.
- En la descarga de la capacitancia después de que se efectuó la prueba. En este caso se deben emplear instrumentos de prueba de bajo voltaje, o una resistencia en serie.

ATENCIÓN

No se deben desconectar las puntas de prueba por lo menos 30 a 60 segundos después de la prueba, de manera que se permita la descarga de la capacitancia.

**ACTIVIDAD 19.**

Responda las siguientes preguntas.

**1**

Indique tres características de los cables y terminales de un Megger.

2

Un Megger, ¿Puede usarse para medir cualquier resistencia?

3

¿Qué precauciones se deben tomar al utilizar un Megger?

4

¿Qué tipo de corrientes aparecen en los aislamientos y cuál mide el aparato de medición?

5.6 Otros Aparatos de Medida

El Microóhmmetro.



A diferencia de los megóhmetros, el microóhmmetro permite medir resistencias de menor escala. Se pueden medir resistencias de elementos como contactos, contactores, resistencia de cables y devanados en motores, transformadores, etc. Las corrientes de prueba que manejan varían desde 1mA hasta 100A.

Medidor de Resistencia de Prueba tipo Puente (Telurímetro).

Es un instrumento de los denominados Megger y nos sirve para medir la resistividad que tiene un terreno o el suelo y, en base a esto, saber si es un lugar factible para poner un sistema de tierras físicas. Para llevar a cabo la prueba es necesario enterrar las varillas que vienen con el equipo y poner a cierta distancia una de otra, así, por medio de los cables, se conectan las varillas al equipo y se hace la medición.



Medidor de Tierras tipo Pinza.



La pinza de medida de resistencia de puesta a tierra simplifica el proceso de comprobación del bucle tierra y permite realizar medidas de corrientes de fuga no intrusivas.

El proceso de comprobación de la resistencia del bucle de tierra también se conoce como comprobación de tierra “sin picas”. Para llevar a cabo la medida no es necesario colocar picas ni desconectar el sistema de tierra de la instalación eléctrica.

TDR.

El TDR es otra de las clasificaciones de los aparatos Megger y es el encargado de medir fallas en las líneas de alimentación eléctrica. La función principal es que, al conectarlo a los conductores o líneas de alimentación, este aparato nos detecte posibles fallas en las líneas de alimentación como lo son cortocircuito entre las líneas, cortocircuito a tierra, deterioro del aislamiento, etc. La manera de utilizarlo es conectarlo a los conductores que se quieran medir y ponerlo en una escala adecuada de medición y observar en la pantalla si hay variaciones en las gráficas de prueba.



ACTIVIDAD 20.

Una con flechas según corresponda.



Microhómetro

Se encarga de medir falla en las líneas de alimentación eléctricas como pueden ser cortocircuito, deterioros de aislamientos, etc.

Telurímetro

Mide la resistividad del terreno o el suelo para analizar la factibilidad de colocar un sistema de tierras.

TDR

Mide resistencias a menor escala de elementos como contactos, contactores, devanados de motores, cables, etc.

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 5.

A continuación se desarrollará el capítulo Pruebas de Aislamiento.



Pruebas de Aislamiento

TEMAS DEL CAPÍTULO 6

6.1 Preparación de un Aparato de Medida	127
6.2 Medición de Resistencia de Aislamiento con Voltaje Único	132
6.3 Medición de Resistencia de Aislamiento con Multivoltaje	141
6.4 Casos Prácticos	147

En este capítulo se abordarán los conceptos necesarios para comprender cuáles son las pruebas de resistencia de aislamiento y multivoltaje. Se caracterizarán aquellas pruebas, el multivoltaje y el índice de polarización.



6.1 Preparación de un Aparato de Medida

Preparación del aparato para Prueba de Aislamiento.

Algunos aspectos que se deben considerar en la preparación del equipo para la prueba de aislamiento son:

Apagar el aparato:

Es necesario abrir los interruptores del aparato para ponerlo fuera de servicio. También se debe desconectar de otros equipos, incluyendo el neutro y la tierra de protección.

Definir el equipo a incluir en la prueba:

Inspeccionar la instalación cuidadosamente para determinar exactamente cuál es el equipo conectado y el que se va incluir en la prueba. Esto es muy importante, ya que mientras más equipo esté involucrado en la prueba, menor será la lectura, y la verdadera resistencia del aislamiento del equipo en cuestión se verá oculta por el equipo asociado. Es posible que la resistencia de aislamiento de la instalación completa, sea alta aún sin haber desconectado todo, en especial si se trata de una prueba de tiempo.

Descargar la capacitancia:

Es necesario abrir los interruptores del aparato para ponerlo fuera de servicio. También se debe desconectar de otros equipos, incluyendo el neutro y la tierra de protección.

Verificar las fugas de corriente en interruptores:

Cuando un aparato se pone fuera de servicio para una prueba de resistencia de aislamiento, habrá que asegurar que las lecturas no estén afectadas por fugas a través de los interruptores o portafusibles. Las fugas pueden generar valores incorrectos de la resistencia del aislamiento del equipo bajo prueba.

Los instrumentos Megger normalmente están equipados con un interruptor especial para esta operación. Si no existe una posición para descarga se deberá utilizar una [varilla de descarga](#). Los equipos que son altamente capacitivos, deben ponerse en cortocircuito, hasta que estén listos para energizarse nuevamente.

Algo más serio que puede ocurrir es que una línea energizada esté generando una fuga hacia el equipo de prueba, causando que se tengan lecturas [inconsistentes](#), sobre todo si la línea energizada es corriente continua, sin embargo, dichas fugas pueden ser detectadas observando la aguja indicadora del Megger al momento en que las terminales son conectadas al aparato y antes que el instrumento sea operado.

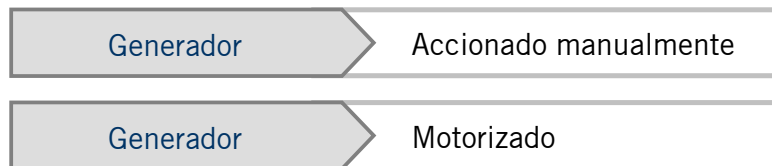
Un punto importante antes de hacer una prueba es que se debe asegurar que [toda](#) la capacitancia esté [descargada](#), conectando a tierra el aparato. El probador de aislamiento Megger nunca se debe conectar a una línea o aparato energizado.

Seguidamente, se conecta el Megger con el circuito que va a probar y se acciona la manivela generándose un alto voltaje en las terminales. A raíz de esto, pasa corriente por el circuito o el aislamiento que se está probando.

Este flujo de corriente se mide con el dispositivo móvil como el óhmetro, pero a diferencia de éste, el Megger está calibrado para medir megaohms ($1\text{M}\Omega = 1,000,000\ \Omega$).

Relación de Absorción Dieléctrica.

Es importante conocer la existencia de dos variantes de Megger según el accionamiento del generador:



Independientemente de cuál de los dos se está utilizando, para sacar la **relación de absorción dieléctrica (Rad)** es necesario hacer dos lecturas para conocer si el aislamiento se encuentra en buenas condiciones.

Las lecturas que se deben realizar son:

Generador accionado manualmente	Generador motorizado
A los 30 y 60 segundos.	A 1 y 10 minutos.

La **resistencia de aislamiento** es interpretada por la relación de absorción dieléctrica (Rad).

Cuando:



Precauciones de seguridad para el uso del Megger.

Se deben seguir todas las reglas de seguridad cuando se está poniendo el equipo fuera de servicio. Algunas de éstas reglas pueden ser:

- Bloquear los interruptores
 - Verificar la existencia de voltajes inducidos o externos o utilizar la tierra personal de seguridad.
- Es importante recordar que, al trabajar con equipo de alto voltaje, siempre existe la posibilidad de que se encuentren presentes voltajes inducidos en el aparato bajo prueba o en las líneas en que está conectado, debido a la cercanía del equipo de alto voltaje energizado. Por lo tanto, en lugar de eliminar la tierra personal de seguridad, es recomendable desconectar el aparato.

También es recomendable utilizar guantes de hule o dieléctricos al conectar las puntas del Megger y tener estas precauciones al operar este equipo de medición:

**Aparato bajo prueba
desenergizado:**

Si se tiene que desconectar el neutro o alguna conexión a tierra, es importante asegurar que no conduzcan corriente en ese momento, y que en el momento de hacer la desconexión, no quede ningún otro equipo desprotegido por falta de dicha conexión.

Descarga del aparato bajo prueba:

Los cables o equipos eléctricos grandes, almacenan cantidades peligrosas de energía, por lo que es necesario asegurar que se han descargado al terminar cualquier prueba y antes de manipular las terminales.

**Peligro de explosión y de
incendio:**

Con el uso normal del Megger, no hay peligro de incendio. Sin embargo este riesgo está latente si el equipo de prueba está localizado en una zona con atmósfera inflamable o explosiva.

No es recomendable utilizar el aparato en áreas con atmósfera explosiva, una pequeña chispa se puede generar bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Cuando se conectan las puntas de prueba a algún aparato que no ha sido previamente descargado. En este caso se recomiendan puntos de prueba en un área donde el instrumento pueda conectarse y desconectarse sin peligro de explosión.
- ✓ Con el arqueo, durante la prueba de un aislamiento dañado.
- ✓ Descarga de la capacitancia después de que se efectuó la prueba. En este caso se deben emplear instrumentos de prueba de bajo voltaje, o una resistencia en serie.

ATENCIÓN

No se deben desconectar las puntas de prueba por lo menos de 30 a 60 segundos después de la prueba, de manera que se permita la descarga de la capacitancia.

ACTIVIDAD 21.

A partir de lo introducida sobre la Preparación de un Aparato de Medida resuelva la siguiente actividad.



Marque con una cruz si los siguientes enunciados son verdaderos o falsos.

1

Es importante que la capacitancia se descargue sólo antes de la prueba de resistencia de aislamiento.

Verdadero ☐Falso ☐**2**

En la preparación del equipo para la prueba de aislamiento es necesario abrir los interruptores del aparato para ponerlo fuera de servicio.

Verdadero ☐Falso ☐**3**

El probador de aislamiento Megger nunca se debe conectar a una línea o aparato desenergizado.

Verdadero ☐Falso ☐**4**

En lugar de eliminar la tierra personal de seguridad, es recomendable desconectar el aparato.

Verdadero ☐Falso ☐**5**

Con el uso normal del Megger, no hay peligro de incendio, aún en atmósferas explosivas.

Verdadero ☐Falso ☐**6**

Una pequeña chispa se puede generar por la descarga de la capacitancia después de la prueba. En este caso se emplee una resistencia en paralelo.

Verdadero ☐Falso ☐**7**

Cuando se conectan las puntas de prueba a algún aparato que no ha sido previamente descargado puede producirse una pequeña chispa.

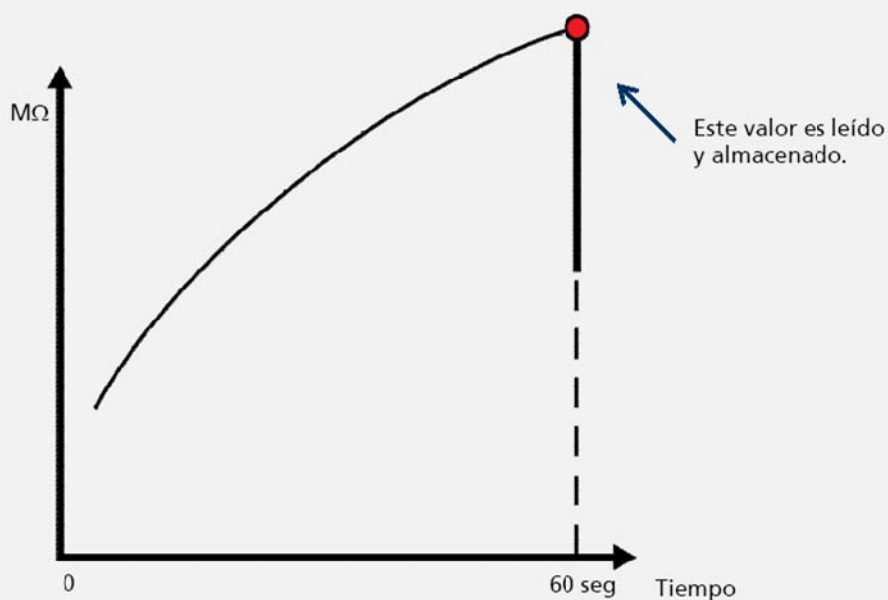
Verdadero ☐Falso ☐

6.2 Medición de Resistencia de Aislamiento con Voltaje Único

Tipos de pruebas de Resistencia de Aislamiento.

Lecturas de tiempo corto.

En este método se conecta el instrumento Megger entre las terminales del aislamiento bajo prueba y se deja trabajando por un período de tiempo corto específico (usualmente se recomienda un tiempo de 60 segundos).



Curva típica de la resistencia de aislamiento con el método de tiempo corto.

Como se muestra en la figura anterior, se ha tomado un punto sencillo de la curva de los valores de la resistencia que van incrementándose. Generalmente, los valores deberán ser menores para 30 segundos y mayores para 60 segundos.

RECUERDE



Se deben considerar la temperatura y la humedad, así como las condiciones del aislamiento que puedan afectar la lectura.

Si el aparato bajo prueba tiene una capacitancia muy baja, como es el caso de un cableado pequeño de una casa, todo lo que se requiere es una prueba de corto tiempo.

Sin embargo la mayoría de los equipos son **capacitivos**, de manera que la primera prueba de corto tiempo, sin una prueba anterior, sólo será una guía aproximada del estado en que se encuentra el aislamiento.

Generalmente se utiliza la regla de $1\text{ M}\Omega$ para el valor de resistencia mínimo permisible. La regla se puede describir como la resistencia de aislamiento que deberá ser aproximadamente de $1\text{ M}\Omega$ por cada 1,000 V del voltaje de operación, con un valor mínimo de $1\text{ M}\Omega$.

En la práctica, las lecturas en $\text{M}\Omega$ son sustancialmente mayores a este mínimo, cuando el equipo es nuevo o cuando el equipo se encuentra en buenas condiciones.

Tomando lecturas periódicamente y graficándolas, se tendrá una mejor base para juzgar las condiciones del aislamiento. Cualquier tendencia persistente a la baja, es una buena advertencia de que puede haber problemas posteriormente, aunque las lecturas tengan un valor superior al mínimo recomendado.

De la misma manera, siempre y cuando las lecturas periódicas sean consistentes, el equipo se encuentra en buen estado aunque éstas se encuentren por abajo del valor mínimo recomendado.

EJEMPLO

Por ejemplo, un motor de 2400 V nominales deberá tener una resistencia de aislamiento de $2,4\text{ M}\Omega$.

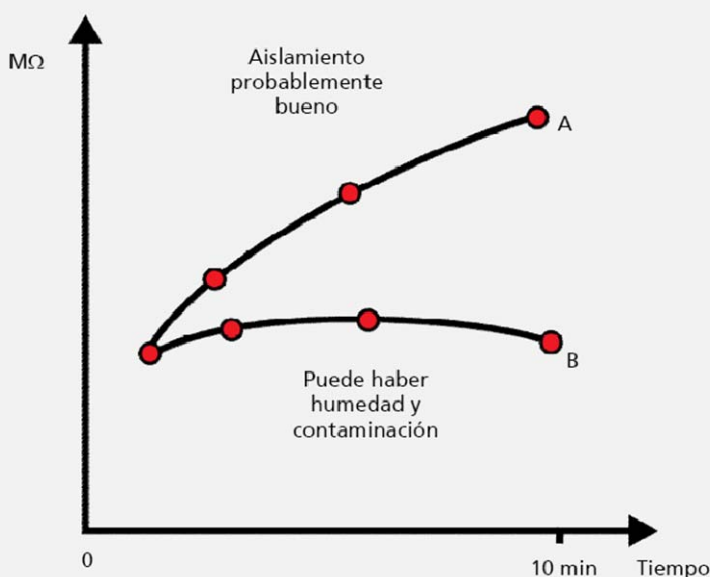


Método de tiempo-resistencia (absorción dieléctrica).

El método tiempo-resistencia es independiente de la temperatura, y normalmente se puede obtener información concluyente aún sin contar con registros de pruebas realizadas anteriormente.

Este método se basa en la comparación del efecto de absorción de un aislamiento en buen estado contra el de un aislamiento húmedo o contaminado. Simplemente se toman lecturas sucesivas a determinados tiempos, y se anotan las diferencias en las lecturas.

Las pruebas hechas con este método, normalmente se refieren como pruebas de absorción dieléctrica.



Curva típica que muestra el efecto de absorción eléctrica.

Un buen aislamiento debe mostrar un incremento continuo en la resistencia sobre un período de tiempo del orden de 5 a 10 minutos, como se muestra en la curva A de la figura anterior.

El continuo incremento en la resistencia es causado por la corriente de absorción. Un buen aislamiento muestra este efecto de carga por un período de tiempo mucho más largo que el tiempo requerido para cargar la capacitancia del aislamiento.

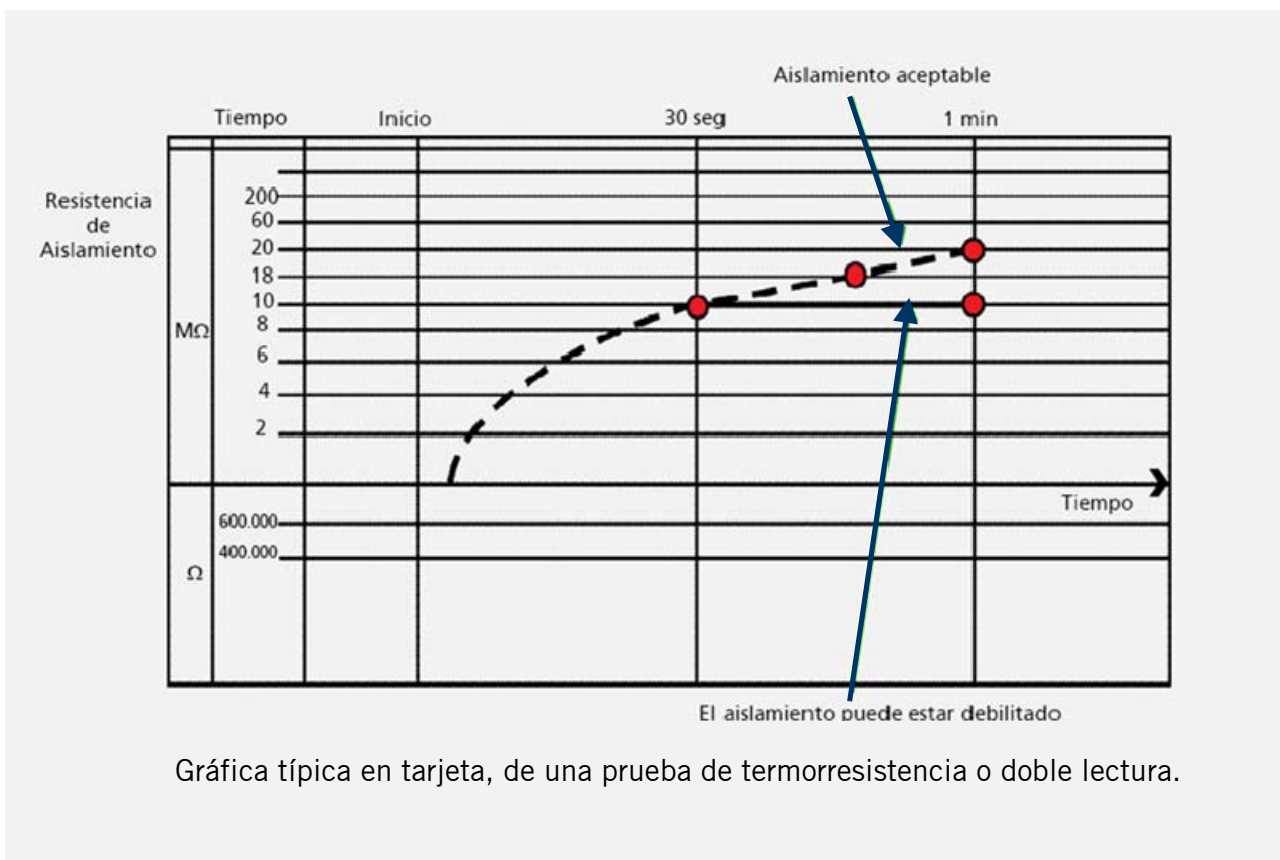
Si el aislamiento contiene mucha humedad o contaminación, el efecto de absorción es superado por una alta corriente de fuga que permanece a un valor más o menos estable, manteniendo una lectura de resistencia baja.

La prueba de absorción también es valiosa, debido a que es independiente del tamaño del equipo.

El incremento en la resistencia para un aislamiento limpio y seco ocurre de la misma manera, independientemente de que el motor sea grande o pequeño. Por lo tanto, es posible, comparar varios motores y establecer estándares para motores nuevos, sin importar su capacidad en HPs.

En la siguiente figura se muestra cómo una prueba de 60 segundos aparecería como aceptable aún y cuando el aislamiento se encuentra en mal estado.

Cuando el aislamiento está en buenas condiciones, la lectura de 60 segundos es mayor que la lectura de 30 segundos.

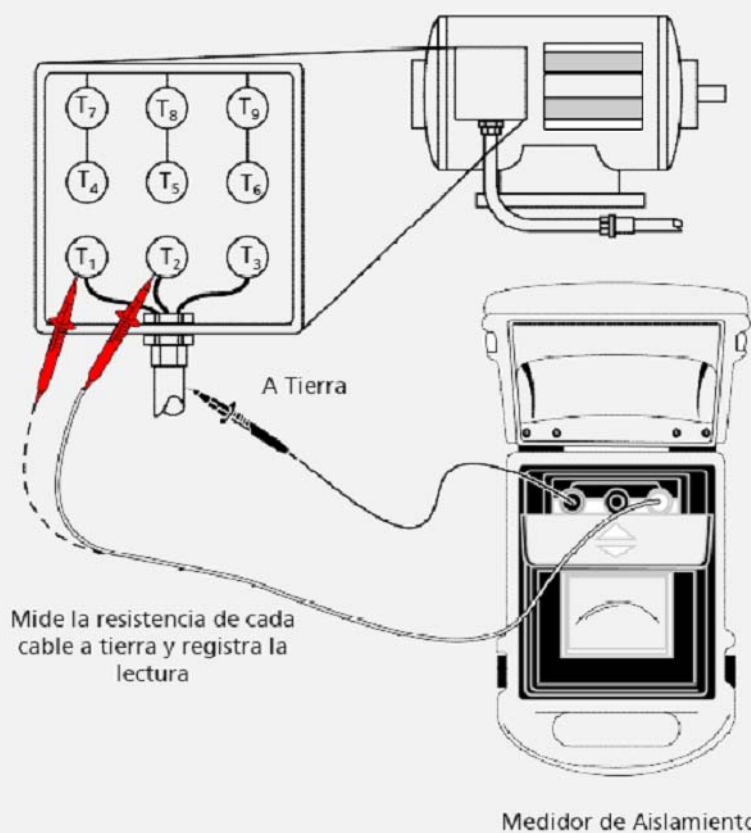


Una ventaja extra de las pruebas de doble lectura, como a veces se le llama, es que proporcionan un panorama más claro, aún cuando la prueba de tiempo corto indica que el aislamiento parece estar en buen estado.

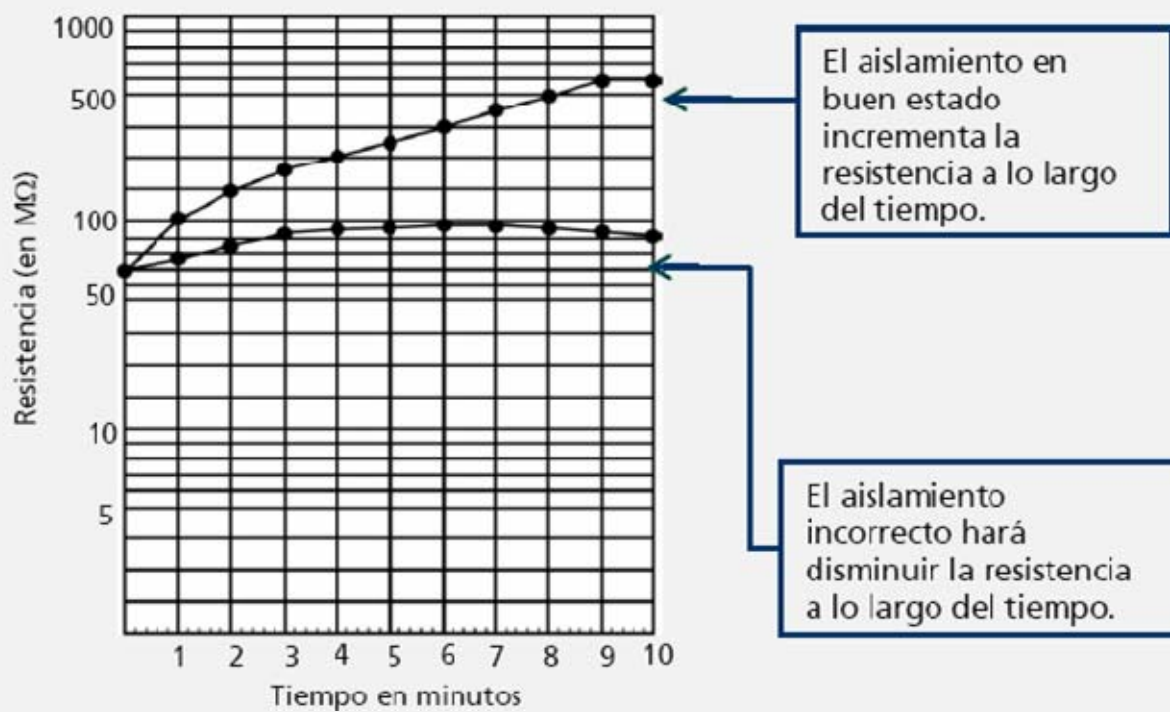
Por otra parte, si la aguja muestra un incremento gradual en el chequeo de los 30 a los 60 segundos, entonces se puede tener la seguridad de que los devanados están en buenas condiciones.

La prueba de tiempo-resistencia hecha en máquinas rotativas grandes, especialmente aquellas con un alto voltaje de operación, requieren rangos de resistencia muy altos y un voltaje de prueba lo más constante posible.

Un instrumento Megger de uso rudo, con alimentación de la línea, cubre estas necesidades de la misma manera. Dicho aparato se adapta más fácilmente a los cables, transformadores e interruptores de dimensiones mayores.



Pruebas de Absorción Eléctrica.



Ensayo de Absorción Dieléctrica.

Se define IP como la relación entre la resistencia de aislamiento (Ra) medida a los 10 minutos y la medida al minuto de aplicada la tensión continua al espécimen.

$$IP = \frac{Ra_{10}}{Ra_1}$$

Otra forma de medir el IP es mediante una fuente de corriente continua estabilizada donde en un amperímetro puede leerse la lectura al minuto y a los 10 minutos, en este caso:

$$IP = \frac{I_1}{I_{10}}$$

Los valores se grafican en un diagrama donde:

En las ordenadas

Valores de Ra

En las abscisas

Tiempo

El aislamiento se encuentra en buen estado cuando el diagrama es una línea recta que aumenta apreciablemente con el tiempo de ensayo. La humedad, contaminación o deterioro conducirán a una línea recta que se elevara, en el tiempo, muy suavemente tendiendo a aplanarse.

Un $IP < 1$ puede indicar excesiva humedad o carbonización sobre o dentro del aislamiento.

EJEMPLO

Si durante la lectura de tiempo corto en una prueba se tiene un valor de 10 MΩ y en el chequeo de doble lectura. La resistencia del aislamiento se mantiene estable mientras se mantiene estable el voltaje durante 60 segundos, esto significa que hay humedad o polvo en los devanados que se están midiendo.



Pruebas durante el Secado de un Equipo.

Cualquier persona involucrada en el mantenimiento de equipo eléctrico, se enfrenta normalmente al peligro de un equipo húmedo con agua fresca. En estos casos simplemente se requiere secar el equipo.

Sin embargo, si el equipo se humedeció con agua salada, primero hay que lavarlo con agua fresca para remover la sal, de otra manera quedará depositada. La sal es un material bastante corrosivo para el metal y la superficie del aislamiento.

Con un poco de humedad, tales depósitos se convierten en excelentes conductores de la electricidad. Además, en caso de que exista grasa y aceite en el aislamiento, éstos se deben eliminar utilizando un solvente adecuado.

Existen varias maneras de secar un equipo, dependiendo principalmente de su tamaño y su maniobrabilidad. Para esto se puede utilizar:

- Un sople de aire caliente.
- Un horno.
- Circulación de corriente a través de los conductores.
- Una combinación de alguna de estas técnicas.

En algunos casos, o con ciertos equipos, puede no ser necesario el secado. Esto se puede verificar con la prueba de aislamiento, siempre y cuando existan lecturas anteriores en el aparato.

Cuando se requiera el secado, dichas lecturas serán de utilidad para determinar el momento en que el aislamiento está lo suficientemente libre de humedad.

Hay que tener en cuenta que el equipo húmedo siempre estará susceptible a una ruptura del aislamiento. Por lo tanto, deberá utilizarse un probador Megger de bajo voltaje (modelos de 100 o 200 V), por lo menos en las primeras etapas del secado.

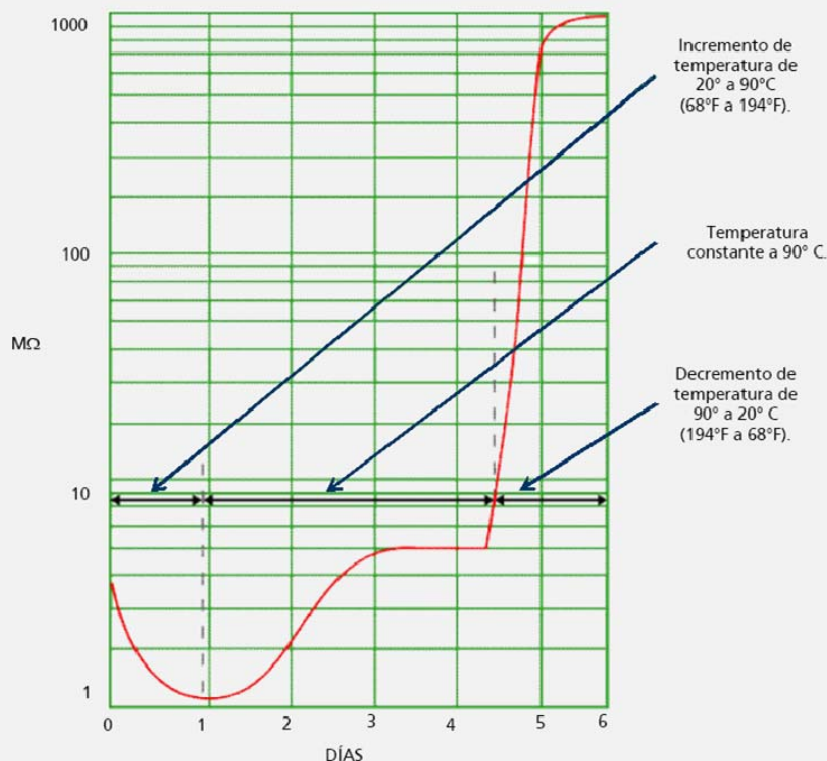
EJEMPLO



Se presenta como ejemplo un motor de 100 HPs que ha sido sumergido en agua. Después de limpiarlo, se le hace una prueba de tiempo corto con un Megger, por medio del cual se obtiene una lectura de $1.5 \text{ M}\Omega$. De antemano, probablemente se llegaría a la conclusión de que está bajo condiciones adecuadas; más aún, si los registros anteriores muestran que la resistencia de aislamiento varía entre 1 y $2 \text{ M}\Omega$, se puede tener la seguridad de que está en buenas condiciones. Por otro lado, si los registros anteriores muestran que los valores normales de resistencia varían entre 10 y $20 \text{ M}\Omega$, entonces se puede afirmar que los devanados del motor aún están húmedos.

En la figura se muestra una curva típica de secado, para la armadura de un motor de corriente continua.

En ésta se puede observar cómo cambia la resistencia de aislamiento en las lecturas que fueron tomadas cada 1 minuto durante cuatro horas.



Curva típica de secado con lecturas de un minuto de la resistencia de aislamiento.

Durante la primera parte de la prueba, la resistencia decrece por el aumento de la temperatura; luego permanece a una temperatura constante, la resistencia comienza a elevarse conforme se realiza el secado.

Finalmente, se eleva a un valor alto, hasta que alcanza la temperatura ambiente de 20 °C (68 °F).

En caso que la prueba de resistencia de aislamiento se realice durante el secado, y además se cuente con las lecturas de pruebas anteriores con la máquina seca, será sencillo saber cuándo se alcanza un valor seguro para el equipo bajo prueba.

Podría preferirse el uso de la prueba de tiempo-resistencia, tomando lecturas periódicamente, utilizando el índice de absorción o el índice de polarización para darle seguimiento al avance del secado.

ACTIVIDAD 22.

Dados los siguientes enunciados marque la o las opciones correctas según corresponda.

1

Un motor de 5000 V nominales deberá tener de aislamiento de

5 MΩ ☐

0,5 MΩ ☐

2

La prueba de absorción es independiente de ...

La temperatura. ☐

El tamaño del equipo. ☐

3

La prueba de tiempo-resistencia hecha en máquinas rotativas grandes, requiere rangos de resistencia ...

Muy altos. ☐

Bajos. ☐

4

Un buen aislamiento debe mostrar un incremento continuo en la resistencia sobre un período de tiempo, del orden de ...

10 a 15 minutos. ☐

5 a 10 minutos. ☐

5

Si el equipo está húmedo deberá utilizarse un probador Megger de ...

Alto voltaje. ☐

Bajo voltaje. ☐

6.3 Medición de Resistencia de Aislamiento con Multivoltaje

Pruebas de Multivoltaje.

Las prácticas de mantenimiento tienden a indicar el valor de la prueba de aislamiento en voltajes de corriente continua a niveles ligeramente mayores que los valores pico del voltaje nominal de corriente alterna del equipo bajo prueba.

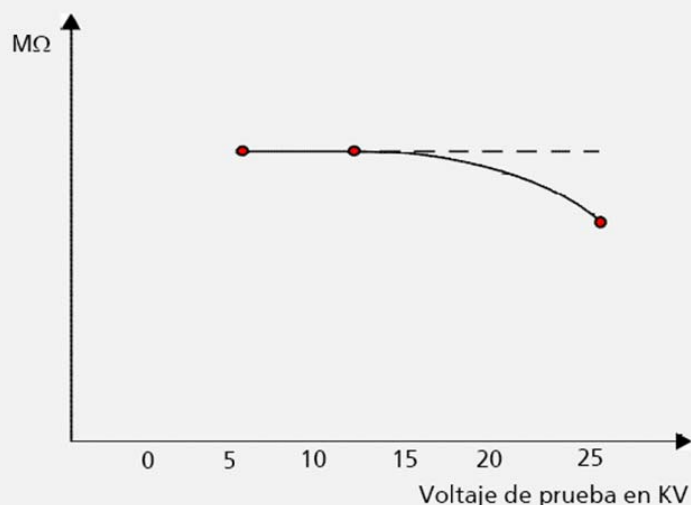
Tales pruebas de corriente continua han mostrado en algunos casos habilidad para revelar, no destructivamente, debilidades incipientes en el aislamiento, que no podrían ser encontrados de otra manera, excepto por medio de la prueba de detección corona, a niveles no destructivos del voltaje corriente alterna de prueba.

La técnica implica la aplicación de dos o más voltajes de corriente continua de prueba, y la observación crítica de cualquier reducción de la resistencia de aislamiento al mayor de los voltajes.

Cualquier reducción marcada o inusual de la resistencia de aislamiento para un incremento prescrito del voltaje aplicado, es una indicación de una debilidad incipiente en la resistencia de aislamiento.

El valor máximo del voltaje que deberá ser usado dependerá en gran medida de la limpieza y de la humedad que se encuentre el aislamiento bajo prueba.

Al hacer las pruebas en el aislamiento a tales voltajes de corriente continua, el método del Óhmetro tiene al menos una ventaja: se puede contar con un instrumento con voltajes fijos prescritos disponibles a través de un switch y con lectura directa en W. Éste es un método más simple y reproducible en el que se tienen disponibles muchos niveles de voltaje.



Curvas de resistencia al aplicar dos voltajes.

RECUERDE



Es importante hacer notar que los méritos de esta técnica surgen de investigaciones recientes que indican que se pueden utilizar voltajes altos de corriente continua para detectar debilidad del aislamiento sin causarle algún daño.

En la figura anterior, el cambio que puede ocurrir en la corriente de fuga, después de que la corriente de absorción ha desaparecido, se muestra graficando en términos de resistencia de aislamiento como resultado de aplicar estos dos voltajes.

Esto es una suposición, pero es una condición poco común en la práctica. Si el aislamiento continua estable a 2500 V, no habrá cambio en el valor obtenido de la resistencia del aislamiento, como se muestra en la extensión punteada de la línea horizontal arriba de la curva.

Cuando aparecen condiciones no lineales a voltajes mayores, estos son indicados en la curva de voltaje-resistencia por la desviación hacia abajo de la curva.

Por lo tanto, la curva muestra la simplicidad de determinar el cambio en la estabilidad del aislamiento usando tres voltajes fijos que son fácilmente reproducibles, cuando se hacen pruebas de tres voltajes como rutina.

Es importante señalar que esta curva indica solamente el cambio de resistencia debido a la corriente de fuga, y no a la corriente de absorción que puede aparecer por un período de tiempo en cada cambio en voltaje. Podría ser necesario esperar un tiempo apreciable para que desaparezca la corriente de absorción antes de tomar la lectura.

Para comprender mejor la técnica de hacer pruebas de resistencia de aislamiento con dos o más voltajes, se sugiere seguir los siguientes pasos, tomando como ejemplo un motor industrial o de tracción de voltaje nominal entre 300 y 1000 V:

- 1 Se debe efectuar una medición de un minuto con el Megger a 500 V, para que sirva de referencia para mediciones subsecuentes.
- 2 Se debe realizar una operación de limpieza en el motor, para después efectuar una segunda medición a 500 V, para comprobar la efectividad de la limpieza.
- 3 Si el valor de la resistencia de aislamiento de un minuto es anormal, o si la relación de la resistencia de aislamiento de 60 seg /30 seg no es mayor a la unidad, entonces es conveniente efectuar una operación de secado antes de usar un voltaje mayor. Por ejemplo, si se lleva a cabo una prueba a 1000 V y la relación de resistencia es apreciablemente menor que el de la prueba de 500 V, entonces se deberá realizar la operación de secado. Por otra parte, si los valores de las pruebas de 1000 y 500 V son aproximadamente iguales, es razonable suponer que la operación de secado puede ser diferida hasta después del siguiente paso.
- 4 Efectuar la prueba con el Megger a 2500 V. Si no existe una diferencia apreciable entre los valores de las pruebas a 500 V y 2500 V, existe una buena evidencia de que el motor bajo prueba esta en buenas condiciones, por lo menos en lo que se refiere al aislamiento.

Por otra parte, si existe una diferencia apreciable entre los dos, se tendrá una buena evidencia de que se requiere un mejor reacondicionamiento de la máquina.

Si el aislamiento falla en la prueba de 2500 V, después de haber seguido los pasos 1, 2 y 3, se puede concluir que el motor en cuestión, muy probablemente hubiera fallado en servicio, aún sabiendo que se intentó su reacondicionamiento en base a pruebas de bajo voltaje solamente.

El método de multivoltaje, también puede ser útil para determinar el grado de humedad existente en el aislamiento de motores o equipo con un voltaje nominal equivalente o mayor al voltaje más grande disponible en el probador Megger en uso.

EJEMPLO



Si la resistencia de aislamiento se prueba en base a lecturas de corto tiempo a 500 V, y luego a un mayor potencial (2500 V, voltaje nominal del equipo bajo para prueba), un valor más bajo en la resistencia de aislamiento para la prueba del voltaje de CD mayor, indica usualmente la presencia de humedad.

Los voltajes aplicados deberán cumplir con una relación de 1 a 5. La experiencia ha indicado que una diferencia de un 25% en los valores de la resistencia de aislamiento, con una relación de los voltajes de prueba 1 a 5, se debe usualmente a la presencia excesiva de humedad.

Este método no se basa en el método de absorción dieléctrica. Al igual que con las mediciones de tiempo-resistencia, el método de multivoltaje de prueba de resistencia de aislamiento tiene un mayor valor cuando se lleva a cabo periódicamente o en base a un programa de mantenimiento.

Método de Pasos de Voltaje.

En este método se requiere de un Megger de multivoltaje para aplicar dos voltajes en pasos, por ejemplo, 500 V de corriente continua y luego 1000 V de corriente continua.

Es importante poner atención a cualquier reducción en la resistencia de aislamiento para el voltaje más alto. Si la resistencia es más baja, es un síntoma de la debilidad del aislamiento que se muestra solamente para el voltaje más alto.

La siguiente figura muestra un ejemplo en el que, en lugar de incrementar progresivamente el voltaje, primero se prueba a un bajo voltaje, 500 V, y luego, después de descargar la muestra, se prueba a un voltaje mayor de 2500 V.



Curvas típicas con la prueba de pasos de voltaje.

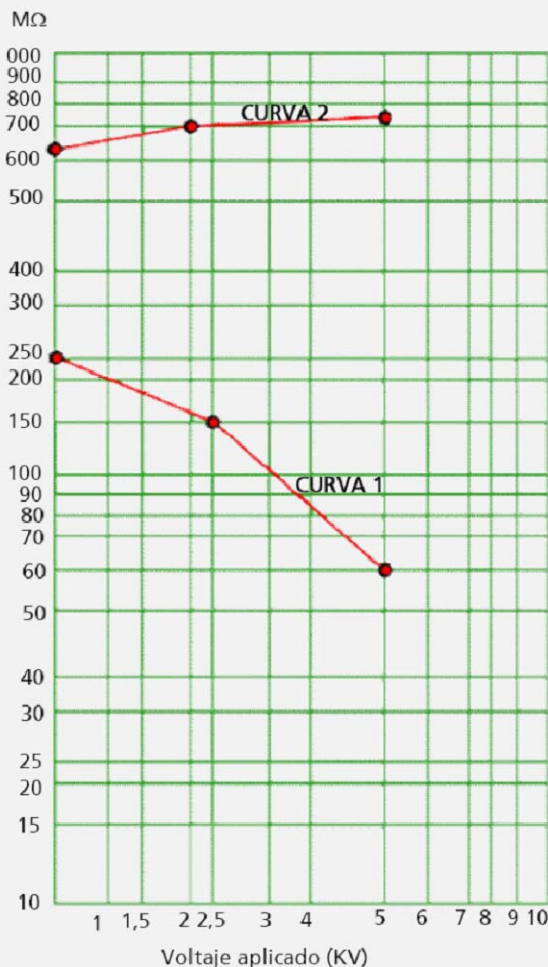
Cualquier diferencia entre las dos pruebas, en términos de $M\Omega$, será un signo de debilidad de aislamiento para el voltaje mayor, condición que se deberá investigar posteriormente. Debido a que la condición dentro de la muestra deteriora la gráfica para el voltaje mayor, ésta tendrá una reducción en $M\Omega$ respecto a la del voltaje menor, así como su pendiente ascendente será menor.

La humedad y la suciedad en el aislamiento son usualmente revelados mediante pruebas a voltajes mucho menores que los de servicio normal del equipo bajo prueba. Sin embargo, los efectos del daño mecánico en aislamientos adecuadamente limpios no pueden ser revelados aplicándoles dichos voltajes de bajo nivel.

Ahora, cuando el voltaje se incrementa en pasos para producir esfuerzos eléctricos que se aproximan o exceden aquellos que tienen en servicio, los puntos de debilidad localizados tienen una influencia cada vez mayor, sobre la resistencia total del aislamiento.

La resistencia de tales fallas locales decrece generalmente de una manera rápida, conforme al esfuerzo eléctrico aplicado a ellas se incrementa más allá de ciertos límites.

En la siguiente figura se presentan las curvas de dos lecturas consecutivas con el Megger, donde se muestra claramente la aguda caída de la resistencia.



- La **curva 1** muestra una caída clara en la resistencia conforme se incrementa el voltaje de prueba, lo cual indica un problema.
- La **curva 2** muestra las condiciones encontradas en el mismo devanado del motor, después de que se hizo la limpieza, se horneó y se impregnó de barniz.

Curvas de prueba por el método de pasos de voltaje.

Cada paso de voltaje, hay que mantenerlo constante por solamente 60 segundos. Este período corto, no afectará la tendencia del cambio de resistencia sin embargo, cada período de prueba, deberá ser el mismo para un equipo dado.

Puede ser que el total de la resistencia de absorción no haya desaparecido totalmente, pero las mediciones serán hechas bajo las mismas bases y por lo tanto serán comparables.

Los resultados serán **independientes** del material del aislamiento y de su temperatura, ya que lo que se puede observar son cambios en la resistencia de aislamiento y no en sus valores absolutos.

Al igual que con los métodos de tiempo corto y de lecturas instantáneas, el método de pasos de voltaje es más efectivo si se utiliza en base a un programa que asegure la periodicidad de las pruebas.

RECUERDE

El método de pasos de voltaje es especialmente adecuado para detectar contaminación por humedad u otro elemento, en máquinas cuyo voltaje nominal sea igual o mayor que el máximo voltaje del Megger. En otras palabras, aunque el Megger no aplique esfuerzos eléctricos a la máquina más allá de su voltaje nominal, una prueba de dos voltajes podrá, en la mayoría de los casos, revelar la presencia de tales contaminantes.



ACTIVIDAD 23.

A partir de los conceptos desarrollados para las pruebas de Multivoltaje realice la actividad que se encuentra a continuación.



Responda las siguientes preguntas.

1

¿Cuál es la forma de encontrar las debilidades incipientes en el aislamiento? ¿Es única?

2

Si el valor de la resistencia de aislamiento de un minuto es anormal, ¿Qué operación es conveniente antes de usar un voltaje mayor?

3

¿A qué fenómeno se debe una diferencia de un 25% en los valores de la resistencia de aislamiento, con una relación de los voltajes de prueba 1 a 5?

4

En la prueba por el método de pasos de voltaje ¿Son independientes los resultados del material de aislamiento? ¿Y de su temperatura?

5

¿Qué ocurre con la resistencia a lo largo del tiempo si el aislamiento es incorrecto?

6.4 Casos Prácticos

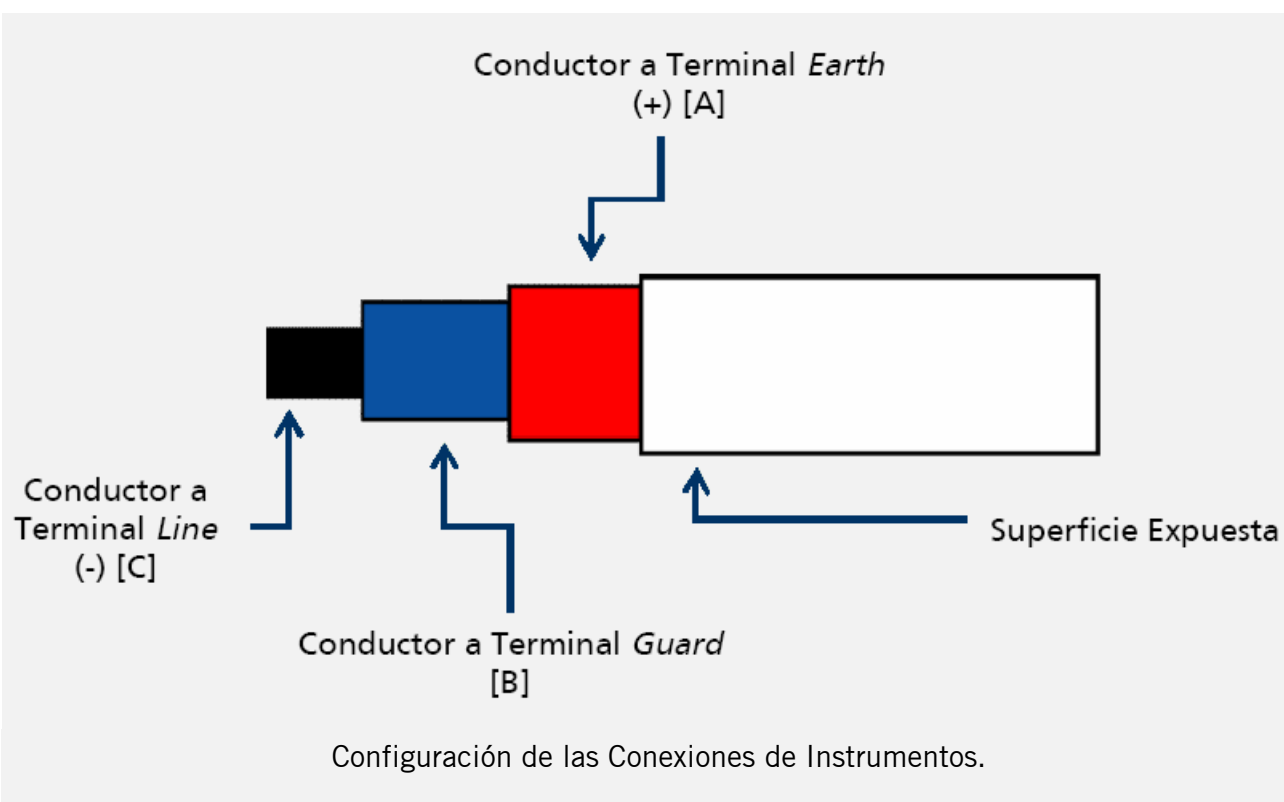
Prueba de Malla de 3 Terminales.

Todos los probadores Megger de rango de 1000 MΩ o mayores, están equipados con la terminal Guard.

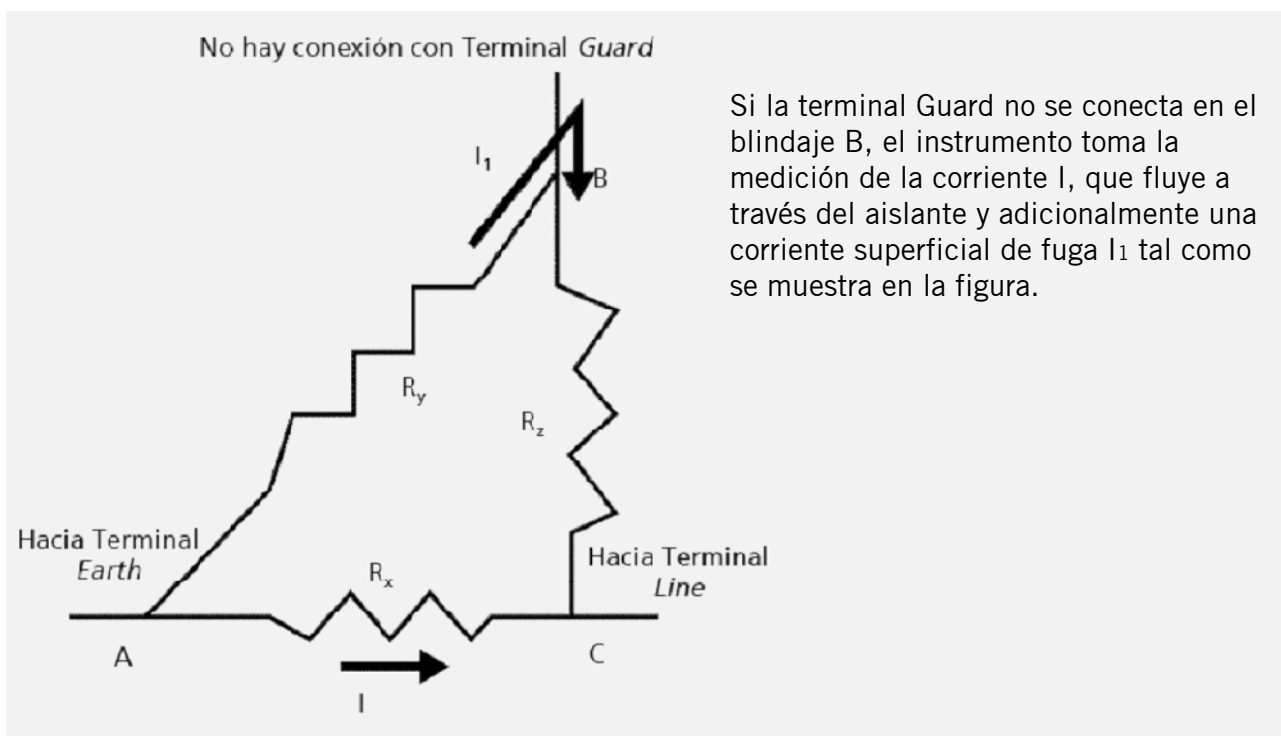
El propósito principal de esta terminal es el de proporcionar facilidades para llevar a cabo la llamada prueba de malla de tres terminales, de tal manera que la resistencia de uno de los dos caminos posibles se puede determinar directamente.

La terminal Guard se utiliza para mediciones de valores de resistencia grandes y para la estabilización de lecturas.

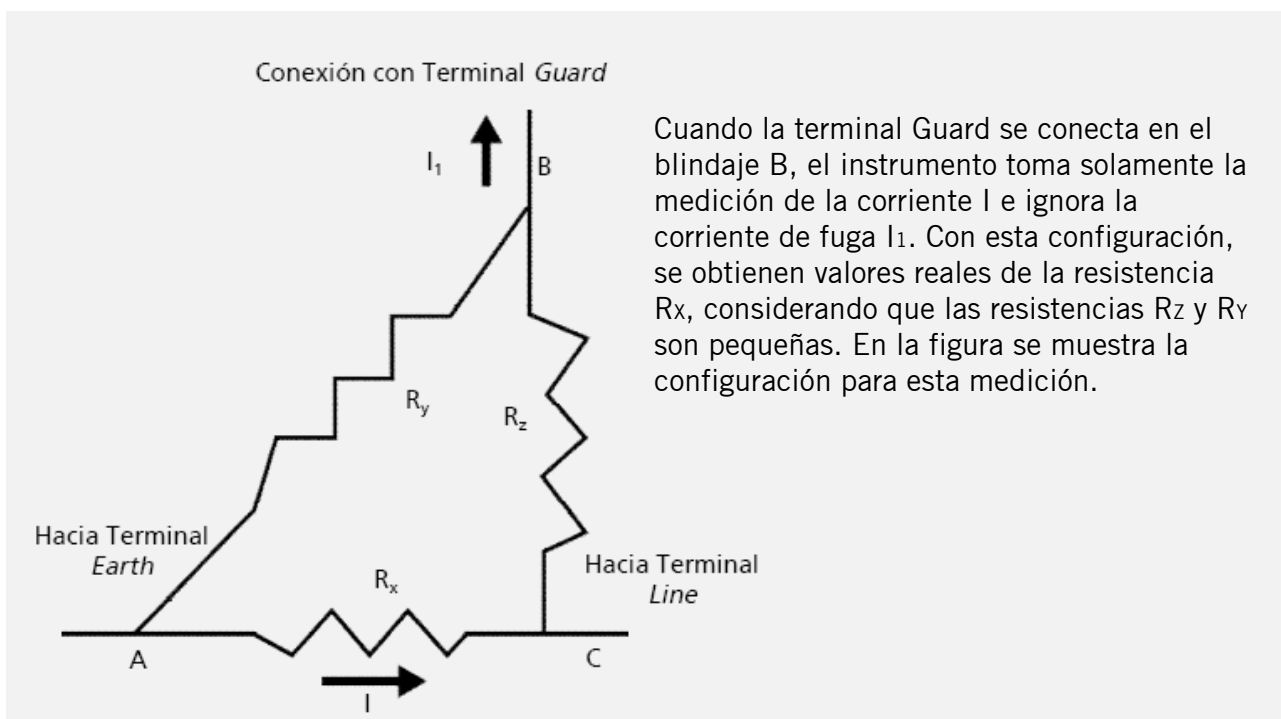
Además, la terminal Guard tiene el propósito secundario de proporcionar una fuente de voltaje de corriente continua de buena regulación y de una capacidad de corriente limitada.



Terminal Guard sin conexión con Blindaje B.



Terminal Guard con conexión con Blindaje B.



El aislamiento de todo aparato eléctrico tiene dos caminos de fuga de corriente uno a través del material aislante y otro sobre su superficie.

Al insertar una tercera terminal de prueba en el camino de la fuga superficial, ésta es separada en dos partes, formando una malla de tres terminales.

Ejemplos de pruebas para diversos equipos.

Interruptores

- Después de desconectar el interruptor de las líneas de alimentación, se revisa cada terminal del interruptor a tierra, colocando la punta positiva del Megger en la terminal del interruptor.
- Después de esto, se abre el interruptor y se mide la resistencia entre sus extremos.
- Si el interruptor es de aceite, la causa de la corriente de fuga podría ser el aceite contaminado, permitiendo el paso de corriente aún cuando esté abierto. En interruptores de operación seca, la causa de una corriente de fuga podría ser ocasionada por la suciedad o grasa.

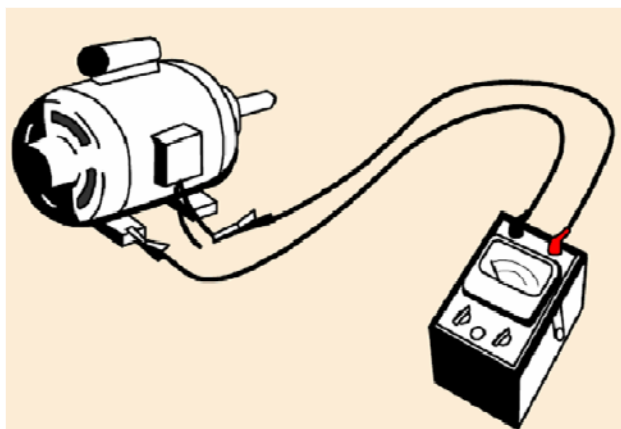
Motores

- Primeramente se debe desconectar el motor de la alimentación, ya sea abriendo un interruptor o desconectando las terminales del motor. Además de la resistencia de aislamiento, se estará midiendo la resistencia del motor, la de los cables y la del interruptor.
- La terminal positiva del Megger se conecta a los devanados del motor y la negativa a la carcasa o tierra del motor.

EJEMPLO



Ejemplo de prueba de un motor.

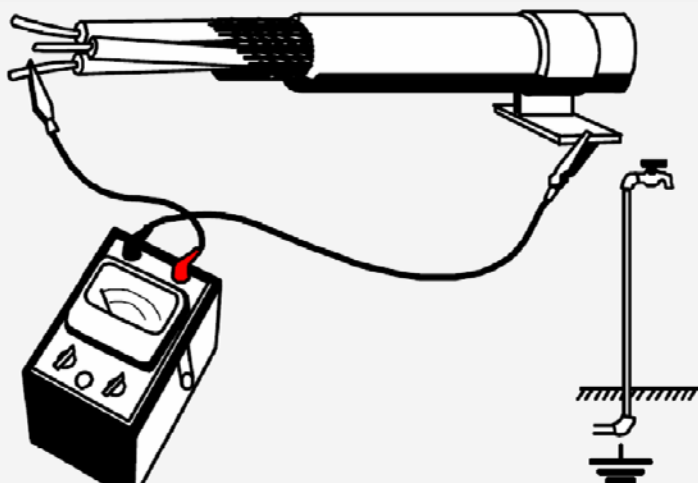


Cables y Multiconductores.

Se debe revisar que no exista equipo conectado que pudiera resultar afectado debido al voltaje aplicado por el Megger.

Se mide resistencia de aislamiento entre:

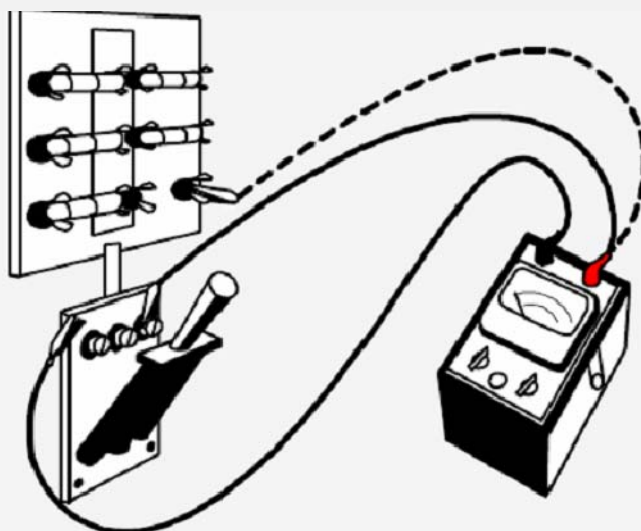
- Conductores.
- Conductores y Blindaje.
- Conductores y Tierra.



Prueba a conductores

Seccionador.

Se desconecta la cuchilla del voltaje de alimentación y se determina la resistencia de aislamiento a tierra conectando la punta positiva del Megger a la terminal de la cuchilla, y la negativa a la estructura o algún tubo Conduit aterrizado.



Prueba de seccionador

Devanados de un Transformador.

Se puede usar un Megger para probar la resistencia de un devanado del transformador a tierra. Esta prueba puede usarse para ayudar a diagnosticar posibles cortocircuitos en el transformador.

También puede ayudar a determinar la resistencia aislante de aceite del transformador.

ATENCIÓN



Una medida baja de resistencia a tierra puede significar un problema.

La prueba de la resistencia con el Megóhmetro es mucho más valiosa cuando se hace rutinariamente. Las medidas de la resistencia de un transformador pueden bajar continuamente durante el uso del transformador. La disminución de la resistencia puede ser causada por el deterioro del aceite del transformador o por el aislamiento de los devanados.

Si se observa la tendencia de varias medidas tomadas durante un período de tiempo, es posible descubrir problemas que no aparecerían en el resultado de una sola prueba. En este sentido, tendencia significa la dirección que siguen las variaciones graduales en una serie de medidas.

TENDENCIA ASCENDENTE	TENDENCIA DESCENDIENTE
Significa que ha ocurrido un aumento gradual en una cantidad que se ha estado midiendo a través de un período de tiempo.	Significa que ha ocurrido una disminución gradual en una cantidad que se ha estado midiendo a través de un período de tiempo.

El procedimiento para probar la resistencia de un devanado del transformador a tierra puede incluir los pasos siguientes:

- 1 Consulte las instrucciones del fabricante antes de usar el Megger. El fabricante especifica el nivel de voltaje para la prueba y da las instrucciones para conectar los conductores de prueba. El probador no debe encenderse hasta que el usuario no esté listo para comenzar la prueba.
- 2 Quite la conexión a tierra de lado del transformador que va a probar. Esta prueba no se puede hacer si el devanado esta conectado a tierra.
- 3 Revise el otro lado del transformador para comprobar que está conectado a tierra. Debe estar conectado a tierra para drenar a tierra cualquier voltaje inducido, de manera que no afecte los resultados de la prueba.
- 4 Conecte los conductores de prueba según las instrucciones del fabricante.
- 5 Ajuste el voltaje a la cantidad apropiada para la prueba.
- 6 Coloque el ajuste del multiplicador en la posición correcta para la prueba..
- 7 Encienda el Megger.
- 8 Ajuste el conmutador o selector rotatorio de tres posiciones en la posición de carga. Cuando la aguja en la escala deje de moverse, ponga el conmutador en la posición de medida.
- 9 Observe la escala de resistencia. Si la aguja no se queda cerca del centro de la escala, cambie el ajuste del multiplicador hasta que se obtenga una medida exacta.
- 10 Descargue cualquier voltaje que pueda haberse acumulado durante la prueba.
- 11 Apague el Megger.
- 12 Anote los resultados de la prueba.

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 6.
A continuación se desarrollará el capítulo Medición de Capacidades e Inductancias.



Medición de Capacidad e Inductancia

TEMAS DEL CAPÍTULO 7

7.1 Instrumentos de Medición	154
7.2 Medición del Factor de Pérdidas	158

En este capítulo se desarrollarán las características y utilidades de los instrumentos de medición para el cálculo de capacidades e inductancias. Asimismo, se explicará el proceso para el cálculo de la medición del factor de pérdidas.



7.1 Instrumentos de Medición

Galvanómetro Balístico.

Para medir capacidades se pueden utilizar galvanómetros balísticos aplicando la misma tensión primero al capacitor C_x , cuya capacidad se desconoce y después a un condensador patrón C_N , midiendo a continuación con el galvanómetro la carga o descarga de dicho condensador.

La relación entre las desviaciones de la aguja del galvanómetro α_x y α_N es generalmente igual a la diferencia existente entre las capacidades. Los valores medidos dependen también del ajuste de la sensibilidad n del galvanómetro, de forma que la capacidad que se desea medir (C_x) se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$C_x = C_N \cdot \frac{n_x \cdot \alpha_x}{n_N \cdot \alpha_N}$$

ATENCIÓN



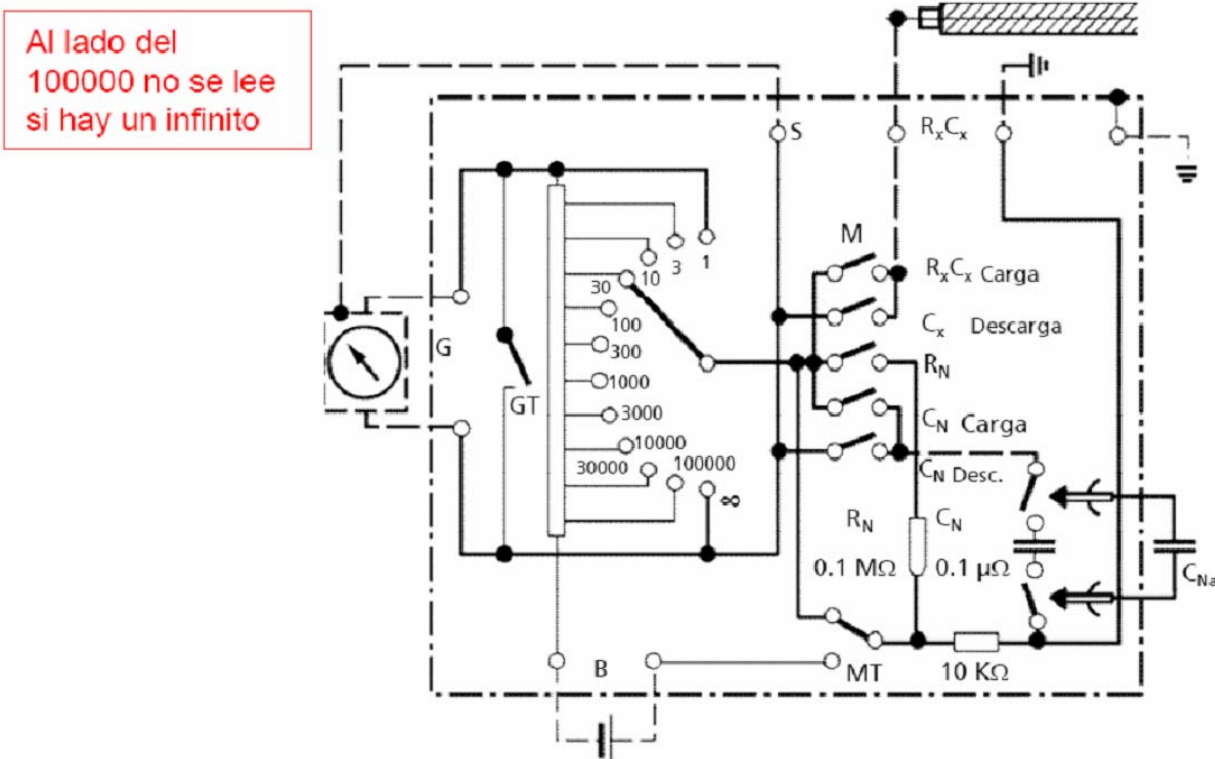
En este tipo de mediciones hay que procurar que el impulso balístico sea siempre de breve duración, es decir, tiene que haber terminado antes que la aguja del galvanómetro se desvíe considerablemente. Si esta condición no se cumple al medir grandes capacidades, dado que el tiempo de carga o descarga del condensador es mucho mayor que el período de oscilación del galvanómetro, hay que considerar un factor de corrección que se puede tomar de las características adjuntas a los aparatos. Si, igualmente, se utiliza un condensador de patrón externo (cuya capacidad sea aproximadamente igual a la que se pretende medir) los errores surgidos al ajustar a la capacidad patrón C_N y al medir son iguales y, por consiguiente, no influyen en el resultado.

Megómetro Microfaradímetro.

Las mediciones de aislamientos y capacidades, por ejemplo, en cables, se realizan convenientemente con un megómetro microfaradímetro. Tanto la resistencia de aislamiento como la capacidad de un cable se pueden determinar comparándolas con los patrones incorporados ($0,1\text{ M}\Omega$ y $0,1\text{ }\mu\text{F}$).

La comparación de capacidades como medición de carga o de descarga, se puede efectuar también con un patrón externo. Mediante un selector apropiado se puede conmutar sin modificar el circuito externo de un tipo de medida al otro y de la operación de comparación (o calibrado) y la de medida.

El siguiente circuito se usa para galvanómetros de indicador luminoso con márgenes de medida comprendidos entre $10\text{ k}\Omega$ y $0,3\text{ T}\Omega$ y de aproximadamente 750 pF a 11 mF , así como galvanómetros de espejo con márgenes de medida comprendidos entre $25\text{ k}\Omega$ y $4\text{ T}\Omega$ y de 1000 pF a $12\text{ }\mu\text{F}$.



- M Selector tipo medida.
- M_T Pulsador medida.
- GT Pulsador galvanómetro (cortoc.).
- R_N Resistencia patrón.
- C_N Conductor patrón.
- C_{Na} Conductor patrón externo.
- R_x Resistencia aislante a medir.
- C_x Conductor cuya capacidad se desea medir.

Puente de Medida RLC.

Sirve para medir

Resistencias óhmicas comprendidas entre $0,1 \Omega$ y $110 \text{ M } \Omega$.Autoinductancias e inductancias mutuas sin núcleo de hierro, comprendidas entre $10 \mu\text{H}$ y 1100 H .Capacidades de 10 pF a 11 mF .

Puente de Medida RLC

Además de lo anteriormente mencionado, el puente de medida RLC se puede emplear también conectando patrones externos para efectuar mediciones comparativas de las magnitudes indicadas y mediciones porcentuales entre el “valor normal -20%” y “valor normal +20%” (2 márgenes de medida).

El dispositivo de medida está compuesto esencialmente por un puente, en el que dos brazos están complementados con resistencias reactivas para medir inductancias, capacidades y resistencias aparentes.

La magnitud de medida desconocida forma uno de estos dos brazos. En la diagonal (derivación neutra) se encuentran un amplificador de medida y un indicador de sintonización.

En las mediciones de inductancias y capacidades se puede determinar la magnitud aproximada del factor de pérdidas mediante un ajuste de fases.

La exactitud de la medición viene determinada por la precisión de los patrones incorporados o conectados exteriormente, y no depende de la sensibilidad de indicación ni de las fluctuaciones de la tensión de medida.



Capacímetros Digitales

ACTIVIDAD 24.

Según los conceptos repasados sobre instrumentos de medición, complete la siguiente actividad.



Responda las siguientes preguntas.

1

¿Para qué sirve el puente de medida de RLC?

2

Ud. debe medir la capacidad de un cable, ¿qué instrumento utilizaría?

3

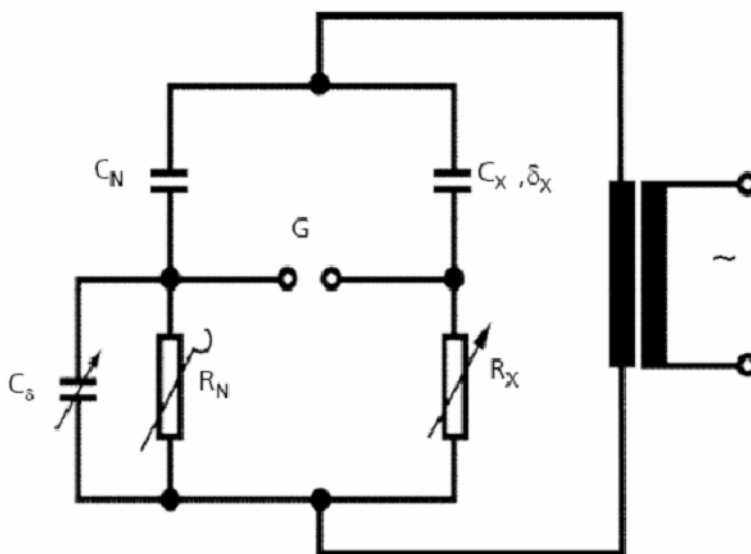
¿De qué depende la exactitud de la medición?

7.2 Medición del Factor de Pérdidas

Para medir la capacidad C_x , el factor de pérdidas $\tan \delta_x$ y la variación relativa de la capacidad $\Delta C_x/C_{x0}$ de condensadores, cables, líneas aéreas y materiales aislantes (entre electrodos) se utiliza el puente de medida universal $C \tan \delta$, el cual es apropiado para mediciones aisladas y comprobaciones en serie.

En caso que el ajuste del puente sea totalmente automático, es posible registrar los valores de $\tan \delta_x$ y $\Delta C_x/C_{x0}$, con impresores de líneas. También se puede controlar en oscilógrafo de rayos catódicos, durante la medición, el comienzo de la descarga de efluvios en el objeto a comprobar. Asimismo se puede registrar el valor de umbral de la tensión de prueba, indicado en el aparato.

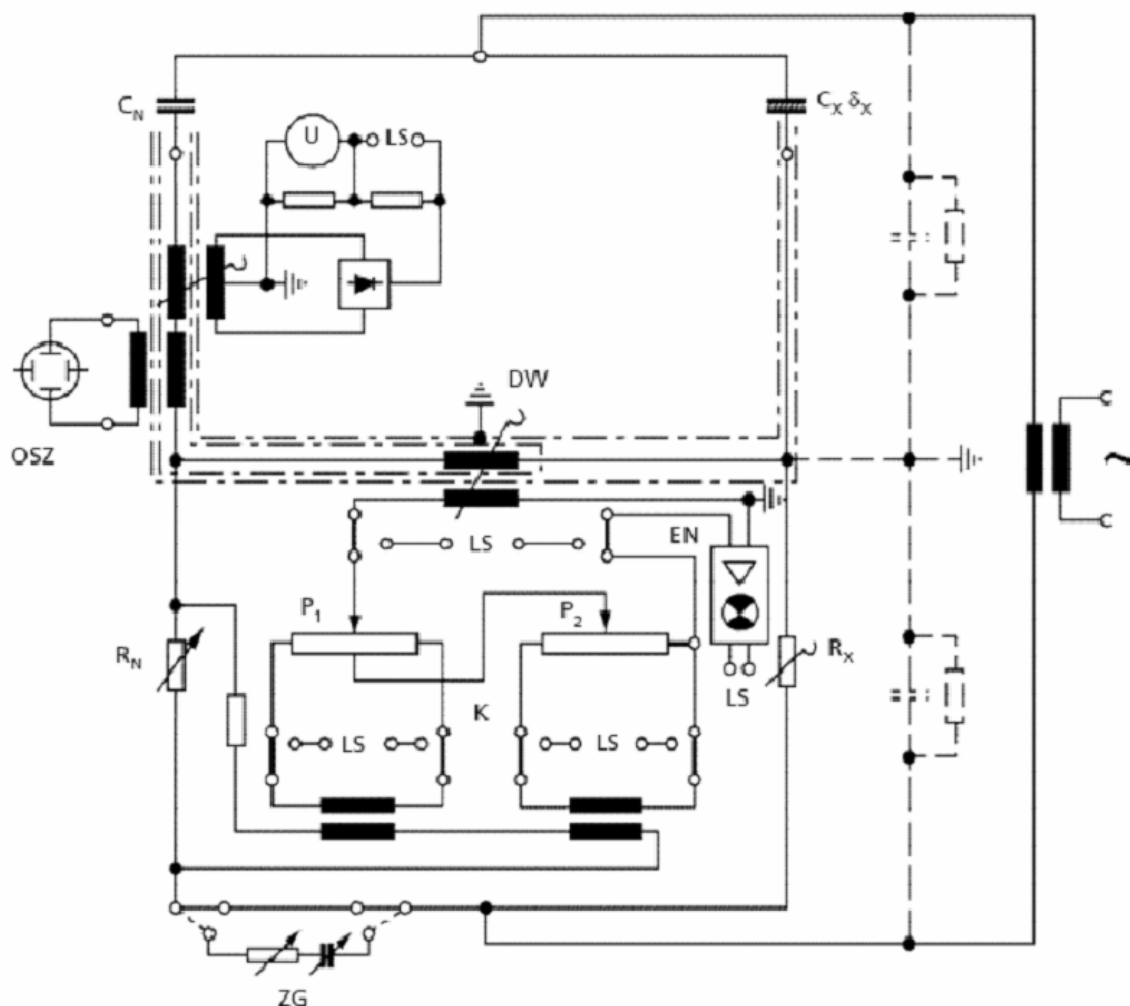
El puente de medida universal $C \tan \delta$ equivale en principio a un Puente Schering para mediciones C_x y $\tan \delta_x$ en el cual el ajuste de la capacidad se efectúa mediante las resistencias de precisión R_N (de graduación decádicas) y R_x , y el ajuste del ángulo de pérdidas con el condensador de capacidad $C\delta$.



- C_N Conductor patrón sin pérdidas.
- C_x Conductor cuya capacidad de descarga a medir.
- δ_x Ángulo de pérdidas a medir.
- R_N , R_x Resistencia de ajuste de la capacidad.
- $C\delta$ Conductor ajuste del ángulo de pérdida.
- G Indicador de cero.

$$C_x = C_N \cdot \frac{R_N}{R_x}$$

$$\tan \delta_x = R_N \cdot \omega \cdot C_\delta$$



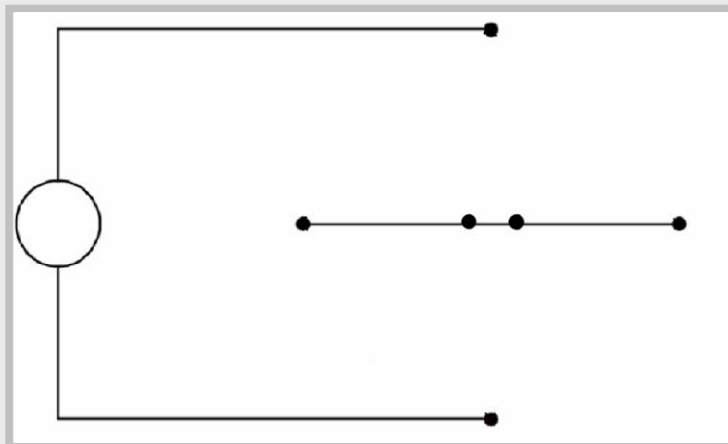
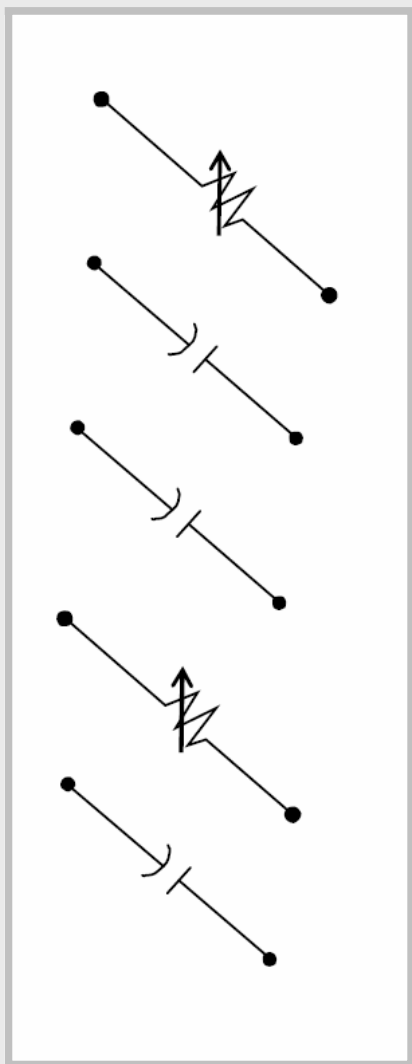
Puente de medida universal, de C y de $\tan \delta$, circuito básico

C_N	Capacitor Patrón sin pérdidas	$P1, P2$	Potenciómetro. de compensación
C_x	Capacitor que se desea medir	LS	Acometida. Dispositivo. Registrador.
δ_x	ángulo de pérdidas a medir	U	Valor cresta tensión de Prueba.
R_N, R_x	Resistencia Ajuste de la capacidad	OSZ	Oscilógrafo
DW	Transformador diagonal	ZG	aparato adicional
EN	Indicador Electrónico. de cero		
K	Compensador complejo		

ACTIVIDAD 25.

A partir de lo desarrollado sobre la medición del factor de pérdidas resuelva el siguiente ejercicio.

Dadas las siguientes figuras, arme el circuito correspondiente que represente el Puente de Schering.

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 7.

A continuación se desarrollará el capítulo Medición de Campos Magnéticos y Frecuencias.



Medición de Campos Magnéticos y Frecuencias

TEMAS DEL CAPÍTULO 8

8.1 Medición del Campo Magnético	162
8.2 Medición de Frecuencia	163

A continuación se describirán los distintos métodos de medición para campos magnéticos y para frecuencias.



8.1 Medición del Campo Magnético

Las mediciones de campos magnéticos con bobinas móviles y generadores de medida se basan en la Ley de Faraday.

Éstas pueden ser:

Bobina Móvil

En el primer caso se introduce una pequeña bobina en el punto del campo que se desea medir y se retira rápidamente del mismo. El impulso de tensión inducido se evalúa con un galvanómetro balístico.

Generador de Medida

Su bobina de prueba gira en el campo magnético con una velocidad definida, a la que se puede trabajar más cómodamente. La exactitud depende principalmente de la constancia de la velocidad de giro. Sin embargo, la cabeza medidora, relativamente grande, no se puede emplear en todas partes.

Los llamados **efectos galvanomagnéticos**, que tienen lugar en conductores inmóviles en un campo magnético a través de los cuales fluye la corriente, ofrecen otras posibilidades para medir la intensidad del campo magnético. La resistencia óhmica del bismuto depende del campo magnético (esta dependencia es aún mayor en algunos compuestos semiconductores de reciente desarrollo). No obstante, de esta forma **no se puede registrar el sentido del campo magnético**.

Para aprovechar el efecto Hall se pueden construir sondas de tamaño muy reducido, que son muy apropiadas para medir la intensidad de los diversos puntos de un campo magnético, registrando al mismo tiempo el sentido del mismo.

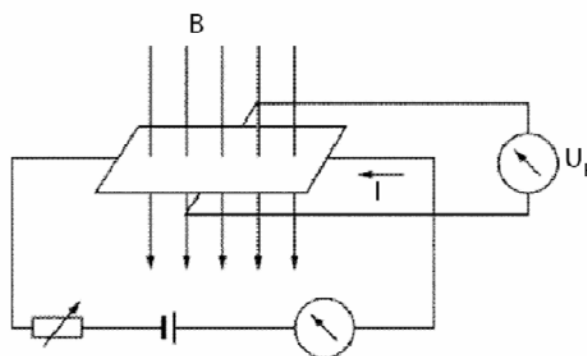
En la figura se muestra el principio de este método de medición. La intensidad de la corriente de mando I del generador Hall se ajusta a un valor determinado. La inducción magnética B se determina midiendo la tensión Hall U_H , según la fórmula:

$$B = \frac{U_H}{I} \cdot \frac{d}{R_H}$$

Donde:

d = espesor del generador Hall.

R_H = la constante de Hall.



Principio de medida del campo magnético con sonda Hall.

8.2 Medición de Frecuencia

Para medir frecuencias comprendidas en el margen de la **corriente alterna** utilizada en la técnica (hasta varios centenares de hertzios) son apropiados los **frecuencímetros de lengüetas** provistos de un dispositivo de vibración. Estos aparatos son prácticamente insensibles a las influencias de campos externos y dependen sólo en un grado muy reducido de la forma de la corriente alterna y de las fluctuaciones de la tensión.



Para los frecuencímetros de aguja y, en especial, para los registradores de frecuencia se han desarrollado circuitos de medida que generalmente se basan en el método de carga de un condensador. Este método consiste en que un condensador se carga a tensión constante durante cada período de la corriente alterna y seguidamente se descarga a través de un instrumento de medida. La energía de los impulsos de descarga permanece constante, de forma tal que el valor medio de la corriente indicado por el instrumento depende únicamente de la frecuencia.

La carga y la descarga del condensador se pueden mandar con diodos entre los cuales los del tipo Tener mantienen constante la tensión de carga.

Para un estrecho margen de frecuencias a ambos lados de un valor teórico se utilizan también diferentes dispositivos de medida con circuitos de resonancia.

Mediante contadores electrónicos se pueden contar períodos de la corriente alterna durante un tiempo determinado.

El valor de la frecuencia se puede transmitir a indicadores de cifras o a otras unidades para su ulterior elaboración.

ACTIVIDAD 26.

Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas.

1

Los efectos galvanomagnéticos tienen lugar en conductores móviles.

Verdadero ☐Falso ☐**2**

Los frecuencímetros de aguja se basan en el método de carga de un condensador.

Verdadero ☐Falso ☐**3**

En la medición con bobina móvil el impulso de tensión inducido se evalúa con un galvanómetro balístico.

Verdadero ☐Falso ☐**4**

La frecuencia se mide en corriente continua.

Verdadero ☐Falso ☐**5**

Las mediciones de los campos magnéticos se basan en la ley de Ohm.

Verdadero ☐Falso ☐**6**

Una vez tomado el valor de la frecuencia se puede trasladar a otros indicadores para su elaboración.

Verdadero ☐Falso ☐**7**

Si se utiliza el efecto Hall para medir un campo magnético no se podrá conocer el sentido del campo.

Verdadero ☐Falso ☐**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 8.

A continuación se desarrollará el capítulo Ejecución de Aparatos Eléctricos de Medida.



Ejecución de Aparatos Eléctricos de Medida

TEMAS DEL CAPÍTULO 9

9.1 Reglas Generales	166
9.2 Dispositivos de Medida	168
9.3 Contrastación de Aparatos de Medida	179

En este capítulo se aborda el mecanismo y utilización de los diferentes aparatos eléctricos de medida.



9.1 Reglas Generales

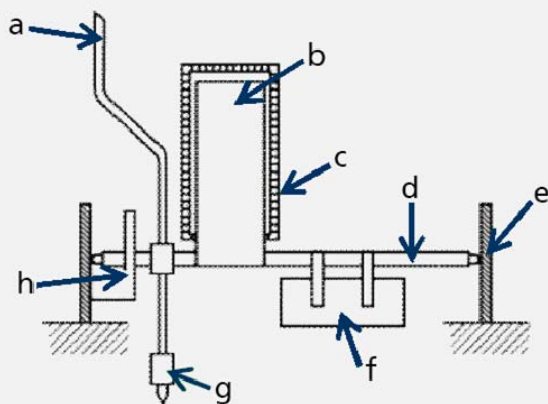
El dispositivo de medida de un instrumento eléctrico aprovecha una propiedad física de la magnitud correspondiente, para compararla con valores prefijados mediante el diseño y ajuste del instrumento.

Un dispositivo de medida se compone esencialmente de un elemento motor y de partes, cuyo movimiento o posición constituyen una medida de la magnitud cuyo valor se desea conocer.

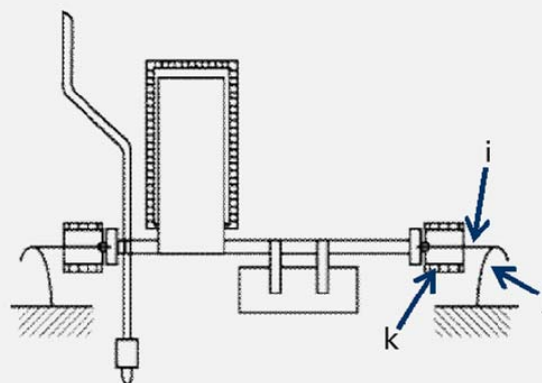
Las partes móviles tienen que estar apoyadas de tal forma que el **rozamiento sea mínimo**.

En caso que las partes móviles se encuentren suspendidas por un hilo o cinta tensora (galvanómetro), al torcerse proporcionan la fuerza de reposición necesaria para regresar a la posición original. Estas partes pueden utilizarse al mismo tiempo para conducir la corriente.

En caso de suspensión de pivotes, se incorporan muelles de espiral adicionales para dichos fines.



Apoyo sobre pivote



Suspensión de cinta tensora

- a. Aguja indicadora.
- b. Aleta de amortiguación.
- c. Cámara de amortiguación.
- d. Eje.
- e. Cojinete.
- f. Hierro móvil.

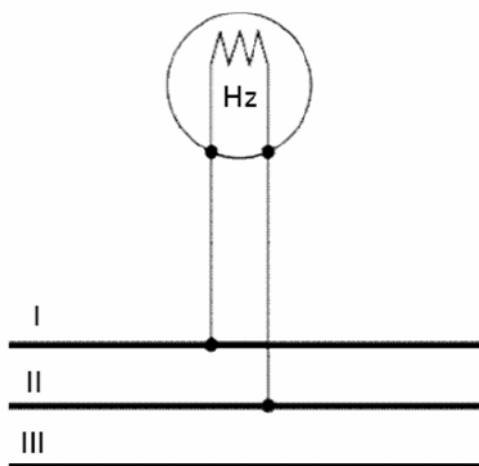
- g. Pesas de compensación.
- h. Muelle.
- i. Cinta tensora.
- j. Muelle tensor.
- k. Soporte.

Disposición de los órganos móviles en sistemas de medida.

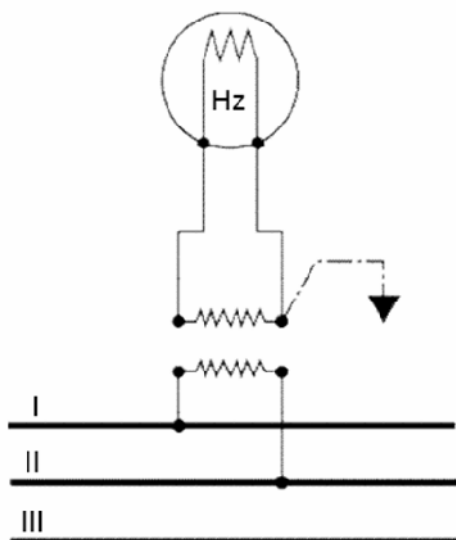
A fin que el dispositivo de medida vuelva a su posición de reposo con la debida rapidez, después de una variación del valor de medida, se precisa un elemento adicional de amortiguación de las oscilaciones. Por regla general, se limita a un 20 % de la escala la primera sobre-oscilación que se produce al conectar un valor de medida que equivale a las dos terceras partes de la longitud de dicha escala.

ATENCIÓN

El tiempo que precisa la aguja indicadora para señalar un valor que no difiera de la posición definitiva en más de 1,5% de la longitud de la escala, es generalmente inferior a 4s.



Conexión directa de un frecuencímetro de láminas vibrantes.



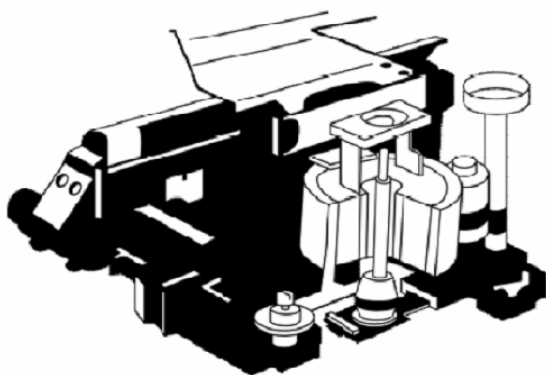
Conexión por medio de un transformador monofásico de tensión con secundario derivado a tierra de un frecuencímetro de láminas vibrantes a una línea de energía eléctrica.

9.2 Dispositivos de Medida

Dispositivos de Medida de Bobina Móvil.

El dispositivo de medida con bobina móvil aprovecha la fuerza que experimenta en el campo magnético un conductor por el cual fluye una corriente.

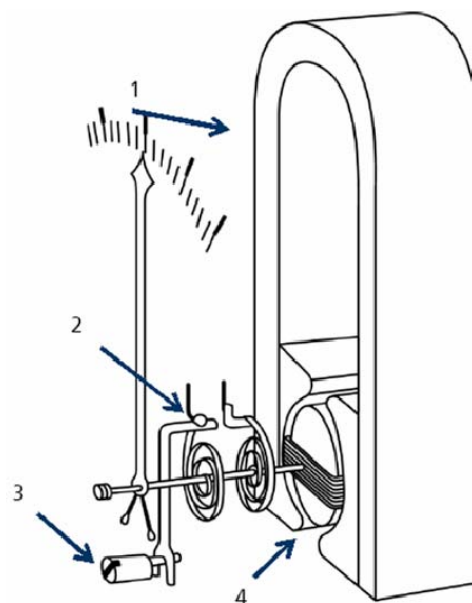
- La bobina (conductor) está dispuesta sobre un marco giratorio en el campo magnético de un imán permanente, de forma que se establece un par de giro proporcional a la intensidad de la corriente.
- El marco puede estar apoyado sobre pivotes, en este caso se emplean muelles en espiral para producir el par de giro antagónico necesario y así conducir la corriente.
- Si el marco está suspendido de cintas tensoras, éstas proporcionan el par antagónico y se encargan de conducir la corriente a la bobina.
- En la ejecución provista de un imán exterior, la bobina se encuentra entre las piezas polares y gira alrededor de un núcleo fijo de hierro dulce, de forma cilíndrica.
- El sistema de medida con imán de núcleo lleva en la bobina un cuerpo cilíndrico de hierro de imantación transversal y en su exterior un tubo de hierro dulce que sirve para cerrar el circuito magnético.



Vista en sección de un instrumento de precisión con marca luminosa y sistema de bobina móvil.

Para amortiguar las oscilaciones son suficientes, debido a la gran intensidad del campo magnético, las corrientes inducidas en el devanado y en el soporte de la bobina, que es marco de cortocircuito.

Las perturbaciones debidas a campos magnéticos externos no tienen casi influencia debido a la gran intensidad del campo propio.

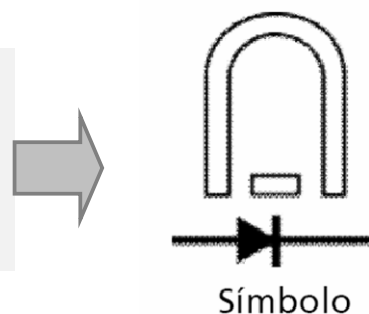


1. Imán Permanente.
2. Resortes antagónicos conductores.
3. Corrección de cero.
4. Bobina Móvil.

Aparato magnetoeléctrico para medidas de intensidad y de tensión en corriente continua.

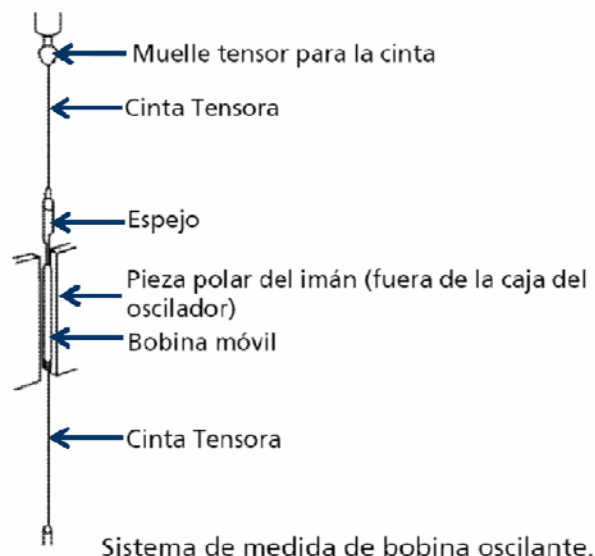
Los sistemas de medida de bobina móvil son apropiados para medir intensidades y tensiones en corriente continua. El consumo es reducido, y la escala es lineal si el campo magnético es homogéneo. Como la dirección de la desviación de la aguja depende del sentido de la corriente, el sistema de medida se puede ajustar de tal forma que el punto cero quede en el centro del margen de medida.

Para medir intensidades y tensiones de corriente alterna se utilizan instrumentos de bobina móvil provistos de rectificadores tipo G, siendo, en tal caso, necesaria una graduación de la escala diferente de la usada para mediciones de corriente continua.



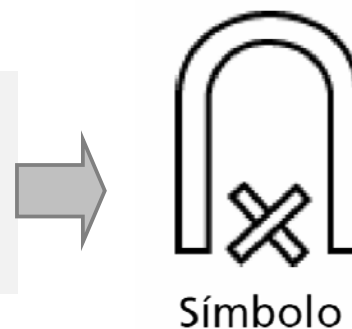
La bobina móvil, de arrollamiento extraordinariamente fino y cuya masa es solamente de varios mg, está dispuesta en el campo magnético entre las piezas polares, sin que el campo quede homogeneizado mediante un núcleo de hierro.

El funcionamiento es, en principio, igual al de un sistema de medida de bobina móvil.

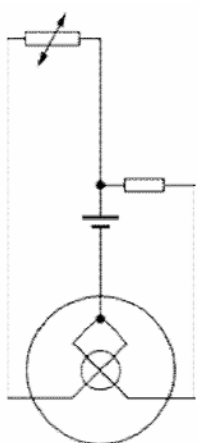


Dispositivos de Medida de Cocientes con Bobina Móvil.

Es el tipo constructivo más conocido, el elemento móvil está previsto de dos bobinas cruzadas. La forma de las piezas polares es tal que el entrehierro es más ancho en los extremos, por lo que la inducción es más reducida y el par de giro de bobina depende de su posición.



Con frecuencia se emplea también el tipo constructivo provisto de un imán central. El campo magnético existente entre núcleo y tubo de hierro, el cual sirve para cerrar el circuito magnético, presenta la forma sinusoidal deseada.



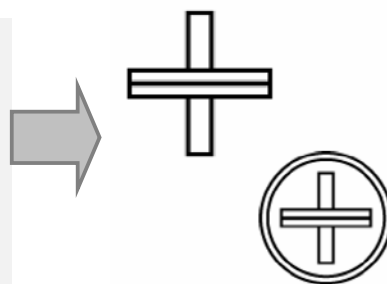
Instrumento de bobinas cruzadas para medir resistencias.

En el circuito de la figura, los pares de giro se compensan. Como la tensión de la batería influye sobre ambos, sus posibles variaciones no se reflejan en la indicación.

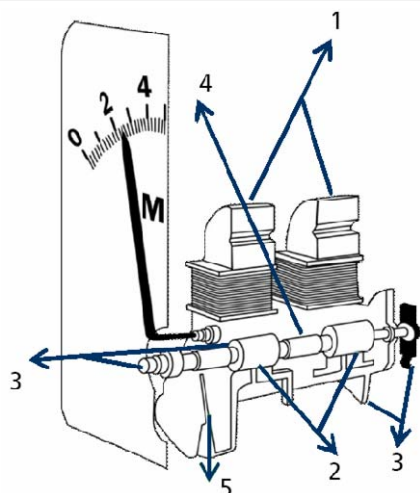
Sistema de Medida Electrodinámico.

Está constituido por una bobina móvil, la cual generalmente constituye el “circuito voltimétrico”, dispuesta en el campo magnético de la bobina de campo, que suele ser el “circuito amperimétrico”. El par de giro que resulta de la intensidad de campo y de la corriente que fluye a través de la bobina móvil equivale, en caso de corriente continua, al producto de la tensión y la corriente.

$$P = U \cdot I$$



Símbolos

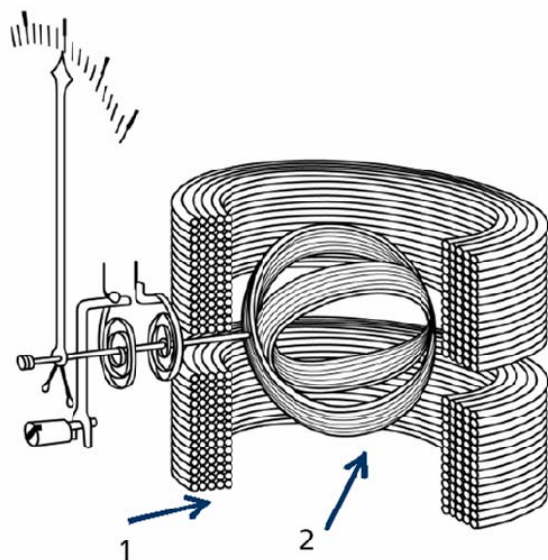


1. Bobinas de campo (circuito amperimétrico).
2. Bobinas móviles (circuito voltimétrico).
3. Acometidas de las bobinas móviles (cada una de ellas a través de una cinta tensora y un muelle de fuerza directriz).
4. Eje central.
5. Elemento de amortiguación de las corriente de Foucault.

Vista en sección de un sistema ferrodinámico doble vatimétrico para instrumentos de cuadro

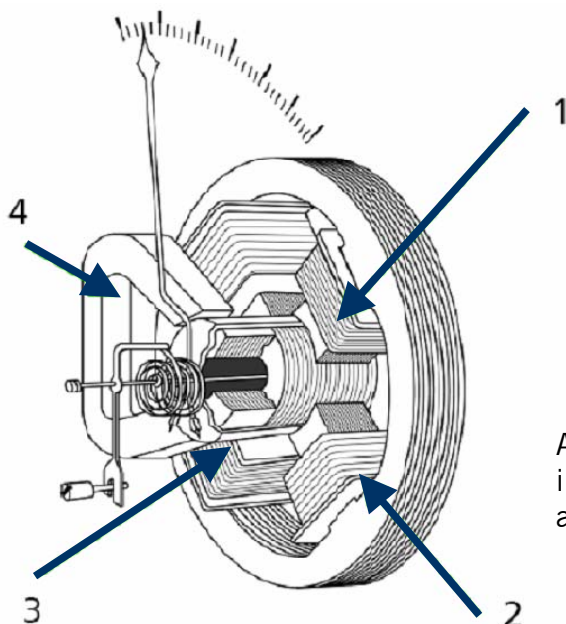
El par de giro queda compensado por el de las cintas tensoras y los muelles de fuerza directriz, que sirven también para conducir la corriente a las acometidas de las bobinas móviles. El sentido de desviación de la aguja permanece constante si la polaridad de la corriente se modifica al mismo tiempo en los dos circuitos.

Por consiguiente, este sistema de medida es también apropiado para corriente alterna y reacciona a la potencia activa ($U \cdot I \cdot \cos \phi$).



1. Bobina fija.
2. Bobina móvil.

Aparato de bobinas cruzadas, sin núcleos de hierro para medida de factores de potencia en corriente alterna.



1. Bobina de tensión.
2. Bobinas de intensidad.
3. Tambor de aluminio con núcleo de chapas de hierro.
4. Amortiguador electromagnético.

Aparato de inducción o Ferraris para medida de intensidad de tensión y de potencia en corriente alterna.

ATENCIÓN

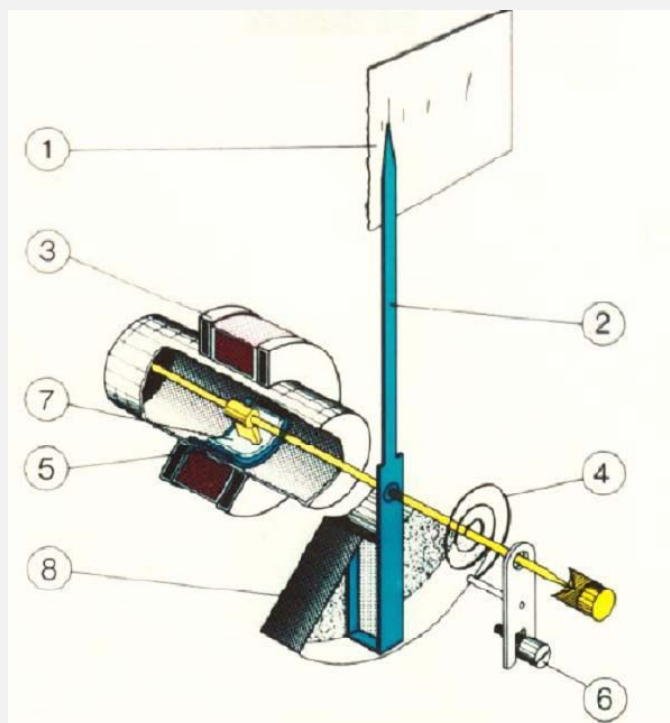
- Los sistemas de medidas electrodinámicos son prácticamente independientes de la frecuencia y de la forma de las curvas.
 - Estos dispositivos se utilizan exentos de hierro en instrumentos de medida de precisión y, provistos de hierro, en instrumentos de servicio y registradores.
 - Para proteger los instrumentos exentos de hierro contra campos magnéticos externos, se utilizan dos procedimientos: la estatificación y el apantallamiento. En el primer caso las partes activas son dobles, las móviles están colocadas sobre un eje común o suspendidas de cintas tensoras comunes, de forma que los pares de giro originados por campos magnéticos se compensen mutuamente.
- El apantallamiento se realiza con chapas de alta permeabilidad.

Sistema de Medida con Hierro Móvil.

Está constituido por un hierro móvil y uno fijo los cuales son magnetizados con igual polaridad por la bobina amperimétrica o voltimétrica superpuesta, y se repelen estableciendo un par de giro. A éste se le opone el par del muelle de fuerza directriz.



Símbolo



1. Escala
2. Aguja
3. Hierro fijo.
4. Resorte.
5. Bobina.
6. Ajuste
7. Hierro móvil
8. Amortiguamiento

Sistema de medida de hierro móvil con apoyo sobre pivotes para instrumentos de cuadro.

Los hierros o bobinas tienen tal forma que se obtiene una graduación casi lineal con la escala, aunque la repulsión mutua que experimentan los hierros imantados dependen del cuadrado de la intensidad de corriente.

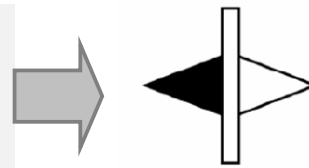
ATENCIÓN



- El sistema de medida de hierro móvil reacciona a los valores efectivos y por consiguiente se puede utilizar en mediciones de corriente continua y alterna.
- A través del elemento móvil no pasa corriente, este sistema es mecánico y eléctricamente robusto, pero el consumo propio es considerablemente superior al de la bobina móvil. Por tal razón no es conveniente utilizar resistencias en paralelo para ampliar el margen de medida, ya que con ellas aumentaría aún más el consumo de energía del dispositivo.
- Los sistemas de medida destinados a instrumentos de precisión se apantallan contra campos externos.

Sistema de Medida con Imán Móvil.

Este dispositivo de medida es apropiado para efectuar mediciones en corriente continua. Su escala es aproximadamente proporcional y se puede ampliar o reducir dentro de ciertos límites.



Símbolo

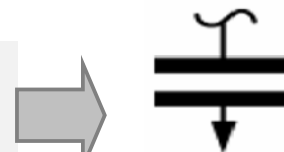
El imán giratorio con forma de disco, magnetizado diametralmente, se ajusta al valor resultante del campo magnético de la bobina fija a través de la cual pasa la corriente.

ATENCIÓN

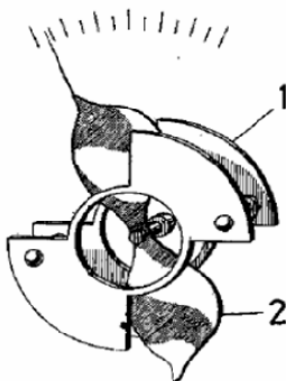
- La dirección de desviación de la aguja depende del sentido de la corriente, de forma que el punto cero puede encontrarse dentro de la escala.
- El elemento móvil no precisa cables de acometida ni de muelles de fuerza directriz, por lo que es muy ligero y resistente a vibraciones.

Sistema de Medida Electrostático.

Con el sistema de medida electrostático se pueden medir tensiones en corriente continua y alterna también en alta frecuencia (valor efectivo).



Símbolo



La fuerza que ejercen mutuamente dos cargas eléctricas se aprovecha para medir tensiones, disponiendo un portador de carga fijo y otro móvil contra la acción de una fuerza directriz (por ejemplo, banda tensora).

La parte activa fija está constituida generalmente por varias cámaras superpuestas o dispuestas como pares de cuadrantes.

El elemento móvil consta de varios cuerpos de chapa ligera ("agujas") que se introducen en dichas cámaras.

Aparato de medida electrostático para medida de tensión en corriente continua y alterna

1- Placas Fijas

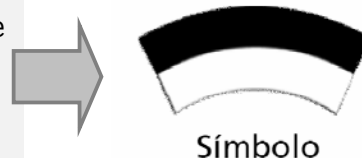
2- Placas móviles.

ATENCIÓN

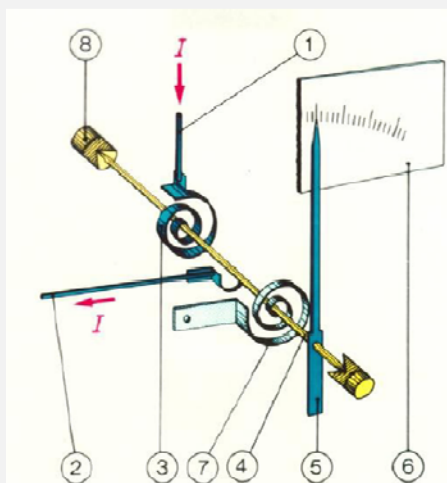
Al medir tensiones en corriente continua se absorbe de la fuente de corriente sólo la energía necesaria para la carga, y en las mediciones de tensión en corriente alterna sólo potencia reactiva. La condición previa la constituye un buen aislamiento de los electrodos.

Sistema de Medida Bimetálico.

En el eje robusto del sistema de medida está fijado un muelle arrollado de chapa bimetálica que al ser atravesado por la corriente, este muelle se calienta y se deforma haciendo que gire dicho eje. Otro muelle similar, de compensación, también de chapa bimetálica y que se encuentra protegido mediante un disco contra el calor, actúa sobre el eje en el sentido del giro opuesto. Sin embargo, a través de este segundo eje no pasa corriente, pudiendo compensar de esta forma las fluctuaciones de la temperatura ambiente.



Símbolo



1. Acometida de corriente.
2. Salida de corriente
3. Muelle bimetálico por el que pasa la corriente.
4. Eje
5. Aguja
6. Escala
7. Resorte antagónico (bimetal)
8. Buje soporte.

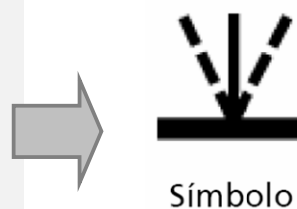
Vista en sección de un sistema de medida bimetálico para instrumentos de cuadro.

ATENCIÓN

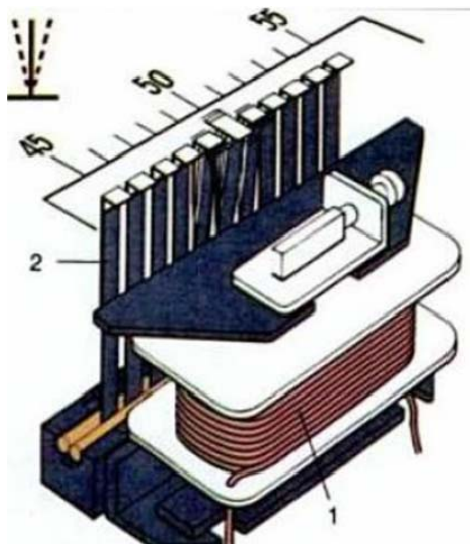
- El tiempo de estabilización del sistema de medida bimetálico es de aproximadamente 10 minutos.
- Los puntos de corriente de breve duración, que sólo originan un calentamiento reducido del muelle bimetálico principal, contribuyen en grado insignificante a la desviación de la aguja, mientras que las cargas permanentes provocan una indicación.
- El par de giro ejercido es aproximadamente mil veces mayor que el de otros sistemas de medida. Por este motivo, la aguja indicadora puede arrastrar otra que sirve para la lectura ulterior del valor máximo alcanzado en cada caso.

Sistema de Medida de Vibración.

Como consecuencia de la frecuencia que se desea medir, un electroimán provoca vibraciones mecánicas de una serie de lengüetas elásticas colocadas sobre una pieza común y sintonizada a diferentes valores de oscilación propia. La lengüeta que se encuentra en resonancia con la frecuencia, vibra con gran amplitud, indicando claramente de esta forma el valor de medida correspondiente.



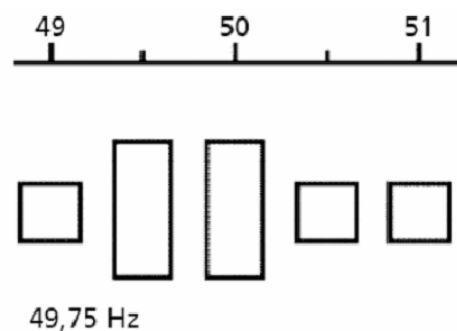
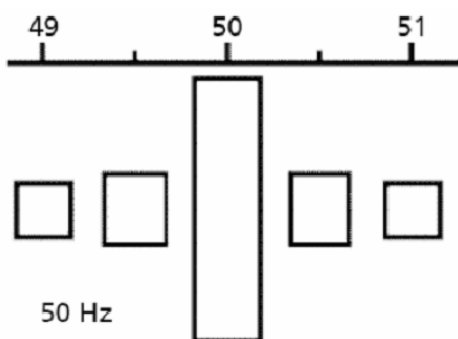
Símbolo



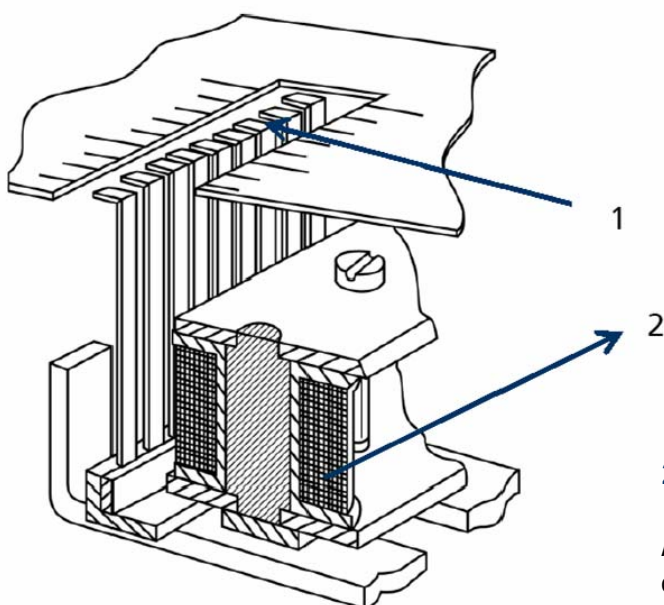
No se pueden leer las referencias.

1. Bobina excitadora.
2. Lengüeta de acero.

Sistema de medida de vibración para un frecuencímetro de lengüetas (instrumento de servicio).



Frecuencímetro de lengüetas resonantes.



1. Láminas vibrantes.
2. Bobina.

Aparato de láminas vibrantes para medidas de frecuencia en corriente alterna.

Tubo de Rayos Catódicos.

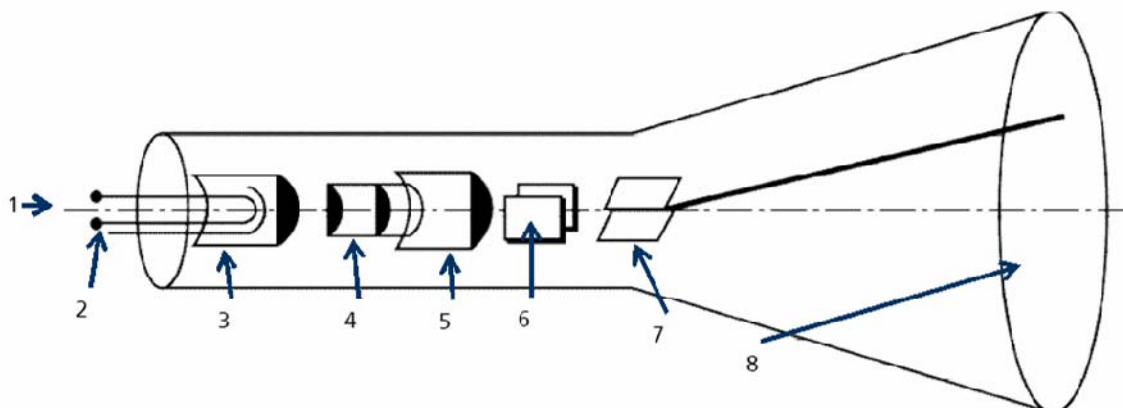
El cátodo emite 2 electrodos libres en un tubo de vidrio al vacío. El cilindro de Wehnelt 3, dispuesto detrás del cátodo, regula el flujo de electrones, que se agrupan en un sistema óptico (campo 4) formando un haz, siendo acelerados por el ánodo 5.

A continuación del sistema óptico se han dispuesto dos pares de placas perpendiculares entre sí, las cuales sirven para desviar el haz de electrones de la posición central.

El par de placas 6 (deflexión x) se aplica generalmente a un “circuito de barrido”, y el par de placas (deflexión y) se somete a la tensión que se pretende medir.

El haz de electrones, enfocado mediante la elección adecuada de los potenciales de 4 de tal manera que el foco quede sobre la pantalla, excita la capa luminiscente en el punto de incidencia (fluorescencia o fosforescencia).

De esta forma, se visualiza la desviación del haz electrónico bajo la influencia de los campos deflectores, es decir, que se representa en coordenadas cartesianas la variación de la magnitud de medida.

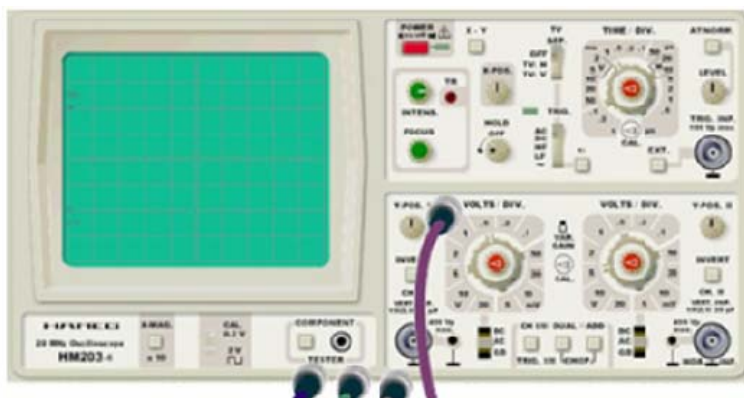
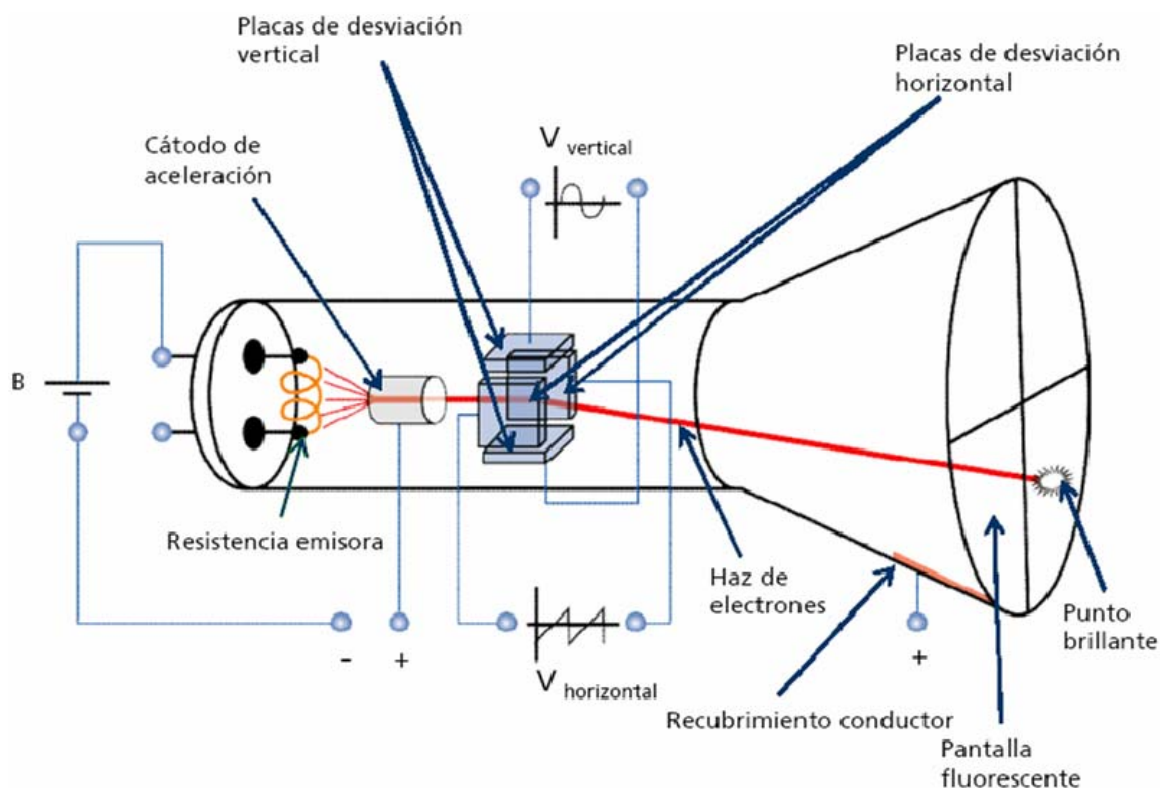


1. Elemento. de calentamiento.
2. Cátodo.
3. Cilindro de Wehn.
4. Lente eléctrica.
5. Ánodo.
- 6, 7. Placas de desviación.
8. Pantalla.

Constitución de un Tubo (Tubo de Braun).

Los tubos de rayos catódicos son dispositivos de medida que carecen prácticamente de inercia. Se utilizan para registrar valores de tensión en función del tiempo. Sin embargo, con ellos también se puede representar el diagrama de una tensión con relación a otra.

Una propiedad importante de estos tubos viene dada por la persistencia de la indicación luminosa sobre la pantalla. Para procesos que varían con una gran lentitud, se requiere una gran persistencia, mientras que ésta debe ser sumamente breve en los procesos con una variación rápida.



Osciloscopios

ACTIVIDAD 27.

A partir de lo desarrollado sobre los distintos dispositivos de medida resuelva la siguiente actividad.



Una con flechas cada símbolo con su correspondiente Sistema de Medida.



Instrumentos de bobina móvil.

Sistema de medida electrostático.

Sistema de medida electrodinámico.

Sistema de medida de vibración.

Sistema de medida bimetalico.

Sistema de medida con hierro móvil.

Sistema de medida con imán móvil.

Dispositivos de medida de cocientes
con bobina móvil.

9.3 Contrastación de Aparatos de Medida

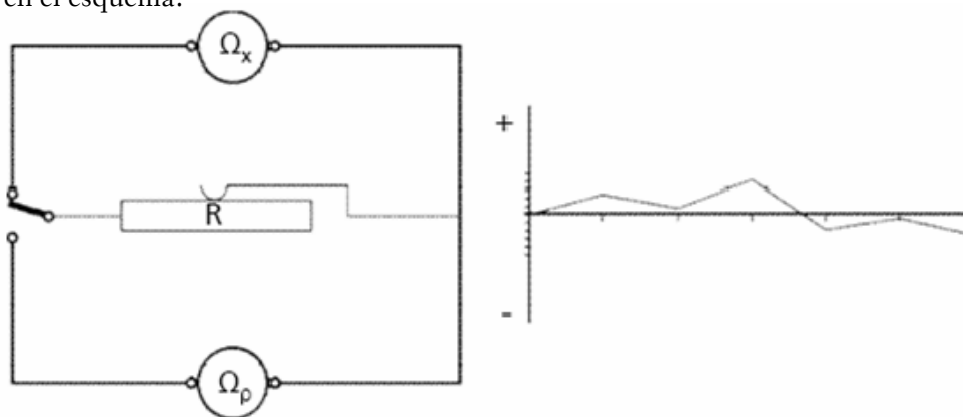
Contrastación de Aparatos de Medida.

Por contrastación de aparato de medida se entiende la comprobación de las divisiones que tiene la escala del aparato contrastado en cuanto correspondan a valores verdaderos.

También se puede contrastar el aparato con uno patrón y determinar en una gráfica sus errores e indicar para cada medida el error cometido estimativamente para que la medida realizada con el aparato contrastado sea perfecta.

Contrastación de Ohmímetros.

Para hacer la contrastación de un ohmímetro Ω_x con otro patrón Ω_p se conectan en la forma indicada en el esquema:

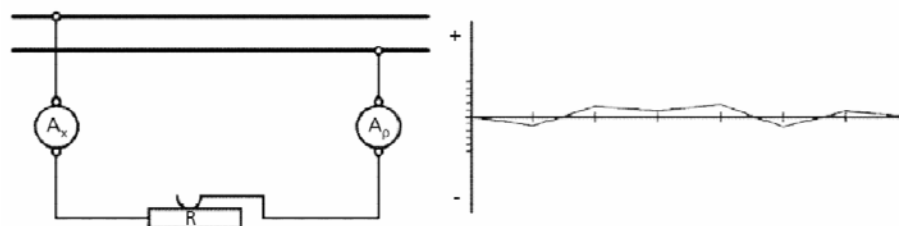


Contrastación de Ohmímetros

Contrastación de Amperímetros.

La intensidad se establecerá para valores pequeños y se irá elevando a medida que se vayan realizando las mediciones. Esto se consigue por medio de un reóstato al ir eliminando la resistencia, aumentando en proporción inversa la intensidad.

Los dos amperímetros irán conectados en serie en el mismo circuito, como indica la siguiente figura:

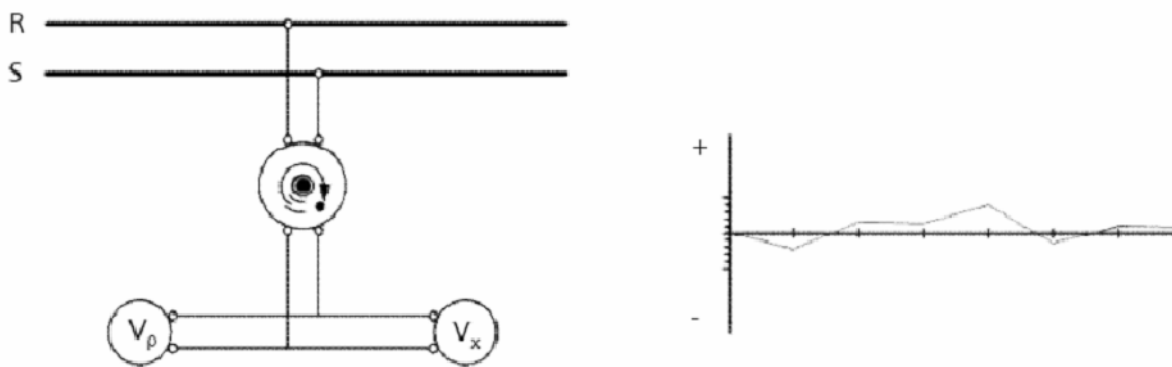


Contrastación de Amperímetros

Contrastación de Voltímetros.

Para obtener la variación de tensión se emplea un variador de tensión que, desde cero, irá suministrando diferentes puntos de tensión a los dos voltímetros, haciendo girar la parte móvil del variador.

Los dos voltímetros irán conectados en paralelo como se muestra en la figura a continuación:

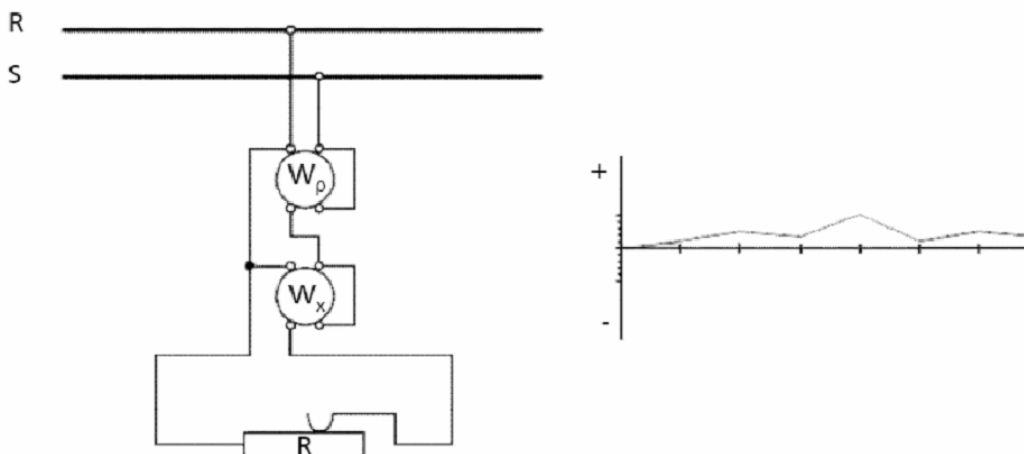


Contrastación de Voltímetros

Contrastación de Watímetros.

Los dos watímetros, el contrastado W_x y el patrón W_p , se conectarán en serie, es decir, que por ambos pasará la misma corriente a medir.

Se intercalará una carga variable, de modo que progresivamente vaya siendo menor la resistencia, para que al ser mayor la corriente absorbida, también lo sea la potencia.



Contrastación de Watímetros

ACTIVIDAD 28.

Marque la opción correcta a los siguientes enunciados.

1

Para la contrastación de amperímetros, los mismos van conectados en ...

Serie. ☐Paralelo. ☐**2**

Para la contrastación de voltímetros, los mismos van conectados en ...

Serie. ☐Paralelo. ☐**3**

Para la contrastación de vatímetros, se intercalará una carga variable, de modo que progresivamente vaya siendo la potencia ...

Menor. ☐Mayor. ☐**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 9.




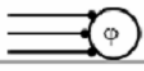
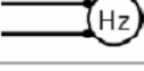










Ha finalizado el curso Instrumentos de Medición Eléctrica.

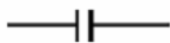


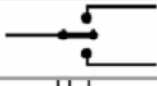




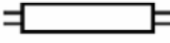















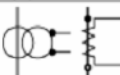
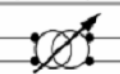
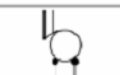











Anexo I
















Capítulo 2: Introducción a las Medidas Eléctricas.

















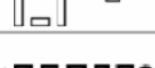


2.1 Símbolos Generales

Símbolo	Designación
	Amperímetro.
	Voltímetro.
	Vatímetro.
	Fasímetro.
	Frecuencímetro.
	Ohmímetro.
	Capacímetro.
	Sincronoscopio.
	Contador de energía.
 	Corriente Continua. Corriente Alterna.
	Conexión a tierra.
	Resistencia Ohmica pura.
	Inductancia.
	Resistencia Inductiva.

























Símbolo	Designación
	Capacitor.
	Conexión Variable.
	Interruptor Unipolar.
	Conmutador unipolar de 3 posiciones.
	Conmutador de voltímetro.
	Interruptor Tripolar.
	Cortocircuito Fusible.
	Lámpara Incandescente.
	Lámpara Fluorescente.
	Pila o Acumulador.
	Batería de Pilas o Acumuladores.
	Reóstato.
	Borne de Conexión.
	Cruce de líneas sin conexión.
	Cruce de líneas con conexión.
	Generador de Corriente Continua.
	Motor de Corriente Continua.
	Generador de Corriente Alterna.
	Motor Monofásico.
	Motor Trifásico.

Símbolo	Designación
	Motor Asíncrono de Rotor Bobinado.
	Transformador de Tensión.
	Transformador de Intensidad.
	Transformador Variable.
	Regulador de Tensión.
	Corriente Continua.
	Corriente Alterna.
	Corriente continua y alterna.
	Instrumento monofásico con dos circuitos de intensidad y un circuito de tensión.
	Instrumento trifásico con un circuito de intensidad y un circuito de tensión.
	Instrumento trifásico con dos circuitos de intensidad y un circuito de tensión.
	Instrumento trifásico con un circuito de intensidad y dos circuitos de tensión.
	Instrumento trifásico con dos circuitos de intensidad y dos circuitos de tensión.
	Instrumento trifásico con tres circuitos de intensidad y dos circuitos de tensión.
	Instrumento trifásico con tres circuitos de intensidad y tres circuitos de tensión.
	Instrumento para ser utilizado en posición vertical.

Símbolo	Designación
	Posición horizontal.
	Instrumento para ser utilizado estando el cuadrante en posición inclinada (60°).
	Instrumento de bobina móvil e imán permanente (Magneto eléctrico).
	Instrumento de bobina móvil e imán permanente (Magneto eléctrico diferencial).
	Instrumento de dos bobinas cruzadas móviles e imán permanente (Cocientímetro magnetoeléctrico).
	Instrumento de imán móvil y bobina fija.
	Instrumento de hierro móvil y bobina e imán fijos.
	Instrumento de hierro móvil y bobina fija (Ferromagnético o de hierro móvil).
	Cocientímetro ferromagnético.
	Instrumento electrodinámico sin hierro.
	Instrumento electrodinámico con hierro (Ferrodinámico).
	Instrumento electrodinámico de bobinas cruzadas, sin hierro (Cocientímetro electrodinámico).
	Instrumento concientimétrico ferrodinámico.
	Instrumento concientimétrico ferrodinámico.
	Instrumento de inducción.

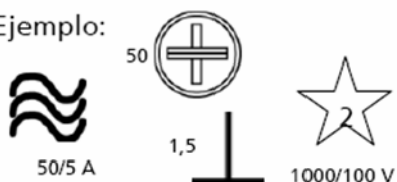
Símbolo	Designación
	Instrumento cocientimétrico de inducción.
	Instrumento Térmico de dilatación.
	Instrumento electrostático.
	Instrumento de láminas vibrantes.
	Termopar no aislado.
	Instrumento magnetoeléctrico con termo-par no aislado, incorporado al instrumento.
	Termo-par aislado.
	Instrumento magnetoeléctrico con termo-par aislado incorporado al instrumento.
	Instrumento magnetoeléctrico con termo-par no aislado exterior al instrumento.
	Rectificador.
	Instrumento magnetoeléctrico con rectificador incorporado.
	Transformador de intensidad.
	Instrumento magnetoeléctrico con rectificador y transformador de intensidad incorporados.
	Instrumento magnetoeléctrico con rectificador exterior.
	Shunt para instrumento de medida.
	Instrumento magnetoeléctrico con shunt exterior.
	Resistencia adicional.
	Ejec. Antigrisú, clase de pro-tec. "elev. Segur.", gr. Infl G1.
	Ej. Pro. Contra expl. Cl. Pr. "elev. Segur.". Gr. Infl. G1.

Símbolo	Designación
	Corriente continua.
	Corriente continua y alterna.
	Corriente alterna.
	Corriente trifásica con 1 sistema de medida.
	Corriente trifásica con 2 sistema de medida.
	Corriente trifásica con 3 sistema de medida.
1,5	Símb. clas. Ref. al valor fin. Del margen de medida.
	Símb. Clas. Ref. a longitud de esc. O anch. Inscripción.
	Símbolo de clase, referido al valor correcto.
	Posición de empleo horizontal.
	Posición de empleo horizontal.
	Pos. De empleo inclinada (indicación áng. inclinac.).
	Símbolo de clase, referido al valor correcto.
	Resistencia en paralelo separada.
	Resistencia en serie separada.
	Pantalla magnética (de hierro).
	Pantalla electrostática.
est	Sistema estático.
	Atención (obsérvense las instrucciones de empleo).
	Sistema estático.

Símbolo	Designación
	Apoyo cin. Ten. (raya por debajo sím.:nor. Int. Siem.)
	Instrum. De bobina móvil.
	<div> <div>Como</div> <div>complem.</div> <div>a</div>  </div>
	
	
	Rectificador.
	Conv. termoel
	Conv. Termoel.aisl.
	Sistema de medida de cocientes de bobina móvil.
	Sistema de imán móvil.
	Sistema de medida de cocientes de imán móvil.
	Sistema de hierro móvil.
	Sistema de medida de cocientes de hierro móvil.
	Sistema electrodinámico (sin hierro).
	Sistema de medida electr. De cocientes (sin hierro).
	Sistema de medida electr. (con circuito mag. De hie.).
	Sistema de medida electr. De coc. (con circ. Mag. H.).
	Sistema de inducción.
	Sistema de medida de cocientes de inducción.
	Sistema térmico.
	Sistema bimetálico.
	Sistema vibrador.
	Atención (obsérvense las instrucciones de empleo).

Símbolo	Designación	Símbolo	Designación
	Instrumento de medida, representación general, especialmente de indicación.		Vat. Para corr. Trif. De 4 hil. Apto cualq. Carga. Con 3 sist. Med. (circ. amp. Serie), indicaciones en W.
	Instrumento indicador con un sistema de medida para la formación de productos.		Instrumento de medida, símbolo general, especialmente para registradores.
	Instrumento indicador con un sistema de medida para la formación de cocientes.		Instrumento de medida, símbolo de registro: inscripción.
	Sistema de medida, símbolo general de indicación.		Instrumento de medida, símbolo de registros: inscripción por puntos.
	Símbolo de medida, símbolo de indicación con desviaciones de aguja a ambos lados.		Instrumentos de medida, símbolo de registro: impresión digital.
	Sistema de medida, símbolo de indicación digital.		Instrumento de medida, símbolo de registro: perforación.
	Amperímetro, indicación en A.		Vat. Reg. Corr. Trif. De 3 hil. Apto cualq. Dist. Carg. Con 2 sist. Med. (circ. Amp. Serie. Indicación en W .
	Amperímetro con un sistema de medida, indicación en A.		Puente de resistencias con instrumento de cero al centro incorporado.
	Voltímetro para tensión continua y alterna, indicación en V.		Aparato integrador, especialmente contadores eléctricos.
	Aparato para medir diferencias de tensiones con un sistema de medida.		Cont. K Whcor. Trif de 3 hil. Apto cualq. Dist. De carga, con 2 sist. De medida.

Ejemplo:



Inst. cor. Trif. 50 HZ, con 2 sist, electrod y circ. Mag. hier. Clase 1,5; dos. Emp. Vert. Tens. Prueb. 2kv: conx. Transf.: corr. Nom. Prim. 50 A y corr nominal en el secd. 5 A. ten. Nom. Prim. 1000V, ten. Nom.en el secund. 100 V.