


01

La electricidad y el circuito eléctrico



En esta ilustración puedes ver la jaula de Faraday, que tiene la propiedad de aislar su interior de la influencia de los campos electromagnéticos exteriores y se utiliza para poder reproducir y estudiar varios fenómenos eléctricos y electromagnéticos. Estudiaremos estos fenómenos a lo largo de las primeras unidades. Gracias a la jaula de Faraday se han realizado grandes avances en el mundo de la electricidad.



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.1 La electrotecnia, una materia nueva

▶ 1.1 La electrotecnia, una materia nueva

Los rayos que caen sobre la tierra los días de tormenta fueron los primeros efectos eléctricos que contempló el ser humano, pero tuvieron que pasar muchos siglos, casi hasta el inicio del siglo xx, hasta que se pudo dar una explicación científica a aquel hecho.

Primero fueron los griegos y más tarde los científicos del siglo xvii los que comenzaron a plantearse las causas de los fenómenos eléctricos. Así, a medida que se fueron comprendiendo, se establecieron las bases para la creación de la ciencia que los estudia: la electrotecnia.



La **electrotecnia**, por lo tanto, es una parte de la técnica que trata de la aplicación práctica de los fenómenos eléctricos y magnéticos y de las relaciones existentes entre ellos.

A partir de estos conocimientos serán múltiples las aplicaciones que se fundamenten en sus principios: luz, calor, informática, etc. Por lo tanto, es evidente la importancia que hoy día tiene la electrotecnia en nuestra sociedad, y esta es una de las razones por las que los alumnos de bachillerato tenéis la oportunidad de adentraros en su conocimiento.



Fig. 1.1. Thomas Alba Edison (1847-1931).

1600. **William Gilbert** emplea la palabra electricidad por primera vez y publica la obra *De Magnete* en la que expone, por primera vez, la teoría del magnetismo terrestre.
1672. **Otto von Guericke** construye la primera máquina electrostática para producir cargas eléctricas.
1745. **Pieter van Musschenbroek** y **Ewald Georg von Kleist** inventan el primer condensador o ampolla de Leyden.
1785. **Charles Augustin de Coulomb** obtiene la ley que rige las atracciones y repulsiones entre cargas eléctricas.
1800. **Alessandro Volta** construye la pila eléctrica denominada *galvánica*.
1826. **Georg Simon Ohm** estudia la conducción eléctrica en los metales y formula la ley que relaciona las tres magnitudes más importantes: voltaje, intensidad y resistencia.
1827. **André-Marie Ampère** estudia la acción entre el imán y las corrientes eléctricas y formula las leyes básicas del electromagnetismo.
1831. **Michael Faraday** descubre la inducción electromagnética.

1845. **Gustav Robert Kirchhoff** formula las leyes de nudos y mallas que posteriormente permitirán resolver circuitos complejos.
1868. **James Clerk Maxwell** formula el fundamento teórico del electromagnetismo.
1879. **Thomas Alba Edison** inventa la lámpara de filamento de grafito y desarrolla el alumbrado eléctrico.
1882. **Lucian Gaulard** y **John Dixon** inventan el transformador.
1884. **Heinrich Hertz** demuestra que la electricidad se puede transmitir en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz.
1887. **Mijail Osipovich Dolivo-Dobrowolski** desarrolla el sistema de corriente trifásica.
1895. **Wihelm Conrad Röntgen** descubre la descarga eléctrica en gases enrarecidos y los rayos X.
1897. **Joseph John Thomsom** estudia las propiedades de la materia en relación con la electricidad y descubre el electrón como partícula constituyente.

Cuadro 1.1. En esta cronología puedes ver una relación de los descubrimientos e inventos más importantes en la configuración de la ciencia que se ha llamado electrotecnia. La mayoría los estudiaremos a lo largo de este curso.

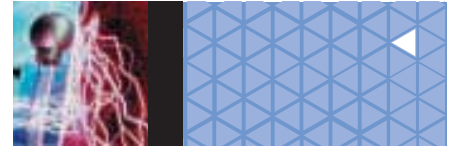


Actividades

1> ¿De qué descubrimientos o inventos del cuadro 1.1 has oído hablar alguna vez? ¿Cuáles has estudiado?

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.2 Naturaleza de la electricidad



1.2 Naturaleza de la electricidad

¿Qué es la electricidad? ¿Cómo se produce? ¿Cuál es su naturaleza? Intentaremos responder a todas estas preguntas en esta Unidad. El **átomo** será el elemento base de todo el proceso; por eso hay que comenzar con el estudio de su estructura.

En la naturaleza encontramos 107 elementos o cuerpos simples diferentes, que se encuentran reflejados en la tabla periódica. El átomo es la parte más pequeña de estos elementos, sin que se pierdan, sin embargo, sus propiedades físicas y químicas.



■ www.simbologia-electronica.com
■ www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/electromagnet.htm

A. Estructura de los átomos

Como ya sabes, la palabra *átomo* significa en griego indivisible, y así se consideró durante mucho tiempo. Posteriormente, los trabajos de Rutherford, Bohr y otros investigadores revelaron que está formado por partículas subatómicas mucho más pequeñas, como los electrones, los protones, los neutrones, los positrones, los mesones, los neutrinos, los antiprotones, etc. Centremos nuestra atención en los tres primeros (figura 1.2).

- **Electrones:** giran a gran velocidad alrededor del núcleo describiendo órbitas elípticas y se mantienen en estas órbitas gracias a la energía de atracción del núcleo. A diferencia del sistema planetario, esta fuerza no es gravitatoria sino eléctrica. La carga eléctrica de los electrones es negativa y su masa es de $9,1091 \cdot 10^{-31}$ kg.
- **Protones:** forman el núcleo del átomo. El valor absoluto de su carga eléctrica es igual a la del electrón pero positiva. Su masa es 1 836,11 veces superior a la del electrón.
- **Neutrones:** son partículas elementales sin carga, situadas en el núcleo del átomo y con una masa aproximadamente igual a la del protón.

Cada átomo tiene el mismo número de electrones que de protones. Si la carga del electrón es igual que la del protón, podemos considerar el átomo eléctricamente neutro.

Los electrones, en su recorrido orbital, están sometidos a la fuerza de atracción del campo eléctrico del núcleo y a la fuerza de repulsión de los electrones de las capas inferiores (energía potencial). Además, a causa de su velocidad, tienen también energía cinética. Si sumamos estas dos energías, obtenemos la energía total del electrón en una determinada órbita o capa.

Cuanto más alejados estén los electrones del núcleo, más pequeña será la fuerza de atracción de este núcleo y, por lo tanto, más pequeña será la energía que le debemos suministrar para vencer la fuerza de atracción y hacer que salte de la última capa o capa periférica.

El átomo, al perder un electrón, queda instantáneamente sin equilibrio eléctrico, ya que el número de protones es superior al de electrones. En este caso, diremos que el átomo quedará cargado positivamente y se convertirá en un **ión positivo** o **catión**. Si, en el caso contrario, un átomo captura un electrón, quedará cargado negativamente y se convertirá en un **ión negativo** o **anión**.

B. Cargas electrostáticas

Casi seguro que en cursos anteriores has realizado el experimento de frotar tu bolígrafo con un paño para ver cómo después atraía pequeños trozos de papel. Este fenómeno es un fenómeno electrostático, observado por el griego **Tales de Mileto** en el siglo VII a.C., cuando comprobó que al frotar un trozo de ámbar con un paño de lana, éste, de manera prodigiosa, atraía pequeñas plumas, pequeñas pajas, etcétera.

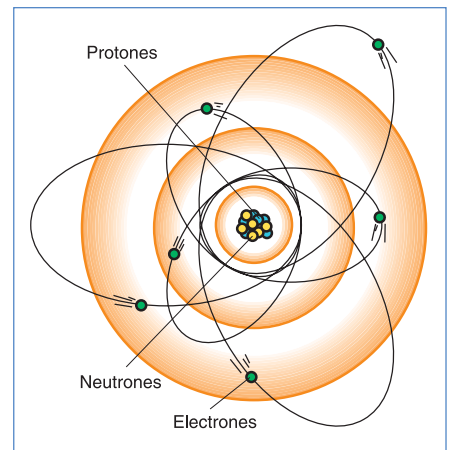


Fig. 1.2. Átomo de carbono.



El nombre de *electricidad* deriva del nombre griego del ámbar (*elektron*).



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.2 Naturaleza de la electricidad



La carga eléctrica (Q) de un cuerpo depende del número de electrones que tiene de más o de menos. Como la carga del electrón es muy pequeña, se define en el SI como una unidad de carga que es el **culombio (C)**, que equivale a $6,24 \cdot 10^{18}$ electrones; es decir, un electrón tiene una carga de:

$$-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Como la unidad de carga es una unidad muy grande se utilizan sus submúltiplos:

- 1 mC = 10^{-3} C
- 1 μ C = 10^{-6} C
- 1 nC = 10^{-9} C
- 1 pC = 10^{-12} C

Realicemos el siguiente experimento: frotemos enérgicamente dos barras de vidrio con un trozo de seda, colgamos una de un soporte y le acercamos la otra. Observaremos que las dos barras se repelen (figura 1.3).

Si tomamos ahora una barra de ebonita (resina artificial) o de ámbar, la frotamos con una piel de gato o con un paño de lana y lo acercamos a la barra de vidrio colgada, observaremos que las dos se atraen (figura 1.4).

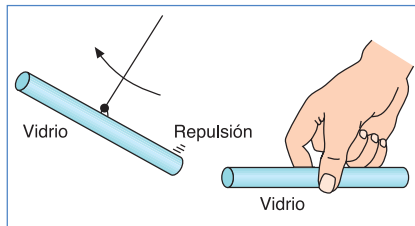


Fig. 1.3. Dos cuerpos cargados con electricidad del mismo signo se repelen.

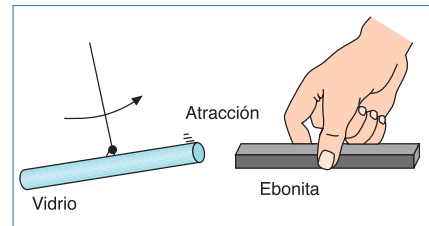


Fig. 1.4. Dos cuerpos cargados con electricidad de diferente signo se atraen.

De estos experimentos podemos deducir que estas sustancias, si son frotadas enérgicamente, adquieren una nueva propiedad que antes no tenían, que es la de atraer o repeler otros cuerpos que también han sido frotados. Diremos que estos cuerpos se han **electrizado**, es decir, que han adquirido una carga eléctrica.

Cuando se electrizan dos cuerpos por frotamiento, hay una transformación de la energía mecánica del movimiento del paño en energía calorífica, que sirve para liberar algunos de los electrones situados en las capas periféricas de los átomos, los cuales pasan de un material al otro. De esta manera, uno de los materiales queda cargado positivamente y el otro negativamente.

Desde la antigüedad, y de manera arbitraria, se ha llamado *electricidad positiva* a la que adquiere el vidrio al ser frotado, debido a que al dejar ir electrones se queda con carga positiva, ya que hay más protones que electrones. Por el mismo motivo se ha llamado *electricidad negativa* a la que adquieren la ebonita o el ámbar cuando se quedan con un exceso de electrones.

Así pues, podemos comprobar que si acercamos dos cuerpos cargados con electricidad del mismo signo se repelen; si los cuerpos tienen electricidad de signo distinto se atraen.

►► C. Ley de Coulomb

En el experimento realizado anteriormente hemos observado que existían fuerzas de atracción o de repulsión entre los distintos cuerpos cargados, dependiendo de sus signos. La ley de Coulomb nos permite cuantificar esta fuerza en función de las magnitudes que intervienen.

La **ley de Coulomb** dice que la fuerza de atracción o de repulsión entre dos cargas es directamente proporcional al producto de sus cargas (Q y Q') e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (r).

Esta fuerza tiene como dirección la recta que une las dos cargas (figura 1.5).

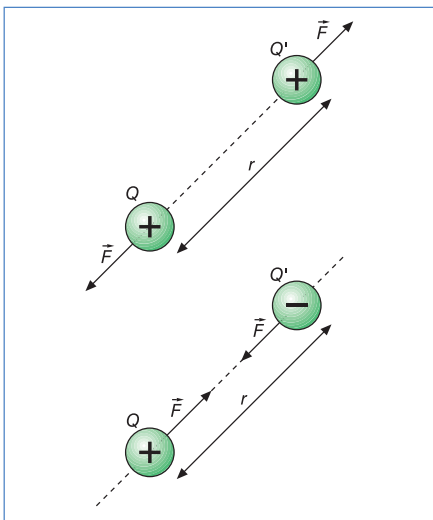


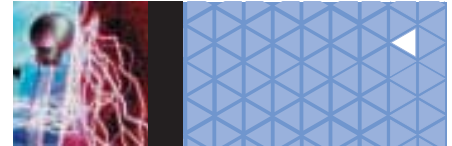
Fig. 1.5. Ley de Coulomb.

$$\vec{F} = K \frac{Q Q'}{r^2}$$

donde K = constante que depende del medio que rodea las dos cargas.

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.2 Naturaleza de la electricidad



En el aire o en el vacío, $K = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$. En cualquier otro medio, su valor es siempre más pequeño, lo que provoca que la interacción entre las cargas disminuya.

En el sistema internacional (SI) se define $K = \frac{1}{4 \pi \epsilon}$, donde ϵ es **permitividad o constante dieléctrica** del medio, que, por lo tanto, también es una constante (tabla 1.1).

Definimos como **permitividad relativa**, ϵ_r , la relación entre la permitividad del medio y la permitividad del vacío.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

donde ϵ_r = permitividad relativa
 ϵ = permitividad del medio
 ϵ_0 = permitividad del vacío

| Medio | Permitividad (ϵ) C^2/Nm^2 | Permitividad relativa (ϵ_r) |
|----------------------|--|--|
| Vacío | $8,85 \cdot 10^{-12}$ | 1 |
| Aire | $8,85 \cdot 10^{-12}$ | 1,00059 |
| Agua | $717 \cdot 10^{-12}$ | 81 |
| Baquelita | $44-71 \cdot 10^{-12}$ | 5-8 |
| Madera | $18-70 \cdot 10^{-12}$ | 2-8 |
| Mica | $35 \cdot 10^{-12}$ | 4 |
| Pentóxido de tántalo | $230 \cdot 10^{-12}$ | 26 |
| Porcelana | $53-71 \cdot 10^{-12}$ | 6-8 |
| Vidrio | $45-50 \cdot 10^{-12}$ | 5-10 |

Tabla 1.1. Constante de permitividad en los diferentes medios.

En caso de que haya tres o más cargas eléctricas puntuales, la fuerza eléctrica resultante que ejercen sobre una de las cargas es la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre ésta.

Ejemplo 1



Dos cargas puntuales de $20 \mu\text{C}$ y $-35 \mu\text{C}$ se encuentran en el vacío separadas por una distancia de 20 cm (figura 1.6). ¿Cómo es la fuerza y qué valor tiene?

Solución

Al ser las dos cargas de signo contrario, la fuerza entre ellas es de atracción y de valor:

$$\vec{F} = K \frac{Q Q'}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 35 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{0,04 \text{ m}^2} = 157,5 \text{ N}$$

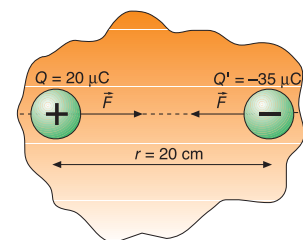


Fig. 1.6



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.2 Naturaleza de la electricidad

►► D. Campo eléctrico

Cuando colocamos en una zona del espacio una carga eléctrica se crea una zona de influencia que se manifiesta cuando acercamos otra carga con unas fuerzas de atracción o de repulsión. La zona en la que se manifiestan estas fuerzas se denomina *campo eléctrico*.



El **campo eléctrico** debido a una carga Q es la región del espacio alrededor de esta carga en el que se manifiestan las fuerzas de atracción o de repulsión sobre otras cargas eléctricas situadas en este espacio.

El campo eléctrico se representa mediante las **líneas de fuerza**, que corresponden a los caminos que seguiría una carga eléctrica puntual positiva al ser atraída o repelida por la carga eléctrica que ha creado el campo (figura 1.7).

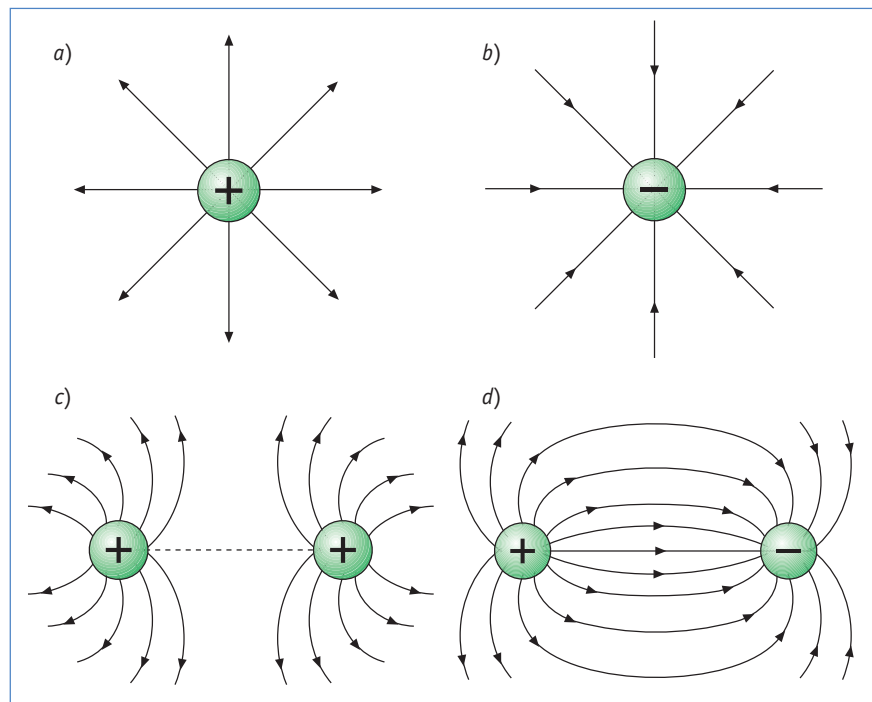


Fig. 1.7. Líneas de fuerza de: a) y b) carga eléctrica aislada; c) dos cargas del mismo signo; d) dos cargas de diferente signo.

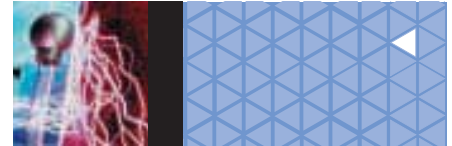
La intensidad de campo eléctrico (\vec{E}) creada por una carga Q en un punto del espacio es la fuerza eléctrica que actúa sobre una unidad de carga situada en este punto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q'} = K \frac{Q Q'}{r^2} \cdot \frac{1}{Q'} = K \frac{Q}{r^2}$$

$$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2}$$

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.2 Naturaleza de la electricidad



De esta expresión podemos deducir que la intensidad de campo en un punto es de 1 N/C cuando, al colocar una carga de 1 C en este campo, recibe una fuerza de 1 N. Por lo tanto, la fuerza eléctrica a la que está sometida una carga Q' en el interior de un campo eléctrico es:

$$\vec{F} = Q' \vec{E}$$

La dirección del campo eléctrico en un punto coincide con la dirección de la fuerza realizada sobre una carga positiva en este punto, o bien con la tangente a las líneas de fuerza del campo (figura 1.8).

El módulo del vector o la intensidad de campo eléctrico viene determinado por la densidad de líneas de fuerza.

Si en lugar de una carga puntual la que crea el campo eléctrico es una distribución de cargas, la intensidad del campo será la suma vectorial de las intensidades de campo que crean cada una de las cargas. Eso se denomina **principio de superposición**.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

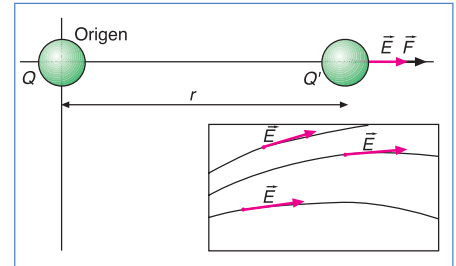


Fig. 1.8. Dirección del campo eléctrico en un punto.

Ejemplo 2

Dos cargas de $3 \mu\text{C}$ y $-4 \mu\text{C}$ están situadas en el vacío, en los puntos que indica la figura 1.9. Calcula el vector intensidad de campo en el punto A.

Solución

Como tenemos dos cargas, tendremos un campo creado por cada una de las cargas. Para calcular la intensidad del campo deberemos aplicar el principio de superposición: la intensidad del campo en el punto A será la suma vectorial de las intensidades de campo de cada una de las cargas.

La distancia entre las cargas y el punto A será:

$$r = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} \text{ m}$$

$$\vec{E}_1 = K \frac{Q_1}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(2\sqrt{2})^2 \text{ m}^2} = 3375 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\vec{E}_2 = K \frac{Q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(2\sqrt{2})^2 \text{ m}^2} = 4500 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

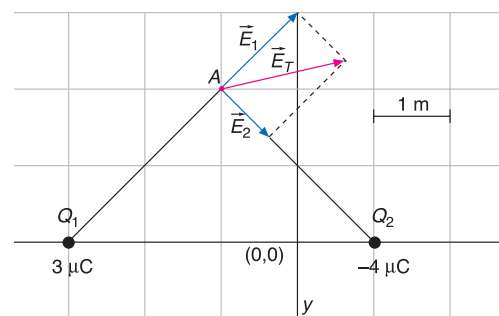


Fig. 1.9.

Si observas la figura, podrás comprobar que los vectores \vec{E}_1 y \vec{E}_2 que hay que sumar forman un ángulo de 90° . El módulo vector suma lo calcularemos aplicando el teorema de Pitágoras; en caso de que el ángulo no fuese de 90° , deberíamos calcular las componentes ortogonales de los vectores para calcular el vector suma. La dirección es la que muestra la figura.

$$\vec{E}_r^2 = \vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2$$

$$\vec{E}_r = \sqrt{\vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2} = \sqrt{3375^2 + 4500^2} = 5625 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.3 Energía potencial eléctrica

Actividades

- 2> ¿En qué se diferencia un átomo de un ión?
- 3> Explica cómo están ordenados los niveles de energía de las diferentes capas de un átomo.
- 4> Busca información sobre el experimento de Rutherford.
- 5> El electroscopio es un aparato que nos permite comprobar la electrización de un cuerpo. Investiga en qué consiste y cuál es el principio de su funcionamiento.
- 6> Si a un cuerpo eléctricamente neutro le arrancamos 2 electrones, ¿en qué estado eléctrico queda?
- 7> Dos esferas con igual carga situadas en el vacío, separadas por una distancia de 0,1 m, se repelen con una fuerza de 810 N. Calcula el valor de las cargas.
- 8> Una carga de $2 \mu\text{C}$ y otra de $-5 \mu\text{C}$ se encuentran en el aire a una distancia de 50 cm. ¿Con qué fuerza actúa la una sobre la otra?
- 9> ¿Cuál es la intensidad de campo eléctrico en un punto determinado si una carga de $2,5 \mu\text{C}$ situada en este punto está sometida a una fuerza de 0,325 N?
- 10> Una carga de $5 \mu\text{C}$ está situada en el aire y se encuentra a una distancia de 20 cm de un punto P . Calcula el módulo de la intensidad de campo en este punto y dibuja la gráfica con el vector resultante.
- 11> Dos cargas de $5 \mu\text{C}$ y $8 \mu\text{C}$ están situadas en el vacío, en los puntos que indica la figura 1.10. Calcula el módulo del vector intensidad de campo en el punto A y dibuja el vector resultante.

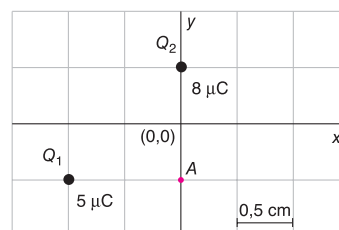


Fig. 1.10

1.3 Energía potencial eléctrica

Para levantar un objeto desde el suelo hasta una altura h debemos realizar un trabajo para vencer la fuerza gravitatoria de la Tierra. Este trabajo se almacena en forma de **energía potencial** (figura 1.11).

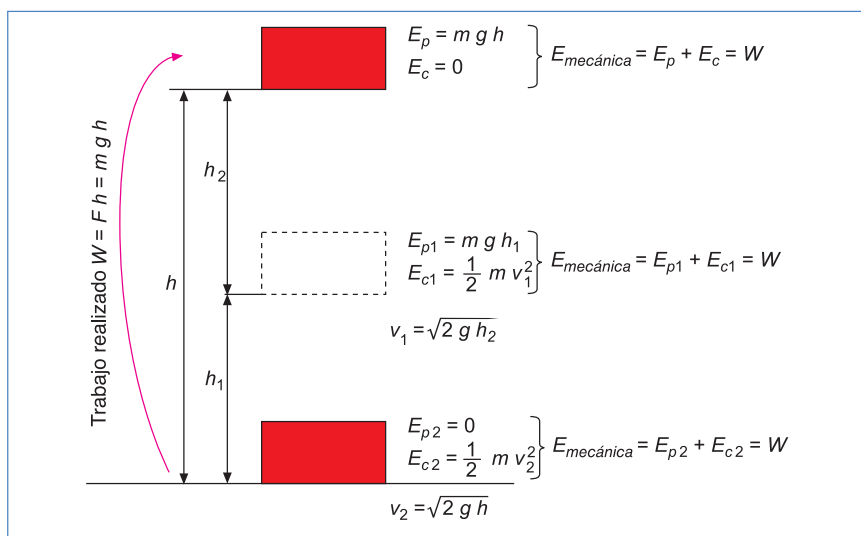


Fig. 1.11

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.3 Energía potencial eléctrica



Al dejar caer el objeto, esta energía potencial se transformará en **energía cinética**, de manera que la suma de las dos energías siempre será igual al trabajo realizado.

$$W = Fh = E_p; W = mgh = E_p$$

Podemos aplicar este mismo experimento a un campo eléctrico. Si queremos acercar una carga eléctrica a otra del mismo signo, debemos realizar un trabajo externo parecido al de levantar el objeto del suelo. Este trabajo no se pierde, sino que se almacena en forma de **energía potencial eléctrica** en la carga, ya que, si la dejamos libre, ésta regresará a su posición original. El trabajo realizado es recuperado posteriormente por el campo eléctrico, de la misma manera que pasaba con la fuerza gravitatoria.

Si tenemos un campo eléctrico uniforme \vec{E} , creado por una carga Q , podemos calcular el trabajo que realizamos para trasladar otra carga Q' de un punto B a otro A (figura 1.12). Este trabajo equivaldrá (cambiado de signo) a la **diferencia de energía potencial eléctrica** entre estos dos puntos.

$$\Delta E_p = -W = -F \Delta \vec{r}$$

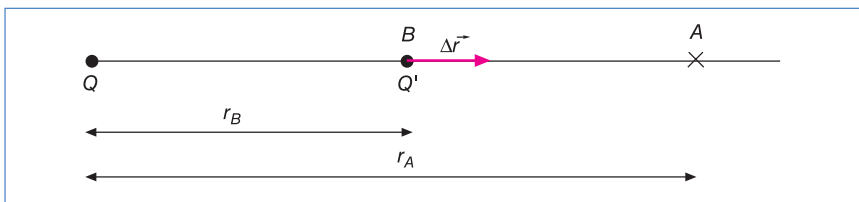


Fig. 1.12

A diferencia del campo gravitatorio, la fuerza F no es constante a lo largo de todo el desplazamiento; por lo tanto, integrando la expresión anterior, obtenemos:

$$\Delta E_p = K \frac{Q Q'}{r_A} - K \frac{Q Q'}{r_B}$$

Si definimos la **energía potencial eléctrica** en un punto como el trabajo cambiado de signo necesario para llevar la carga desde el exterior del campo (∞) hasta este punto, tenemos:

$$E_p = K \frac{Q Q'}{r} - K \frac{Q Q'}{\infty} = K \frac{Q Q'}{r} - 0 = K \frac{Q}{r^2} Q' r = E Q' r$$

$$E_p = E Q' r$$

►► A. Potencial eléctrico

El **potencial eléctrico (V)** en un punto es el trabajo (cambiado de signo) que hay que hacer para vencer las fuerzas del campo eléctrico, para trasladar la unidad de carga positiva desde el infinito hasta este punto (figura 1.13). Caracteriza los distintos puntos del espacio y es independiente de la carga.

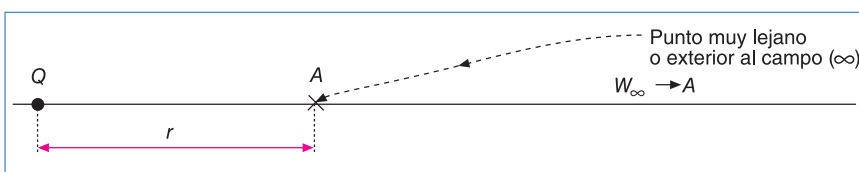


Fig. 1.13

La unidad de energía es el **julio (J)**, en honor al físico inglés **James Prescott Joule**.



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.3 Energía potencial eléctrica

Esto equivale al cociente entre la energía potencial eléctrica de una carga Q' colocada en este punto y la carga Q' , es decir, la energía potencial eléctrica por unidad de carga.

$$V_A = \frac{E_p}{Q'}$$

$$V_A = \frac{E_p}{Q'} = \frac{Q' E r}{Q'} = E r$$

$$V_A = E r \text{ (V)}$$

La unidad en el SI es el voltio (V): voltio (V) = $\frac{\text{julio (J)}}{\text{culombio (C)}}$

Si en lugar de una carga puntual tenemos una distribución de cargas, el potencial será la suma de los potenciales que crean cada una de las cargas.

El signo del potencial es positivo o negativo en función del signo de la carga.

Todos los puntos que se encuentran a una misma distancia de la carga Q tienen el mismo potencial. Estos puntos pertenecen a una superficie esférica que tiene por radio la distancia r hasta la carga; esta superficie se denomina **superficie equipotencial** (figura 1.14). Si tenemos sólo una carga, las superficies equipotenciales son esferas concéntricas.

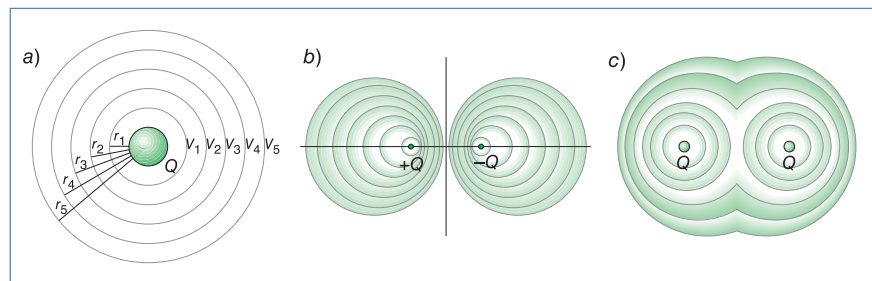


Fig. 1.14. Superficies equipotenciales debidas a: a) una carga puntual; b) dos cargas de signos opuestos, y c) dos cargas del mismo signo.



Ejemplo 3

Dos cargas puntuales de $20 \mu\text{C}$ y $-30 \mu\text{C}$ están situadas en el vacío y distan 1 m de un punto A en sentidos opuestos (figura 1.15). Calcula el potencial en el punto A.

Solución

$$V_1 = E r = K \frac{Q_1}{r^2} \quad r = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{1 \text{ m}} = 180\,000 \text{ V}$$

$$V_2 = E r = K \frac{Q_2}{r^2} \quad r = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{-30 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{1 \text{ m}} = -270\,000 \text{ V}$$

$$V_A = V_1 + V_2 = 180\,000 \text{ V} + (-270\,000 \text{ V}) = -90\,000 \text{ V}$$

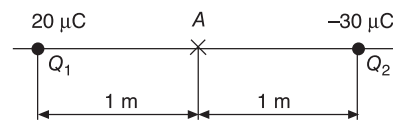


Fig. 1.15

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.3 Energía potencial eléctrica



►► B. Diferencia de potencial

Definimos la **diferencia de potencial eléctrico** como el trabajo (cambiado de signo) necesario para trasladar una carga entre dos puntos de este campo.

Si partimos de la expresión obtenida anteriormente en el cálculo de la diferencia de energía potencial eléctrica entre dos puntos, tendremos:

$$-\Delta W = \Delta E_p = K \frac{Q Q'}{r_A} - K \frac{Q Q'}{r_B} = E Q' r_A - E Q' r_B = Q' V_A - Q' V_B$$

$$-\Delta W = Q' (V_A - V_B)$$

La expresión $(V_A - V_B)$ se conoce con el nombre de **diferencia de potencial** entre dos puntos. Si lo aislamos de la expresión anterior, podremos definir el concepto de diferencia de potencial.

$$V_A - V_B = \frac{-\Delta W}{Q'}$$

La diferencia de potencial entre dos puntos A y B es el trabajo (cambiado de signo) necesario para trasladar la unidad de carga positiva desde B hasta A .

$$V_A - V_B = \frac{-\Delta W}{Q'} = \frac{\Delta E_p}{Q'} = K \frac{Q Q'}{r_A} - K \frac{Q Q'}{r_B} = K Q \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

$$V_A - V_B = K Q \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

Ejemplo 4



Calcula la diferencia de potencial (ddp) entre dos puntos situados a 0,8 y 1,2 m respectivamente de una carga de 50 μC .

Solución

$$V_A - V_B = K Q \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot \left(\frac{1}{0,8 \text{ m}} - \frac{1}{1,2 \text{ m}} \right) = 187 500 \text{ V}$$

Actividades



12> Calcula el potencial eléctrico en un punto situado a 2 m de una carga puntual de 20 μC situada en el vacío.

13> La diferencia de potencial entre dos puntos situados a una distancia de 1,5 y 1 m respectivamente es de $-90 000 \text{ V}$. Calcula el valor de la carga que crea este campo.

14> Di cuál es el potencial en un punto A situado en el vacío según la distribución de cargas de la figura 1.16.

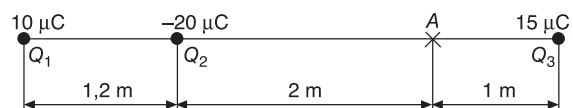


Fig. 1.16



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.4 Conductores, semiconductores y aislantes

▶ 1.4 Conductores, semiconductores y aislantes

Teniendo en cuenta ciertas propiedades eléctricas, los cuerpos se pueden clasificar en *conductores*, *aislantes* y *semiconductores*.

▶▶ A. Conductores

En los metales, los diferentes átomos están unidos por enlaces metálicos, por lo que dan una estructura geométrica muy rígida. Para este tipo de enlace no son necesarios todos los electrones del átomo, y algunos de ellos quedan poco sujetos al núcleo atómico. Estos electrones recorren el metal de manera libre y desordenada y se denominan **electrones libres** (figura 1.17). Los electrones libres son la causa de que los metales sean buenos conductores de la electricidad y del calor.

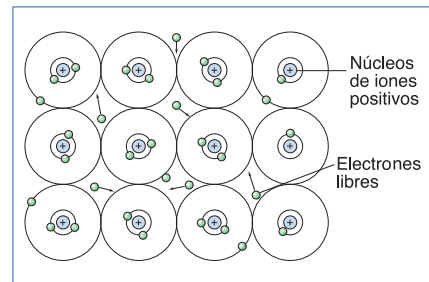


Fig. 1.17. Electrones libres en un metal.

▶▶ B. Semiconductores

Algunos elementos, como el selenio, el silicio y el germanio, tienen cuatro electrones de valencia y para formar su estructura comparten estos electrones con electrones de átomos próximos (figura 1.18). Este tipo de enlace se denomina enlace covalente y proporciona fuerzas atractivas muy fuertes entre los diferentes átomos. Al aumentar la temperatura en estos materiales se rompen algunos de estos enlaces y quedan electrones libres; por lo tanto, se convierten en conductores en determinadas circunstancias. Su conductividad dependerá del número de electrones libres existentes.

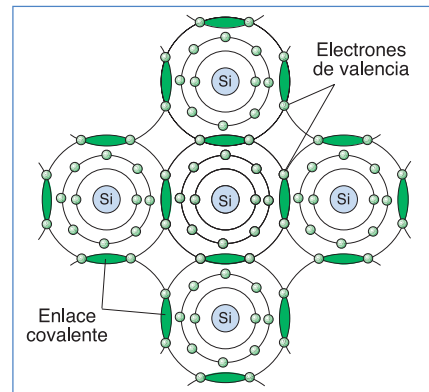


Fig. 1.18. Enlaces covalentes en un cristal semiconductor.

▶▶ C. Aislantes o no conductores

Estas sustancias, a diferencia de los metales, no disponen de electrones libres porque necesitan todos sus electrones de valencia para realizar sus enlaces.

En determinadas circunstancias, alguno de estos enlaces moleculares se puede romper, de tal manera que quede algún electrón libre y haga que el material conduzca muy poco la electricidad.

▶ Actividades

15> ¿Qué quiere decir *electrón libre* si no lo está?

16> ¿Qué diferencia hay entre la estructura atómica de los metales y la de los no metales?

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico



▶ 1.5 Circuito eléctrico

Para que una lámpara se encienda o un motor se ponga en funcionamiento es necesario conectarlos a una pila o batería (acumulador) mediante conductores eléctricos. La unión correcta de estos elementos forma un *circuito eléctrico*.

Un **circuito eléctrico** está formado por un generador (pila o acumulador) que proporciona la energía necesaria, el receptor (lámpara, motor, etc.) y los conductores que unen los diferentes componentes (figura 1.19).

- Los **generadores** son los aparatos que transforman el trabajo u otro tipo de energía cualquiera en energía eléctrica.
- Los **receptores** eléctricos transforman la energía eléctrica en otra forma de energía, es decir, realizan la función inversa a la de los generadores.
- El **conductor** eléctrico es cualquier sistema material que tenga las siguientes propiedades: que no ofrezca resistencia apreciable al paso de la corriente y que no aparezca ninguna diferencia de potencial entre sus extremos cuando circule una corriente eléctrica.

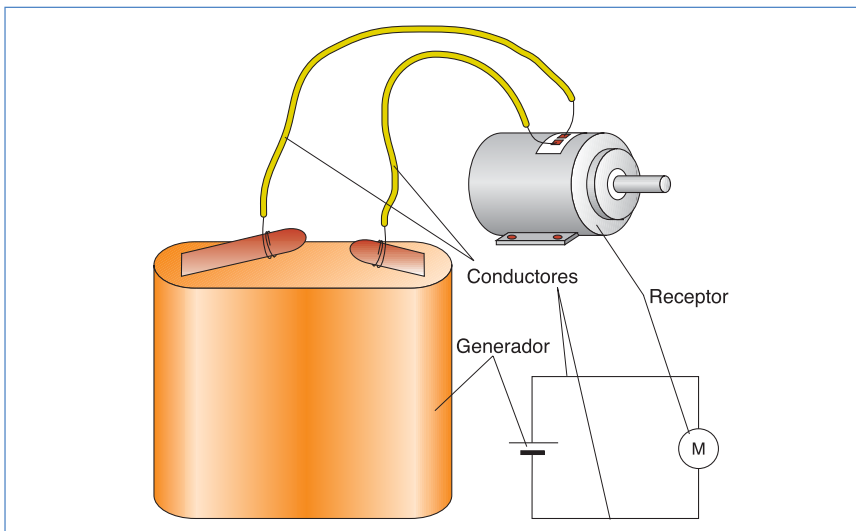


Fig. 1.19. Circuito eléctrico.

Para poder gobernar los circuitos hacen falta unos componentes llamados **elementos de manobra o control**; los más importantes son los interruptores, los pulsadores y los conmutadores.

▶▶ A. Componentes básicos. Símbolos

Todos los componentes de un circuito eléctrico son representados gráficamente mediante símbolos elementales, que han sido normalizados de manera que sea idéntica su interpretación para todo el mundo.

En la tabla 1.2 se muestran los diferentes símbolos eléctricos más frecuentes utilizados en electrotecnia y normalizados según las normas españolas (UNE) y otras internacionales (DIN, ANSI, CEI, etcétera).



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico




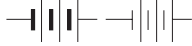





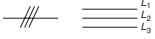

















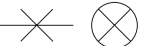

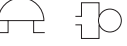

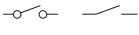
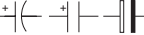
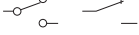








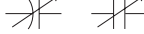
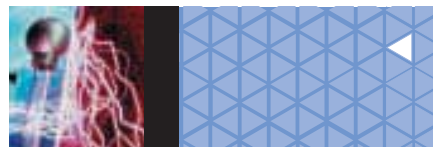
| Naturaleza de la corriente | Generadores |
|--|---|
| Corriente continua  | Pila  |
| Corriente alterna  | Batería de acumuladores o pilas  |
| Funcionamiento indiferente en corriente continua o alterna  | Generador de corriente continua (dinamo)  |
| | Generador de corriente alterna (alternador)  |
| Conductores, terminales y conexiones | Aparatos de medida |
| Conductor  | Voltímetro  |
| Línea trifásica, 3 conductores  | Amperímetro  |
| n conductores  | Óhmetro  |
| Terminal o conexión de conductores  | Vatímetro  |
| Derivación  | Frecuencímetro  |
| Cruce sin conexión  | Fasímetro  |
| Otros símbolos | Contador (símbolo general)  |
| Tierra, toma de tierra  | Componentes eléctricos pasivos |
| Masa, toma de masa  | Resistor  |
| Fusible  | Impedancia  |
| Motor  | Inductancia  |
| Lámpara  | Bobina  |
| Timbre  | Condensador  |
| Interruptor  | Condensador electrolítico polarizado  |
| Conmutador  | Transformador  |
| Contacto normalmente abierto  | Resistor variable  |
| Contacto normalmente cerrado  | Condensador variable  |
| Conexión en triángulo  | Resistor ajustable  |
| Conexión en estrella  | Condensador ajustable  |

Tabla 1.2. Símbolos eléctricos.

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico



►► B. La corriente eléctrica. Intensidad

En los circuitos eléctricos hay un desplazamiento de cargas eléctricas a través de los conductores, que recibe el nombre de *corriente eléctrica*.

La **corriente eléctrica** es un fenómeno resultante de la propiedad que tienen todos los cuerpos de neutralizarse eléctricamente. Así, un cuerpo cargado negativamente tiende a ceder su exceso de electrones, mientras que un cuerpo cargado positivamente tiende a neutralizarse capturando electrones de átomos que tienen en exceso.

Si unimos a través de un conductor dos cuerpos, uno cargado positivamente y el otro negativamente, habrá una circulación de electrones hasta que los dos cuerpos tengan el mismo potencial (figura 1.20). Esta circulación de electrones o cargas eléctricas se denomina **corriente eléctrica**.

Veamos ahora cómo se desplazan los electrones por un conductor. Al estudiar los materiales conductores hemos dicho que había electrones libres que estaban en movimiento continuo, un movimiento caótico debido a la agitación térmica, de manera que no existe desplazamiento de cargas en un sentido determinado (figura 1.21).

Al situar un conductor en el interior de un campo eléctrico externo \vec{E} , los electrones libres se mueven en sentido contrario al campo eléctrico \vec{E} (figura 1.22).

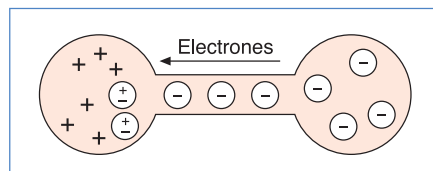


Fig. 1.20. Corriente eléctrica.

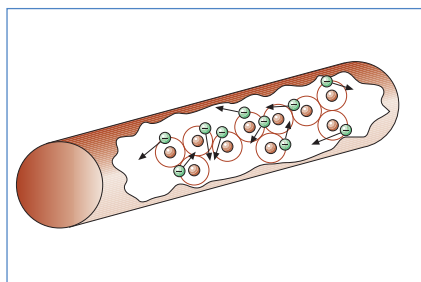


Fig. 1.21. Movimiento caótico de los electrones en un conductor sin la influencia de un campo eléctrico.

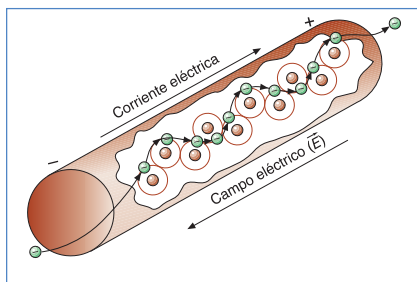


Fig. 1.22. Corriente eléctrica en el interior de un conductor.

El movimiento de los electrones es muy lento, de unos pocos milímetros por segundo. Por lo tanto, un electrón no se puede desplazar instantáneamente de un punto a otro del circuito para encender una lámpara o poner en funcionamiento un motor eléctrico.

En realidad, cuando nosotros conectamos un circuito eléctrico hay una perturbación. Los electrones más próximos al generador son repelidos por su potencial negativo; estos electrones repelen otros y así sucesivamente hasta llegar al otro extremo del conductor, es decir, por el interior del conductor circula la perturbación originada por el generador. Su velocidad se acerca a la velocidad de la luz, aproximadamente de $3 \cdot 10^8$ m/s.

►►► Sentido de la corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el movimiento de electrones por un conductor, que saldrán del polo negativo (-) del generador y se dirigirán, por el exterior, hacia el polo positivo (+), circulando en sentido contrario a las líneas del campo eléctrico. Pero en la práctica se utiliza el sentido contrario, llamado **sentido convencional**, que es el que escogió Michael Faraday antes de averiguar que la corriente era el movimiento de cargas eléctricas negativas (figura 1.23). Con eso no se alteran los resultados finales y los esquemas lógicos de razonamiento a veces son más sencillos.

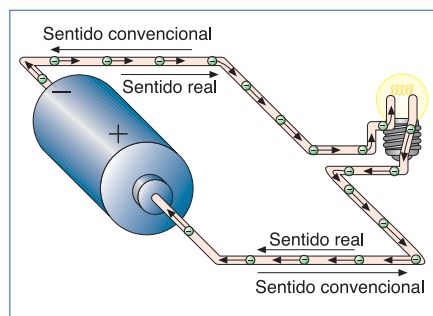


Fig. 1.23. Sentido real y convencional de la corriente eléctrica.



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico

►►► Intensidad de corriente eléctrica

La magnitud que nos da idea de la cantidad de electrones que pasan por un conductor en un tiempo determinado es la intensidad de corriente.



La **intensidad de la corriente eléctrica (I)** es la cantidad de carga eléctrica que pasa por una sección transversal de un conductor en la unidad de tiempo.

Si la carga eléctrica que circula por un conductor es constante, tendremos:

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

donde Q = carga eléctrica en culombios (C)
 I = intensidad eléctrica en amperios (A)
 t = tiempo en segundos (s)

Si el flujo de carga no es constante, tomaremos la carga como ΔQ en un tiempo suficientemente pequeño, Δt . Entonces:

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

►►► Diferentes tipos de corriente eléctrica

Según como sea el flujo de cargas, podemos tener diferentes tipos de corriente eléctrica (figura 1.24).

- La **corriente continua constante** es aquella en la que el flujo de cargas o electrones es constante en todo momento y no cambia de sentido.
- Las corrientes eléctricas cuya intensidad es variable en el tiempo se denominan **corrientes variables**. Hay muchos tipos de corrientes variables, dependiendo de su variación en el tiempo y su sentido de circulación.
 - Si el sentido de circulación de la corriente eléctrica es siempre el mismo, diremos que se trata de una **corriente continua variable** en el tiempo.
 - Si el sentido de circulación de la corriente eléctrica es alternativo, será una **corriente alterna** y su nombre dependerá de la forma de la señal. La más utilizada es la **sinusoidal** (forma de la función seno) y la **pulsante**.

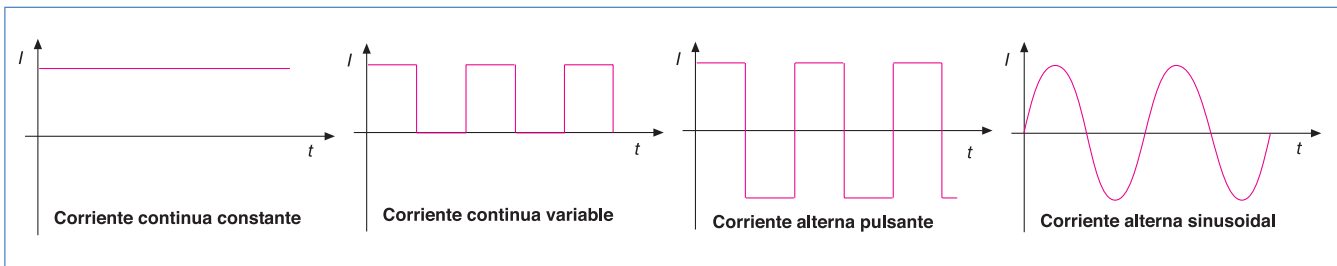


Fig. 1.24. Tipos de corrientes eléctricas.



Ejemplo 5



Por un conductor metálico circula una corriente cuya intensidad es de 2 A. Calcula el número de electrones que atravesarán en un segundo la sección del conductor.

Solución

$$Q = I t = 2 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 2 \text{ C}$$

$$2 \text{ C} = 2 \text{ C} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{19} \text{ e}^-}{1 \text{ C}} = 3,204 \cdot 10^{19} \text{ e}^-$$

►► C. Generadores

Si comparamos el circuito eléctrico con un circuito hidráulico, tenemos que por el circuito hidráulico habrá una circulación de líquido mientras haya una diferencia de nivel, y para mantener esta diferencia de nivel necesitamos una bomba hidráulica. Lo mismo sucede en un circuito eléctrico; para mantener la diferencia de potencial y proporcionar la energía capaz de crear la corriente eléctrica es necesario un dispositivo llamado *generador eléctrico* (figura 1.25).

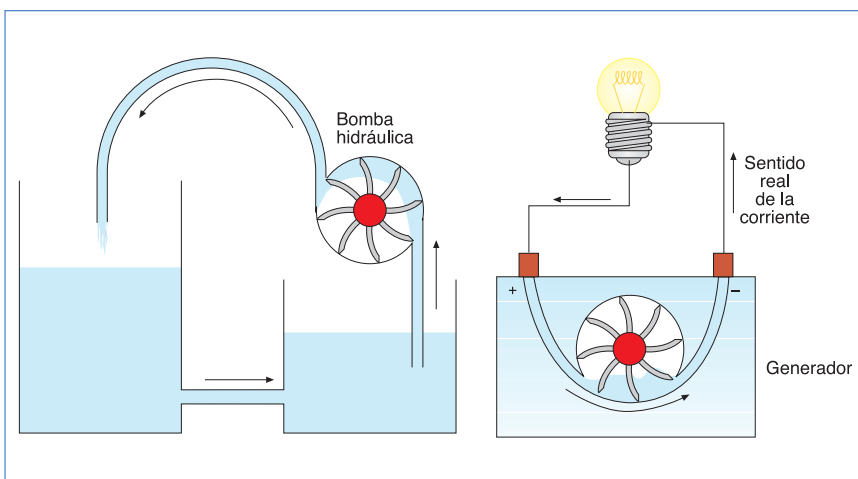


Fig. 1.25. Simil hidráulico y generador eléctrico.

El generador va restableciendo la diferencia de potencial a costa también de otra energía, como hace la bomba hidráulica.

El **generador eléctrico** es un dispositivo que transforma otra clase de energía en energía eléctrica manteniendo la diferencia de potencial.



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico

▶▶▶ La FEM y la diferencia de potencial



La **fuerza electromotriz (FEM)** de un generador es el trabajo realizado sobre la unidad de carga que cruza el generador.

Esta magnitud es dada por la siguiente expresión:

$$\varepsilon \text{ (FEM)} = \frac{W}{Q}$$

La FEM no se puede medir directamente, pero sí se puede medir su efecto, la **diferencia de potencial** (ddp) o **tensión** que aparece en los extremos del generador.

La FEM es la causa del movimiento de las cargas por el interior del generador y la diferencia de potencial es la causa del movimiento de las cargas por el resto del circuito. Estos dos valores raramente coinciden porque en el interior del generador existen unas pérdidas, como veremos en la siguiente Unidad.

▶▶▶ Generación de la fuerza electromotriz

Para provocar la manifestación de fenómenos eléctricos es necesario partir de algún tipo de energía que obligue a los portadores de carga a desplazarse o a acumularse. Hay varios sistemas (figura 1.26):

- Por **reacciones químicas**: las pilas y las baterías son dispositivos en los que, mediante una reacción química entre el electrolito y las placas sumergidas en una disolución, los electrones de la placa de cobre se desplazan a la de cinc, donde se acumulan, con lo que se crea una diferencia de potencial.
- Por **inducción electromagnética**: es un efecto que se basa en el principio de Faraday, conocido ya por todos nosotros, porque también es la base del funcionamiento de los alternadores de las centrales eléctricas o de las dinamos. Este proceso consiste en hacer mover un conductor eléctrico en el interior de un campo magnético creado por un imán.
- Por **efecto piezoeléctrico**: algunas sustancias debidamente cortadas, como el cuarzo cristalizado o la turmalina, proporcionan una diferencia de potencial entre sus dos caras opuestas al ser sometidas a una presión por un esfuerzo mecánico.
- Por **acción de la luz**: cuando una radiación luminosa (o la energía de los fotones) incide sobre la superficie de ciertas sustancias (litio, cesio, selenio, silicio, etc.), se desprenden electrones de las últimas capas de los átomos y se crea entre sus caras una diferencia de potencial. Este es el principio de las células fotovoltaicas.
- Por **efecto de un par termoelectrónico**: si unimos fuertemente los extremos de dos hilos de materiales diferentes, como constantán y cobre, y calentamos la unión entre ambos, aparece en sus extremos una diferencia de potencial. El conjunto formado recibe el nombre de *termopar* y se utiliza como sonda para la medida de temperaturas.
- Por **frotación**: los generadores de *Van der Graff* se basan en este proceso. Se pueden obtener tensiones superiores a un millón de voltios.



La unidad de la FEM o la tensión es el **voltio (V)**; un voltio equivale a un julio dividido entre un culombio.

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico

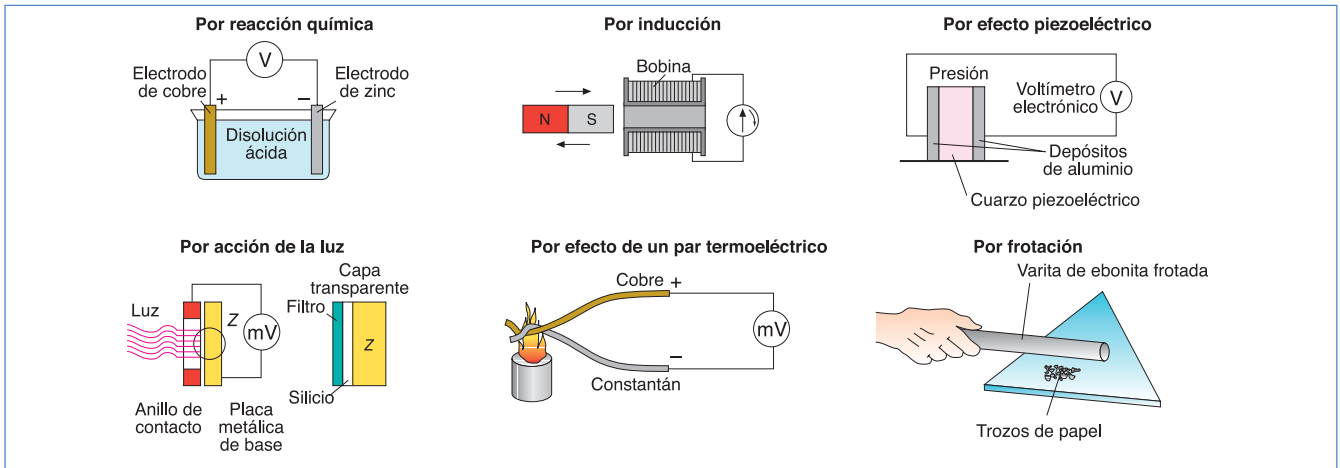
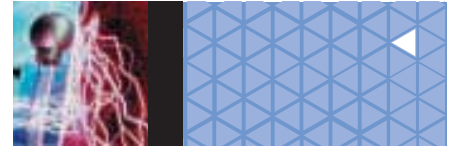


Fig. 1.26. Diferentes sistemas de generación de fuerza electromotriz.

►► D. Los receptores. La resistencia eléctrica

Los aparatos receptores son los encargados de transformar la energía eléctrica que reciben en energía útil. Los hay de muchos tipos; en general, cualquier aparato que funcione con energía eléctrica es un receptor.

No todos los receptores y conductores dejan pasar la corriente eléctrica con la misma facilidad a través de ellos. Esta oposición se denomina *resistencia eléctrica*.

►►► Resistencia eléctrica

Cuando unimos dos cuerpos entre los que hay una diferencia de potencial con un conductor, éste es recorrido por una corriente eléctrica formada por un conjunto de electrones. Éstos, en su recorrido, chocan con otros electrones y los hacen cambiar de dirección. Teniendo en cuenta que no todos los materiales conductores tienen una misma estructura y constitución atómica, no todos tendrán el mismo número de electrones libres, lo cual hace que unos materiales presenten una oposición más grande que otros al paso de la corriente eléctrica.

La **resistencia eléctrica (R)** es la oposición que presentan los diferentes conductores al paso de la corriente eléctrica.

La resistencia de un conductor depende de la *naturaleza* del conductor, de su *longitud* y de su *sección*.

- La **naturaleza o estructura atómica** del conductor, que se expresa mediante una constante llamada **resistividad (ρ)** propia de cada material.
- La **longitud (l)**, ya que cuanto más largo es el conductor, más grande es la dificultad por circular; es decir, a más longitud, más resistencia. Así pues, la resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud.
- La **sección (S)**, ya que al aumentar la sección del conductor facilitamos el paso de los electrones y disminuimos, por lo tanto, su resistencia.

La unidad de la resistencia es el **ohmio (Ω)**, en honor del físico **Georg Ohm**. Se utilizan también sus múltiplos y submúltiplos:

$$\begin{aligned} M\Omega &= 10^6 \Omega \\ k\Omega &= 10^3 \Omega \\ m\Omega &= 10^{-3} \Omega \\ \mu\Omega &= 10^{-6} \Omega \end{aligned}$$



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico

Estos factores nos determinan el valor de la resistencia de un hilo conductor:

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

donde R = resistencia eléctrica (Ω)

ρ = resistividad eléctrica ($\Omega\text{m}^2/\text{m} = \Omega\text{m}$)

l = longitud del conductor (m)

S = sección del conductor (m^2)

En la tabla 1.3 se muestran los valores de la resistividad para diferentes materiales.

!
Hay aleaciones, como el constantán, con resistividades que casi no varían con la temperatura, lo que los hace idóneos para la fabricación de elementos resistivos llamados *resistores*.

| Material | Resistividad (ρ) a 20 °C [$\Omega\text{ m}$] |
|-----------------------------------|---|
| Plata | $1,59 \cdot 10^{-8}$ |
| Cobre | $1,72 \cdot 10^{-8}$ |
| Oro | $2,4 \cdot 10^{-8}$ |
| Hierro | $1,2 \cdot 10^{-7}$ |
| Estaño | $1,15 \cdot 10^{-7}$ |
| Constantán (60 % Ni y 40 % Cu) | $4,9 \cdot 10^{-7}$ |
| Nicromo | $1,08 \cdot 10^{-6}$ |
| Germanio | $4,5 \cdot 10^{-1}$ |
| Silicio | $6,4 \cdot 10^2$ |
| Madera | de 10^8 a 10^{14} |
| Vidrio | de 10^{10} a 10^{14} |

Tabla 1.3. Coeficiente de resistividad para diferentes materiales.

| Material | Coefficiente de temperatura (α) [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] |
|-----------------------------------|--|
| Plata | $3,8 \cdot 10^{-3}$ |
| Cobre | $3,9 \cdot 10^{-3}$ |
| Oro | $3,5 \cdot 10^{-3}$ |
| Hierro | $5,0 \cdot 10^{-3}$ |
| Estaño | $4,4 \cdot 10^{-3}$ |
| Constantán (60 % Ni y 40 % Cu) | $1 \cdot 10^{-4}$ |
| Germanio | $-4,8 \cdot 10^{-2}$ |
| Silicio | $-7,5 \cdot 10^{-2}$ |

Tabla 1.4. Coeficiente de temperatura para diferentes materiales.

El material más utilizado para conductores eléctricos es el cobre, porque presenta una baja resistividad, es muy dúctil y es uno de los más económicos. En microelectrónica o en circuitos electrónicos de muy alta precisión se utiliza el oro, ya que es un material que no se oxida.

Se ha observado experimentalmente que la resistividad de un material depende de la temperatura (tabla 1.4). En los conductores metálicos, la resistividad aumenta con la temperatura; este incremento depende de la naturaleza del conductor y viene determinado por la expresión:

$$\rho_{(T)} = \rho_{(20\text{ }^{\circ}\text{C})} (1 + \alpha (T - 20\text{ }^{\circ}\text{C}))$$

En el cero absoluto de temperatura, la resistividad que presentan algunos metales como el hierro, el cobre, la plata, el platino y el oro es nula. Este fenómeno se conoce con el nombre de *superconductividad*.

Ejemplo 6

Calcula la resistencia eléctrica de un conductor de cobre, de una longitud de 10 m y una sección de $0,75\text{ mm}^2$, a una temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

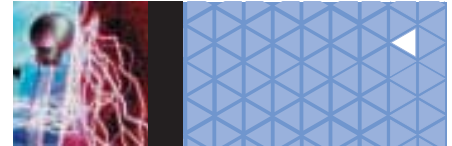
Solución

$$\rho_{(35\text{ }^{\circ}\text{C})} = \rho_{(20\text{ }^{\circ}\text{C})} (1 + \alpha (T - 20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 1,72 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{m} \cdot (1 + 3,9 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (35\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 1,82 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{m}$$

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1,82 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{m} \cdot \frac{10\text{ m}}{7,5 \cdot 10^{-7}\text{ m}^2} = \mathbf{0,24\text{ }\Omega}$$

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.5 Circuito eléctrico



►►► Diferentes tipos de resistores

Los **resistores** son componentes especialmente diseñados para ofrecer una determinada resistencia al paso de la corriente eléctrica.

En los circuitos electrónicos se utilizan los resistores para distribuir adecuadamente la tensión y la corriente por los diferentes puntos del circuito. En electricidad, el efecto de la resistencia es oponerse al paso de la corriente y transformar la energía eléctrica en calor, como es el caso de las resistencias calefactoras y de las lámparas incandescentes.

En la Unidad 4 puedes encontrar los diferentes tipos de resistores y el código de colores para la lectura de su valor óhmico.



Fig. 1.27. Diferentes tipos de resistores.

►►► Conductancia y conductividad



La **conductancia (G)** es la magnitud inversa a la resistencia, ya que define la facilidad que tiene un conductor al paso de la corriente eléctrica.

$$G = \frac{1}{R}$$

A partir de esta expresión, podemos deducir que un conductor que presente una conductancia muy pequeña tendrá una elevada resistencia, es decir, será un mal conductor.

Si la conductancia es la magnitud inversa a la resistencia, la **conductividad (σ)** es la magnitud inversa a la resistividad y representa la aptitud de un material para la conducción de la corriente eléctrica.

La unidad de la conductancia es el **siemens (S)**, en honor al físico **Werner von Siemens**.

►►► Efectos de la electricidad

La corriente eléctrica, a su paso por un receptor o un conductor, puede producir los siguientes efectos:

- **Efecto calorífico:** al pasar la corriente eléctrica por un conductor, éste se calienta. Este es el principio del funcionamiento de las lámparas de incandescencia, estufas, fogones, hornos eléctricos, calentadores, etcétera.
- **Efecto magnético:** cuando una corriente circula por un conductor, crea a su alrededor un campo magnético; este campo servirá, como veremos más adelante, para hacer girar un motor.
- **Efecto luminoso:** el alumbrado eléctrico mediante las lámparas fluorescentes y de descarga es debido al fenómeno de luminiscencia, que consiste en producir radiaciones luminosas por medio de la descarga eléctrica en el seno de un gas como el argón o el neón. Este efecto se produce también en las lámparas de incandescencia por el efecto calorífico o de termorradiación, que consiste en la emisión de luz y calor de un cuerpo caliente.
- **Efecto químico:** el paso de una corriente por un electrolito produce reacciones químicas.
- **Efectos fisiológicos:** el paso de una corriente eléctrica elevada a través del cuerpo humano puede producir lesiones que pueden llegar a producir la muerte. Este efecto es utilizado en aparatos de electromedicina y en el sacrificio de ganado.

Las estufas y los fogones eléctricos antiguos estaban constituidos por una resistencia o filamento metálico de una aleación resistente a la fusión, como el nicromo y el constantán.

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.6 Instrumentos de medida

Actividades

- 17> Calcula la carga eléctrica transportada por una corriente de 5 A durante 1 minuto.
- 18> ¿Qué significa que la corriente eléctrica en un punto del circuito es de 2 A?
- 19> Calcula la resistencia eléctrica que presenta una parte de una instalación realizada con un conductor de cobre de $1,5 \text{ mm}^2$ de sección y 28 m de longitud, si a causa de una sobrecarga eléctrica ésta se calienta a una temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 20> Calcula la intensidad de corriente que circula por un circuito si en 4 h 30 minutos han pasado 48600 C.
- 21> Se quiere construir, con un hilo de constantán de $0,1 \text{ mm}^2$ de sección, un resistor de $1,5 \Omega$. Calcula la longitud necesaria de hilo para su fabricación.
- 22> Un resistor está fabricado con hilo de nicromo de $0,15 \text{ mm}^2$ enrollado sobre un cilindro de $0,4 \text{ mm}$ de diámetro. Calcula la resistencia eléctrica si el resistor está formado por 30 vueltas de hilo.

1.6 Instrumentos de medida

Existen dos tipos de instrumentos de medida, los *analógicos* y los *digitales*.

Los **instrumentos analógicos** son aquellos que indican el valor de la medida mediante el desplazamiento de una aguja sobre una escala numerada. En estos la aguja lleva incorporado un mecanismo que nos permite mediante un tornillo su puesta a cero. Hay aparatos de precisión que además incorporan un espejo para evitar errores en las medidas causados por efectos ópticos. Para evitar estos errores en las lecturas tenemos que hacer coincidir la aguja con su proyección sobre el espejo. Sin embargo, estos aparatos comenzaron a estar en desuso con la aparición de los instrumentos digitales, que son mucho más cómodos, fiables, rápidos para realizar la lectura y más fáciles de transportar.

Los **instrumentos digitales** indican los valores de las medidas de forma directa mediante dígitos sobre una pantalla alfanumérica. La precisión de estos instrumentos dependerá del número de dígitos que posea el display. Por ejemplo, un instrumento de $3 \frac{1}{2}$ dígitos significa que tiene tres dígitos que toman valores entre 0 y 9 (dígitos completos) y un dígito que sólo toma dos valores, el 0 y el 1 ($\frac{1}{2}$ dígito); cuantos más dígitos posea el instrumento, mayor será su precisión.

Las cualidades que hemos de tener en cuenta al elegir un instrumento de medida son:

- La **exactitud** es el grado de concordancia entre el valor real y el experimental. Un instrumento será exacto si las medidas realizadas con él son todas ellas muy próximas al valor real de la magnitud a medir.
- La **precisión** es el grado de concordancia entre mediciones sucesivas; cuanto más parecidas sean las medidas, más preciso será el instrumento.

La precisión y la exactitud son cualidades que están íntimamente relacionadas con la calidad del aparato y su precio.

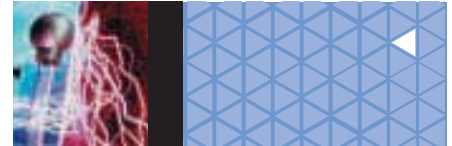
- La **fidelidad** si al repetir una misma medida nos indica siempre el mismo valor.
- La **rapidez** con la que se estabiliza la lectura del aparato.



Fig. 1.28. Polímetro digital (cortesía de Promax).

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.6 Instrumentos de medida



- La **sensibilidad** es el mínimo valor que podemos medir en una determinada escala, es decir, un aparato será más sensible cuanto mayor sea la capacidad para medir magnitudes muy pequeñas.

Existen instrumentos de medida que nos permiten medir distintas magnitudes eléctricas; se denominan polímetros, multímetros, comprobadores universales, etcétera.

►► A. Medida de magnitudes eléctricas

Las magnitudes eléctricas estudiadas (intensidad eléctrica, voltaje o diferencia de potencial y resistencia eléctrica) se pueden medir con los instrumentos de medida siguientes: el *amperímetro*, el *voltímetro* y el *óhmetro*.

- El **amperímetro** es el instrumento que nos permite medir la intensidad eléctrica. Se debe conectar interrumpiendo el circuito, para obligar a que todas las cargas eléctricas circulen a través de él (figura 1.29). Este tipo de conexión se denomina *conexión en serie*.
- El **voltímetro** es el instrumento que nos permite medir la diferencia de potencial o el voltaje. La diferencia de potencial, como la misma palabra indica, es la diferencia de potencial entre dos puntos, y para poderla medir deberemos conectar el voltímetro entre estos dos puntos (figura 1.30); esta conexión se denomina *conexión en paralelo*.
- El **óhmetro** es el instrumento que nos permite medir la resistencia eléctrica de un circuito, de un receptor o de un resistor. Para realizar la medida de una resistencia en un circuito hay que proceder de la siguiente manera:
 - Asegurarse que en el circuito o en la resistencia no haya tensión, ya que eso puede provocar el deterioro del aparato y la medida realizada no sería la correcta. Por eso te recomendamos siempre que desconectes el circuito o resistencia de la fuente de alimentación o generador.
 - Si el aparato que se va a utilizar es analógico o de aguja, deberás unir las dos puntas del óhmetro y actuar sobre la resistencia ajustable para calibrar el aparato a cero.
 - Para efectuar la medida deberemos conectar el óhmetro entre los dos puntos entre los que queremos medir la resistencia.

Para utilizar estos instrumentos, primero tenemos que seleccionar la magnitud a medir mediante el conmutador que poseen. A continuación, elegir la escala o el rango adecuado, por lo que hemos de tener idea del valor a medir; en caso contrario, siempre empezaremos por las escalas mayores e iremos cambiando de escala hasta que tengamos una cierta precisión de la lectura utilizando la parte decimal de la misma.

Los polímetros nos permiten medir tensiones e intensidades en corriente continua y en alterna, resistencias eléctricas, etc. Además nos permiten comprobar el correcto funcionamiento de algunos componentes electrónicos tales como el diodo y el transistor, así como comprobar la continuidad de un circuito.

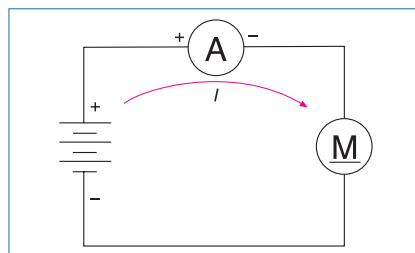


Fig. 1.29. Conexión de un amperímetro.

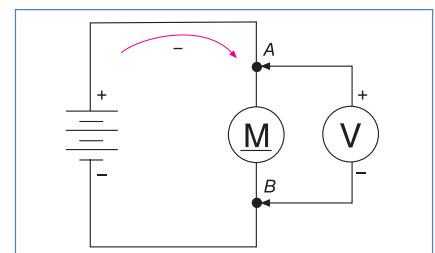


Fig. 1.30. Conexión de un voltímetro.



1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.6 Instrumentos de medida

►► B. Errores en la medida

Al realizar medidas nuestros resultados pueden verse alterados, es decir, podemos obtener resultados erróneos. Es importante que conozcamos cómo podemos cometer errores en la medida para poderlos evitar. Éstos pueden ser *sistemáticos* y/o *accidentales*.

- Los **errores sistemáticos** son debidos a las características del aparato y a la destreza de la persona que realiza la medida.
 - Errores debidos al instrumento, como el reglaje en los analógicos, es decir, el cero de la escala no coincide con la posición cero de la aguja, defectos de la graduación del instrumento, desgaste de las piezas o de la pila en el caso de los digitales, etcétera.
 - Errores personales, que dependen de la habilidad de la persona que realiza la medida. Ejemplos de ello son: no esperar que la lectura se estabilice, no trabajar con la escala adecuada, no realizar los reglajes correctos, paralaje entre la aguja y la proyección de esta sobre el espejo, etcétera.
- Los **errores accidentales** o eventuales son aquellos que se producen por causas fortuitas o de forma aleatoria. Únicamente se pueden paliar parcialmente obteniendo la media aritmética de las distintas medidas sucesivas.

Una vez estudiados y definidos los distintos factores que pueden influir en una medida, trataremos de cuantificarlos. Utilizaremos dos parámetros: el *error absoluto* y el *error relativo*.

- El **error absoluto** es la diferencia entre el valor de la medida y el valor real de la magnitud. Si no conocemos el valor real de una magnitud, podemos sustituirlo por la media aritmética de las distintas medidas realizadas.

$$E_a = x_i - \bar{x}$$

Pero este parámetro no nos informa de la magnitud del error, es decir, no es lo mismo cometer un error de 0,3 V sobre una medida real de 2 V que de 300 V. Para cuantificar el error necesitamos otro parámetro que nos indique el grado de la exactitud de la medida; este se denomina *error relativo*.

- El **error relativo** es el cociente entre el error absoluto y la medida real de la magnitud y se expresa normalmente en tanto por ciento (%).

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{x}}$$



Ejemplo 7

Al realizar una medida de una tensión se han obtenido los siguientes valores: 2,34 V, 2,35 V, 2,34 V, 2,36 V, 2,38 V y 2,36 V. Calcula el error absoluto y relativo de las dos primeras medidas.

Solución

$$\bar{x} = (2,34 \text{ V} + 2,35 \text{ V} + 2,34 \text{ V} + 2,36 \text{ V} + 2,38 \text{ V} + 2,36 \text{ V})/6 = 2,355 \text{ V}$$

1. La electricidad y el circuito eléctrico

1.6 Instrumentos de medida



- Cálculo del error absoluto y relativo de la primera medida:

$$E_a = x_i - \bar{x} = 2,34 \text{ V} - 2,355 \text{ V} = -0,015 \text{ V} \quad ; \quad E_r = E_a / \bar{x} = -0,015 \text{ V} / 2,355 \text{ V} = -0,00637 = -0,637 \%$$

- Cálculo del error absoluto y relativo de la segunda medida:

$$E_a = x_i - \bar{x} = 2,35 \text{ V} - 2,355 \text{ V} = -0,005 \text{ V} \quad ; \quad E_r = E_a / \bar{x} = -0,005 \text{ V} / 2,355 \text{ V} = -0,00212 = -0,212 \%$$

Actividades

23> Dibuja en el circuito de la figura 1.31 cómo colocarías el amperímetro para medir la intensidad que circula por la lámpara, por el motor y la que suministra el generador.

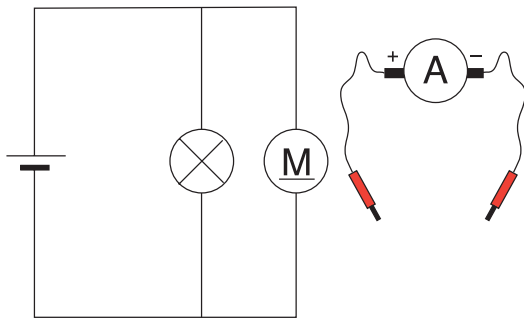


Fig. 1.31

24> Al realizar la medida de una resistencia se han obtenido los siguientes valores: 223 Ω , 230 Ω , 212 Ω , 215 Ω , 220 Ω , 218 Ω y 221 Ω . Calcula los errores absoluto y relativo de la primera medida.

25> Dibuja en el circuito de la figura 1.32 la colocación del voltímetro para medir el voltaje en cada una de las lámparas.

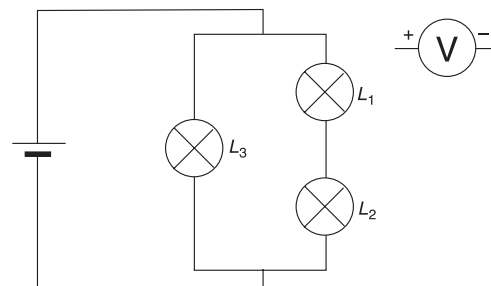


Fig. 1.32

26> Explica cómo medirías la resistencia interna de la lámpara de la figura 1.32.

1. La electricidad y el circuito eléctrico

Actividades finales



Actividades finales

- 1> Si un cuerpo tiene una carga negativa de 0,5 culombios, ¿cuántos electrones tiene?
S: $3,12 \cdot 10^{18} e^-$
- 2> ¿Cómo son las líneas de fuerza creadas por una carga positiva? Razona tu respuesta.
- 3> Si tenemos un campo eléctrico creado por más de una carga, ¿cómo podemos calcular la intensidad de campo eléctrico en un determinado punto?
- 4> Dos cargas puntuales están situadas a una distancia de 2 m y se atraen con una fuerza de 50 N. Si disminuimos la distancia hasta 1 m, ¿cuánto valdrá la nueva fuerza de atracción?
S: $F = 200 \text{ N}$
- 5> Calcula la fuerza de atracción de dos cargas situadas en el vacío de $23 \mu\text{C}$ y $-50 \mu\text{C}$, separadas por una distancia de 50 cm.
S: $F = -41,4 \text{ N}$
- 6> Dos cargas de $5 \mu\text{C}$ y $8 \mu\text{C}$ están situadas en el vacío, en los puntos que indica la figura 1.33. Calcula el vector intensidad de campo, en módulo, en el punto A.

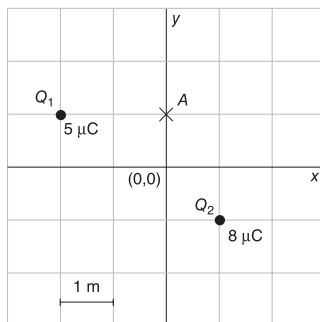


Fig. 1.33

- S: $E_T = 13\,748,65 \text{ N/C}$
- 7> ¿Qué son las líneas de fuerza de un campo eléctrico? Dibuja las líneas de fuerza de un campo producido por dos cargas iguales de signo negativo. Razona tu respuesta.
 - 8> Dibuja el espectro producido por una carga positiva. Razona tu respuesta.
 - 9> En un punto de un campo eléctrico hay una carga de 8 mC con una energía potencial de 40 julios. ¿Cuál es el potencial en este punto?
S: $V = 5\,000 \text{ V}$
 - 10> ¿Cuál es el potencial eléctrico de un punto A situado en el vacío y a 1 m de una carga positiva de $0,3 \mu\text{C}$?
S: $V = 2\,700 \text{ V}$
 - 11> Dos cargas de $-4 \mu\text{C}$ y $3 \mu\text{C}$ situadas en el vacío están separadas por una distancia de 2 m. Calcula la intensidad de campo y el potencial en un punto situado a 1,3 m de la primera carga y 0,7 m de la segunda.
S: $E_T = 76\,403,8 \text{ N/C}$ y $V_T = 10\,879,1 \text{ V}$
 - 12> En los puntos de coordenadas (0,2) m y (3,0) m se encuentran dos cargas eléctricas puntuales de $20 \mu\text{C}$ y $30 \mu\text{C}$ respectivamente. Calcula el potencial en el origen de coordenadas y en el punto medio de la recta que las une si éstas están situadas en el vacío.
S: a) $V_A = 180\,000 \text{ V}$ b) $V_B = 250\,000 \text{ V}$
 - 13> Calcula la diferencia de potencial entre dos puntos situados a 2 y 0,7 m respectivamente de una carga de $-20 \mu\text{C}$.
S: $V_A - V_B = 167\,142,8 \text{ V}$
 - 14> ¿Qué cantidad de carga deberá transportar una corriente de 10 A durante media hora?
S: $Q = 18\,000 \text{ C}$
 - 15> ¿Quién suministra la energía que transporta la corriente eléctrica?
 - 16> Indica el nombre de cinco materiales conductores y de cinco de aislantes.
 - 17> ¿En qué sentido circula la corriente eléctrica, científicamente? ¿Cuál es el sentido que utiliza normalmente?
 - 18> Busca información sobre el generador de Van der Graff, dibújalo y explica su funcionamiento.
 - 19> Explica el funcionamiento de una batería o acumulador.
 - 20> Busca información del proceso xerográfico y explica en qué consiste.
 - 21> Con un hilo de constantán de 0,1 mm de diámetro se quiere construir una resistencia de 200Ω . Calcula la longitud que debe tener el hilo.
S: $l = 3,2 \text{ m}$
 - 22> ¿Qué significa que el coeficiente de temperatura del silicio y del germanio sean negativos?