



**Medidas eléctricas
en las instalaciones
de baja tensión**



Introducción

El buen funcionamiento de un organismo, una máquina, etc., depende en gran medida del funcionamiento combinado de los distintos elementos que lo constituyen; si uno de éstos no realiza correctamente su función, desencadena el mal funcionamiento de todo el sistema. En principio, las anomalías se intuyen, pero para poder demostrarlas es necesaria la comprobación de algunas magnitudes características para compararlas con las que se dan en el sistema cuando el funcionamiento es el adecuado.

En las instalaciones eléctricas, también es necesario evaluar o medir algunos parámetros o magnitudes del circuito eléctrico, en especial las estudiadas en la Unidad 3, como son la intensidad de corriente, la tensión eléctrica, la resistencia eléctrica, la potencia eléctrica o la energía eléctrica. Estas magnitudes nos van a indicar el buen funcionamiento de la instalación o posibles problemas.

En lo que se refiere a la seguridad de los elementos que constituyen la instalación y de las personas que la utilizan, han de conocerse otros parámetros importantes, como pueden ser: la resistencia de tierra, la resistencia de aislamiento, la sensibilidad de los aparatos de protección, los tiempos de disparo, etcétera.

En esta Unidad, vamos a hacer un recorrido por la realización de las distintas medidas, así como por los aspectos más importantes a tener en cuenta para su valoración. Se hará de una forma exclusivamente práctica, obviando los aspectos correspondientes a la constitución interna de los aparatos de medida, ya que éstos se estudiarán en el módulo de Electrotecnia. El estudio y realización de las medidas de otros parámetros importantes para la instalación se abordará en la Unidad correspondiente, ya que se necesitan otros conocimientos previos para su correcta comprensión.

5.1 Concepto de medida

Medir es comparar una medida determinada con otra que tomamos como unidad.

De acuerdo con la anterior definición, es necesario que las unidades de referencia sean aceptadas de forma general por la comunidad científica internacional. A principios del

Magnitud	Símbolo	Unidad S. Giorgi		Aparato para su medición
		Denominación	Símbolo	
Cantidad de electricidad	Q	Culombio	C	Galvanómetro
Corriente	I	Amperio	A	Amperímetro
Resistencia	R	Ohmio	Ω	Óhmetro, puentes
Tensión	U	Voltio	V	Voltímetro
Potencia	P	Vatio	W	Vatímetro
Energía	E	Julio	J	Contador de energía
Capacidad	C	Faradio	F	Capacímetro
Frecuencia	f	Hertzio	Hz	Frecuencímetro
Factor de potencia	$\cos \varphi$	-----	$\cos \varphi$	Fasímetro

Tabla 5.1. Magnitudes eléctricas del Sistema Internacional.

siglo XX se fueron unificando estos patrones de medidas por la Comisión Internacional de Pesas y Medidas, que estructuraron el Sistema Internacional de Medidas, más conocido como Sistema GIORGI.

En la Tabla 5.1, se recogen las magnitudes más importantes que podemos encontrar en un circuito eléctrico.

En el campo de las medidas eléctricas hay que distinguir dos tipos de medidas: medidas de tipo industrial y medidas de laboratorio.

- **Medidas industriales:** son aquellas que se realizan directamente sobre el montaje o instalación eléctrica. Para realizarlas se necesitan aparatos que sean prácticos, con la posibilidad de ser tanto fijos como portátiles.
- **Medidas de laboratorio:** son aquellas que se realizan en condiciones idóneas y distintas de las ambientales. Se utilizan para verificar el funcionamiento de los aparatos de medida o para el diseño de aparatos y circuitos; estos aparatos suelen tener una mayor precisión que los utilizados en la industria, motivo por el cual son más delicados y costosos.

5.2 Cualidades de los aparatos de medida

Podemos decir que un aparato de medida será mejor o peor, atendiendo a las siguientes cualidades:

- a) **Sensibilidad:** se define como el cociente entre la desviación de la aguja indicadora medida en grados y la variación de la magnitud que se está midiendo. Esta cualidad es específica de los aparatos analógicos.
- b) **Precisión:** la precisión de un aparato de medida, está íntimamente relacionada con su calidad. Es más preciso un aparato cuanto más parecido sea el valor indicado a la medida real de dicha magnitud.
- c) **Exactitud:** es un concepto parecido al de precisión, pero no igual. Un aparato es más exacto cuanto más parecidos sean el valor medido y el valor real por extensión, un aparato exacto es, a su vez, preciso, pero un aparato preciso no tiene por qué ser exacto.
- d) **Fidelidad:** cuando al repetir varias veces la misma medida, el aparato da la misma indicación.
- e) **Rapidez:** un aparato es rápido cuando se estabiliza en menos tiempo.

5.3 Errores en la medida

Al realizar medidas, los resultados obtenidos pueden verse afectados. El resultado lleva implícito la posibilidad de errar en la lectura, por ello es necesario conocer con profundidad como se cometen los errores, para poderlos prever y minimizar, de manera que seamos nosotros los que valoremos la veracidad de la medida realizada. Los errores en medidas eléctricas se pueden clasificar en *sistemáticos* y *accidentales*:

- a) **Error sistemático** es el originado por las características del aparato o de la actitud del observador. Entre los más frecuentes se pueden destacar los siguientes:
 - **Metodológicos:** por utilizar un método inadecuado para realizar la medida, como por ejemplo la colocación de los aparatos de medida cuando se utiliza el método indirecto, ya que éstos tienen consumo y pueden falsear el resultado obtenido.
 - **Ambientales:** son el resultado de la influencia de las condiciones físicas del entorno: temperatura, presión, humedad, campos magnéticos, etcétera.

- **Personales:** los que dependen de la pericia o habilidad del operador al realizar la medida; por ejemplo, la colocación de éste en la lectura.
- **Instrumentales:** son los causados por el desgaste de las piezas del aparato, o bien por el desgaste de la pila o batería que alimenta dicho aparato.

- b) **Accidentales:** se producen de una forma aleatoria. No se pueden clasificar dada su gran variedad; aun así, no son de gran importancia en las medidas eléctricas.

Cada vez que realicemos una medida, debemos evitar desconfiar del valor obtenido, pero también razonar si el resultado está en relación con el valor que preveíamos o no se corresponde con éste. En caso de que exista gran diferencia, hemos de pensar que algo raro ocurre y hacer las comprobaciones necesarias.

Entre todos los errores que se pueden cometer al realizar una medida, se encuentran los causados por el operario que la realiza. Se suelen cometer con frecuencia, pero son fáciles de eliminar siendo metódicos. Estos son:

- a) **Errores de cero:** Se dan cuando al iniciar la medida no hemos prestado la suficiente atención a la posición del índice (aguja indicadora). Antes de medir, es conveniente calibrar con el tornillo de ajuste la aguja a cero.
- b) **Error de paralaje:** ocurre cuando el operario no encara de forma perpendicular la escala del aparato. Se corrige haciendo coincidir la aguja con su proyección sobre la escala. Algunos aparatos suelen incorporar un espejo sobre la escala para facilitar esta tarea.

Estos errores no se suelen dar en los aparatos digitales. Por otro lado, es conveniente conocer la calidad y precisión de los aparatos de medida, de ahí que estudiemos los siguientes conceptos:

- a) **Error absoluto:** es la diferencia entre el valor obtenido y el valor real. Como se ha dicho en párrafos anteriores, el valor real es difícil de conocer, por este motivo podemos tomar como valor real el obtenido con un aparato de precisión, o bien, tomar como valor real la media de varias medidas.

$$e_a = \text{Valor leído} - \text{Valor real}$$

Este error nos indica cuánto nos hemos equivocado, pero no nos dice nada sobre la calidad de la medida y del aparato con la que se realiza. Se pueden obtener errores tanto positivos como negativos, en el primer caso se

entiende que el aparato mide por exceso y en el segundo se entiende que lo hace por defecto.

- b) **Error relativo:** es el resultado de multiplicar por 100 el cociente que resulta de dividir el error absoluto por el valor real. El error relativo se expresa en tanto por ciento.

$$e_r = \frac{e_a}{\text{Valor real}} \cdot 100$$

Este error nos da más información sobre la medida, ya que se refiere al error cometido por unidad de medida. Un aparato se puede considerar bueno cuando da un error relativo por debajo del 2%.

Clase de precisión

Cuando tomamos el error absoluto máximo, lo relacionamos con el valor de final de la escala de medida y lo expresamos en tanto por ciento, obtenemos un número que define la clase del aparato; esto es, su grado de precisión.

$$\text{Clase} = \frac{e_a \text{ máximo}}{\text{Valor final escala}} \cdot 100$$

Su clasificación y aplicación es la siguiente:

- **Clase 0,1 y 0,2.** Instrumentos de gran precisión para investigación.
- **Clase 0,5.** Instrumentos de precisión para laboratorio.
- **Clase 1.** Instrumentos de medidas portátiles de cc.
- **Clase 1,5.** Instrumentos de cuadros y portátiles de ca.
- **Clase 2,5 y 5.** Instrumentos de cuadros.

Caso práctico 1

Se realiza la medida de intensidad de corriente de un circuito con un amperímetro a prueba y un amperímetro patrón. Se obtienen las siguientes lecturas:

Amperímetro a prueba: 4,1 A.

Amperímetro patrón: 4 A.

Se pide: calcular los errores absoluto y relativo.

Solución:

$$e_a = \text{Valor leído} - \text{Valor real} = 4,1 - 4 = 0,1$$

$$e_r = \frac{e_a}{\text{Valor real}} \cdot 100 = \frac{0,1}{4} \cdot 100 = 2,5\%$$

Caso práctico 2

Se realiza la medida de tensión de un circuito con un voltímetro a prueba y un voltímetro patrón. Se obtienen las siguientes lecturas:

Voltímetro a prueba: 130 V.

Voltímetro patrón: 135 V.

Se pide: calcular los errores absoluto y relativo.

Solución:

$$e_a = \text{Valor leído} - \text{Valor real} = 130 - 135 = -5$$

$$e_r = \frac{e_a}{\text{Valor real}} \cdot 100 = \frac{-5}{135} \cdot 100 = 3,70\%$$

Caso práctico 3

Se realiza una serie de medidas con un amperímetro a prueba y un amperímetro patrón, obteniéndose las siguientes lecturas:

	1ª	2ª	3ª	4ª
Amperímetro a prueba	1,5	2,5	4	7
Amperímetro patrón	1,6	2	3,8	6,7

Tabla 5.2. Lecturas obtenidas en la medición.

El amperímetro a prueba tiene una escala de medidas que va desde 0 hasta 10 A.

Se pide: calcular la clase (precisión) del amperímetro.

Solución:

$$e_{a1} = \text{Valor leído} - \text{Valor real} = 1,5 - 1,6 = -0,1$$

$$e_{a2} = \text{Valor leído} - \text{Valor real} = 2,5 - 2 = 0,5$$

$$e_{a3} = \text{Valor leído} - \text{Valor real} = 4 - 3,8 = 0,2$$

$$e_{a4} = \text{Valor leído} - \text{Valor real} = 7 - 6,7 = 0,3$$

El error absoluto máximo es 0,5.

$$\text{Clase} = \frac{e_a \text{ máx}}{\text{Valor final escala}} \cdot 100 = \frac{0,5}{10} \cdot 100 = 5$$

Por lo tanto, el aparato es de Clase 5.

5.4 Escalas, campos de medida, campo de lecturas y constante de medida

Vamos a describir una serie de conceptos importantes para la toma de medidas eléctricas.

A. Escalas

Es la zona graduada de la pantalla del aparato de medida. Sobre ésta se desplaza el índice para indicarnos el valor de la medida. Debido a la constitución interna del aparato, obtenemos distintas distribuciones en las divisiones de la escala, tal y como se puede ver en la Figura 5.1. Pueden ser:

- **Uniformes:** todas las divisiones son iguales a lo largo de la escala.
- **Cuadráticas:** las divisiones se ensanchan sobre el final de la escala.
- **Ensanchadas:** las divisiones son distintas al principio y al final de la escala.
- **Logarítmicas:** las divisiones son menores al final de la escala.

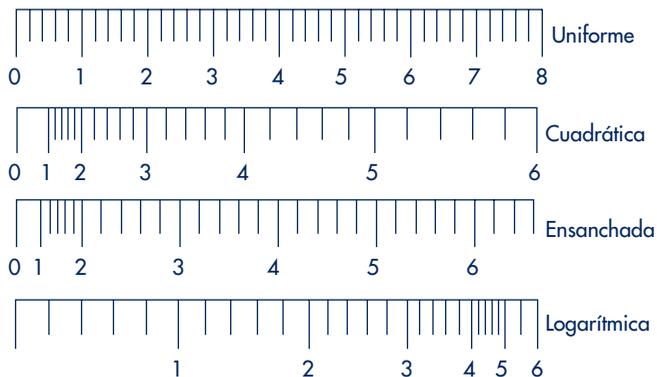


Fig. 5.1. Tipos de escalas.

B. Campo de medida

También llamado «capacidad» o «calibre» del aparato, es la máxima medida que se puede realizar con un determinado aparato. Los aparatos de medida pueden llevar diferentes campos para una misma magnitud, según las condiciones de conexión, tal y como se puede apreciar en la Figura 5.2.

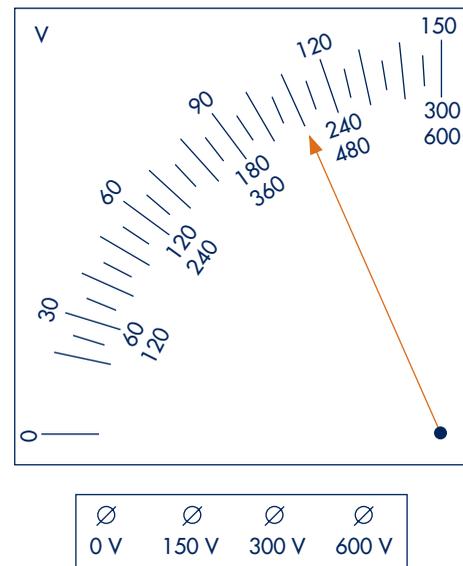


Fig. 5.2. Ejemplo de aparato de medida con diferentes campos de medidas. Voltímetro.

Como se ve en la Figura 5.2, podemos ampliar el campo de medida de tensión cambiando tan sólo las bornas de conexión del aparato, conectándolo entre 0 y 150 V o bien entre 0 y 300 V.

C. Campo de lectura

Como se puede apreciar en la Figura 5.2, existe una zona de la escala en la que no existen divisiones. Esto indica que ese aparato no realiza la medida con precisión en esa zona, con lo que el campo de medidas fiables es el correspondiente a la zona marcada con divisiones. Es el llamado «campo de lectura».

D. Constante de medida

Las escalas no suelen tener una división por cada unidad de la magnitud que se está midiendo; por este motivo, en la mayoría de los casos, cada división representa varias unidades de medida, de manera que para obtener el valor real es necesario multiplicar el número de divisiones por la constante correspondiente. Dicha constante va a depender del tipo de escala, como vemos a continuación:

Escalas uniformemente graduadas: en el amperímetro de la Figura 5.3 tenemos tres constantes de medida, ya que el aparato tiene tres alcances con las mismas divisiones, que se obtienen de la forma siguiente:

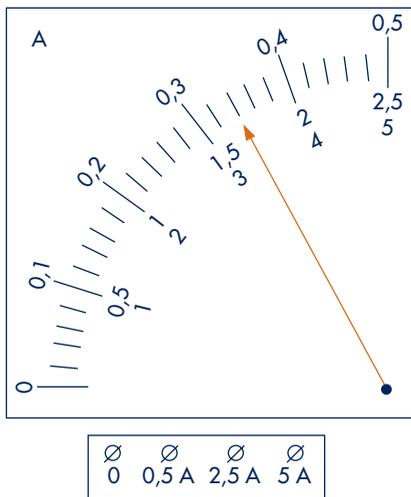


Fig. 5.3. Amperímetro con tres alcances de medidas.

$$K_{I(0,5)} = \frac{V_M}{Nt} = \frac{0,5 \text{ A}}{25 \text{ div}} = 0,02 \text{ A/div}$$

$$K_{I(2,5)} = \frac{V_M}{Nt} = \frac{2,5 \text{ A}}{25 \text{ div}} = 0,1 \text{ A/div}$$

$$K_{I(5)} = \frac{V_M}{Nt} = \frac{5 \text{ A}}{25 \text{ div}} = 0,2 \text{ A/div}$$

Donde:

K_I = Constante de medida

V_M = Valor máximo actual

Nt = Número total de divisiones

Escalas que precisan de acotación: en aquellos aparatos en los que el campo de lectura no se corresponde con el campo de medidas se recurre a precisar el tramo de lectura del mismo. Así, en el caso del voltímetro de la Figura 5.2, hemos de recurrir a acotar el número de divisiones entre un valor máximo y el valor mínimo, y contar el número de divisiones en ese tramo. Para una mejor comprensión, realizamos a continuación un ejemplo con el voltímetro de la Figura 5.2 para la escala de 150 V.

Lo primero sería elegir un tramo de la escala; para este caso elegimos como valor mayor 120 V y como valor menor 90 V. Se aprecia que en ese tramo hay seis divisiones. Aplicando la expresión:

$$K_{I(150)} = \frac{V_M - V_m}{n} = \frac{120 \text{ v} - 90 \text{ v}}{6 \text{ div}} = 5 \text{ V/div}$$

Donde:

K_I = Constante de medida

V_M = Valor máximo elegido

V_m = Valor mínimo elegido

n = Número de divisiones entre ambos

Cuando hablamos de escalas, campos de lecturas o constantes de medidas, hemos de entender que sólo es de aplicación a los aparatos de medida analógicos, ya que los digitales presentan el valor directamente sobre la pantalla o *display*.

5.5 Simbología utilizada en los aparatos de medidas eléctricas

Los aparatos de medida pueden ser analógicos o digitales; los primeros presentan la medida mediante un índice o aguja que se desplaza sobre una escala graduada, y los segundos presentan el valor en una pantalla o *display* mediante números. Para representar esquemáticamente e interpretar las inscripciones de funcionamiento se recurre a la simbología normalizada que se recoge en la Tabla 5.3.

Símbolos utilizados en medidas eléctricas	
Símbolo	Significado
—	Instrumento para corriente continua
~	Instrumento para corriente alterna
≈	Instrumento para corriente continua o alterna
≡	Instrumento de corriente trifásica con un solo circuito medidor
≡	Instrumento de corriente trifásica con dos circuitos medidores

Tabla 5.3. Simbología utilizada en medidas eléctricas. (Continúa).

<i>Símbolos utilizados en medidas eléctricas</i>	
<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
	Instrumento de corriente trifásica con tres circuitos medidores
	Atención: observar instrucciones de empleo
	Ajuste de cero del aparato (cero mecánico)
	Símbolo indicador de blindaje de hierro
	Posición de trabajo vertical
	Posición de trabajo horizontal
	Posición de trabajo inclinada
	Instrumento de cuadro móvil con imán permanente
	Instrumento bimetálico
	Instrumento térmico
	Instrumento medidor de cocientes de bobinas móviles
	Instrumento de inducción
	Instrumento medidor de cocientes de inducción
	Instrumento electromagnético o de hierro móvil

Tabla 5.3. Simbología utilizada en medidas eléctricas. (Continuación).

<i>Símbolos utilizados en medidas eléctricas</i>	
<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
	Instrumento medidor de cocientes de hierro móvil
	Instrumento electrodinámico sin hierro
	Instrumento medidor de cocientes electrodinámico
	Instrumento electrostático
	Instrumento de imán móvil
	Instrumento de cuadro móvil con rectificador
	Instrumento electrodinámico con circuito magnético de hierro
	Instrumento medidor de cocientes electrodinámico con circuito magnético de hierro
	Instrumento de vibración
	Tensión de prueba 500 voltios
	Tensión de prueba 1 000 voltios
	Tensión de prueba 2 000 voltios
	Tensión de prueba 3 000 voltios
	Tensión de prueba 5 000 voltios

Tabla 5.3. Simbología utilizada en medidas eléctricas. (Continuación).

Símbolos utilizados en medidas eléctricas	
Símbolo	Significado
	Amperímetro
	Voltímetro
	Vatímetro
	Varímetro
	Óhmetro
	Medidor de resistencia de aislamientos (Megger)
	Frecuencímetro
	Fasímetro
	Sincronoscopio
	Contador de energía activa
	Contador de energía reactiva

Tabla 5.3. Simbología utilizada en medidas eléctricas. (Continuación).

Categoría de empleo:

Tipo de instrumento	Clase			
De laboratorio	0,1	0,2	0,5	
De servicio	1	1,5	2,5	5

Tabla 5.4. Categoría de empleo de los aparatos de medida.

Interpretación de las indicaciones inscritas en los aparatos de medidas

Los aparatos de medida llevan, en la parte inferior de la escala, unos símbolos que indican las características tanto constructivas como de funcionamiento de dicho aparato. En la Figura 5.4 se han resaltado estas indicaciones de las que se aclaran su significado a continuación.

Las inscripciones superiores de la zona resaltada (**VDE**), corresponden a las normas y certificaciones que cumple dicho aparato.

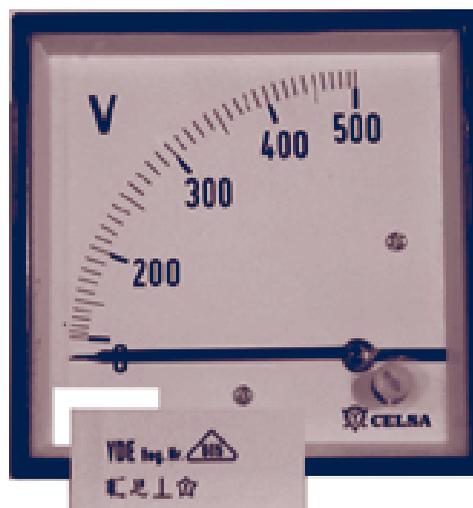


Fig. 5.4. Detalle de las indicaciones inscritas en los aparatos de medidas.

Significado de las inscripciones del aparato de la Figura 5.4:

- Instrumento electromagnético o de hierro móvil
- 1,5 Categoría de empleo (instrumento de cuadro para c. a.)
- Aparato de corriente alterna
- Posición de trabajo vertical
- Tensión de pruebas 3 000 V

5.6 Realización de medidas eléctricas fundamentales

Generalidades: en las instalaciones eléctricas podemos realizar medidas de una forma permanente mediante aparatos de cuadro, (véase la Figura 5.5) o bien, de una forma aleatoria,

mediante aparatos portátiles (véase la figura 5.6). En ambos casos estos aparatos pueden ser analógicos o digitales.



Fig. 5.5. Aparatos de medida para cuadros.



Fig. 5.6. Aparatos de medida portátiles.

A la hora de realizar las medidas, son de aplicación todos los apartados anteriores referidos a la obtención de resultados y corrección de errores.

Para realizar una medida podemos utilizar un aparato específico de la magnitud que pretendemos conocer, como por ejemplo medir la potencia eléctrica utilizando un vatímetro (método directo), o bien medir las magnitudes necesarias para deducir la que pretendemos conocer (método indirecto). Por ejemplo, si queremos obtener la potencia eléctrica, medimos la tensión y la intensidad del circuito para obtener el valor de la potencia mediante la expresión: $P = UI$.

Como precaución inicial antes de realizar cualquier medida, es importante seleccionar el aparato idóneo, tanto en el tipo de corriente (continua o alterna) como en la elección del calibre adecuado, con un alcance suficiente para el valor de la magnitud que pretendemos medir.

En el caso de aparatos de corriente continua, es necesario observar la polaridad de conexión, ya que si se conecta con

la polaridad invertida, el índice va a intentar girar en sentido contrario en los aparatos analógicos y nos va a aparecer un signo (-) delante de la medida en los digitales.

En los cuadros eléctricos, con el fin de ahorrar costes y espacio, se suelen utilizar conmutadores rotativos tanto de tensión como de intensidad, para poder emplear un solo aparato de medida y no varios, lo que permite obtener el valor de las tensiones e intensidades de un sistema trifásico utilizando un solo voltímetro y un amperímetro.

Cuando la tensión o la intensidad son de valor elevado se suelen conectar los aparatos mediante transformadores de medida, que adaptan el valor de la magnitud a medir al campo de medidas del aparato. Éste nos indica el valor real de la medida sobre la escala.

5.7 Medida de tensiones o de la diferencia de potencial

Para medir tensión utilizamos el **voltímetro** (véase la Figura 5.7). Este aparato está formado internamente por una bobina de muchas espiras y muy poca sección, por lo que presenta una gran resistencia interna, necesaria para poder conectarlo en paralelo a los puntos donde se pretende realizar la medida como se ve en la Figura 5.8, medida de tensión en corriente continua, y en la Figura 5.9, medida de tensión en corriente alterna. Cuanto mayor sea la resistencia interna del aparato, menos interferencias provocará en el funcionamiento del circuito correspondiente, ya que el aparato consume cierta intensidad.



Fig. 5.7. Voltímetro de cuadro.

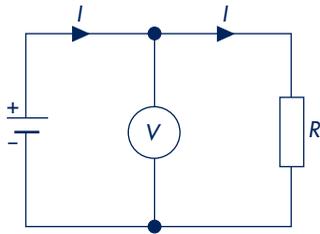


Fig. 5.8. Medida de tensión en corriente continua.

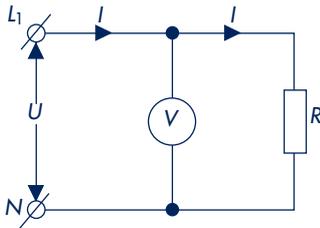


Fig. 5.9. Medida de tensión en corriente alterna.

Cuando queremos realizar la medida de tensiones en un sistema trifásico, sobre todo en cuadros, podemos recurrir a colocar 3 o 6 volímetros con el consiguiente aumento de costes y espacio. Para evitar esto, se recurre a la utilización de conmutadores voltimétricos que permiten realizar la medida entre los tres hilos activos o entre los tres hilos activos y el neutro, utilizando un sólo aparato de medida.

Caso práctico 4

Se pide: realiza el conexionado de volímetros para medir tensiones en un sistema trifásico con neutro.

Solución: dicho conexionado se realizará como se indica en la Figura 5.10.

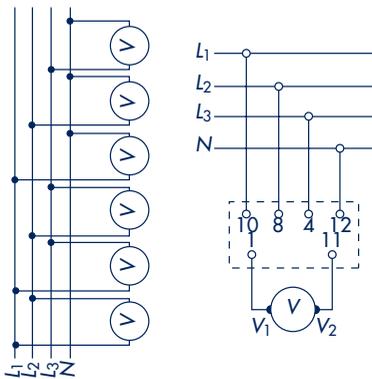


Fig. 5.10. Medida de tensiones en un sistema trifásico.

Caso práctico 4 (continuación)

En la Figura 5.10 podemos ver cómo se conecta un conmutador voltimétrico para utilizar un solo volímetro en un sistema trifásico. En el mercado existen volímetros y amperímetros que incorporan dicho conmutador sobre el mismo aparato, como se ve en la Figura 5.11.



Fig. 5.11. Voltímetro con conmutador incorporado al aparato.

En caso de que la tensión sea elevada, recurrimos a adaptar dicha tensión al campo de medidas del volímetro mediante un transformador de tensión (véase la Figura 5.12). El aparato nos indicará el valor real de la medida, pues su escala está graduada respecto al valor de entrada del transformador, mientras que el valor de salida es el que se aplica al volímetro.

Caso práctico 5

Se pide: realiza el conexionado de volímetro mediante un transformador de tensión.

Solución: dicha medida se realiza para un circuito monofásico de corriente alterna y se atenderá al montaje de la Figura 5.12.

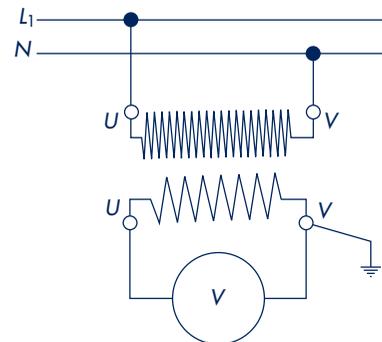


Fig. 5.12. Medida de tensión en corriente alterna mediante un transformador de tensión.

Como ejemplo de lo anteriormente expuesto, podemos considerar una red de 1 000 V de tensión, se utilizará un transformador de relación 10 a 1. Esto quiere decir que por cada 10 V de entrada, el transformador da 1 V de salida, que es la tensión que se aplica al voltímetro; en la escala, el valor que se marca es el correspondiente a la tensión que le llega al voltímetro multiplicado por 10. Dicho al revés, si el voltímetro nos indica 700 V, al aparato le están llegando 70 V.

Este método es solo válido para corriente alterna, ya que en corriente continua habría que recurrir a los convertidores.

5.8 Medida de intensidad de corriente eléctrica

La intensidad de corriente se mide con el amperímetro (véase la Figura 5.13). Básicamente está constituido por una bobina con muy pocas espiras y una gran sección. Se conecta en serie con el receptor al que queremos medir la intensidad que consume como se aprecia en la Figura 5.14, en un circuito de corriente continua, y en la Figura 5.15, en un circuito para corriente alterna.

Para que la conexión de este aparato no modifique las magnitudes en un circuito, se hace necesario que el aparato presente una resistencia interna prácticamente nula, ya que de no ser así, su conexión al circuito provocaría modificaciones del valor de la resistencia total y por ende todas las demás magnitudes derivadas de ésta.



Fig. 5.13. Amperímetro de cuadrado.

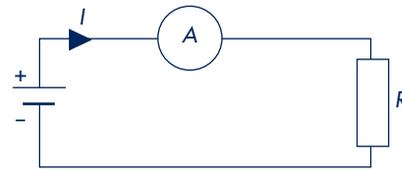


Fig. 5.14. Medida de intensidad en corriente continua.

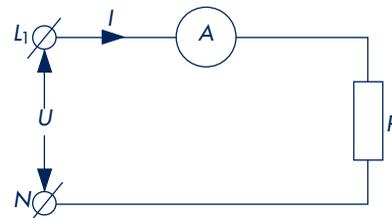


Fig. 5.15. Medida de intensidad en corriente alterna.

En un sistema trifásico, al igual que las tensiones, se pueden utilizar conmutadores para usar solo un amperímetro en vez de varios.

También, como en medida de tensiones, para intensidades elevadas se suelen utilizar transformadores de intensidad que adaptan el valor de ésta al campo de medidas del amperímetro, aunque la indicación sobre la escala se corresponde con el valor real. Tanto el amperímetro como el transformador han de construirse para este fin.

Caso práctico 6

Se pide: realizar el conexionado de amperímetro para tomar la medida de intensidad en un sistema trifásico.

Solución: para realizar dicha medida se puede recurrir a montar tres amperímetros (uno por fase), o bien realizarlo mediante conmutador amperimétrico, como se muestra en la Figura 5.16.

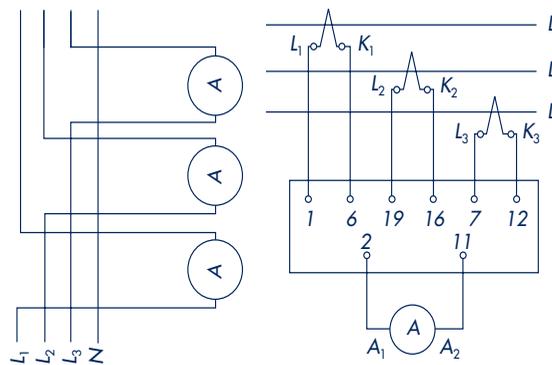


Fig. 5.16. Medida de intensidades en sistemas trifásicos.

Caso práctico 7

Se pide: realizar el conexionado de amperímetro mediante un transformador de intensidad para realizar la medida en un circuito monofásico de corriente alterna.

Solución: su montaje se muestra en la Figura 5.17.

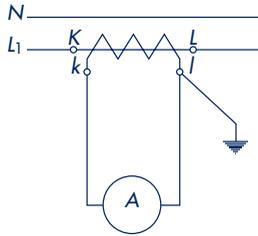


Fig. 5.17. Medida de intensidades en c.a. mediante transformadores de intensidad.

5.9 Medida de resistencia eléctrica

Otra magnitud fundamental de la que nos interesa conocer su valor es la resistencia eléctrica. Dicha magnitud se mide mediante puentes de medida en laboratorios, y mediante el óhmetro en las medidas cotidianas (véase la Figura 5.18).

El óhmetro, básicamente, está constituido por un galvanómetro (aparato medidor con escala graduada en ohmios) y una fuente de alimentación (pila) en serie. La pila es la que permite que circule una pequeña intensidad por el aparato medidor y por el circuito a medir, ya que éste ha de estar desconectado de la red de alimentación. En función de la intensidad que circule, el galvanómetro nos indicará el valor de la resistencia sobre la escala.

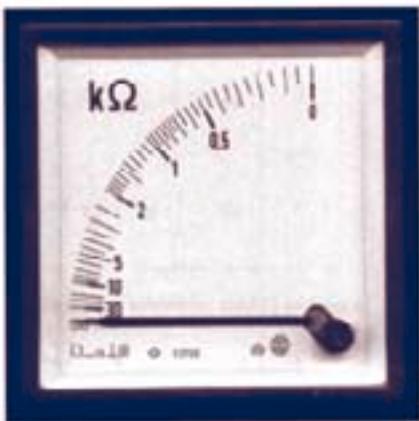


Fig. 5.18. Óhmetro

En los aparatos analógicos, la escala para medir resistencia se gradúa de forma inversa a como se gradúan las demás magnitudes, es decir, el cero se coloca a la derecha de la escala, debido a que cuando la resistencia a medir es nula, el galvanómetro estará recorrido por la máxima intensidad que puede dar la pila, con lo que la desviación del índice (aguja) del aparato será máxima (fondo de escala). Será en ese punto donde habrá que colocar el valor 0Ω de la escala. Al contrario, si la resistencia es de valor prácticamente infinito (circuito abierto), el galvanómetro no estará recorrido por ninguna intensidad, con lo que el índice no sufrirá desviación y permanecerá a la izquierda de la escala. En este punto se colocará el valor ∞ . Esta distribución de la escala se puede apreciar en la Figura 5.18. Los valores intermedios variará en función de que la intensidad que circule por el galvanómetro sea mayor o menor.

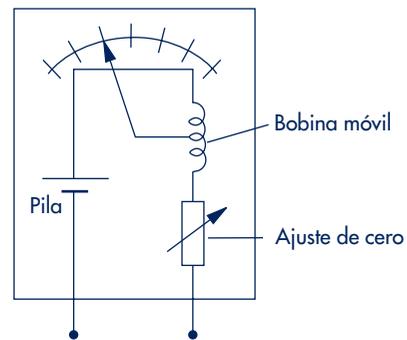


Fig. 5.19. Constitución interna del óhmetro.

En los aparatos analógicos, antes de realizar ninguna medida hay que poner a cero el aparato. Esto es debido a que la pila no suele tener siempre la misma carga y por ello se incorpora al aparato una resistencia variable (potenciómetro) en serie, como se ve en la Figura 5.19, con la pila y el galvanómetro, de manera que al puentear las pinzas del aparato, éste debe indicar el valor cero de la escala; si no es así, manipularemos el potenciómetro hasta llevar el índice al valor cero.

Con este procedimiento se compensa también el valor de la resistencia de los conductores de prueba del aparato, de manera que el valor indicado por el aparato se corresponderá con el valor real de la resistencia a medir. Este proceso no es necesario en los aparatos digitales, ya que éstos hacen la compensación de forma interna.

Para realizar la medida de resistencia, es necesario observar algunas precauciones previamente, como que el circuito a medir esté desconectado de la red. Si es un elemento

que forma parte de un montaje (acoplamiento de receptores, circuito impreso, etc.), hemos de aislarlo del resto antes de realizar la medida, ya que el acoplamiento puede influir para que el valor obtenido no sea el correcto.

Para realizar la medida (véase la Figura 5.20), se colocan las puntas de las pinzas en los extremos de la resistencia a medir, y el valor leído en la escala se toma directamente.

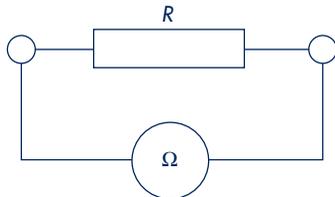


Fig. 5.20. Medida de resistencia con óhmetro.

Como se dijo anteriormente, la forma de realizar las medidas expuestas hasta ahora se corresponde con el método directo, y se aplica el aparato específico directamente. También se puede realizar la medida de la resistencia de la lámpara de la Figura 5.21 mediante el método indirecto. Como se puede ver en el siguiente caso práctico, es necesario medir la tensión, la intensidad y aplicar la Ley de Ohm ($R = V/I$). Cabe resaltar que la conexión del voltímetro se hace por delante del amperímetro para que éste mida sólo la intensidad consumida por la lámpara, sin la influencia de la intensidad consumida por el voltímetro.

Caso práctico 8

Se pide: realizar el esquema de montaje para determinar la resistencia de una lámpara de incandescencia por el método indirecto. Comprueba que dicha resistencia depende de su temperatura.

Solución:

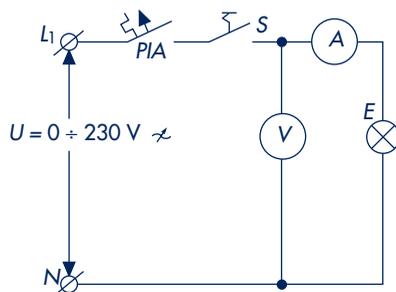


Fig. 5.21. Medida de la resistencia de una lámpara por el método indirecto.

Caso práctico 8 (continuación)

En el montaje de la Figura 5.21, podemos comprobar la influencia de la temperatura en el valor de su resistencia; por este motivo se propone que la tensión aplicada sea variable entre 0 y 230 V. Se puede comprobar que el valor de la resistencia será distinta con los diferentes valores de tensión aplicados al circuito.

Para cada valor de tensión se tomará el valor de intensidad y se aplicará la Ley de Ohm.

5.10 Medidas con polímetros y pinzas amperimétricas

La medición de las magnitudes expuestas hasta ahora; tensión, intensidad y resistencia eléctrica, se puede realizar con el polímetro (multímetro) y con la pinza o tenaza amperimétrica:

Polímetro: como ya se indicó en la Unidad 1, es un aparato de medidas portátil que se considera una herramienta más del profesional de la electricidad (véase la Figura 5.22). Los podemos encontrar tanto analógicos como digitales, y para su utilización es necesario tener presentes algunas consideraciones.



Fig. 5.22. Distintos modelos de polímetros.

Básicamente, podemos decir que es un aparato múltiple que, dependiendo de donde coloquemos las pinzas en el mismo, o en qué posición coloquemos el conmutador (véase la Figura 5.23), se comportará como voltímetro, amperímetro u óhmetro, entre otros.



Fig. 5.23. Detalle de cómo se ha de cambiar la conexión del polímetro para realizar distintas medidas.

En las Figuras de la 5.24 a la 5.28, se ilustra la forma de conexión del polímetro para realizar las medidas de tensión e intensidad, tanto en continua como alterna, así como de resistencia. El aparato utilizado es el de la Figura 5.24, analógico y con conversión de la medida mediante clavijas.

Obsérvese que en las distintas medidas se mantiene una de las pinzas en la toma común, la otra pinza se colocará en la toma correspondiente al campo de medidas necesario, ya que este aparato posee distintos calibres de medida.



Fig. 5.24. Polímetro analógico.

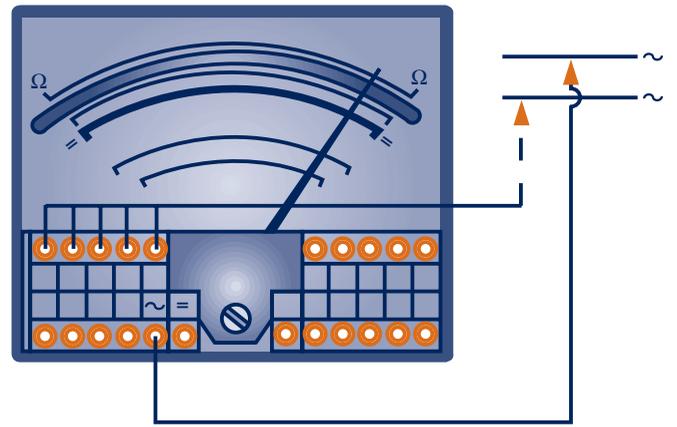


Fig. 5.26. Medida de una tensión en c. a. con polímetro.

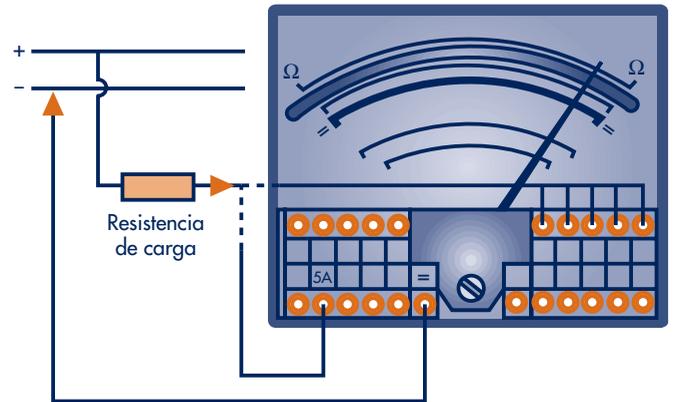


Fig. 5.27. Medida de una intensidad en c. c. con polímetro.

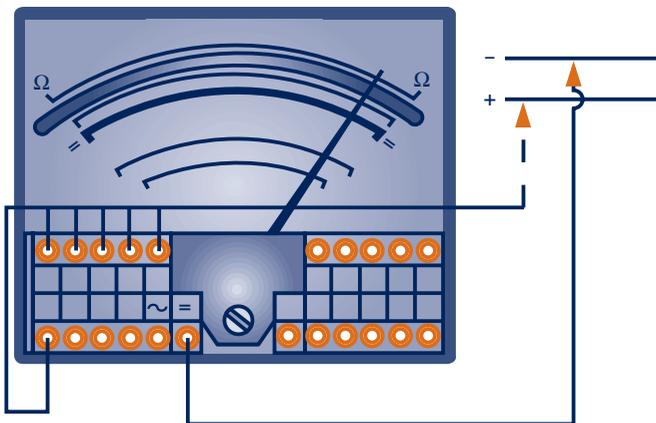


Fig. 5.25. Medida de una tensión en c. c. con polímetro.

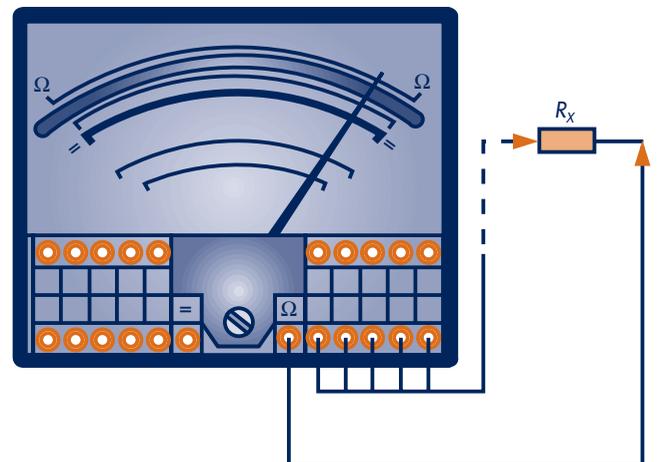


Fig. 5.28. Medida de una resistencia con polímetro.

Pinza o tenaza amperimétrica: al igual que el polímetro, este aparato se fabrica para poder realizar, entre otras, medidas de tensión, intensidad y resistencia, con lo que se convierte también en una herramienta imprescindible para el profesional de la electricidad. Como la mayoría de los aparatos de medida, las podemos encontrar analógicas y digitales.

La diferencia entre este aparato y el polímetro es la facilidad con que se pueden realizar las medidas de intensidades, ya que aprovecha el campo magnético que genera un conductor al ser recorrido por una corriente eléctrica para convertirlo en un valor de intensidad.

Aunque este fenómeno se estudiará en profundidad en la Unidad 6, hemos de hacer una introducción para poder entender el funcionamiento de la pinza.

Todo conductor recorrido por una corriente eléctrica genera a su alrededor un campo magnético circular cuyo centro es el propio conductor. Dicho campo será más intenso (más fuerte) cuanto mayor sea la intensidad que lo recorre. La pinza (véase la Figura 5.29) está formada por una carcasa que agrupa todo el elemento medidor, y adosada a éste se coloca una pinza abatible (de aquí su nombre). Esta pinza está formada por un núcleo magnético en forma de anillo (toro magnético) sobre el que va arrollada una bobina que se conecta al aparato medidor.

Esta bobina genera una fuerza electromotriz cuando se somete a la acción de un campo magnético variable y hace que circule una intensidad por el aparato medidor. Dicha intensidad será mayor cuanto mayor sea la intensidad que queremos medir.



Fig. 5.29. Pinza amperimétrica.

Una corriente alterna genera un campo magnético alterno (variable), mientras que una corriente continua genera un campo magnético constante (fijo), por lo que originariamente la pinza se diseña para medir intensidades en corriente alterna ya que el campo magnético variable se es-

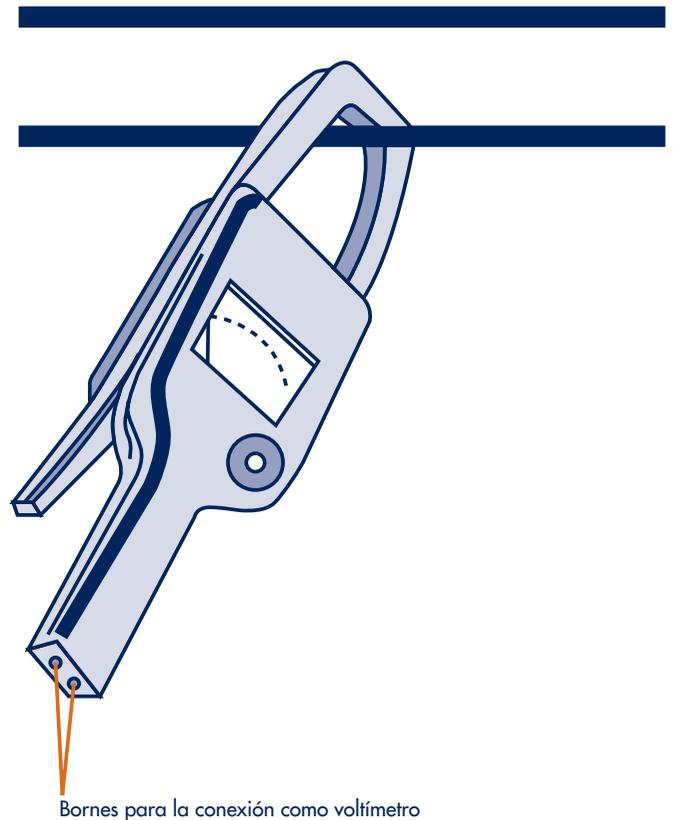


Fig. 5.30. Medida de intensidad mediante pinza amperimétrica.

tablece en el anillo de la pinza cuando introducimos el conductor en el interior de ésta, tal y como se ve en la Figura 5.30. A consecuencia de lo expuesto anteriormente, obtenemos el valor en la pantalla.

Actualmente se comercializan pinzas que son capaces de medir intensidades en corriente continua que basan su funcionamiento en circuitos electrónicos y que requieren unas condiciones especiales a la hora de realizar la medida.

La gran ventaja que tienen las pinzas respecto de los amperímetros es que podemos medir intensidades en cualquier circuito sin tener que tocar sus conexiones, como se ve en la Figura 5.30.

También se pueden utilizar para comprobar si existe desequilibrio en sistemas trifásicos. Para ello, basta con introducir los tres hilos activos dentro de la pinza: si el circuito está equilibrado, la indicación de intensidad debe ser cero; en caso contrario el circuito está desequilibrado.

En el caso de una instalación monofásica, se introducirán los dos hilos que alimentan la instalación en la pinza: si la indicación no es cero, podemos intuir que en algún punto de la instalación hay una fuga a tierra.

5.11 Medida de potencia, factor de potencia y frecuencias

En corriente continua, los receptores se comportan como resistencias óhmicas puras, mientras que en corriente alterna es necesario tener en cuenta otras propiedades además de la resistencia, como son inductancias y capacitancias.

La potencia dada por un receptor en corriente continua se determina fácilmente aplicando la expresión $P = UI$, con lo que se obtiene su valor en vatios.

En los circuitos de corriente alterna, los receptores están formados por resistencias, bobinas y condensadores. Cada tipo de receptor provoca que la resolución de los circuitos se haga de forma vectorial y no aritmética, ya que las bobinas y los condensadores provocan un desfase entre la tensión y la intensidad del circuito. Esto no ocurre en corriente continua.

A. Potencias

En los circuitos de corriente alterna, se nos presentan generalmente tres tipos de potencia, su representación gráfica se muestra en la Figura 5.31. Sus características más relevantes son:

Potencia activa: se representa por P y es aquella que produce un trabajo útil en el circuito. Su unidad es el vatio (W) y se mide con el vatímetro.

Potencia reactiva: se representa por Q y aparece en los circuitos de corriente alterna cuando existen bobinas y condensadores. No realiza trabajo útil, razón por la que interesa reducirla al máximo. Su unidad es el voltio-amperio reactivo (VAR) y se mide con el varímetro.

Potencia aparente: se representa por S y es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. Ésta es la que determina el valor de la intensidad que va a circular por la línea de alimentación del circuito. Su unidad es el voltio-amperio (VA) y se obtiene realizando el producto UI .

Medida de potencias activas: para la realización de medidas de potencia, hay que distinguir si se hace en corriente continua o alterna, ya que en continua se puede decir que toda la potencia es activa, por lo que la mediremos con el vatímetro (véase la Figura 5.32), al igual que la potencia activa en corriente alterna. Básicamente, un vatímetro está formado por dos bobinas, una amperimétrica y otra voltimétrica; con esta última se conecta en serie una resistencia óhmica que se encarga de corregir el desfase de tensión e intensidad en el caso de corriente alterna.

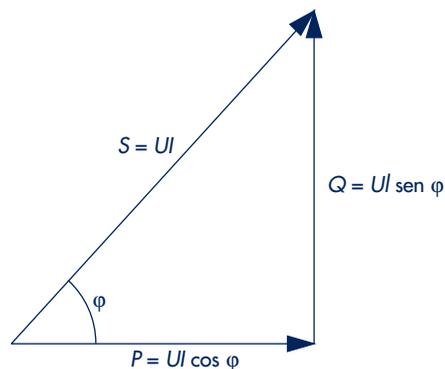


Fig. 5.31. Triángulo de potencias en un circuito de corriente alterna.

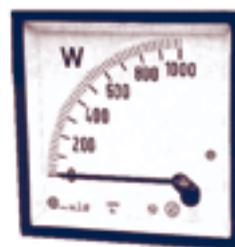


Fig. 5.32. Vatímetro.

La forma de conexión del vatímetro es exactamente igual tanto para corriente continua como para corriente alterna; eso sí, el aparato debe ser para ese tipo de corriente.

Como ejemplo de conexión se muestran las Figuras 5.33, sistema monofásico, y 5.34, sistema trifásico. En uno y otro caso se realiza conexión directa al circuito. Al igual que los amperímetros y voltímetros, estos aparatos se pueden conectar de forma indirecta mediante transformadores de medida.

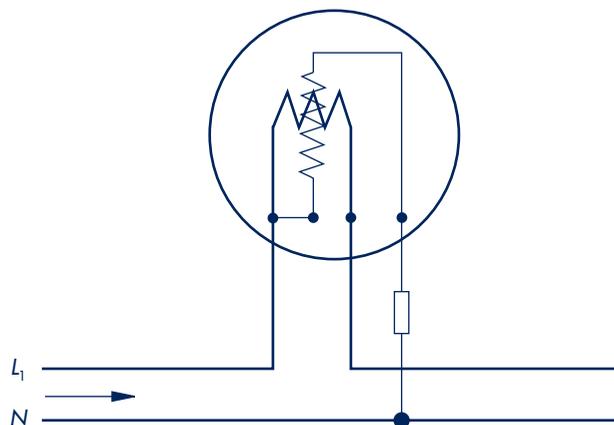


Fig. 5.33. Medida de potencias en sistemas monofásicos.

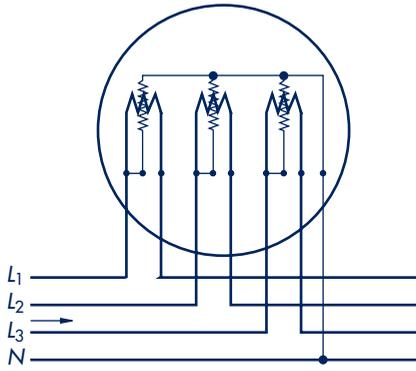


Fig. 5.34. Medida de potencias en sistemas trifásicos.

En circuitos trifásicos, la Figura 5.34 muestra la forma de medir la potencia en un sistema desequilibrado. Aunque en sistemas equilibrados también es válido, se puede utilizar un solo vatímetro conectado obteniendo el valor de la potencia del circuito al multiplicar el valor de éste por tres ($P_t = 3 P_1$).

Caso práctico 9

Se pide: realizar el esquema de conexionado de un vatímetro monofásico para obtener la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado con neutro.

Solución: el esquema de montaje sería el de la Figura 5.35. La potencia total se obtendrá multiplicando por 3 la lectura tomada del vatímetro.

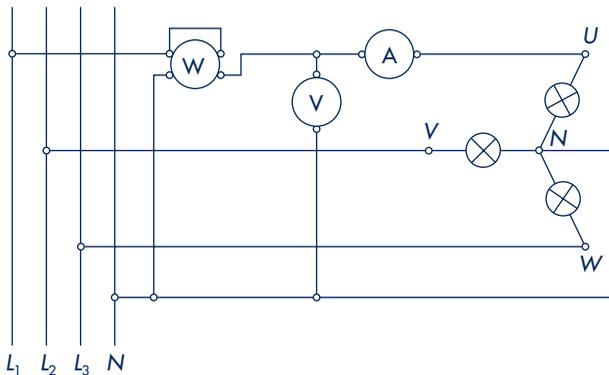


Fig. 5.35. Medida de potencias en sistemas trifásicos equilibrados.

Medida de potencias reactivas: para la medida de potencia reactiva se utiliza el varímetro (véase la Figura 5.36). Básicamente, es similar al vatímetro, pero con la diferencia de que hay que incorporar al aparato un desfase de 90° entre la tensión y la intensidad en la bobina voltimétrica. Para ello se recurre a conectar bobinas y conden-

sadores con la resistencia óhmica del vatímetro, con lo que se obtiene así la medida de la potencia reactiva del circuito. Ni que decir tiene que este aparato es exclusivo para corrientes alternas.

La forma de conexión de este aparato es idéntica a la del vatímetro.



Fig. 5.36. Varímetro.

B. Factor de potencia

Del triángulo de potencias de la Figura 5.31 se deduce que en corriente alterna es conveniente conocer el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad del circuito, ya que la intensidad que recorre el circuito va a depender de éste.

La potencia reactiva, como ya se dijo, no realiza ningún trabajo útil, además de que las compañías suministradoras suelen penalizar el consumo de este tipo de energía. Es por ello que, en muchos casos, es necesario conocer no ya el ángulo, sino el factor de potencia « $\cos \varphi$ » para corregirlo cuando éste sea de un valor bajo, pues provocará un excesivo consumo de energía reactiva.

Este factor de potencia se mide de forma directa con el fasímetro (véase la Figura 5.37).



Fig. 5.37. Fasímetro.

El fasímetro puede ser inductivo o capacitivo, dependiendo del tipo de receptor, según predominen las bobinas o los condensadores.

Al igual que el varímetro, sólo se utiliza en corriente alterna y puede ser tanto monofásico como trifásico. Como ejemplo de conexión, se muestra la Figura 5.38, conexión de un fasímetro monofásico.

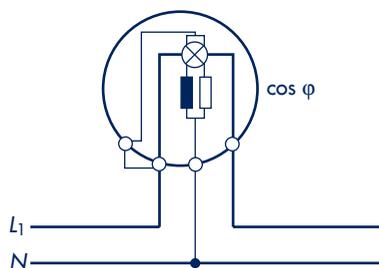


Fig. 5.38. Conexión de un fasímetro monofásico.

Hasta ahora hemos tratado la medida de potencias y factor de potencia de una forma directa, utilizando aparatos que nos dan la medida sobre su escala. Estos aparatos pueden ser monofásicos o trifásicos, tanto analógicos como digitales. Para que la medida no sea errónea es conveniente prestar atención a las bornas de entrada del aparato, tanto en las bobinas de intensidad como en las de tensión, que vienen indicadas con un asterisco (*).

Otra forma de obtener algunas medidas, como ya se ha expuesto anteriormente, es utilizar una forma indirecta. Podemos obtener la potencia reactiva midiendo la potencia activa, la tensión y la intensidad. El vatímetro nos dará la potencia activa P ; la potencia aparente S la obtendremos del producto UI , y para obtener el valor de la potencia reactiva aplicaremos la expresión siguiente:

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

En el circuito de la Figura 5.39, también podemos determinar el factor de potencia mediante el método indirecto. Para ello tomamos la lectura del vatímetro que se corresponde con el valor de la potencia activa P ; la potencia aparente S la obtenemos del producto UI . Aplicando la expresión que relaciona la potencia activa con la potencia aparente y despejando el factor de potencia, obtendremos:

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

Caso práctico 10

Se pide: realizar el conexionado de vatímetro, voltímetro y amperímetro en un circuito monofásico de corriente alterna para determinar las potencias activa, reactiva y aparente, así como el factor de potencia.

Solución:

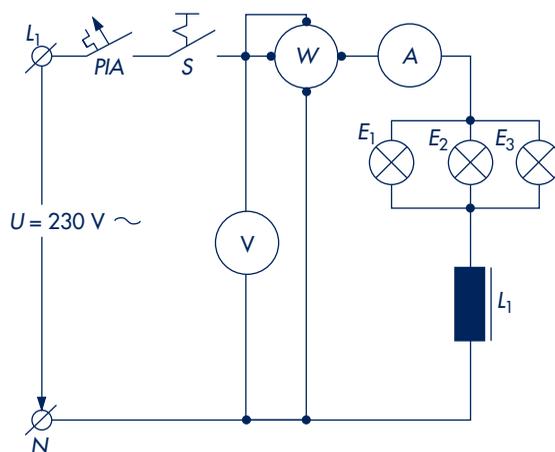


Fig. 5.39. Medida de la potencia reactiva y factor de potencia. Método indirecto.

C. Frecuencia

Frecuencia de una corriente alterna es el número de veces que se repite el ciclo en un segundo. Su unidad es el hertzio (Hz) o también ciclos por segundo. La corriente alterna tiene una forma sinusoidal por lo que se repite periódicamente.

En la generación de corriente alterna, en distintos países la frecuencia se fija en 50 Hz aunque en Estados Unidos se adoptan 60 Hz. Para poder acoplar generadores o líneas de alimentación, es necesario que las frecuencias sean coincidentes, por lo que necesitamos medirla antes de realizar los acoplamientos.

La medida de frecuencia se realiza mediante el frecuencímetro (véase la Figura 5.40). Los frecuencímetros analógicos pueden ser de aguja o de láminas vibrantes. Dicho aparato se conecta al circuito de la misma forma que el voltímetro; el valor de la frecuencia se obtiene directamente de la escala.

La frecuencia es, al igual que el factor de potencia, es una magnitud exclusiva de la corriente alterna.

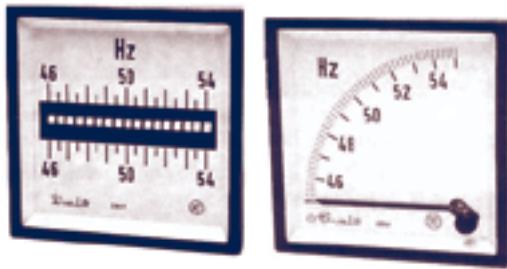


Fig. 5.40. Frecuencímetros analógicos.

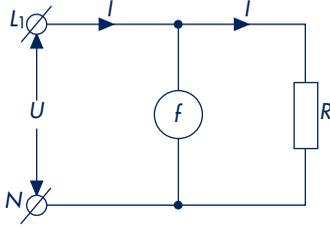


Fig. 5.41. Medida de frecuencias.

5.12 Medida de energía eléctrica

En toda instalación eléctrica existe un consumo de energía; esto se traduce en costes, por lo que resulta necesario conocerlo y evaluarlo. Son las empresas suministradoras de energía las más interesadas en estas medidas, aunque en algunos casos es conveniente saber el consumo de alguna parte de la instalación de manera aislada.

La energía eléctrica es, por definición, la potencia utilizada multiplicada por el tiempo de utilización. Si esta potencia fuese constante, podríamos obtener la energía midiendo la potencia con un vatímetro y multiplicándola por el tiempo. En realidad, la potencia de utilización no suele ser constante, por ello habrá que recurrir a algún aparato de medida para obtener la energía. Dicho aparato es el contador de energía.

El contador de energía (véase la Figura 5.42) es un aparato que hace la integración de potencia y tiempo. Pueden ser analógicos o digitales, aunque éstos últimos se están imponiendo debido a su fiabilidad, sus prestaciones y su reducido tamaño.

En lo que se refiere a su conexión, es válido todo lo expuesto anteriormente para medidas de potencia, en cuanto a activa, reactiva y sus conexiones. Como ejemplo de conexión de estos aparatos, tenemos los representados en las Figuras 5.43 y 5.44, conexión de contador monofásico, y en las Figuras 5.45 y 5.46, conexión de contadores trifásicos.



Fig. 5.42. Contadores de energía eléctrica.

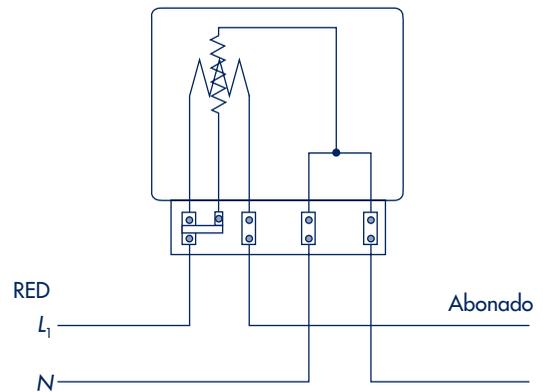


Fig. 5.43. Conexión directa de contador monofásico.

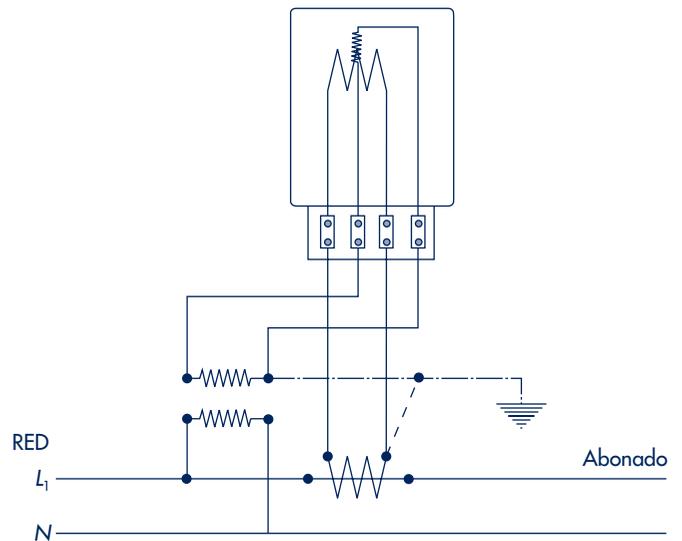


Fig. 5.44. Conexión de contador monofásico mediante transformadores de intensidad y de tensión.

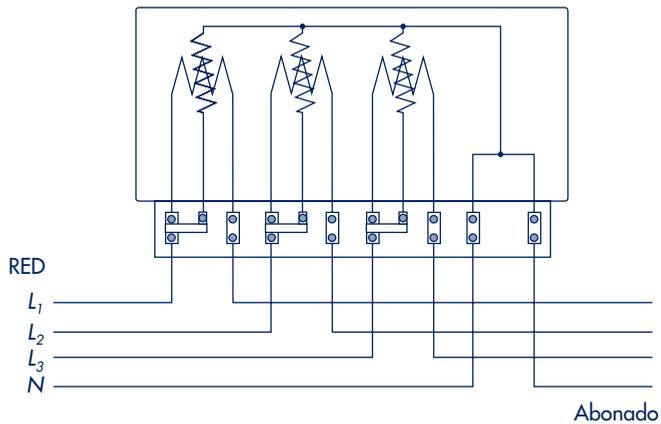


Fig. 5.45. Conexión directa de contador trifásico.

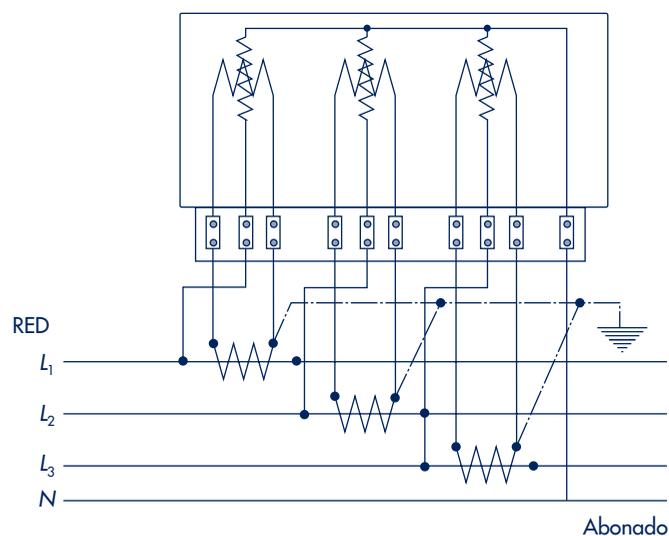


Fig. 5.46. Conexión de contador trifásico mediante transformadores de intensidad.

5.13 Medida de resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica

Como sabemos, no existen aislantes perfectos. Al someterlos a una diferencia de potencial pueden aparecer corrientes de fuga, ya sea por insuficiencia o deterioro de éstos. Para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones, es necesaria la comprobación de sus aislamientos.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RBT) en su instrucción ITC-BT-19, Apartado 2.9, regula los mínimos de resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica que han de presentar dichos aislamientos.

A. Medida de resistencias de aislamiento

Resistencia de aislamiento: es la resistencia eléctrica medida en ohmios que presentan dos partes activas de una instalación separadas por un aislante. Como esta resistencia suele ser de un valor elevado, se utiliza como unidad un múltiplo: el megaohmio ($10^6 \Omega$). Su medida se realiza con el medidor de resistencia de aislamientos o *megger* (véase la Figura 5.47). Básicamente, es un aparato que aplica entre los extremos de sus pinzas de prueba una tensión conmutable en corriente continua con valores de 250, 500 y 1 000 V. En función de dicha tensión, realiza la medida de resistencia, que se visualiza sobre la escala del aparato. Pueden ser analógicos o digitales. Entre los analógicos podemos encontrarlos de magneto (generador de corriente a manivela), que es el que se encarga de generar la energía necesaria para realizar la medida.



Fig. 5.47. Distintos modelos de megger.

Para realizar la medida, hay que aislar la instalación o parte de la instalación que se pretende comprobar, desconectando los interruptores generales de alimentación. Una vez aislada, se procederá a medir su resistencia de aislamiento con respecto a tierra, así como entre conductores, siguiendo el proceso indicado en el Apartado 2.9 de la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, que se recoge básicamente en el Caso práctico 11, expuesto a continuación.

Caso práctico 11

Se pide:

Realizar el conexionado para obtener la medida de la resistencia de los aislamientos de una instalación.

Solución:

1.º Medida de la resistencia de aislamiento de la instalación respecto a tierra (véase la Figura 5.48):

- Instalación desconectada de la red.
- Todos los receptores conectados.
- Interruptores cerrados.
- Se conecta el positivo del *megger* al conductor de protección (tierra), y el negativo del *megger* al conductor activo de la instalación, y se realiza la medida.

2.º Medida de la resistencia de aislamiento de cada uno de los conductores respecto a tierra (véase la Figura 5.49):

- Instalación desconectada de la red.
- Todos los receptores desconectados.
- Interruptores cerrados.

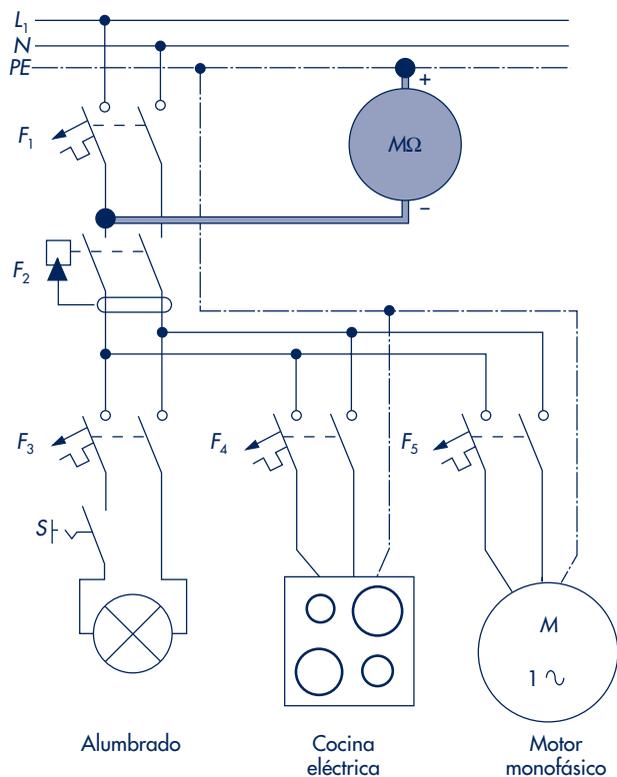


Fig. 5.48. Medida de resistencia de aislamiento entre la instalación y tierra.

- Se conecta el positivo del *megger* al conductor de protección (tierra), y el negativo del *megger* a todos los conductores (activos y neutro) de la instalación unidos entre sí, y se realiza la medida.

3.º Medida de la resistencia de aislamiento entre conductores (véase la Figura 5.50):

- Instalación desconectada de la red.
- Todos los receptores desconectados.
- Interruptores cerrados.

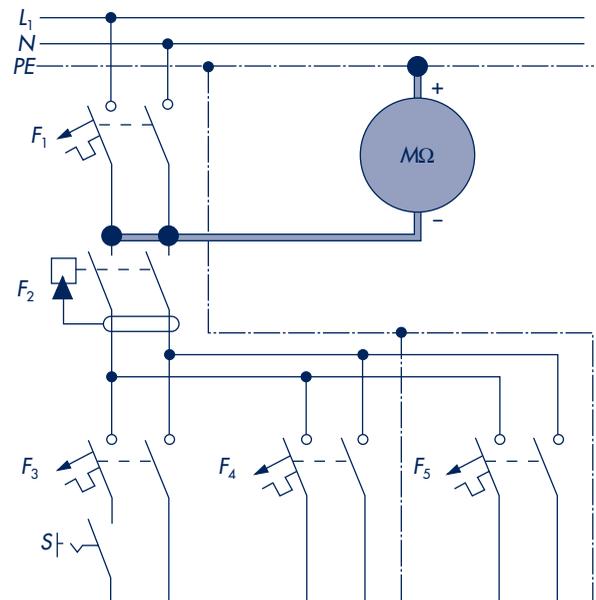


Fig. 5.49. Medida de resistencia de aislamiento entre los conductores de la instalación y tierra.

- Se conecta el positivo del *megger* a un conductor de la instalación, y el negativo del *megger* a otro de los conductores de la instalación. La medida se realizará sucesivamente entre los conductores tomados dos a dos, incluido el neutro.

Realizadas las medidas, la instalación debe presentar unos valores de resistencia de aislamiento mayores o iguales a los recogidos en la Tabla 5.5, correspondientes al Apartado 2.9 de la ITC-BT-19 del RBT.

En caso de que se quiera medir la resistencia de aislamiento de una máquina eléctrica o un receptor cualquiera, la medida la realizaremos como se indica en la Figura 5.51.

Caso práctico 11 (continuación)

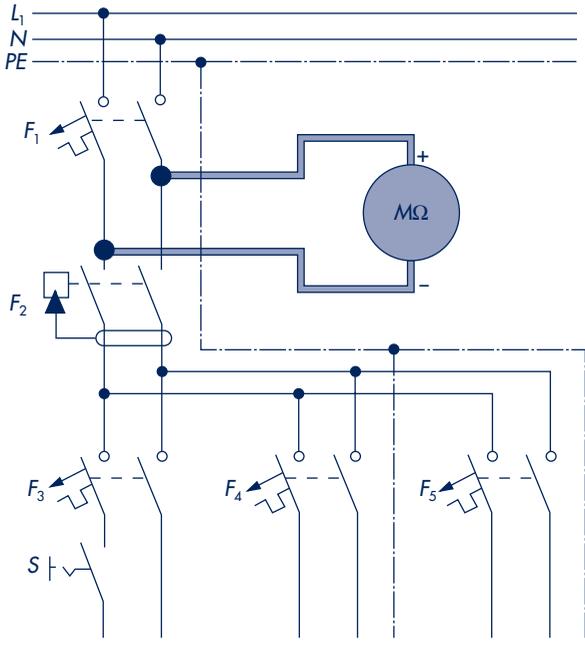


Fig. 5.50. Medida de resistencia de aislamiento entre los conductores de la instalación.

Tensión nominal de la instalación	Tensión de ensayo en corriente continua (V)	Resistencia de aislamiento (MΩ)
Muy baja tensión de seguridad (MBTS) Muy baja tensión de protección (MBTP)	250	≥ 0,25
Inferior o igual a 500 V, excepto caso anterior	500	≥ 0,5
Superior a 500 V	1000	≥ 1,0

Tabla 5.5. Valores mínimos de resistencias de aislamiento en las instalaciones de Baja Tensión.

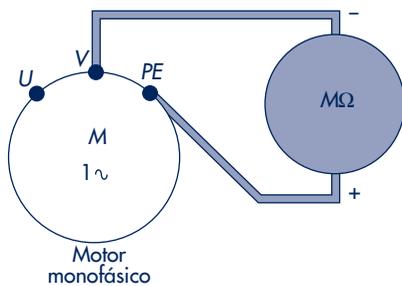


Fig. 5.51. Medida de resistencias de aislamiento en una máquina eléctrica o electrodoméstico.

B. Medida de la rigidez dieléctrica

«Dieléctrico» y «aislamiento» se pueden considerar como sinónimos. Como se ha dicho anteriormente, no existe un aislante perfecto, ya que en determinadas condiciones, aunque sean extremas, todo aislante se vuelve conductor.

Rigidez dieléctrica: es la diferencia de potencial capaz de perforar un aislante.

El Apartado 2.9 de la ITC-BT-19 del RBT determina que los aislamientos de toda instalación han de soportar durante un minuto una prueba de $2U + 1000$ V a frecuencia industrial será U la tensión máxima de servicio de la instalación, y con un mínimo de 1500 V.

Durante los ensayos, los receptores estarán desconectados y los interruptores cerrados. Este ensayo se realizará entre todos los conductores de la instalación incluido el neutro, con relación a tierra y entre conductores.

El ensayo se realiza mediante el medidor de rigidez dieléctrica de sólidos (véase la Figura 5.52). Obsérvese que las pinzas de prueba incorporan medidas de seguridad importantes, ya que aplican altas tensiones. El aparato de la Figura lleva un autotransformador regulable para seleccionar la tensión de prueba, que se visualiza en el voltímetro incorporado al aparato.

Es recomendable no realizar este ensayo más de una o dos veces, ya que los materiales se exponen a condiciones extremas y podrían deteriorarse los aislamientos.

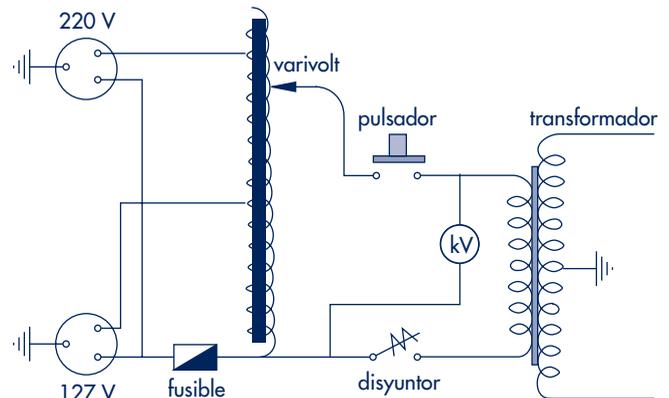


Fig. 5.52. Medidor de rigidez dieléctrica de sólidos.

5.14 Medida de resistencia de tierra

Aunque las tomas de tierra serán estudiadas en la Unidad 7, correspondiente a Instalación Interior, en esta Unidad veremos la forma de realizar su medición.

Se denomina puesta a tierra, toma de tierra o simplemente tierra a un conductor metálico enterrado en el suelo. La puesta a tierra de las instalaciones se hace uniendo las partes metálicas de la instalación mediante un conductor de sección adecuada, sin fusible ni protección alguna, hasta la toma de tierra, lo que permite así el paso de las corrientes de defecto a tierra y asegura el correcto funcionamiento de los aparatos de protección.

De lo dicho anteriormente se desprende que es necesario conseguir una resistencia a tierra de valor mínimo, ya que así estaremos dando mayor facilidad al paso de las corrientes de defecto. Una buena toma de tierra es aquella que posee un valor de resistencia de contacto mínimo entre el electrodo y el terreno.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en su instrucción ITC-BT-18, establece las condiciones que deben reunir las tomas de tierra en las instalaciones eléctricas.

Medidas de resistencias de tierra

Para realizar la medida de resistencias de tierra, se utilizaremos el telurómetro o medidor de resistencia de tierra (véase la Figura 5.53). Este aparato realiza la medida utilizando picas de referencia situadas a unas distancias determinadas de la toma de tierra a medir, y nos da el valor de la resistencia directamente sobre la escala.



Fig. 5.53. Distintos modelos de telurómetros.

Medidores de resistencia de tierra

Como se ha dicho anteriormente, para medir una toma de tierra se han de montar picas de referencia para realizar la medida a través de ellas. Cada fabricante acompaña el aparato de medida de las picas y los cables de conexión, e indica las distancias a las que hay que colocar las picas de referencia. En la Figura 5.54 se ilustra esquemáticamente la conexión y situación de las picas para realizar la medida de resistencia de tierra.

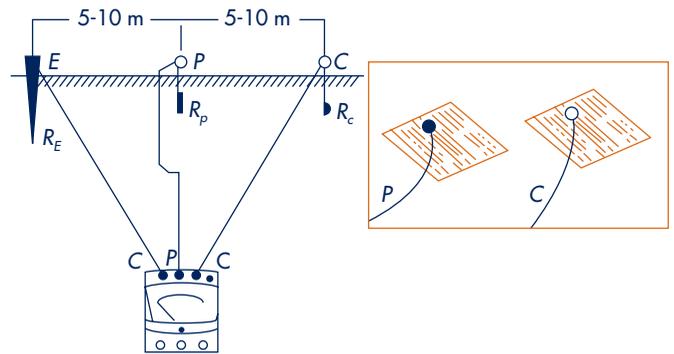


Fig. 5.54. Esquema de conexionado de telurómetro para medir la resistencia a tierra.

5.15 Aparatos de medidas especiales

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en su instrucción técnica ITC-BT-05, regula las condiciones para la verificación e inspección de las instalaciones de baja tensión, y recoge entre otras las verificaciones que han de llevarse a cabo antes de la puesta en servicio de las instalaciones, siguiendo la metodología expuesta en la norma UNE-20.460/6-61.

Para realizar dichas verificaciones se dan, en la instrucción ITC-BT-03 del RBT, los medios técnicos con que han de contar las empresas instaladoras. El Apartado 2 del Apéndice clasifica a las empresas instaladoras en dos tipos: Categoría básica y Categoría especialista.

En las dos se recogen los medios mínimos necesarios, tanto humanos como técnicos, con los que han de contar las dos categorías. En la categoría básica, entre otros, se recogen los aparatos de medidas siguientes:

- Telurómetro
- Medidor de aislamiento

- Multifmetro para las siguientes medidas:
 - Tensión en continua y alterna hasta 500 V
 - Intensidad en continua y alterna hasta 20 A
 - Resistencias
- Medidor de corrientes de fuga
- Detector de tensión
- Analizador registrador de potencia y energía para corriente alterna trifásica
- Equipo verificador de la sensibilidad de disparo de los interruptores diferenciales
- Equipo verificador de continuidad de conductores.
- Medidor de impedancia de bucle
- Luxómetro con rango de medida adecuado para el alumbrado de emergencia

Las empresas fabricantes de aparatos de medidas tienen en el mercado los aparatos específicos exigidos por el RBT.

Como ejemplo, de aquellos de los que no se ha hablado en esta Unidad, se ilustran los de la casa Koban del grupo Temper: equipo verificador de la sensibilidad de disparo de interruptores diferenciales, pinza detectora de fugas, luxómetro (véanse las Figuras 5.55, 5.56 y 5.57).



Fig. 5.55. Comprobador de diferenciales.



Fig. 5.56. Pinza detectora de fugas.



Fig. 5.57. Luxómetro.

Para realizar comprobaciones de diferenciales tanto estándar como selectivos:

- Corrientes de disparo
- Tiempo de disparo
- Tensión de contacto
- Medición de tensión
- Medición de la resistencia de tierra por bucle

Actualmente, los fabricantes de aparatos de medida están integrando la mayoría de las medidas obligatorias del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en un solo aparato, con el fin de hacerlo más manejable y que a la vez sea capaz de almacenar los datos obtenidos de las distintas medidas, así como procesarlas mediante PC. Es el caso del analizador de redes de la casa Koban de la Figura 5.58, del que además se ilustran algunos ejemplos de medida.



Fig. 5.58. Comprobador EUROTEST 61557 de KOBAN.

Este aparato, además de realizar la mayoría de las verificaciones de seguridad obligatorias en las instalaciones eléctricas, permite la intercomunicación con PC para recogida y procesamiento de datos.

Las medidas que se pueden realizar con él son:

- Resistencia de aislamiento
- Continuidad de conductores de protección
- Continuidad
- Resistencia de bucle e impedancia de bucle
- Impedancia de línea
- Posible corriente de cortocircuito
- Tensión / frecuencia
- Resistencia de tierra
- Resistividad del terreno
- Secuencia de fases

- Comprobación de diferenciales
- Intensidades, intensidades de pico y corrientes de fuga
- Medición de potencia y energía en monofásica
- Factor de potencia
- Análisis de armónicos

A continuación se ilustran los esquemas de conexión de dicho aparato para realizar algunas de las medidas que se pueden obtener con él.

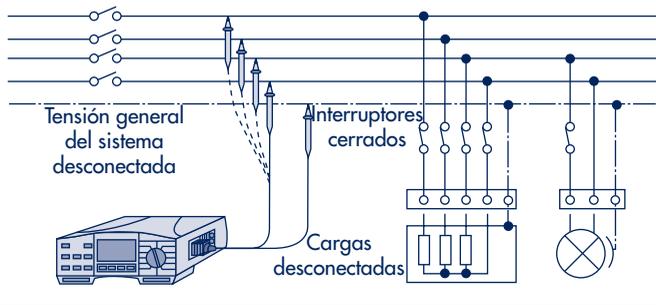


Fig. 5.59. Esquema de conexión para la medida de la resistencia de aislamiento mediante el Eurotest 61557.

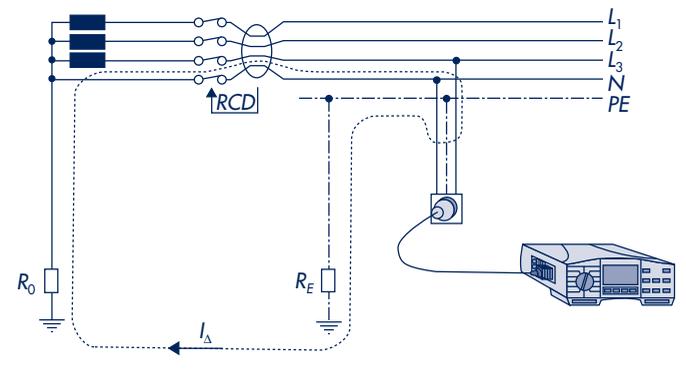


Fig. 5.61. Esquema de conexión para la comprobación de interruptores diferenciales mediante el Eurotest 61557.

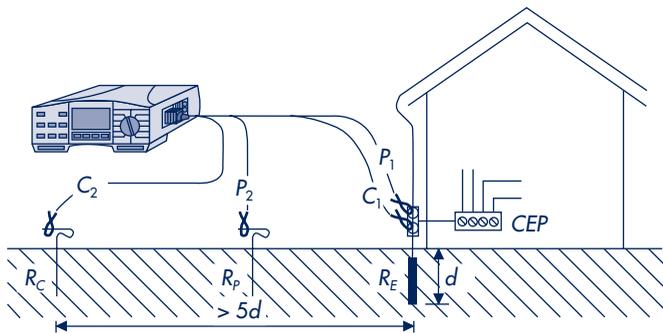


Fig. 5.60. Esquema de conexión para la medida de la resistencia de tierra mediante el Eurotest 61557.

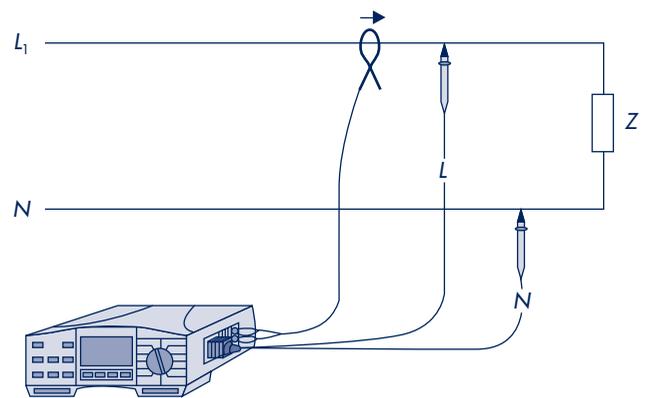


Fig. 5.62. Esquema de conexión para medida de potencia y energía mediante el Eurotest 61557.

Amperímetro. Aparato destinado a medir intensidades. Se conecta en serie con la carga que se pretende medir.

Campo de lectura. Es el correspondiente a la zona graduada de la escala.

Campo de medida. Máxima medida que se puede realizar con un aparato.

Clase de precisión. Al realizar una medida ésta puede tener mayor o menor precisión. Será más preciso aquel que tenga un valor menor en su clase.

$$\text{Clase} = \frac{e_a \text{ Máximo}}{\text{Valor final escala}} \cdot 100$$

Contador de energía eléctrica. Aparato destinado a medir el consumo de energía eléctrica tanto activa como reactiva. Su conexión es similar al vatímetro.

Constante de medida. Valor por el que hay que multiplicar el valor leído para obtener el valor real.

Cualidades de los aparatos de medidas eléctricas. Sensibilidad, precisión, exactitud, fidelidad y rapidez.

Errores. Son las diferencias entre las medidas obtenidas y las medidas reales. Pueden ser sistemáticos o accidentales.

- **Sistemáticos:**
 - Metodológicos: método inadecuado.
 - Ambientales: influencia del entorno en la medida.
 - Personales: falta de habilidad de quien realiza la medida.
 - Instrumentales: los achacables a los aparatos.
- **Accidentales:**
 - Error de cero: aparato mal calibrado.
 - Error de paralaje: mala colocación al medir.

Error absoluto. Pertenece a los instrumentales, lo definimos como la diferencia entre el valor leído y el valor real.

$$e_a = \text{Valor leído} - \text{Valor real}$$

Error relativo. Es el referido al porcentaje de error que se comete en la medida por ese aparato.

$$e_r = \frac{e_a}{\text{Valor real}} \cdot 100$$

Fasímetro. Aparato destinado a medir el factor de potencia del circuito, solo para corriente alterna. Su conexión es similar al vatímetro.

Frecuencímetro. Aparato destinado a medir la frecuencia del circuito, sólo para corriente alterna. Se conecta en paralelo.

Medir. Es comparar una medida dada con otra que tomamos como unidad.

Megger. Aparato destinado a medir la resistencia de los aislamientos de las instalaciones eléctricas.

Método directo de medida. El que se realiza con un aparato específico para la magnitud que se mide.

Método indirecto de medida. El que se realiza con aparatos distintos de la magnitud que se mide, pero que miden otras magnitudes que permiten deducir la magnitud que queremos medir.

Óhmetro. Aparato destinado a medir resistencia eléctrica. Se conecta directamente a la resistencia a medir. Ésta ha de estar desconectada y aislada del circuito del que forma parte.

Pinza amperimétrica. Aparato capaz de medir intensidades sin necesidad de manipular las conexiones del circuito.

Polímetro. Aparato conmutable que puede realizar medidas de distintas magnitudes eléctricas.

Telurómetro. Aparato destinado a medir la resistencia de tierra de las instalaciones eléctricas.

Varímetro. Aparato destinado a medir potencia reactiva sólo en corriente alterna. Se conecta igual que el vatímetro.

Vatímetro. Aparato destinado a medir potencia eléctrica, tanto en continua como alterna (potencia activa en corriente alterna). Está formado por dos bobinas (amperimétrica y voltimétrica) que se conectan en serie y paralelo, respectivamente, al circuito a medir.

Voltímetro. Aparato destinado a medir tensiones o diferencias de potencial. Se conecta en paralelo con el circuito que se pretende medir.

Ejercicios

1. Identifica los aparatos de medidas con los que cuenta el taller.
2. Identifica los símbolos de la Tabla siguiente:

Símbolo	Significado
	
	
	
	
	
	

Tabla 5.6. Significado de los símbolos.

3. Sobre un aparato específico, interpreta las inscripciones del aparato, el campo de lectura y el alcance de medida.
4. Mediante voltímetro, realiza medidas de tensión en las distintas fuentes que tenemos en el taller, en corriente continua y en corriente alterna tales como pilas, fuentes de alimentación portátiles, cuadro de pruebas, etcétera).
5. Mediante amperímetro, realiza medidas de consumo de distintas lámparas del taller, tanto en corriente continua como en corriente alterna (se puede utilizar la lámpara portátil realizada en la Práctica 1.3-g de la Unidad 1).
6. Mediante polímetro y pinza amperimétrica, realiza las medidas de tensión e intensidad anteriores. También realiza medidas de resistencias cerámicas, de resistencias de las lámparas y de continuidad en las instalaciones de prácticas.

7. Utilizando dos voltímetros de clase distinta y tomando el más preciso como patrón y el menos preciso como aparato a evaluar, realiza varias medidas de tensión, anota los valores de ambos y calcula el error absoluto, el error relativo y la clase del aparato a analizar.

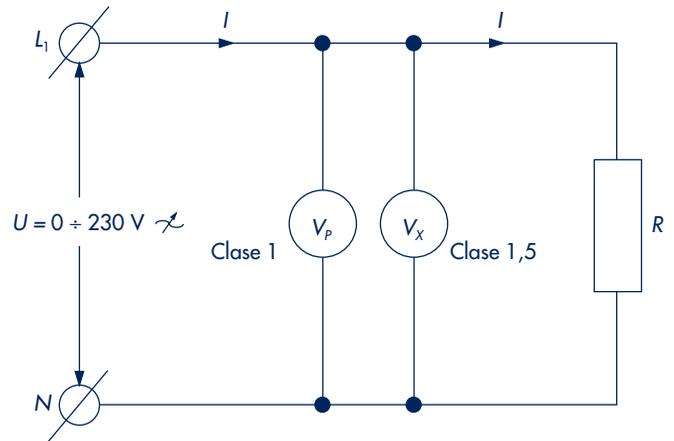


Fig. 5.63. Esquema de conexiones.

Lectura	Voltímetro patrón V_p	Voltímetro analizado V_x
1.º		
2.º		
3.º		
4.º		
5.º		

Tabla 5.7. Tabla para recogida de datos.

8. Realiza la medida de potencia consumida por una lámpara mediante vatímetro.
9. Con el montaje de la Figura 5.39 conectado a una red de corriente alterna, realiza la medida de tensión, intensidad y potencia activa, y deduce los valores de potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia. La reactancia L_1 será una reactancia de las utilizadas en los tubos fluorescentes. El ejercicio se podrá realizar para distintos valores de potencias de las lámparas. Para comprobar los resultados, conecta en la instalación un fasímetro y se mide el factor de potencia.

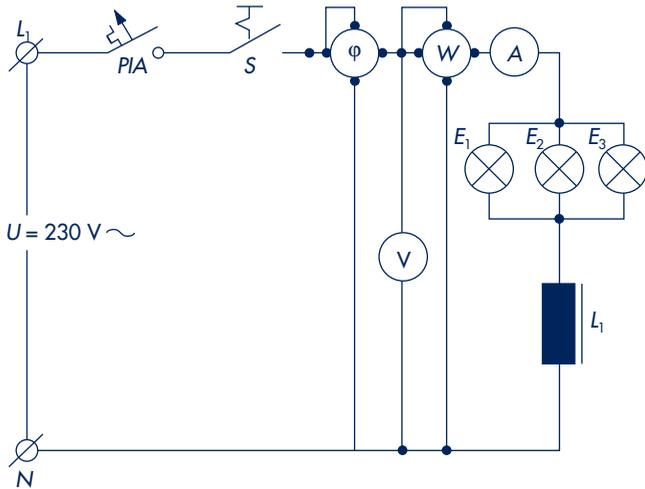


Fig. 5.64. Esquema de conexionado que incluye un fasímetro para medir el factor de potencia.

Prácticas

Para esta Unidad se propone realizar el montaje de la instalación compuesta por la conexión de dos lámparas en serie en paralelo con otra lámpara, y todas accionadas desde un interruptor. También se incluirá en la instalación una toma de corriente bipolar de 16 A, toda la instalación con protección común.

El montaje de la instalación se realizará incluyendo fichas de conexión para poder conectar los aparatos de medida sin necesidad de manipular las conexiones.

Sobre el mismo montaje, se pretende realizar tres prácticas: la primera para medir tensiones, la segunda para medir intensidades y la tercera para medir potencias. En todas se recogerán los resultados de la medida en la Tabla que se acompaña a cada práctica.

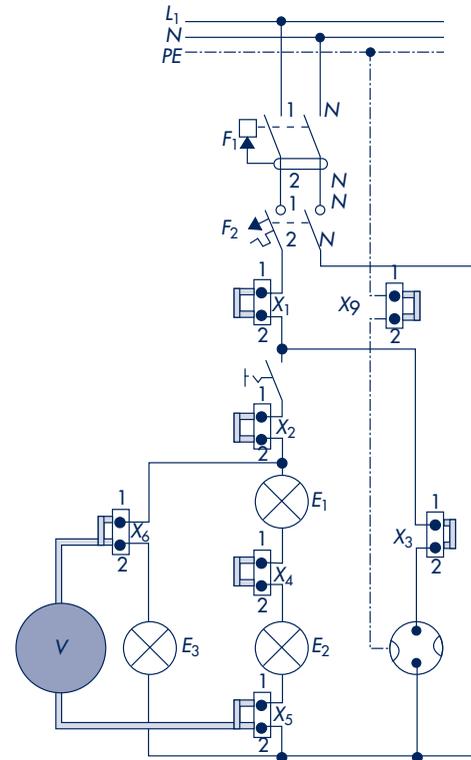
Habrà que colocar los puentes necesarios para que la instalación quede totalmente conectada.

Estas prácticas deben servir de aplicación tanto de la Unidad 3 como de la 5; por ello se propone que se realice el cálculo del circuito que luego se va a medir. Para ello se considerarán los datos siguientes:

- Tensión de conexión de la instalación 230 V.
- Lámpara E_1 ; 130 V, 60 W.
- Lámpara E_2 ; 130 V, 40 W.
- Lámpara E_3 ; 230 V, 60 W.

Práctica 1

Medida de tensiones



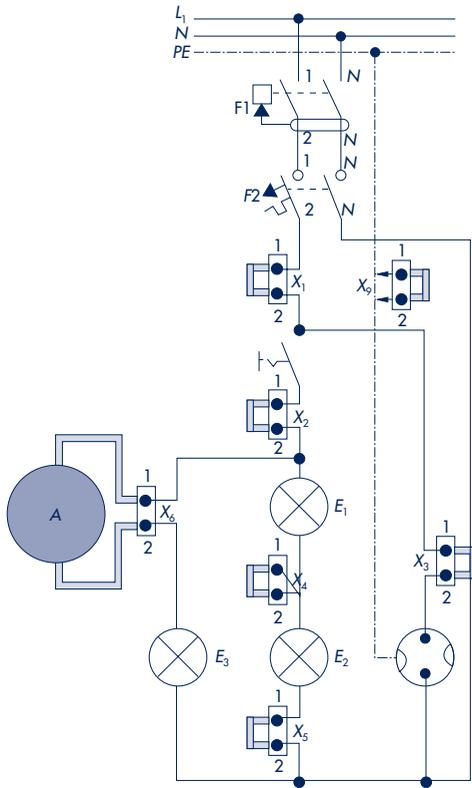
Esquema 5.1. Esquema de montaje para medida de tensiones.

	Tensión calculada	Tensión medida
Red		
Tensión de E_1		
Tensión de E_2		
Tensión de E_3		
Tensión en la toma de corriente		
Tensión entre X_1 y X_5		
Tensión entre X_1 y conductor de protección X_9		
Tensión entre X_5 y conductor de protección X_9		
Tensión entre X_1 y X_2		

Tabla 5.8. Medidas de tensiones.

Práctica 2

Medida de intensidades



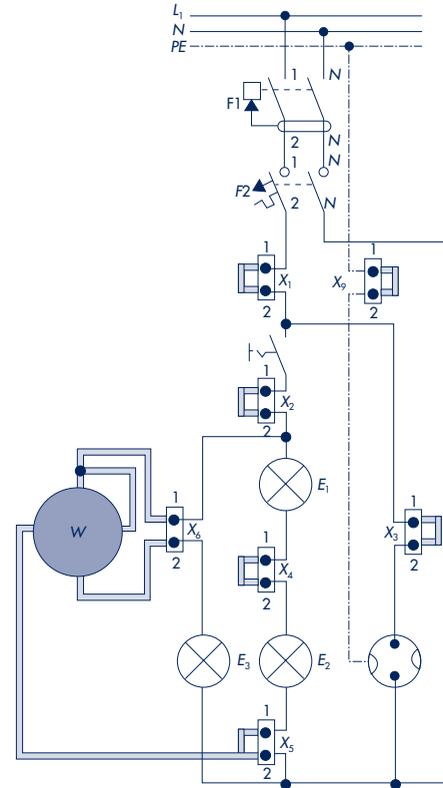
Esquema 5.2. Esquema de montaje para medida de intensidades.

	Intensidad calculada	Intensidad medida
Intensidad total		
Intensidad de E_1		
Intensidad de E_2		
Intensidad de E_3		
Intensidad en $E_1 + E_2$		
Intensidad en la toma de corriente		
Intensidad en el conductor de protección		
Intensidad en X_1		
Intensidad en X_6		

Tabla 5.9. Medidas de intensidades.

Práctica 3

Medida de potencias



Esquema 5.3. Esquema de montaje para medida de potencias.

	Potencia calculada	Potencia medida
Potencia total		
Potencia de E_1		
Potencia de E_2		
Potencia de E_3		
Potencia de $E_1 + E_2$		
Potencia en la toma de corriente		

Tabla 5.10. Medida de potencias.

Mapa conceptual

