



Figura 1.3. Red eléctrica de transporte.

Con la aparición de la corriente alterna y la posibilidad de poder transformarse para modificar su parámetro de tensión o voltaje, se inicia la era del transporte eficiente de corriente alterna en alta tensión.

La idea se basa en el siguiente concepto: si la potencia es el producto de la tensión (V) por la corriente (I):

$$P = U \cdot I$$

A igualdad de potencia se puede aumentar la tensión y disminuir la corriente.

Hay que tener en cuenta (como se estudiará más adelante) que las secciones del cableado dependen de la corriente que circula por él, así a mayor corriente mayor sección se necesita y por tanto mayor coste económico.

La energía eléctrica tiene la dificultad de poder almacenarse de una manera eficiente. Por ello se debe buscar un equilibrio entre los centros de producción y los centros de consumo.

1.2.1. Sistema de transporte y distribución

El sistema eléctrico desde los puntos de producción hasta los puntos de consumo pasa por los siguientes escalones:

- **Producción.** La energía se genera en las centrales eléctricas mediante los alternadores a una tensión entre 3-36 kV.
- **Estación elevadora.** Se encarga de elevar la tensión de producción para optimizar el transporte. Estas tensiones se sitúan entre 66-380 kV.
- **Red de transporte.** Tiene como misión interconectar los centros de producción con los centros de con-

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

sumo. Es una red de tipo malla para favorecer la fiabilidad y optimización del sistema. Los niveles de tensión para España son de 110 - 132 - 220 - 380 kV.

- **Subestaciones de transformación (SET).** Se encargan de reducir la tensión de transporte a tensiones de reparto y se encuentran emplazadas en los grandes centros de consumo.
- **Red de reparto.** Son redes que, partiendo de las subestaciones de transformación reparten la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas son de 25 - 30 - 45 - 66 - 110 - 132 kV.
- **Estación transformadora de distribución (ETD).** Su misión es transformar la tensión desde el nivel de la red de reparto hasta el de la red de distribución en media tensión. Estas estaciones se encuentran normalmente intercaladas en los anillos formados en la red de reparto.
- **Red de distribución en media tensión.** Son redes en forma de malla que cubren la superficie del gran centro de consumo (población, gran industria, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación. Las tensiones empleadas son de 3 - 6 - 10 - 11 - 15 - 20 - 25 - 30 kV.
- **Centros de transformación (CT).** Se encargan de reducir la tensión de la red de distribución de media tensión al nivel de la red de distribución de baja tensión.
- **Red de distribución en baja tensión.** Son redes que, partiendo de los centros de transformación, alimentan directamente los distintos receptores, constituyendo el último escalón en la distribución de la energía eléctrica. Generalmente, el nivel de tensión es de 400 V en corriente trifásica y 230 V en corriente monofásica.

No obstante, hay que tener en cuenta que los consumidores finales son de dos tipos: industrial y doméstico. La red de consumo industrial se sitúa de 132 kV a 12,5 kV y cuentan con centro de transformación para obtener las tensiones más bajas. La red de consumo doméstico se sitúa en 400 V.

Sabías que...

La red de transporte eléctrico en España está compuesta por 42 000 km de líneas de alta tensión y de más de 80 000 kVA de poder de transformación.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

1.3. Circuito eléctrico

Todas las instalaciones eléctricas están formadas por circuitos eléctricos.

Un circuito eléctrico se compone de las siguientes partes:

- El generador de energía eléctrica.
- Los receptores.
- Los elementos de mando.
- Los conductores eléctricos.

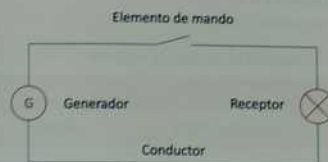


Figura 1.4. Circuito eléctrico.

El **generador** se encarga de proporcionar la energía eléctrica. Los generadores eléctricos más empleados son los alternadores, las dinamos, las baterías y los paneles fotovoltaicos.

Los **receptores** son los elementos encargados de transformar la energía eléctrica en otra forma de energía; por ejemplo, en energía mecánica, el motor; en energía calorífica, la resistencia eléctrica; en energía lumínica, la lámpara, etcétera.

Los **elementos de mando** son los encargados de gobernar a los receptores. Permiten que la energía eléctrica circule a los receptores a voluntad. Son los interruptores, pulsadores y conmutadores.

Los **conductores eléctricos** son los elementos de unión entre el generador, los receptores y los elementos de mando, y por ellos circula la corriente eléctrica.

Todos los metales son conductores de la electricidad, siendo algunos mejores que otros. Los conductores eléctricos más empleados son de cobre y de aluminio.

Sabías que...

La plata es mejor conductor que el cobre, pero su precio impide que el cableado de las instalaciones eléctricas sea de este material.

1.4. Magnitudes eléctricas

Los circuitos eléctricos se definen mediante una serie de magnitudes eléctricas y entre las más importantes están el voltaje, la intensidad y la resistencia.

1.4.1. Voltaje eléctrico

Considerando un material eléctricamente neutro, si un átomo pierde un electrón, entonces adquiere carga positiva, y si gana un electrón adquiere carga negativa. Si se tiene un cuerpo cargado positivamente y otro negativamente, entonces entre ellos existe una diferencia de potencial. Al unirlos con un conductor, se establece un movimiento de electrones con el objeto de llevar ese material a su estado natural, o sea al estado neutro eléctricamente.

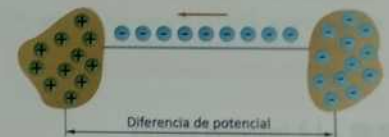


Figura 1.5. Diferencia de potencial.

La **diferencia de potencial** (d. d. p.) recibe también otros nombres tales como: **tensión eléctrica** o **voltaje eléctrico**.

Como se ha visto, para que exista una corriente eléctrica debe existir una diferencia de potencial entre dos puntos del circuito eléctrico. De esta tarea se encarga el generador. Por ejemplo, la batería de la Figura 1.6 genera una diferencia de potencial entre sus bornes de 12 voltios.



Figura 1.6. F.e.m. de 12 V.

La fuerza necesaria para mover los electrones en el generador y así generar la energía eléctrica recibe el nombre de fuerza electromotriz (f. e. m.).

Recuerda:

La fuerza electromotriz (f. e. m.) se aplica al generador, mientras que en el resto del circuito se emplea el voltaje, la tensión o la diferencia de potencial.

El voltaje o la tensión eléctrica se representa por la letra U . Su unidad de medida es el **voltio** que se representa por la letra **V**.

La fuerza electromotriz se representa por la letra E . Su unidad de medida es el **voltio** que se representa por la letra **V**.

Tabla 1.4. Magnitud para voltios

Magnitud	Unidad de medida
U Tensión / voltaje	V Voltio
E Fuerza electromotriz	V Voltio

► Recuerda:

- Tensión, voltaje, diferencia de potencial (U) → voltio (V).
- La fuerza electromotriz (E) → voltio (V).

1.4.2. Intensidad eléctrica

La **intensidad eléctrica** (I) representa la cantidad de electricidad o carga eléctrica (Q) que circula por un circuito en la unidad de tiempo (t).

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde:

- I : Intensidad (A, amperios).
- Q : Carga eléctrica (C, culombios).
- t : Tiempo (s, segundos).

La **intensidad eléctrica** también recibe el nombre de **corriente eléctrica**. Se representa por la letra I . Su unidad de medida es el **amperio** que se representa por la letra **A**.

Tabla 1.5. Magnitud de corriente

Magnitud	Unidad de medida
I Intensidad	A Amperio

Relacionado con la intensidad eléctrica se encuentra la **densidad de corriente eléctrica** que se define como la cantidad de corriente que circula por un conductor por unidad de superficie.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO



Figura 1.7. Densidad de corriente.

$$J = \frac{I}{S}$$

Donde:

- J : Densidad de corriente (A/mm²).
- I : Intensidad (A).
- S : Superficie (mm²).

Tabla 1.6. Magnitud de densidad de corriente

Magnitud	Unidad de medida
J Densidad de corriente	A/mm ²

Actividad resuelta 1.1

Por un conductor de un circuito eléctrico cuya sección es de 4 mm² circulan 10 A. ¿Cuál es su densidad de corriente?

Solución:

$$J = \frac{I}{S} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ A/mm}^2$$

1.4.3. Resistencia eléctrica

La **resistencia eléctrica** es la oposición que ofrece un cuerpo al paso de la corriente eléctrica. Se representa por la letra R . Su unidad de medida es el **ohmio** que se representa por la letra Ω .

Tabla 1.7. Magnitud de resistencia

Magnitud	Unidad de medida
R Resistencia	Ω Ohmio

La resistencia eléctrica de un conductor depende del material, de su sección, de su longitud y de la temperatura a la cual se encuentre. Estos valores se reúnen en una magnitud denominada **resistividad**. Cada material tiene su propia resistividad y cuanto más bajo sea este valor mejor conductor es.

La **resistividad** se representa por la letra ρ . Su unidad de medida es $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 1.8. Magnitud de resistividad

Magnitud	Unidad de medida
ρ Resistencia	$\frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

Los valores de resistividad se expresan para una temperatura dada, normalmente para 20 °C.

Tabla 1.9. Resistividad y coeficiente de temperatura de algunos materiales

Material	Coef. resistividad a 20 °C $\rho_{20^\circ\text{C}} [\Omega \text{ mm}^2/\text{m}]$	Coeficiente temperatura $\alpha [^\circ\text{C}^{-1}]$
Plata	0,0161	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Cobre	0,0172	$3,93 \cdot 10^{-3}$
Oro	0,023	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Aluminio	0,028	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Estaño	0,12	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Hierro	0,13	$5 \cdot 10^{-3}$
Plomo	0,20	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Níquel (Ni-Cr)	1	$0,44 \cdot 10^{-3}$
Carbón	63	$-0,5 \cdot 10^{-3}$

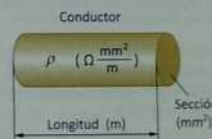


Figura 1.8. Resistividad.

Por tanto, la resistencia de un conductor viene dada por la expresión:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Donde:

- R : Resistencia (Ω , ohmios).
- ρ : Resistividad ($\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$).
- L : Longitud (m, metros).
- S : Sección (mm², milímetros cuadrados).

De esta expresión se observa que:

- A mayor longitud, mayor resistencia obtenida.
- A mayor sección, menor resistencia.

Actividad resuelta 1.2

¿Cuál es la resistencia de un conductor de cobre de 100 m cuya sección es de 2,5 mm² y cuya temperatura ambiente es de 20 °C, y si fueran 200 m?

Solución:

Para 100 m se tiene que:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0,0172 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \frac{100 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,688 \Omega$$

Y para 200 m se tiene que:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0,0172 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \frac{200 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 1,376 \Omega$$

Se observa que al aumentar la longitud aumenta la resistencia.

A la mayoría de los metales, el efecto de la temperatura altera su resistencia, de tal manera que al aumentar la temperatura aumenta la resistencia óhmica.

Para corregir la desviación de la temperatura se emplea el **coeficiente de temperatura** (α).

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Donde:

- R : Resistencia (Ω , ohmios).
- R_0 : Resistencia inicial (Ω , ohmios).
- α : coeficiente de temperatura del material.
- ΔT : Variación de temperatura (°C).

Actividad resuelta 1.3

Si el conductor del ejemplo anterior se calienta hasta situarse a una temperatura de 80 °C, ¿cuál será ahora su resistencia?

Solución:

Se calcula su resistencia a 20 °C, sabiendo que la resistividad del cobre a 20 °C, es de 0,0172 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$:

$$R_0 = \rho \frac{L}{S} = 0,0172 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \frac{100 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,688 \Omega$$

Y se corrige su valor sabiendo que el coeficiente de temperatura (α) para el cobre es de 0,00393.

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T) = 0,688 \, \Omega (1 + 0,00393 (80 \, ^\circ\text{C} - 20 \, ^\circ\text{C})) = 0,85 \, \Omega$$

El inverso de la resistividad es la conductividad, que se puede definir como la facilidad que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \text{Conductividad } \left(\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad \text{Resistividad } \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$$

Actividad resuelta 1.4

A partir de la Tabla 1.9, determina la conductividad del cobre a 20 °C.

Solución:

La resistividad del cobre a 20 °C es de $0,0172 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Como la conductividad es la inversa de la resistividad:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,0172} = 58 \, \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

Según su resistividad o conductividad, los materiales se clasifican en:

- **Conductores.** Son buenos conductores de la corriente eléctrica por su alta conductividad (baja resistividad).
- **Aislantes.** Son malos conductores de la corriente eléctrica por su alta resistividad (baja conductividad).
- **Semiconductores.** Son materiales que se encuentran entre conductores y aislantes. No son tan buenos conductores ni son tan buenos aislantes. Se emplean en electrónica, siendo los más utilizados el silicio, el germanio, así como materiales compuestos (arseniuro de galio y otros).



Figura 1.9. Representación simplificada de un átomo.

Este comportamiento va ligado a la estructura atómica. Los electrones de la última capa soportan fuerzas de

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

ligadura más débiles y por tanto son los más fáciles de desprenderse del átomo. Si un átomo pierde un electrón, este queda cargado positivamente y recibe el nombre de **catión**. También puede darse el caso contrario y que un átomo admita más electrones en su última capa, entonces queda cargado negativamente y recibe el nombre de **anión**. En ambos casos, cuando un átomo no es neutro sino que adquiere carga eléctrica se llama **ion**.

Por tanto, un conductor es un elemento cuya estructura atómica tiene facilidad para desprenderse de algunos de sus electrones. El movimiento ordenado de estos electrones libres es el que dará lugar a la corriente eléctrica.

1.ª orbital	2 electrones
2.ª orbital	8 electrones
3.ª orbital	18 electrones
4.ª orbital	1 electrón
	29 electrones



Figura 1.10. Representación esquemática de un átomo de cobre.

Sin embargo, en un material aislante no hay apenas electrones libres. No obstante, se puede suministrar energía que se aprovechará para que los electrones puedan desprenderse del átomo volviéndose conductores. Esta propiedad recibe el nombre de **rigidez dieléctrica**. Los aislantes empleados en electricidad se realizan con materiales con una elevada rigidez dieléctrica, por ejemplo, los plásticos.

Y los elementos semiconductores como el silicio y el germanio se comportan como aislantes pero apenas se les proporciona energía (por ejemplo, aumentando la temperatura) se vuelven conductores.

1.5. Efecto Joule

El efecto Joule es la transformación de la energía eléctrica en energía calorífica.

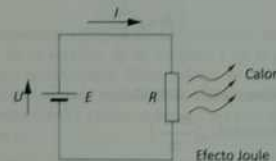


Figura 1.11. Efecto Joule.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

La cantidad de calor generado está relacionada con la energía (E) y viene definida por la expresión:

$$Q = 0,24 \cdot E$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$\text{cal} \quad \text{J}$$

Las conversiones entre unidades son:

$$1 \text{ julio} = 0,24 \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ julios}$$

Como:

$$E = P \cdot t$$

Siendo:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$$

Desarrollando la potencia se llega a la expresión:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

Donde:

Q : Cantidad de calor generado (cal, calorías).

R : Resistencia (Ω , ohmios).

I : Intensidad (A, amperios).

t : Tiempo (s, segundos).

El efecto Joule se aprovecha para la generación de calor de una manera sencilla, por ejemplo en hornos. Como elemento generador de calor se emplean las resistencias eléctricas.

Sin embargo, este efecto puede ser no deseado en ciertas aplicaciones eléctricas, como por ejemplo en el transporte de energía. Un conductor eléctrico, por muy bueno que sea (baja resistividad), siempre tiene una pequeña resistencia óhmica que al circular una corriente eléctrica va a provocar un calentamiento. Este aumento de calor no deseado debe ser disipado ya que de lo contrario los aislantes eléctricos del cableado no lo soportarán pudiendo provocar accidentes.

Actividad resuelta 1.5

¿Cuál es la cantidad de calor generado por una resistencia eléctrica de $80 \, \Omega$ cuando circula una corriente de $2,5 \, \text{A}$ durante 45 minutos?

Solución:

Lo primero es obtener los valores en las unidades de cálculo. De ellas, solo se necesita adaptar el tiempo de minutos a segundos, para ello se multiplica por 60.

$$t = 45 \text{ m} \cdot 60 \text{ s/m} = 2700 \text{ s}$$

Ahora ya se puede aplicar la fórmula:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q = 0,24 \cdot 80 \cdot 2,5^2 \cdot 2700 = 324000 \text{ cal} = 324 \text{ kcal}$$

1.6. Circuito eléctrico en corriente continua

Existen varios tipos de forma de onda de las corrientes eléctricas (continua, cuadrada, senoidal, etc.). Estas formas de ondas representan cómo se realiza el movimiento de los electrones a través de los conductores.

1.6.1. Corriente continua

En este tipo de corriente, el movimiento de los electrones se realiza en un mismo sentido y siempre con el mismo valor, es decir, que sus características se mantienen constantes a lo largo del tiempo.

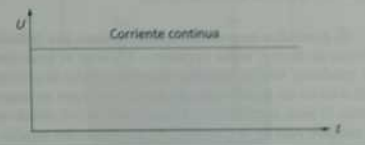


Figura 1.12. Onda de corriente continua.

La corriente continua se expresa de forma abreviada con las letras **cc**, o bien en lengua inglesa por **dc**.

Sus conductores eléctricos se llaman positivo y negativo. Para distinguirlos, están codificados mediante un color, siendo el conductor positivo de color **rojo** y el negativo de color **negro**.

► Recuerda:

El conductor positivo (+) es de color rojo y el conductor negativo (-) es de color negro.

En los albores de la electricidad, el tipo de corriente que se empleaba era la corriente continua. Las ciudades y

viviendas se electrificaban bajo este tipo de corriente, pero debido a una serie de inconvenientes relacionados con su transporte hizo que dejase paso a la corriente alterna, tal y como la conocemos. Hoy en día, la corriente continua se emplea en dispositivos móviles donde el generador eléctrico son las pilas y baterías. Otro campo de aplicación se encuentra en la generación de electricidad mediante módulos fotovoltaicos, donde se genera en corriente continua y, si es necesario, se transforma en corriente alterna.

1.6.2. Circuito eléctrico en corriente continua

El circuito eléctrico más simple en corriente continua es el compuesto por un generador y una resistencia como receptor.

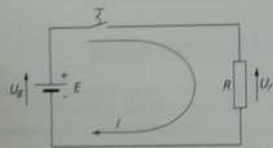


Figura 1.11. Sentido de la corriente eléctrica.

El generador en corriente continua tiene una polaridad (borno positivo y borno negativo). Al cerrar el interruptor, se establece una circulación eléctrica. Como la corriente eléctrica es un movimiento de electrones, estos se mueven desde el polo negativo (-) al polo positivo (+), siendo este el **sentido real** de la corriente. Al comienzo del estudio de la corriente eléctrica, este concepto no se tenía muy claro y se pensaba que la corriente eléctrica se movía del polo positivo al polo negativo, realmente no afecta al resultado final y por ello se sigue empleando. Este sentido se denomina **sentido convencional** de la corriente eléctrica.

1.7. Ley de Ohm

El físico alemán Georg Simon Ohm estudiando las relaciones que se daban entre las magnitudes físicas de la corriente, tensión y resistencia llegó al siguiente postulado que lleva su nombre. Dice así, «en un circuito eléctrico, la corriente eléctrica que circula por él es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica que ofrece».

Esta ley es fundamental en el desarrollo de la electricidad siendo la base física de muchos cálculos.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

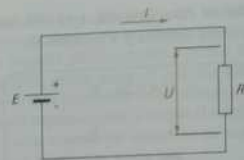


Figura 1.14. Magnitudes de la ley de Ohm.

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

Donde:

I : Corriente (A, amperios).

U : Tensión (V, voltios).

R : Resistencia (Ω , ohmios).

En función de la magnitud en la cual se desee expresar, se obtiene que:

$$U = I \cdot R \quad R = \frac{U}{I}$$

Actividad resuelta 1.6

Calcula la corriente que circula por un circuito eléctrico compuesto por una resistencia de 10Ω , si la tensión es de 230 V.

Solución:

Se aplica la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{10 \Omega} = 23 \text{ A}$$

Actividad resuelta 1.7

Por una resistencia de 16Ω circulan 6,4 A. ¿Cuál es la diferencia de potencial en bornes de la resistencia?

Solución:

Se aplica la ley de Ohm:

$$U = I \cdot R = 6,4 \text{ A} \cdot 16 \Omega = 102,4 \text{ V}$$

Actividad resuelta 1.8

¿Cuál es la resistencia que ofrece un conductor por el cual circula una corriente de 20 A conectado a un voltaje de 24 V?

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Solución:

Se aplica la ley de Ohm:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24 \text{ V}}{20 \text{ A}} = 1,2 \Omega$$

1.8. Pilas y acumuladores

Las pilas y los acumuladores son elementos que convierten la energía que se produce en una reacción química para generar energía eléctrica.

Este sistema de generación produce energía eléctrica de corriente continua que se emplea como alimentación para pequeños aparatos portátiles.

El principal inconveniente se encuentra en que una vez agotado el combustible químico, las pilas quedan inservibles. Este inconveniente queda resuelto en parte con el empleo de acumuladores, donde es posible volver a cargarlas una vez agotadas.

1.8.1. Pilas eléctricas

Una pila está compuesta por dos electrodos de diferentes metales introducidos en un electrolito. Entre cada electrodo y el electrolito aparece una diferencia de potencial que depende del tipo de metal y del tipo de electrolito y su concentración, y que recibe el nombre de **tensión parcial del electrodo**. Si los dos electrodos son del mismo metal, la diferencia de potencial es la misma pero opuesta, y por tanto la tensión en la pila es nula.

Para medir las tensiones de diferentes materiales, se toma como patrón un electrodo de hidrógeno. Las tensiones que se obtienen se denominan **tensiones electroquímicas** (Tabla 1.10).

En la Figura 1.15 se muestra una pila húmeda de tipo Volta. Consta de un recipiente en el cual se coloca un electrodo de zinc y el otro electrodo de cobre. Como electrolito se tiene una disolución de ácido sulfúrico con una concentración 10-20 %.

Al cerrar el circuito, los iones de H^+ se mueven hasta el electrodo de cobre (cátodo o polo positivo) formando alrededor de este unas burbujas de hidrógeno. Estas burbujas son un inconveniente puesto que impiden el contacto eléctrico. Otro inconveniente que presentan es que el electrodo de zinc se sigue disolviendo, aunque el circuito esté abierto. Este efecto se denomina **descarga espontánea**.

Tabla 1.10. Tensiones electroquímicas. Electrodo de H (20 °C)

Material	Tensión	Material	Tensión
Oro	+ 1,5 V	Cobalto	- 0,29 V
Platino	+ 0,86 V	Cadmio	- 0,40 V
Plata	+ 0,80 V	Hierro	- 0,44 V
Mercurio	+ 0,79 V	Cromo	- 0,56 V
Carbono	+ 0,74 V	Zinc	- 0,76 V
Cobre	+ 0,34 V	Manganeso	- 1,10
Bismuto	+ 0,28 V	Aluminio	- 1,67 V
Antimonio	+ 0,14 V	Magnesio	- 2,40 V
Hidrógeno	0	Sodio	- 2,71 V
Plomo	- 0,13 V	Potasio	- 2,92 V
Estaño	- 0,14 V	Litio	- 2,96 V
Níquel	- 0,23 V		

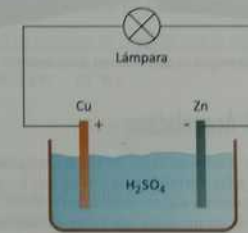


Figura 1.15. Pila húmeda.

Sabías que...

Para evitar la formación de las burbujas en las pilas húmedas se emplean sustancias despolarizantes como la pirolusita (MnO_2).

Una pila se caracteriza por:

- **Fuerza electromotriz** (f. e. m.). Es la tensión que proporciona la pila.
- **Capacidad**. Es la cantidad total de energía eléctrica que proporciona la pila hasta agotarse.
- **Resistencia interna**. Es la resistencia que presenta la pila.

Existen muchos tipos de pilas (Daniel, Volta, Leclanché, etc.), pero las más empleadas actualmente son:

- Pilas de zinc/carbon (Zn/C). Son pilas secas. Tienen un precio bajo. Se emplean en aparatos sencillos.
- Pilas alcalinas (Zn/MnO₂). Tienen mayor duración.
- Pilas de litio. Producen mayor energía, pero a mayor coste económico.



Figura 1.16. Diferentes tipos de pilas. (Cortesía de Duracell.)

1.8.2. Acumuladores

El principio de funcionamiento de los acumuladores es similar al de las pilas. La diferencia está en que los acumuladores son dispositivos eléctricamente reversibles. Una vez descargada, si se proporciona una energía eléctrica, esta la almacena en forma de energía química quedando cargada.

El electrolito puede ser tipo ácido (ácido sulfúrico, H₂SO₄) o alcalino (hidróxido potásico, KOH).

La capacidad de un acumulador se expresa en amperios hora (Ah) e indica la cantidad de electricidad que almacena.

$$Q = I \cdot t$$

Actividad resuelta 1.9

Una batería de acumuladores tiene una capacidad de 120 Ah. ¿Qué corriente proporciona si se descarga en 10 horas?

Solución:

Se aplica la expresión:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{120 \text{ Ah}}{10 \text{ h}} = 12 \text{ A}$$

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

El proceso de carga de un acumulador consiste en conectarlo a una fuente de alimentación de corriente continua una tensión superior y una corriente máxima que suele estar en torno al 10 % de su capacidad. Así, en un acumulador de 100 Ah, la corriente de carga máxima sería de 10 A.

En el proceso de descarga, se debe vigilar que no baje por debajo de la tensión límite de descarga, puesto que comienza un proceso de creación de cristales (sulfatación) que acortan la vida útil, ya que dificultan la reconstitución interna de los electrodos.

Un acumulador no puede cargarse/descargarse indefinidamente, sino que tiene una vida útil que disminuye en función del número de ciclos de carga/descarga, así como de la profundidad de descarga. También, al igual que las pilas tiene una autodescarga que hace que con el tiempo y a circuito abierto vaya perdiendo nivel de carga. De aquí la necesidad de realizar un mantenimiento de carga que compense este nivel perdido. En un acumulador almacenado durante largos períodos de tiempo si no se hace este mantenimiento quedará dañado.

1.8.3. Asociación de generadores

Los generadores pueden asociarse entre sí en conexión serie o paralelo.

Conexión serie

Al asociar varios generadores en serie, se consigue aumentar la tensión del conjunto.

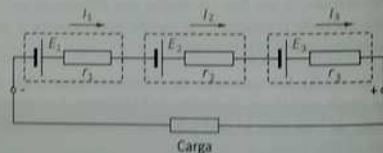


Figura 1.17. Asociación de generadores en serie.

Las características de esta asociación son:

- La fuerza electromotriz del conjunto es la suma de las fuerzas electromotrices de cada generador:

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

- La resistencia interna del conjunto, al estar conectado en serie, es la suma de las resistencias internas de cada generador:

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- La intensidad eléctrica del conjunto es la misma en cada generador:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

Actividad resuelta 1.10

Una batería está compuesta de 8 acumuladores conectados en serie. La f. e. m. de cada uno es de 1,5 V, con una resistencia interna de 0,1 Ω. Si se conecta una carga de 20 Ω, ¿qué tensión hay en bornes de la carga y qué corriente circula? Si ahora se desconecta la carga (circuito en vacío), ¿qué nivel de tensión hay en bornes?

Solución:

Se calculan los datos totales de la batería:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_8 = 8 \cdot 1,5 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_8 = 8 \cdot 0,1 = 0,8 \Omega$$

Con la carga de 20 Ω, la corriente que circula, aplicando la ley de Ohm, es de:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{12}{20 + 0,8} = 0,57 \text{ A}$$

Con una tensión en bornes de la carga de:

$$U = I \cdot R = 0,57 \cdot 20 = 11,53 \text{ V}$$

Si se desconecta la carga, la corriente es nula y la tensión es igual a la f. e. m. de la batería:

$$U = E - r \cdot I = 12 - 0,8 \cdot 0 = 12 \text{ V}$$

Conexión paralelo

Al asociar varios generadores en paralelo, se consigue aumentar la corriente del conjunto manteniendo la tensión.

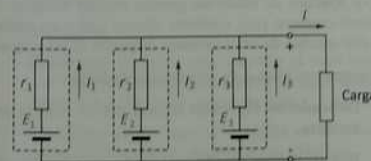


Figura 1.18. Asociación de generadores en paralelo.

Las características de esta asociación son:

- Todos los generadores deben tener la misma f. e. m. y es la que aporta el conjunto:

$$E = E_1 = E_2 = E_3$$

- La resistencia interna de cada generador es la misma:

$$r = r_1 = r_2 = r_3$$

- La intensidad eléctrica del conjunto es la suma de la que proporciona cada generador:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

1.9. Potencia en circuitos de corriente continua

La potencia eléctrica de un circuito se define como el producto de la tensión por la corriente que circula.

1.9.1. Potencia en corriente continua

La unidad de potencia es el **vatio**, que se representa por la letra **W**, aunque para unidades grandes se emplea el kilovatio (kW, 1 kW = 10³ W).

$$P = U \cdot I$$

Donde

P: Potencia (W, vatios).

U: Tensión (V, voltios).

I: Corriente (A, amperios).

Otras formas de expresar la potencia en función de la resistencia son:

$$P = I^2 \cdot R \quad ; \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Actividad resuelta 1.11

Por un receptor circulan 4,5 A, el cual está conectado a una fuente de tensión de 24 V. ¿Cuál es la potencia de este receptor?

Solución:

Se aplica la expresión:

$$P = U \cdot I = 24 \text{ V} \cdot 4,5 \text{ A} = 108 \text{ W}$$

1.9.2. Rendimiento

En un receptor eléctrico durante el proceso de transformación de la energía eléctrica en otra fuente de energía (en un horno, energía calorífica; en un motor, energía mecánica; etc.) siempre se producen una serie de pérdidas.

Si se tienen en cuenta las pérdidas, un sistema absorbe de la red eléctrica una potencia (P_a) que la emplea en realizar un trabajo útil (P_u) y otra parte la destina en una serie de pérdidas (P_p).

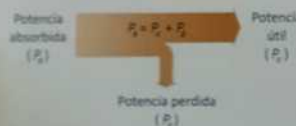


Figura 1.19. Relación de pérdidas en un sistema.

El rendimiento (η) relaciona la potencia que desarrolla (P_u : potencia útil) un sistema respecto a la potencia que absorbe (P_a : potencia absorbida).

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \leq 1$$

El rendimiento de un sistema siempre será menor o igual a 1, siendo lo normal expresarlo en tanto por ciento, para ello a la expresión dada se le multiplica por 100.

Sabías que...

Un sistema es más eficiente cuanto mayor es el rendimiento y por tanto menores son las pérdidas.

Actividad resuelta 1.12

Calcula el rendimiento y las pérdidas de un motor eléctrico que desarrolla una potencia de 1500 W pero absorbe de la red eléctrica 1562 W.

Solución:

Se aplica la expresión del rendimiento:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{1500}{1562} = 0,96 \rightarrow 96\%$$

Las pérdidas serán la diferencia:

$$P_p = P_a - P_u = 1562 - 1500 = 62 \text{ W}$$

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

1.10. Energía eléctrica

La energía eléctrica relaciona la potencia que desarrolla un sistema durante un período de tiempo, según la expresión:

$$E = P \cdot t$$

Donde según el sistema internacional (SI):

E : Energía (W · s, vatio segundo).

P : Potencia (W, vatio).

t : Tiempo (s, segundo).

Cuando esta energía es elevada se emplean el múltiplo de la potencia (kW, kilovatio) y el múltiplo del tiempo (h, hora), obteniéndose la energía en unidades de kW · h (kilovatios hora).

Actividad resuelta 1.13

Calcula la energía de una plancha de 1800 W cuando está funcionando durante 2 horas.

Solución:

Se aplica la expresión:

$$E = P \cdot t = 1800 \cdot 2 = 3600 \text{ W} \cdot \text{h} = 3,6 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

1.11. Aparatos de medición eléctrica

La tarea de realizar mediciones de diferentes magnitudes eléctricas es importante a la hora de verificar el correcto funcionamiento de un circuito eléctrico, así como cuando es necesario solucionar una avería o disfunción.

Los aparatos de medición eléctrica han evolucionado desde los que se basaban en el movimiento de una aguja sobre una escala (modelo analógico) hasta los actuales (modelos digitales), en los que se muestra la magnitud medida de forma numérica sobre una pantalla.

Los aparatos de medición pueden realizar medidas en corriente continua (cc), corriente alterna (ca) o en ambas, para ello muchos de estos aparatos disponen de un selector.

Existen tres formas de presentar la medición:

- **Indicadores.** Presentan la medición de manera instantánea.
- **Registradores.** Realizan la medición a lo largo del tiempo y la proporcionan en algún tipo de soporte, como por ejemplo en papel o soporte informático.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Contadores.** Realizan una medición acumulativa a lo largo de tiempo, por ejemplo el contador de energía eléctrica consumida.

Y según donde se empleen, existen aparatos:

- **Portátiles.** Son instrumentos de campo que se emplean en cualquier lugar. Son los adecuados para tareas de mantenimiento y localización de averías.
- **Fijos.** Son instrumentos que se emplean en cuadros eléctricos.
- **De laboratorio.** A diferencia de los anteriores, estos aparatos de medición son de elevada precisión. Se suelen emplear como dispositivos de calibración.

1.11.1. Medición eléctrica

A la hora de emplear un aparato de medición, se deben tener en cuenta una serie de conceptos, tales como:

- **Alcance.** Al valor entre el mínimo de la escala y el máximo se denomina **alcance de indicación**. Sin embargo, muchos aparatos en las proximidades al mínimo no realizan correctamente las mediciones, en estos casos se tiene el **alcance de medición** que comprende la parte de la escala donde se realiza correctamente la medición.
- **Sensibilidad.** Es la capacidad del aparato de detectar variaciones mínimas en la medida.
- **Fondo de escala.** Muchos aparatos de medidas poseen varias escalas de medición. La medición se realiza ajustando la escala con el valor a medir.
- **Resolución.** Es el valor mínimo que puede detectar el aparato. En los de tipo digital, está relacionado con el número de dígitos que puede presentar.

En una medición intervienen dos medidas:

- **Valor real (V_R).** Es un valor desconocido. Se toma como valor real el valor del instrumento patrón por ser el más fiable.
- **Valor medido (V_M).** Es el valor que se obtiene en la medición.

Y su relación:

- **Fiabilidad.** Indica la relación entre el valor medido y el valor real. Si un valor medido se aleja de la realidad, la fiabilidad del aparato es baja.
- **Precisión.** Indica que, si se repite varias veces la medición, los valores obtenidos son idénticos.

Los aparatos se clasifican en función de su **clase de precisión**. Y así lo indican sus fabricantes. Ese valor re-

fleja el error en porcentaje que cometen. Así un aparato de clase 1 posee un error del $\pm 1\%$.

En toda medida ocurren una serie de errores. Existen dos grupos de errores: los errores sistemáticos y los errores accidentales.

Entre los **errores sistemáticos** se tienen:

- **El error absoluto (E_A).** Es la diferencia entre el valor medido y el valor real.

$$E_A = V_R - V_M$$

- **El error relativo (E_R).** Es el cociente entre el error absoluto y el valor real. Se expresa en porcentaje, por ello se multiplica por 100.

$$E_R = \frac{E_A}{V_R} \cdot 100$$

Los **errores accidentales** son aquellos que ocurren durante la toma de la medida. Los aparatos de medición de tipo digital solucionan gran parte de esto. Entre los errores accidentales se tienen:

- **Error de paralelaje.** Es un error visual que ocurre cuando no se lee la medida de manera perpendicular a la aguja frente a la escala.
- **Error de apreciación.** Es el error cometido cuando la aguja se sitúa entre dos mediciones. Interviene la estimación del quien toma la medida.
- **Error de cero.** Ocurre cuando el aparato, estando en reposo, marca una lectura diferente de cero. Los aparatos analógicos suelen contar con mecanismos de ajuste.

1.11.2. Medición de la tensión eléctrica en corriente continua

La medida de la tensión eléctrica se realiza con un **voltímetro**, el cual se conecta en **paralelo** con el objeto a medir.

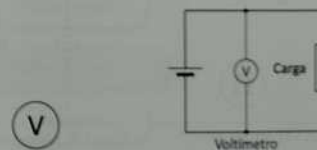


Figura 1.20. Símbolo del voltímetro.

Figura 1.21. Medición con voltímetro.

El voltímetro ha de estar preparado para la medición de la tensión en corriente continua. Si es un aparato capaz de medir tanto en corriente continua como en corriente alterna, se debe seleccionar primero el tipo de corriente. Además, antes de realizar la medición, si el voltímetro posee varias escalas se debe seleccionar la adecuada según la magnitud esperada. En caso de desconocimiento se debe empezar con la escala más alta. Estos aparatos de medida deben tener una alta resistencia con el objeto de no afectar a la medida.

1.11.3. Medición de la corriente eléctrica

La medida de la **intensidad o corriente eléctrica** se realiza con un amperímetro, el cual se conecta en **serie** con el circuito.



Figura 1.22. Símbolo del amperímetro.



Figura 1.23. Medición con amperímetro.

A la hora de realizar una medición de la corriente se debe tener las mismas precauciones que con la tensión, es decir, vigilar el rango máximo de corriente del amperímetro. Estos aparatos de medida deben tener una baja resistencia con el objeto de no afectar a la medida.

1.11.4. Medición de la resistencia eléctrica

La medición de la resistencia eléctrica se realiza con un **ohmetro**. Este aparato se conecta en **paralelo** con la resistencia a medir, pero se realiza sin tensión, es decir que previamente a la medición se debe desconectar la resistencia de la fuente de alimentación. La propia batería del aparato de medida proporciona la energía necesaria para la toma de la medición.



Figura 1.24. Símbolo del ohmetro.



Figura 1.25. Medición con ohmetro.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Existe la función de **continuidad eléctrica** con la cual el aparato nos indica mediante un pitido si existe conexión eléctrica entre dos puntos. Se basa en verificar que la resistencia entre esos dos puntos es prácticamente cero. Esta es una función muy útil en las tareas de verificación de cableado.

1.11.5. Polímetro

El multímetro o polímetro es un aparato de medida con el cual se pueden realizar diferentes tipos de mediciones, al menos: tensión, corriente, resistencia y continuidad eléctrica.

Consta de un selector para elegir el tipo de medida y la naturaleza eléctrica (corriente continua, corriente alterna) y tiene varias escalas de medida.

También consta de varios bornes para las puntas de medida en función de la magnitud a medir. Normalmente, suele tener tres bornes para dos puntas de medida. Uno de ellos actúa como común, otro para las medidas y el tercero se emplea normalmente para la medición de la corriente hasta 10 A.

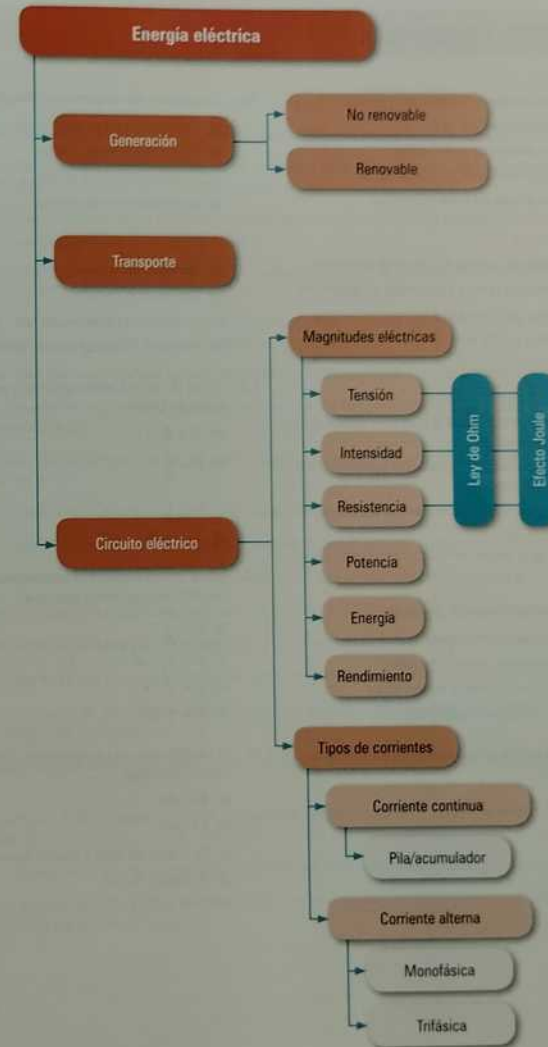


Figura 1.26. Polímetro.

Saber más

El polímetro o multímetro en el argot del técnico electricista también recibe el nombre de **tester**.

MAPA CONCEPTUAL



Actividades de comprobación

- 1.1. El transporte de la energía se realiza:
 - a) En corriente continua de alta tensión.
 - b) En corriente alterna de alta tensión.
 - c) En corriente continua de baja intensidad.
 - d) En corriente alterna de baja intensidad.
- 1.2. La tensión eléctrica:
 - a) Se representa por la letra R y se mide en voltios.
 - b) Se representa por la letra I y se mide en amperios.
 - c) Se representa por la letra U y se mide en voltios.
 - d) Se representa por la letra U y se mide en amperios.
- 1.3. La intensidad eléctrica representa:
 - a) La cantidad de electricidad que circula a través de un circuito eléctrico.
 - b) La diferencia de potencial entre dos puntos unidos mediante un conductor.
 - c) La dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente.
 - d) La facilidad que ofrece un conductor al paso de la corriente.
- 1.4. La resistencia de un conductor depende:
 - a) Del material y de sus dimensiones.
 - b) De sus dimensiones, peso y volumen.
 - c) Del material, dimensiones y temperatura.
 - d) Del material, densidad, peso y volumen.
- 1.5. ¿Cuál de los siguientes elementos es mejor conductor de la electricidad?
 - a) Hierro.
 - b) Cobre.
 - c) Oro.
 - d) Plata.
- 1.6. Cuando un átomo pierde un electrón:
 - a) Los átomos no pueden perder electrones.
 - b) Se convierte en un catión.
 - c) Se convierte en un anión.
 - d) Se convierte en un protón.
- 1.7. El efecto Joule se aprovecha en:
 - a) Motores eléctricos.
 - b) Calefacción eléctrica.
 - c) Lámparas de iluminación led.
 - d) Aparatos de elevación con sistemas de seguridad.
- 1.8. ¿Cuál de las siguientes expresiones es correcta según la ley de Ohm?
 - a) $U = R \cdot I$.
 - b) $R = \frac{I}{U}$.
 - c) $U = \frac{I}{R}$.
 - d) $I = U \cdot R$.
- 1.9. ¿Cuál de las siguientes expresiones es correcta para determinar la potencia eléctrica?
 - a) $P = \frac{I^2}{R}$.
 - b) $P = U^2 \cdot R$.
 - c) $P = I^2 \cdot R$.
 - d) $P = I \cdot R$.
- 1.10. El rendimiento de un motor real trabajando en condiciones normales:
 - a) Es cero.
 - b) Es uno.
 - c) Es mayor de cero y menor de uno.
 - d) Es mayor de uno.

Actividades de aplicación

- 1.11. Determina la carga eléctrica en un conductor por el cual circula una corriente de 10 A durante 800 segundos.
- 1.12. Determina la carga eléctrica en un conductor por el cual circula una corriente de 15 A durante media hora.
- 1.13. Determina la densidad de corriente eléctrica en un conductor de tipo pletina con unas dimensiones de 10 mm de ancho por 2 mm de alto por el cual circula una corriente de 64 A.
- 1.14. Determina la densidad de corriente eléctrica en un conductor cilíndrico de 4 mm de radio por el cual circula una corriente de 80 A.
- 1.15. Determina la resistencia eléctrica de un conductor cuadrado de 2 mm de lado y 1240 mm de largo de cobre que está situado en un ambiente cuya temperatura es de 38 °C.
- 1.16. Determina la resistencia eléctrica de un conductor cilíndrico de 5 mm de diámetro y de 200 metros de largo de cobre que está situado en un ambiente cuya temperatura es de 40 °C.
- 1.17. Determina el calor generado por una resistencia de 12 Ω por la cual circula una corriente de 8 A durante 5 minutos.
- 1.18. Determina cuánto tiempo es necesario para generar un calor de 45 kcal mediante una resistencia de 25 Ω por la cual circula una corriente de 5 A.
- 1.19. ¿Cuál es el valor de la corriente que circula por un circuito compuesto por una resistencia de 8 Ω conectada a una fuente de tensión de 12 V?
- 1.20. ¿Cuál es la tensión a la cual está conectada una resistencia de 50 Ω , para que circule una corriente de 5 A?
- 1.21. ¿Cuál es el valor de una resistencia que, conectada a 230 V, circula por ella una corriente 460 mA?
- 1.22. Determina la corriente que circula por una resistencia de 40 Ω que está conectada a un generador de 250 V.
- 1.23. Calcula la potencia de una carga conectada a un generador de 100 V por la cual circula una corriente de 7 A.
- 1.24. Un motor de corriente continua de 500 W está conectado a una fuente de tensión de 72 V. ¿Cuál es su corriente eléctrica?
- 1.25. Calcula la corriente en una carga que posee una potencia de 2 kW conectada a un generador de 200 V.
- 1.26. Calcula el rendimiento de un motor de corriente continua que desarrolla una potencia de 600 W y está conectado a un generador de 90 V del que consume 7,2 A.
- 1.27. Calcula la potencia que absorbe de la red eléctrica un motor de corriente continua de 5 kW que tiene un rendimiento del 80 %.
- 1.28. Calcula la corriente que circula por un motor de corriente continua de 2,5 kW con un rendimiento del 91 % conectado a un generador de 200 V.
- 1.29. Determina la energía eléctrica de una lámpara de 250 W que está conectada 7 horas al día durante 50 días.
- 1.30. Determina la energía eléctrica de una resistencia conectada a una red de 230 V por la cual circula una corriente de 4 A durante 4 horas al día durante 30 días.