



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 consumo.

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.

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.

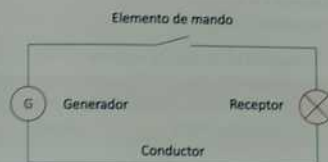


Figura 1.4. Circuito eléctrico.

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.

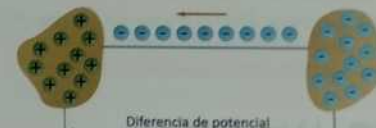


Figura 1.5. Diferencia de potencial.

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_{DC}.

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

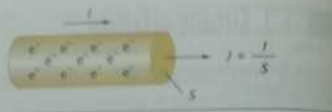


Figura 1.7. Densidad de corriente.

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

Donde:

- J : Densidad de corriente (A/mm^2).
- I : Intensidad (A).
- S : Superficie (mm^2).

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 mm^2 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 $\Omega \text{ mm}^2/m$.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 1.8. Magnitud de resistividad

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

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 $\rho_{20^\circ \text{C}} [\Omega \text{ mm}^2/m]$	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	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Nícrón (Ni-Cr)	1	$0,44 \cdot 10^{-3}$
Carbón	63	$-0,5 \cdot 10^{-3}$

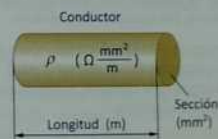


Figura 1.8. Resistividad.

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

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

Donde:

- R : Resistencia (Ω , ohmios).
- ρ : Resistividad ($\frac{mm^2}{m}$).
- L : Longitud (m, metros).
- S : Sección (mm^2 , 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 $2,5 \text{ mm}^2$ y cuya temperatura ambiente es de 20°C , y si fueran 200 m ?

Solución:

Para 100 m se tiene que:

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

Y para 200 m se tiene que:

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

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).

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

Donde:

- R : Resistencia (Ω , ohmios).
- R_i : Resistencia inicial (Ω , ohmios).
- α : coeficiente de temperatura del material.
- ΔT : Variación de temperatura ($^\circ \text{C}$).

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 $0,0172 \Omega \text{ mm}^2/m$:

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

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.

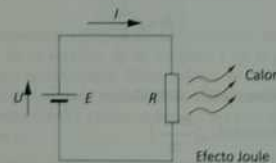


Figura 1.11. Efecto Joule.

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 Ω cuando circula una corriente de 2,5 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.

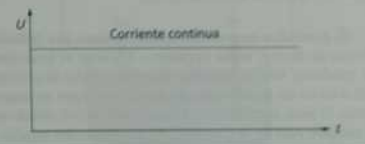


Figura 1.12. Onda de corriente continua.

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.

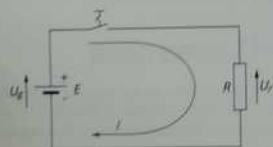


Figura 1.11. Sentido de la corriente eléctrica.

El generador en corriente continua tiene una polaridad (borne positivo y borne 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

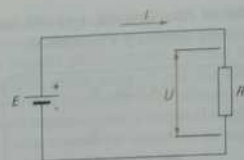


Figura 1.14. Magnitudes de la ley de Ohm.

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

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 $6,4 \text{ A}$. ¿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		

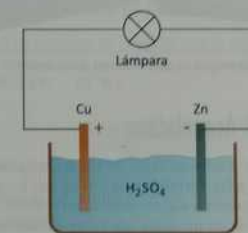


Figura 1.15. Pila húmeda.

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.

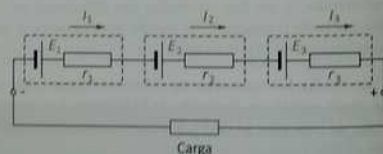


Figura 1.17. Asociación de generadores en serie.

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.

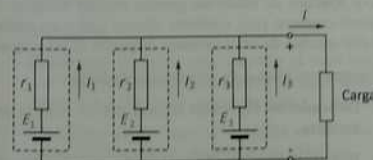


Figura 1.18. Asociación de generadores en paralelo.

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).

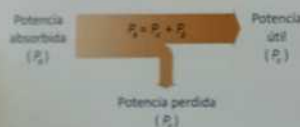


Figura 1.10. Relación de pérdidas en un sistema.

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.

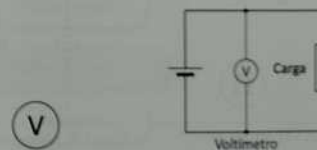


Figura 1.20. Símbolo del voltímetro.

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 **óhmetro**. 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 óhmetro.



Figura 1.25. Medición con óhmetro.

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.

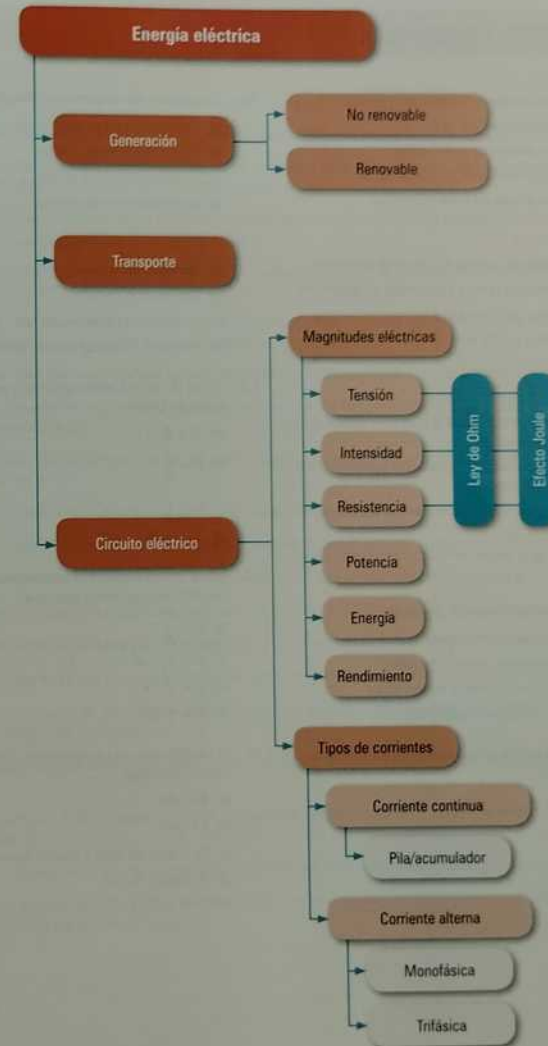


Figura 1.26. Polímetro.

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.

2.1. Los componentes pasivos

Un sistema eléctrico se puede descomponer y simplificar con base a una serie de componentes básicos obteniendo un circuito de comportamiento equivalente. En función de la naturaleza de la corriente (continua o alterna), los componentes básicos se clasifican en:

- | | | |
|--------------------|---|---|
| Corriente continua | { | - Resistencia. |
| Corriente alterna | | - Resistencia.
- Condensador.
- Bobina. |

Cuando estos elementos son situados en un circuito eléctrico, cada uno de ellos se comporta de manera diferente.

2.2. La resistencia

La resistencia eléctrica o **resistor** es un elemento básico en los circuitos eléctricos. Su función es ofrecer una cierta oposición al paso de la corriente eléctrica. Provoca una caída de tensión en sus extremos y cumple con la ley de Ohm.

2.2.1. Tipos de resistencias

Existen diferentes tipos de resistencias eléctricas en función de su constitución, entre ellas:

- **Resistencias bobinadas.** Consiste en emplear un hilo eléctrico sobre una base cerámica que hace de soporte. Su resistencia depende del material y de la longitud del hilo. Son voluminosas y solo se emplean en aplicaciones donde se necesita una alta potencia de disipación.
- **Resistencias de carbón.** Las hay de dos tipos: carbón prensado (apenas se emplean) y de película de carbón. Emplean grafito en polvo.



Figura 2.3: Resistencia de película de carbón. 1 kΩ, 1/4 W y ± 5%.

- **Resistencias de óxido metálico.** Son similares a las de película de carbón pero empleando algún óxido metálico como estaño o latón. Se emplean en aplicaciones donde se exige gran fiabilidad (por ejemplo, aplicaciones militares).

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Resistencias de película metálica.** Están compuestas por una capa de material metálico. Poseen buenas características y estabilidad, lo que hace que sean las más empleadas hoy en día.



Figura 2.2: Resistencia de película metálica. 4k7 Ω, 0,5 W y 1%.

- **Resistencias de metal vidriado.** Están compuestas por una película a base de vidrio con materiales metálicos. Tienen un buen comportamiento ante sobrecorrientes.

Las resistencias pueden tener un valor óhmico fijo o pueden ser variables. Estas resistencias variables a voluntad reciben el nombre de resistencias ajustables (se fija su valor y luego no se suele variar) y resistencias variables o **potenciómetros**. Para ello cuentan con un contacto deslizante.



Figura 2.3: Resistencia variable.



Figura 2.4: Potenciómetro de película de carbón.

Existe otro tipo de resistencia variable llamado **reostato**. Es una resistencia de tipo bobinado y de gran potencia de disipación y se suele emplear en el arranque y control de motores de corriente continua (Figura 2.5).

Existen otros tipos de resistencias cuyos valores dependen de la temperatura (PTC, NTC), de la luz (LDR) o de la tensión (VDR).



Figura 2.5: Reostato de 500 W.



Figura 2.6: Resistencia variable con la luz LDR.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los parámetros más importantes de una resistencia son:

- **Valor óhmico nominal.** Es el que indica el fabricante en condiciones de laboratorio y por ello varía ligeramente en la realidad.
- **Tolerancia.** Debido a esa discrepancia entre el valor indicado por el fabricante y el real aparece el término tolerancia en la cual el valor real está dentro de ese margen.
- **Potencia nominal.** Es el valor de la potencia que es capaz de disipar la resistencia. Si se sobrepasa la resistencia se destruye.

2.2.2. Código de colores

Las resistencias indican su valor óhmico de manera numérica, aunque en la mayoría de las ocasiones son tan pequeñas que es imposible y se recurre a un código de colores.

Los valores de las resistencias óhmicas están estandarizados según series (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Series normalizadas de resistencias

	Serie							
	E12	E24	E48		E96		E96	
1	1	1,1	1,05	3,16	1	1,78	3,16	5,62
						1,82	3,24	5,76
1,2	1,2	1,3	1,15	3,48	1,05	1,87	3,32	5,90
						1,91	3,40	6,04
1,5	1,5	1,6	1,21	3,83	1,10	1,96	3,48	6,19
						2,00	3,57	6,34
1,8	1,8	2	1,33	4,22	1,15	2,05	3,65	6,49
						2,10	3,74	6,65
2,2	2,2	2,4	1,47	4,64	1,21	2,15	3,83	6,81
						2,21	3,92	6,98
2,7	2,7	3	1,62	5,11	1,27	2,26	4,02	7,15
						2,32	4,12	7,32
3,3	3,3	3,6	1,78	5,62	1,33	2,37	4,22	7,50
						2,43	4,32	7,68
3,9	3,9	4,3	1,96	6,19	1,40	2,49	4,42	7,87
						2,55	4,53	8,06
4,7	4,7	5,1	2,15	6,81	1,47	2,61	4,64	8,25
						2,67	4,75	8,45
5,6	5,6	6,2	2,37	7,50	1,54	2,74	4,87	8,66
						2,80	4,99	8,87

Serie								
E12	E24	E48		E96		E96		E96
6,8	6,8	2,61	8,25	1,62	2,87	5,11	9,09	
	7,5	2,74	8,66	1,65	2,94	5,23	9,31	
8,2	8,2	2,87	9,09	1,69	3,01	5,36	9,53	
	9,1	3,01	9,53	1,74	3,09	5,49	9,76	

Sabías que...

En las resistencias, la coma decimal se sustituye por el indicador de los múltiplos, así por ejemplo una resistencia de 1,8 k se puede expresar como 1k8.

El código de colores está compuesto por una serie de bandas, y puede tener 4, 5 o 6 bandas:

- Si es de 4 bandas, las 2 primeras indican la cifra, y si es de 5 o 6 bandas, las 3 primeras indican la cifra.
- La siguiente banda es un multiplicador.
- La siguiente banda indica la tolerancia.
- Si es de 6 bandas, la última indica el coeficiente de temperatura.

Tabla 2.2. Código de colores para la resistencia

Código de colores para la resistencia					
1ª cifra	2ª cifra	3ª cifra	Multiplicador	Tolerancia	
47 kΩ - 1%					
1,2 MΩ - 10%					
Color	1ª cifra	2ª cifra	3ª cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0	0	1 Ω	—
Marrón	1	1	1	10 Ω	± 1%
Rojo	2	2	2	100 Ω	± 2%
Naranja	3	3	3	1 kΩ	—
Amarillo	4	4	4	10 kΩ	—
Verde	5	5	5	100 kΩ	± 0,5%
Azul	6	6	6	1 MΩ	± 0,25%
Violeta	7	7	7	10 MΩ	± 0,1%
Gris	8	8	8	100 MΩ	± 0,05%
Blanco	9	9	9	—	—
Oro	—	—	—	0,1 Ω	± 5%
Plata	—	—	—	0,01 Ω	± 10%

Actividad resuelta 2.1

Una resistencia tiene las siguientes bandas de colores: marrón, negro, naranja, oro.

¿Cuál es su resistencia y su tolerancia?

Solución:

1.ª banda: marrón: 1.

2.ª banda: negro: 0.

3.ª banda: naranja: $\times 1 \text{ k}\Omega$.

4.ª banda: 5 %.

Por tanto, indica una resistencia de $10 \cdot 1 \text{ k}\Omega$ que es igual a $10 \text{ k}\Omega$.

Con una tolerancia del 5 %.

2.2.3. Simbología

Las resistencias se comportan de igual manera tanto en corriente continua como en corriente alterna. La resistencia en corriente alterna recibe el nombre de **impedancia**.

La resistencia se representa por la letra **R** y la impedancia se representa por la letra **Z**. En ambos casos su unidad de medida es el ohmio (Ω). Se representa mediante los símbolos de la Tabla 2.4.

Tabla 2.3. Resistencia e impedancia

	Magnitud	Unidad de medida
Corriente continua	R Resistencia	Ω Ohmio
Corriente alterna	Z Impedancia	Ω Ohmio

Tabla 2.5. Asociación de resistencias

Asociación	Equivalente	Valor
		$R_T = R_1 + R_2$
		$\frac{1}{R_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n}; R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
		$R_T = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

Tabla 2.4. Símbolos de resistencia y variantes

	Resistencia
	Potenciómetro (símbolo general)
	Potenciómetro (con contacto móvil)
	Resistencia de ajuste
	Reostato
	LDR (dependiente de la luz)
	PTC, NTC (dependiente de la temperatura)
	VDR (dependiente de la tensión)

2.2.4. Asociación de resistencias

Las resistencias e impedancias se pueden asociar en serie, paralelo o de forma mixta. En estos casos se tiene que:

- **Asociación en serie.** La resistencia total es la suma de las resistencias.
- **Asociación en paralelo.** La inversa de la resistencia total es la suma de las inversas de cada una de las resistencias de la asociación.
- **Asociación mixta.** En el circuito se encuentran resistencias conectadas en serie y en paralelo. Se resuelve simplificando el circuito.

Actividad resuelta 2.2

¿Cuál es la resistencia total del circuito compuesto por dos resistencias en serie, sabiendo que $R_1 = 15 \Omega$ y $R_2 = 30 \Omega$?

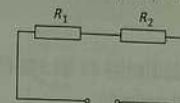


Figura 2.7. Serie.

Solución:

Al estar en serie ambas resistencias, la equivalente es la suma de ambas:

$$R_T = R_1 + R_2 = 15 + 30 \Omega = 45 \Omega$$

Actividad resuelta 2.3

¿Cuál es la resistencia total de un circuito compuesto por dos resistencias en paralelo, sabiendo que $R_1 = 15 \Omega$ y $R_2 = 30 \Omega$?

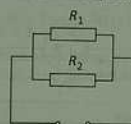


Figura 2.8. Paralelo.

Solución:

Al estar en paralelo ambas resistencias, se obtiene que la resistencia total es:

$$\frac{1}{R_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2};$$

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{15 \cdot 30}{15 + 30} = 10 \Omega$$

Se observa (comparado con la actividad resuelta anterior) que la resistencia total es menor que la más pequeña de las resistencias.

2.2.5. Divisor de tensión

Un circuito compuesto por dos resistencias en serie se comporta como un divisor de tensión, obteniendo en el punto entre las dos resistencias un voltaje que depende del valor óhmico de ambas.

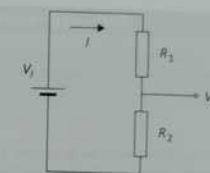


Figura 2.9. Divisor de tensión mediante dos resistencias.

El valor de la corriente aplicando la ley de Ohm es:

$$I = \frac{V_i}{R_1 + R_2}$$

Y la tensión es de:

$$V_O = I \cdot R_2 = \frac{V_i}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i$$

Si ambas resistencias son iguales, se tiene que:

$$R_1 = R_2 = R$$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i = \frac{R}{R + R} \cdot V_i = \frac{1}{2} \cdot V_i$$

Si en lugar de emplear dos resistencias se emplea una resistencia variable, el valor de salida se puede ajustar entre cero y la tensión de la fuente.

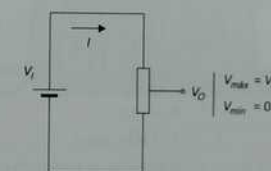


Figura 2.10. Divisor de tensión mediante resistencia variable.

El valor óhmico de las resistencias a emplear depende de las características de la carga conectada a la salida.

También es posible ajustar el voltaje de salida de tal manera que se pueda variar entre valores intermedios. En este caso basta con colocar una resistencia en serie con el potenciómetro para provocar una caída de tensión fija en la resistencia.

Actividad resuelta 2.4

Diseña un divisor de tensión, de tal manera que a partir de una fuente de tensión de 12 V se obtenga un voltaje entre 0 V y 10 V.

Solución:

Como la tensión de salida máxima es inferior a la tensión de la fuente se coloca una resistencia en serie, de tal manera que provoque una caída de tensión de 2 V. Así, cuando el potenciómetro esté en su posición superior el nivel de salida será de 10 V ($10 + 2 = 12$ V).

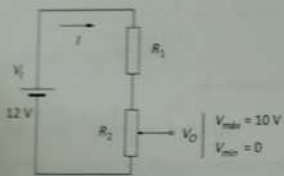


Figura 2.11. Divisor de tensión con límite superior.

Se plantea la expresión del divisor de tensión:

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_I$$

Despejando:

$$V_0(R_1 + R_2) = V_I \cdot R_2$$

$$R_1 + R_2 = \frac{V_I}{V_0} \cdot R_2$$

$$R_1 = \left(\frac{V_I}{V_0} - 1 \right) \cdot R_2$$

Sustituyendo:

$$R_1 = \left(\frac{12}{10} - 1 \right) \cdot R_2 = 0,2 \cdot R_2$$

El valor de R_1 y R_2 depende de la carga, si se considera que $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$:

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 0,2 \cdot 1 \text{ k}\Omega = 200 \Omega$$

También se podría haber planteado la resolución en función de la corriente:

$$I = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2}$$

$$R_1 = \frac{V_1}{V_2} \cdot R_2 = \frac{2}{10} \cdot R_2 = 0,2 \cdot R_2$$

Se puede verificar que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{1000 + 200} = 0,01 \text{ A}$$

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

$$V_1 = I \cdot R_1 = 0,01 \cdot 200 = 2 \text{ V}$$

$$V_2 = I \cdot R_2 = 0,01 \cdot 1000 = 10 \text{ V}$$

$$V = V_1 + V_2 = 12 \text{ V}$$

2.2.6. Resistencia en los aparatos de medición

Existe una técnica para aumentar el alcance en la medición de los aparatos que consiste en intercalar una resistencia.

Supongamos que se tiene un galvanómetro cuyo fondo de escala es de 1 mA y se quiere emplear para medir corrientes de hasta 10 mA. Esta técnica consiste en colocar una resistencia (denominada *shunt*) en paralelo con el aparato de medición de tal manera que las corrientes se dividan por ambas ramas.

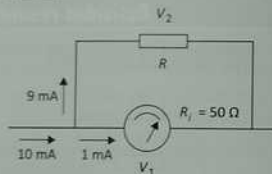


Figura 2.12. Resistencia shunt.

Así, en este ejemplo, cuando circule la máxima corriente que soporta el aparato de medición (1 mA) significaría que la corriente total sería 10 mA y la diferencia (9 mA) se derivaría por la resistencia sin que el aparato sufriese daños.

Al estar en paralelo tanto la resistencia como el aparato de medición, la tensión en bornes de ambos es la misma. También hay que tener en cuenta que el aparato de medición tiene una resistencia interna (R_i).

$$V_1 = V_2$$

$$1 \text{ mA} \cdot R_i = 9 \text{ mA} \cdot R$$

Si la resistencia interna es de, por ejemplo, 50 Ω :

$$1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega = 9 \text{ mA} \cdot R$$

$$R = \frac{1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega}{9 \text{ mA}} = 5,55 \Omega$$

► Recuerda:

Un galvanómetro es un aparato de medición destinado a medir pequeñas corrientes eléctricas.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

De manera similar, si se colocan varias resistencias y un selector se pueden realizar diversas mediciones variando el alcance del aparato de medida.

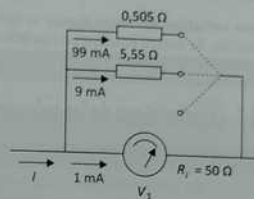


Figura 2.13. Variación del alcance de medición empleando varias resistencias shunt.

El galvanómetro, al tener una resistencia interna, también puede emplearse como voltímetro. Así cuando circule una corriente de 1 mA, en sus bornes habrá una diferencia de potencial de 50 mV:

$$U = I \cdot R_i = 1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega = 50 \text{ mV}$$

De manera análoga, si se coloca una resistencia en serie, se puede ampliar el alcance de medición.

Actividad resuelta 2.5

Diseña un voltímetro a partir de un galvanómetro que posea una resistencia interna de 50 Ω y su alcance máximo es de 1 mA. El voltímetro, mediante un selector, debe ser capaz de medir tensiones de hasta 50 mV, 0,5 V y 5 V.

Solución:

Como se coloca una resistencia (R) en serie con el aparato, la corriente que circula es la misma.

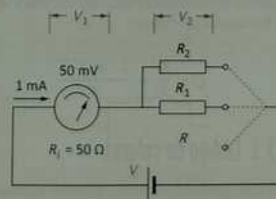


Figura 2.14. Galvanómetro trabajando como voltímetro.

Así, se tiene que:

$$I = \frac{V_1}{R_i} = \frac{V_2}{R}$$

Para $V = 0,5 \text{ V}$:

$$\frac{0,05}{50} = \frac{0,45}{R}$$

$$R_1 = R = 450 \Omega$$

Para $V = 5 \text{ V}$:

$$\frac{0,05}{50} = \frac{4,95}{R}$$

$$R_2 = R = 4950 \Omega$$

No obstante, el galvanómetro tanto como amperímetro como voltímetro tiene sus limitaciones.

2.3. La bobina

Una bobina o autoinducción está formada por el enrollamiento de un conductor aislado sobre un núcleo. Este conductor está aislado mediante un barniz y como núcleo se emplea el aire o algún material con propiedades ferromagnéticas como la ferrita. Alrededor de las espiras se crea un campo magnético.

Las bobinas se encuentran en muchos tipos de dispositivos eléctricos, como por ejemplo en motores y transformadores, y en equipos electrónicos realizando funciones de filtros y osciladores.

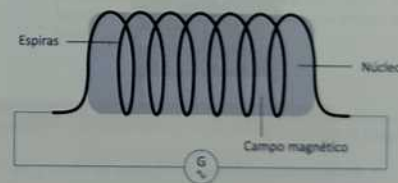


Figura 2.15. Bobina.

► Recuerda:

Una espira es una vuelta completa alrededor del núcleo. Con el objetivo de aumentar el efecto de una espira, estas se multiplican formando un enrollamiento o bobina.

2.3.1. Tipos de bobinas

Existen diferentes tipos de bobinas en función de su constitución, entre ellas:

- **Bobinas con núcleo de aire.** Consisten en bobinas cuyo núcleo es el aire. Poseen valores de autoinducción bajos.
- **Bobinas con núcleo de ferrita.** Poseen valores de autoinducción más elevados respecto a las que van con núcleo de aire.



Figura 2.16. Bobinas con núcleo de ferrita de 1000 µH.

- **Bobinas toroidales.** Emplean un toroide para que el flujo magnético generado no se disperse hacia el exterior. Poseen gran rendimiento.



Figura 2.17. Bobina toroidal.

- **Bobinas encapsuladas.** Se emplean en filtros y osciladores.



Figura 2.18. Bobinas encapsuladas.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Bobinas para montaje SMD.** Poseen un tamaño muy reducido y están destinadas al montaje superficial. Poseen unos valores de coeficiente de autoinducción o inductancia bajos.
- **Bobinas variables.** Permiten ajustar su valor de autoinducción. Se suelen emplear en equipos de radiofrecuencia.

2.3.2. Características de las bobinas

Las características principales de las bobinas son:

- **Coefficiente de autoinducción.** Una bobina es un arrollamiento de N espiras sobre un núcleo (que puede ser el aire). Si el núcleo es de un material ferromagnético, su coeficiente de autoinducción viene definido por la expresión:

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I}$$

Donde:

L : Coeficiente de autoinducción (H, henrio).

Φ : Flujo magnético (Wb, weber).

I : Intensidad (A, amperio).

N : Número de espiras.

Tabla 2.6. Bobina

Componente	Unidad de medida
L Bobina	H Henrio

- **Tolerancia.** Límite de variación sobre el valor nominal.
- **Factor de calidad.** Es la relación entre la reactancia inductiva y la resistencia óhmica. Su valor depende de la frecuencia de trabajo.

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}$$

2.3.3. Código de colores

Algunas bobinas comerciales llevan impreso su valor mientras que otras emplean un código de colores similar al empleado con las resistencias.

El valor que expresa va indicado en µH.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 2.7. Códigos de colores para las bobinas encapsuladas

Color	1.ª cifra	2.ª cifra	Multiplicador	Tolerancia
Plata	—	—	0,01	± 10 %
Dro	—	—	0,1	± 5 %
Negro	0	0	1	—
Marrón	1	1	10	—
Rojo	2	2	100	—
Naranja	3	3	1 K	—
Amarillo	4	4	10 K	—
Verde	5	5	100 K	—
Azul	6	6	1 M	—
Violeta	7	7	10 M	—
Gris	8	8	—	—
Blanco	9	9	—	—

2.3.4. Simbología

Una bobina se representa por el símbolo de la Tabla 2.8 y se expresa por la letra L . Se define por el **coeficiente de autoinducción o inductancia** (L) cuya unidad de medida es el **henrio** (H), pero al ser un valor alto se emplea el submúltiplo de milihenrio (mH; 1 mH = 10⁻³ H).

Tabla 2.9. Asociación de bobinas

Asociación	Equivalente	Valor
		$L_T = L_1 + L_2$
		$\frac{1}{L_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{L_n}; L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$
		$L_T = \frac{L_1 \cdot (L_2 + L_3)}{L_1 + (L_2 + L_3)}$

Tabla 2.8. Símbolos de la bobina y sus variantes

	Bobina
	Bobina con núcleo
	Bobina con polaridad
	Bobina con núcleo y polaridad
	Bobina variable con núcleo
	Bobina variable con núcleo y polaridad
	Bobina ajustable con núcleo
	Bobina ajustable con núcleo y polaridad

2.3.5. Asociación de bobinas

Las bobinas se pueden asociar en serie, paralelo o de forma mixta. En estos casos tenemos que:

- **Asociación en serie.** El coeficiente de autoinducción total es la suma de cada bobina.
- **Asociación en paralelo.** La inversa del coeficiente de autoinducción total es la suma de las inversas de los coeficientes de autoinducción de cada bobina de la asociación.

- **Asociación mixta.** En el circuito se encuentran bobinas conectadas en serie y en paralelo. Se resuelve simplificando el circuito.

Actividad resuelta 2.6

¿Cuál es el coeficiente de autoinducción total del circuito serie de la figura, sabiendo que $L_1 = 5$ henrios y $L_2 = 3$ henrios?

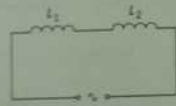


Figura 2.19. Serie.

Solución:

Al estar en serie ambas bobinas, se suman sus respectivos coeficientes de autoinducción.

$$L_T = L_1 + L_2 = 5 \text{ H} + 3 \text{ H} = 8 \text{ H}$$

Actividad resuelta 2.7

¿Cuál es el coeficiente de autoinducción total del circuito paralelo de la figura, sabiendo que $L_1 = 5$ henrios y $L_2 = 3$ henrios?

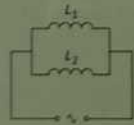


Figura 2.20. Paralelo.

Solución:

Al estar en paralelo ambas bobinas, se obtiene que:

$$\frac{1}{L_T} = \sum_{n=1}^n \frac{1}{L_n} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

$$L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} = \frac{5 \cdot 3}{5 + 3} = 1,875 \text{ H}$$

Se observa (comparado con el ejemplo anterior) que el coeficiente de autoinducción es menor.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

2.4. El condensador

Un condensador es un elemento destinado a almacenar carga eléctrica.

La capacidad de un condensador se define como la cantidad de carga que puede almacenar por la unidad de tensión.

$$C = \frac{Q}{V}$$

Donde:

C: Capacidad del condensador en faradios (F).

Q: Carga eléctrica en culombios (C).

V: Tensión eléctrica en voltios (V).

El condensador está formado por dos placas conductoras de la electricidad, una enfrente de la otra y separadas por un aislante llamado **dieléctrico**. Como dieléctrico se suele emplear: aire, papel, mica, etc. Entre las placas o armaduras del condensador se crea un **campo eléctrico**.

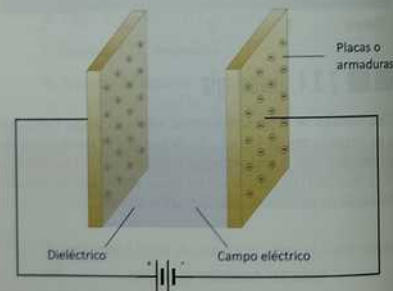


Figura 2.21. Condensador.

La capacidad de un condensador viene determinada por sus características constructivas según la expresión:

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

Donde:

S: Superficie de las armaduras.

d: Espesor del dieléctrico.

ϵ_r : Constante dieléctrica relativa del aislante.

ϵ_0 : Constante dieléctrica del vacío.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 2.10. Constantes dieléctricas relativas de aislantes

Material	ϵ
Vacío	1
Aire	1,006
Parafina	2
Papel	2-2,8
Madera	2-8
Mica	4
Vidrio	2-10
Agua	81

Si se somete el dieléctrico a tensiones cada vez más elevadas, llega un momento en el cual la capacidad del aislante se rompe perforándose y permitiendo el paso de la corriente eléctrica.

La **rigidez dieléctrica** es la máxima tensión por centímetro de espesor que un dieléctrico puede aguantar sin romperse.

Tabla 2.11. Rigidez dieléctrica de algunos materiales

Material	Rigidez dieléctrica (kV/cm)
Aire a 1 atm	30
Aceite de trafos	140
Baquelita	180
Caucho	230
Ebonita	300
Goma	130
Mica	650
Papel	90
Parafina	150
PVC	250
Poliétileno	350
Porcelana	100
Vidrio	160

2.4.1. Tipos de condensadores

Existen diferentes tipos de condensadores:

- **Condensadores cerámicos.** El dieléctrico está formado a base de cerámicas. Tienen una constante dieléctrica muy alta, pero son sensibles a las variaciones de temperatura. Se construyen de diversas formas físicas: en forma de disco, de placa, tubulares, chips. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Grupo I. De baja constante dieléctrica, alta resistencia de aislamiento, baja capacidad (< 1 nF) y muy estables. Se emplean en circuitos de alta frecuencia y resonantes.
- Grupos II y III. De alta constante dieléctrica, menor resistencia de aislamiento, mayor capacidad para el mismo volumen (< 500 nF). Se emplean en filtros de RF.

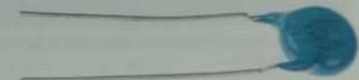


Figura 2.22. Condensador cerámico.

- **Condensadores de mica.** Emplean láminas de mica como dieléctrico. Funcionan bien a altas frecuencias y soportan bien las altas temperaturas con bajas pérdidas, pero son económicamente más caros. Se emplean en sustitución de los condensadores cerámicos cuando se desea alta estabilidad. Se fabrican con capacidades entre 2 pF y 220 nF.
- **Condensadores de papel.** Su dieléctrico está formado por papel parafinado o por otro tratamiento reductor higroscópico. Se emplean en circuitos de acople/desacople, filtros antiparásitos, etcétera.

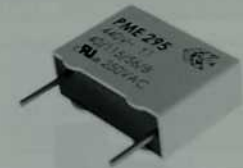


Figura 2.23. Condensador de papel.

- **Condensadores de plástico.** Tienen buenas prestaciones a un coste económico reducido, por lo que son los más empleados. Dependiendo del tipo de

dieléctrico, se tienen los de poliestireno (KS), poliéster (KT), poliéster metalizados (MKT), polipropileno (KP), polipropileno metalizado (MKP), policarbonato metalizado (MKC) y teflón (PTFE).



Figura 2.26. Condensadores de polipropileno y poliéster.

El condensador de polipropileno se emplea normalmente para la compensación de circuitos de alumbrado y de motores. En este caso, son de forma cilíndrica y preparados para trabajar con tensiones superiores a 250 V y 450 V y con capacidades desde 2 μF a 80 μF . Por su tamaño suelen llevar un tornillo de fijación que les da solidez.



Figura 2.27. Condensador de polipropileno.

- **Condensadores electrolíticos de aluminio.** Tienen polaridad y por tanto solo se emplean con corriente continua. Poseen una alta capacidad (entre 1 μF y 220 000 μF), pero el inconveniente de una alta corriente de fuga. Se emplean para el filtrado de fuentes de alimentación, acoplado/desacoplado o almacenamiento de energía.



Figura 2.28. Condensador electrolítico de aluminio.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Condensadores electrolíticos de tantalio.** Tienen polaridad. Su dieléctrico está formado por óxido de tantalio. Alcanzan más capacidad que los electrolíticos con menor espacio (entre 10 nF y 500 μF), pero son económicamente más caros.

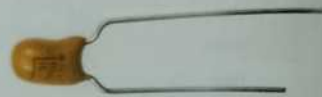


Figura 2.27. Condensador de tantalio.

- **Condensadores variables.** Son condensadores que pueden variar su capacidad. Normalmente, su dieléctrico es el aire y funcionan a base de hacer girar un grupo de sus armaduras respecto a las otras.
- **Condensadores ajustables.** También varían su capacidad, pero una vez ajustados en el circuito ya no se modifican. Su dieléctrico puede ser de diversos tipos (plásticos, cerámicos, mica).



Figura 2.28. Condensador ajustable de 50 pF.

2.4.2. Codificación en los condensadores

En los condensadores hay varias formas de marcado: directamente sobre el condensador, mediante bandas de colores y mediante código.

El marcado mediante bandas de colores es similar al de las resistencias. Su valor va expresado en picofaradios (pF).

Actividad resuelta 2.8

Un condensador de poliéster está marcado con las siguientes bandas de colores: verde, azul, naranja, negro, rojo.

¿Qué indica este marcado?

Solución:

Verde = 5.

Azul = 6.

Naranja = $\times 1000$.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 2.12. Código de colores de condensadores

Color	1.ª cifra	2.ª cifra	Multiplicador	Tolerancia		Tensión	
				$C > 10 \text{ pF}$	$C < 10 \text{ pF}$	Poliéster	Tantalio
Negro	0	0	1	$\pm 20\%$	—	—	10 V
Marrón	1	1	10	$\pm 1\%$	$\pm 0.1 \text{ pF}$	100 V	—
Rojo	2	2	100	$\pm 2\%$	$\pm 0.25 \text{ pF}$	250 V	4 V
Naranja	3	3	1000	$\pm 3\%$	—	—	40 V
Amarillo	4	4	10 000	—	—	400 V	6.3 V
Verde	5	5	100 000	$\pm 5\%$	$\pm 0.5 \text{ pF}$	—	18 V
Azul	6	6	1 000 000	—	—	630 V	—
Violeta	7	7	10 000 000	—	—	—	—
Gris	8	8	0.01	—	—	—	25 V
Blanco	9	9	0.1	$\pm 10\%$	$\pm 1 \text{ pF}$	—	2.5 V

Negro = 20 %.

Rojo = 250 V.

Es un condensador de 56 000 pF = 56 nF, 20 % de tolerancia y 250 V de tensión de trabajo máxima.

Algunos condensadores del tipo de dieléctrico de plástico indican sus características de forma codificada, mostrando tres datos:

- **Valor.** Si es un número con punto decimal indica que va expresado en microfaradios (μF), en caso contrario iría expresado en picofaradios (pF).
- **Tolerancia.** Indicada mediante una letra. Los códigos de tolerancias más comunes son:

Tabla 2.13. Código de tolerancias

Letra	Tolerancia
D	$\pm 0.5\%$
F	$\pm 1\%$
G	$\pm 2\%$
H	$\pm 2.5\%$
J	$\pm 5\%$
K	$\pm 10\%$
M	$\pm 20\%$

- **Tensión máxima de trabajo.** No se debe superar, pues se perforaría el dieléctrico, dejando inservible al condensador.



Figura 2.29. Ejemplo de codificación.

Recuerda:

Los submúltiplos empleados con los condensadores son:

1 F = $1 \cdot 10^3$ mF (milifaradios).

1 F = $1 \cdot 10^6$ μF (microfaradios).

1 F = $1 \cdot 10^9$ nF (nanofaradios).

1 F = $1 \cdot 10^{12}$ pF (picofaradios).

Actividad resuelta 2.9

Un condensador tiene marcado el código 0,027 K 2G.

¿Qué indica este código?

Solución:

$0,027 \mu\text{F} = 27 \text{ nF}$ de capacidad.

$K = 10 \%$ de tolerancia.

$2G = 400 \text{ V}$ de tensión máxima de trabajo.

Existe otra codificación llamada **código 101**, alternativa a las bandas de colores, la cual se indica mediante un número de tres cifras, siendo las dos primeras las cifras que forman el valor y la tercera el número de ceros a añadir.

En ocasiones, en vez de indicar directamente la tensión, se indica mediante el siguiente código:

Tabla 2.14. Código de tensión para condensadores (V_N)

Código	Tensión	Código	Tensión	Código	Tensión
0G	4 V	1K	80 V	2E	250 V
0L	5,5 V	2A	100 V	2F	315 V
0J	6,3 V	2Q	110 V	2V	350 V
1A	10 V	2B	125 V	2G	400 V
1C	16 V	2C	160 V	2W	450 V
1E	25 V	2Z	180 V	2H	500 V
1H	50 V	2D	200 V	2J	630 V
1J	63 V	2P	220 V	3A	1000 V

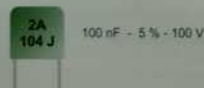


Figura 2.10. Ejemplo de codificación 101.

Actividad resuelta 2.10

Un condensador tiene marcado el código 471 y otro el 473. ¿Qué indican estos valores?

Solución:

Las dos primeras cifras indican el valor y la tercera el multiplicador:

$471 \rightarrow 470 \text{ pF}$

$473 \rightarrow 47 000 \text{ pF} = 47 \text{ nF}$

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO






2.4.3. Simbología

Un condensador se representa por los símbolos de la Tabla 2.16 y se expresa por la letra C . Se define por la **capacidad** (C) cuya unidad de medida es el **faradio** (F), pero al ser un valor muy alto se emplean los submúltiplos de milifaradio (mF; $1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$) y microfaradio (μF ; $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$).

Tabla 2.15. Condensador

Componente	Unidad de medida
C Condensador	F Faradio

Tabla 2.16. Simbología del condensador

	Condensador
	Condensador con polaridad
	
	
	Condensador ajustable

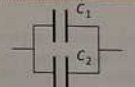



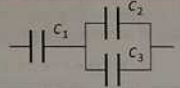

2.4.4. Asociación de condensadores

Los condensadores se pueden asociar en serie, paralelo o de forma mixta, variando el valor total de la capacidad. En estos casos tenemos que:

- **Asociación en paralelo.** La capacidad total es la suma de las capacidades de cada condensador.
- **Asociación en serie.** La inversa de la capacidad total es la suma de las inversas de cada una de las capacidades de la asociación.
- **Asociación mixta.** En el circuito se encuentran condensadores conectados en serie y en paralelo. Se resuelve simplificando el circuito.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 2.17. Asociación de condensadores

Asociación	Equivalente	Valor
		$C_T = C_1 + C_2$
		$\frac{1}{C_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n}; C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$
		$C_T = \frac{C_1 \cdot (C_2 + C_3)}{C_1 + (C_2 + C_3)}$

Actividad resuelta 2.11

¿Cuál es la capacidad total del circuito serie de la figura, sabiendo que $C_1 = 75 \mu\text{F}$, $C_2 = 50 \mu\text{F}$ y $C_3 = 20 \mu\text{F}$?

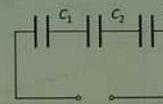


Figura 2.31. Circuito serie.

Solución:

Al estar en serie:

$$\frac{1}{C_T} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{75} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20} = \frac{1}{75} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{4 + 6 + 15}{300} = \frac{25}{300} = \frac{1}{12}$$

$$C_T = 12 \mu\text{F}$$

Otra forma es realizar el circuito serie de dos en dos, así se obtiene:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{75 \cdot 50}{75 + 50} = 30 \mu\text{F}$$

$$C_T = \frac{C_{12} \cdot C_3}{C_{12} + C_3} = \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 12 \mu\text{F}$$

Actividad resuelta 2.12

¿Cuál es la capacidad total del circuito paralelo de la figura, sabiendo que $C_1 = 75 \mu\text{F}$ y $C_2 = 50 \mu\text{F}$?

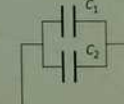


Figura 2.32. Circuito paralelo.

Solución:

Al estar en paralelo ambos condensadores, sus capacidades se suman:

$$C_T = C_1 + C_2 = 75 \mu\text{F} + 50 \mu\text{F} = 125 \mu\text{F}$$

2.4.5. Carga y descarga de un condensador

Un condensador está constituido por dos armaduras metálicas y separadas por un aislante. Esta constitución física hace pensar que no puede circular la corriente a través de él. Sin embargo, en el caso de una corriente variable, el condensador está en continuo proceso de carga y descarga y comportándose como si circulara corriente a través de él.

La Figura 2.33 representa el esquema de un circuito para analizar el proceso de carga y descarga de un condensador a través de una resistencia.

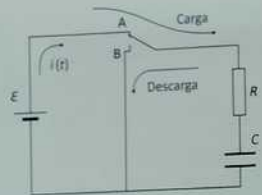


Figura 2.33. Circuito de carga y descarga del condensador.

Para analizar el proceso de carga se coloca el interruptor en la posición A. Inicialmente, el condensador está descargado y se conecta a una fuente de tensión continua. Se inicia el proceso de carga del condensador cuya diferencia de potencial en sus armaduras en el primer instante es de 0 V y aumenta siguiendo una curva exponencial cuya expresión matemática es la siguiente:

$$V_C(t) = E(1 - e^{-t/(R \cdot C)})$$

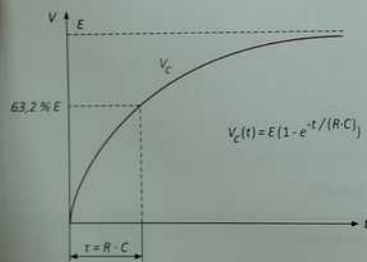


Figura 2.34. Curva de carga de un condensador.

Con la corriente ocurre lo contrario, en el primer instante la corriente es máxima y va disminuyendo conforme el condensador se carga.

Al cabo del tiempo obtenido de multiplicar el valor de la resistencia (en ohmios) por la capacidad del condensador (en faradios) este se ha cargado el 63,2 %. A este valor se le llama **constante de tiempo** y se representa por la letra τ , y

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

el valor obtenido va expresado en segundos. Esta constante de tiempo representa la velocidad de carga.

$$\tau = R \cdot C$$

El condensador estará completamente cargado cuando $t = \infty$, pero se considera cargado cuando ha transcurrido 5τ , en este caso se habrá cargado al 99,33 %. Una vez cargado no circula ninguna corriente, comportándose como un circuito abierto.

Para el proceso de descarga el conmutador se sitúa en la posición B. El condensador está cargado y desconectado de la fuente de alimentación, así que comenzará a descargarse a través de la resistencia. El proceso de descarga sigue una curva exponencial decreciente según la expresión:

$$V_C(t) = E \cdot e^{-t/(R \cdot C)}$$

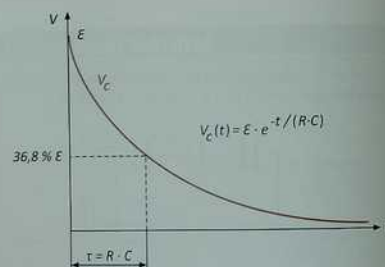


Figura 2.35. Curva de descarga de un condensador.

Actividad resuelta 2.13

Un condensador de 10 μF está conectado a una fuente de tensión junto con una resistencia en serie de 120 $\text{k}\Omega$. ¿Cuál es la constante de tiempo? ¿En cuánto tiempo se habrá cargado el condensador?

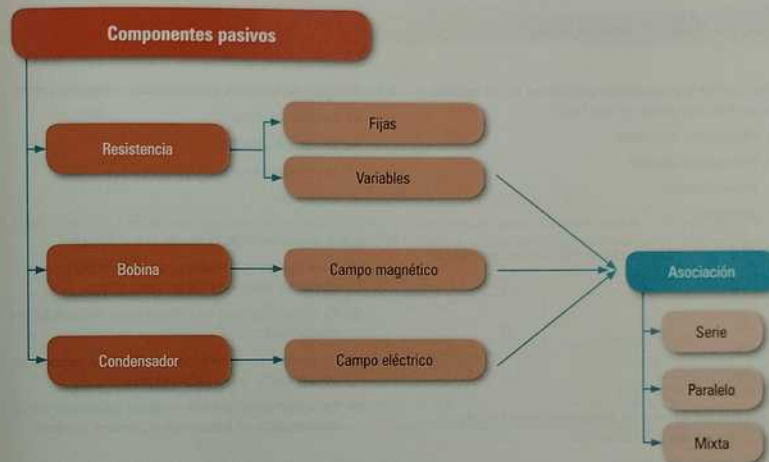
Solución:

La constante de tiempo es de:

$$\tau = R \cdot C = 120 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1,2 \text{ s}$$

Y se considera cargado con: $5\tau = 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ s}$

MAPA CONCEPTUAL



Actividades de comprobación

- 2.1. ¿En cuál de los siguientes elementos no es posible cambiar su resistencia a voluntad?
- Resistencia bobinada.
 - Resistencia variable.
 - Potenciometro.
 - Reostato.
- 2.2. ¿Cuál de los siguientes elementos varía su resistencia en función de la luz?
- PTC.
 - NTC.
 - VDR.
 - LDR.
- 2.3. ¿Qué tipo de resistencia emplearías cuando esta necesita disipar una gran potencia?
- Resistencia de carbón.
 - Resistencia bobinada.
 - Resistencia de óxido metálico.
 - Resistencia de película metálica.
- 2.4. En una asociación de resistencias:
- Si es en serie, su resistencia equivalente es mayor que la mayor de las resistencias que componen la asociación.
 - Si es en serie, su resistencia equivalente es menor que la menor de las resistencias que componen la asociación.
 - Si es en paralelo, su resistencia equivalente es mayor que la mayor de las resistencias que componen la asociación.
 - Si es en paralelo, su resistencia equivalente es mayor que la menor de las resistencias que componen la asociación.
- 2.5. El coeficiente de autoinducción de una bobina se mide en:
- Vatios.
 - Microfaradios.
 - Henrios.
 - Culombios.
- 2.6. En corriente continua una bobina se comporta como:
- Un cortocircuito.
 - Un circuito abierto.
 - Un condensador.
 - Un fusible.
- 2.7. ¿Qué es el dieléctrico?
- Es el tipo de material que se emplea para confeccionar las placas de los condensadores.
 - Es el material que se coloca entre las placas del condensador.
 - Es el valor de la tensión máxima que soporta un condensador antes de perforarse.
 - Es la distancia que deben tener las placas de un condensador en función de su tensión máxima.
- 2.8. ¿Qué significa que un condensador es de tipo electrolítico?
- Que tiene polaridad.
 - Que sus armaduras se someten a un proceso de electrolisis durante su fabricación.
 - Que el dieléctrico se ha sometido a un proceso reductor higroscópico.
 - Que tiene forma cilíndrica.
- 2.9. ¿Cuál es la unidad de medida de la capacidad de un condensador?
- Voltios.
 - Faradios.
 - Henrios.
 - Amperios.
- 2.10. ¿Cuándo se considera que un condensador ha cargado completamente?
- Cuando ha alcanzado el 63,2 % de su carga.
 - Cuando ha alcanzado el 85 % de su carga.
 - Cuando ha alcanzado un tiempo del producto de la resistencia por la capacidad.
 - Cuando ha alcanzado un tiempo de cinco veces el producto de la resistencia por la capacidad.

Actividades de aplicación

- 2.11. Determina las bandas de colores para las resistencias siguientes:
- 120 Ω .
 - 33 k Ω .
 - 560 k Ω .
 - 6,8 M Ω .
- 2.12. Calcula la resistencia equivalente entre los puntos A y B del circuito dado, sabiendo que $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 7 \Omega$, $R_4 = 5 \Omega$, $R_5 = 2 \Omega$, $R_6 = 6 \Omega$, $R_7 = 2 \Omega$ y $R_8 = 3 \Omega$, $V = 12 \text{ V}$. Calcula la corriente y la tensión en cada resistencia, así como la potencia total.

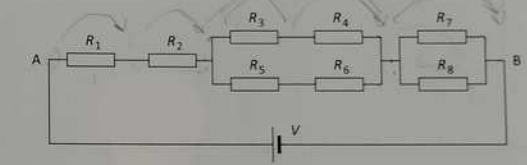


Figura 2.36.

- 2.13. Calcula la resistencia equivalente entre los puntos A y B del circuito dado, sabiendo que $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 3,6 \Omega$, $R_4 = 5 \Omega$, $R_5 = 20 \Omega$, $R_6 = 10 \Omega$ y $R_7 = 20 \Omega$, $V_{AB} = 24 \text{ V}$. Calcula la corriente y la tensión en cada resistencia, así como la potencia total.

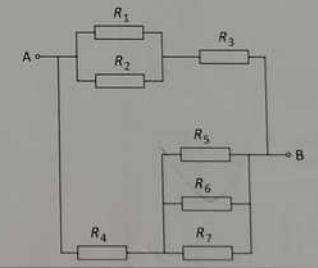


Figura 2.37.

- 2.14. Determina la resistencia comercial del circuito equivalente (código de colores y potencia), sabiendo que $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$ y $R_4 = 15 \text{ k}\Omega$ y está conectada a una fuente de tensión de $E = 24 \text{ V}$. Si la tensión de la fuente sube a 90 V, ¿cuál debe ser la potencia de la resistencia equivalente?

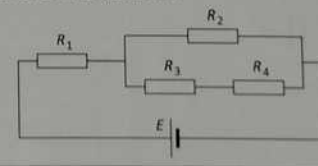


Figura 2.38.

- 2.15. Calcula la bobina equivalente del circuito dado, sabiendo que $L_1 = 8 \text{ H}$, $L_2 = 7 \text{ H}$, $L_3 = 42 \text{ H}$ y $L_4 = 2 \text{ H}$.

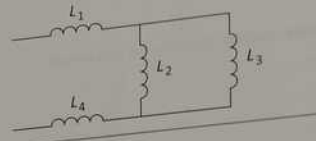


Figura 2.39.

- 2.16. Calcula la bobina equivalente del circuito dado, sabiendo que $L_1 = 7 \text{ H}$, $L_2 = 3 \text{ H}$, $L_3 = 6 \text{ H}$, $L_4 = 4 \text{ H}$, $L_5 = 1 \text{ H}$, $L_6 = 2 \text{ H}$ y $L_7 = 3 \text{ H}$.

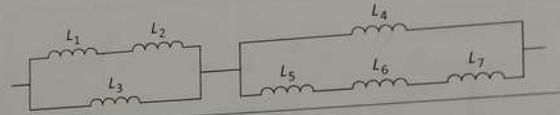


Figura 2.40.

- 2.17. Calcula la capacidad equivalente del circuito dado, sabiendo que $C_1 = 50 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 25 \text{ }\mu\text{F}$, $C_3 = 50 \text{ }\mu\text{F}$ y $C_4 = 10 \text{ }\mu\text{F}$.

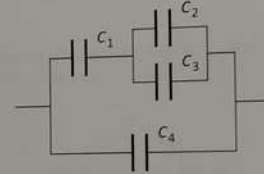


Figura 2.41.

- 2.18. Calcula la capacidad equivalente del circuito dado, sabiendo que $C_1 = 3 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 1 \text{ }\mu\text{F}$, $C_3 = 2 \text{ }\mu\text{F}$, $C_4 = 4 \text{ }\mu\text{F}$, $C_5 = 1 \text{ }\mu\text{F}$, $C_6 = 3 \text{ }\mu\text{F}$ y $C_7 = 5 \text{ }\mu\text{F}$.

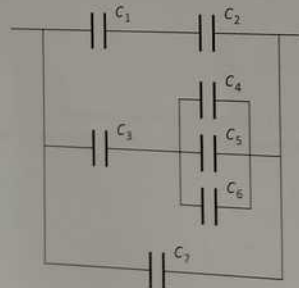


Figura 2.42.

- 2.19. Determina los tiempos de carga y descarga del condensador del circuito dado, sabiendo que $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 220 \text{ k}\Omega$ y $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$.

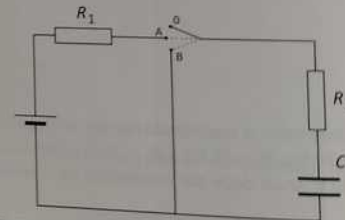


Figura 2.43.

3.1. Cálculo de circuitos eléctricos

A la hora de analizar un circuito eléctrico es necesario conocer sus parámetros eléctricos más importantes, generalmente los valores de tensiones, corrientes y potencias, para a partir de estos, profundizar en otros aspectos, como veremos más adelante, tales como el cálculo de secciones del cableado a emplear, selecciones de los elementos de protección, etcétera.

Un circuito eléctrico responde de diferente manera en función del tipo de onda o de corriente eléctrica, en este caso se aprenderá a calcular circuitos en corriente continua y en corriente alterna senoidal.

Otro aspecto importante a la hora de analizar y calcular los circuitos eléctricos es el régimen de funcionamiento. Existen dos tipos de regímenes: el **régimen transitorio**, que es el que tiene lugar cuando un circuito cambia de estado, por ejemplo de estar desconectado a la red eléctrica a cuando se cierra el interruptor y esta pasa a conectar los receptores eléctricos. Este análisis es muy complejo y no se tratará. El otro estado es el **régimen permanente**, que es cuando el circuito después de cambiar de estado se estabiliza. Este estado es el que se aprenderá a calcular.

3.2. Las leyes de Kirchhoff

Gustav Robert Kirchhoff fue un físico prusiano (Alemania) que aplicando el principio de conservación de la energía, estableció dos leyes que permiten resolver matemáticamente un circuito eléctrico obteniendo la tensión y la corriente en cualquier parte del circuito.

Un circuito eléctrico está compuesto por los siguientes elementos:

- **Nudo.** Es la unión de varios conductores eléctricos en un punto.
- **Rama.** Parte del circuito comprendido entre dos nudos.
- **Lazo.** Es un circuito que puede recorrerse sin pasar dos veces por un mismo punto.
- **Malla.** Lazo sin ninguna parte en su interior.

Actividad resuelta 3.1

Identifica en el circuito eléctrico de la figura, los nudos, las ramas, los lazos y las mallas.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

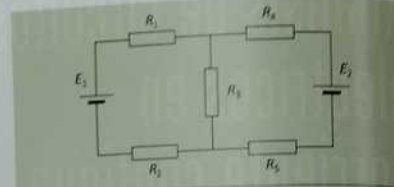


Figura 3.1. Circuito eléctrico.

Solución:

Se identifican dos nudos, tres ramas, tres lazos y dos mallas.

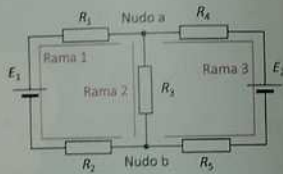


Figura 3.2. Nudos y ramas en el circuito eléctrico.

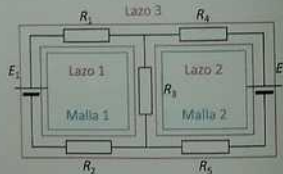


Figura 3.3. Lazos y mallas en el circuito eléctrico.

3.2.1. Primera ley de Kirchhoff

La **primera ley de Kirchhoff** o de las corrientes se centra en los nudos. La suma de las corrientes entrantes en un nudo es igual a la suma de las corrientes salientes:

$$\sum I_{\text{Entrada}} = \sum I_{\text{Salida}}$$

Que es lo mismo que:

$$\sum I = 0$$

Por convención de signos, se consideran positivas las corrientes que entran al nudo y negativas las que salen.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

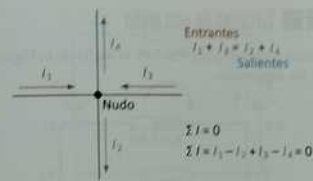


Figura 3.4. Nudo.

Si observamos el ejemplo de la Figura 3.5 podremos entender la regla de los nudos. Se tiene un circuito compuesto por dos resistencias en paralelo conectadas a una fuente de alimentación.

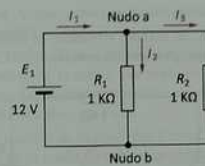


Figura 3.5. Ejemplo de nudo.

Por la ley de Ohm se sabe que la corriente que debe circular por cada rama es de:

$$I_2 = I_3 = \frac{E_1}{R} = \frac{12 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,012 \text{ A} = 12 \text{ mA}$$

De aquí se deduce que la fuente de alimentación debe proporcionar la corriente demandada para cada rama, es decir 24 mA:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 12 \text{ mA} + 12 \text{ mA} = 24 \text{ mA}$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 24 \text{ mA} - 12 \text{ mA} - 12 \text{ mA} = 0$$

En el nudo b ocurre lo contrario:

$$I_2 + I_3 = I_1$$

3.2.2. Segunda ley de Kirchhoff

La **segunda ley de Kirchhoff** o de las tensiones se centra en las mallas. La suma de las fuerzas electromotrices aplicadas en una malla es igual a las caídas de tensión en cada elemento de la malla:

$$\sum E_i = \sum (I_i \cdot R_i)$$

Si se plantea esta ecuación de manera implícita, se obtiene:

$$\sum E_i - \sum (I_i \cdot R_i) = 0$$

Es decir que, la suma de tensiones en un camino cerrado es nula.

Aplicando la segunda ley de Kirchhoff al circuito de la Figura 3.6, se observa que:

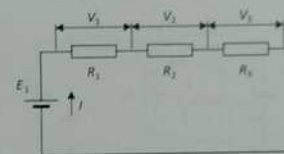


Figura 3.6. Ejemplo de malla.

$$\sum E_i = \sum (R \cdot I)$$

$$\sum E_i - \sum (R \cdot I) = 0$$

$$E_1 = V_1 + V_2 + V_3 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$

3.3. Métodos de resolución

En todos los casos, se trata de establecer una serie de ecuaciones basándonos en las leyes de Kirchhoff aplicadas a los nudos y las mallas del circuito. Se obtiene un sistema de ecuaciones linealmente independientes igual al número de incógnitas.

Para resolver estos sistemas de ecuaciones se pueden emplear los sistemas tradicionales (reducción, igualación o sustitución) y en los más complejos se recomienda la utilización de matrices y resolverlos por Cramer.

3.3.1. Consideraciones

A la hora de plantear las ecuaciones para resolver los circuitos aplicando las reglas de Kirchhoff se ha de tener en cuenta una serie de convenciones:

- Hay que dar un sentido arbitrario a las corrientes eléctricas. Si una vez calculado el resultado de estas corrientes se obtienen valores negativos, significa que el sentido es el inverso al considerado.



Figura 3.17. Sentido de las corrientes.

* Si al plantear las ecuaciones de las mallas, las corrientes coinciden con el sentido de la malla, entonces se consideran positivas y negativas en caso contrario. En la Figura 3.8 se observa que la corriente I_1 coincide con el sentido de la malla 1.

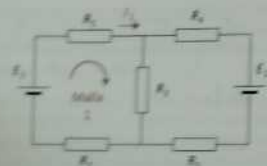


Figura 3.18. Sentido contrario de la corriente con la malla.

* Cuando un elemento es compartido por dos ramas, si el sentido de la corriente coincide con el de la rama se considera positivo y negativo en caso contrario. En la Figura 3.9 se observa que la corriente I_1 coincide con el sentido de la malla 1 pero en la malla 2 es opuesto.

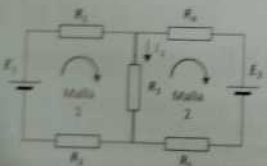


Figura 3.19. Sentido de las corrientes respecto a dos mallas.

* Las fuentes de tensión se pueden comportar como generador (aportan energía al circuito) o como receptor (consumen energía del circuito).

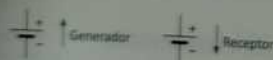


Figura 3.20. Comportamiento de una fuente de tensión.

3.3.2. Método de las corrientes de malla

Veamos cómo aplicar la primera ley de Kirchhoff o de las corrientes a un circuito eléctrico, en primer lugar de una sola malla y posteriormente de varias mallas.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Circuitos de una malla

Los pasos a aplicar para resolver la malla de la Figura 3.11 serían los siguientes:

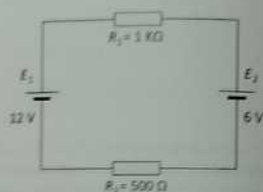


Figura 3.21. Ejemplo de malla.

1. Se indica, de manera arbitraria, el sentido de la malla, por ejemplo sentido horario.

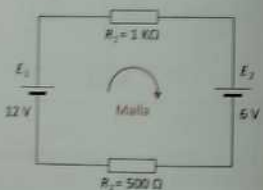


Figura 3.22. Sentido de la malla.

2. Se indica de manera arbitraria el sentido de la corriente.

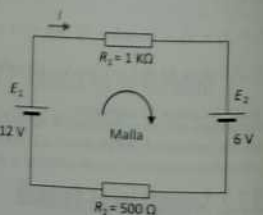


Figura 3.23. Sentido de la corriente.

3. Se indica el sentido en las fuentes de alimentación considerándolas como generadores, es decir se coloca una flecha que entre por el polo negativo y salga por el positivo.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

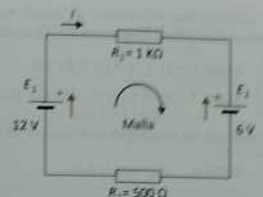


Figura 3.24. Sentido en las fuentes de tensión.

4. Se aplica la regla de Kirchhoff, observando en este caso lo siguiente:

- La fuente de alimentación E_1 coincide con el sentido de la malla, por tanto se considera positiva. Actúa como generador aportando energía al circuito.
- La fuente de alimentación E_2 no coincide con el sentido de la malla, por tanto se considera negativa. Actúa como receptor consumiendo energía del circuito.
- El sentido de la corriente I coincide con el sentido de la malla, por tanto se considera positiva.

Con estas observaciones, la ecuación de esta malla sería:

$$E_1 - E_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$$

Actividad resuelta 3.2

Resuelve la malla de la Figura 3.11 según:

- a) Esos mismos criterios.
- b) Ahora considera que el sentido de la corriente se ha tomado de manera inversa. Plantea los sentidos de las corrientes y resuelve la malla. ¿Qué conclusión obtienes?

Solución:

- a) Con los mismos criterios de los sentidos de la malla y corrientes, se ha obtenido que:

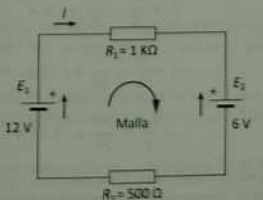


Figura 3.25. Ejercicio de aplicación. Planteamiento A.

$$E_1 - E_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$$

$$12 - 6 = I \cdot (1000 + 500) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = \frac{12 - 6}{1000 + 500} = 0,004 \text{ A} = 4 \text{ mA}$$

b) Si ahora se cambia el sentido de la corriente I , se observa que este es opuesto al sentido de la malla. Por tanto, en el planteamiento se considerará negativo.

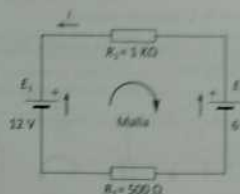


Figura 3.26. Ejercicio de aplicación. Planteamiento B.

$$E_1 - E_2 = -I \cdot (R_1 + R_2)$$

$$12 - 6 = -I \cdot (1000 + 500) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = -\frac{12 - 6}{1000 + 500} = -0,004 \text{ A} = -4 \text{ mA}$$

En este caso el valor de la corriente obtenida es de -4 mA . El signo negativo indica que el sentido real de la corriente es opuesto al considerado.

Circuitos de varias mallas

En el circuito de la Figura 3.17 se observa que está compuesto por los siguientes elementos:

- Nudos: $n = 2$.
- Ramas: $r = 3$.
- Lazos: $l = 3$.
- Mallas: $m = 2$.

En este circuito se observan tres ramas y por tanto se tendrán tres corrientes que serán las incógnitas a calcular. Se necesitan tres ecuaciones linealmente independientes. Dos de ellas se obtienen mediante la segunda ley de Kirchhoff aplicadas a las mallas. La tercera ecuación se obtiene aplicando la primera ley de Kirchhoff a uno de los nudos.

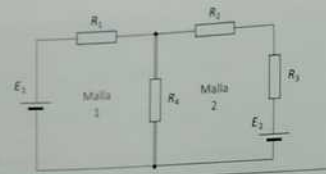


Figura 3.17. Circuito de varias mallas.

Se resuelve de la siguiente manera:

1. Se asigna a cada malla un sentido, por ejemplo el sentido horario.

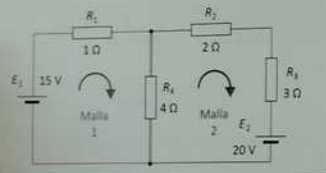


Figura 3.18. Sentido de las mallas.

2. Se asigna de manera arbitraria un sentido a las corrientes de cada rama.

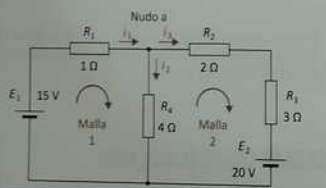


Figura 3.19. Corrientes en los nudos.

3. Se representan los potenciales en cada elemento.

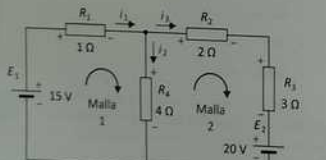


Figura 3.20. Sentido de los potenciales.

4. Se plantean las ecuaciones de malla teniendo en cuenta el sentido de los potenciales en cada elemento.

$$\text{Malla 1: } R_1 i_1 + R_4 i_2 - E_1 = 0$$

$$\text{Malla 2: } R_2 i_3 + R_3 i_3 - R_4 i_2 + E_2 = 0$$

5. Se plantean las relaciones de corriente en el nudo:

$$\text{Nudo a: } i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

6. Se tiene un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$\text{Malla 1: } i_1 + 4 i_2 = 15$$

$$\text{Malla 2: } -4 i_2 + 5 i_3 = -20$$

$$\text{Nudo a: } i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

7. Se resuelve el sistema de ecuaciones por cualquiera de los métodos (sustitución, igualación, reducción o Cramer).

En este caso se va a resolver por el método de Cramer, que se basa en el cálculo de determinantes:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 0 \\ 0 & -4 & 5 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix} = 4 + 20 + 0 - 0 - 5 = 29$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 15 & 4 & 0 \\ -20 & -4 & 5 \\ 0 & -1 & -1 \end{vmatrix} = 60 + 0 + 0 - 0 - 80 + 75 = 55$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 15 & 0 \\ 0 & -20 & 5 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} = 20 + 75 + 0 - 0 - 0 = 95$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 15 \\ 0 & -4 & -20 \\ 1 & -1 & 0 \end{vmatrix} = 0 - 80 + 0 + 60 - 0 - 20 = -40$$

Se obtienen las incógnitas:

$$i_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{55}{29} = 1,9 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{95}{29} = 3,28 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-40}{29} = -1,38 \text{ A}$$

Si alguna corriente tiene signo negativo, significa que el sentido de la misma es contrario al que se había considerado. En este caso el sentido de la corriente i_3 es contrario al considerado.

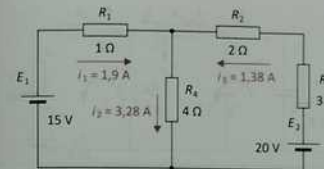


Figura 3.21. Solución.

3.3.3. Método de las tensiones en los nudos

Este método consiste en calcular el potencial que hay en cada nudo del sistema, respecto de un nudo que consideramos con potencial 0. Conocido el potencial del nudo, se calculan las corrientes de cada rama, teniendo en cuenta las posibles fuentes de tensión y resistencias que existieran en dicha rama.

Los pasos para resolver el circuito serían los siguientes:

1. Se selecciona un nudo que se conecta a tierra (se le asigna el potencial 0).

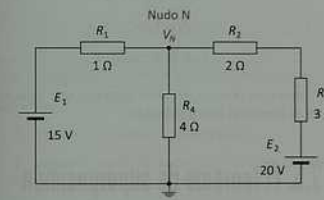


Figura 3.22. Asignación de nudos.

2. Al resto de nudos del circuito les asignamos un número o letra y el potencial correspondiente respecto del nudo 0.

En este caso, solo hay dos nudos, al otro se le asigna la letra N y un potencial V_N , que es el que se debe hallar.

3. A cada rama del circuito se le asigna una corriente con un sentido arbitrario, por ejemplo salientes del nudo.

4. A estos nudos se les aplica la primera ley de Kirchhoff.

Para el nudo N, se tiene que:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

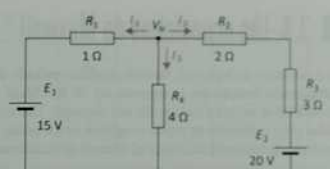


Figura 3.23. Asignación de corrientes.

5. Se considera una fuente de tensión ficticia de valor V entre el nudo N y el de potencial 0, y aplicando la ley de Ohm se obtiene la corriente que circula por esa rama, ignorando en cada caso el resto del circuito.

Así, se obtienen las siguientes expresiones:

$$I_1 = \frac{V_N - E_1}{R_1} = \frac{V_N - 15}{1}$$

$$I_2 = \frac{V_N - E_2}{R_2 + R_3} = \frac{V_N - 20}{5}$$

$$I_3 = \frac{V_N}{R_4} = \frac{V_N}{4}$$

6. Se sustituye en la ecuación de cada nudo los valores de las distintas intensidades y se resuelve:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 &= 0 \\ \frac{V_N - 15}{1} + \frac{V_N - 20}{5} + \frac{V_N}{4} &= 0 \\ 20 V_N - 300 + 4 V_N - 80 + 5 V_N &= 0 \\ 29 V_N - 380 &= 0 \\ V_N &= \frac{380}{29} = 13,10 \text{ V} \end{aligned}$$

7. Una vez calculados los potenciales de los nudos, se sustituyen para obtener las corrientes:

$$I_1 = \frac{V_N - 15}{1} = \frac{13,10 - 15}{1} = -1,9 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V_N - 20}{5} = \frac{13,10 - 20}{5} = -1,38 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_N}{4} = \frac{13,10}{4} = 3,28 \text{ A}$$

Las corrientes de signo negativo significan que su sentido es el contrario al considerado.

3.4. Las ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell, también llamado **método de las mallas**, están basadas en la segunda ley de Kirchhoff. Con este método se asigna a cada malla una corriente. Una vez obtenidas estas corrientes de malla se aplican en los nudos. Con el método de Maxwell se reduce el número de ecuaciones.

En el circuito de la Figura 3.24, que se ha calculado previamente, se tenían tres ecuaciones con tres incógnitas. Si se aplica el método de Maxwell o de las mallas se tienen dos ecuaciones con dos incógnitas (I_A e I_B).

Los pasos para resolver el circuito serían los siguientes:

1. Se asigna un sentido arbitrario para las corrientes de mallas (I_A e I_B), por ejemplo sentido horario.

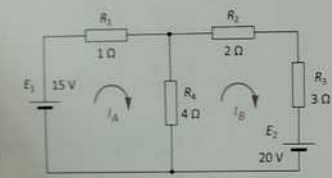


Figura 3.24. Planteamiento de las mallas.

2. Se asigna de manera arbitraria un sentido a las corrientes de cada rama.

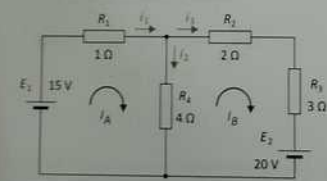


Figura 3.25. Corrientes de ramas.

3. Se representan los potenciales en cada elemento (Figura 3.26).
4. Se plantean las ecuaciones de malla teniendo en cuenta el sentido de los potenciales en cada elemento:

$$\text{Malla A: } R_1 I_A + R_4 (I_A - I_B) - E_1 = 0$$

$$\text{Malla B: } R_2 I_B + R_3 I_B + R_4 (I_B - I_A) + E_2 = 0$$

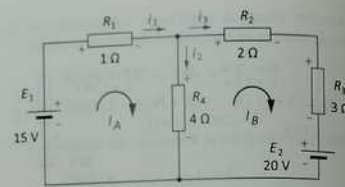


Figura 3.26. Sentido de los potenciales.

5. Se resuelve el sistema de ecuaciones:

$$\text{Malla A: } 5 I_A - 4 I_B - 15 = 0$$

$$\text{Malla B: } -4 I_A + 9 I_B + 20 = 0$$

Obteniendo:

$$I_A = 1,9 \text{ A}$$

$$I_B = -1,38 \text{ A}$$

6. Se obtienen las corrientes de rama:

$$i_1 = I_A = 1,9 \text{ A}$$

$$i_2 = I_A - I_B = 3,28 \text{ A}$$

$$i_3 = I_B = -1,38 \text{ A}$$

Como i_3 es de signo negativo significa que su sentido es el contrario al considerado.

3.5. El teorema de superposición

El teorema de superposición consiste en dividir un circuito eléctrico con varias fuentes (de tensión o de corriente) en tantos circuitos como fuentes tenga y posteriormente sumar todos los efectos (tensiones o corrientes).

Para resolver un circuito utilizando el teorema de superposición, se debe resolver los circuitos resultantes de anulando alternativamente todas las fuentes menos una. La intensidad que circula por el circuito será la suma de las intensidades que circulan por cada una de las ramas de los circuitos en que este se descompone.

Anular una fuente de tensión consiste en cortocircuitarla. Anular una fuente de corriente consiste en dejarla a circuito abierto.

El teorema de superposición se aplica a circuitos lineales, es decir cuya relación tensión-corriente es lineal.

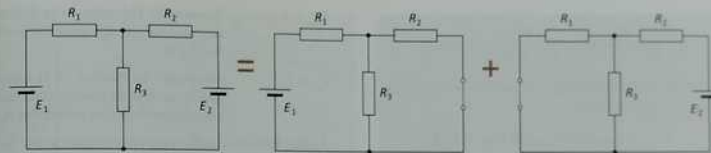


Figura 3.27. Teorema de superposición.

Actividad resuelta 3.3

Resuelve el circuito dado en la Figura 3.28 en los siguientes casos:

- a) Sin aplicar el teorema de superposición.
- b) Aplicando el teorema de superposición.

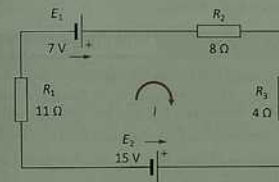


Figura 3.28. Ejercicio de aplicación del teorema de superposición.

Solución:

- a) Sin aplicar el teorema de superposición.

Se asigna el sentido de la corriente de manera arbitraria y se calcula por medio de la ley de Ohm.

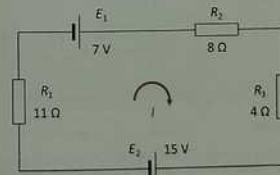


Figura 3.29. Ejercicio de aplicación del teorema de superposición. Con todas las fuentes.

Como el sentido de i_1 coincide con la corriente I , su signo es positivo, en cambio i_2 es opuesto y por ello negativo:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{7 - 15}{11 + 8 + 4} = -0,35 \text{ A}$$

El signo negativo de la corriente obtenida significa que su sentido es el opuesto.

- b) Aplicando el teorema de superposición.

Primero se asigna el sentido de la corriente a la malla de forma arbitraria, en este caso dejamos el mismo sentido que el considerado anteriormente. A continuación, se deja solo una de las fuentes de tensión, eliminando (cortocircuitando) las demás y se calcula su corriente por medio de la ley de Ohm.

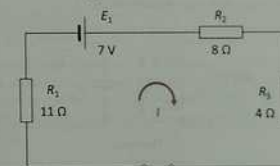


Figura 3.30. Ejercicio de aplicación del teorema de superposición. Solo la fuente de tensión 1.

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{7}{11 + 8 + 4} = 0,30 \text{ A}$$

Una vez obtenida la corriente, se procede de idéntica manera con la siguiente fuente.

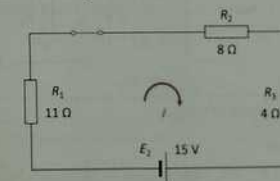


Figura 3.31. Ejercicio de aplicación del teorema de superposición. Solo la fuente de tensión 2.

$$I_2 = \frac{E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{-15}{11 + 8 + 4} = -0,65 \text{ A}$$

Sumando el efecto de todas las fuentes se obtiene la corriente total, siendo de:

$$I = I_1 + I_2 = 0,30 + (-0,65) = -0,35 \text{ A}$$

Se observa que ambas corrientes coinciden, quedando demostrado el teorema de superposición.

3.6. Los teoremas de Thévenin y Norton

Son dos teoremas básicos del análisis de circuitos, que están relacionados, siendo, en definitiva, dos formas de ver lo mismo. Su enunciado es el siguiente:

Teorema de Thévenin. Toda red de dos terminales es equivalente a un circuito formado por una fuente de tensión (V_{TH}) en serie con una resistencia (R_{TH}).



Figura 3.32. Teorema de Thévenin.

Teorema de Norton. Toda red de dos terminales es equivalente a un circuito formado por una fuente de intensidad en paralelo con una resistencia.

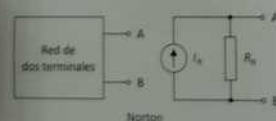


Figura 3.33. Teorema de Norton.

Donde:

$R_{TH} = R_{TN} = R_N$ Resistencias de Thévenin y Norton, es la resistencia equivalente que presenta la red desde los terminales A y B, anulando las fuentes.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

$$V_{AB} = V_{TH}$$

Tensión de Thévenin, es la diferencia de potencial que hay entre los terminales A y B.

$$I_{AB} = I_N$$

Intensidad de Norton, es la corriente que recorrería un cortocircuito que se estableciese entre los terminales A y B.

Ambos teoremas están relacionados entre sí por la Ley de Ohm, siendo la resistencia de los dos circuitos la misma:

$$V_{TH} = I_N \cdot R_N \quad I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}}$$

$$R_{TH} = R_N = \frac{V_{TH}}{I_N}$$

La obtención de los circuitos equivalentes pasa por tanto por la obtención de la V_{TH} y la resistencia equivalente desde los terminales A y B ($R_{TH} = R_N$). Para ello, se debe resolver el circuito por cualquiera de los métodos conocidos y hallarlas de modo teórico.

Actividad resuelta 3.4

Halla el circuito equivalente de Thévenin y Norton entre los puntos A y B. Calcula, además, la potencia de una resistencia conectada entre A y B en los siguientes casos:

- Resistencia de valor igual a la resistencia de Thévenin.
- Resistencia de valor igual a la mitad de la resistencia de Thévenin.
- Resistencia de valor igual al doble de la resistencia de Thévenin.

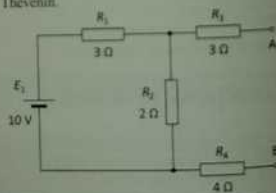


Figura 3.34. Ejercicio de aplicación del teorema de Thévenin y Norton.

Solución:

Para este circuito, la tensión de Thévenin (V_{TH}) es la diferencia de potencial que existe entre los puntos A y B. Como entre A y B no circula ninguna corriente por ser un circuito abierto, la tensión V_{AB} es la misma que existe en bornes de la resistencia R_3 . Esta tensión viene determinada por:

$$V_{AB} = I \cdot R_3$$

Por tanto, se debe calcular en primer lugar la corriente que circula por esta resistencia.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

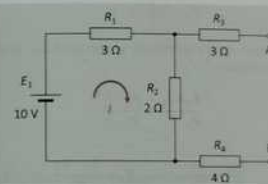


Figura 3.35. Ejercicio de aplicación. Cálculo de la corriente.

Aplicando la ley de Ohm, se tiene que:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E_1}{R_1 + R_2} = \frac{10}{3 + 2} = 2 \text{ A}$$

Por tanto:

$$V_{R2} = I \cdot R_2 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ V}$$

$$V_{TH} = V_{AB} = 4 \text{ V}$$

En este caso, también se podría haber calculado considerando que el circuito es un divisor de tensión:

$$V_{R2} = E_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{2}{3 + 2} = 4 \text{ V}$$

Se calcula ahora la resistencia equivalente de Thévenin, para ello se anulan las fuentes (las fuentes de tensión se cortocircuitan).

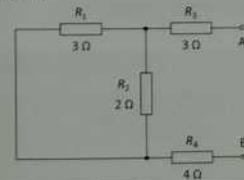


Figura 3.36. Ejercicio de aplicación. Cálculo de R_{TH} .

Simplificando el circuito (obteniendo el paralelo de R_1 y R_2 y realizando el circuito serie de esta con R_3 y R_4), se obtiene que:

$$R_{TH} = (R_1 || R_2) + R_3 + R_4$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4$$

$$R_{TH} = \frac{3 \cdot 2}{3 + 2} + 3 + 4 = 8,2 \Omega$$

Con estos ya se tiene el circuito equivalente de Thévenin:

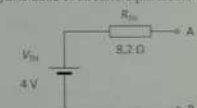


Figura 3.37. Ejercicio de aplicación. Circuito equivalente de Thévenin.

Para el circuito de Norton, se tiene que:

$$R_{TH} = R_N = 8,2 \Omega$$

$$I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}} = \frac{4}{8,2} = 0,49 \text{ A}$$

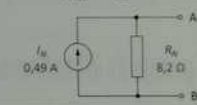


Figura 3.38. Ejercicio de aplicación. Circuito equivalente de Norton.

Conectamos una resistencia R , a la conexión Thévenin. Se asigna un sentido arbitrario. Esta intensidad I no tiene por qué valer lo mismo que la intensidad I hallada al principio del problema, ya que esta depende del valor de la resistencia.

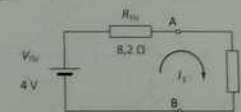


Figura 3.39. Ejercicio de aplicación. Con carga.

La relación que se establece es:

$$V_{TH} = I \cdot R_{TH} + I \cdot R = I \cdot (R_{TH} + R)$$

$$I = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R}$$

Si la resistencia de carga es del mismo valor que la resistencia de Thévenin, se tiene que:

- Si: $R = R_{TH} = 8,2 \Omega$:

$$I = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R} = \frac{4}{8,2 + 8,2} = 0,24 \text{ A}$$

Con una tensión de:

$$V_R = I_1 \cdot R = 0,24 \cdot 8,2 = 2 \text{ V}$$

Disipando una potencia de:

$$P_R = V_R \cdot I_1 = 2 \cdot 0,24 = 0,49 \text{ W}$$

• Si: $R = R_{TH} / 2 = 4,1 \Omega$:

$$I_1 = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R} = \frac{4}{8,2 + 4,1} = 0,32 \text{ A}$$

Con una tensión de:

$$V_R = I_1 \cdot R = 0,32 \cdot 4,1 = 1,33 \text{ V}$$

Disipando una potencia de:

$$P_R = V_R \cdot I_1 = 1,33 \cdot 0,32 = 0,43 \text{ W}$$

3.7. El puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone es un circuito que se emplea para medir resistencias de una manera rápida y precisa. Consiste en emplear dos resistencias fijas (R_1 y R_2) y conocidas, una resistencia variable (R_3) y la resistencia a medir (R_x).

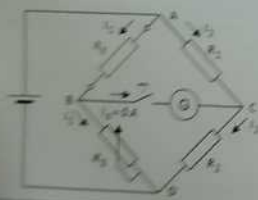


Figura 3.40. El puente de Wheatstone.

La resistencia variable (R_3) se muestra sobre una escala, de tal forma que se puede obtener un valor idéntico en cualquier momento. Cuando se cierra el interruptor, el circuito está equilibrado y el galvanómetro muestra un valor cero. Se trata de variar el valor de la resistencia variable (R_3) hasta conseguir que el galvanómetro muestre cero. En ese momento el circuito está en equilibrio y por aplicación de la segunda ley de Kirchhoff a las mallas formadas se consigue que:

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

$$R_3 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

Dividiendo estas expresiones se consigue que se eliminen las corrientes:

$$\frac{R_3 \cdot I_1}{R_1 \cdot I_1} = \frac{R_2 \cdot I_2}{R_1 \cdot I_2}$$

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_2}{R_2} \rightarrow R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2}$$

La ventaja del empleo de circuitos puente para determinar el valor de resistencias consiste en que no interviene en las expresiones el valor de la tensión de la fuente de alimentación.

Saber más

El puente de Wheatstone es el circuito puente más conocido, pero hay varios tipos más como el puente Thomson, el puente hilo, etcétera.

Actividad resuelta 3.5

Se tiene un puente de Wheatstone con resistencias de los siguientes valores: $R_1 = 100 \Omega$ y $R_2 = 50 \Omega$. Cuando el amperímetro marca cero, la resistencia R_3 vale 20Ω . ¿Cuál es el valor de la resistencia desconocida R_x ?

Solución:

Aplicando la relación, se obtiene que:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2} = \frac{100 \cdot 20}{50} = 40 \Omega$$

3.8. Transformaciones triángulo-estrella y estrella-triángulo

Una combinación de resistencias en combinación triángulo se puede transformar en la combinación estrella y viceversa. Estas transformaciones facilitan el cálculo para obtener la resistencia equivalente en un circuito.

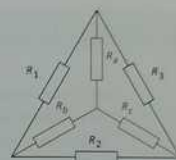


Figura 3.41. Transformación de triángulo a estrella.

Las ecuaciones que corresponden a estas transformaciones son:

• De triángulo a estrella:

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_b = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_c = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

• De estrella a triángulo:

$$R_1 = \frac{R_a \cdot R_b + R_b \cdot R_c + R_a \cdot R_c}{R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_a \cdot R_b + R_b \cdot R_c + R_a \cdot R_c}{R_a}$$

$$R_3 = \frac{R_a \cdot R_b + R_b \cdot R_c + R_a \cdot R_c}{R_b}$$

Actividad resuelta 3.6

Obtén la resistencia equivalente del circuito de la Figura 3.42.

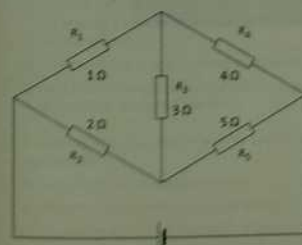


Figura 3.42. Circuito.

Solución:

El circuito está formado por dos combinaciones de triángulos. Se puede transformar una de ellas a estrella.

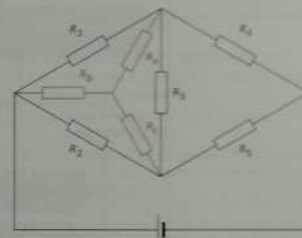


Figura 3.43. Transformación triángulo-estrella.

Se aplican las ecuaciones:

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1 \cdot 3}{1 + 2 + 3} = \frac{1}{2} \Omega$$

$$R_b = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2 + 3} = \frac{1}{3} \Omega$$

$$R_c = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 1 \Omega$$

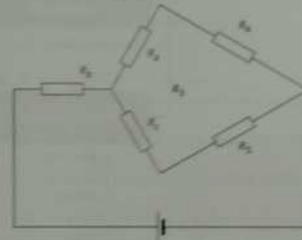


Figura 3.44. Equivalencia.

Con la combinación obtenida, ya es fácil obtener la resistencia total, calculando la combinación serie de R_a con R_b y R_c con R_c . Se obtiene el paralelo de estas y por último el circuito serie con R_c .

El valor de la resistencia equivalente es de:

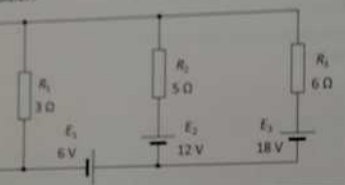
$$R = \frac{61}{23} = 2,9 \Omega$$

Actividades de comprobación

- 3.1. Una malla se define como:
- a) Es un circuito abierto.
 - b) Es un circuito cerrado.
 - c) Es un circuito que puede recorrerse sin pasar dos veces por un mismo punto.
 - d) Es un circuito que puede recorrerse pasando n veces por un mismo punto.
- 3.2. En un nudo:
- a) La suma de las corrientes que entran más las corrientes que salen es igual a 0.
 - b) La suma de las corrientes que entran menos las corrientes que salen es igual a 0.
 - c) El producto de las tensiones que entran es igual al producto de las tensiones que salen.
 - d) El producto de las tensiones que entran menos el producto de las tensiones que salen es siempre 0.
- 3.3. Por convención de signos, las corrientes respecto a un nudo se consideran:
- a) Negativas si salen.
 - b) Positivas si salen.
 - c) Negativas si entran.
 - d) No hay ningún criterio.
- 3.4. Según la segunda ley de Kirchhoff:
- a) La suma de las fuerzas electromotrices en una malla más las caídas de tensión en cada elemento es igual a 0.
 - b) La suma de las fuerzas electromotrices en una malla es igual a la suma de las caídas de tensión en cada elemento.
 - c) La suma de las corrientes en un nudo es igual a 0.
 - d) La suma de las corrientes que entran es igual a la suma de las corrientes que salen.
- 3.5. Si el sentido de una corriente es de valor negativo, significa que:
- a) La corriente no puede ser negativa.
 - b) El sentido es el contrario al considerado.
 - c) Es posible solo cuando se aplica el teorema de superposición ya que posteriormente al sumarse con los otros efectos su resultado final será positivo.
 - d) Son errores de decimales y se redondea a 0.
- 3.6. Si en una fuente de tensión la corriente entra por el polo positivo:
- a) La fuente proporciona energía al sistema.
 - b) La fuente absorbe energía al sistema, comportándose como un generador.
 - c) La fuente absorbe energía al sistema, comportándose como un receptor.
 - d) Toda fuente de tensión genera una energía que es aprovechada por el resto de elementos que componen el circuito.
- 3.7. El teorema de superposición consiste en descomponer un circuito en:
- a) Función de sus elementos pasivos.
 - b) Función de sus ramas y luego sumar sus efectos.
 - c) Función de sus ramas y luego sumar sus corrientes.
 - d) Función de sus fuentes y luego sumar sus efectos.
- 3.8. En el teorema de superposición, eliminar una fuente de tensión consiste en:
- a) No se puede eliminar una fuente de tensión de un circuito puesto que entonces varía este y sus resultados finales.
 - b) Invertir su polaridad.
 - c) Dejarla a circuito abierto.
 - d) Dejarla a cortocircuito.
- 3.9. El teorema de Thévenin consiste en:
- a) Un circuito serie con la resistencia y la fuente de tensión.
 - b) Un circuito paralelo con la resistencia y la fuente de corriente.
 - c) Un circuito serie con la resistencia y la fuente de corriente.
 - d) Un circuito paralelo con la resistencia y la fuente de tensión.
- 3.10. El teorema de Norton consiste en:
- a) Un circuito serie con la resistencia y la fuente de tensión.
 - b) Un circuito paralelo con la resistencia y la fuente de corriente.
 - c) Un circuito serie con la resistencia y la fuente de corriente.
 - d) Un circuito paralelo con la resistencia y la fuente de tensión.

el circuito de la figura en los siguientes casos:

- Aplicando el método de los nudos.
- Calcula el circuito equivalente de Thévenin y Norton en los puntos A y B.



Ejercicio de aplicación.

el circuito de la figura en los siguientes casos:

- Aplicando el método de los nudos.
- Calcula el circuito equivalente de Thévenin y Norton en los puntos A y B.

well.

sición.

- 3.14. Calcula las corrientes de cada rama del circuito de la figura.

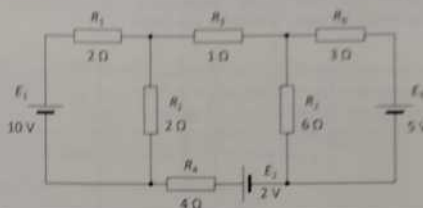
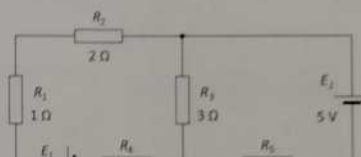


Figura 3.14. Ejercicio de aplicación.

- 3.15. Calcula las corrientes de cada rama del circuito de la figura.



corriente alterna es:
del tiempo.
tiempo.
a lo largo del tiempo.
nte a lo largo del tiem-
50 Hz es de:

- 4.6. En una bobina ideal conectada a una red de alimentación monofásica, el desfase de la tensión y la corriente es de:
- No se produce ningún tipo de desfase.
 - Un retraso de la corriente respecto a la tensión de 90° .
 - Un adelanto de la tensión respecto a la tensión de 90° .
 - Un desfase entre ambos de 180° .
- 4.7. En un sistema conectado a una red alterna donde predomina el efecto inductivo:
- La potencia reactiva es nula.
 - La potencia aparente es igual a la potencia activa.
 - La potencia aparente es mayor a la potencia activa.
 - La potencia aparente es menor a la potencia activa.
- 4.8. Un sistema eléctrico es más eficiente cuando:

Actividades de aplicación

- 4.12. En la pantalla del osciloscopio se muestra la señal de la figura. Determina los parámetros característicos del valor máximo, eficaz, periodo y su frecuencia.

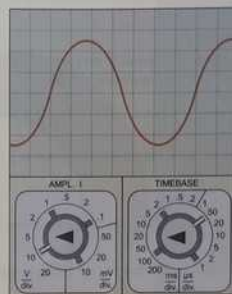


Figura 4.86. Señal visualizada en el osciloscopio.

ACTIVIDADES FINALES

4. LA CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

4.17. Sea un circuito RLC serie formado por $R = 0,5 \text{ k}\Omega$, $L = 0,8 \text{ H}$ y $C = 50 \text{ }\mu\text{F}$, conectado a una fuente de alimentación de $V = 230 \text{ V}$ a 50 Hz . Determina:

- Triángulo de impedancia, expresando su valor en forma compleja y polar.
- Intensidad.
- Triángulo de tensiones.
- Factor de potencia y triángulo de potencias. Expresa la potencia en forma compleja y polar.
- Frecuencia de resonancia del circuito.
- Capacidad del condensador que debemos conectar en paralelo con el circuito inicial si queremos corregir el factor de potencia a 0,98.

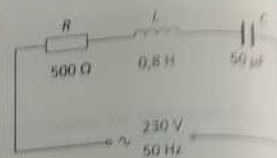


Figura 4.89.

4.18. Sea un circuito RLC serie formado por $R = 30 \text{ }\Omega$, $L = 500 \text{ mH}$ y $C = 50 \text{ }\mu\text{F}$, conectado a una fuente de alimentación de 200 V a 50 Hz . Determina:

- Triángulo de impedancia, expresando su valor en forma compleja y polar.
- Intensidad.
- Triángulo de tensiones.
- Factor de potencia y triángulo de potencias. Expresa la potencia en forma compleja y polar.
- Frecuencia de resonancia del circuito.
- Capacidad del condensador que debemos conectar en paralelo con el circuito inicial si queremos corregir el factor de potencia a 0,90.

4.19. Un equipo de alumbrado tiene una potencia de 1800 W , con un factor de potencia de 0,68, estando conectado a una fuente de alimentación de 230 V . Calcula la intensidad, la impedancia, la potencia activa, reactiva y aparente, y la capacidad.

Comprobación

magnética es aquel que:
con el polo sur:
magnéticos están alineados.
a otras sustancias situadas en
to, el material adquiere capaci-
sifican según sus propiedades

paramagnéticos.
paramagnéticos y diamagnéti-
paramagnéticos, diamagnéticos

- 5.6. La fuerza magnetomotriz:
- Se representa por la letra \mathcal{F} y su unidad es el amperio-vuelta.
 - Se representa por la letra \mathcal{F} y su unidad es el newton-vuelta.
 - Se representa por la letra M y su unidad es el amperio-vuelta.
 - Se representa por la letra M y su unidad es el newton-vuelta.

- 5.7. La intensidad de campo magnético:
- Se representa por la letra ϕ y su unidad es el weber.
 - Se representa por la letra B y su unidad el tesla.
 - Se representa por la letra R y su unidad es el amperio-vuelta/weber.
 - Se representa por la letra H y su unidad es el amperio-vuelta/metro.

- 5.11. Mediante el ensayo en vacío del transformador se obtiene:
- Las pérdidas en el hierro.
 - Las pérdidas en el cobre.
 - Las pérdidas totales.
 - La tensión máxima en el secundario.
- 5.12. Mediante el ensayo en cortocircuito del transformador se obtiene:
- Las pérdidas en el hierro.
 - Las pérdidas en el cobre.
 - Las pérdidas totales.
 - La tensión máxima en el secundario.

Actividades de aplicación

- 5.13. ¿Cuál es la reluctancia del núcleo de una bobina 1400 espiras por la que circula una corriente de 5 A creando un flujo magnético de 14 mWb?
- 5.14. Por una bobina de 25 cm de longitud y 1500 espiras con núcleo al aire circula una corriente de 10 A. Calcula la intensidad de campo magnético y la inducción en el interior del campo magnético.
- 5.15. Una bobina con núcleo al aire de forma toroidal con una longitud de 40 cm y de radio 2 cm está formada por 250 espiras y es recorrida por una corriente de 2,4 amperios. Determina la inducción magnética en el interior del núcleo y el flujo magnético.
- 5.16. Calcula el coeficiente de autoinducción para una bobina de 3600 espiras que es recorrida por una corriente de 8 A, que

Actividades de comprobación

- 6.1. Las ventajas de los sistemas trifásicos son:
- Son sistemas de doble tensión.
 - La potencia suministrada es más uniforme.
 - Hay una reducción del cableado frente a los sistemas monofásicos.
 - Todas las anteriores son ciertas.
- 6.2. La tensión de fase es:
- El voltaje que hay entre fase y neutro.
 - El voltaje que hay entre dos fases cualesquiera.
 - El voltaje que hay entre neutro y la toma de tierra.
 - El voltaje que hay entre las masas metálicas y la toma de tierra.
- 6.3. La tensión compuesta es:
- El voltaje que hay entre fase y neutro.
 - El voltaje que hay entre dos fases cualesquiera.
 - El voltaje que hay entre neutro y la toma de tierra.
 - El voltaje que hay entre las masas metálicas y la toma de tierra.
- 6.4. La tensión compuesta es:
- El voltaje que hay entre fase y neutro.
 - El voltaje que hay entre dos fases cualesquiera.
 - El voltaje que hay entre neutro y la toma de tierra.
 - El voltaje que hay entre las masas metálicas y la toma de tierra.
- 6.5. La tensión compuesta es:
- El voltaje que hay entre fase y neutro.
 - El voltaje que hay entre dos fases cualesquiera.
 - El voltaje que hay entre neutro y la toma de tierra.
 - El voltaje que hay entre las masas metálicas y la toma de tierra.
- 6.6. La tensión compuesta es:
- El voltaje que hay entre fase y neutro.
 - El voltaje que hay entre dos fases cualesquiera.
 - El voltaje que hay entre neutro y la toma de tierra.
 - El voltaje que hay entre las masas metálicas y la toma de tierra.
- 6.7. Los condensadores que forman una batería trifásica están sometidos a una tensión de:
- Si la conexión es en triángulo, entonces están sometidos a la mayor tensión de la red.
 - Si la conexión es en estrella, entonces están sometidos a la mayor tensión de la red.
 - La batería de condensadores solo se puede conectar en monofásica.
 - Internamente, al estar conectados a neutro, la tensión entre todos sus bornes es cero.
- 6.8. ¿En qué esquema de distribución, un punto de alimentación se conecta directamente a tierra y todas las masas o partes conductoras accesibles de la instalación eléctrica receptora se conectan a una toma de tierra independiente?

formado por tres resistencias de 80Ω . Calcula la potencia que consume si se conecta a un sistema trifásico en estrella y en triángulo.

Característica: tensión nominal $230 \text{ V}/400 \text{ V}$, $\cos \varphi = 0,87$, rendimiento $0,80$, potencia a una red trifásica de 400 V . Determina el tipo de conexión posible, las intensidades de fase y de línea.

Característica: tensión nominal $400 \text{ V}/690 \text{ V}$, $\cos \varphi = 0,88$, rendimiento $0,85$, potencia a una red trifásica de 400 V . Determina el tipo de conexión posible, las intensidades de fase y de línea.

Calcula los siguientes valores en los conductores de fase:

$$I_{L1} = 25 \text{ A} \quad \cos \varphi_{L1} = 0,6$$

$$I_{L2} = 10 \text{ A} \quad \cos \varphi_{L2} = 0,74$$

Hay una carga de impedancia $\vec{Z} = 80 + j10 \Omega$.

Calcula la potencia total, suponiendo que todas las cargas están conectadas en estrella y el factor de potencia total.

6.18. Los receptores de una instalación industrial se conectan a una red trifásica de 400 V , con las siguientes características:

Receptor	$P_s (\text{kW})$	Rendimiento	$\cos \varphi$	Conexión
Motor M1	5	0,91	0,82	Δ
Motor M2	7,5	0,87	0,84	Y
Calefacción	4	1	1	Δ
Lámparas	$0,25 \times 36$	1	0,62	Y

Calcula para cada receptor:

- Corrientes y tensión de fase y de línea.
- Potencias activas, reactivas y aparentes.

Calcula para el conjunto:

- Corriente.
- Factor de potencia.
- Batería de condensadores para mejorar el factor de potencia a $0,90$ tanto en conexión en estrella como en triángulo.
- Corriente con el factor de potencia mejorado.

6.19. Los receptores de una instalación industrial se conectan a una red trifásica de 400 V , con las siguientes características:

