

PRÁCTICA 1

MECANISMOS DE LOS MEDIDORES DE CD Y CA. MEDICIÓN DE R_m E I_m DE UN GALVANÓMETRO

Objetivo: Conocer cada una de las partes que integran un mecanismo de medición de manera práctica, galvanómetro, D'Arsonval, rectificadores, sensibilidad. Determinar R_m e I_m a máxima deflexión.

Material y equipo

- 1 módulo con galvanómetro
- 1 multímetro digital
- 1 multímetro fluke
- 6 puntas cortas banana-banana

I. Introducción

El **Galvanómetro** es un instrumento que se usa para detectar y medir la corriente eléctrica. El mecanismo sensor más común que se emplea en los amperímetros y voltímetros electromecánicos es un dispositivo sensor de corriente llamado **D'Arsonval**. Este mecanismo fue desarrollado por D'Arsonval en 1881 y se llama movimiento D'Arsonval o movimiento de imán permanente y bobina móvil. También se emplea en algunos óhmetros, medidores rectificadores de ca y puentes de impedancia. Su aplicación y utilidad se debe a su sensibilidad y exactitud extremas.

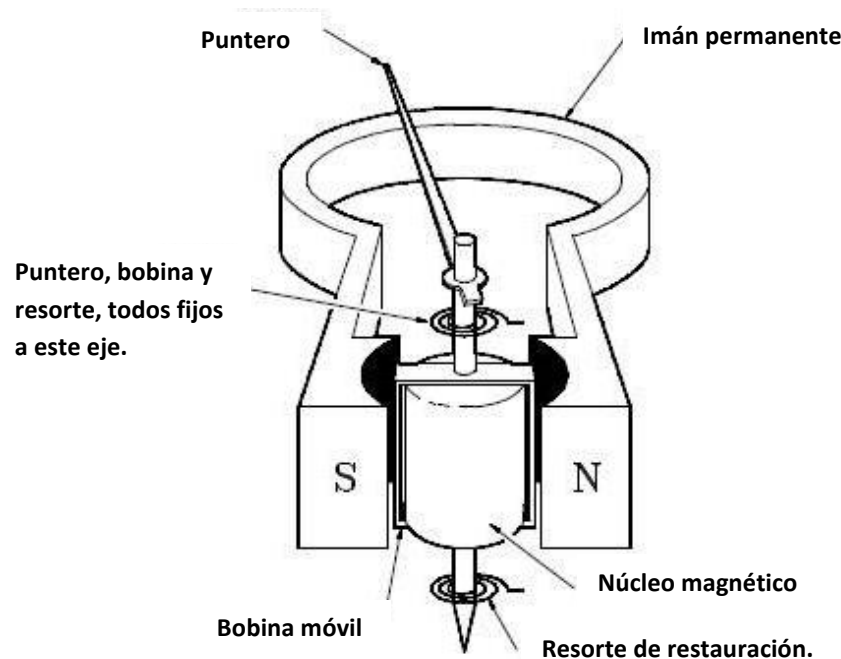


Figura 1.- Mecanismo D'Arsonval

Amperímetros analógicos de CD

Los amperímetros electromagnéticos industriales y de laboratorio se emplean para medir corrientes desde $1\mu A$ hasta varios cientos de amperes. El movimiento D'Arsonval se emplea en la mayoría de los amperímetros de CD como detector de corriente. La resistencia de la bobina del medidor introduce una desviación con respecto al comportamiento de un amperímetro ideal. El modelo que se emplea para describir un amperímetro real en términos del circuito equivalente es una resistencia R_m (de igual valor que la resistencia de la bobina y los conductores del medidor) en serie con un amperímetro ideal, como se muestra en la Figura 2.

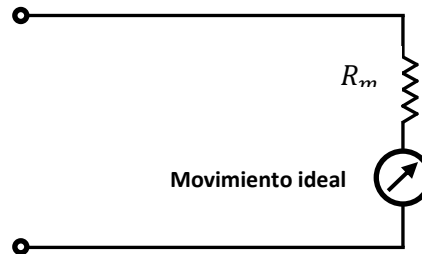


Figura 2.- Modelo del amperímetro real.

En la siguiente tabla se muestra la resistencia interna R_m del movimiento típico de D'Arsonval:

Tabla 1.- Resistencia interna de movimiento de D'Arsonval típicos

Corriente	Resistencia
$50\mu A$	$1000 - 5000 \Omega$
$500\mu A$	$100 - 1000 \Omega$
$1mA$	$30 - 120 \Omega$
$10mA$	$1 - 4 \Omega$

La **sensibilidad** de un amperímetro indica la corriente mínima necesaria para una desviación de toda la escala. Los medidores con alta sensibilidad dan lecturas muy pequeñas a escala completa. Los medidores comerciales emplean movimientos que tienen sensibilidades tan pequeñas como $1\mu A$. Sin embargo, $50mA$ es el límite máximo que pueden manejar los resortes con buena exactitud. Para aumentar las posibilidades de medición de los amperímetros de CD más allá del límite máximo se deben emplear resistencias en paralelo (resistencia shunt o derivación) con la resistencia interna R_m del medidor, como se muestra en la Figura 3.

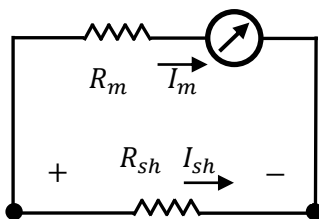


Figura 3.- Amperímetro con resistencia shunt.

Debido a que la resistencia de derivación está en paralelo con el movimiento del medidor, el voltaje a través de la resistencia y el del movimiento deben ser iguales, por lo tanto se puede escribir como sigue

$$V_{sh} = V_{movimiento}$$

$$I_{sh}R_{sh} = I_mR_m$$

$$R_{sh} = \frac{I_mR_m}{I_{sh}}$$

Donde $I_{sh} = I_{medida} - I_m$, o bien la ecuación anterior se puede escribir como sigue

$$R_{sh} = \frac{I_mR_m}{I_{medida} - I_m}$$

Donde I_{medida} = es la corriente máxima que se desea medir

Ejemplo.- Un galvanómetro de $1mA$ con una resistencia interna de 100Ω se quiere utilizar como amperímetro de $0 - 100mA$. Calcular el valor de la resistencia de derivación necesaria.

$$R_{sh} = \frac{I_mR_m}{I_{medida} - I_m} = \frac{(1mA)(100ohms)}{100mA - 1mA} = 1.01 ohms$$

Voltímetros analógicos de CD

La mayor parte de los voltímetros analógicos emplean también el movimiento de D'Arsonval. Este movimiento se puede considerar en sí mismo un voltímetro, si se considera que la corriente que pasa por él, multiplicada por su resistencia interna, genera una caída de voltaje. Por ejemplo, un movimiento con escala máxima de $1\mu A$ y 50Ω tiene una caída de $50mV$ cuando fluye $1mA$ a través de él. Si la escala indica volts en lugar de amperes, el movimiento actúa como un voltímetro de $50mV$. Para aumentar el voltaje que se puede medir mediante este instrumento, se agrega una resistencia (un multiplicador) en serie a la resistencia propia del medidor, la cual limita la corriente que pasa por el circuito del medidor.

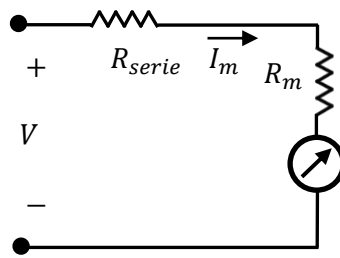


Figura 4.- Voltímetro con resistencia en serie para CD.

El voltaje V en las terminales se calcula como sigue

$$V = I_m(R_{serie} + R_m)$$

Despejando R_{serie} se obtiene lo siguiente

$$R_{serie} = \frac{V}{I_m} - R_m = \frac{V - I_m R_m}{I_m}$$

Ejemplo.- Si se desea emplear un medidor de $1mA$ y 50Ω como voltímetro con escala de $0 - 10volts$, ¿qué resistencia se debe colocar en serie con el movimiento?

$$R_{serie} = \frac{V}{I_m} - R_m = \frac{10v}{1mA} - 50\Omega$$

$$R_{serie} = 1000 - 50 = 9950\Omega$$

Amperímetros y voltímetros analógicos para corriente alterna

Las señales que cambian en amplitud y dirección periódicamente a través del tiempo se miden con *medidores de ca*. Estos medidores pueden responder al valor pico, promedio o efectivo de las señales periódicas de CA que se les apliquen. Dichos medidores se calibran para indicar sus salidas en términos de uno de esos tres valores característicos de las señales de CA.

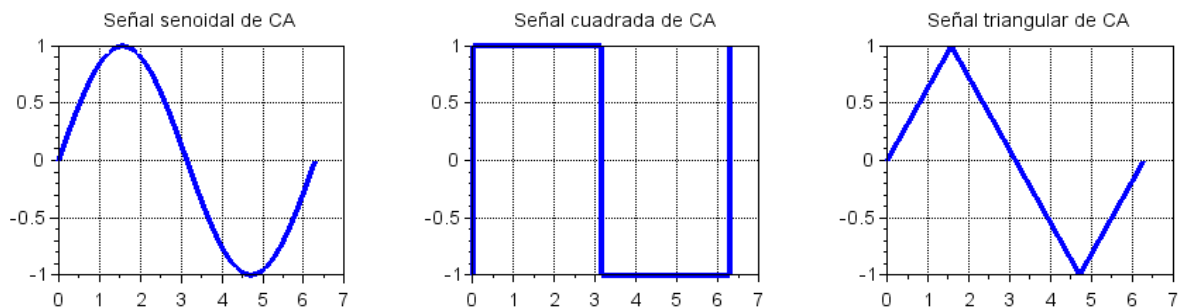


Figura 5.- Señales de corriente alterna. Señal senoidal, cuadrada y triangular.

Medidores para CA de respuesta al promedio

Cuando se aplican señales de CA cuyas frecuencias son mayores que pocos ciclos por segundo (Hz) directamente a un movimiento de un D'Arsonval, la inercia y la amortiguación del movimiento evitan que se puedan seguir las rápidas fluctuaciones de la señal. El movimiento D'Arsonval responde al valor promedio de la corriente que pasa a través de la bobina móvil, que para una señal senoidal es cero. Por lo tanto, para lograr una deflexión medible de la aguja del movimiento D'Arsonval cuando se miden ondas senoidales, se debe usar algún medio para obtener un par unidireccional que no se invierta cada medio ciclo. Un método implica la rectificación de las señales empleando circuitos rectificadores con diodos.

II. Desarrollo

1. Ver los instrumentos de medición presentados por el profesor (galvanómetro, multímetro digital, fluke, puente de wheatstone, megger, etc).
2. Anotar el número de módulo, el cual se usará en prácticas posteriores. #módulo = _____.
3. Medir R_m e I_m para el módulo del galvanómetro seleccionado. Para esto deberá utilizar una fuente variable de CD y conectar el galvanómetro. Se variará el voltaje (alrededor de 100mv) hasta que la aguja logre la máxima deflexión.

$$V = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_m = \underline{\hspace{2cm}} \quad R_m = \frac{V}{I_m} = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Diseñar un amperímetro con un rango de 0 – 100 μA utilizando el módulo del galvanómetro y sus respectivos potenciómetros. Verifique el funcionamiento del amperímetro diseñado con ayuda de un multímetro fluke para medir la corriente y llene la siguiente tabla.

$$R_{sh} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Voltaje (fuente variable de CD)	Posición de la aguja
0 μA	
25 μA	
50 μA	
100 μA	

5. Diseñar un voltímetro con un rango de 0 – 1 volt utilizando el módulo del galvanómetro y sus respectivos potenciómetros. Verifique el funcionamiento del voltímetro diseñado con ayuda de un multímetro para medir el voltaje y llene la siguiente tabla.

$$R_{serie} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Voltaje (fuente variable de CD)	Posición de la aguja
0 volts	
0.25 volts	
0.5 volts	
1 volt	

III. Reportar

En tu reporte deberás considerar los siguientes puntos:

- Objetivo
- Una introducción referente a la práctica
- El desarrollo de la práctica. Agregar imágenes de los instrumentos de medición mostrados por el profesor. Poner los cálculos hechos para el amperímetro y voltímetro diseñados en clase. Reportar las tablas de resultados.
- Investigar cómo se puede utilizar un galvanómetro con movimiento D'Arsonval para medir voltaje y corriente de CA.
- El valor promedio de una señal de CA es cero. Si se toma solo el semi ciclo positivo, investiga cuál es la relación entre el valor medio o promedio y el valor RMS de la corriente alterna.
- Tu reporte debe ser a computadora, cuidando que se use el mismo tipo de letra, tamaño, texto justificado y en general que tenga una buena presentación.

PRÁCTICA 2

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA PARTE I

Objetivo: Aprender a medir resistencias eléctricas muy bajas, de fracción de ohms mediante el puente de Wheatstone. Además, medir resistencias entre 1 ohm y 1 mega ohm utilizando el óhmetro.

Material y equipo

- 1 Puente de Wheatstone
- 1 Resistencia de 1 ohm
- 1 Resistencia de 1 M
- 1 Resistencia de 1 K
- 2 Multímetro fluke
- 1 Multímetro digital

I. Introducción

Método del voltímetro – amperímetro

Este método es una técnica rápida, sencilla y de exactitud moderada para medir la resistencia cuando sólo se cuenta con voltímetros y amperímetros. Como se muestra en la figura 1, la relación V/I es la resistencia en corriente directa del elemento R_x . La exactitud de este método depende de la calibración y la estabilidad de los dos medidores y del efecto de carga del voltímetro. Es conveniente emplear un voltímetro digital de alta impedancia de entrada y un amperímetro digital para reducir al mínimo el error en los valores de resistencia medidos. Éste es el único método que se puede emplear para resistencias de gran potencia. Las resistencias que se emplean para limitar la corriente de arranque en los motores de corriente directa y en los grandes motores de inducción, de devanado secundario, tienen capacidades tan altas como 1000 amperes. El valor de la resistencia está por lo general entre 0.1 y 1 ohm con una tolerancia del 20 por ciento.

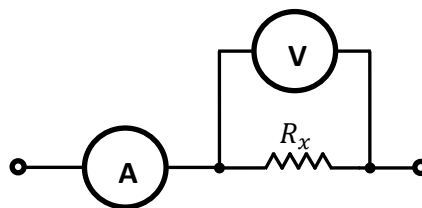


Figura 1.- conexiones para medir resistencia con el método del voltímetro-amperímetro.

Puente de Wheatstone

Un puente es el nombre que se usa para denotar una clase especial de circuitos de medición. Estos se emplean con mayor frecuencia para hacer mediciones de resistencia, capacitancia e inductancia. Los puentes se emplean para la medición de resistencia cuando se requiere una medida muy exacta. El puente más conocido y que se usa más ampliamente es el puente de Wheatstone. Fue inventado por Samuel Christie, pero Charles Wheatstone lo mejoró hasta el

punto de producto comercial. Se emplea para medir con exactitud valores de resistencia desde mili ohms hasta mega ohms.

La mayor parte de los puentes comerciales tienen una exactitud de aproximadamente 0.1 por ciento. Así, los valores de resistencia obtenidos con el puente son mucho más exactos que los obtenidos con el óhmetro o con el método del voltímetro-amperímetro.

La figura 2 muestra el circuito del puente Wheatstone de cd. En donde R_x es la resistencia que se desea medir. El puente funciona a través del principio de que no pasará corriente a través del galvanómetro de D'Arsonval, muy sensible, que está conectado en los puntos b y c del circuito si no hay diferencia de potencial entre ellos. Cuando no pasa corriente, se dice que el puente está **balanceado**. Sino pasa corriente a través del galvanómetro quiere decir que

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

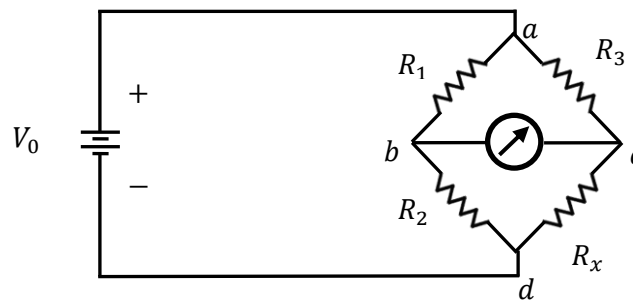


Figura 2.- Circuito del puente de Wheatstone.

Si R_x se desconoce, se puede encontrar mediante la siguiente expresión

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

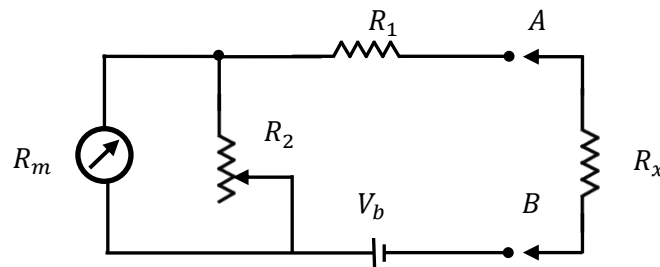
En la práctica, la relación R_2 a R_1 se controla mediante un interruptor que cambia esta relación por décadas (es decir, factores de 10). Así la relación R_2/R_1 se puede ajustar a 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 1, 10, 10^2 , 10^3 . R_3 es una resistencia ajustable de variación continua. Cuando el galvanómetro indica una lectura de cero, se puede calcular R_x con la ecuación anterior.

Óhmetros

El óhmetro es un instrumento sencillo que aplica un voltaje fijo de una batería a través de dos resistencias en serie. Una resistencia es de valor conocido y la otra es la que se va a medir. Se mide el voltaje a través de la resistencia conocida mediante un voltímetro de cd. El voltaje medido origina una indicación del voltímetro de cd que se calibra para mostrar directamente el valor de la resistencia desconocida.

Los óhmetros son útiles para efectuar mediciones rápidas de valores de resistencia bajo muchas condiciones y rango comunes. Se emplea muy seguido en el mantenimiento del equipo de comunicaciones. Los valores de resistencia que se pueden medir con el óhmetro varían desde mili ohms hasta $50M\Omega$. Sin embargo, hay algunas limitaciones en su empleo. Debido a que su mejor exactitud es aproximadamente ± 1 por ciento, no son apropiados para mediciones de gran exactitud. También se deben seguir ciertas precauciones especiales al emplear los óhmetros para medir circuitos con alta inductancia o capacitancia. Los circuitos que tengan fuentes activas pueden contribuir con corrientes que cambien la relación de voltaje a corriente y pueden perjudicar el movimiento D'Arsonval del óhmetro. Los circuitos que contienen dispositivos sensibles (como algunos semiconductores y fusibles) podrían quemarse aún por el paso de la pequeña corriente que genera la batería del óhmetro. En la figura 3 se muestra el circuito de un óhmetro sencillo tipo serie. La resistencia desconocida R_x se conecta con las puntas del medidor en los puntos A y B. Si se ponen en corto las puntas de prueba ($R_x = 0$), fluye una corriente máxima en el circuito y parte de esa corriente pasa al movimiento del medidor y parte por la resistencia R_2 . Para este caso, R_2 se ajusta de modo que la posición de la aguja del medidor se coloque en la marca de "0" ohms de la escala. La corriente que pasa por el movimiento del medidor en este caso se llama corriente de la escala completa I_{fs} . Cuando se desconectan las puntas ($R_x = \infty$), no pasa corriente y se ajusta el puntero en la marca " ∞ " de la escala del medidor. Los valores R_x entre "0" e " ∞ " hacen que la aguja se mueva hacia algún punto entre estos dos extremos.

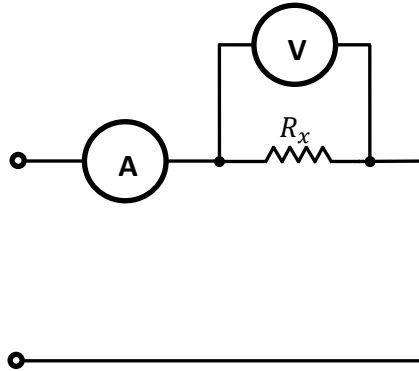
Al emplear el óhmetro tipo serie, se obtienen los resultados más exactos cuando la resistencia desconocida R_x origine una deflexión de media escala en el medidor.



**Figura 3.- Óhmetro tipo serie. R_1 = resistencia limitadora de corriente;
 R_2 = resistencia de ajuste a cero; V_b = batería interna;
 R_m = resistencia interna del movimiento D'Arsonval; R_x = resistencia desconocida.**

II. Desarrollo

1. Conecta el siguiente circuito con $R_x = 1k$. Alimenta el circuito con 10 volts de cd.



Aplica el método del voltímetro amperímetro para calcular la resistencia R_x .

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \quad V = \underline{\hspace{2cm}} \quad R_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Realiza el mismo procedimiento, pero con $R_x = 1M\Omega$. Alimenta ahora el circuito con 20 volts

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \quad V = \underline{\hspace{2cm}} \quad R_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Utilizando un medidor LCR , el puente de Wheatstone, multímetro digital mide las siguientes resistencias

Resistencia	Puente de Wheatstone	Multímetro digital	Medidor LCR
1 ohm			
1 K			
1 M			

III. Reportar

1. Los valores calculados para R_x .
2. Tabla de resistencias medidas.
3. Para cada valor medido de resistencia con los diferentes instrumentos, ¿cuál es el instrumento más indicado para los diferentes valores medidos?
4. Conclusiones de la práctica.

PRÁCTICA 3

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA PARTE II

Objetivo: Identificar elementos de resistencia eléctrica altas en el orden de 1 Mega ohm hasta 1000 Mega ohms. Aprender a utilizar el megger o medidor de aislamiento para resistencias altas. Aprender los conocimientos básicos para hacer uso del medidor de resistencias de tierra.

Material y equipo

- 1 megger
- 1 medidor de tierras
- 1 tramo de cable coaxial
- Transformador monofásico
- Máquina de inducción jaula de ardilla
- Máquina de inducción de rotor devanado
- 8 puntas banana - banana

I. Introducción

Megóhmetros

Los Megóhmetros son un tipo especial de óhmetros que se emplean para medir resistencias muy altas. El rango de las resistencias que se pueden medir va desde $0.01M\Omega$ hasta $10,000M\Omega$. Para permitir llevar a cabo las mediciones, estos instrumentos proporcionan de 50V hasta 15,000V. Como resultado, aunque estos instrumentos tienen límite de corriente, se deben emplear con precaución. Estos es, si se emplea el instrumento incorrecto, se puede dañar el aislamiento de un sistema que se esté probando si se aplica voltaje demasiado alto. Por ejemplo, si se aplican 15,000V a un cable de instrumentación de 300 volts, es seguro que se dañaría el cable. Es probable que se produzca un arco eléctrico y ya no se podrían quitar las trayectorias carbonizadas de ese arco.

Los Megóhmetros se emplean para determinar si existen conductos de baja resistencia entre, por ejemplo, el devanado de un motor y tierra, entre alambres o cables, de un aparato a tierra o de algún aparato eléctrico a un aparato mecánico. Se deben verificar con un megóhmetro todas las instalaciones subterráneas de cables antes de aplicar corriente a ellas.

El megóhmetro que se muestra en la figura 1 tiene una salida de 500V y es capaz de medir hasta $100M\Omega$. También es capaz de medir voltajes de corriente alterna y valores bajos de resistencia de 0 a 100Ω .

La tabla 1 muestra los valores mínimos de resistencia que deben existir en los equipos que trabajan con especificaciones de voltaje estándar. Dichas especificaciones de basan en una temperatura de aislamiento de $40^{\circ}C$. A esa temperatura, se debe aplicar una corrección. Por cada $10^{\circ}C$ por encima de $40^{\circ}C$, se debe multiplicar por 2 los valores de la tabla 1. Por cada $10^{\circ}C$ por debajo de $40^{\circ}C$, la indicación debe ser la mitad que la mostrada en la tabla. Por ejemplo, una lectura de resistencia que indique $15M\Omega$ tomada a una temperatura de aislamiento de $20^{\circ}C$ es equivalente a una resistencia de $(15)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 3.75M\Omega$ a $40^{\circ}C$.

Al usar un megóhmetro se deben tener en cuenta algunas consideraciones. Primero, se debe tomar la lectura de resistencia después de haber aplicado el voltaje durante un periodo de tiempo constante de prueba (lo usual es 60 segundos). Segundo, el voltaje aplicado debe ser el recomendado para el equipo que se está probando. Tercero, use siempre el mismo tiempo y voltaje al comparar lecturas.

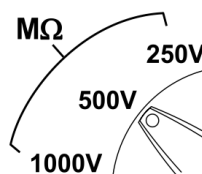


Figura 1.- Megóhmetro AMPROBE®.

Capacidad de voltaje del equipo	Resistencia recomendada ($M\Omega$)	Voltaje de prueba recomendado por el megóhmetro	Voltaje recomendado para prueba destructiva del aislamiento
115	1.1	500	---
230	1.23	500	2480
460	1.46	500 o 1000	3300
2300	3.3	1000 o 2500	9480
4000	5.0	1000 o 5000	16330
6600	7.6	1000 o 5000	24100

La figura 2 muestra el megger disponible en el laboratorio de la facultad. Dicho instrumento puede medir hasta $4000M\Omega$, con un rango de voltaje de $250V - 1000V$. Para medir la resistencia de aislamiento se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Seleccione la tensión de medición



2. Conecte las sondas al circuito a medir. El medidor detecta automáticamente si el circuito está energizado y muestra la tensión detectada.

ADVERTENCIA: Un pitido repetitivo y el parpadeo del símbolo de alta tensión ⚡ advierten al usuario si la tensión es superior a 30 V CA o CC. En tal caso, antes de proseguir con el siguiente paso, desconecte la tensión del circuito.

3. Pulse el botón TEST, sin soltarlo. En la esquina superior izquierda de la pantalla verá la tensión de prueba aplicada al circuito medido. La pantalla principal indicará la resistencia. El medidor emitirá un pitido una vez que la lectura se estabilice. En la esquina superior derecha de la pantalla aparecerá la misma lectura de resistencia que en la pantalla principal. Cuando la resistencia es superior al rango máximo de la pantalla, el medidor reacciona de la manera siguiente:
 - Si se selecciona el rango de 250 V, la pantalla indicará $>1000 \text{ M}\Omega$.
 - Si se selecciona el rango de 500 V, la pantalla indicará $>2000 \text{ M}\Omega$.
 - Si se selecciona el rango de 1000 V, la pantalla indicará $>4000 \text{ M}\Omega$.
4. Suelte el botón TEST, pero mantenga las sondas conectadas a los puntos de prueba. El circuito ahora se descargará a través del medidor, y la pantalla principal indicará la caída de tensión. Mantenga las sondas conectadas a los puntos de prueba hasta que el circuito quede totalmente descargado (la pantalla principal indicará entonces - - - -). En la esquina superior derecha de la pantalla se mantendrá la lectura de la resistencia hasta que se inicie una nueva prueba, o bien se seleccione otra función.



Figura 2.- Megóhmetro FLUKE® disponible en el laboratorio.

Este megger además de medir resistencias de aislamiento muy grandes, también puede medir resistencias de bajo valor, sin embargo, se debe revisar el instructivo para su correcto funcionamiento. De igual forma este megger puede medir tensiones hasta 660V de ca o cd.

II. Desarrollo

1. Examinar la construcción del megger, localizando sus partes principales y las terminales de conexión.
2. Realizar la medición de la resistencia de aislamiento en un motor de inducción jaula de ardilla

- Resistencia de carcasa a fase _____
- Resistencia de fase a fase _____
- Resistencia de un conductor a su aislamiento _____
- Resistencia de fase a la flecha del motor _____

3. Realizar la medición de la resistencia de aislamiento en un motor de inducción rotor devanado.

- Resistencia de carcasa a fase _____
- Resistencia de un conductor a su aislamiento _____
- Resistencia de fase a fase en el estator _____
- Resistencia de fase de estator a fase del rotor _____

4. Realizar la medición de la resistencia de aislamiento en un transformador monofásico.

Resistencia de un conductor a su aislamiento _____

Resistencia de primario (208 V) a secundario (120 V) _____

Resistencia de primario (120 V) a secundario (60 V) _____

III. Cuestionario

1. ¿Cuál es el principio de funcionamiento del megger?
2. ¿Por qué el voltaje de prueba de un megger se adapta respecto al voltaje nominal del dispositivo bajo prueba?
3. ¿Por qué el multímetro marca una resistencia infinita para la resistencia de aislamiento?

IV. Reportar

1. Resultados obtenidos
2. Cuestionario
3. Conclusiones individuales

PRÁCTICA 4

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA. AMPERÍMETRO, VOLTÍMETRO Y ÓHMETRO.

Objetivo: Mediante el uso de los datos tomados prácticas anteriores, diseñar la resistencia de escala y construirlas mediante el uso de los aparatos de laboratorio necesarios.

Material y equipo

- 1 módulo con galvanómetro
- 1 multímetro digital
- 1 multímetro fluke gris
- 4 puntas caimán-banana
- 4 puntas cortas banana-banana
- 4 puntas caimán-caimán
- 1 Potenciómetro de $100k\Omega$
- Tablilla protoboard
- 1R 1K, 1R 10K, 1R 100K.

I. Introducción

Amperímetros analógicos de CD.- Los amperímetros electromagnéticos industriales y de laboratorio se emplean para medir corrientes desde $1\mu A$ hasta varios cientos de amperes. El movimiento D'Arsonval se emplea en la mayoría de los amperímetros de CD como detector de corriente. La resistencia de la bobina del medidor introduce una desviación con respecto al comportamiento de un amperímetro ideal. El modelo que se emplea para describir un amperímetro real en términos del circuito equivalente es una resistencia R_m (de igual valor que la resistencia de la bobina y los conductores del medidor) en serie con un amperímetro ideal, como se muestra en la Figura 1.

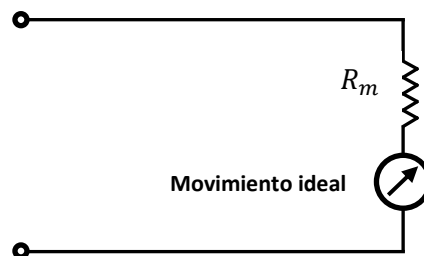


Figura 1.- Modelo del amperímetro real.

En la siguiente tabla se muestra la resistencia interna R_m del movimiento típico de D'Arsonval:

Tabla 1.- Resistencia interna de movimiento de D'Arsonval típicos

Corriente	Resistencia
$50\mu A$	$1000 - 5000 \Omega$
$500\mu A$	$100 - 1000 \Omega$
$1mA$	$30 - 120 \Omega$
$10mA$	$1 - 4 \Omega$

La **sensibilidad** de un amperímetro indica la corriente mínima necesaria para una desviación de toda la escala. Los medidores con alta sensibilidad dan lecturas muy pequeñas a escala completa. Los medidores comerciales emplean movimientos que tienen sensibilidades tan pequeñas como $1\mu A$. Sin embargo, $50mA$ es el límite máximo que pueden manejar los resortes con buena exactitud. Para aumentar las posibilidades de medición de los amperímetros de CD más allá del límite máximo se deben emplear resistencias en paralelo (resistencia shunt o derivación) con la resistencia interna R_m del medidor, como se muestra en la Figura 2.

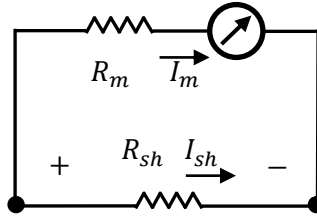


Figura 2.- Amperímetro con resistencia shunt.

Debido a que la resistencia de derivación está en paralelo con el movimiento del medidor, el voltaje a través de la resistencia y el del movimiento deben ser iguales, por lo tanto se puede escribir como sigue

$$V_{sh} = V_{movimiento}$$

$$I_{sh}R_{sh} = I_mR_m$$

$$R_{sh} = \frac{I_mR_m}{I_{sh}}$$

Donde $I_{sh} = I_{medida} - I_m$, o bien la ecuación anterior se puede escribir como sigue

$$R_{sh} = \frac{I_mR_m}{I_{medida} - I_m}$$

Donde I_{medida} = es la corriente máxima que se desea medir

Ejemplo.- Un galvanómetro de $1mA$ con una resistencia interna de 100Ω se quiere utilizar como amperímetro de $0 - 100mA$. Calcular el valor de la resistencia de derivación necesaria.

$$R_{sh} = \frac{I_mR_m}{I_{medida} - I_m} = \frac{(1mA)(100ohms)}{100mA - 1mA} = 1.01 ohms$$

Voltímetros analógicos de CD.- La mayor parte de los voltímetros analógicos emplean también el movimiento de D'Arsonval. Este movimiento se puede considerar en sí mismo un voltímetro, si se considera que la corriente que pasa por él, multiplicada por su resistencia interna, genera una caída de voltaje. Por ejemplo, un movimiento con escala máxima de $1\mu A$ y 50Ω tiene una caída de $50mV$ cuando fluye $1mA$ a través de él. Si la escala indica volts en lugar de amperes, el movimiento actúa como un voltímetro de $50mV$. Para aumentar el voltaje que se puede medir mediante este instrumento, se agrega una resistencia (un multiplicador) en serie a la resistencia propia del medidor, la cual limita la corriente que pasa por el circuito del medidor.

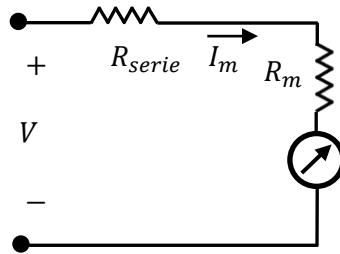


Figura 3.- Voltímetro con resistencia en serie para CD.

El voltaje V en las terminales se calcula como sigue

$$V = I_m(R_{serie} + R_m)$$

Despejando R_{serie} se obtiene lo siguiente

$$R_{serie} = \frac{V}{I_m} - R_m = \frac{V - I_m R_m}{I_m}$$

Ejemplo.- Si se desea emplear un medidor de $1mA$ y 50Ω como voltímetro con escala de $0 - 10volts$, ¿qué resistencia se debe colocar en serie con el movimiento?

$$R_{serie} = \frac{V}{I_m} - R_m = \frac{10v}{1mA} - 50\Omega$$

$$R_{serie} = 1000 - 50 = 9950\Omega$$

Óhmetros.- El óhmetro es un instrumento sencillo que aplica un voltaje fijo de una batería a través de dos resistencias en serie. Una resistencia es de valor conocido y la otra es la que se va a medir. Se mide el voltaje a través de la resistencia conocida mediante un voltímetro de cd. El voltaje medido origina una indicación del voltímetro de cd que se calibra para mostrar directamente el valor de la resistencia desconocida.

Los óhmetros son útiles para efectuar mediciones rápidas de valores de resistencia bajo muchas condiciones y rango comunes. Se emplea muy seguido en el mantenimiento del equipo de comunicaciones. Los valores de resistencia que se pueden medir con el óhmetro varían desde mili ohms hasta $50M\Omega$. Sin embargo, hay algunas limitaciones en su empleo. Debido a que su mejor exactitud es aproximadamente ± 1 por ciento, no son apropiados para mediciones de gran exactitud. También se deben seguir ciertas precauciones especiales al emplear los óhmetros para medir circuitos con alta inductancia o capacitancia. Los circuitos que tengan fuentes activas pueden contribuir con corrientes que cambien la relación de voltaje a corriente y pueden perjudicar el movimiento D'Arsonval del óhmetro. Los circuitos que contienen dispositivos sensibles (como algunos semiconductores y fusibles) podrían quemarse aún por el paso de la pequeña corriente que genera la batería del óhmetro.

Óhmetro tipo serie.- En la figura 3 se muestra el circuito de un óhmetro sencillo tipo serie. La resistencia desconocida R_x se conecta con las puntas del medidor en los puntos A y B . Si se ponen en corto las puntas de prueba ($R_x = 0$), fluye una corriente máxima en el circuito y parte

de esa corriente pasa al movimiento del medidor y parte por la resistencia R_2 . Para este caso, R_2 se ajusta de modo que la posición de la aguja del medidor se coloque en la marca de "0" ohms de la escala. La corriente que pasa por el movimiento del medidor en este caso se llama corriente de la escala completa I_{fs} . Cuando se desconectan las puntas ($R_x = \infty$), no pasa corriente y se ajusta el puntero en la marca " ∞ " de la escala del medidor. Los valores R_x entre "0" e " ∞ " hacen que la aguja se mueva hacia algún punto entre estos dos extremos.

Al emplear el óhmetro tipo serie, se obtienen los resultados más exactos cuando la resistencia desconocida R_x origine una deflexión de media escala en el medidor.

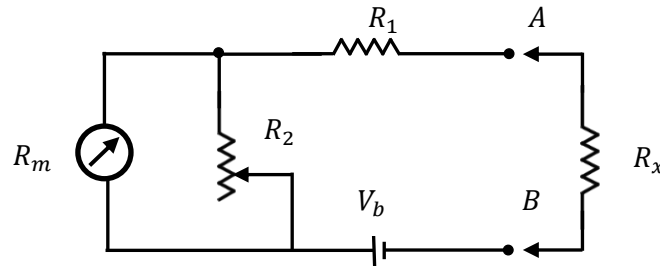


Figura 4.- Óhmetro tipo serie. R_1 = resistencia limitadora de corriente;

R_2 = resistencia de ajuste a cero; V_b = batería interna;

R_m = resistencia interna del movimiento D'Arsonval; R_x = resistencia desconocida.

Si se desea diseñar el medidor de modo que un cierto valor de resistencia ocasione esa deflexión, es útil definir este valor de resistencia como R_h . Entonces dada la resistencia interna del movimiento del medidor R_m y el voltaje de la batería V_b , se puede escoger R_1 y R_2 para permitir la deflexión de media escala.

Al introducir R_h en el circuito se reduce la corriente a la mitad $\frac{I_m}{2}$, por lo tanto la resistencia desconocida debe ser igual a la resistencia interna total del óhmetro

$$R_h = R_1 + \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

Esto es, la resistencia total con R_h conectada es $2R_h$, por lo que la corriente para una media escala es

$$I_h = \frac{V_b}{2R_h}$$

La corriente necesaria para dar una deflexión a escala completa I_t en términos de R_h (cuando las puntas del óhmetro están en cortocircuito) es

$$I_t = \frac{V_b}{R_h} \quad (1)$$

La corriente de derivación (shunt) I_2 a través de la resistencia R_2 es la diferencia entre la corriente total de la batería y la corriente de deflexión a escala completa I_m que pasa por el movimiento del medidor

$$I_2 = I_t - I_m \quad (2)$$

El voltaje en R_2 es V_2 y también es igual al voltaje a través del movimiento del medidor V_m .

$$V_m = V_2$$

$$I_m R_m = I_2 R_2$$

Despejando R_2 se obtiene

$$R_2 = \frac{I_m R_m}{I_2} \quad (3)$$

Sustituyendo (1) y (2) en la ecuación (3) se obtiene

$$R_2 = \frac{I_m R_m}{I_t - I_m} = \frac{I_m R_m R_h}{V_b - I_m R_h}$$

Y

$$R_1 = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

$$R_1 = R_h - \frac{I_m R_m R_h}{V_b}$$

Nota: R_1 es una resistencia limitadora de corriente, mientras que R_2 es una resistencia de ajuste a cero (usualmente un potenciómetro) que se usa para ajustar a cero la aguja del medidor cuando se cortocircuitan las puntas A y B , es decir, cuando se mide $R_x = 0$. Ese ajuste es necesario, ya que con el tiempo la batería va disminuyendo su voltaje por el uso.

Ejemplo.- Se desea diseñar un óhmetro como el de la figura 4, el cuál emplea un movimiento básico de $50\ \Omega$ que necesita una corriente de escala completa $I_m = 1\text{mA}$. El voltaje de la batería interna es 3V . En la escala deseada, la marca para la deflexión a media escala es de $2000\ \Omega$. Calcular los valores para R_1 y R_2 .

La corriente total que entrega la batería es

$$I_t = \frac{V_b}{R_h} = \frac{3}{2000} = 1.5\text{mA}$$

La corriente a través de R_2 es

$$I_2 = I_t - I_m = 1.5\text{mA} - 1\text{mA} = 0.5\text{mA}$$

Por lo que R_2 es

$$R_2 = \frac{I_m R_m}{I_2} = \frac{(1\text{mA})(50\ \Omega)}{0.5\text{mA}} = 100\ \Omega$$

El valor de la resistencia limitadora de corriente R_1 es

$$R_1 = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = R_h - R_p$$

$$R_p = \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = \frac{(100)(50)}{100 + 50} = 33.3\Omega$$

$$R_1 = R_h - R_p = 2000 - 33.3 = 1966.7\Omega$$

Óhmetro tipo derivación.- Este consiste de una batería en serie con una resistencia de ajuste R_1 , y un galvanómetro D'Arsonval. La resistencia desconocida se conecta a través de las terminales A y B , en paralelo con el medidor. Para este circuito es necesario tener un interruptor que desconecte la batería cuando no se use el instrumento. Cuando la resistencia desconocida $R_x = 0\Omega$ (A y B están en cortocircuito), la corriente del medidor es cero. Si la resistencia desconocida $R_x = \infty$ (A y B están abiertas), la corriente circulará únicamente a través del medidor; y con la apropiada selección del valor de R_1 , se puede hacer que la aguja marque escala completa. De esta forma, el óhmetro tiene la marca "cero" en el lado izquierdo de la escala (no circula corriente) y la marca "infinito" en el lado derecho de la escala (corriente de deflexión a plena escala).

El óhmetro tipo derivación es adecuado para medir valores bajos de resistencia.

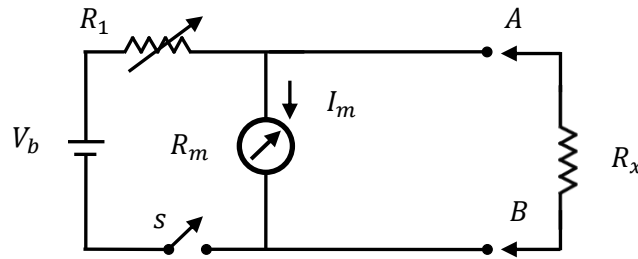


Figura 5.- Óhmetro tipo derivación

Cuando $R_x = \infty$, la corriente a escala completa del medidor es

$$I_m = \frac{V_b}{R_1 + R_m} \quad (4)$$

Al despejar R_1 se obtiene

$$R_1 = \frac{V_b}{I_m} - R_m$$

Para cualquier valor de R_x conectado a través de las terminales A y B , la corriente por el medidor decrece y está dada por

$$I = \left(\frac{V_b}{R_1 + \frac{R_m R_x}{R_m + R_x}} \right) \left(\frac{R_x}{R_m + R_x} \right)$$

$$I = \frac{V_b R_x}{R_1 R_m + R_x (R_1 + R_m)} \quad (5)$$

La corriente del medidor para cualquier valor de R_x , expresada como una fracción de la corriente a escala completa es

$$s = \frac{I}{I_m} = \frac{R_x(R_1 + R_m)}{R_1(R_m + R_x) + R_m R_x}$$

$$s = \frac{R_x(R_1 + R_m)}{R_x(R_1 + R_m) + R_m R_1}$$

Definiendo

$$R_p = \frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m}$$

Por lo que se obtiene

$$s = \frac{R_x}{R_x + R_p}$$

Si se utiliza la ecuación anterior, el medidor se calibra calculando s en términos de R_x y R_p . Para la lectura de media escala del medidor ($I = \frac{1}{2} I_m$) la ecuación 5

$$0.5 I_m = \frac{V_b R_h}{R_1 R_m + R_h (R_1 + R_m)} \quad (6)$$

Donde R_h es la resistencia externa que produce media deflexión. Para determinar los valores sobre la escala para un valor de R_1 , la lectura de media escala se puede encontrar igualando la ecuación (4) y (6), al despejar R_h se obtiene

$$R_h = \frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m}$$

II. Desarrollo

1. Diseñar un amperímetro con un rango de $0 - 100 \mu A$ utilizando el módulo del galvanómetro y sus respectivos potenciómetros. Verifique el funcionamiento del amperímetro diseñado con ayuda de un multímetro fluke para medir la corriente y llene la siguiente tabla.

$$R_{sh} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Voltaje (fuente variable de CD)	Posición de la aguja
$0 \mu A$	
$25 \mu A$	
$50 \mu A$	
$100 \mu A$	

2. Diseñar un voltímetro con un rango de $0 - 1 \text{ volt}$ utilizando el módulo del galvanómetro y sus respectivos potenciómetros. Verifique el funcionamiento del voltímetro diseñado con ayuda de un multímetro para medir el voltaje y llene la siguiente tabla.

$$R_{serie} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Voltaje (fuente variable de CD)	Posición de la aguja
0 volts	
0.25 volts	
0.5 volts	
1 volt	

3. Diseñar y construir un óhmetro tipo serie como el de la figura 4 para medir valores de resistencia a una escala media de $1k\Omega$, $10k\Omega$, $100k\Omega$ y $1M\Omega$. Anotar los valores calculados para R_1 y R_2 . Se recomienda utilizar $V_b = 5 \text{ volts}$.

Resistencia medida $R_h = R_x$	R_1	R_2	Corriente en el Galvanómetro I_G	Posición de la aguja
$1k\Omega$				
$10k\Omega$				
$100k\Omega$				
$1M\Omega$				

III. Reportar

- La resistencia R_m medida en la práctica 1 para el módulo utilizado así como la corriente a máxima deflexión I_m .
- Los cálculos realizados para obtener la resistencia de derivación R_{sh} en el amperímetro, así como la tabla de valores llenada para este experimento.
- Los cálculos realizados para obtener la resistencia limitadora R_{serie} en el voltímetro, así como la tabla de valores llenada para este experimento.
- Los cálculos realizados para el óhmetro, así como las tablas de valores llenadas en el laboratorio.
- ¿Qué pasa cuando se hacen los cálculos para $R_h = 1M\Omega$ y cómo se puede corregir el problema para poder medir ese valor de resistencia con el óhmetro diseñado?
- Conclusiones individuales.

PRÁCTICA 5

MARCADO DE INSTRUMENTOS

Objetivo: Identificar las marcas y símbolos de los instrumentos de medida analógicos previamente estudiados.

I. Introducción

Aunque en la actualidad se van reemplazando gradualmente por sus pares digitales, los viejos instrumentos analógicos todavía gozan de buena salud en el campo de las mediciones eléctricas, y su fabricación no sólo prosigue en buena demanda, sino que además satisface numerosas normas internacionales de diseño, calibración y desempeño para este tipo de aparatos. Son varias las razones que promueven el uso de los instrumentos analógicos para las mediciones eléctricas, ya sea por las características que reúnen, como por sus ventajas y múltiples aplicaciones. Presentan una amplia gama con distintos estilos de carcasa y especificaciones, sus mediciones permiten visualizar parámetros eléctricos y electrónicos, y son aparatos de gran fiabilidad bajo condiciones severas de trabajo. Entre sus beneficios se destacan su bajo costo, su precisión razonable, la facilidad de la instalación y el escaso mantenimiento, como así también la mínima capacitación que debe recibir un operario para hacer uso de estos aparatos. Sus aplicaciones van de conmutadores de alta tensión y paneles de control a sistemas de distribución, administración de energía en general y en edificios, control de procesos y de motores, etc. Sin embargo, los aparatos para mediciones eléctricas que poseen el mismo diseño no son fácilmente distinguibles entre sí. Por ejemplo, para un neófito en la materia, y a no ser por la graduación de la escala que presentan, los instrumentos de la figura de abajo podrían parecer idénticos cuando en realidad se trata de aparatos completamente diferentes, que miden distintas magnitudes y funcionan mediante distintos mecanismos.



¿Cómo se diferencian todos estos instrumentos? ¿Es posible efectuar una clasificación mediante símbolos de validez internacional, perfectamente comprensible más allá del idioma y la ubicación geográfica? La respuesta a este interrogante es afirmativa y de hecho cada instrumento puede diferenciarse perfectamente del otro. Para ello existe una simbología normalizada que tiene en cuenta una serie de parámetros que caracterizan a cada instrumento de medición eléctrica. Dichos parámetros, todos inherentes al aparato, son los siguientes:

- Magnitud eléctrica que mide.
- Clase de corriente.

- Seguridad en la manipulación.
- Posición de funcionamiento.
- Clase de precisión.
- Mecanismo de funcionamiento.

Todos estos parámetros se imprimen en la esfera de medición, generalmente, aunque no siempre, en el ángulo inferior izquierdo del aparato. A continuación se muestran en tablas los símbolos de uso más común que podemos encontrar en los instrumentos analógicos para mediciones eléctricas, agrupados de acuerdo con la clasificación normalizada de los parámetros anteriormente citados.

A. Magnitud eléctrica: es la única que se imprime en forma independiente de los demás parámetros y sobre cualquier ángulo o el centro de la esfera del aparato. En la práctica, la letra que diferencia cada aparato no necesariamente está rodeada por un círculo o rectángulo.

Magnitud	Aparato	Unidad de medida	Símbolo
Voltaje o tensión	Voltímetro	voltio (V)	V
Intensidad	Amperímetro	amper (A)	A
Potencia activa	Wattmetro	watt (W)	W
Potencia reactiva	Varímetro	VAR (VAr)	VAr
Resistencia	Óhmetro	ohm (Ω)	Ω
Energía eléctrica	Contador de energía activa	Watt-hora (Wh)	kwh
Energía eléctrica	Contador de energía reactiva	VAR-hora ($VArh$)	$kVArh$
Frecuencia	Frecuencímetro	Hercio (Hz)	f
Desfase	Fasímetro	$Cos\varphi$	φ

B. Clase de corriente

Corriente	Símbolo
Continua (CC)	—

Alterna (CA)	
Continua y alterna	
Instrumento trifásico 1 un sistema medidor	
Instrumento trifásico con 2 sistemas medidores	
Instrumento trifásico con 3 sistemas medidores	

C. Seguridad en la manipulación: Las fallas de aislamiento pueden provocar una diferencia de potencial entre la caja del instrumento y sus partes metálicas con tierra, por eso los aparatos se someten a una tensión aplicada entre la caja y sus partes activas, que depende de la tensión nominal y se informa como tensión de prueba de aislamiento.

Tensión de prueba	Símbolo
500V	
1000V	
2000V	
3000V	
5000V	
No sujeto a prueba	

D. Posición de funcionamiento

Posición	Símbolo
Vertical	
Horizontal	
Inclinada	

E. Clase de precisión: Se simboliza mediante un número que indica el error porcentual que comete el aparato. La precisión se caracteriza por el error reducido, que es el cociente, expresado en tanto por ciento, entre el error absoluto del instrumento y el valor máximo que puede medirse con el aparato (es decir, el alcance). El error reducido se utiliza para agrupar los instrumentos de medida en clases de precisión. Existen siete clases de precisión, entre 0.1 y 5 y en base a ello estará dada la aplicación del aparato. Por ejemplo un instrumento de clase 1 tiene un error de un 1% sobre su fondo de escala.

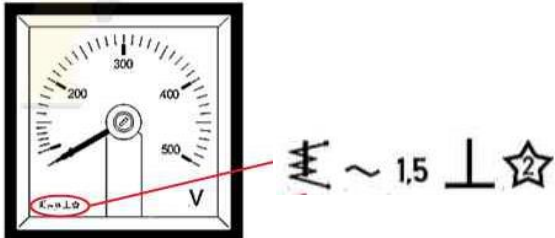
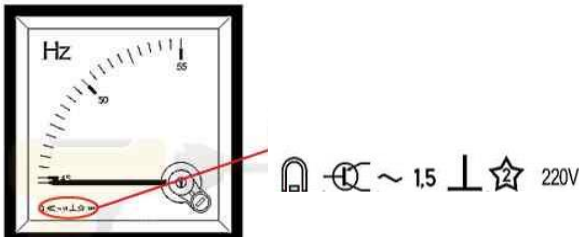
Clase	Límite de error	Aplicación	Símbolo
0.1	$\pm 0.1\%$	Instrumentos de gran precisión para investigación	0.1
0.2	$\pm 0.2\%$		0.2
0.5	$\pm 0.5\%$	Instrumentos de precisión para laboratorio	0.5
1	$\pm 1\%$	Instrumentos de medidas portátiles de CC	1
1.5	$\pm 1.5\%$	Instrumentos de tablero y portátiles de CA	1.5
2.5	$\pm 2.5\%$	Instrumentos de tablero	2.5
5	$\pm 5\%$		5

F. Mecanismo de funcionamiento: sólo se incluyen algunos símbolos, sin considerar los que distinguen logómetros (instrumentos medidores de cocientes).

Mecanismo	Símbolo	Mecanismo	Símbolo
Bobina móvil		Vibratorio	
Hierro móvil		Térmico	
Imán móvil		Bimetálico	
Electrodinámico sin hierro		Electroestático	
Electrodinámico con circuito de hierro		Inducción	
Dispositivo electrónico en circuito de medida		Dispositivo electrónico en circuito auxiliar	
Termopar aislado		Termopar no aislado	

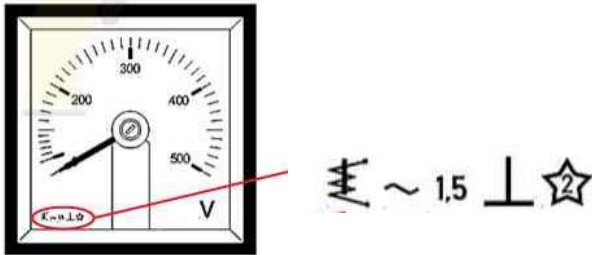
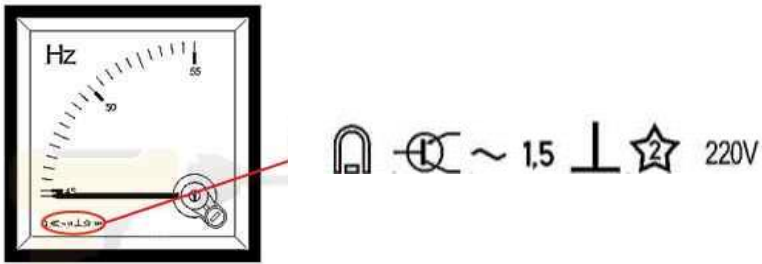
Aplicaciones prácticas

Los instrumentos mostrados presentan su simbología impresa en el ángulo inferior izquierdo (rodeada con una marca roja y ampliada en la columna siguiente de la tabla) y la letra que simboliza la magnitud eléctrica que miden se localiza en distintos ángulos de la esfera. A continuación se muestran algunos ejemplos de marcado de instrumentos:

Instrumentos	Descripción
	• Voltímetro • Mecanismo de hierro móvil • Para corriente alterna • Clase 1.5 • Posición de trabajo vertical • Tensión de prueba de 2000V
	• Frecuencímetro • Mecanismo de bobina móvil • Dispositivo electrónico en circuito de medida • Para corriente alterna • Clase 1.5 • Posición de trabajo vertical • Tensión de prueba 2000V • Rango de voltaje 220V

II. Desarrollo

1. Revisar la teoría referente a marcado de instrumentos
2. Marca los siguientes instrumentos

Instrumentos	Descripción
	
	

III. Reportar

1. La teoría referente a marcado de instrumentos
2. Los resultados del desarrollo y conclusiones individuales

PRÁCTICA 6

MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA

Objetivo: Identificar la resistencia de tierra de un electrodo con medidores de resistividad analógico y digital.

Material

- Probador de tierra digital.
- Probador de tierra analógico.
- 3 Electrodo.
- 1 Martillo.

I. Introducción

La conexión y puesta a tierra es necesaria en el diseño, protección y operación de las instalaciones y dispositivos eléctricos. Existen dos parámetros importantes al diseñar y mantener las redes de puesta a tierra o los electrodos de puesta a tierra: la resistividad del terreno y la resistencia a tierra de la red de electrodos. El objetivo de esta práctica es llevar a cabo la medición de resistividad y resistencia a tierra mediante los medidores digital y analógico, esta medición permite diseñar y verificar los sistemas de puesta a tierra, así como realizar el mantenimiento necesario durante la operación de los sistemas de conexión a tierra.

Para realizar esta medición en forma correcta se debe consultar y analizar las diferentes normas que regulan a la puesta de tierra, así como los manuales de los instrumentos de medición a utilizar. La medición de resistencia a tierra se debe realizar en forma segura y correcta siguiendo y respetando las instrucciones y recomendaciones de uso de los instrumentos de medición.

Una buena conexión de puesta a tierra es de primordial importancia en cualquier instalación eléctrica por razones de seguridad de la misma instalación y de las personas y, en múltiples ocasiones, resulta imperativo tanto para el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos como de las protecciones. El sistema de tierra brinda importantes beneficios al evitar pérdidas de vidas, daños materiales e interferencias con otras instalaciones.

La conexión de puesta a tierra permite lograr los siguientes objetivos:

- 1.- Estabilizar el voltaje de línea con respecto a tierra. La forma de conexión a tierra puede tener un gran efecto en la magnitud de la tensión o voltaje tanto en condiciones normales como transitorias.
- 2.- Asegurar la rápida actuación de las protecciones basadas en la detección de corrientes de falla que circulan por las mismas.
- 3.- Reducir las diferencias de potencial en la superficie de las subestaciones y demás instalaciones durante las máximas condiciones de falla a una magnitud que no sea peligrosa.

4.- Limitar la diferencia de potencial que, en un momento dado, puede presentarse entre estructuras metálicas y tierra a un valor lo más bajo posible para resguardar al personal en el área de cualquier choque eléctrico peligroso.

5.- Asegurar que las estructuras que no llevan corriente, tales como armazones de equipos, estructuras metálicas, etc., estén siempre al potencial de tierra, aún en el caso de falla de aislamiento.

6.- Evitar incendios mediante la conducción de una trayectoria efectiva y segura para la circulación de corrientes de falla, rayos, descargas electrostáticas, etc. eliminando así la posibilidad de la formación de arcos o el desarrollo de temperaturas elevadas en proximidades de materiales combustibles o inflamables.

7.- Establecer el potencial de referencia que requieren para su eficiente operación los equipos y sistemas electrónicos que integran un mismo sistema, si estos están conectados entre sí a tierra simultáneamente.

El sistema de puesta a tierra debe tener una resistencia total lo más pequeña posible respecto a la tierra de referencia para que al circular la corriente de falla o del rayo no se originen tensiones peligrosas que afecten la seguridad tanto para los seres vivos como para el funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

La resistencia a tierra de una red de electrodos depende, fundamentalmente, de tres factores: la resistencia de los propios electrodos, la resistencia de contacto de los electrodos con el terreno y la resistividad del terreno. La resistencia de los electrodos es baja ya que son fabricados de materiales de alta conductividad eléctrica. La resistencia de contacto también es baja si se garantiza que los electrodos estén libres de grasa, pintura y similares, así como que estén firmemente enterrados. La resistividad del terreno es la que presenta el mayor valor de los tres.

Método de medición de la resistencia a tierra por la caída de potencial.

Este método es utilizado en la mayoría de los sistemas de tierra, se requiere usar 2 electrodos auxiliares y el electrodo donde se requiere medir la resistencia a tierra. La corriente generada por el instrumento es inyectada entre el electrodo bajo prueba y el electrodo auxiliar C. La caída de potencial a través del suelo es medida entre el electrodo bajo prueba y el electrodo auxiliar P, el valor de la resistencia a tierra se define a partir de las lecturas anteriores de voltaje y de corriente, según se muestra en la siguiente figura.

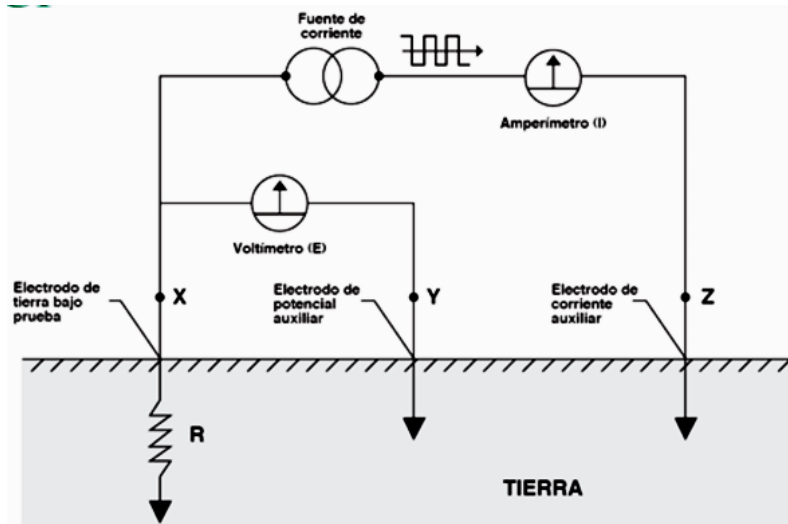


Figura 1. Método de medición de la resistencia de tierra por la caída de potencial.

II. Desarrollo

- 1.- Examinar el probador de tierra digital. Localizar el botón de prueba, las escalas de resistencia y las conexiones E, P, y C.
- 2.- Verificar el estado de la batería.
- 3.- Verificar el voltaje de tierra.
4. Realizar una medición de resistencia a tierra colocando los electrodos a la distancia requerida sobre el terreno a medir y conectando las terminales E (verde, electrodo de tierra), P (amarilla, electrodo de potencial), y C (roja, electrodo de corriente); cada electrodo debe estar colocado entre sí a 5 m. Al iniciar la prueba utilizar la mayor escala de resistencia en el medidor. Por seguridad durante la medición no tocar ningún conductor o terminal.
- 5.- Seguir las instrucciones del medidor y el diagrama suministrados.
- 6.- Tomar una segunda lectura variando la posición de los electrodos.
- 7.- Realizar una medición entre dos electrodos, uno con resistencia medida y el otro con resistencia a medir según el diagrama suministrado en el medidor. Por seguridad durante la medición no tocar ningún conductor o terminal.
- 8.- Examinar el probador de tierra analógico. Localizar el botón de prueba, las escalas, el galvanómetro, el dial de equilibrio en el galvanómetro y las conexiones E, P, y C.
- 9.- Verificar el estado de la batería. Realizar la medición del voltaje de tierra y las conexiones P y C.

10.- Realizar una medición de resistencia a tierra mediante una medición normal (método de tres electrodos), colocando los electrodos a la distancia requerida (5 metros) sobre el terreno a medir y conectando las terminales E, P, y C. Elegir la mayor escala de la resistencia y tratar de equilibrar el galvanómetro. Por seguridad durante la medición no tocar ningún conductor o terminal.

11.- Seguir las instrucciones y el diagrama suministrados.

III. Cuestionario

- 1.- ¿Cómo se comparan las mediciones de los dos medidores?
- 2.- ¿Cuál medidor tiene mayor exactitud?
- 3.- ¿De qué depende el valor de la resistencia a tierra de un electrodo?
- 4.- ¿Qué influencia tiene la resistividad del terreno sobre la resistencia a tierra de un electrodo?
- 5.- ¿Por qué en ocasiones hay que mejorar la resistividad del terreno para disminuir la resistencia a tierra?

IV. Reportar

1. Resultados obtenidos en las mediciones
2. Conclusiones individuales

PRÁCTICA 7

MEDICIÓN DE LA INDUCTANCIA Y CAPACITANCIA

Objetivo: Aprender a usar los aparatos de medición de inductores y capacitores y desarrollar un método para la medición de estos parámetros mediante la experimentación.

Material

- Medidor LCR
- 3 Multímetros digitales
- 1 capacitor de $1\mu F$ de mica
- 1 capacitor de $0.47\mu F$ de mica
- 1 bobina de $8.5H$
- 1 bobina pequeña
- 1 resistencia de $1k\Omega$ a $1W$
- 6 puntas caimán-banana
- 6 puntas banana-banana
- 6 puntas caimán-caimán

I. Introducción

Aunque la capacitancia y la inductancia se puedan medir con métodos indirectos, por ejemplo, la medición de las constantes de tiempo RC y R/L , esos métodos generalmente tienen una falta de exactitud. En consecuencia, la mayor parte de las mediciones de la capacitancia e inductancia de los componentes (es decir, capacitores o inductores) se efectúan usando circuitos de puente que pueden dar resultados muy exactos. La condición de equilibrio en el puente de Wheatstone que se vio en una práctica anterior era

$$R_x R_1 = R_2 R_3$$

Siendo R_x el valor desconocido de la resistencia y R_1 , R_2 y R_3 eran los valores conocidos. Si se sustituyen las resistencias del puente de Wheatstone por impedancias de naturaleza resistiva y reactiva y se aplica un voltaje de corriente alterna entre los puntos A y B del circuito de la figura 1, la ecuación de equilibrio es, en general,

$$Z_x Z_1 = Z_2 Z_3$$

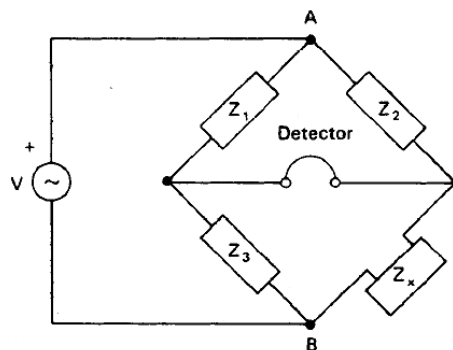


Figura 1.- Circuito puente de impedancia de ca.

Como cualquier impedancia Z se puede expresar como un número complejo

$$Z = R + jX$$

Entonces no es tan fácil deducir una Z_x desconocida a partir de la condición de equilibrio como lo es encontrar R_x en un puente puramente resistivo. Para lograr una condición cero, es necesario especificar dos condiciones que se igualen: una para la parte resistiva y la otra para la parte reactiva

$$Z_x = R_x + jX_x = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} = \operatorname{Re}\left(\frac{Z_2 Z_3}{Z_1}\right) + j \operatorname{Im}\left(\frac{Z_2 Z_3}{Z_1}\right)$$

Medición de capacitancias.- Si el factor de disipación de un capacitor es pequeño ($0.001 < D < 0.1$), se emplea un puente de comparación de capacitancia en serie (Figura 2a). Si D es mayor ($0.05 < D < 50$), se emplea el puente de comparación de capacitancia en paralelo (Figura 2b). Para el puente de comparación de capacitancia en serie, las impedancias son: $Z_1 = R_1$, $Z_2 = R_2$, $Z_3 = R_3 - j\frac{1}{\omega C_3}$ y $Z_x = R_x - j\frac{1}{\omega C_x}$. Por lo que R_x y C_x se obtienen como sigue

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \text{ y } C_x = C_3 \frac{R_1}{R_2}$$

C_x es el valor de la capacitancia que se desea determinar.

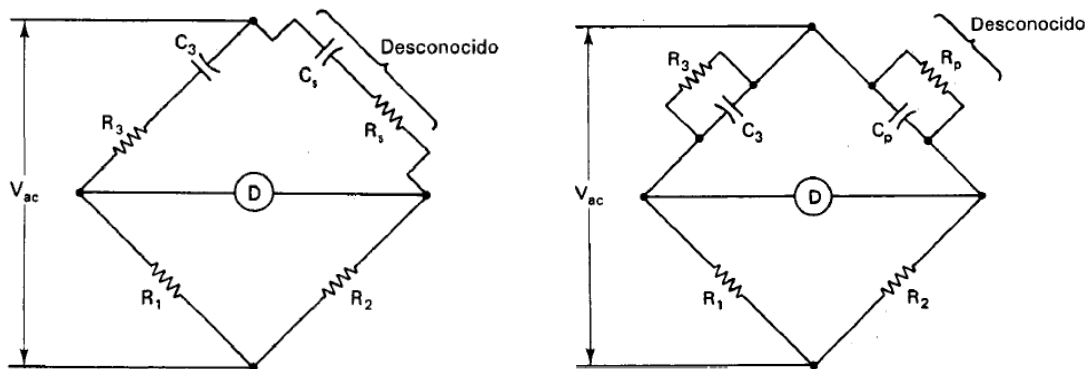


Figura 2.- Circuito puente de comparación en a) serie y b) paralelo

Si se eligen R_2 y C_3 como cantidades fijas y a R_3 y R_1 como los elementos variables, se puede lograr una condición nula variando R_3 y R_1 y a continuación calcular R_x y C_x . En este circuito los únicos elementos variables son resistencias y no hay que ajustar elementos reactivos para lograr la condición de equilibrio. La condición de equilibrio para el puente de comparación de capacitancia en paralelo es

$$R_p = \frac{R_1 R_3}{R_2} \quad \text{y} \quad C_p = \frac{C_1 R_2}{R_3}$$

En este puente R_2 y C_1 son fijos, R_3 y R_1 son variables.

Medición de inductancias.- Hay dos tipos de circuitos en puente que se emplean con mayor frecuencia para determinar la inductancia. El primero, el puente de Maxwell, se adecua mejor para medir inductancias que tienen Q baja ($1 < Q < 10$). El segundo es el puente de Hay, y mide a L con mayor exactitud cuando la Q del inductor es alta ($10 < Q < 1000$). La figura 3 muestra un puente de Maxwell. Mide las inductancias desconocidas por comparación con una capacitancia estándar. La condición de equilibrio en este puente se cumple cuando

$$L_x = R_1 R_3 C_2 \quad \text{y} \quad R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

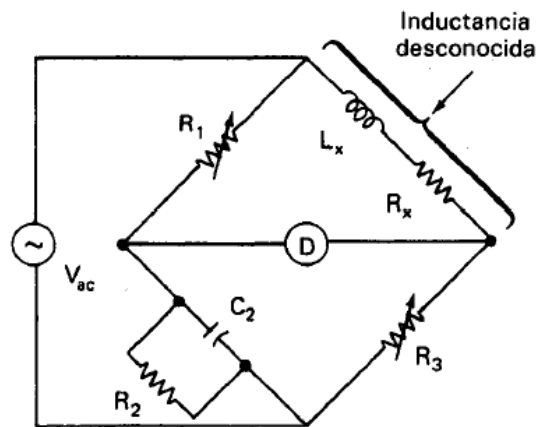


Figura 3.- Puente de Maxwell

De estas ecuaciones, se ve que escogiendo a C_2 y a R_3 como constantes, sólo se tiene que variar a R_1 y R_2 hasta que se logre la condición de equilibrio. Sin embargo, como R_1 aparece en ambas ecuaciones, por lo que se necesitan varios ajustes para encontrar las dos condiciones de equilibrio. La figura 4 muestra el puente de Hay. Es el más adecuado para medir la inductancia de elementos con alta Q . También emplea un capacitor estándar como elemento de comparación para determinar la L desconocida. Sin embargo, el capacitor está en serie con una resistencia en un brazo del puente, en lugar de estar en paralelo. Las ecuaciones de equilibrio del puente de Hay son

$$L_x = \frac{R_2 R_3 C_1}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2}$$

$$R_x = \frac{\omega^2 C_1^2 R_1 R_2 R_3}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2}$$

Las ecuaciones L_x y R_x parecen depender de ω . Sin embargo, para los casos que $Q > 10$, el término en ω es menor que $1/100$ y por lo tanto se puede despreciar. En esos casos la ecuación para L_x es

$$L_x = R_2 R_3 C_1$$

Por esta razón el puente de Hay no es tan exacto si el valor de Q del inductor que se está midiendo es menor de 10.

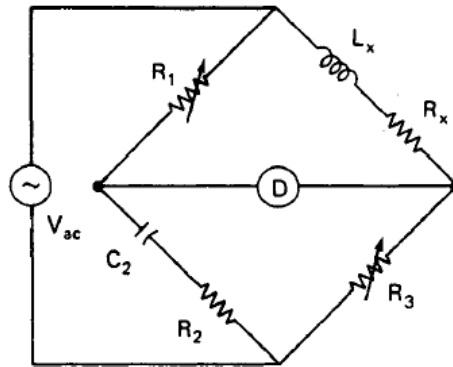


Figura 4.- Puente de Hay

Medición de la capacitancia con un Voltímetro de ca.- Para aplicar este método se requiere usar voltímetros de alta impedancia (mayores a $10M\Omega$) para determinar la capacitancia desconocida. Además este método se limita a capacitores con valores mayores a $0.001\mu F$ o más. Su exactitud es sólo del 10%. Se conecta el capacitor desconocido en serie con una resistencia y la combinación se conecta a una fuente de voltaje de ca que sea menor a la capacidad del capacitor (ver figura 5). A continuación se mide por separado el voltaje a través de cada elemento. Primero se calcula I (valor efectivo o rms) mediante

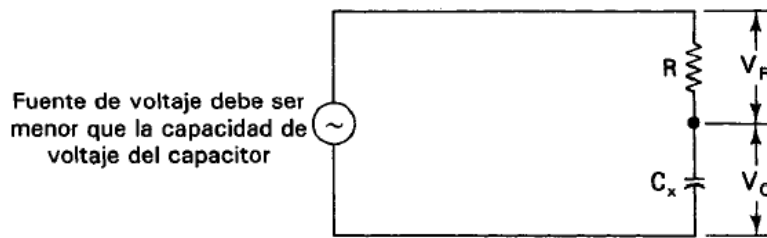


Figura 5.- Circuito para medir capacitancia con un voltímetro de ca.

$$I = \frac{V_R}{R}$$

Siendo R la resistencia y V_R el voltaje medido en la resistencia. A continuación se calcula C mediante

$$V_C = IX_C = \frac{I}{2\pi fC} \quad \text{O bien} \quad C = \frac{I}{2\pi fV_C}$$

Donde V_C es el voltaje efectivo (rms) medido a través del capacitor.

Medición de inductancia con un voltímetro de ca.- Se puede hacer una medición rápida de la inductancia utilizando un voltímetro de ca y un voltaje de ca. El método no es tan exacto como la medición con puente, pero produce valores que son adecuados para muchas aplicaciones. El método consiste en conectar la inductancia desconocida en serie con una resistencia R variable como en la figura 6. Se aplica un voltaje total de corriente alterna a través de la conexión en serie y se iguala el voltaje a través de ambos elementos. Se efectúa la igualación midiendo primero el voltaje entre las terminales del inductor y a continuación conectando el medidor entre las terminales de R_1 . Se ajusta el voltaje de la resistencia hasta que el voltaje a través de ella sea igual al voltaje medido a través del inductor. Cuando ambos voltajes son iguales, las impedancias del inductor y de la resistencia también son iguales. Por lo tanto, se pueden igualar y emplear la ecuación resultante para calcular el valor de la inductancia. La ecuación para calcular L es la siguiente

$$L = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{2\pi f}$$

En donde R es el valor de la resistencia ajustable en equilibrio, r es el valor medido de la resistencia de la bobina en corriente directa, y f es la frecuencia de la corriente alterna que se esté utilizando (regularmente 60Hz).

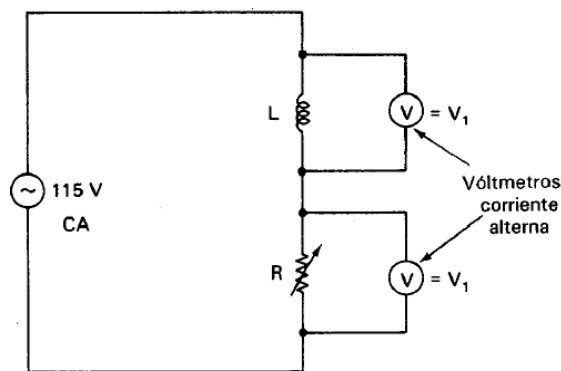
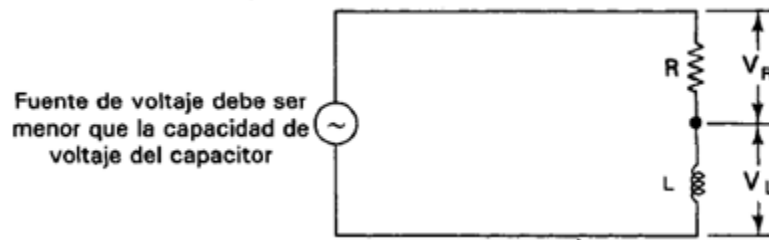


Figura 6.- Circuito para medir capacitancia con un voltímetro de ca.

Ejemplo.- Se conecta un inductor desconocido en serie con una resistencia ajustable como se muestra en la figura 2. La resistencia del inductor a la corriente directa se había medido previamente siendo 100Ω . Cuando se hace la conexión en serie con la corriente alterna de 60Hz, se logra un estado de igual voltaje a través de ambos elementos al ajustar R a 3200Ω . Calcule el valor de la inductancia.

$$L = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{2\pi f} = \frac{\sqrt{3200^2 - 100^2}}{2\pi(60)} = 8.4H$$

También se puede aplicar el mismo método que se usó para la capacitancia, tomando en cuenta la reactancia inductiva se la siguiente manera



$$I = \frac{V_R}{R}$$

Siendo R la resistencia y V_R el voltaje medido en la resistencia. A continuación se calcula L mediante

$$V_L = IX_L = 2\pi fLI \quad \text{O bien} \quad L = \frac{V_L}{2\pi fI}$$

II. Desarrollo

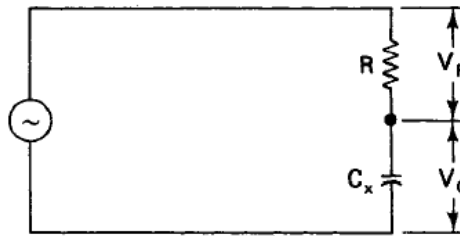
1. Mide el valor de dos capacitores y llena la siguiente tabla

Capacitor	Valor teórico	Valor medido con medidor LCR
1	$1\mu F$	
2	$0.47\mu F$	

2. Mide el valor de dos inductores y llena la siguiente tabla

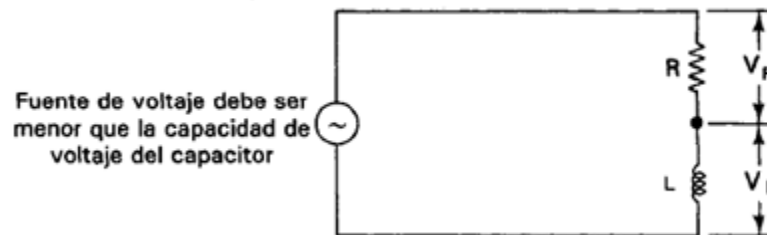
Inductores	Valor teórico	Valor medido con medidor LCR
1	$8.5H$	
2	---	

3. Arma el siguiente circuito RC y calcula la capacitancia con el método del voltímetro de **ca** para los dos capacitores medidos. Mide la corriente total.



Capacitor	V_R	V_C	I_{medida}	$C_{calculada}$

4. Arma el siguiente circuito RL y calcula la inductancia usando los dos inductores medidos. Mide la corriente total.



Inductor	V_R	V_L	I_{medida}	$L_{calculada}$

IV. Reportar

1. Compara los valores de capacitancia medidos y los calculados. Calcula el porcentaje de error entre ambas medidas.
2. Compara los valores de inductancia medidos y los calculados. Calcula el porcentaje de error entre ambas medidas.
3. ¿A qué atribuyes las diferencias entre los valores medidos y calculados tanto para capacitancias como para inductancias?
4. Conclusiones individuales.

PRÁCTICA 8

MEDICIÓN DE LA POTENCIA (WATTMETROS)

Objetivo: Que el alumno mida la potencia de un elemento alimentado con CD y CA, también que conozca y aprenda a utilizar los medidores de potencia monofásicos para medir la potencia en circuitos trifásicos mediante el método de los dos wattmetros y los medidores trifásicos.

Material

- Módulo de resistencias
- Módulo de inductancias
- Módulo de capacitancias
- 3 multímetros Fluke
- Wattmetro monofásico
- Wattmetro trifásico
- Watt-Var trifásico
- 25 terminales b-b

I. Introducción

En circuitos de corriente directa la carga eléctrica se considera como puramente resistiva, la potencia eléctrica a medir se define como:

$$P = VI = i^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Esto es, midiendo el voltaje aplicado y la corriente se puede evaluar la potencia en un circuito de cd, o midiendo la corriente y resistencia, o midiendo el voltaje y la resistencia. La siguiente figura muestra un circuito de corriente directa con mediciones de voltaje y corriente.

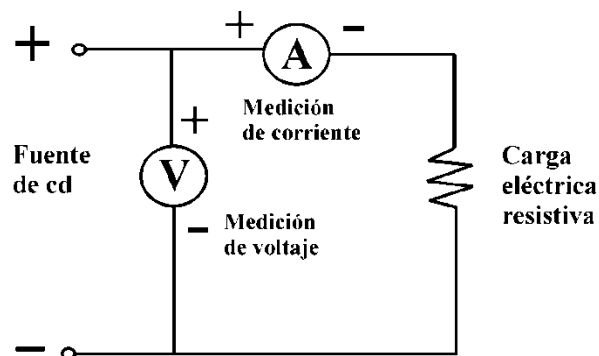


Figura 1.- Circuito de corriente directa con carga resistiva

La potencia eléctrica en el circuito se puede evaluar mediante las mediciones de voltaje y corriente. Se puede medir también corriente y resistencia o voltaje y resistencia para calcular la potencia real.

El wattmetro es un dispositivo de medida de tipo electrodinámico y su constitución y funcionamiento es similar al del amperímetro o voltímetro. Internamente está formado por dos bobinas, una fija y otra móvil. La fija es de hilo grueso y la móvil de hilo fino. La bobina fija es recorrida por la corriente del circuito, por eso se le llama amperimétrica y la móvil es de hilo fino y mide la tensión, por lo que se le llama voltimétrica. Para que esta bobina sea recorrida por una corriente muy pequeña, se puede conectar una resistencia en serie con ella. En la siguiente figura se muestran la conexión de bobinas en un wattmetro.

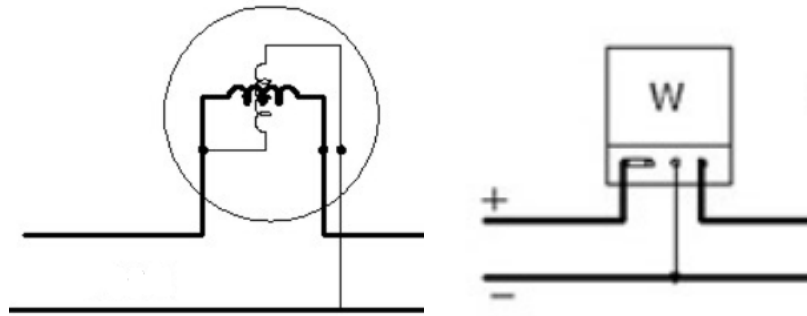


Figura 2.- Bobinas de voltaje y de corriente en un wattmetro observar el desfase de 90 grados entre las bobinas. Conexión del wattmetro en un circuito de corriente directa.

Para medir la potencia en corriente alterna en una fase, en el supuesto de que el circuito estuviera formado por carga resistiva pura, se procede igual que si se tratara de un circuito de corriente continua. Para los casos en que el circuito esté constituido por impedancias Z , no es suficiente con conocer la tensión y la intensidad, pues existe un desfase entre ambas y la potencia depende de este desfase.

Las potencias en un circuito de corriente alterna se definen como:

Potencia aparente: $S = VI$

Potencia activa: $P = VI \cos \theta$

Potencia reactiva: $Q = VI \sin \theta$

Estas potencias forman el triángulo de las potencias. Si se mide el voltaje y la corriente se puede determinar la potencia aparente S y si la potencia real se mide con un wattmetro se obtiene P , Q se obtiene resolviendo el triángulo de las potencias.

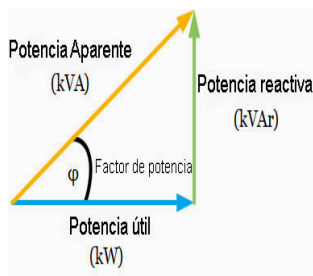


Figura 3.- Triángulo de las potencias.

El uso del wattmetro en corriente alterna se caracteriza porque la aguja se desviará un ángulo α de forma proporcional al producto VI y por $\cos\varphi$, siendo φ el desfase entre V e I .

Método de los dos wattmetros. Este método se aplica en la medición de la potencia real en un circuito trifásico, mediante dos wattmetros monofásicos; consiste en la conexión de dos bobinas de corriente a dos fases y a estas mismas fases se conectan las bobinas de voltaje o potencial y el otro extremo de estas bobinas se conecta a la tercera fase, tal como se muestra en la figura 4.

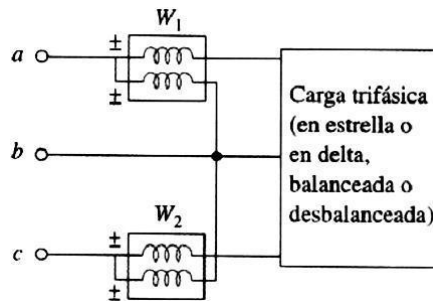


Figura 4.- Método de los dos wattmetros monofásicos para la medición de potencia real trifásica.

II. Desarrollo

1. Medir la potencia eléctrica en un circuito de corriente directa con carga resistiva midiendo el voltaje y la corriente respetar los valores nominales de los componentes en el circuito, tomando diferentes mediciones variando la carga resistiva. Alternativamente medir resistencia y corriente, o bien voltaje y resistencia para evaluar la potencia.

Resistencia	Voltaje	Corriente	$V \cdot I$	$I^2 R$	V^2 / R

2. Medir la potencia eléctrica en un circuito de corriente alterna monofásico con carga de factor de potencia diferente, es decir, cargas resistiva, inductiva y capacitiva midiendo el voltaje y la corriente para obtener la potencia aparente (S), medir también la potencia real mediante el wattmetro monofásico, la figura 5 ilustra las bobinas de voltaje y corriente en el wattmetro. Aplicar el triángulo de las potencias para obtener la potencia reactiva y el factor de potencia.

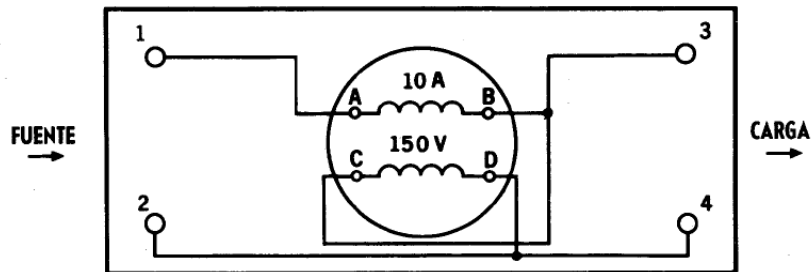


Figura 5.- Wattmetro monofásico, 1-2 fuente 3-4 carga, 1-3 bobina de corriente 3-4 bobina de voltaje.

Carga	Voltaje	Corriente	$S = VI$	Wattmetro	Potencia Reactiva Q	Factor de potencia

3. Medir la potencia eléctrica en un circuito de corriente alterna trifásico con carga balanceada de factor de potencia diferente, es decir, cargas resistiva, inductiva y capacitiva puede conectarse esta carga en estrella, midiendo el voltaje entre fase y neutro y la corriente de fase para obtener la potencia trifásica aparente (S), recordando que esta es igual a tres veces la potencia monofásica aparente para cargas balanceadas, medir también la potencia real mediante el wattmetro trifásico. Aplicar el triángulo de las potencias para obtener la potencia reactiva trifásica y el factor de potencia del circuito trifásico. Verificar los cálculos y las mediciones mediante la conexión del medidor watt-var trifásico.

Carga $S_{3\phi}$ balanceada	Voltaje fase-neutro	I_f	$S_{3\phi} = 3V_f I_f$	Wattmetros Suma algebraica	Q Calculada VARS	Factor de potencia	P medida watts	Q medida VARS

IV. Reporte

1. Comparar los valores de potencia en ca 1 fase, medidos y los calculados. Calcula el porcentaje de error entre ambas medidas.
2. Comparar los valores de potencia en ca 3 fases, medidos y los calculados. Calcula el porcentaje de error entre ambas medidas.
3. ¿Son comparables la potencia reactiva Q calculada mediante las mediciones y la Q medida con el medidor de watt-vars?
4. Conclusiones individuales.

PRÁCTICA 9

MEDICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA (2 WATTMETROS)

Objetivo: Que el alumno desarrolle el método para poder medir el f.p. mediante el método de la medición de la potencia trifásica usando 2 wattmetros monofásicos, así como aprender a utilizar y medir el factor de potencia con un factorímetro analógico y digital.

Material

- Módulo de resistencias
- Módulo de inductancias
- Módulo de capacitancias
- 7 multímetros Fluke
- Wattmetro monofásico
- Wattmetro trifásico
- 20 terminales cortas b-b
- 15 terminales largas b-b
- Factorímetro analógico
- Factorímetro digital

I. Introducción

El **teorema de Blondell** dice que en un circuito n-filar la potencia activa puede medirse como suma algebraica de las lecturas de $n - 1$ wattmetros. Este enunciado es evidente en el caso de un circuito tetrafilar en que tenemos acceso al neutro de la carga

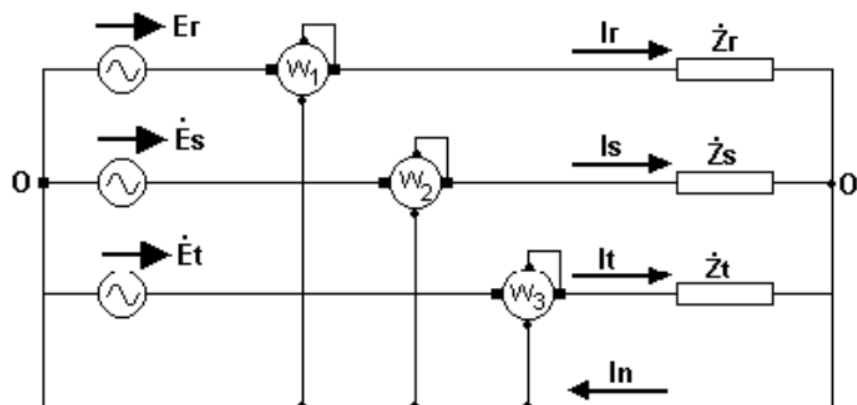


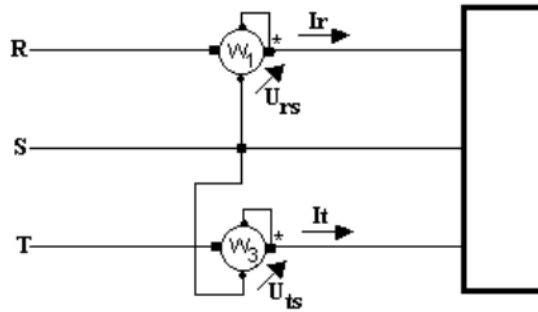
Figura 1.- Medidas por fase con tres wattmetros

En este caso particular cada wattmetro indica la potencia de la fase a la que está conectado. De este modo, la potencia trifásica resulta igual a:

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

Es decir, la potencia total es suma de las tres lecturas.

El **método de Aron o de los dos wattmetros**. Para medir la potencia en un circuito trifilar se intercalan dos wattmetros en los conductores de línea, conectando las bobinas de voltaje a un punto común sobre el tercer conductor. **No se requiere condición de simetría** alguna en el generador o la carga, no existiendo restricciones al esquema de conexión (estrella o triángulo). La indicación de un wattmetro es igual al producto de los valores eficaces de la tensión aplicada a la bobina de voltaje, por la corriente que circula por la bobina de corriente, por el coseno del ángulo de desfase entre ambas.



Si las potencias medidas por los wattmetros son P_1 y P_2 (alguna de estas potencias puede ser negativa), la **potencia activa** P del sistema trifásico se obtiene mediante la siguiente fórmula, que es válida tanto en sistemas equilibrados como desequilibrados

$$P = P_1 + P_2$$

Si el circuito es equilibrado, se verifica además que la potencia reactiva Q en el que se realiza la medición, vale

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$$

La energía que pasa en un circuito de ca, pero que no disipa en la carga, se llama potencia reactiva Q . Los dos elementos que no discipan potencia son el inductor y el capacitor ideales. En la práctica ningún elemento es ideal, ya que también presentan un comportamiento resistivo. Las pérdidas originadas por el comportamiento resistivo no ideal no se pueden despreciar en muchos circuitos. La potencia reactiva Q se describe mediante las unidades Var's (volts-ampere-reactivos) y se calculan con la ecuación

$$Q = V_{rms} I_{rms} \cos \varphi$$

Donde φ es el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente. Q se mide con instrumentos conocidos como vármetros. La combinación de P y Q presente en la carga se llama **potencia aparente** S , se calcula mediante

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Además S también es igual al producto de V_{rms} e I_{rms} en la carga

$$S = V_{rms} I_{rms}$$

Las unidades de S son los volts-amperes (VA), aunque generalmente se usa el múltiplo KVA.

A la relación $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ se le conoce como **factor de potencia**.

$$fp = \cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Para conocer el factor de potencia se pueden utilizar medidores de factor de potencia, ya sea analógicos o digitales. O bien se puede obtener indirectamente midiendo la potencia aparente S y la potencia activa P .

II. Desarrollo

1. Medir la I_{rms} y V_{rms} en cada fase en un circuito de corriente alterna trifásico con **carga balanceada**. Con esos valores calcular la potencia aparente S . Medir además la potencia activa P con un wattmetro trifásico (método de los dos wattmetros). Considera los siguientes casos:

Carga $S_{3\phi}$ balanceada	Voltaje fase-neutro	I_f	$S_{3\phi} = 3V_f I_f$	Potencia activa P	Factor de potencia
RL					
RC					
RLC					

2. Medir la I_{rms} y V_{rms} en cada fase en un circuito de corriente alterna trifásico con **carga desbalanceada**. Con esos valores calcular la potencia aparente S . Medir además la potencia activa P con un wattmetro trifásico (método de los dos wattmetros). Considera los siguientes casos:

Carga $S_{3\phi}$ desbalanceada	Voltaje fase-neutro	I_f	$S = S_1 + S_2 + S_3$	Potencia activa P	Factor de potencia
RL	$V_{1FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F1} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_1 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	$V_{2FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F2} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_2 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	$V_{3FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F3} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_3 = \underline{\hspace{2cm}}$		

			$S = \underline{\hspace{2cm}}$		
RC	$V_{1FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F1} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_1 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	$V_{2FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F2} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_2 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	$V_{3FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F3} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_3 = \underline{\hspace{2cm}}$		
			$S = \underline{\hspace{2cm}}$		
RLC	$V_{1FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F1} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_1 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	$V_{2FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F2} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_2 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	$V_{3FN} = \underline{\hspace{2cm}}$	$I_{F3} = \underline{\hspace{2cm}}$	$S_3 = \underline{\hspace{2cm}}$		
			$S = \underline{\hspace{2cm}}$		

IV. Reporte

1. Las tablas de datos medidos y calculados
2. Calcular el factor de potencia para el caso balanceado y el caso desbalanceado
3. Conclusiones individuales