

### Unidad 6: La corriente eléctrica

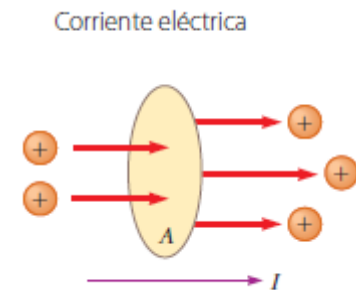
La corriente eléctrica: definición, unidades. Modelo de la conducción eléctrica en metales. Ley de Ohm. Resistencia eléctrica, su variación con la temperatura. Trabajo y Potencia eléctrica: Ley de Joule.

## La corriente eléctrica

La corriente eléctrica, se define como el flujo de carga eléctrica que atraviesa una superficie de área  $A$  por unidad de tiempo.

Si  $\Delta Q$  es la cantidad de carga que pasa a través de esta superficie en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , la corriente promedio  $I_{prom}$  es igual a la carga que pasa a través de  $A$  por unidad de tiempo:

Corriente promedio 
$$I_{prom} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$



Si la proporción a la que circula la carga varía en el tiempo, entonces, la corriente también varía en el tiempo; se define de la corriente instantánea  $I$

Corriente instantánea 
$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

La unidad del SI para la corriente es el ampere (A)

$$1A = 1 \frac{C}{s}$$

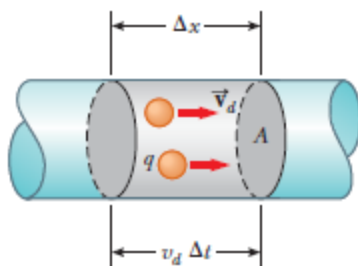
El ampere es una unidad fundamental para el electromagnetismo.

### Sentido convencional de la corriente

Es una regla convencional asignar a la corriente la misma dirección que la del flujo de la carga positiva.

En los conductores eléctricos, como cobre o aluminio, la corriente está ocasionada por el movimiento de electrones con carga negativa. Por lo tanto, en cualquier conductor, la dirección de la corriente es la opuesta a la dirección del flujo de los electrones.

### Modelo microscópico de la corriente



Considere la corriente en un conductor de área de sección transversal  $A$ .

-El volumen de una sección del conductor de longitud  $\Delta x$  es  $A\Delta x$ .

-Existen  $n$  portadores de carga móvil por unidad de volumen.

-Todos los portadores de carga son iguales y transportan una carga positiva  $q$ .

-Se aplica un campo eléctrico  $\vec{E}$  y los portadores se mueven (en promedio) a lo largo de las líneas de campo con una rapidez de arrastre  $v_d$ .

La cantidad total  $\Delta Q$  de esta sección es igual a:

$$\Delta Q = (nA\Delta x)q$$

Si los portadores se mueven con una rapidez  $v_d$ , el desplazamiento que experimentan en la dirección  $x$  en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  es:  $\Delta x = v_d\Delta t$

$$\Delta Q = (nAv_d\Delta t)q$$

Según su definición, la corriente que atraviesa A es:

$$I_{prom} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{(nAv_d\Delta t)q}{\Delta t} = nqv_dA$$

Corriente en un conductor en función de los valores microscópicos:  $I_{prom} = nqv_dA$

Se define **la densidad de corriente**,  $\vec{J}$ , como la corriente por unidad de área:

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d$$

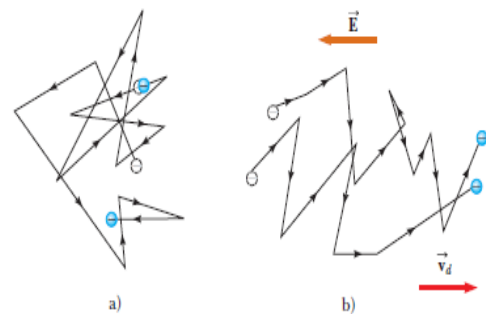
Donde  $J$  tiene unidades en el SI de amperes por metro al cuadrado  $\left(\frac{A}{m^2}\right)$ .

Si el conductor está aislado, es decir, si la diferencia de potencial entre los extremos es igual a cero, estos electrones se someten a movimiento aleatorio.

Los electrones colisionan repetidamente con los átomos metálicos, y su movimiento es complicado y en zigzag.

Cuando se aplica una diferencia de potencial a un conductor (por ejemplo, mediante una batería), se establece un campo eléctrico en dicho conductor; este campo ejerce una fuerza eléctrica sobre los electrones, lo que produce una corriente.

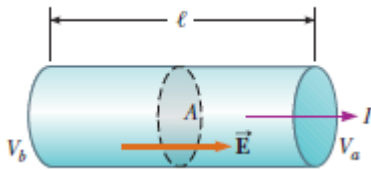
Además del movimiento zigzagueante producido por las colisiones con los átomos metálicos, los electrones se trasladan despacio a lo largo del conductor (en dirección opuesta a  $\vec{E}$  con la velocidad de arrastre  $v_d$ ).



Se puede pensar en las colisiones entre átomos y electrones en un conductor como si se tratara de una fricción interna efectiva, estas colisiones. La energía que se transfiere de los electrones a los átomos metálicos durante las colisiones ocasiona un incremento en la energía vibratoria de dichos átomos y un incremento correspondiente en la temperatura del conductor.

## Ley de Ohm. Resistencia eléctrica, su variación con la temperatura.

Un conductor de área de sección transversal  $A$  que transporta una corriente  $I$  con una densidad de corriente  $J$



Se mantiene una diferencia de potencial a través del conductor y se establece una densidad de corriente y un campo eléctrico.

En algunos materiales, la densidad de corriente es proporcional al campo eléctrico.

Ley de Ohm  $J = \sigma E$

Donde la constante de proporcionalidad  $\sigma$  se conoce como conductividad del conductor. Los materiales que obedecen a la ecuación  $J = \sigma E$  siguen la ley de Ohm.

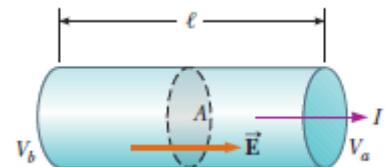
Ley de Ohm

Para ciertos materiales, tales como los metales, la relación densidad de corriente al campo eléctrico es una constante  $\sigma$  que es independiente del campo eléctrico que produce la corriente.

Los materiales que obedecen la ley de Ohm se conocen como materiales óhmicos.

Si consideramos un segmento de alambre recto de área  $A$  y de longitud  $l$

La diferencia de potencial entre los extremos genera en el alambre un campo eléctrico y una corriente .



$$\Delta V = V_b - V_a = E \cdot l \Rightarrow E = \frac{\Delta V}{l}$$

La densidad de corriente en el alambre

$$J = \sigma E = \sigma \frac{\Delta V}{l}$$

Ya que  $J = \frac{I}{A}$

La diferencia de potencial  $\Delta V = \frac{l}{\sigma} J = \left( \frac{l}{\sigma A} \right) I = RI$

Donde  $R = \left( \frac{l}{\sigma A} \right)$  es la resistencia del conductor

Por lo tanto  $R = \frac{\Delta V}{I}$  conocida como la Ley de Ohm

La resistencia tiene unidades del SI de volts por ampere. Un volt por ampere se define como un ohm( $\Omega$ )

$$1\Omega = 1 \frac{V}{A}$$

La mayoría de los circuitos eléctricos usan elementos llamados **resistores** para controlar la corriente en las diferentes partes del circuito.

El recíproco de la conductividad es la resistividad  $\rho$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

La unidad de  $\rho$  está en ohms.metros ( $\Omega \cdot m$ )

Ya que  $R = \left(\frac{l}{\sigma A}\right) = \rho \frac{l}{A}$

$R = \rho \frac{l}{A}$  La resistencia es proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su área de sección transversal.

Símbolo de un resistor



-Todo material óhmico tiene una resistividad característica que depende de las propiedades del material y de la temperatura.

-La resistencia de una muestra depende tanto de su geometría como de su resistividad.



- Un conductor ideal debería tener una resistividad igual a cero ( $\rho = 0$ ).

Un buen conductor tiene una resistividad baja ( $\rho \downarrow$ ), ejemplo: el cobre, la plata.

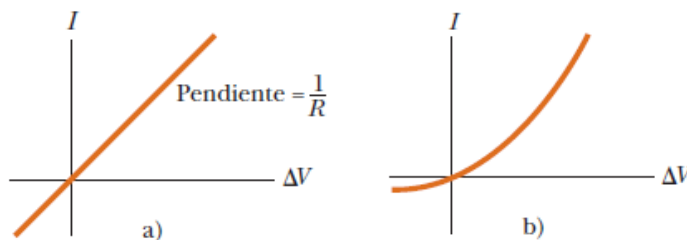
-Un aislador ideal tiene una resistividad infinita, ejemplo: el vidrio, el hule.

**TABLA 27.2**

Resistividades y coeficientes de temperatura de resistividad para diversos materiales

Material	Resistividad <sup>a</sup> ( $\Omega \cdot m$ )	Coefficiente de temperatura <sup>b</sup> $\alpha [ (^{\circ}C)^{-1} ]$
Plata	$1.59 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-3}$
Cobre	$1.7 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Oro	$2.44 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-3}$
Aluminio	$2.82 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Tungsteno	$5.6 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
Hierro	$10 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-3}$
Platino	$11 \times 10^{-8}$	$3.92 \times 10^{-3}$
Plomo	$22 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Aleación nicromo <sup>c</sup>	$1.50 \times 10^{-6}$	$0.4 \times 10^{-3}$
Carbono	$3.5 \times 10^{-5}$	$-0.5 \times 10^{-3}$
Germanio	0.46	$-48 \times 10^{-3}$
Silicio	$2.3 \times 10^3$	$-75 \times 10^{-3}$
Vidrio	$10^{10}$ a $10^{14}$	
Hule vulcanizado	$\sim 10^{13}$	
Azufre	$10^{15}$	
Cuarzo (fundido)	$75 \times 10^{16}$	

Los materiales y otros dispositivos óhmicos tienen una correspondencia lineal corriente-diferencia de potencial en un amplio intervalo de diferencias de potencial aplicadas. La pendiente de la curva  $I$  en función de  $\Delta V$  en la región lineal, tiene un valor  $1/R$ . Los materiales no óhmicos tienen una correspondencia no lineal de corriente-diferencia de potencial.



## Resistencia y temperatura

En un intervalo limitado de temperatura, la resistividad de un conductor varía prácticamente de manera lineal con la temperatura, de acuerdo con la expresión

Variación de  $\rho$  en función de la temperatura

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad \text{donde } \alpha \text{ es el } \mathbf{coeficiente de temperatura de resistividad} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$$

Ya que la resistencia es proporcional a la resistividad, la variación en la resistencia de una muestra es:

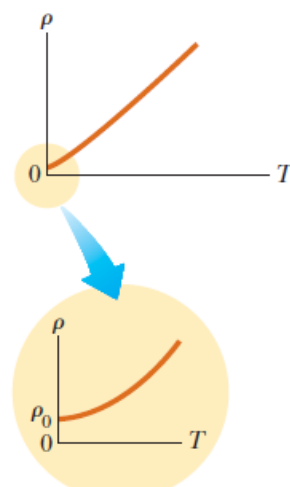
$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Donde  $R_0$  es la resistencia a una temperatura  $T_0$ .

Para algunos metales, como el cobre, la resistividad casi es proporcional a la temperatura, sin embargo, a temperaturas muy bajas siempre existe una región no lineal, y la resistividad usualmente alcanza algún valor finito conforme la temperatura tiende al cero absoluto.

En algunos casos,  $\alpha < 0$  lo que indica que la resistividad de estos materiales disminuye con el aumento de temperatura. Este comportamiento indica una clase de materiales llamada semiconductores.

Existe una clase de metales y de compuestos cuya resistencia disminuye hasta cero cuando llegan a una cierta temperatura  $T_c$ , conocida como temperatura crítica. Estos materiales se conocen como superconductores. Ejemplo. Mercurio a 4,15K, aluminio a 1,19K.



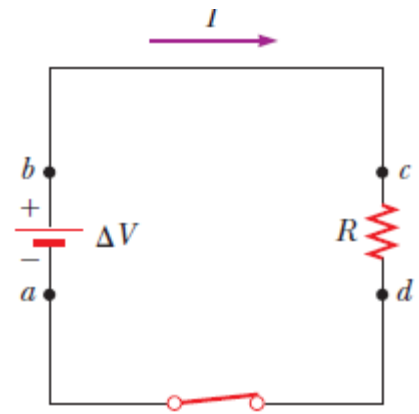
## Potencia eléctrica

En los circuitos eléctricos típicos, la energía se transfiere de una fuente, como una batería, a algún dispositivo, como sería una lámpara o un receptor de radio. Por ello conviene determinar una expresión que permita calcular la rapidez de transferencia de esta energía.

Primero, imagine el sencillo circuito, donde se entrega energía a un resistor.

La trayectoria de una carga  $Q$  positiva en dirección de las agujas del reloj alrededor del circuito desde el punto  $a$ , a través de la batería, del resistor y de regreso al punto  $a$ .

Conforme la carga se mueve de  $a$ , a  $b$ , a través de la batería, la energía potencial eléctrica del sistema aumenta en una cantidad  $Q\Delta V$ , en tanto que la energía potencial química de la batería se reduce en la misma cantidad. ( $\Delta U = q\Delta V$ )



Conforme la carga se mueve de  $c$ , a  $d$  a través del resistor el sistema pierde esta energía potencial eléctrica durante las colisiones de los electrones con los átomos del resistor.

Considere ahora la rapidez a la cual el sistema pierde energía potencial eléctrica conforme la carga  $Q$  pasa a través del resistor:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q\Delta V) = \frac{dQ}{dt}\Delta V = I\Delta V$$

El sistema recupera su energía potencial cuando la carga pasa a través de la batería, a expensas de la energía química de la misma.

La rapidez a la cual el sistema pierde energía potencial conforme la carga pasa a través del resistor es igual a la rapidez a la cual el sistema adquiere energía interna en el resistor.

Por lo tanto, la potencia  $P$ , que representa la rapidez a la cual se entrega energía al resistor, es:

$$P = I\Delta V$$

empleando esta relación  $\Delta V = IR$  podemos escribir también:

$$P = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

La unidad de potencia es el watt.

El proceso mediante el que se pierde potencia en forma de energía interna en un conductor de resistencia  $R$ , a menudo se llama calentamiento joule; esta transformación también es conocida como una pérdida  $I^2 R$ .

Nota: Los choques conllevan a una pérdida y consiguiente conversión en calor de la energía de los portadores.

Este fenómeno de conversión de energía eléctrica en calor se denomina efecto Joule.