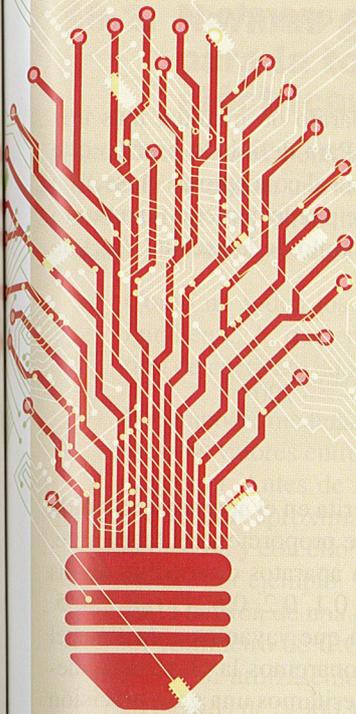


16

Medidas eléctricas



Contenidos

- 16.1. Errores en la medida
- 16.2. Normas generales para la toma de medidas eléctricas
- 16.3. Instrumentos de medida analógicos y digitales
- 16.4. Sistemas de medida
- 16.5. Medida de intensidad de corriente
- 16.6. Medidas de tensión
- 16.7. El polímetro
- 16.8. Medidas de potencia
- 16.9. Medida de energía en sistemas trifásicos
- 16.10. Medida de la frecuencia
- 16.11. Medida del factor de potencia
- 16.12. Medida de resistencias eléctricas
- 16.13. Sistemas avanzados de medida
- 16.14. El osciloscopio

Objetivos

- Describir las características más relevantes (tipos de errores, precisión, posición de trabajo, etc.), la tipología, clases y procedimientos de uso de los instrumentos de medida utilizados en los circuitos electrotécnicos básicos.
- Realizar con precisión y seguridad las medidas de las magnitudes eléctricas fundamentales (tensión, intensidad, resistencia, potencia, frecuencia, etc.), utilizando, en cada caso, el instrumento (polímetro, vatímetro, osciloscopio, etc.) y los elementos auxiliares apropiados.

Algunos de los aparatos de medida más comunes, como voltímetros, amperímetros y vatímetros, ya son conocidos por todos nosotros, puesto que han sido tratados en unidades anteriores. En esta unidad estudiaremos las técnicas más comunes para realizar las medidas eléctricas así como el funcionamiento básico de los aparatos de medida.

La medición de las diferentes magnitudes eléctricas de una instalación o aparato eléctrico nos ayudan a comprobar su buen funcionamiento, detectar y reparar averías, estudiar con detenimiento ciertos procesos que nos ayudan a diseñar instalaciones y dispositivos eléctricos, así como a evaluar su comportamiento ante eventuales cambios.

16.1. Errores en la medida

Siempre que se vaya a tomar una medida eléctrica, nunca se obtendrá su valor exacto. Esto es así porque siempre se cometen errores, como, por ejemplo, que el aparato de medida no esté correctamente calibrado, porque no se haya utilizado el método correcto, por falta de habilidad del operador que toma la medida, etcétera.

Dado que se cometen errores en las medidas eléctricas, convendrá tener en cuenta una serie de aspectos a la hora de evaluar los resultados.

16.1.1. Errores absolutos y relativos

El error absoluto que se comete en una medida es la diferencia entre el valor leído (V_L) por el aparato de medida y el valor real (V_R) de la medida.

$$E_{ab} = V_L - V_R$$

Para obtener el valor más aproximado al real utilizaremos un aparato de medida patrón de laboratorio.

Actividad resuelta 16.1

Para comprobar el error que comete un voltímetro se toma una medida de 100 V y luego se comprueba esa medida con un voltímetro de gran precisión, que da como resultado 98 V. Determina el error absoluto cometido por el voltímetro.

Solución:

$$E_{ab} = V_L - V_R = 100 - 98 = 2 \text{ V}$$

Dado que el conocimiento del error absoluto no nos da una idea clara del error cometido, utilizaremos para ello el error relativo, que nos indica la relación porcentual entre el error absoluto y el valor real:

$$E_r \% = \frac{E_{ab}}{V_R} \cdot 100$$

Actividad resuelta 16.2

Averigua el error relativo cometido en la medida de la Actividad resuelta 16.1.

Solución:

$$E_r \% = \frac{E_{ab}}{V_R} \cdot 100 = \frac{2}{98} \cdot 100 = 2 \%$$

16.1.2. Precisión de un aparato de medida

Cuanto más preciso sea un aparato de medida, más nos acercaremos a la medida real. Para definir lo preciso que es un aparato de medida se utiliza el concepto de **clase**, que es el error absoluto máximo que puede cometer un aparato de medida referido al valor máximo de la escala ($V_{m\acute{a}x}$) de medida.

$$\text{Clase} = \frac{E_{ab \text{ máx}}}{V_{m\acute{a}x}} \cdot 100$$

La clase suele aparecer inscrita en el aparato de medida o en la información técnica que proporciona el fabricante. En la práctica solo se fabrican aparatos de medida de las siguientes clases de precisión: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5, 5. Dependiendo del tipo de uso a que vayamos a destinar el aparato de medida, así seleccionaremos la clase más adecuada. Así, por ejemplo, si necesitamos una gran precisión de medida para realizar ensayos de laboratorio, utilizaremos aparatos de clase 0,1, 0,2 o 0,5.

Actividad resuelta 16.3

Para verificar la precisión de un amperímetro se lo somete a una contrastación con un amperímetro patrón. De todos los valores obtenidos se observa que el mayor de los errores absolutos cometidos es de 0,5 A. ¿Cuál será la clase de este amperímetro si el valor máximo de su escala es de 50 A?

Solución:

$$\text{Clase} = \frac{E_{ab \text{ máx}}}{V_{m\acute{a}x}} \cdot 100 = \frac{0,5}{50} \cdot 100 = 1$$

Actividad resuelta 16.4

Calcula el error máximo que puede cometer un voltímetro de clase 1 si el valor máximo que alcanza su escala es de 300 V.

¿Cuál sería el error máximo que puede llegar a cometer este voltímetro, si su clase hubiese sido: a) 0,1; b) 5?

Solución:

$$E_{ab \text{ máx}} = \frac{\text{Clase} \cdot V_{m\acute{a}x}}{100} = \frac{1 \cdot 300}{100} = 3 \text{ V}$$

a) 0,3 V; b) 15 V



16.2. Normas generales para la toma de medidas eléctricas

Antes de realizar la medida de una magnitud eléctrica habrá que tener en cuenta una serie de aspectos previos que nos garanticen el mejor resultado. Seguidamente exponemos algunas de estas consideraciones:

- Como no todos los aparatos de medida funcionan igual en C.A. que en C.C., habrá que seleccionar el tipo de corriente adecuado en cada caso.
- El campo de medida de un aparato de medida nos indica los valores entre los cuales mide el aparato con exactitud. Antes de realizar una medida habrá que prever con aproximación el orden de magnitud de la medida y con ello seleccionar el aparato más adecuado. Por ejemplo, supongamos que deseamos medir la tensión de una pila. Para ello, seleccionaremos un voltímetro de C.C. con un campo de medida de 0-5 V. Si utilizásemos un voltímetro con un campo de medida de 0-300 V, probablemente no apreciaríamos la medida en la escala.
- Utilizaremos el aparato de medida de la clase adecuada según el orden de precisión que requiera la medida. Hay que tener en cuenta que cuanto más preciso sea el aparato, más elevada resultará su adquisición. Así, por ejemplo, no merecerá la pena en ningún caso utilizar un aparato de clase 0,1 para medir la tensión en una línea de suministro eléctrico.
- Hay que procurar evitar las prisas y anotar los valores obtenidos de la medida de forma ordenada en el formulario previamente preparado.
- Conviene controlar periódicamente los instrumentos de medida, comprobando si mantienen su nivel de precisión.
- Si el aparato es de aguja, conviene observar la posición en la que debe estar el instrumento en el momento de tomar la medida, ya que si no el peso de la aguja podría influir en el resultado. La posición adecuada aparece inscrita en la pantalla del instrumento con un símbolo, tal como se muestra en la Tabla 16.2. Así, por ejemplo, el voltímetro de la Figura 16.1 indica una posición de trabajo horizontal.
- En instrumentos con indicación analógica, es importante realizar una estimación previa de la constante de la escala (K) para evitar errores en la estimación de la medida.

En la Figura 16.1 se muestra como ejemplo la pantalla de un voltímetro con un campo de medida de 0-500 V. La constante de escala para este aparato de medida será:

$$K = \frac{\text{Fondo de escala}}{\text{N.º total de divisiones}} = \frac{500 \text{ V}}{50 \text{ div}} = 10 \text{ V/div}$$

Así, por ejemplo, si tomamos una medida como la que se muestra en la Figura 16.1, el resultado de la misma sería:

$$\begin{aligned} \text{Medida} &= \text{N.º de divisiones medido} \cdot K = \\ &= 27 \cdot 10 \text{ V/div} = 270 \text{ V} \end{aligned}$$

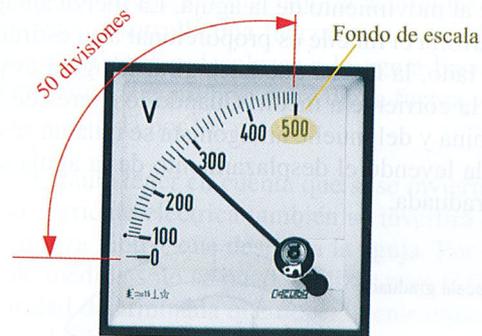


Figura 16.1. Voltímetro de 500 voltios de fondo de escala y 50 divisiones con una lectura de 27 div.

16.3. Instrumentos de medida analógicos y digitales

Los instrumentos de medida analógicos son aquellos que presentan la medida mediante una aguja móvil que se desliza por una escala graduada [Figura 16.2(a)]. En los instrumentos de medida digitales el resultado de la medida se puede leer como una cifra numérica (dígitos) en una pantalla [Figura 16.2(b)].

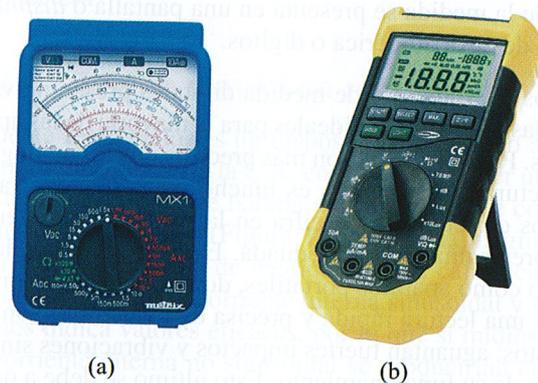


Figura 16.2. Instrumentos de medida: (a) analógico; (b) digital.

Los instrumentos de medida analógicos son los que más se han venido utilizando hasta ahora, aunque el abaratamiento de los circuitos integrados está haciendo que aquellos queden cada vez más relegados por los digitales.

El principio general de funcionamiento de los aparatos analógicos es el siguiente (Figura 16.3): por lo general, la

corriente a medir se hace circular por una bobina que puede girar sobre un eje. Esta bobina se introduce en el seno de un campo magnético, que puede ser generado por un imán. La corriente a medir genera en la bobina móvil otro campo magnético que, al interactuar con el campo fijo del imán, produce una fuerza que tiende a desplazar a la bobina móvil en un determinado sentido. Solidaria a la bobina móvil se fija la aguja medidora sobre una escala graduada. Además se incluye un muelle, generalmente de forma circular, que se opone al movimiento de la aguja. La fuerza antagonista que desarrolla el muelle es proporcional a su estiramiento. Por otro lado, la fuerza que hace girar la aguja es proporcional a la corriente a medir. Cuando los pares de fuerzas de la bobina y del muelle antagonista se igualan se obtiene la medida leyendo el desplazamiento de la aguja sobre la escala graduada.

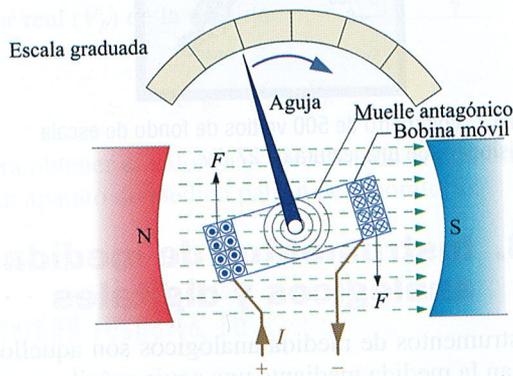


Figura 16.3. Instrumento de medida de bobina móvil.

En los instrumentos digitales no existe ningún elemento mecánico. La medida se realiza gracias a complejos circuitos electrónicos en forma de circuitos integrados. El resultado de la medida se presenta en una pantalla o *display* en forma de cifra numérica o dígitos.

Los instrumentos de medida digitales presentan varias ventajas que los hacen ideales para la mayoría de las aplicaciones. Por lo general, son más precisos que los analógicos. La lectura de la medida es mucho más cómoda, ya que leemos directamente la cifra en la pantalla sin tener que interpretar una escala graduada. Esto los hace ideales en su uso como aparatos portátiles, donde es muy importante tomar una lectura rápida y precisa de la medida. Son muy robustos; aguantan fuertes impactos y vibraciones sin alteración de su funcionamiento. Esto último se debe a que en su estructura no existen elementos móviles.

Los instrumentos de medida analógicos tienden a ser sustituidos cada vez más por los digitales, sobre todo en los aparatos de medida portátiles. Sin embargo, en los aparatos de medida que se insertan en los cuadros (aparatos de medida de cuadro) de control, mando y distribución de las instalaciones eléctricas, se siguen empleando los instrumentos analógicos. Hay que pensar que los aparatos de

cuadro suelen estar dispuestos para que un operario con una visualización rápida revise el estado de todas las magnitudes eléctricas. Siempre es más visual, fotográfico y rápido de interpretar la situación en una determinada posición de una aguja sobre una escala de un aparato de medida analógico que la interpretación de una cifra numérica en uno digital.

16.4. Sistemas de medida

Existen una amplia variedad de instrumentos o sistemas de medida que mediante un determinado mecanismo consiguen tomar la medida de la magnitud eléctrica deseada. Vamos a estudiar los más básicos y sus características fundamentales, así como su aplicación para la construcción de aparatos de medida.

El tipo de sistema de medida utilizado por un aparato de medida se representa por un símbolo, que suele venir inscrito de forma visible en la pantalla del aparato. Antes de entrar en más detalles, en la Tabla 16.1 se expone un resumen con los sistemas de medida y su símbolo correspondiente y en la Tabla 16.2 los símbolos que más comúnmente se utilizan para describir las características de los aparatos de medida.

Tabla 16.1. Símbolos de los instrumentos de medida

Sistema de medida	Símbolo	Sistema de medida	Símbolo
Bobina móvil		Bobina móvil con rectificador	
Bobina móvil con convertidor incorporado		Hierro móvil	
Electrodinámico		Ferrodinámico	
Inducción		Conciencímetro de inducción	
Bimetálico		Láminas vibrantes	

Tabla 16.2. Símbolos utilizados para describir las características de los aparatos de medida

Denominación	Símbolo	Denominación	Símbolo
Apantallado electrostático		Corriente trifásica, medida solo con un sistema de medida	
Sistema de medida astático	ast	Corriente trifásica, medida con dos sistemas de medida	



Denominación	Símbolo	Denominación	Símbolo
Corriente continua	—	Posición cero de la aguja	
Corriente alterna	~	Marca de tensión de ensayo de 500 V ~. Cifra dentro de la estrella indica la tensión de ensayo en kV ~.	
Corriente continua y alterna		¡Atención, ténganse presentes las instrucciones de manejo!	
Posición de trabajo vertical		Posición de trabajo horizontal	
Posición de trabajo inclinada			

ca la bobina móvil a la que se fija la aguja indicadora. Con el fin de asegurar que ningún campo magnético exterior altere el funcionamiento del aparato de medida, se coloca una carcasa magnética a todo el conjunto.

En el eje de giro de la bobina móvil se colocan dos muelles en espiral que además de producir la fuerza antagónica sirven de camino de entrada y salida a la corriente de la bobina. De esta manera, la corriente que se mide fluye por la bobina, que al estar bajo la acción de un campo magnético, desarrolla una fuerza proporcional a dicha corriente, que tiende a desplazar a la aguja hasta que se alcanza el punto de equilibrio entre dicha fuerza y la antagónica desarrollada por los muelles.

Es importante tener en cuenta que si se invierte el sentido de la corriente eléctrica también se invertirá el sentido de la fuerza motriz que desplaza la aguja. Por eso este sistema de medida solo se puede utilizar para C.C. y para una polaridad determinada que deberá venir indicada claramente en las bornas de conexión del aparato.

Por último, hay que indicar que, dado que la corriente se introduce en la bobina por los muelles, no es posible realizar medidas directas de grandes corrientes, ya que los muelles se pueden sobrecalentar y dilatar, produciendo errores en la medida. Los valores máximos que se miden son del orden de 0,1 A. Como estudiaremos más adelante, se puede ampliar el alcance de medida de estos aparatos mediante sistemas que derivan parte de la corriente por *shunts*.

El empleo de este sistema es muy amplio y se utiliza para la fabricación de voltímetros, milivoltímetros, amperímetros, miliamperímetros, microamperímetros, óhmetros, etcétera.

Actividad resuelta 16.5

Indica el significado de los símbolos que aparecen en el amperímetro de la Figura 16.4.

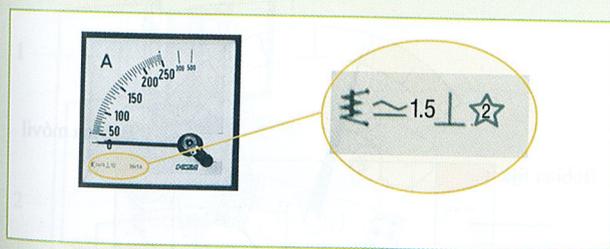


Figura 16.4.

Solución:

Amperímetro; fondo de escala: 250 A; constante de la escala: 5 A/div; sistema de medida: hierro móvil; corriente a medir: C.A. y C.C.; clase: 1,5; posición de trabajo: vertical; tensión de ensayo: 2 kV.

16.4.1. Bobina móvil

Este sistema de medida, también conocido por el nombre de cuadro móvil, es idéntico al utilizado como ejemplo para explicar el principio general de funcionamiento de los instrumentos de medida analógicos (Figura 16.3).

El sistema está formado por un imán permanente fijo. Dentro del campo magnético formado por el imán se colo-

16.4.2. Bobina móvil con rectificador

El puente rectificador es un dispositivo construido a base de diodos que convierte la C.A. en C.C. Para poder utilizar el sistema de medida de bobina móvil en C.A. se conecta un puente rectificador (Figura 16.5) entre la magnitud a medir y el instrumento de medida. Para la calibración de este aparato se utiliza corriente alterna sinusoidal y su escala nos indica valores eficaces, por lo que si midiésemos una corriente alterna no sinusoidal se producirían errores considerables.

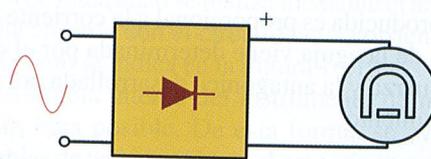


Figura 16.5. Voltímetro de bobina móvil con rectificador.

16.4.3. Bobina móvil con convertidor incorporado

Este sistema consta de un aparato de bobina móvil al que se le incorpora un convertidor de tipo electrónico. Así, por ejemplo, si se le incorpora un convertidor de frecuencia a C.C. de función lineal es posible medir frecuencias (frecuencímetro de aguja), y si se le incorpora un convertidor de ángulo de fase a C.C. de función lineal es posible medir el factor de potencia de una instalación (fasímetros electrónicos).

Los sistemas de medida de bobina móvil, a los que se les incorporan otros elementos, tales como rectificador, convertidores, ampliaciones del alcance de diferentes medidas, etc., son ideales para la construcción de polímetros (aparatos de medida múltiple que sirven para medir diferentes magnitudes eléctricas con diferentes campos de medida tanto en C.C. como en C.A.).

16.4.4. Hierro móvil

Consta de una bobina fija por la que se hace pasar la corriente que se va a medir (Figura 16.6). En el interior de la bobina se fija una lámina de hierro dulce. Enfrentada a esta lámina se sitúa otra lámina de hierro dulce y se une a un eje giratorio y a la aguja indicadora. Además, como en el sistema de medida de bobina móvil, se incluye un muelle antagonista.

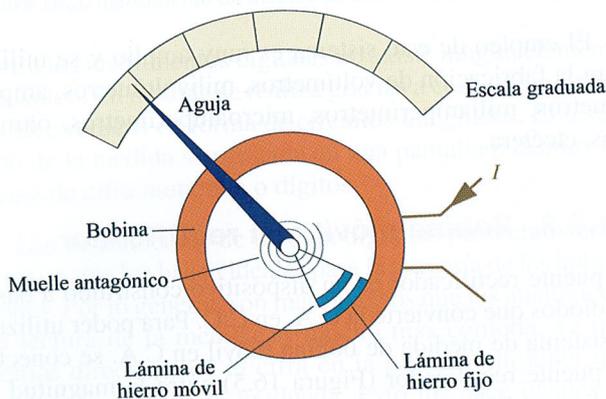


Figura 16.6. Instrumento de hierro móvil.

Al circular la corriente que se mide por la bobina se produce un campo magnético que magnetiza las dos láminas de hierro con la misma polaridad, por lo que aparece entre ellas una fuerza de repulsión que tiende a desplazar la aguja. La fuerza producida es proporcional a la corriente a medir y la posición de la aguja viene determinada por el equilibrio entre esta fuerza y la antagonista desarrollada por el muelle en su estiramiento.

La ventaja fundamental de este instrumento de medida es que sirve para medir tanto corriente continua como co-

rriente alterna. Hay que tener en cuenta que cuando la C.A. invierte el sentido de la corriente por la bobina, se invierte también el campo magnético que atraviesa las láminas de hierro; pero la polaridad relativa de las dos láminas siempre será igual, por lo que el efecto de repulsión se mantiene para cualquier tipo de corriente.

Debido a que la corriente entra directamente a la bobina fija, es posible hacer circular por ella grandes corrientes, y pueden hacerse medidas directas con este sistema de medida de hasta más de 300 A. Sin embargo, su uso se ve restringido para frecuencias no superiores a los 100 Hz, ya que para altas frecuencias los efectos de histéresis pueden falsear la medida. En los casos en que sean necesarias medidas de C.A. de frecuencias de hasta 10 kHz, se aconseja el uso de aparatos de bobina móvil con rectificador.

Dada la robustez y sencillez de estos sistemas de medida, su empleo se dirige fundamentalmente a la construcción de amperímetros y voltímetros de C.A.

16.4.5. Electrodinámico

Consta de dos bobinas, una móvil, solidaria con el eje y la aguja indicadora, y otra fija, que envuelve a la primera (Figura 16.7). Al igual que el sistema de bobina móvil, el sistema antagonista está formado por dos muelles en espiral que sirven también para conectar eléctricamente la bobina móvil.

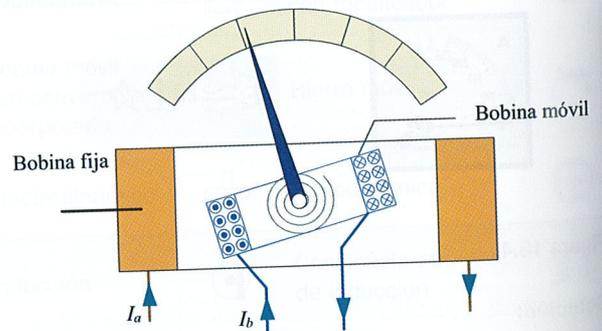


Figura 16.7. Instrumento electrodinámico.

El funcionamiento de este instrumento es similar al de bobina móvil, pero aquí el campo magnético fijo lo produce la bobina fija al ser atravesada por una de las corrientes a medir.

La mayor aplicación de este sistema de medida es como vatímetro. La bobina fija se utiliza como amperimétrica, conectándose en serie. La bobina móvil se utiliza como voltimétrica y se conecta en paralelo. Utilizado para corriente continua, la fuerza motriz que desplaza a la aguja es resultado del producto de la tensión por la intensidad. Calibrándose la escala en vatios. Utilizado para corriente alterna, la fuerza motriz depende del producto de la ten-



sión por la intensidad por el $\cos \varphi$, calibrándose también la escala en vatios.

La razón de que este sistema se pueda utilizar tanto para corriente continua como para corriente alterna está en el hecho de que, en el caso de C.A., la corriente cambia de sentido al mismo tiempo en las dos bobinas, por lo que la polaridad relativa del campo magnético desarrollado por ambas no cambia y, por tanto, la fuerza motriz siempre actúa en el mismo sentido. Conectando las dos bobinas en serie o en paralelo también se pueden utilizar como voltímetros y amperímetros.

16.4.6. Ferrodinámico

Este sistema de medida es muy similar al electrodinámico. La única diferencia se halla en que se le incorpora a cada una de las bobinas un núcleo de chapa magnética con el fin de eliminar los errores que pudieran producirse debido a campos magnéticos externos al aparato de medida.

16.4.7. Inducción

Este sistema de medida se utiliza fundamentalmente para realizar la medida de la energía en sistemas de C.A (Figura 16.8).

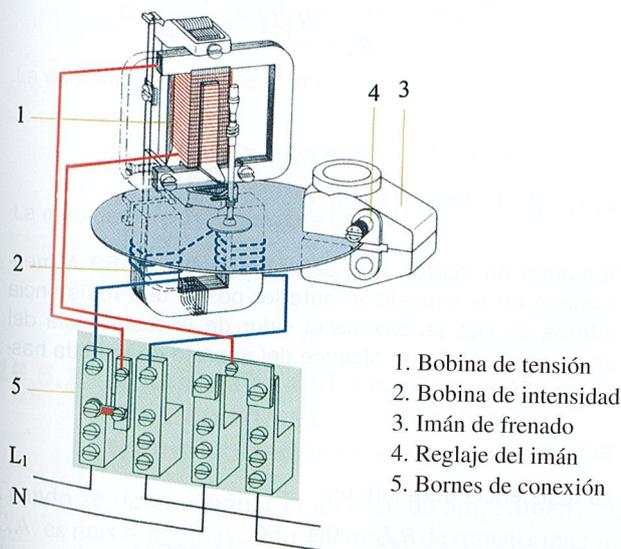


Figura 16.8. Instrumento de inducción.

Consta de dos bobinas con núcleo de chapa magnética. Una hace las veces de amperimétrica y la otra de voltimétrica. Dichas bobinas se disponen de tal manera que el campo magnético variable generado por ambas atraviese un disco giratorio de aluminio al que se incorpora un mecanismo registrador. Los campos variables de ambas bobinas generan en el disco de aluminio corrientes parásitas que, al interactuar con los campos magnéticos, producen una fuerza de

impulsión que hace girar el disco. Esta fuerza de impulsión es proporcional a la potencia activa a medir. El sistema que desarrolla la fuerza antagonista de frenado lo produce un imán permanente colocado entre las dos superficies del disco. El número de vueltas que se producen resulta ser proporcional a la energía eléctrica. Gracias al mecanismo registrador, calibrado en kWh, podemos obtener una lectura de la energía eléctrica consumida.

16.4.8. Bimetálico

Este sistema está basado en la dilatación que se produce en una espiral bimetálica cuando es recorrida por una corriente eléctrica. Para compensar el efecto de la temperatura ambiente sobre el instrumento medidor se coloca otra espiral dispuesta en sentido contrario a la motriz. Este instrumento mide el valor medio de la corriente en C.C. y el eficaz en C.A. hasta 1.000 Hz. Son ideales para dar una lectura de los valores medios en aquellas instalaciones en las que existan grandes fluctuaciones, ya que el tiempo de respuesta (hasta que el bimetal alcanza su temperatura final) es alto, del orden de 10 minutos.

16.4.9. Láminas vibrantes

Estos aparatos se utilizan como frecuencímetros para C.A. Disponen de una bobina que se alimenta con la tensión a medir. El campo magnético alterno que genera la bobina atraviesa una serie de láminas de diferentes características que se ponen a vibrar de acuerdo con la frecuencia. La medida se obtiene cuando la frecuencia a medir hace vibrar una determinada lámina calibrada según una determinada frecuencia de resonancia.



Figura 16.9. Frecuencímetro de láminas vibrantes.

16.5. Medida de intensidad de corriente

La medida de intensidad se realiza mediante el amperímetro. Se conecta en serie con el circuito cuya corriente se quiere medir, tal como se indica en la Figura 16.10. Es aconsejable que la resistencia interna del instrumento de medida (R_A) sea lo más baja posible. De esta forma, se evitan caídas considerables de tensión (U_A) en el amperímetro y consumos de potencia elevados.

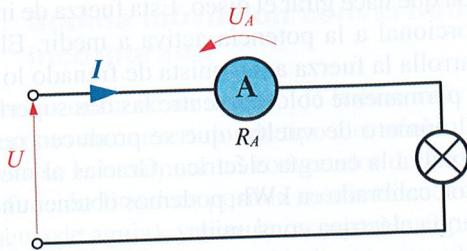


Figura 16.10. Medida de intensidad con amperímetro.

Para medidas de C.A. es indiferente la polaridad de conexión. Sin embargo, para C.C. hay que conectar el amperímetro según se indique en la polaridad de este aparato; de otra manera la aguja tenderá a indicar en sentido contrario. Para aparatos de medida digitales no es tan importante esta consideración, puesto que son capaces de indicar lecturas negativas en su *display*.

Cuando la corriente a medir es muy elevada resulta difícil encontrar el aparato de medida adecuado para realizar una medida directa. En estos casos se recurre a sistemas de apoyo que consiguen ampliar el alcance de medida sin cambiar de amperímetro. Para corriente continua se emplean los *shunts* y para corriente alterna los transformadores de intensidad.

16.5.1. Ampliación del alcance de un amperímetro mediante *shunt*

Supongamos que disponemos de un amperímetro con un alcance de 50 A como máximo y que necesitamos incorporar un amperímetro de cuadro para la medida de la intensidad de corriente en un sistema de generación de energía solar fotovoltaica. La potencia instalada es de 6 kW y la tensión de alimentación es de 24 V en C.C. En este ejemplo, la corriente a medir sería del orden de:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6.000}{24} = 250 \text{ A}$$

Para poder medir esta corriente con el amperímetro de 50 A emplearemos una resistencia *shunt*, como la mostrada en la Figura 16.11.

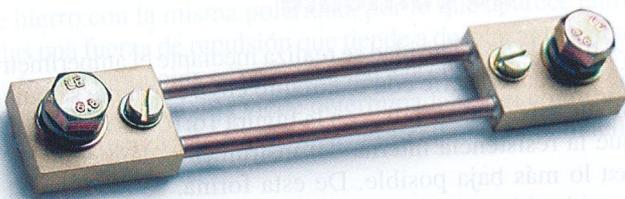


Figura 16.11. Resistencia *shunt*.

Este dispositivo consiste en conectar una resistencia en paralelo con el amperímetro que consiga desviar parte de la corriente que se quiere medir (Figura 16.12). En nuestro ejemplo, la resistencia *shunt* deberá desviar 200 A (I_S) para que por el amperímetro solo circulen 50 A (I_A) cuando se quiera medir una corriente de 250 A (I).

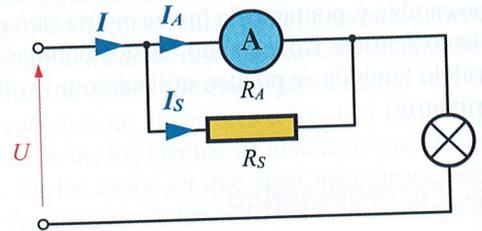


Figura 16.12. Esquema de conexión de un *shunt*.

Para poder calcular la resistencia que deberá poseer el *shunt* necesitamos conocer previamente la resistencia interna del amperímetro R_A . Como la resistencia R_S del *shunt* queda en paralelo con la del amperímetro, su caída de tensión es la misma, por lo que se cumple que:

$$R_A I_A = R_S I_S$$

de donde:

$$R_S = \frac{R_A I_A}{I_S}$$

Actividad resuelta 16.6

Teniendo en cuenta que el amperímetro de 50 A mencionado en la exposición anterior posee una resistencia interna de 0,1 Ω , calcula el valor de la resistencia del *shunt* para ampliar el alcance del aparato de medida hasta los 250 A.

Solución:

La resistencia del *shunt* es:

$$R_S = \frac{R_A I_A}{I_S} = \frac{0,1 \cdot 50}{200} = 0,025 \Omega$$

En este caso hemos conseguido aumentar el alcance del amperímetro en:

$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{250}{50} = 5 \text{ veces}$$

Este dato habrá que tenerlo en cuenta a la hora de interpretar la lectura de la medida, ya que la constante de la escala del instrumento habrá que multiplicarla por 5.



Actividad resuelta 16.7

Un amperímetro permite medir una corriente como máximo de 2 mA. Posee una escala fraccionada en 40 divisiones y una resistencia interna de 1 Ω . Se desea ampliar el alcance del aparato para poder realizar medidas hasta 2 A. Calcula la resistencia del *shunt*, así como la constante de la escala del aparato con y sin *shunt*. ¿Cuál será el resultado de la medida del amperímetro con *shunt* si lee en la escala 10 divisiones?

Solución:

El *shunt* debe desviar una corriente de:

$$I_S = I - I_A = 2 - 0,002 = 1,998 \text{ A}$$

La resistencia del *shunt* es:

$$R_S = \frac{R_A I_A}{I_S} = \frac{1 \cdot 0,002}{1,998} = 0,001 \Omega$$

En este caso hemos conseguido aumentar el alcance del amperímetro en:

$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{2}{0,002} = 1.000 \text{ veces}$$

La constante de la escala sin *shunt* es:

$$K = \frac{2 \text{ mA}}{40 \text{ div}} = 0,05 \text{ mA/div} = 50 \mu\text{A/div}$$

La constante del aparato con *shunt* es:

$$K_S = \frac{2 \text{ A}}{40 \text{ div}} = 0,05 \text{ A/div} = 50 \text{ mA/div}$$

La medida para 10 divisiones es:

$$10 \text{ div} \cdot 0,05 \text{ A/div} = 0,5 \text{ A}$$

16.5.2. Ampliación del alcance de amperímetros mediante transformadores de intensidad

Cuando se desea ampliar el alcance de amperímetros en C.A. es más sencillo recurrir al empleo de transformadores de intensidad. Una de las características fundamentales de estos dispositivos es que solamente funcionan en C.A. De esta manera, se restringe el empleo del *shunt* para ampliar el alcance de amperímetros en C.C. y en amperímetros de pequeñas corrientes en C.A.

En la Figura 16.13 se ha conectado un transformador de intensidad en la línea con el objeto de medir la corriente elevada que fluye por ella. El transformador de intensidad consta de dos circuitos: el primario, que se conecta en serie con la línea donde se quiere medir la corriente, y el

secundario, que se conecta entre los extremos del amperímetro. Vamos a estudiar ahora la aplicación práctica del transformador, dejando el estudio más detallado de este para la Unidad 17.

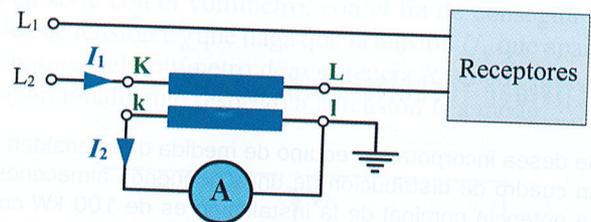


Figura 16.13. Esquema de conexión de un transformador de intensidad.

En la Figura 16.14 se muestran los símbolos más utilizados para el transformador de intensidad.

El transformador de intensidad consigue que por el circuito secundario, donde se conecta el amperímetro, circule una corriente más reducida y siempre proporcional a la que fluye por el primario, conectado con el circuito a medir. De esta forma, se consigue reducir considerablemente la corriente por el amperímetro.

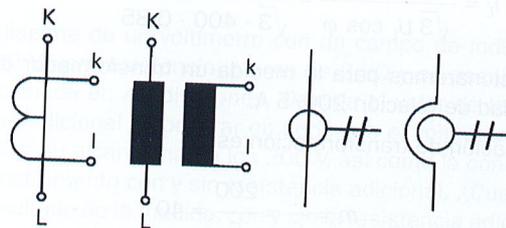


Figura 16.14. Símbolos eléctricos del transformador de intensidad.

Por supuesto, será necesario conocer la proporción en la reducción de la corriente para poder posteriormente interpretar la medida en el amperímetro. Para ello, los fabricantes de transformadores nos proporcionan una característica conocida como relación de transformación, que nos indica la relación entre la corriente por el primario I_1 y el secundario I_2 :

$$m = \frac{I_1}{I_2}$$

En la placa de características de los transformadores de intensidad aparecen los valores de la intensidad nominal del primario y del secundario. Así, por ejemplo, la característica 100/5 A nos indica que cuando por el primario fluya una intensidad de 100 A, por el secundario conectado al amperímetro fluirán solo 5 A. La intensidad por el secundario de los transformadores de intensidad suele ser 5 A para la mayoría de las aplicaciones. Por otro lado, se fabrican

transformadores de las siguientes intensidades primarias: 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, 30 A, 40 A, 50 A, 60 A, 75 A, 100 A, 125 A, 150 A, 200 A, 250 A, 300 A, 400 A, 500 A, 600 A, 750 A, 800 A, 1.000 A, 1.200 A, 1.500 A, 2.000 A, 2.500 A, 3.000 A, 4.000 A, 5.000 A.

Actividad resuelta 16.8

Se desea incorporar un equipo de medida de intensidad a un cuadro de distribución de unos pequeños almacenes. La potencia nominal de la instalación es de 100 kW con un factor de potencia de 0,85. El suministro de energía es trifásico a 400 V. Teniendo en cuenta que el amperímetro a utilizar posee un fondo de escala de 5 A, selecciona el transformador de intensidad más adecuado, así como su relación de transformación. Suponiendo que el amperímetro posee una escala fraccionada en 20 divisiones, ¿cuál será el resultado de la medida si se lee en la escala 15 divisiones?

Solución:

Calculamos primero la intensidad nominal a medir por el primario del transformador de intensidad:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 170 \text{ A}$$

Seleccionaremos para la medida un transformador de intensidad de relación 200/5 A.

Su relación de transformación es:

$$m = \frac{I_1}{I_2} = \frac{200}{5} = 40$$

La constante de la escala sin transformador es:

$$K = \frac{5 \text{ A}}{20 \text{ div}} = 0,25 \text{ A/div}$$

La constante del aparato con transformador es:

$$K_s = \frac{200 \text{ A}}{20 \text{ div}} = 10 \text{ A/div}$$

La medida para 15 divisiones es:

$$15 \text{ div} \cdot 10 \text{ A/div} = 150 \text{ A}$$

En la práctica se calibran las escalas de los amperímetros para que puedan dar una lectura directa en asociación con un determinado transformador de intensidad.

Las ventajas que presentan los transformadores de intensidad son las siguientes:

- Permiten medir grandes corrientes con aparatos de medida de bajo alcance. Además, se pueden realizar

medidas de corriente en líneas de alta tensión con aparatos de baja tensión, mucho más sencillos y económicos.

- Es posible situar los aparatos de medida separados de las líneas de gran corriente o tensión. De esta forma se hace posible obtener la medida alejado de zonas de alto riesgo para los operarios. Además se simplifica mucho las conexiones con los aparatos de medida.

Un aspecto importante en el manejo e instalación de transformadores de corriente es que nunca se debe desconectar el amperímetro del secundario sin previamente haber cortocircuitado los bornes de aquel. De otra manera, pueden aparecer tensiones elevadas en el secundario que pueden ser un peligro para las personas y para el propio transformador. Por otro lado, se debe conectar a tierra uno de los terminales del secundario. De esta forma, se evita la aparición de tensiones elevadas ante un fallo de aislamiento entre el circuito primario y el secundario.

Por último, cabe indicar que es importante conocer la potencia nominal que puede proporcionar el transformador a los aparatos de medida. Esta se mide en VA, y se fabrican transformadores de las siguientes potencias nominales: 5 VA, 10 VA, 15 VA, 30 VA, 50 VA, 75 VA, 100 VA.

Así, por ejemplo, supongamos que deseamos alimentar con un transformador un amperímetro con un consumo de 3 VA y que además intercalamos en serie la bobina amperimétrica de un vatímetro con un consumo de otros 3 VA. La potencia que deberá suministrar como mínimo el transformador será de 3 + 3 = 6 VA, por lo que seleccionaremos un transformador de 10 VA de potencia nominal.

En cuanto a la construcción de transformadores de medida, existen dos tipos fundamentales: de barra pasante y con primario devanado (Figura 16.15).

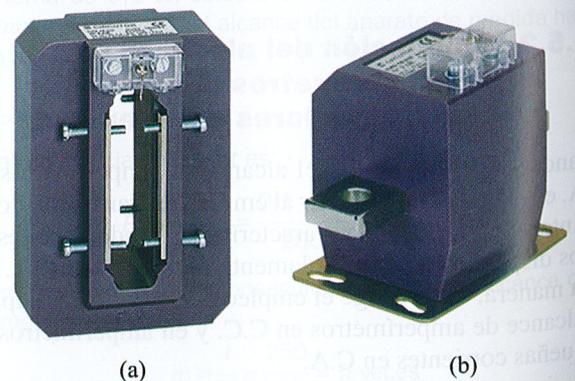


Figura 16.15. Transformador de intensidad: (a) de barra pasante; (b) con primario devanado.

Los transformadores de barra pasante disponen de un hueco por donde se hace pasar el conductor, por lo que no



disponen de conexiones para el circuito primario. En este caso el primario lo constituye el propio conductor por el que circula la corriente a medir. Este tipo de transformador es muy utilizado ya que evita el tener que cortar el circuito a medir y evita las conexiones que de otra manera serían necesarias.

En cuanto al amperímetro como aparato de medida portátil, el de más extendida aplicación es la pinza amperimétrica (Figura 16.16). Con este aparato de medida se evita tener que cortar y realizar conexiones para la toma de la medida. Esto se consigue gracias a que el aparato de medida lleva incorporado un transformador de intensidad del tipo pasante. Para hacer pasar el conductor por el hueco del transformador se abre manualmente el núcleo magnético de la pinza y se vuelve a cerrar. Este aparato de medida resulta muy cómodo para realizar comprobaciones rápidas de la intensidad de los circuitos, ya que no es necesario interrumpir el circuito para ello. Hoy en día se fabrican pinzas amperimétricas tanto para C.A. como para C.C.



Figura 16.16. Pinza amperimétrica.

16.6. Medidas de tensión

La medida de tensión se realiza mediante el voltímetro. Se conecta entre los extremos cuya tensión se quiere medir, tal como se indica en la Figura 16.17. Es importante que la resistencia del instrumento de medida (R_V) sea alta, para así evitar consumos de corriente (I_V) y potencias elevadas.

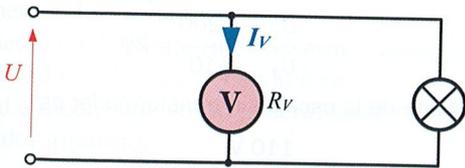


Figura 16.17. Medida de tensión con voltímetro.

Para ampliar el alcance de un voltímetro se recurre a la conexión en serie de resistencias adicionales o al empleo de transformadores de tensión. Dado que los transformadores solo funcionan para corrientes alternas, se utilizarán solo transformadores para realizar medidas de tensiones elevadas en C.A.

16.6.1. Ampliación del alcance de un voltímetro mediante resistencias adicionales en serie

En la Figura 16.18 se ha conectado una resistencia adicional R_S en serie con el voltímetro, con el fin de conseguir una caída de tensión U_S que haga que la tensión U_V que aparece en bornes del voltímetro de resistencia R_V quede reducida proporcionalmente respecto a la tensión U a medir.

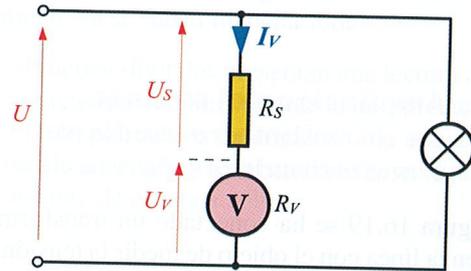


Figura 16.18. Esquema de conexión de voltímetro con resistencias adicionales.

Actividad resuelta 16.9

Se dispone de un voltímetro con un campo de indicación de 10 V, una resistencia interna de 2 k Ω y su escala está fraccionada en 40 divisiones. Calcula el valor de la resistencia adicional a conectar en serie con el voltímetro para ampliar su alcance hasta los 200 V, así como la constante del instrumento con y sin resistencia adicional. ¿Cuál será el resultado de la medida, con y sin la resistencia adicional, si se lee en la escala 30 divisiones?

Solución:

Primero calculamos la corriente que circula por el voltímetro, que es la que también fluye por la resistencia adicional. Aplicando la ley de Ohm entre los extremos del voltímetro, tenemos que:

$$I_V = \frac{U_V}{R_V} = \frac{10}{2.000} = 0,005 \text{ A}$$

La tensión que debe caer en la resistencia adicional es:

$$U_S = U - U_V = 200 - 10 = 190 \text{ V}$$

Si ahora aplicamos la ley de Ohm entre los terminales de la resistencia adicional, obtendremos el valor óhmico de esta:

$$R_S = \frac{U_S}{I_V} = \frac{190}{0,005} = 38.000 \Omega = 38 \text{ k}\Omega$$

La constante de la escala sin resistencia adicional es:

$$K = \frac{10 \text{ V}}{40 \text{ div}} = 0,25 \text{ V/div}$$

La constante del aparato con resistencia adicional es:

$$= \frac{200 \text{ V}}{40 \text{ div}} = 5 \text{ V/div}$$

La medida para 30 divisiones sin resistencia adicional es:

$$30 \text{ div} \cdot 0,25 \text{ V/div} = 7,5 \text{ V}$$

La medida para 30 divisiones con resistencia adicional es:

$$30 \text{ div} \cdot 5 \text{ V/div} = 150 \text{ V}$$

16.6.2. Ampliación del alcance de un voltímetro mediante transformadores de tensión

En la Figura 16.19 se ha conectado un transformador de tensión en la línea con el objeto de medir la tensión elevada que existe en la línea. El transformador de tensión consta de dos circuitos: el primario, que se conecta entre los extremos de la línea donde se quiere medir la tensión, y el secundario, que se conecta entre los extremos del voltímetro.

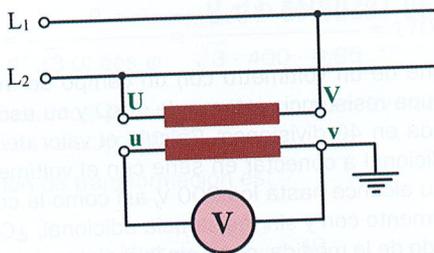


Figura 16.19. Esquema de conexión de transformador de tensión.

En la Figura 16.20 se muestran los símbolos más utilizados del transformador de tensión.

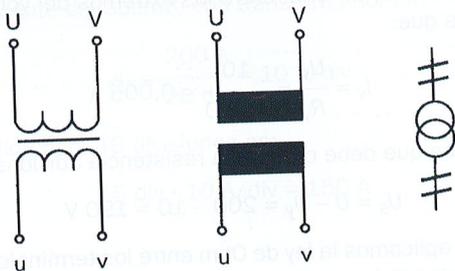


Figura 16.20. Símbolos eléctricos del transformador de tensión.

El transformador de tensión consigue que por el circuito secundario, donde se conecta el voltímetro, aparezca una tensión más reducida y siempre proporcional a la que queda sometido el primario, conectado con el circuito a medir. De esta forma, se consigue reducir considerablemente la tensión por el voltímetro.

Como en otras ocasiones, será necesario conocer la proporción en la reducción de la tensión para poder posteriormente interpretar la medida en el voltímetro. Los fabricantes de transformadores nos proporcionan la relación de transformación, que nos indica la relación entre la tensión por el primario U_1 y el secundario U_2 :

$$m = \frac{U_1}{U_2}$$

Al igual que para los transformadores de intensidad, en la placa de características de los transformadores de tensión aparecen los valores de la tensión nominal del primario y del secundario. Así, por ejemplo, la característica 5.500/110 V nos indica que cuando por el primario se aplica una tensión de 5.500 V, por el secundario conectado al voltímetro aparecerán solo 110 V. La tensión por el secundario de los transformadores de tensión suele ser 110 V para la mayoría de las aplicaciones. Por otro lado, se fabrican transformadores de las siguientes tensiones primarias: 110 V; 230 V; 380 V; 440 V; 2.200 V; 3.300 V; 5.500 V; 6.600 V; 11.000 V; 13,2 kV; 16,5 kV; 22 kV; 27,5 kV; 33 kV; 44 kV; 55 kV; 66 kV; 132 kV; 220 kV; 396 kV.

Actividad resuelta 16.10

Se desea incorporar un voltímetro a un cuadro de distribución de energía eléctrica. La tensión de alimentación es de 2.000 V. Teniendo en cuenta que el voltímetro que se va a utilizar posee un fondo de escala de 110 V, selecciona el transformador de tensión más adecuado, así como su relación de transformación. Suponiendo que el voltímetro posee una escala fraccionada en 55 divisiones, ¿cuál será el resultado de la medida si se lee en la escala 48 divisiones?

Solución:

Seleccionaremos para la medida un transformador de tensión de relación 2.200/110 V.

Su relación de transformación es:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2.200}{110} = 20$$

La constante de la escala sin transformador es:

$$K = \frac{110 \text{ V}}{55 \text{ div}} = 2 \text{ V/div}$$

La constante del aparato con transformador es:

$$K_s = \frac{2.200 \text{ V}}{55 \text{ div}} = 40 \text{ V/div}$$

La medida para 48 divisiones es:

$$48 \text{ div} \cdot 40 \text{ V/div} = 1.920 \text{ V}$$



Al igual que se hacía con los amperímetros, en la práctica se calibran las escalas de los voltímetros para que puedan dar una lectura directa en asociación con un determinado transformador de tensión.

Por motivos de seguridad es necesario conectar a tierra uno de los terminales del secundario; así se evita la aparición de tensiones elevadas en él, en el caso de que existiese un fallo de aislamiento entre el primario y el secundario.

Por último, hay que indicar que, al igual que en los transformadores de intensidad, es importante conocer la potencia nominal que puede proporcionar el transformador de tensión a los aparatos de medida. Se fabrican transformadores de las siguientes potencias nominales: 10 VA, 15 VA, 25 VA, 30 VA, 50 VA, 75 VA, 100 VA, 150 VA, 200 VA, 300 VA, 400 VA.

16.7. El polímetro

El polímetro o multímetro es un aparato de medida portátil que se utiliza para medir diferentes magnitudes eléctricas, como, por ejemplo, tensión y corrientes en C.C. y C.A., resistencia, capacidad, prueba de continuidad, prueba de diodos y transistores. La misma palabra indica su función: polímetro, muchas medidas (Figura 16.21).



Figura 16.21. Polímetros analógicos y digitales.

Existen en el mercado una gran diversidad de modelos de polímetros. Las diferencias suelen estar en la forma de leer la medida del aparato (indicadores de aguja o analógicos e indicadores digitales) y en la forma de seleccionar la magnitud a medir, que por lo general suele consistir en un conmutador giratorio.

A continuación, y como ejemplo ilustrativo, damos una relación de los campos de medición de un determinado modelo de polímetro comercial:

- Tensiones para C.A. y C.C. (200 mV-2-20-200-1000 V).
- Intensidades para C.A. y C.C. (200 μ A-2-20-200 mA-2 A).

- Resistencias (200 Ω -2-20-200 k Ω -2-20 M Ω).
- Capacidades (2000 pF-20-200 nF-2-20 μ F).
- Inductancias (20-200 mH-2-20 H).
- Continuidad y prueba de diodos.

A primera vista da la impresión de que debe existir mucha diferencia entre manejar un modelo de polímetro u otro. Pero no es así, ya que en el momento en que se adquiere una cierta práctica en el manejo de uno de los modelos, prácticamente ya se saben manejar todos.

Los polímetros digitales presentan una lectura a base de cifras numéricas que facilita bastante la interpretación de la medida. En los polímetros analógicos o de aguja hay que elegir la escala adecuada y tener cuidado en no equivocarse con la constante de escala a aplicar.

16.8. Medidas de potencia

Para realizar la medida de potencia el método más utilizado es mediante el vatímetro electrodinámico o ferrodinámico, tanto para C.C. como para C.A. Recordemos que el vatímetro consta de dos circuitos medidores: el circuito amperimétrico se conecta en serie con el circuito y posee una resistencia muy baja, mientras que el voltimétrico se conecta en paralelo y posee una resistencia muy elevada (Figura 16.22). Para C.C., el aparato indica directamente el producto de la tensión por la intensidad, dando como resultado de la medida la potencia media. Para C.A., el aparato indica directamente el producto de la tensión por la intensidad y por el $\cos \varphi$, dando como resultado de la medida la potencia activa.

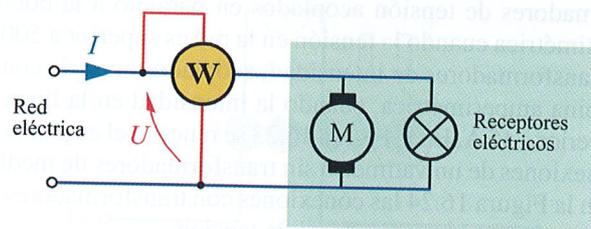


Figura 16.22. Medida de potencia con vatímetro.

Dado que el par de giro de la aguja indicadora del sistema de medida electrodinámico depende de los sentidos relativos de las corrientes por la bobina fija y por la bobina móvil, pudiera ocurrir que al conectar el vatímetro, la aguja tendiese a moverse hacia el cero de la escala. Para solventar este incidente bastará con invertir la conexión de una de las bobinas.

Es habitual que los fabricantes de vatímetros construyan aparatos de medida con varios alcances de medida, proporcionando diferentes conexiones y alcances para la tensión aplicada a la voltimétrica y amperimétrica. Para determinar

la constante de la escala, en estos casos, habrá que multiplicar el alcance de la tensión por el alcance de la intensidad y dividirlo entre el número total de divisiones de la escala.

Actividad resuelta 16.11

Un vatímetro ferrodinámico posee dos alcances de tensión: 100 V y 200 V, y dos alcances de intensidad: 1 A y 5 A. Averigua las constantes de la escala para cada una de las combinaciones posibles si la escala está fraccionada en 50 divisiones.

Solución:

La constante de la escala para 100 V, 1 A, es:

$$K = \frac{100 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}}{50 \text{ div}} = 2 \text{ W/div}$$

La constante de la escala para 100 V, 5 A, es:

$$K = \frac{100 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}}{50 \text{ div}} = 10 \text{ W/div}$$

La constante de la escala para 200 V, 1 A, es:

$$K = \frac{200 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}}{50 \text{ div}} = 4 \text{ W/div}$$

La constante de la escala para 200 V, 5 A, es:

$$K = \frac{200 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}}{50 \text{ div}} = 20 \text{ W/div}$$

Al igual que se hacía con los voltímetros y amperímetros, para ampliar el alcance de un vatímetro en C.A. se utilizan transformadores de medida. Se suelen acoplar transformadores de tensión acoplados en paralelo a la bobina voltimétrica cuando la tensión en la red es superior a 500 V y transformadores de intensidad, acoplados en serie con la bobina amperimétrica, cuando la intensidad en la línea es superior a 15 A. En la Figura 16.23 se muestra el esquema de conexiones de un vatímetro sin transformadores de medida y en la Figura 16.24 las conexiones con transformadores de intensidad y transformadores de tensión.

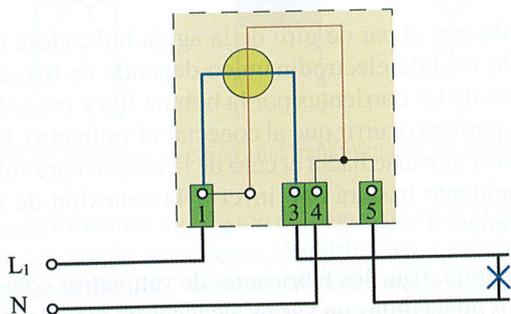


Figura 16.23. Esquema de conexiones de vatímetro monofásico en medición directa.

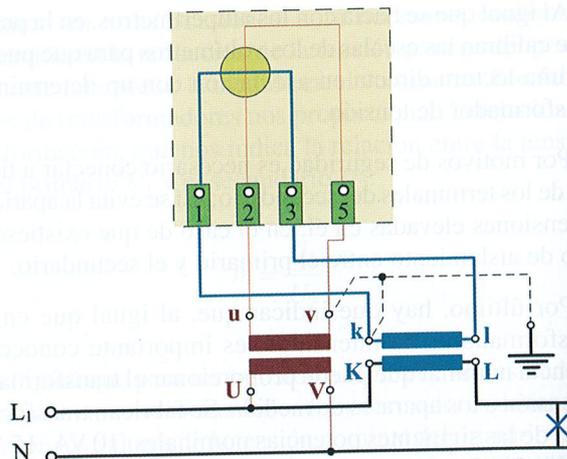


Figura 16.24. Esquema de conexiones de vatímetro monofásico con transformadores de tensión y corriente.

16.8.1. Medida de la potencia reactiva con vâmetro

El vâmetro es un aparato de medida que se construye partiendo de un vatímetro y al que se le añaden una serie de inductancias o condensadores en serie con la bobina voltimétrica con el fin de desfazar 90° la tensión respecto a la corriente (Figura 16.25). De esta forma se consigue que el aparato de medida nos dé una lectura directa del producto de la tensión por la intensidad y por el $\text{sen } \varphi$, es decir, de la potencia reactiva.

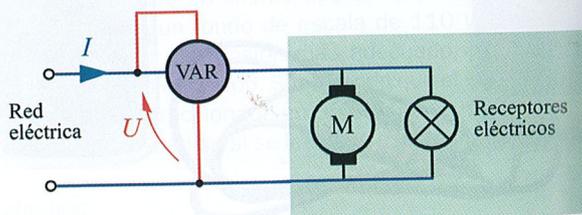


Figura 16.25. Medida de potencia reactiva con vâmetro.

16.8.2. Medida de potencia activa en C.A. trifásica

La medida de potencia en los sistemas trifásicos se puede realizar con vatímetros monofásicos, conectados de tal forma que consigan medir la potencia activa de la carga.

El número de vatímetros que se emplee para realizar la medida, así como la forma en la que se conectan, dependerá del tipo de línea que se utilice (a tres hilos sin neutro o a cuatro hilos con neutro) y de que la carga sea equilibrada o desequilibrada. Por supuesto, un sistema de medida que sirva para medir la potencia de una carga desequilibrada también será válido para una equilibrada.



Medida de potencia activa para sistemas con neutro: cargas desequilibradas

Esta es la forma más común de medida de la potencia en líneas de distribución de energía. En estos casos, se suministra el neutro, por ejemplo, en edificios de viviendas en los que es prácticamente imposible encontrar un equilibrio entre las fases.

Se utilizan tres vatímetros (Figura 16.26). La amperimétrica de cada uno se conecta en serie con cada conductor de línea, de tal forma que cada uno mida la intensidad de línea respectiva. Las voltimétricas se conectan entre cada fase y neutro, midiendo cada una de las tensiones de fase.

Cada uno de los vatímetros indica la potencia en cada una de las fases. La potencia activa del sistema será la suma de la potencia que aparece en cada una de las fases, dato que coincide con la suma de las lecturas de los tres vatímetros.

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

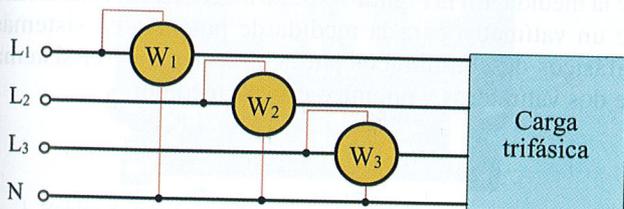


Figura 16.26. Esquema de conexiones de medida de potencia para sistemas trifásicos con neutro con cargas desequilibradas.

Medida de potencia activa para sistemas con neutro: cargas equilibradas

Para cargas equilibradas basta con conectar un solo vatímetro, con la amperimétrica en una de las líneas y con la voltimétrica entre la misma fase y el neutro (Figura 16.27). Como las cargas son todas iguales, la potencia de la carga trifásica se obtiene multiplicando por tres la lectura del vatímetro.

$$P = 3 W$$

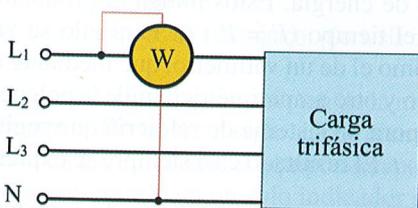


Figura 16.27. Esquema de conexiones para la medida de potencia para sistemas trifásicos con neutro con cargas equilibradas.

Medida de potencia activa para sistemas sin neutro: cargas equilibradas

Como no disponemos en la línea de neutro se conectan dos cargas adicionales Z_1 y Z_2 del mismo valor que la bobina voltimétrica con el fin de crear un neutro artificial (Figura 16.28).

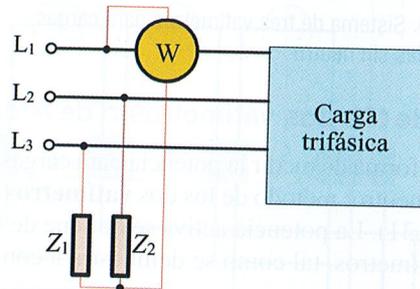


Figura 16.28. Esquema de conexiones para la medida de potencia activa en sistemas trifásicos sin neutro con cargas equilibradas.

De esta forma se consigue que el vatímetro nos indique la lectura de $(U_f I_L \cos \varphi)$, es decir, la potencia activa de una fase. La potencia del sistema será entonces de tres veces la indicada por el vatímetro.

$$P = 3 W$$

Por lo general, los fabricantes de aparatos de medida montan en el mismo aparato las cargas adicionales; además, la escala aparece multiplicada por tres. Ahora, la lectura es directa y el vatímetro monofásico se ha transformado en un trifásico. En la Figura 16.29 se muestran las conexiones del vatímetro mediante otro tipo de representación.

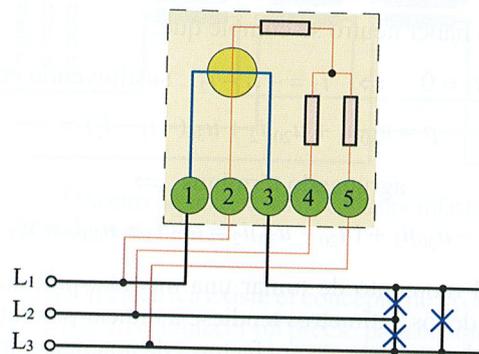


Figura 16.29. Vatímetro trifásico para cargas equilibradas sin neutro.

Medida de potencia activa para sistemas sin neutro: cargas desequilibradas

Conectando tres vatímetros, tal como se indica en la Figura 16.30, se consigue medir la potencia de cada una de las cargas. La potencia del sistema se obtiene sumando la lectura de cada uno de los vatímetros.

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

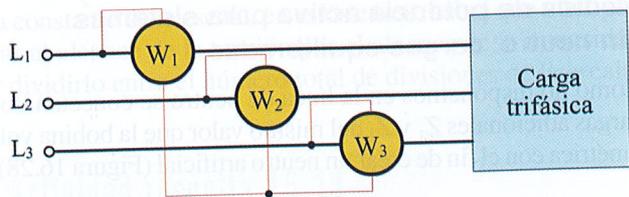


Figura 16.30. Sistema de tres vatímetros para cargas desequilibradas sin neutro.

Método de los dos vatímetros o de Arón

Existe otra forma de medir la potencia para cargas desequilibradas sin neutro: método de los dos **vatímetros** o de **Aron** (Figura 16.31). La potencia activa se obtiene de la suma de los dos vatímetros, tal como se demuestra a continuación:

$$P = W_1 + W_2$$

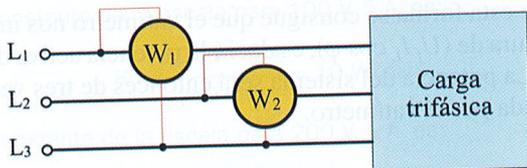


Figura 16.31. Sistema de dos vatímetros o de Arón para cargas desequilibradas sin neutro.

En valores instantáneos, los vatímetros indican:

$$w_1 = u_{13} i_1 \quad w_2 = u_{23} i_2$$

La potencia instantánea en la carga es:

$$p = u_{10} i_1 + u_{20} i_2 + u_{30} i_3$$

Al no haber neutro se cumple que:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \Rightarrow i_3 = -i_1 - i_2 \text{ sustituyendo en } p \Rightarrow$$

$$p = u_{10} i_1 + u_{20} i_2 + u_{30}(-i_1 - i_2) =$$

agrupando términos \Rightarrow

$$= (u_{10} - u_{30})i_1 + (u_{20} - u_{30})i_2 = u_{13} i_1 + u_{23} i_2 = w_1 + w_2$$

En el momento de tomar una medida, podría ocurrir que uno de los vatímetros tendiese a indicar por debajo del cero, hecho que ocurre para factores de potencia muy bajos. En estos casos basta con invertir la conexión de una de las bobinas del vatímetro afectado. La medida obtenida por este vatímetro se considerará negativa, por lo que para obtener la potencia activa se restará este resultado del obtenido por el otro vatímetro.

Con el método de los dos vatímetros también se puede obtener el valor de la potencia reactiva para sistemas equilibrados, para ello basta con aplicar la siguiente expresión:

$$Q = \sqrt{3} \cdot (W_1 - W_2)$$

Actividad resuelta 16.12

Averigua la potencia activa y reactiva, así como el factor de potencia de una carga trifásica equilibrada, si al medir con el método de los dos vatímetros o de Arón se obtienen las siguientes medidas: lectura del primer vatímetro = 10.000 W, lectura del segundo vatímetro = 5.000 W.

Solución:

$$P = W_1 + W_2 = 10.000 + 5.000 = 15.000 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot (W_1 - W_2) = \sqrt{3} \cdot (10.000 - 5.000) = 8.660 \text{ VAR}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{15.000}{\sqrt{15.000^2 + 8.660^2}} = 0,87$$

En la práctica se fabrican vatímetros trifásicos con dos o tres sistemas de medida, de tal forma que la fuerza motriz de cada uno de ellos actúe sobre el eje que mueve la aguja indicadora. Así se consigue que la lectura de la medida sea sobre una sola escala, lo que facilita mucho la interpretación de la medida. En la Figura 16.32 se muestran las conexiones de un vatímetro para la medida de potencia en sistemas trifásicos desequilibrados sin neutro mediante el sistema de dos vatímetros y un único órgano medidor.

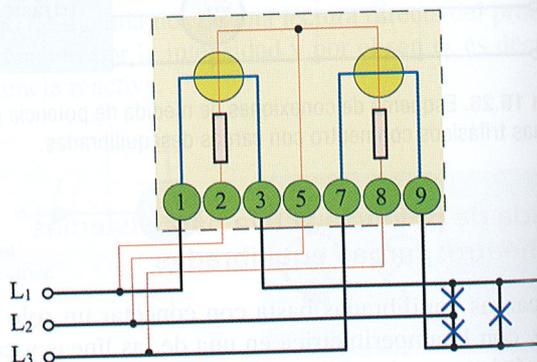


Figura 16.32. Vatímetro trifásico con dos sistemas de medida.

16.9. Medida de energía en sistemas trifásicos

La medida de la energía eléctrica se lleva a cabo mediante contadores de energía. Estos miden el producto de la potencia por el tiempo ($E = P \cdot t$). Para ello se valen de un sistema, como el de un vatímetro, que mediante un circuito voltimétrico y otro amperimétrico mide la potencia, y al que se le incorpora un sistema de relojería que registra el producto de $P \cdot t$. El resultado casi siempre se expresa en kWh.

Los contadores más utilizados en la actualidad son los de inducción (Figura 16.33). También existen los contadores de energía electrónicos de impulsos, que por su gran pre-



cisión y versatilidad están desplazando a los de inducción. Además, es posible que un contador electrónico sea capaz de comunicarse telefónicamente mediante un módem con la central de gestión de la compañía eléctrica y enviar los datos obtenidos de la lectura de energía. De esta forma se evita tener que enviar a un empleado a realizar dicha lectura; además se consigue un control a tiempo real de la distribución de la energía en toda la red (Figura 16.34).

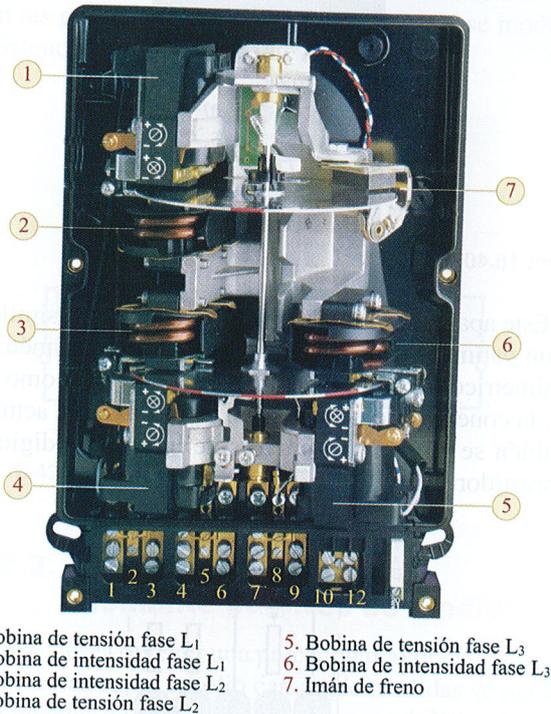


Figura 16.33. Contador trifásico a 4 hilos. (Cortesía de AEG.)

- 1. Bobina de tensión fase L₁
- 2. Bobina de intensidad fase L₁
- 3. Bobina de intensidad fase L₂
- 4. Bobina de tensión fase L₂
- 5. Bobina de tensión fase L₃
- 6. Bobina de intensidad fase L₃
- 7. Imán de freno



Figura 16.34. Contador trifásico electrónico. (Cortesía de Circuitor.)

Los contadores trifásicos se conectan de la misma forma que los vatímetros. De tal forma que si, por ejemplo, se realiza la medida en las tres fases, el equipo es capaz de sumar el resultado y presentarlo en un solo indicador de medida.

En la Figura 16.35 se muestra, a modo de ejemplo, el esquema de conexión de un contador trifásico en conexión

directa para sistemas desequilibrados con neutro y en la Figura 16.36, el esquema de un contador trifásico en conexión a transformadores de intensidad y tensión para sistemas desequilibrados sin neutro.

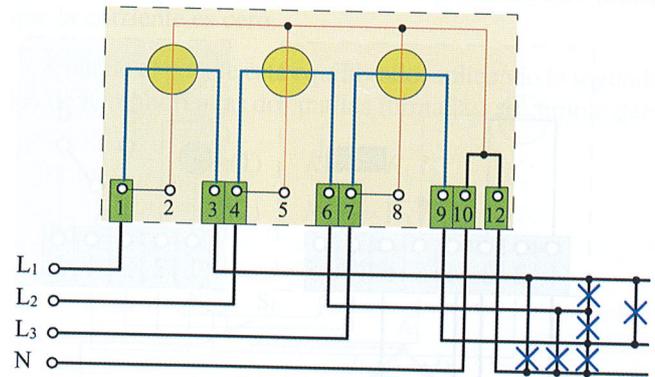


Figura 16.35. Esquema de conexiones de contador de energía trifásico para sistemas desequilibrados con neutro.

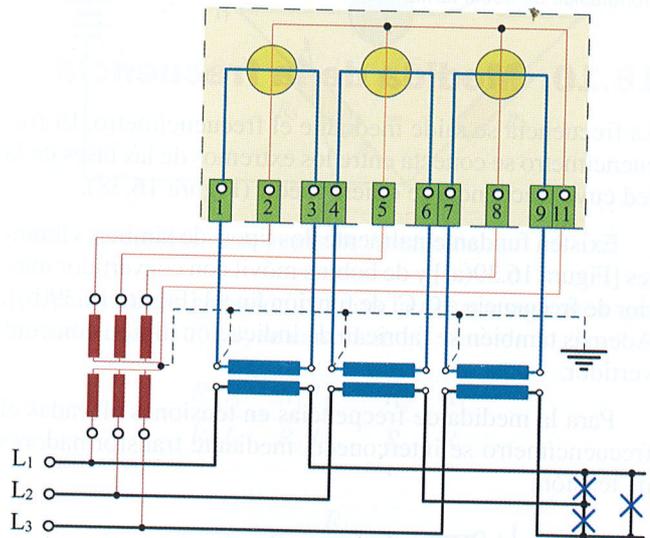


Figura 16.36. Esquema de conexiones de contador trifásico con transformadores de medida.

En tarificación eléctrica existe el concepto de la doble tarifa. Esta consiste en establecer un precio para el consumo de energía eléctrica nocturna más reducido que para la diurna.

La razón por la que las compañías eléctricas incentivan el consumo de energía nocturna está fundamentada en el hecho de que por la noche existe una baja demanda de energía y, sin embargo, ciertas centrales eléctricas, como las nucleares, no pueden llegar a desconectarse, por lo que existe un desequilibrio entre la oferta y la demanda de energía. Además, así se consigue disminuir los fuertes consumos originados a ciertas horas del día.

En la Figura 16.37 se muestra el esquema de un contador monofásico de doble tarifa. Este dispone de dos sistemas de

registro de la energía consumida: uno para la tarifa nocturna y otro para la diurna. Para poder realizar el proceso de conmutación de un registro al otro, el contador dispone de un reloj horario que realiza automáticamente el proceso de conmutación, según los tiempos preseleccionados.

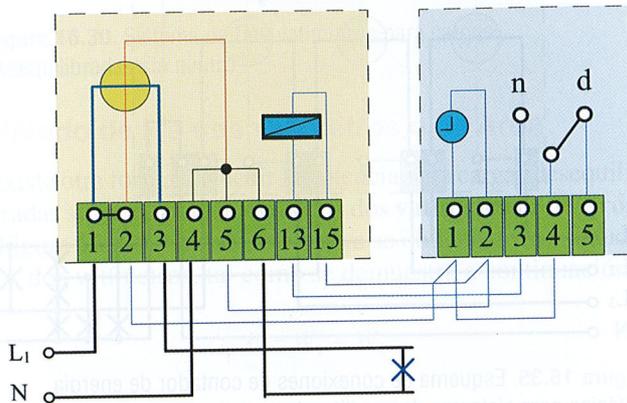


Figura 16.37. Esquema de conexiones de contador de energía monofásico de doble tarifa.

16.10. Medida de la frecuencia

La frecuencia se mide mediante el frecuencímetro. El frecuencímetro se conecta entre los extremos de las fases de la red cuya frecuencia se quiere medir (Figura 16.38).

Existen fundamentalmente dos tipos: de láminas vibrantes [Figura 16.39(a)] y de bobina móvil con convertidor interior de frecuencia a C.C. de función lineal [Figura 16.39(b)]. Además también se fabrican de indicación digital con convertidor.

Para la medida de frecuencias en tensiones elevadas el frecuencímetro se interconecta mediante transformadores de tensión.

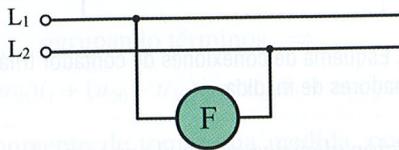


Figura 16.38. Esquema de conexiones de frecuencímetro.

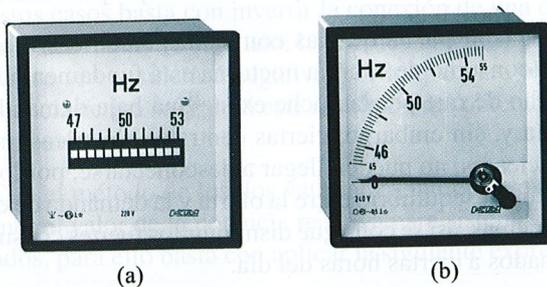


Figura 16.39. Frecuencímetro: (a) de láminas vibrantes; (b) de aguja.

16.11. Medida del factor de potencia

Para medir el factor de potencia de una instalación se utiliza el fasímetro. En la Figura 16.40 se muestra el aspecto que presenta la pantalla de un fasímetro basado en sistema de medida móvil con convertidor de ángulo de fase a C.C. de función lineal.



Figura 16.40. Fasímetro.

Este aparato de medida se conecta de forma similar a la de un vatímetro, ya que posee circuitos amperimétricos y voltimétricos. En la Figura 16.41 se muestra, como ejemplo, la conexión de un fasímetro trifásico. En la actualidad también se fabrican fasímetros de indicación digital con convertidor.

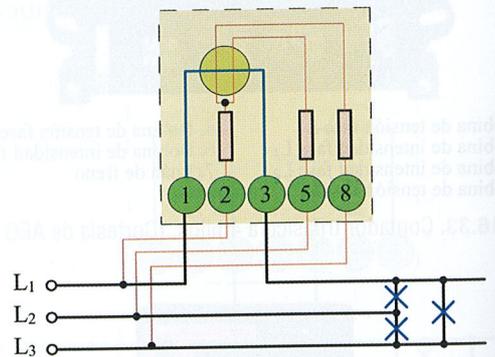


Figura 16.41. Esquema de conexiones de fasímetro trifásico.

16.12. Medida de resistencias eléctricas

La medida de la resistencia eléctrica se puede realizar simplemente midiendo la tensión y corriente que produce una resistencia al aplicar una fuente de alimentación de C.C. Aplicando la ley de Ohm se obtiene el valor de la resistencia. Evidentemente este no es el sistema más utilizado. Dependiendo del orden de magnitud a medir y nivel de precisión requerido se utilizan diferentes sistemas de medida.

16.12.1. Medida de resistencias con óhmetro amperimétrico

Este sistema es el que utilizan los polímetros analógicos. Al conectar la resistencia R_x que se va a medir se cierra un



circuito, donde existe una pila, un amperímetro donde se toma la medida y una resistencia R para el ajuste a cero del indicador (Figura 16.42). La intensidad que mide el amperímetro es inversamente proporcional a la resistencia que se mide, por lo que al calibrar la escala del aparato de medida en ohmios habrá que poner el cero en el fondo de la escala. Dado que el resultado de la medida depende del estado de carga de la pila, antes de medir con este aparato conviene ajustar a cero la escala, para lo cual se cortocircuitan las puntas de prueba del instrumento y se modifica la resistencia variable mediante un cursor.

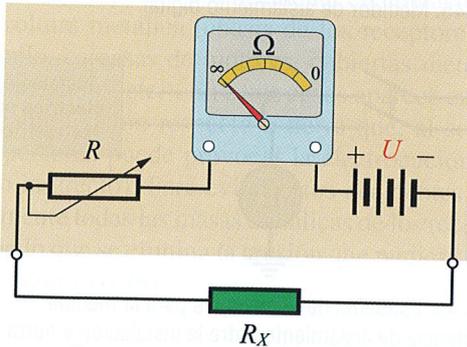


Figura 16.42. Óhmetro amperimétrico.

16.12.2. Medida de resistencias mediante puentes de medida

Cuando se desea obtener una precisión mayor en la medida de resistencias en un amplio campo de medidas se pueden utilizar puentes de medida, como el puente de Wheatstone o el puente de Thomson. En la Figura 16.42 se muestra el aspecto de un puente de medida comercial y en la Figura 16.43 el circuito básico de que consta un puente de Wheatstone. Un puente de Thomson comercial puede tener, por ejemplo, un campo de medida entre $500 \mu\Omega$ y 6Ω , mientras que el campo de medida de un puente de Wheatstone estaría entre $500 \text{ m}\Omega$ y $500 \text{ k}\Omega$.



Figura 16.43. Óhmetro con puente de medida. (Cortesía de Chauvin Arnoux.)

El puente de Wheatstone de la Figura 16.44 sirve para medir el valor óhmico de una resistencia desconocida R_x .

Las resistencias R_1 y R_2 son fijas y de un valor conocido. La resistencia R_3 es variable y se mueve en una escala graduada, de tal forma que podemos saber su valor en todo momento. Se trata de modificar R_3 hasta conseguir equilibrar el puente. Este equilibrio se consigue cuando el galvanómetro indica que la corriente es cero.

Cuando el puente está equilibrado, aplicando la segunda ley de Kirchoff a las dos mallas formadas, se cumple que:

$$(1) \quad R_x I_1 = R_1 I_2$$

$$(2) \quad R_3 I_1 = R_2 I_2$$

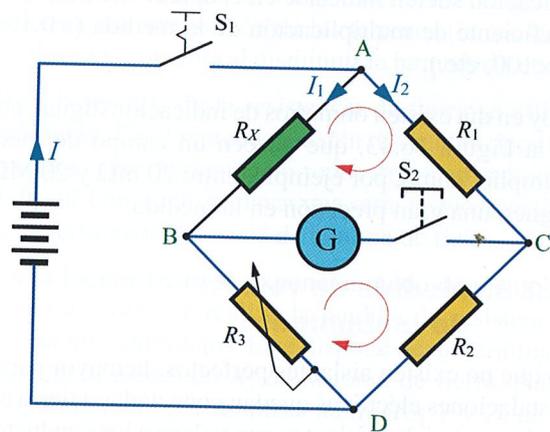


Figura 16.44. Esquema de puente de Wheatstone.

Al dividir la ecuación (1) con la (2) conseguimos que las intensidades I_1 e I_2 se cancelen:

$$\frac{R_x I_1}{R_3 I_1} = \frac{R_1 I_2}{R_2 I_2} \quad ; \quad \frac{R_x}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$$

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

Con esta última ecuación se puede averiguar el valor de la resistencia a medir R_x después de equilibrar el puente.

La ventaja que supone el empleo de los puentes para la medida de resistencias eléctricas reside en el hecho de que el resultado de la medida no depende, en ningún caso, del valor de la tensión que proporciona la batería de C.C. al circuito.

Actividad resuelta 16.13

Al medir con el puente de Wheatstone el valor óhmico de una resistencia desconocida R_x , los valores fijos de R_1 y R_2 son de 10 y 1.000Ω respectivamente, habiéndose conseguido el equilibrio del puente para un valor de $R_3 = 5.879 \Omega$.

Solución:

Aplicando estos valores a la ecuación:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 = \frac{10}{1.000} \cdot 5.879 = 58,79 \Omega$$

En un puente de Wheatstone comercial no suele ser necesario aplicar la ecuación para determinar la resistencia desconocida, ya que al variar R_3 aparece el resultado de la medida directamente en una escala. El cociente R_1/R_2 también se suele poder modificar. De esta forma se consigue ampliar el campo de medida. Los resultados de esta última modificación suelen indicarse en el aparato de medida con un coeficiente de multiplicación de la medida ($\times 0,1$; $\times 1$; $\times 10$; $\times 100$, etc.).

Hoy en día existen óhmetros de indicación digital, como el de la Figura 16.43, que poseen un campo de medida muy amplio, como, por ejemplo, entre 20 mΩ y 20 MΩ, y consiguen una gran precisión en la medida.

16.12.3. Medida de resistencias de aislamiento

Dado que no existen aislantes perfectos, la mayor parte de las instalaciones eléctricas quedan conectadas a tierra a través de los materiales aislantes que rodean a los conductores, por lo que siempre aparecen pequeñas corrientes de fuga desde los conductores de fase a tierra. El buen estado de los aislamientos de una instalación es muy importante, ya que un aislante en mal estado puede provocar cortocircuitos e incendios. Por esta razón, las normas sobre instalaciones eléctricas exigen pruebas de inspección para comprobar el estado de los aislamientos, es decir, para comprobar si la resistencia de aislamiento es lo suficientemente elevada.

Dado que las resistencias de aislamiento suelen estar por encima de los 0,5 MΩ, es necesario el empleo de aparatos de medida especialmente diseñados para esta función, conocidos por el nombre de **megóhmetros** o **medidores de aislamiento**. Existe una amplia gama de diferentes aparatos de medida que cubren estas necesidades, unos con indicación analógica y otros con indicación digital, siendo estos últimos los que más se emplean en la actualidad. En la Figura 16.45 se muestra el aspecto de un medidor de aislamiento con indicación digital.

Para realizar las medidas de aislamiento de una instalación se procede de la siguiente forma:

- Se desconecta el interruptor general de alimentación de corriente de la instalación y se unen entre sí los conductores de alimentación. Seguidamente, se conecta el terminal positivo del medidor de aislamiento al conductor de tierra y el negativo a uno de los conductores de la instalación, tal como se muestra en la

Figura 16.46. De esta forma mediremos la resistencia de aislamiento entre el total de la instalación y tierra.

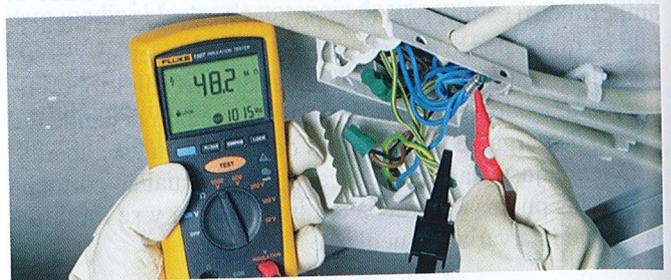


Figura 16.45. Medidor de aislamiento digital.

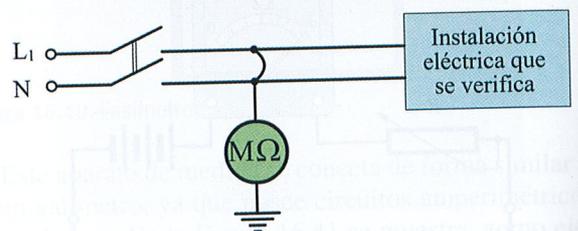


Figura 16.46. Esquema de conexiones para la medida de la resistencia de aislamiento entre la instalación y tierra.

- En el caso de que la resistencia de aislamiento total entre la instalación y tierra fuese inferior a la requerida por las normas vigentes, habrá que encontrar qué parte de la instalación es la que causa esta disminución del aislamiento, por lo que habrá que desconectar todos los receptores e ir comprobando la resistencia de aislamiento de cada uno de los conductores de la instalación respecto a tierra.
- Otra de las pruebas de aislamiento a realizar consiste en la medida de aislamiento entre los conductores activos. Para ello, se dejan conectados todos los receptores a la línea, pero con su respectivo interruptor en posición abierta, y se conecta el medidor de aislamiento entre los dos conductores activos de la instalación, tal como se muestra en la Figura 16.47.

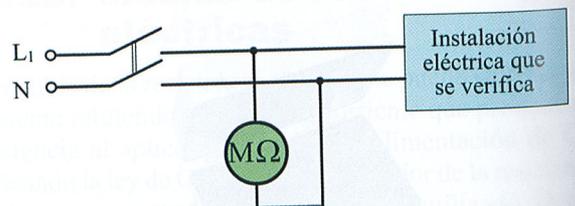


Figura 16.47. Esquema de conexiones para la medida de la resistencia de aislamiento entre los conductores activos de una instalación.

Los valores de resistencia de aislamiento que deberán presentar las instalaciones según el REBT se pueden consultar en la instrucción técnica complementaria ITC-BT 19, donde entre otras cosas se indica que para instalaciones con una tensión nominal inferior o igual a 500 V (excepto muy



bajas tensiones de seguridad y protección) la resistencia de aislamiento deberá ser superior a $0,5 \text{ M}\Omega$.



Consulta en el REBT la Instrucción Técnica ITC-BT 19 sobre Instalaciones Interiores o Receptoras, apartado 2.9.

16.12.4. Medida de resistencia de una toma de tierra

En las instalaciones eléctricas siempre existe el riesgo de que alguno de los conductores activos (con tensión respecto a tierra) se ponga por accidente en contacto con alguna envoltura metálica (chasis de los receptores, como, por ejemplo, carcasas de motores, cubiertas metálicas de electrodomésticos, etc.). En estos casos aparece en la masa metálica una tensión respecto a tierra que, al ser tocada por una persona, puede provocar la electrocución de esta (contacto indirecto). Para evitar estos accidentes se unen eléctricamente todas las masas metálicas de los receptores a tierra, con lo que se elimina la tensión que pudiera aparecer en ellas (Figura 16.48).

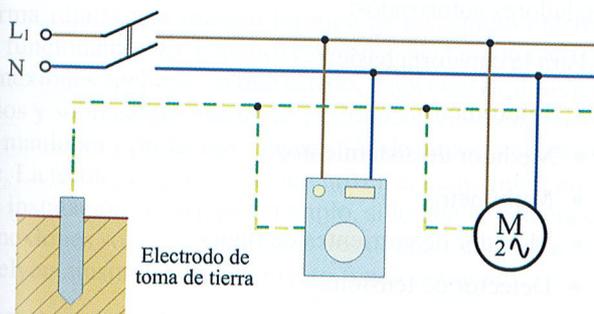


Figura 16.48. Puesta a tierra de las masas metálicas de los receptores.

Las tomas de tierra se realizan mediante electrodos metálicos enterrados (picas, barras, tubos, placas, cables, pletinas y en general cualquier objeto metálico) que produzcan un buen contacto con el terreno. Es imprescindible que la resistencia de la toma de tierra sea lo más baja posible, ya que de ello depende que la tensión que pudiera aparecer en las masas metálicas sea también baja.

El REBT indica en la **ITC-BT 18** que el valor de la resistencia de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V en local o emplazamiento conductor y a 50 V en los demás casos.



Consulta en el REBT la Instrucción Técnica ITC-BT 18 sobre Instalaciones de Puesta a Tierra.

El valor de la resistencia a tierra depende fundamentalmente de la naturaleza del terreno, de los electrodos utilizados y de la calidad del contacto entre el electrodo y el terreno. Seguidamente se exponen los valores máximos que

se recomiendan para la resistencia de tierra según el uso que se vaya a dar a las instalaciones eléctricas:

- Edificios de viviendas: 8Ω .
- Edificios con pararrayos: 15Ω .
- Instalaciones de máxima seguridad: 2 a 5Ω .
- Instalación de ordenadores: 1 a 2Ω .

Una vez realizada la toma de tierra hay que medir su resistencia para comprobar si su valor óhmico se encuentra según lo requerido. También es necesario realizar revisiones anuales de los valores de la resistencia de tierra, ya que estos podrían modificarse por diferentes factores, tales como corrosión de los electrodos, deterioro de conexiones, cambios en la composición de los terrenos (la resistividad de los terrenos aumenta al disminuir la humedad), etcétera.

Para la medida de la resistencia de tierra se utiliza el **telurómetro**. En el mercado existen diferentes tipos de telurómetros, pero básicamente todos emplean métodos de medida que consisten en clavar una serie de picas auxiliares a una determinada distancia de la toma de tierra.

En la Figura 16.49 se expone, a modo de ejemplo, un esquema de cómo se realiza la medida de resistencia de tierra con un telurómetro. Este dispone de un terminal que se conecta al electrodo R_x de la toma de tierra. Además se proporciona un par de picas auxiliares Y y Z , de unos 30 cm de longitud, que se clavan a una cierta distancia del electrodo X de la toma de tierra.

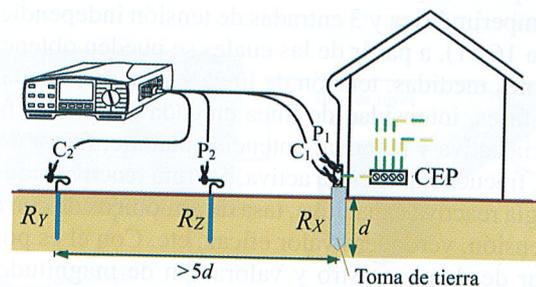


Figura 16.49. Esquema de conexiones para la medida de la resistencia de una toma de tierra con el EUROTEST de KOBAN.

En la Figura 16.50 se muestra el aspecto de un telurómetro comercial. Antes de realizar la medida de tierra con un determinado medidor de tierra conviene leer detenidamente sus instrucciones de manejo y operar en consecuencia.



Figura 16.50. Telurómetro incorporado en el EUROTEST.

16.13. Sistemas avanzados de medida

El avance experimentado en los últimos años en la fabricación de microprocesadores y microcomputadores ha producido un fuerte avance en el desarrollo de nuevos instrumentos de medida, mucho más versátiles y de tamaño más reducido. Gracias a estos avances se ha aumentado el número de parámetros que se pueden medir con un solo instrumento a partir de las señales básicas de entrada (U e I). Además, se los ha dotado de una gran capacidad de comunicación con otros elementos de la instalación.

También es posible la conexión de los aparatos de medida con ordenadores personales a través de un bus de comunicaciones. De esta forma, se consigue procesar una gran cantidad de datos en un tiempo reducido. Con estas combinaciones se pueden efectuar muchas medidas a la vez, para, por ejemplo, realizar un control instantáneo de la energía consumida, establecer alarmas en caso de que alguna magnitud alcance valores inadecuados, evitar sobrecargas en las líneas, realizar estudios estadísticos, etcétera.

A continuación se exponen algunos de estos sistemas avanzados de medida.

16.13.1. Analizador de red trifásico

Este dispositivo posee 3 entradas de corriente mediante tenaza amperimétrica y 3 entradas de tensión independientes (Figura 16.51), a partir de las cuales se pueden obtener las siguientes medidas: tensión de línea y de fase en cada una de las fases, intensidad de línea en cada una de las fases, potencia activa y reactiva, potencia aparente, factor de potencia, frecuencia, energía activa, energía reactiva inductiva y energía reactiva capacitiva, tasa de armónicos de corriente y de tensión, verdadero valor eficaz, etc. Con él es posible realizar desde el registro y valoración de magnitudes de medición en energía eléctrica hasta el análisis del consumo de energía eléctrica.

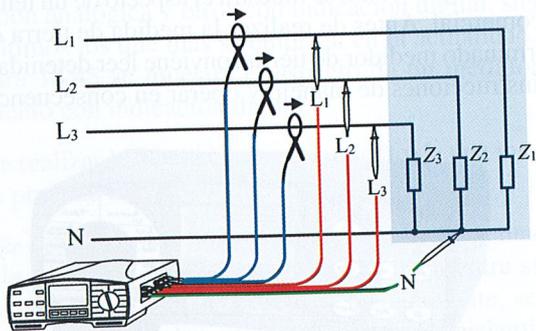


Figura 16.51. Esquema de conexiones del EUROTEST en la medida de armónicos de tensión y corriente en sistemas trifásicos.

La presentación de la medida en la pantalla o *display* del aparato puede ser de diferentes formas: de forma alfanumérica como valores numéricos, a modo de tabla, valoración máxima/mínima, en forma de gráfico representando una curva o diagrama de líneas. También es posible el almacenamiento de los valores medidos en una memoria, para ser consultados con posterioridad a la medida. Algunos modelos permiten imprimir los resultados en papel o conectarse a un ordenador personal dotado con un software capaz de procesar los datos obtenidos según nuestras necesidades.

16.13.2. Comprobador de instalaciones eléctricas de baja tensión

En el REBT en la Instrucción Técnica **ITC-BT 05** se indican las condiciones para la verificación e inspección de las instalaciones eléctricas en baja tensión. Además, se enumeran las verificaciones que son necesarias llevar a cabo antes de la puesta en servicio de las instalaciones. Para llevar a cabo estas verificaciones, en la instrucción técnica **ITC-BT 03** aparecen los medios técnicos con que han de contar los instaladores autorizados:

Para la categoría básica:

- Telurómetro.
- Medidor de aislamiento.
- Multímetro.
- Medidor de corrientes de fuga.
- Detector de tensión.
- Analizador-registrador de potencia y energía para C.A. trifásica.
- Verificador de la sensibilidad y tiempo de disparo de interruptores diferenciales.
- Medidor de resistencia de bucle.
- Luxómetro.

Para la categoría especialista, además de los medios anteriores:

- Analizador de redes, de armónicos y de perturbaciones de red.
- Electrodo para la medida de aislamiento de los suelos.
- Aparato comprobador del dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento de los quirófanos.



Consulta en el REBT la Instrucción Técnica **ITC-BT 03** (Instaladores autorizados en baja tensión) y la **ITC-BT 05** (Verificaciones e inspecciones).

En el mercado se pueden encontrar aparatos de medida portátiles que integran una gran cantidad de funciones, como por ejemplo la medición de tensiones, corrientes y



frecuencias; verificación de resistencias de aislamiento, resistencias de tierra; comprobación de la continuidad de conductores, del estado de interruptores diferenciales; indicación del orden de sucesión de fases, etcétera.



Figura 16.52. Comprobador de instalaciones eléctricas de baja tensión.

16.13.3. Cámara termográfica

Este tipo de instrumento de medida nos permite tomar de forma rápida una imagen térmica de un equipo eléctrico en funcionamiento. Esto nos permite detectar con facilidad conexiones sueltas o en mal estado, detección de desequilibrios y sobrecargas eléctricas en conductores o en aparatos de maniobra y protección, inspección de motores eléctricos, etc. La termografía resulta muy útil en el mantenimiento de las instalaciones. Así, por ejemplo, si lo que se detecta son conexiones sobrecalentadas, se desmontan, se limpian y se vuelven a ajustar hasta su correcto funcionamiento.

En la Figura 16.53 se muestra una cámara termográfica tomando una imagen térmica del estado de funcionamiento de las conexiones de un cuadro eléctrico.



Figura 16.53. Cámara termográfica.

16.14. El osciloscopio

El osciloscopio es un aparato de medida que nos va a ser indispensable para el análisis y comprobación de los valores que se dan en una tensión variable. Su aplicación en el campo de la electrónica se hace indispensable. Un osciloscopio lo que hace es mostrar en su pantalla la forma que posee una determinada tensión o corriente eléctrica. Es decir, representa en un eje de coordenadas las variaciones de estas magnitudes en función del tiempo.

Así, por ejemplo, la imagen que aparecería en la pantalla del osciloscopio al aplicarle una tensión alterna senoidal sería la mostrada en la Figura 16.54.

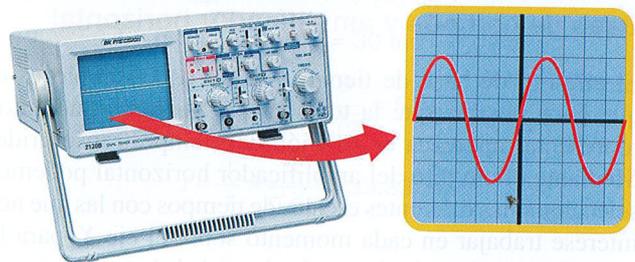


Figura 16.54. Imagen de una tensión senoidal en un osciloscopio.

El osciloscopio se vale de un tubo de rayos catódicos, sobre el cual incide un haz electrónico proyectado por el cátodo, para reproducir la imagen visual, tal como se muestra en la Figura 16.55.

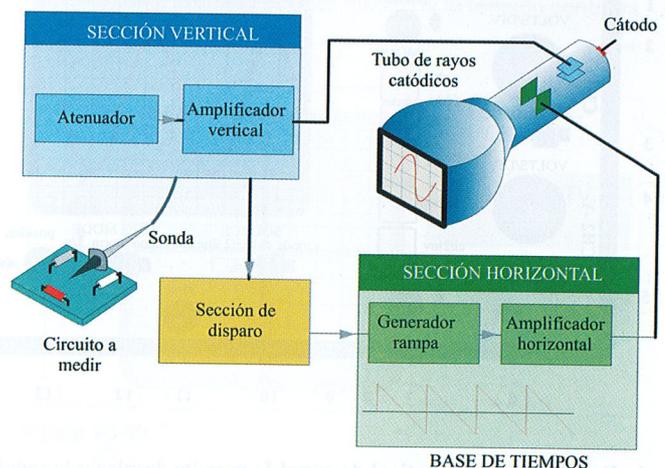


Figura 16.55. Funcionamiento básico de un osciloscopio analógico.

Mediante la sección de disparo y la sección horizontal se consigue generar una señal que es capaz de mover el haz de electrones, proyectado por el cátodo, de izquierda a derecha a una determinada frecuencia, produciendo en la capa fluorescente de la pantalla del tubo una línea horizontal. Mediante la base de tiempos se puede ajustar la frecuencia de barrido del haz electrónico.

La sonda del osciloscopio toma la señal a medir, que se prepara en la sección vertical, para atacar las placas de deflexión vertical. Esto hace que el haz de electrones tienda a desviarse de arriba abajo en el tubo de rayos catódicos en función del orden de magnitud de la señal a medir (tensión en voltios). Mediante el amplificador vertical se consigue atenuar más o menos la señal a medir. Si la tensión a medir es positiva, el trazo presentado en la pantalla aparece por encima de la línea de referencia GND, y si es negativa, por debajo de dicha línea.

La combinación del trazo vertical y el horizontal produce en la pantalla la representación gráfica de la señal a medir.

Base de tiempos y amplificador horizontal

El circuito de base de tiempos de un osciloscopio es el que hace posible que la tensión que nosotros queremos representar aparezca en función del tiempo transcurrido. Mediante el circuito del amplificador horizontal podemos seleccionar las diferentes escalas de tiempos con las que nos interese trabajar en cada momento sobre el eje X, para lo que hacemos girar el selector de ajuste de la base de tiempos (Timebase). Para hacernos una idea del campo de medida de este circuito, se muestran, a continuación, los grados de desviación de un osciloscopio comercial: de 1 a 500 ms/división, de 1 a 500 μ s/div y de 100 a 500 ns/div.

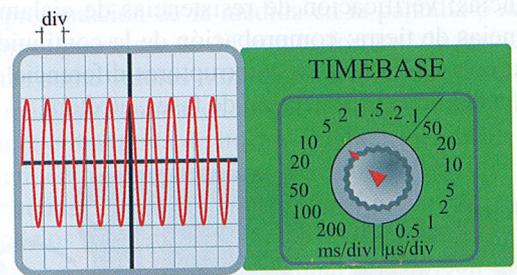


Figura 16.56. Selector de ajuste de la base de tiempos.

Amplificador vertical

Este circuito se encarga de que aparezcan representados los valores de tensión en el eje Y de la pantalla del osciloscopio. Mediante este circuito también podemos seleccionar diferentes escalas de tensión, como por ejemplo: de 1 a 10 V/div y de 2 a 500 mV/div.

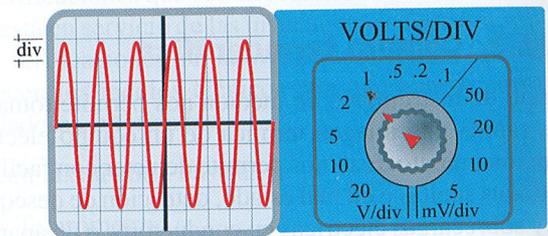
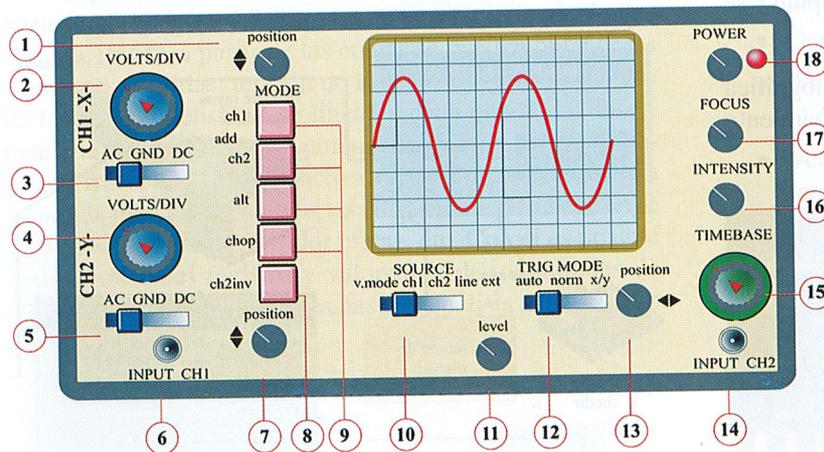


Figura 16.57. Selección del atenuador de entrada vertical.



1. Desplazamiento vertical de canal 1: permite desplazar la señal del canal 1 en sentido vertical.
2. Atenuador vertical (CH1): permite seleccionar la constante de medida en voltios/división del canal 1.
3. Selector AC-GND-DC de canal 1: con este conmutador podemos seleccionar el tipo de señal de entrada para el canal 1: AC para corriente alterna, CC para corriente continua y GND para señal de entrada desconectada [entrada conectada a masa; aquí podemos situar la señal de referencia con el mando de desplazamiento vertical (1) donde deseemos].

4. Atenuador vertical (CH2).
5. Selector AC-GND-DC de canal 2.
6. Entrada vertical (CH1): entrada del canal 1.
7. Desplazamiento vertical de canal 2.
8. Inversor de la señal: con este conmutador invertiremos la señal del canal 1 o 2 en los modos de funcionamiento CH1 o CH2 (9).
9. Modos de funcionamiento: permite seleccionar la señal que se quiere visualizar en pantalla.
10. Selector de la fuente de barrido.
11. Nivel (comienzo del trazo): mediante este control se puede seleccionar el punto de la señal donde comience el trazo.
12. Modos de disparo: permite seleccionar el modo de disparo: Auto (los impulsos de barrido se producen internamente).
13. Desplazamiento horizontal: con este control podemos variar la posición horizontal del trazo.
14. Entrada vertical (CH2).
15. Base de tiempos: selecciona la constante del eje de tiempos.
16. Brillo.
17. Foco: enfocamos el trazo de la señal en pantalla.
18. Interruptor de encendido.

Figura 16.58. Osciloscopio genérico de laboratorio.



Presentamos en la Figura 16.58 lo que podría ser un osciloscopio genérico, con sus controles más característicos, de forma que nos permita familiarizarnos con estos.

En la actualidad se están imponiendo los osciloscopios digitales debido a las ventajas que presentan frente a los analógicos. En estos tendremos más opciones a la hora de analizar una señal, que normalmente aparecerán mediante menús en pantalla.

16.14.1. Manejo del osciloscopio

Como medida de precaución general, antes de conectar un osciloscopio a la red eléctrica hay que asegurarse de que este esté debidamente conectado a tierra.

Una vez que se ha puesto en marcha el osciloscopio con el interruptor de encendido, seleccionaremos el conmutador de entrada de señal vertical en la posición GND y, con los controles de posición (POSITION), desplazaremos el trazo hasta el centro de la pantalla. Seguidamente se ajustan la intensidad y el foco del trazo en pantalla.

Tanto para medida de señales de C.A. como de C.C. lo primero que haremos será introducir la sonda en el conector correspondiente (INPUT).

Para la medida de corrientes alternas colocaremos el selector de entrada en AC. Además nos aseguraremos de que la fuente de barrido (SOURCE) del circuito de disparo (TRIGGER) seleccionada sea correcta. Seguidamente situaremos los mandos del atenuador vertical (volts/div) y de la base de tiempos (TIMEBASE) hasta conseguir encajar en la pantalla un ciclo completo de la señal (al manejar estos dos mandos se debe observar que el mando de ajuste fino se encuentra en posición desconectada CAL).

Para la medida de corrientes continuas colocaremos el selector de entrada en DC.

Actividad resuelta 16.14

Al realizar una medida de una tensión alterna con un osciloscopio aparece en la pantalla la imagen que se muestra en la Figura 16.59. Si los grados de desviación seleccionados fuesen: atenuador vertical (2 V/div), base de tiempos (5 ms/div), averigua el valor máximo y eficaz de la tensión, así como el periodo y la frecuencia.

Solución:

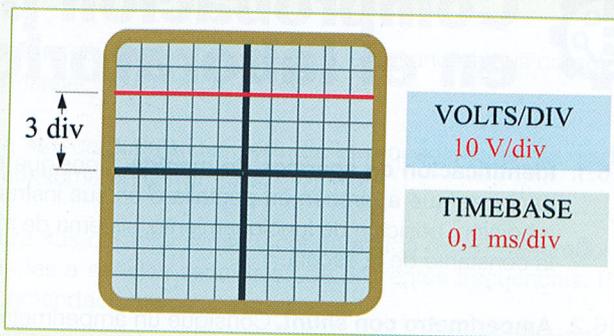


Figura 16.59.

$$U_{\text{máx}} = 4 \text{ div} \cdot 2 \text{ V/div} = 8 \text{ V}$$

$$T = 6 \text{ div} \cdot 5 \text{ ms/div} = 30 \text{ ms} = 0,03 \text{ s}$$

$$U_{\text{eficaz}} = \frac{U_{\text{máx}}}{\sqrt{2}} = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5,66 \text{ V}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,03} = 33,33 \text{ Hz}$$

Actividad resuelta 16.15

Al realizar una medida con un osciloscopio de una tensión continua aparece en la pantalla la imagen que se muestra en la Figura 16.60. Si los grados de desviación seleccionados fuesen: atenuador vertical (10 V/div), base de tiempos (0,1 ms/div), averigua el valor medio de la tensión continua.

Solución:

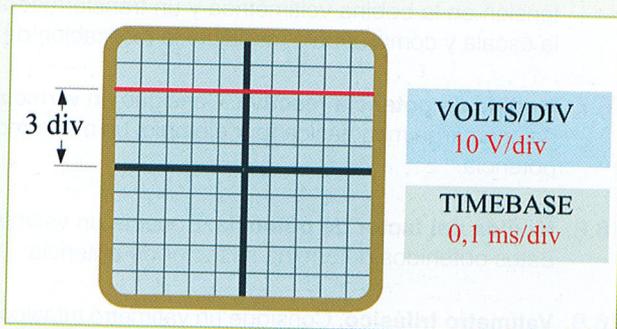


Figura 16.60.

$$U_{\text{CC}} = 3 \text{ div} \cdot 10 \text{ V/div} = 30 \text{ V}$$



Comprobación práctica en el laboratorio

- 16.1. Identificación de aparatos de medida.** Consigue diferentes modelos de aparatos de medida; observa todas las indicaciones que aparecen en pantalla o en sus instrucciones de manejo y con ellas indica: magnitud a medir, campo de medición, posición de funcionamiento, sistema de medición empleado, tipo de corriente, clase del instrumento, así como la constante de la escala.
- 16.2. Amperímetro con *shunt*.** Consigue un amperímetro y varios *shunts* comerciales y observa sus características. Primero mide la corriente por un circuito de forma directa con el amperímetro y determina la constante de escala. Posteriormente conecta en paralelo con el amperímetro cada uno de los *shunts* comerciales en cada caso, así como las nuevas resultados obtenidos y determina en cuánto se amplía el alcance del amperímetro en cada caso, así como las nuevas constantes de escala.
- 16.3. Amperímetro con transformador de intensidad.** Consigue un amperímetro de C.A. y varios transformadores de intensidad comerciales y observa sus características. Primero mide la corriente por un circuito de C.A. de forma directa con el amperímetro y determina la constante de escala. Posteriormente conecta con el amperímetro cada uno de los transformadores de intensidad comerciales de forma independiente, anota los resultados obtenidos y determina en cuánto se amplía el alcance del amperímetro en cada caso, así como las nuevas constantes de escala.
- 16.4. Voltímetro con transformador de tensión.** Consigue un voltímetro de C.A. y varios transformadores de tensión comerciales y observa sus características. Primero mide la tensión por un circuito de C.A. de forma directa con el voltímetro y determina la constante de escala. Posteriormente conecta con el voltímetro cada uno de los transformadores de tensión comerciales de forma independiente, anota los resultados obtenidos y determina en cuánto se amplía el alcance del voltímetro en cada caso, así como las nuevas constantes de escala.
- 16.5. Manejo del polímetro.** Consigue un polímetro comercial, analiza sus características y sus diferentes campos de medida y comprueba su funcionamiento en la verificación de un circuito eléctrico.
- 16.6. Vatímetro con transformadores de medida.** Consigue un vatímetro para la medida de C.A. monofásica, determina la constante de la escala y realiza la medida de potencia de un receptor. Seguidamente conecta un transformador de tensión en la bobina voltimétrica y un transformador de intensidad en la amperimétrica, calcula la nueva constante de la escala y compruébalo mediante la realización de una nueva medida.
- 16.7. Medida de potencia reactiva.** Consigue un vámetro y un vatímetro y realiza la medida de la potencia reactiva y activa de una carga monofásica (por ejemplo, un motor monofásico). Seguidamente calcula la potencia aparente y el factor de potencia.
- 16.8. Medida del factor de potencia.** Conecta un vatímetro, un voltímetro y un amperímetro a un motor monofásico. Con los datos obtenidos determina su factor de potencia.
- 16.9. Vatímetro trifásico.** Consigue un vatímetro trifásico para medida de potencias sin neutro. Mide la potencia de un motor trifásico. Seguidamente consigue tres vatímetros monofásicos y mediante una de las conexiones estudiadas mide la potencia del motor. A continuación, repite la medida con el sistema de dos vatímetros y compara todos los resultados obtenidos.
- 16.10. Contador de energía trifásico.** Consigue un contador de energía trifásico de inducción, analiza sus características y mide la energía consumida por un motor trifásico en un periodo de tiempo determinado.
- 16.11. Medida de la frecuencia.** Consigue diferentes tipos de frecuencímetros y analiza y compara sus características. Seguidamente realiza la medida de la frecuencia de la red eléctrica.
- 16.12. Manejo del fasímetro.** Consigue diferentes tipos de fasímetros y analiza y compara sus características. A continuación realiza la medida del factor de potencia de un motor trifásico.



- 16.13. Medida de la resistencia con puente de medida.** Consigue un puente de medida, analiza sus características y realiza con él la medida de varias resistencias de diferentes valores óhmicos.
- 16.14. Medida de la resistencia de aislamiento.** Consigue un medidor de resistencias de aislamiento, analiza sus características y verifica la resistencia de aislamiento de una sencilla instalación eléctrica.
- 16.15. Manejo del telurómetro.** Consigue un telurómetro, analiza sus características, estudia el procedimiento de medida proporcionado por el fabricante y verifica la resistencia de una toma de tierra.
- 16.16. Manejo del osciloscopio.** Consigue un osciloscopio, analiza sus características y con la ayuda de un generador de funciones comprueba los valores de las magnitudes asociadas a señales senoidales de diferentes frecuencias. Para hacerlo correctamente sigue atentamente las siguientes recomendaciones:
- Poner en marcha el osciloscopio siguiendo las instrucciones que aparecen en el manual de funcionamiento.
 - Situar el mando del amplificador vertical en su valor máximo. De esta forma, evitaremos que la tensión que deseamos medir sea superior a la que está preparada el osciloscopio.
 - Situar el conmutador de entrada en C.A.
 - Aplicar la tensión alterna a medir a la entrada vertical.
 - Girar el mando del atenuador vertical hasta que sea fácilmente visible la señal senoidal en la pantalla.
 - Girar el selector de la base de tiempos hasta que se pueda ver claramente un ciclo completo de la señal alterna en la pantalla.
 - Estabilizar la imagen mediante el control de sincronismo.
 - Tomar las lecturas de la pantalla y determinar el valor máximo y el periodo. Con estos datos se pueden calcular el valor eficaz y la frecuencia.

Al finalizar cada una de estas actividades deberás elaborar un informe-memoria sobre la actividad desarrollada, indicando los resultados obtenidos y estructurándolos en los apartados necesarios para una adecuada documentación de las mismas (descripción del proceso seguido, medios utilizados, esquemas y planos utilizados, cálculos, medidas, etc.).

Actividades de comprobación

16.1. El sistema de medida de bobina móvil:

- Sirve para medir directamente grandes corrientes.
- En combinación con un rectificador sirve para medir C.C. y C.A.
- Sirve para medir la potencia.

16.2. El sistema de medida de hierro móvil:

- Sirve para medir directamente grandes corrientes.
- Sirve para medir C.C. y C.A.
- Sirve para medir tensiones y corrientes hasta frecuencias elevadas.

16.3. El sistema de medida electrodinámico:

- Se utiliza fundamentalmente para la medida de la potencia.
- Sirve para medir en C.C. y C.A.
- Sirve para medir corrientes y tensiones.

16.4. El sistema de medida de inducción:

- Se utiliza fundamentalmente para la medida de energía en C.A.
- Sirve para medir en C.C.
- Sirve para medir el ángulo de desfase.

16.5. El sistema de medida bimetalico:

- Mide el valor medio de la corriente en C.C. y el eficaz en C.A.
- Sirve para medir solo en C.C.
- Se utiliza para medir la potencia.

16.6. El sistema de láminas vibrantes:

- Se utiliza para medir la energía eléctrica.
- Sirve para medir en C.C. y C.A.
- Se utiliza para la medida de frecuencias.

16.7. El *shunt*:

- Es una resistencia para ampliar el alcance de un voltímetro.
- Es una resistencia para ampliar el alcance de un amperímetro.
- Se conecta en serie con el amperímetro.

16.8. El transformador de intensidad:

- No debe dejarse nunca abierto el circuito secundario de medida.
- Se utiliza para ampliar el alcance de amperímetros en C.A.
- Se utiliza para ampliar el alcance de amperímetros en C.C.

16.9. Para comprobar el error que comete un amperímetro se toma una medida de 350 mA y luego se comprueba esa medida con un amperímetro de gran precisión, que da como resultado 335 mA. Determina el error absoluto y relativo cometido por el amperímetro.

16.10. Para verificar la precisión de un voltímetro se lo somete a una contrastación con un voltímetro patrón, y se anotan los siguientes resultados:

Voltímetro a verificar:	0 V	50 V	100 V	200 V
Voltímetro patrón:	0 V	49 V	98 V	197 V

¿Cuál será la clase de este voltímetro si el valor máximo de su escala es de 200 V?

16.11. Calcula el error máximo que puede cometer un vatímetro de clase 2,5 si su campo de medida es 0-500 W.

16.12. Se desea ampliar el alcance de un amperímetro de C.C. con sistema de medida de cuadro móvil. La corriente máxima que admite es de 100 mA y su resistencia interna es de $0,19 \Omega$. Calcula el valor de la resistencia del *shunt* para ampliar el alcance del aparato de medida hasta los 2 A.

16.13. Un amperímetro comercial de C.C. permite medir una corriente como máximo de 10 A. Posee una escala fraccionada en 80 divisiones y una resistencia interna de $1,9 \Omega$. Se desea ampliar el alcance del aparato para poder realizar medidas de hasta 200 A. Calcula la resistencia del *shunt* y la constante de la escala del aparato con y sin *shunt*. ¿Cuál será el resultado de la medida del amperímetro con *shunt* y sin *shunt* si se lee en la escala 65 divisiones?

16.14. La potencia nominal de una estación depuradora es de 70 kW con un factor de potencia de 0,8. El suministro de energía es trifásico a 230 V. Para realizar la medida de la intensidad de línea se dispone de un amperímetro con un fondo de escala de 5 A. Selecciona el transformador de intensidad más adecuado, así como su relación de transformación. Suponiendo que el amperímetro posee una escala fraccionada en 40 divisiones, ¿cuál será el resultado de la medida si se lee en la escala 35 divisiones?

16.15. Se desea ampliar el alcance de un voltímetro, con un campo de indicación de 20 V, hasta los 1.000 V. Este posee una resistencia interna de $5 \text{ k}\Omega$ y su escala está fraccionada en 100 divisiones. Calcula el valor de la resistencia adicional a conectar en serie con el voltímetro para ampliar su alcance, así como la constante del instrumento con y sin resistencia adicional. ¿Cuál será el resultado de la medida, con y sin la resistencia adicional, si se lee en la escala 22 divisiones?



- 16.16.** Para realizar la medida de tensión de una línea de distribución de 10 kV/50 Hz se dispone de un voltímetro de 0-110 V. Selecciona el transformador de tensión más adecuado para ello, así como su relación de transformación. Suponiendo que el voltímetro posee una escala fraccionada en 50 divisiones, ¿cuál será el resultado de la medida si se lee en la escala 45 divisiones?
- 16.17.** El vatímetro ferrodinámico:
- En C.A. indica la potencia activa.
 - En C.C. indica la potencia en VAR.
 - Posee una bobina voltimétrica de gran resistencia y una amperimétrica de baja resistencia.
- 16.18.** El frecuencímetro se conecta:
- En serie con la línea.
 - En paralelo con la línea.
 - La bobina amperimétrica en serie y la voltimétrica en paralelo.
- 16.19.** El fasímetro se conecta:
- En serie con la línea.
 - En paralelo con la línea.
 - La bobina amperimétrica en serie y la voltimétrica en paralelo.
- 16.20.** Para la medida de resistencias eléctricas resulta más preciso:
- El óhmetro amperimétrico.
 - Los puentes de medida.
 - El vámetro.
- 16.21.** La resistencia de aislamiento de una instalación eléctrica:
- Si es baja nos indica que algún aislante de la instalación está en mal estado.
 - Se mide con el megóhmetro.
 - Debe ser tan elevada como se indique en la normativa vigente.
- 16.22.** La resistencia de una toma de tierra:
- Si es muy alta puede causar accidentes por contactos indirectos.
 - Se mide con el telurómetro.
 - Debe ser lo más pequeña posible.
- 16.23.** Un vatímetro electrodinámico posee dos alcances de tensión: 50 V y 150 V, y un alcance de intensidad: 5 A. Averigua las constantes de la escala para cada una de las combinaciones posibles, si la escala está fraccionada en 25 divisiones. ¿Cuál será el resultado de la medida si se leen 15 divisiones para el campo de medida de 150 V-5 A?

Actividades de evaluación resueltas



A continuación se dan los enunciados de una serie de actividades de evaluación. Estas actividades las podrás encontrar resueltas accediendo al MATERIAL WEB creado para este texto.

- 16.1.** Durante la medida de la potencia de un motor monofásico con un vatímetro de alcance 5 A/300 V y 750 divisiones en la escala, la lectura efectuada es de 200 divisiones. La medida de la corriente del motor se efectúa al mismo tiempo con un amperímetro que indica un valor de 3 A y la tensión de un valor de 220 V. El amperímetro y el circuito amperimétrico del vatímetro están conectados a un transformador de corriente de relación 15/5:
- Dibuja un esquema del sistema de medida.
 - Calcula la potencia activa absorbida por el motor y el factor de potencia del mismo.
- 16.2.** El circuito puente que se muestra en la Figura 16.61 está equilibrado si $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 1.000 \Omega$ y $R_3 = 150 \Omega$. El puente recibe su energía de una fuente de 5 V:

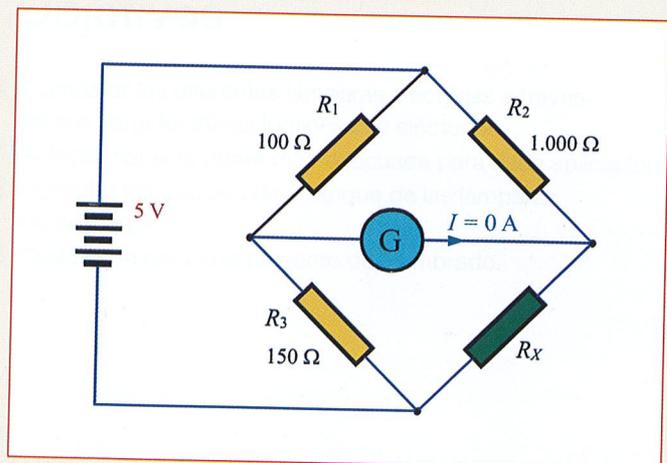


Figura 16.61.

- ¿Cuál será el valor de R_x ?
- Si las resistencias del puente disipan 250 mW como máximo, ¿se sobrepasará la máxima potencia disipable?

16. MEDIDAS ELÉCTRICAS

- 16.3. Calcula el error relativo porcentual producido en la medida de corriente de R_3 al insertar un amperímetro cuya resistencia interna es de 100Ω (Figura 16.62).

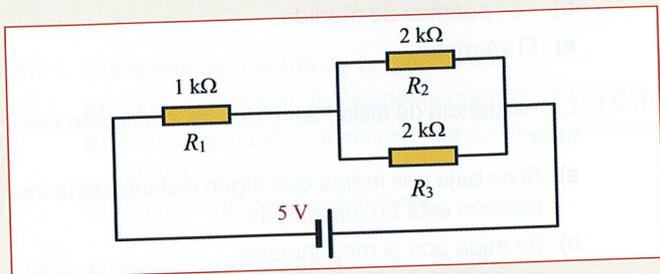


Figura 16.62.

- 16.4. Desde una red trifásica de 380 V de tensión de línea se alimenta una carga trifásica que absorbe una potencia activa de 15 kW y una potencia reactiva de 6 kVAR. Determina:

- Indica con un esquema cómo se puede hacer la medida de estas potencias con el método de los dos vatímetros y la lectura que se obtendría en cada uno de ellos.
- La intensidad de línea absorbida de la red.
- El módulo de la impedancia por fase de la carga, en el supuesto de que esté conectada en estrella.

Actividades de ampliación

- 16.1. Con el fin de conseguir una mayor profundización en la materia, se han incluido los enunciados de una serie de «**actividades de evaluación propuestas de ampliación (16)**» para esta unidad que podrás encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto. Selecciona alguna de estas actividades y encuentra su solución.



- 16.2. Busca en internet varios fabricantes de aparatos de medida y recaba información sobre los productos que comercializan. Descárgate catálogos comerciales y analiza las características técnicas de los mismos.