

Física II

Primera parte: Electricidad

Dr. Mario Enrique Álvarez Ramos(Responsable)

Dr. Roberto Pedro Duarte Zamorano

Dr. Ezequiel Rodríguez Jáuregui

Dr. Santos Jesús Castillo

Webpage: <http://paginas.fisica.uson.mx/qb>

©2017 Departamento de Física

Universidad de Sonora

Tema: Corriente eléctrica y Resistencia

- i. El movimiento de la carga eléctrica.
- ii. La dirección de la corriente eléctrica.
- iii. Ley de Ohm; resistencia.
- iv. Resistencias en serie y en paralelo.
- v. Potencia eléctrica y pérdida de calor.
- vi. Resistividad.
- vii. Coeficiente de temperatura de la resistencia.

Webpage: <http://paginas.fisica.uson.mx/qb>

**©2017 Departamento de Física
Universidad de Sonora**



OBJETIVOS: DESPUÉS DE COMPLETAR ESTE MÓDULO DEBERÁ:

- Definir corriente eléctrica y fuerza electromotriz.
- Escribir y aplicar la ley de Ohm a circuitos que contengan resistencia y fem.
- Definir la resistividad de un material y aplicar fórmulas para su cálculo.
- Definir y aplicar el concepto de coeficiente de temperatura de la resistencia.



Corriente y Resistencia

Hasta ahora se han estudiado cargas en reposo o lo que se conoce como electrostática. En este capítulo se estudiarán las cargas en movimiento.

El término **corriente eléctrica** o simplemente **corriente** se utiliza para describir la rapidez de flujo de carga por una región del espacio.

En este capítulo se describirá la batería, una fuente de corriente continua, se manejarán los conceptos de corriente y densidad de corriente; se hablará de los conductores, y de modelos.



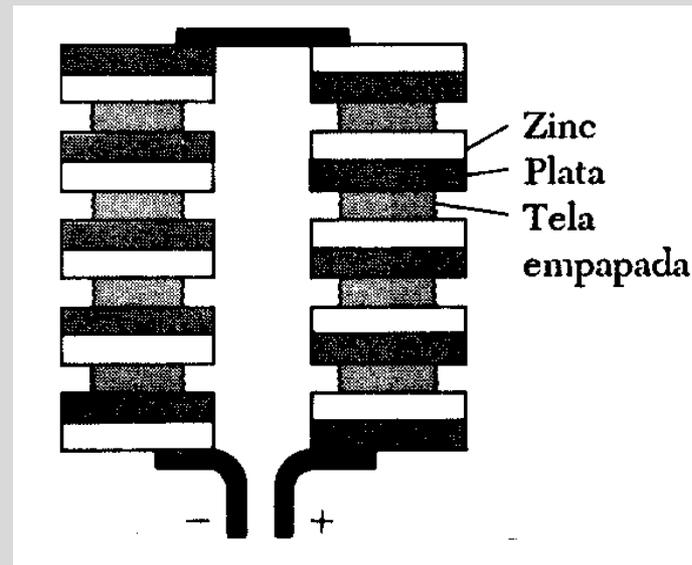
LA BATERÍA

- Inventada en 1800 por *Alessandro Volta*, uno de los más importantes descubrimientos prácticos de la ciencia.
- Volta propuso que la fuente de carga se creaba con el contacto de 2 metales diferentes.
- Durante sus experimentos, Volta reconoce que el contacto entre los 2 metales requiere de un conductor acuoso para ser apreciable.



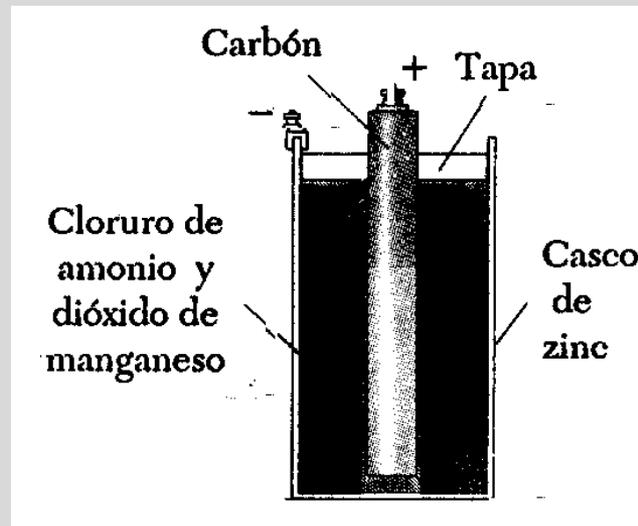
BATERÍA DE VOLTA

Después de sus investigaciones, procede a inventar una fuente continua de electricidad, un dispositivo llamado pila voltaica, conocido como la primer batería. El dispositivo consistía de placas alternas de plata y zinc separadas por una tela empapada de solución salina ó ácido diluido.



Baterías modernas

Actualmente, la pila utilizada con más frecuencia es la pila para lámpara, también conocida como pila seca. Esta batería se compone de un casco de zinc (terminal negativa), y una barra de carbón (terminal positiva), separadas por una pasta ligera de una mezcla de dióxido de manganeso, cloruro de amonio y carbón.



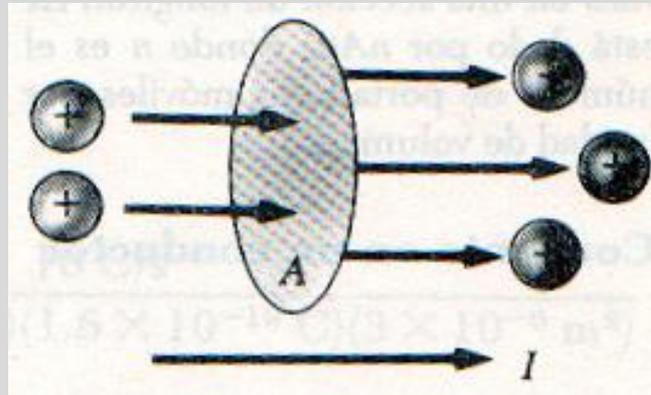
Baterías modernas

Por medio de reacciones químicas entre estos materiales (en el casco de zinc y en la placa de dióxido de manganeso), la energía química interna se transforma en energía potencial eléctrica.



CORRIENTE ELÉCTRICA

Siempre que cargas eléctricas del mismo signo están en movimiento, se dice que existe una *corriente*. La corriente es la rapidez con la que fluye la carga a través de una superficie determinada.



Si ΔQ es la cantidad de carga que pasa a través de esta área en un tiempo Δt , la *corriente promedio* I_P es igual a la razón de carga en el intervalo de tiempo:

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



Corriente instantánea

Si la rapidez con la que fluye la carga varía con el tiempo, la corriente también varía, esta corriente se conoce como *corriente instantánea* I y está dada por:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

La unidad SI de la corriente es el **ampere** (A), donde:

$$1\text{A} = 1\text{C/s}$$

Un ampere de corriente equivale a un coulomb de carga que pasa a través de la superficie en 1 segundo. En la práctica se utilizan unidades más pequeñas de corriente, tales como el miliampere y el microampere.



Corriente instantánea

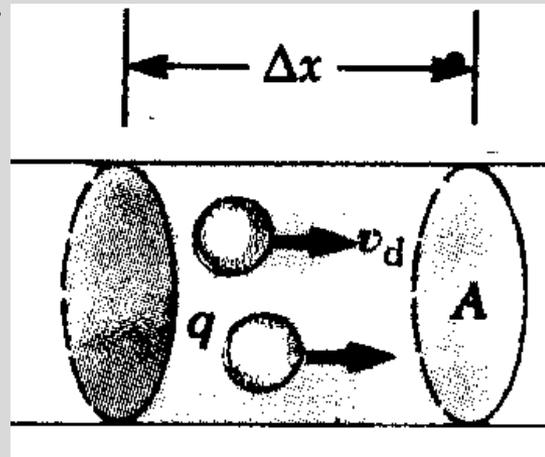
Cuando las cargas fluyen en una superficie, éstas pueden ser positivas, negativas o ambas. Por convención se escoge la dirección de la corriente como la dirección en la que fluyen las cargas positivas.

Cuando se hable de un conductor ordinario, la dirección de la corriente será opuesta a la del flujo de electrones.



Corriente y velocidad de deriva

Si se considera la corriente en un conductor de área, en su sección transversal, A . El volumen de un elemento del conductor de longitud Δx es el producto $A \Delta x$.



Si n representa el número de portadores de carga por unidad de volumen, entonces el número de portadores de carga en el elemento de volumen está dado por $A n \Delta x$.

De lo anterior se tiene que la carga ΔQ en ese elemento está dada por:

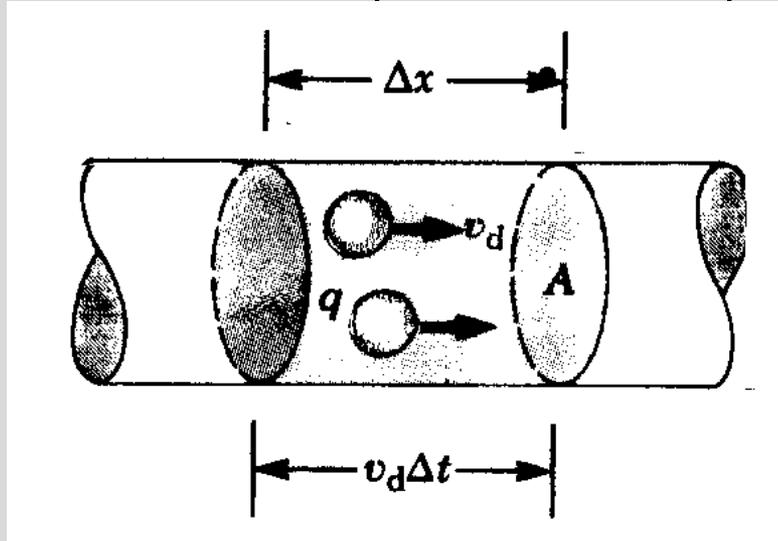
$$\Delta Q = (A n \Delta x) q$$

Número de cargas multiplicada por la carga q de cada partícula.



Corriente y velocidad de deriva

Si los portadores de carga se mueven con una velocidad v_d la distancia que se mueve en un tiempo Δt está dado por $\Delta x = v_d \Delta t$.



Derivado de lo anterior: $\Delta Q = (n A v_d \Delta t) q$.

Si se dividen ambos lados de la ecuación por Δt , se ve que la corriente en un conductor está dada por:

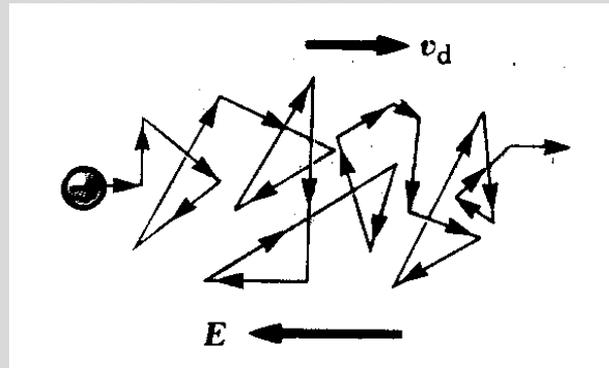
$$I_P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqAv_d$$



Corriente y velocidad de deriva

A la velocidad v_d de los portadores de carga se le llama **velocidad de deriva**. Si se considera un conductor donde los portadores son los electrones libres, éstos se estarán moviendo en forma aleatoria como moléculas de gas. Cuando se aplica una diferencia de potencial a través del conductor, se forma un campo eléctrico, generando una fuerza eléctrica y por lo tanto una corriente.

Los electrones no se mueven en línea recta a lo largo del conductor. Constantemente están chocando con los átomos del metal, ocasionando un complicado movimiento de zigzag. A pesar de las colisiones, los electrones se mueven lentamente con una velocidad promedio llamada **velocidad de deriva**.



RESISTENCIA Y LEY DE OHM

Anteriormente se encontró que no se puede tener un campo eléctrico dentro de un conductor. Esta afirmación es sólo válida si el conductor está en equilibrio estático.

En esta sección se estudia lo que pasa cuando las cargas están en movimiento en el conductor.



Densidad de corriente y Ley de Ohm

Considerando un conductor con área transversal A con una corriente I . La **densidad de corriente** J en un conductor se define como la corriente por unidad de área:

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

Donde J tiene unidades SI de A/m^2

Una densidad de corriente J y un campo eléctrico E se establecen en un conductor cuando una diferencia de potencial se mantiene a través del conductor. Si la diferencia de potencial es constante, la corriente en el conductor será también constante. Con frecuencia, la densidad de corriente en un conductor es proporcional al campo eléctrico en el conductor:

$$J = \sigma E$$

Ley de Ohm



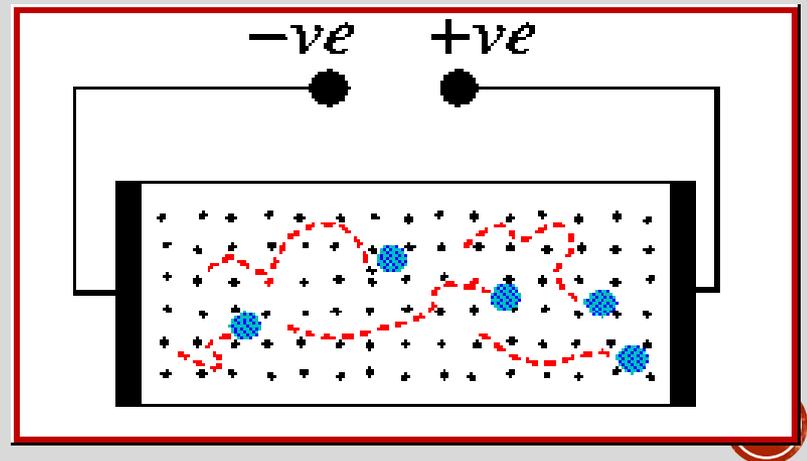
Ley de Ohm



La Ley de Ohm afirma que para muchos materiales, “*la razón de la densidad de corriente al campo eléctrico es una constante, σ (conductividad del material), y que es independiente del campo eléctrico que produce la corriente*”.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \Rightarrow \frac{\|\vec{J}\|}{\|\vec{E}\|} = \sigma$$

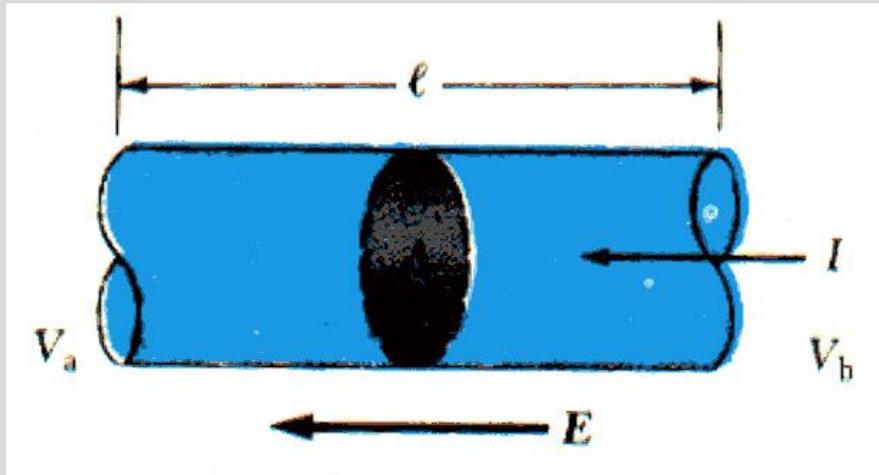
Los materiales que obedecen a la *Ley de Ohm*, por demostrar un comportamiento lineal entre J y E , se les conoce como *óhmicos*, y los que no la obedecen se dicen *no óhmicos*.



Ley de Ohm

Una forma más práctica de esta Ley se aprecia si se considera un alambre de área transversal A y longitud l . Una diferencia de potencial $V_a - V_b$ a través del alambre crea un campo eléctrico y una corriente. Si se supone que E es uniforme, $V = V_a - V_b$ se relaciona con el campo eléctrico como sigue:

$$V = E \cdot l$$



De lo anterior, se obtiene que puede expresarse la magnitud de la densidad de corriente como:

$$J = \sigma E = \sigma \left(\frac{V}{l} \right)$$



Ley de Ohm

Si se sabe que $J = I / A$, sustituyendo en la anterior se obtiene la cantidad $l / \sigma A$, a la que se le llama **resistencia** R del conductor:

$$\frac{I}{A} = \frac{\sigma V}{l} \Rightarrow R \equiv \frac{l}{\sigma A} = \frac{V}{I}$$

De lo anterior se ve que la resistencia tiene unidades SI de volts por ampere. Un volt por un ampere se define como un ohm (Ω)

$$1 \Omega = 1 \text{ V} / \text{A}$$

Si una diferencia de potencial de 1 volt a través de un conductor produce una corriente de 1 A, entonces la resistencia del conductor es de 1 Ω .



Ley de Ohm y conductividad

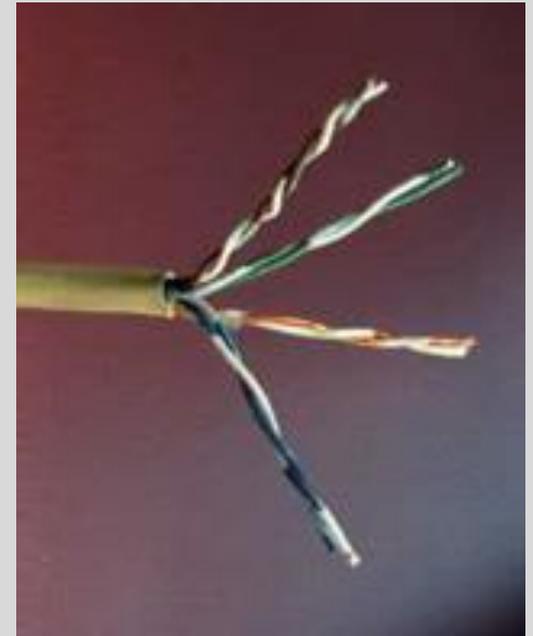
El inverso de la conductividad de un material se le llama resistividad ρ

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

La resistencia puede expresarse como:

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

Los buenos conductores eléctricos tienen muy baja resistividad (o alta conductividad), y un buen aislante tiene alta resistividad (baja conductividad).



Resistores

La mayor parte de los circuitos eléctricos utilizan dispositivos llamados **resistores** para controlar el nivel de corriente en varias partes del circuito.

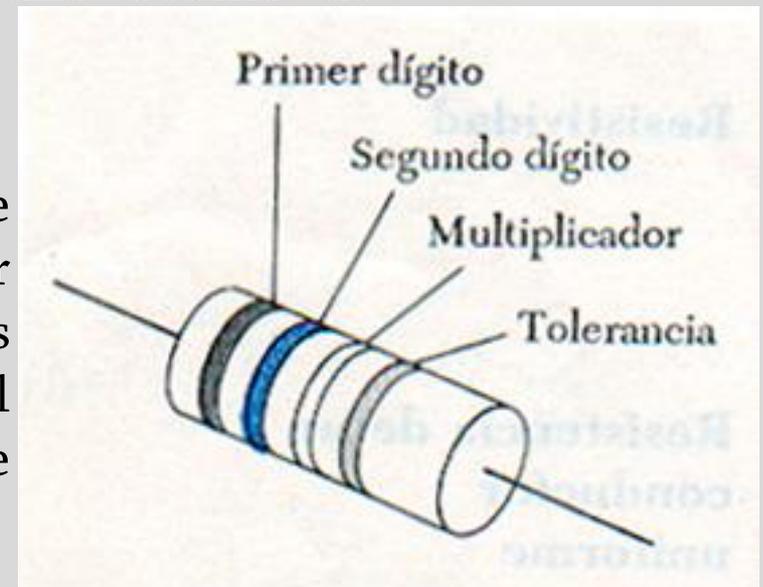
Resistores más comunes:

Compuesto: contiene carbón que es un semiconductor.

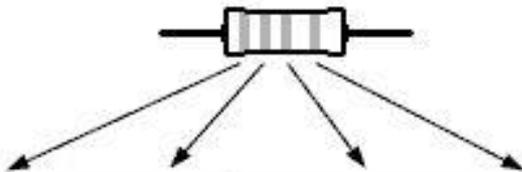
De alambre enrollado: consiste en una bobina de alambre.



Los conductos normalmente se codifican con colores para dar su valor en ohms. La tabla “Código de colores para resistores” permite trasladar el código de colores al valor específico de la resistencia.



Código de colores para los resistores



Código de colores

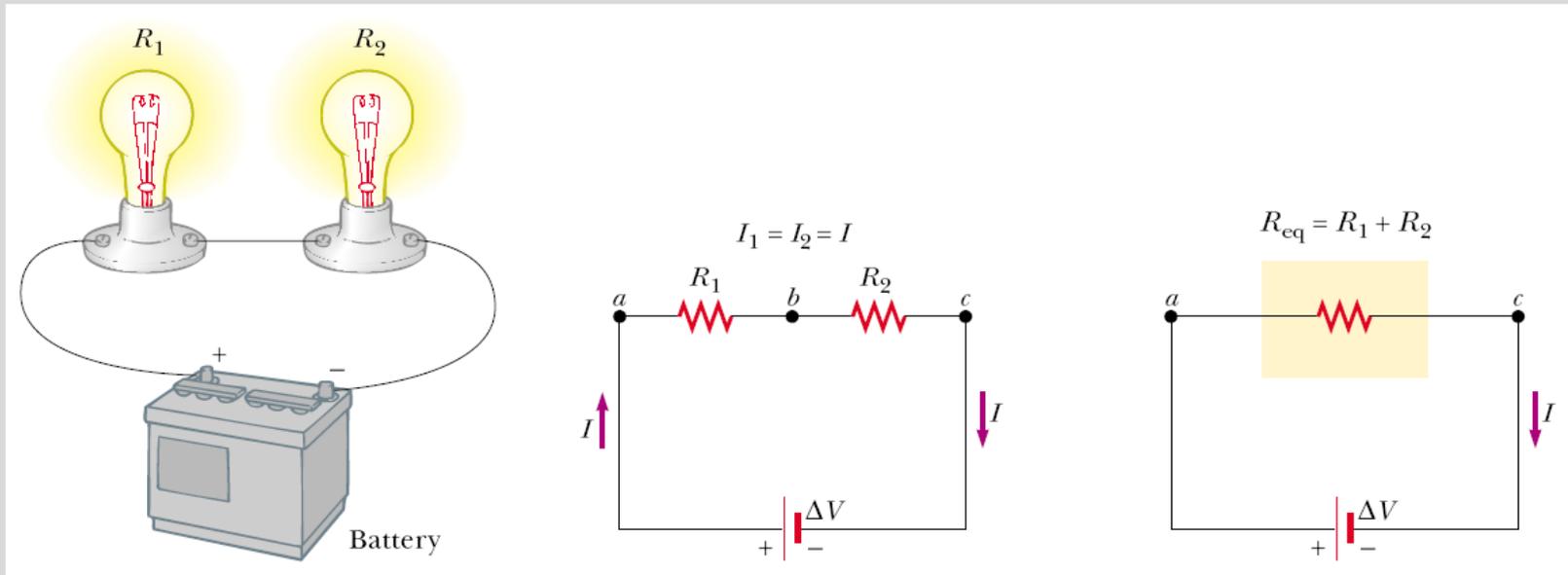
Colores	1ª Cifra	2ª Cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro		0	0	
Marrón	1	1	$\times 10$	$\pm 1\%$
Rojo	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	3	$\times 10^3$	
Amarillo	4	4	$\times 10^4$	
Verde	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	6	$\times 10^6$	
Violeta	7	7	$\times 10^7$	
Gris	8	8	$\times 10^8$	
Blanco	9	9	$\times 10^9$	
Oro			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Plata			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Sin color				$\pm 20\%$

Tomado de http://www.arrakis.es/~fon/simbologia/_private/colores.htm



Resistores en serie y en paralelo

Resistencias en serie.



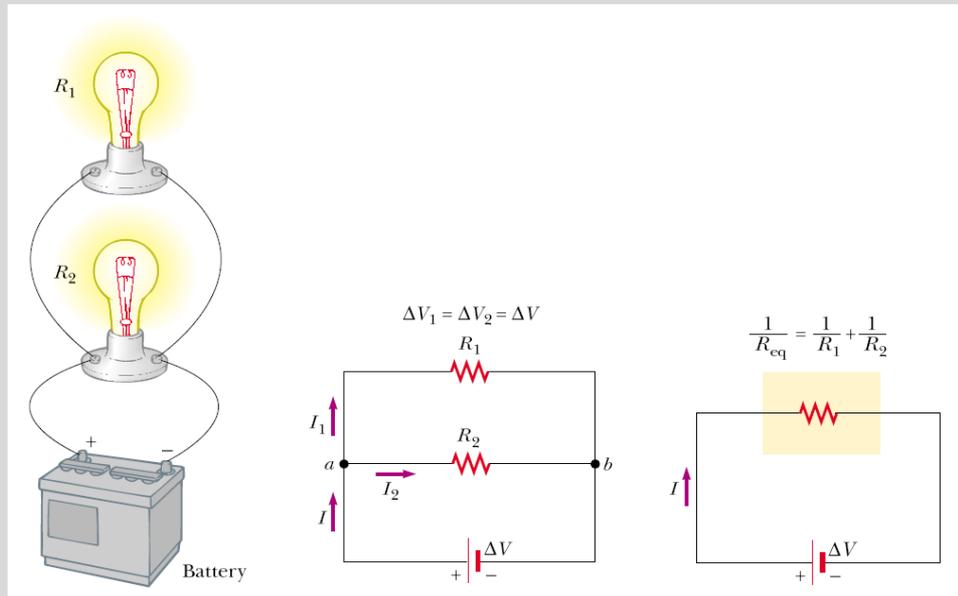
En este tipo de conexión la corriente eléctrica a través de todas las resistencias es la misma, por lo que al aplicar la Ley de Ohm se encuentra que la resistencia equivalente está dada por

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \Lambda + R_N = \sum_i R_i$$



Resistores en serie y en paralelo

Resistencias en paralelo.



En este tipo de conexión la diferencia de potencial es la misma para todas las resistencias, mientras que la corriente a través de la batería es la suma de las corrientes de cada resistencia. De nuevo, al aplicar la Ley de Ohm se encuentra que la resistencia equivalente está dada por

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$



RESISTIVIDAD DE CONDUCTORES DIFERENTES

La resistividad depende de cierto número número de factores, uno de los cuales es la temperatura. Para la mayor parte de los metales, la resistividad se incrementa al aumentar la temperatura.

La resistividad de un conductor varía casi lineal con la temperatura sobre un limitado rango de temperaturas de acuerdo a la expresión:

$$\rho = \rho_o [1 + \alpha (T - T_o)]$$

donde ρ es la resistividad para alguna temperatura T (en °C), ρ_o es la resistividad a una temperatura de referencia T_o y α es el *coeficiente de temperatura de la resistividad*.



Resistencia y temperatura

El coeficiente de temperatura de la resistividad también puede expresarse como sigue:

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

Como la resistencia de un conductor es proporcional a la resistividad, la variación de resistencia con la temperatura puede escribirse como:

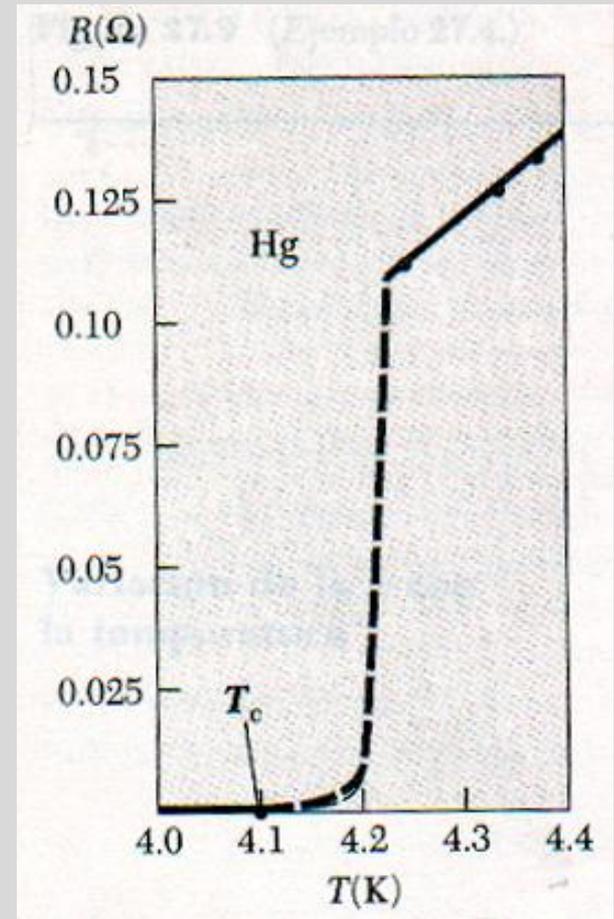
$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$



SUPERCONDUCTORES

Existe una clase de metales y compuestos cuya resistencia virtualmente va hasta cero al llegar a cierta temperatura, T_c , llamada temperatura crítica. A estos materiales se les conoce como *superconductores*.

La gráfica de resistencia-temperatura para un superconductor, sigue la de un metal normal por arriba de una temperatura llamada crítica, T_c . Cuando la temperatura es T_c o menor, la resistividad cae súbitamente hasta cero. Este fenómeno fue descubierto en 1911 por el alemán H. Kamerlingh-Onnes cuando trabajaba con mercurio.



Materiales superconductores

Hoy en día existen miles de superconductores conocidos. Metales como el aluminio, estaño, plomo, zinc e indio son superconductores. Es interesante hacer notar que el cobre, la plata y el oro, que son excelentes conductores, no muestran superconductividad.

Una importante y útil aplicación de los superconductores es la construcción de imanes superconductores en los que la intensidad del campo magnético es 10 veces mayor que la correspondiente a los mejores electroimanes. Estos imanes se consideran como un medio para almacenar energía.



MODELO DE CONDUCCIÓN ELÉCTRICA

En esta sección se describe un modelo clásico de la conducción eléctrica en metales. Este modelo lleva a la Ley de Ohm y muestra que la resistividad puede relacionarse con los movimientos de los electrones en el metal.

Si se considera un conductor como un arreglo regular de átomos con electrones libres, la ausencia de un campo eléctrico permite que los electrones se muevan de forma aleatoria. Al aplicar un campo eléctrico E , los electrones se derivan (mueven) en dirección opuesta al campo E .



El modelo de conducción

En el modelo, se supone que el exceso de energía adquirida por los electrones en el campo E , se pierde en el conductor en el proceso de colisiones. La energía generada por la colisiones hace que el conductor se caliente.

También se supone que el movimiento de un electrón antes de la colisión es independiente de su movimiento después de la colisión.

La velocidad promedio a la que se mueven los electrones es la *velocidad de deriva*, la que se calcula como sigue:

$$v_d = \frac{qE}{m} \tau$$



El modelo de conducción

De lo anterior, se encuentra:

$$J = \frac{nq^2 E}{m} \tau \quad : \quad \text{Densidad de corriente}$$

$$\sigma = \frac{nq^2}{m} \tau \quad : \quad \text{Conductividad}$$

$$\rho = \frac{m}{nq^2} \frac{1}{\tau} \quad : \quad \text{Resistividad}$$

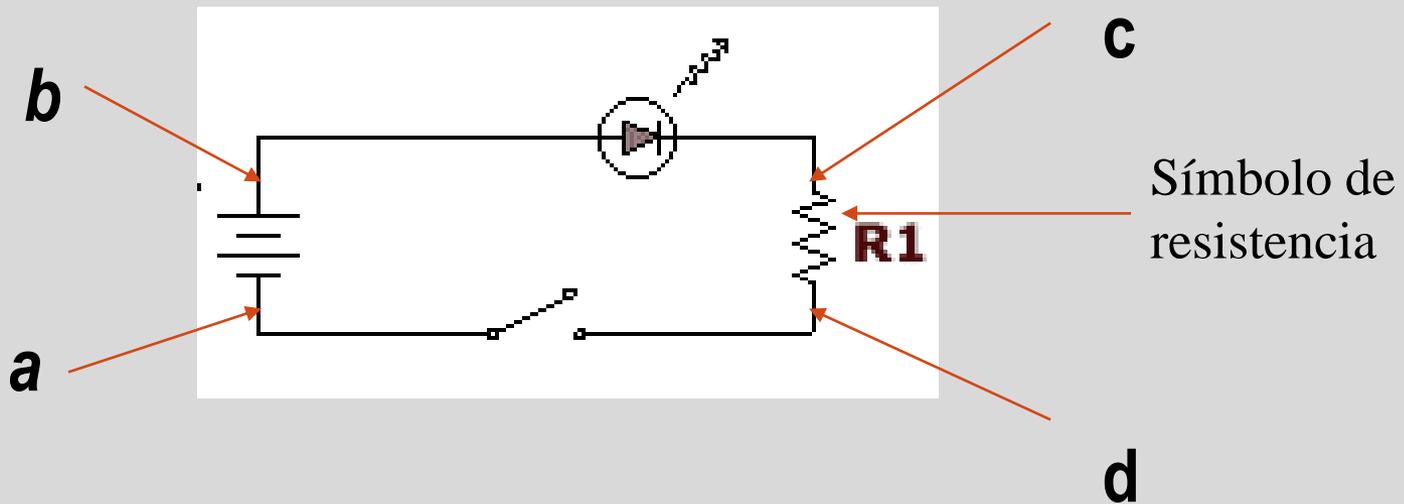
De acuerdo con el modelo clásico, la conductividad y la resistividad no dependen de \mathbf{E} . Hecho característico de los conductores que obedecen la Ley de Ohm.

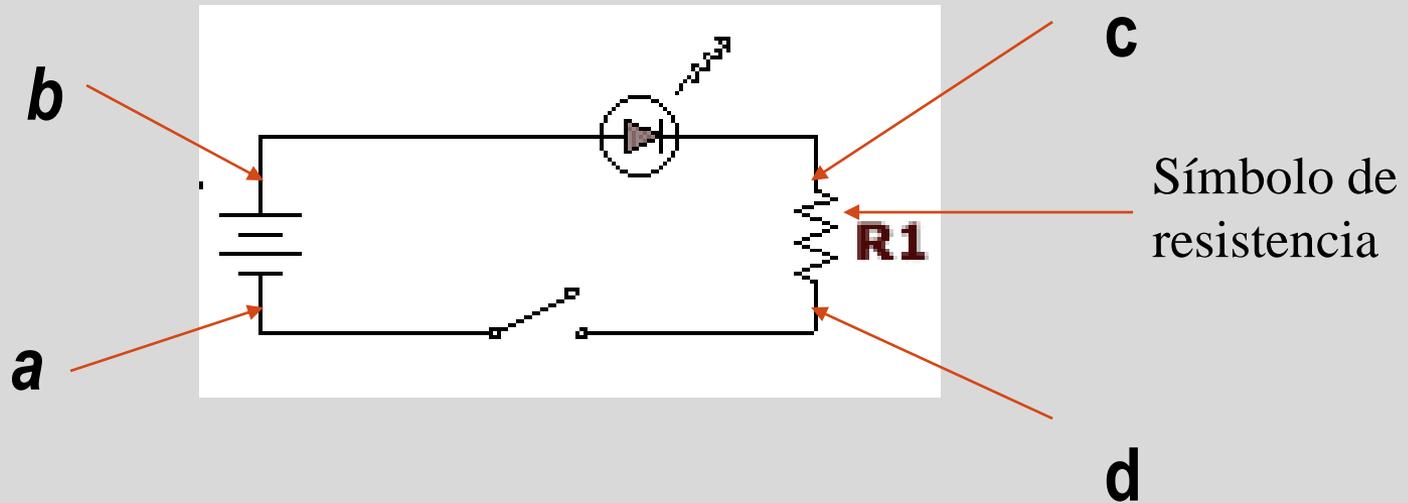


ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA

Si una batería se utiliza para establecer una corriente eléctrica en un conductor, existe una transformación continua de energía química almacenada en la batería a energía cinética de los portadores de carga. Esta energía se pierde rápido por las colisiones de los portadores de carga. La energía química almacenada en la batería es continuamente transformada en energía térmica.

Si se considera una carga positiva Q moviéndose de la terminal negativa a la positiva en un circuito cuyas terminales están conectadas a una resistencia R y regresa al punto de partida, de a a b





Conforme la carga Q se mueve desde a a b a través de la batería, su energía potencial eléctrica aumenta en una cantidad QV , mientras que la energía potencial química en la batería disminuye por la misma cantidad.

Pero cuando la carga se mueve desde c hasta d a través de la resistencia, pierde esta energía potencial eléctrica por las colisiones con los átomos de la resistencia, produciendo energía térmica.



Potencia eléctrica y la Ley de Joule

La rapidez con la que la carga pierde energía potencial cuando pasa a través de la resistencia está dada por:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{(\Delta Q)V}{\Delta t} = IV$$

donde I es la corriente en el circuito.

Como la rapidez con que la carga pierde la energía es igual a la potencia perdida en la resistencia, tenemos:

$$P = IV$$

Esta ecuación puede ser utilizada para determinar la potencia transferida a cualquier dispositivo que lleve una corriente I , y tenga una diferencia de potencial V entre sus terminales.



Potencia eléctrica y la Ley de Joule

A partir de la ecuación anterior, y empleando la ley de Ohm, se obtienen diferentes expresiones de potencia, entre ellas:

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

La unidad SI de potencia es el Watt. La energía calorífica perdida se conoce como calor Joule.

Cualquier dispositivo que produzca energía eléctrica se llama *fuerza electromotriz*, por lo general referida como *fem*. La fuerza electromotriz no se refiere a una fuerza, sino a una diferencia de potencial en volts.



RESUMEN DE FÓRMULAS

Corriente
eléctrica:

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

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

Ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R}; \quad V = IR; \quad R = \frac{V}{I}$$

$$\text{Resistencia} = 1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}}$$



RESUMEN (CONT.)

Resistividad de materiales:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{or} \quad \rho = \frac{RA}{L}$$

Coeficiente de temperatura de la resistencia:

$$\Delta R = \alpha R_0 \Delta t$$

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta t}; \quad \text{Unidade s : } \frac{1}{\text{C}^\circ}$$

Potencia eléctrica P :

$$P = VI; \quad P = I^2 R; \quad P = \frac{V^2}{R}$$

