

1.5-CORRIENTE, RESISTENCIA Y FUERZA ELECTROMOTRIZ



Dos lámparas de luz: de igual potencia de salida lumínica, pero la lámpara fluorescente de la izquierda, produce esta iluminación con mucho menos potencia eléctrica que la incandescente de la derecha. Las lámparas fluorescentes (“de bajo consumo”), es menos costosa de operar, pues consume menos potencia y resulta más económica.



Líneas de transmisión eléctrica transportan energía a hogares e industrias. La energía se transfiere a un voltaje muy elevado, hasta de cientos de miles de volts. Si bien es peligroso, el elevado voltaje origina una menor pérdida de energía, debido a la resistencia en los alambres.

INTRODUCCIÓN

Hasta ahora hemos trabajado en condiciones electrostáticas, con las cargas eléctricas *en reposo*; ahora **empezamos a estudiar las cargas en movimiento**.

Una **corriente eléctrica** consiste en cargas que se mueven de una región a otra. Si la carga sigue una trayectoria de conducción que forma un circuito cerrado, la trayectoria recibe el nombre de **circuito eléctrico**.

A medida que las partículas con carga se desplazan por un circuito, la energía potencial eléctrica se transfiere de una fuente (como una batería o un generador) a un dispositivo donde se almacena o se convierte en otra forma de energía: sonido en un equipo estereofónico, o calor y luz en un tostador o una lámparilla eléctrica.

Vamos a describir la naturaleza de los **conductores eléctricos** y saber cómo los afecta la temperatura.

Veremos por qué un alambre de cobre, corto, grueso y frío es mejor conductor que otro de acero, largo, delgado y caliente.

Introduciremos las **baterías** como fuente de energía en el circuito y cómo generan corriente y transfieren energía en un circuito.

En este análisis, usaremos los conceptos de: **corriente eléctrica, diferencia de potencial (o voltaje), resistencia y fuerza electromotriz**.



CORRIENTE ELÉCTRICA

Una **corriente eléctrica** es cualquier movimiento de carga de una región a otra. Estudiaremos las corrientes en los materiales conductores. La gran mayoría de aplicaciones tecnológicas de cargas en movimiento consideran corrientes de este tipo.

En electrostática el campo eléctrico dentro de un conductor es igual a cero, y *no hay corriente*. *Esto no* significa que todas las cargas en el interior del conductor estén en reposo.

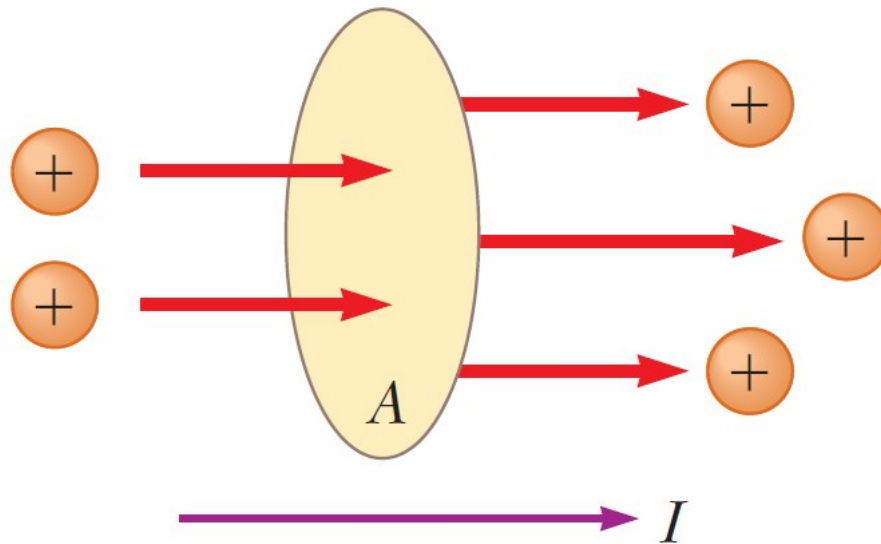
En un metal común, como el cobre o el aluminio, algunos de los electrones están en libertad para moverse dentro del material conductor. Estos electrones libres se mueven al azar en todas direcciones, en forma parecida a como lo hacen las moléculas de un gas, solo que con una rapidez mucho mayor, del orden de 10^6 m/s.

No obstante, los electrones no escapan del material conductor, ya que son atraídos hacia los iones positivos del material.

El movimiento de los electrones es aleatorio, por lo que no hay un flujo *neto* de carga en ninguna dirección y, por consiguiente, no existe corriente.



CORRIENTE ELÉCTRICA



Cargas en movimiento a través de un área A . La rapidez a la cual fluye la carga a través del área se define como corriente I . El sentido de la corriente es el mismo en el cual fluyen las cargas positivas cuando tienen libertad de hacerlo.

En conductores eléctricos (cobre o aluminio) la corriente se origina por el movimiento de electrones con carga negativa.

En cualquier conductor, **el sentido de la corriente es la opuesta al sentido del flujo de los electrones.**

Definimos **corriente eléctrica** a través del área de sección transversal A como *la carga neta que fluye a través del área por unidad de tiempo*:

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

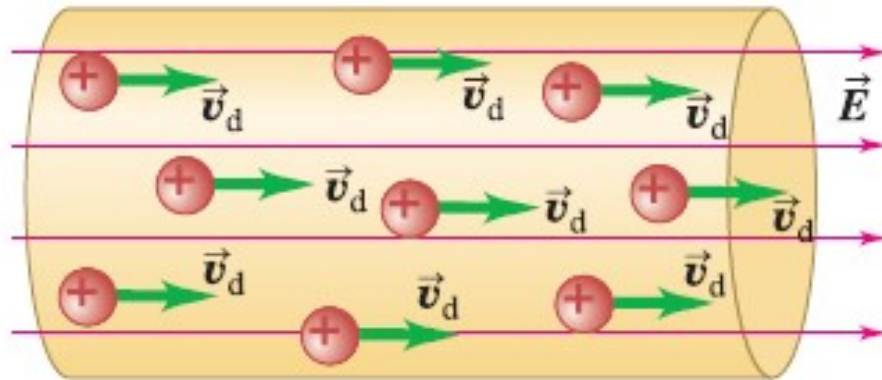
Corriente instantánea I límite diferencial de la corriente promedio cuando $\Delta t \rightarrow 0$

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

Convencionalmente se asigna a la corriente el mismo sentido que el del flujo de la carga positiva.

CORRIENTE ELÉCTRICA

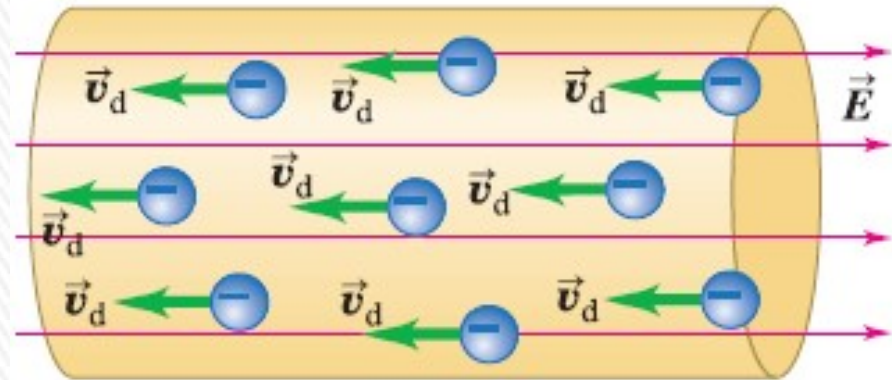
a)



I

Una **corriente convencional** es tratada como un flujo de cargas positivas, sin importar si las cargas libres en el conductor son positivas, negativas o ambas.

b)



I

En un conductor metálico, las cargas en movimiento son electrones, pero la corriente aún apunta en la dirección en que fluirían las cargas positivas.

La misma corriente es producida por:
a) cargas positivas que se trasladan en sentido del campo eléctrico \mathbf{E} , o
b) el mismo número de cargas negativas que se desplazan con la misma rapidez en el sentido opuesto a \mathbf{E} .

CORRIENTE ELÉCTRICA

Unidad en SI para la corriente: **ampere (A)**:

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

1 ampere (A) de corriente es equivalente a 1 coulomb (C) de carga que pasa a través de una superficie en 1 segundo (s).

La batería no suministra electrones.

Una batería no suministra electrones al circuito, sino que establece el campo eléctrico que ejerce una fuerza sobre los electrones existentes en los alambres y en los elementos del circuito.



Corriente, velocidad de arrastre y densidad de corriente

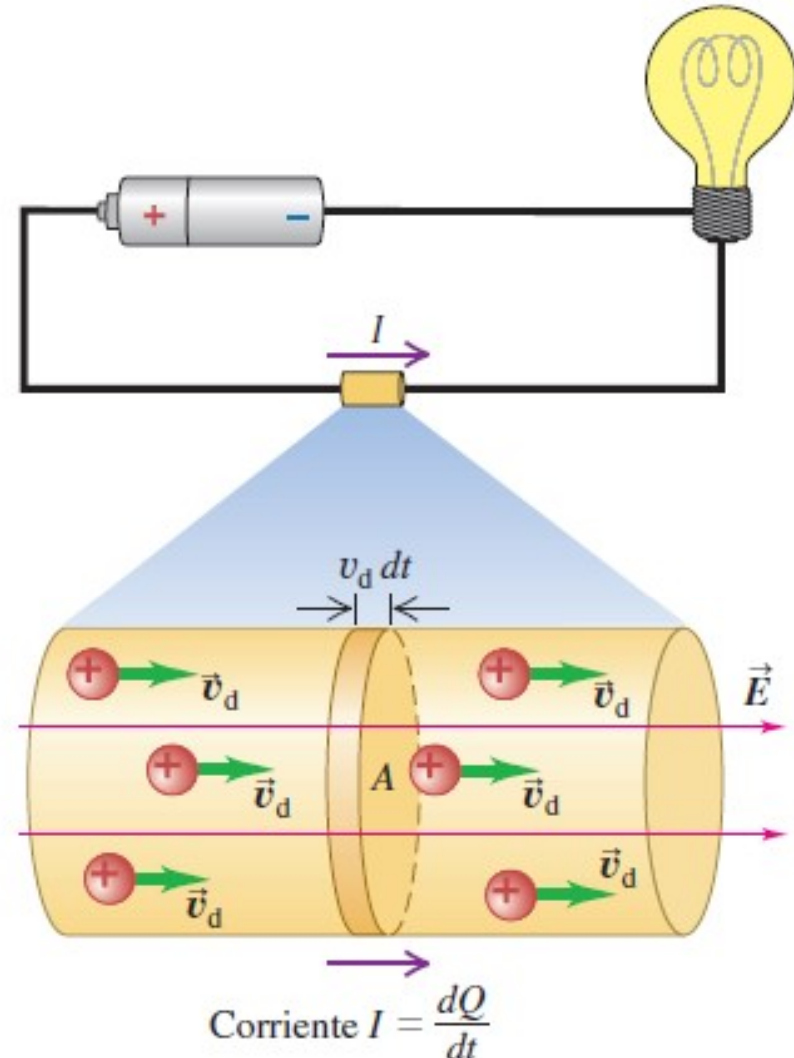
Queremos expresar la corriente en función de la velocidad de arrastre de las cargas en movimiento.

Sea un conductor con área de sección transversal A y un campo eléctrico dirigido de izquierda a derecha.

Supondremos que las cargas libres en el conductor son positivas; por lo que la velocidad de arrastre (v_d) tiene el mismo sentido del campo.

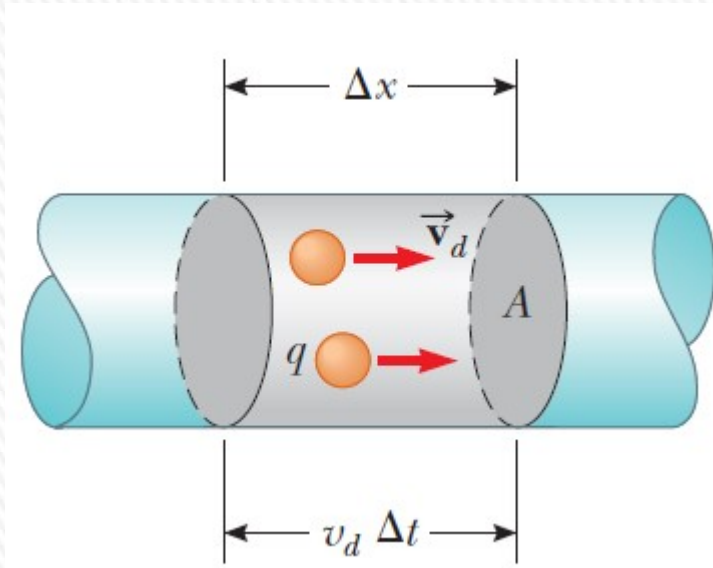
Suponemos que hay n partículas con carga en movimiento por unidad de volumen: **n a la concentración de partículas**, cuya unidad correspondiente del SI es m^{-3} .

Suponemos que todas las partículas se mueven con la misma v_d . En un intervalo de tiempo dt , cada partícula se mueve una distancia $v_d dt$.



Las partículas que fluyen hacia afuera del extremo derecho del cilindro sombreado de longitud $v_d dt$ durante dt son partículas que estuvieron dentro del cilindro al inicio del intervalo dt . El volumen del cilindro es $Av_d dt$.

Corriente, velocidad de arrastre y densidad de corriente



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

n : portadores de carga móviles por unidad de volumen (**densidad de portadores de carga**).

q carga de cada portador

La carga total ΔQ del volumen es igual a

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

Si los portadores se mueven con una rapidez v_d , el desplazamiento $\Delta x = v_d \Delta t$

$$I_{prom} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqAv_d$$

La rapidez de los portadores de carga v_d es una rapidez promedio que se conoce como **rapidez de arrastre (v_d)**

$$v_d = \frac{I_{prom}}{nqA}$$

En un alambre de cobre de 2 mm de diámetro, cuando se conduce una corriente de 10 A, la velocidad de arrastres de los electrones es de $2,2 \times 10^{-4}$ m/s (0,22 mm/s), En una hora recorren sólo 80 cm!!!

Corriente, velocidad de arrastre y densidad de corriente

La corriente *por unidad de área de la sección transversal* se denomina **densidad de corriente J** :

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

Unidades de la densidad de corriente son amperes por metro cuadrado (A/m^2). Si las cargas en movimiento son negativas en vez de positivas, *la velocidad de arrastre es opuesta a E* . Sin embargo, *la corriente aún tiene el mismo sentido que E* en cada punto del conductor.

Entonces, la corriente I y la densidad de corriente J no dependen del signo de la carga, por lo que en las expresiones anteriores para I y J , la carga q se sustituye por su valor absoluto q :

$$I = \frac{dQ}{dt} = n|q|v_d A \quad J = n|q|v_d$$

Se define también el **vector densidad de corriente J** que incluye el sentido de la velocidad de arrastre:

$$\vec{J} = nq\vec{v}_d$$

En esta ecuación *no hay signos de valor absoluto*. Si q es positiva v_d tiene el mismo sentido que E , si q es negativa v_d es opuesta a E . En cualquier caso J y E tienen el mismo sentido.

Corriente, velocidad de arrastre y densidad de corriente

Un conductor puede contener varias clases diferentes de partículas con carga en movimiento q_1, q_2, \dots , concentraciones n_1, n_2, \dots y velocidades de arrastre con magnitudes v_{d1}, v_{d2}, \dots

Por ejemplo es el flujo de corriente en una solución iónica, en una solución de cloruro de sodio, la corriente es transportada tanto por los iones Na^+ como por los iones negativos de Cl^- la corriente total I se calcula sumando las corrientes debidas a cada clase de partícula con carga:

$$I = n|q|v_d A$$

El vector densidad de corriente se calcula $\bar{J} = n_1 q_1 \bar{v}_{d1} + n_2 q_2 \bar{v}_{d2} + \dots$ para cada tipo de partícula con carga:

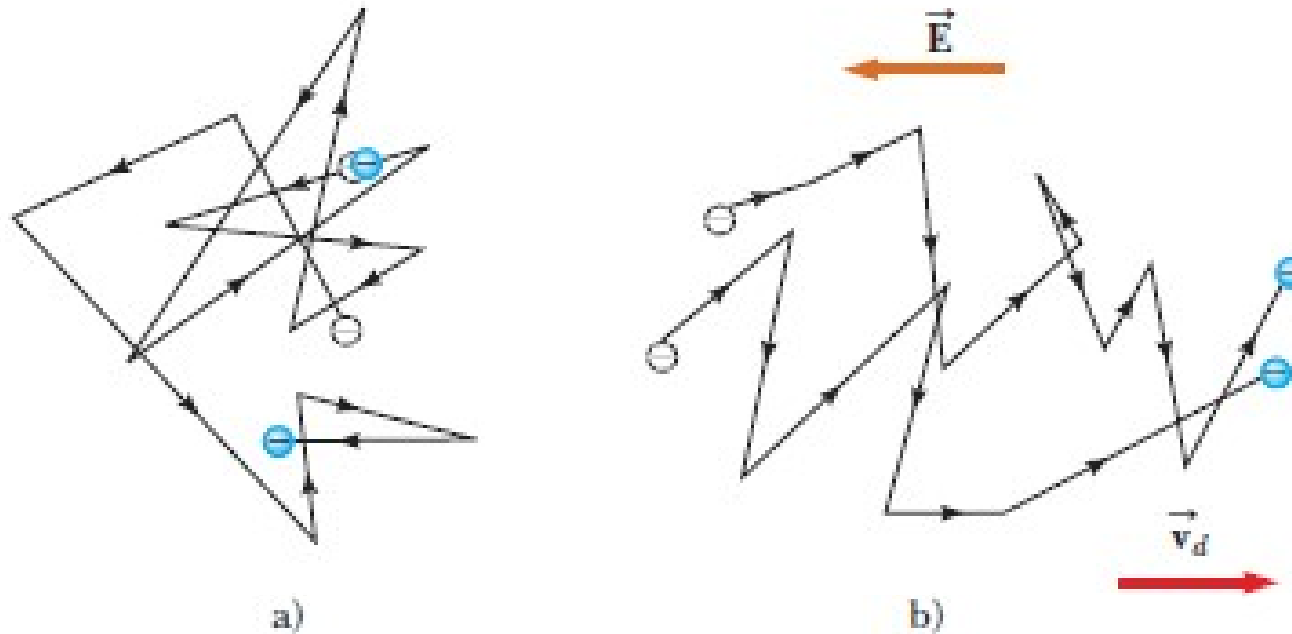
Una **corriente estacionaria** (es decir, constante en el tiempo) se obtiene únicamente si el material conductor forma un circuito cerrado, llamado **circuito eléctrico**.

En esta situación, es constante la carga total en cada segmento del conductor: el flujo de carga hacia afuera en el extremo de un segmento en cualquier instante es igual al flujo de carga hacia dentro en el otro extremo del segmento, y la corriente es la misma en todas las secciones transversales del circuito.

En circuitos con **corriente directa o continua** el sentido de la corriente siempre es la misma; y la fuente de energía es una pila o batería.

Pero los aparatos conectados a redes comerciales de electricidas usan **corriente alterna**, lo cual significa que la corriente cambia de sentido continuamente.

MODELO MICROSCÓPICO DE LA CORRIENTE

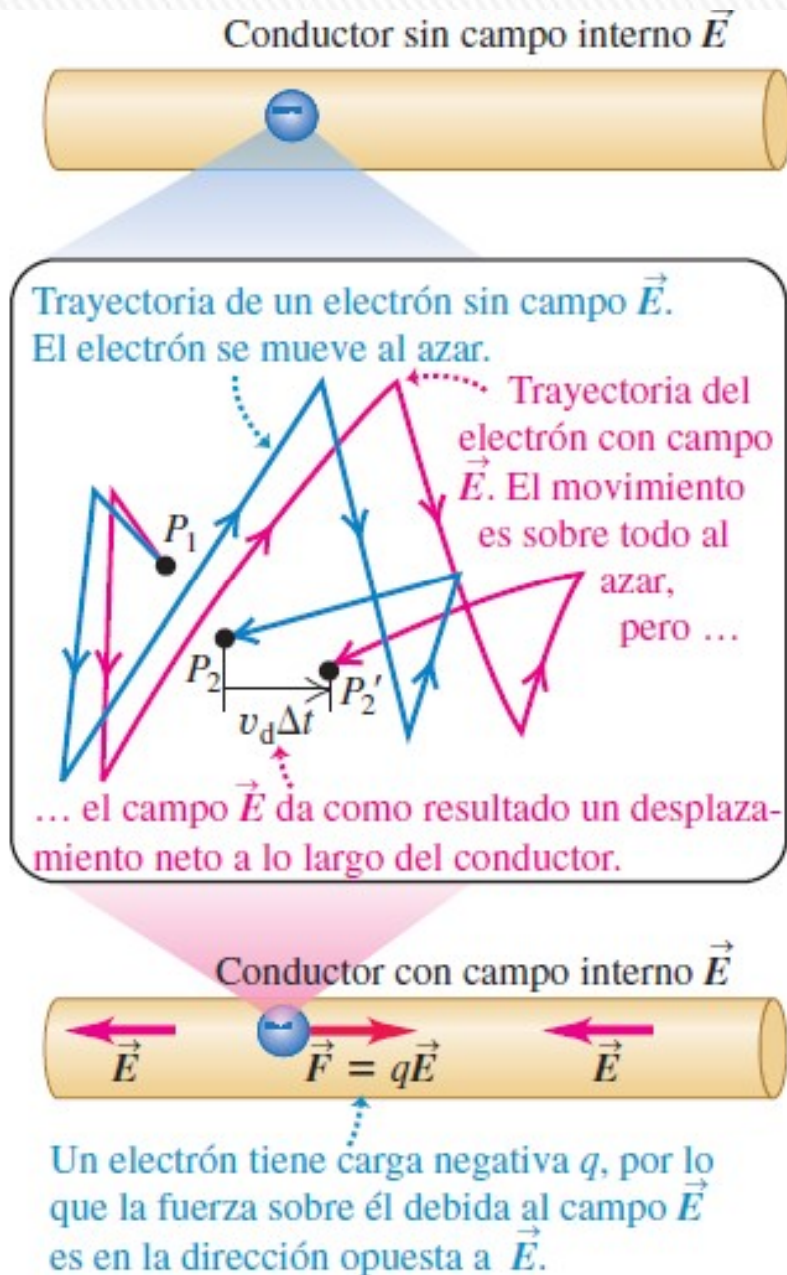


a) Movimiento aleatorio (térmico) de dos portadores de carga en un conductor en ausencia de un campo eléctrico. La velocidad de arrastre es cero.

b) Movimiento de portadores de carga en conductor en presencia de campo eléctrico. El movimiento aleatorio modificado por el campo y los portadores de carga tienen una velocidad de arrastre opuesta al sentido del campo eléctrico.

Sin embargo, la rapidez de arrastre es mucho menor que la rapidez promedio de origen térmico ($1/(1.000.000.000)$ un mil millonésimo!!!.)

MODELO MICROSCÓPICO DE LA CORRIENTE



Si no hay campo eléctrico en el interior de un conductor, un electrón se traslada al azar del punto P_1 al punto P_2 en el momento Δt .

Si está presente un campo eléctrico \vec{E} , la fuerza eléctrica $\vec{F} = q\vec{E}$ impone una pequeña deriva (muy exagerada en la ilustración) que lleva al electrón al punto P_2' , a una distancia $v_d \Delta t$ de P_2 en dirección de la fuerza.

Los electrones están en todas partes en el circuito: no tienen que viajar del interruptor de luz al foco para que éste opere. Los electrones que ya están en el filamento del foco se mueven en respuesta al campo eléctrico que establece la batería. La batería *no proporciona electrones al circuito*; proporciona *energía a los electrones existentes*.

RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

La densidad de corriente \mathbf{J} en un conductor depende del campo eléctrico \mathbf{E} y de las propiedades del material.

En general, esta dependencia es muy compleja.

Pero para ciertos materiales, sobre todo los metálicos, a una temperatura dada, \mathbf{J} es *casi directamente proporcional a \mathbf{E} y la razón de las magnitudes de \mathbf{E} y \mathbf{J} es constante.*

*Esta relación, llamada **ley de Ohm**, fue descubierta en 1826 por el físico alemán Georg Simon Ohm (1787-1854).*

En realidad, la palabra “ley” debería escribirse entre comillas, ya que la ley de Ohm, al igual que la ecuación de los gases ideales y la ley de Hooke, son *modelos idealizados que describe muy bien el comportamiento de ciertos materiales*, pero no es una descripción general de *toda la materia*.

En lo que sigue supondremos que la ley de Ohm es válida, aun cuando existen muchos casos donde no lo es.

La situación es comparable a nuestra representación del comportamiento de las fuerzas de fricción estática y cinética, las cuales fueron tratadas como si fueran directamente proporcionales a la fuerza normal, aunque sabíamos que en el mejor de los casos se trataba de una descripción aproximada.



RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

Resistividad ρ de un material: es el cociente entre las magnitudes del campo eléctrico y la densidad de corriente:

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Tabla 25.1 Resistividades a temperatura ambiente (20°C)

Sustancia		ρ ($\Omega \cdot m$)	Sustancia		ρ ($\Omega \cdot m$)
Conductores			Semiconductores		
Metales	Plata	1.47×10^{-8}	Carbono puro (grafito)		3.5×10^{-5}
	Cobre	1.72×10^{-8}	Germanio puro		0.60
	Oro	2.44×10^{-8}	Silicio puro		2300
	Aluminio	2.75×10^{-8}	Aislantes		
	Tungsteno	5.25×10^{-8}	Ámbar		5×10^{14}
	Acero	20×10^{-8}	Vidrio		$10^{10} - 10^{14}$
	Plomo	22×10^{-8}	Lucita		$> 10^{13}$
	Mercurio	95×10^{-8}	Mica		$10^{11} - 10^{15}$
Aleaciones	Manganina (84% Cu, 12% Mn, 4% Ni)	44×10^{-8}	Cuarzo (fundido)		75×10^{16}
	Constantán (60% Cu, 40% Ni)	49×10^{-8}	Azufre		10^{15}
	Nicromo	100×10^{-8}	Teflón		$> 10^{13}$
			Madera		$10^8 - 10^{11}$

las unidades de ρ son $(V/m)/(A/m^2) = V \cdot m/A$.

1 V/A se conoce como un *ohm* (1Ω ; se usa la letra griega Ω , omega, ya que corresponde al fonema "ohm").

Por consiguiente, las unidades del SI para ρ son $\Omega \cdot m$ (ohm.metros).

RESISTIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD

El inverso de la resistividad es la **conductividad (σ)**: $\sigma = 1/\rho$

$$J = \sigma E$$

Un material que cumple razonablemente bien la ley de Ohm se llama **conductor óhmico** o **conductor lineal**.

Para esos materiales, a una temperatura dada, ρ es una *constante que no depende del valor de E* .

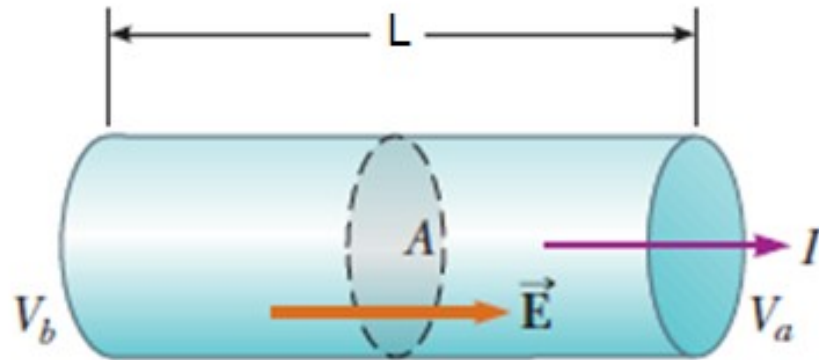
*Muchos materiales cuyo comportamiento se aparta mucho de la ley de Ohm se denominan **no óhmicos** o **no lineales**.*

En estos materiales, J depende de E de forma más compleja

LEY DE OHM: En muchos materiales (la mayor parte de los metales) la relación de la densidad de corriente al campo eléctrico es una constante σ que es independiente del campo eléctrico que produce la corriente.



RESISTENCIA



Conductor uniforme de longitud L y área de sección transversal A .

La diferencia de potencia $\Delta V = V_b - V_a$ que se mantiene de un extremo al otro del conductor establece un campo eléctrico \vec{E} , que produce una corriente I .

Supongo que el campo es uniforme: $E = \Delta V / L$.

Como: $J = \sigma E = \sigma \Delta V / L$.

Entonces: $(I/A) = \sigma \Delta V / L$

$$\Delta V = \left(\frac{L}{\sigma A} \right) I = R I$$

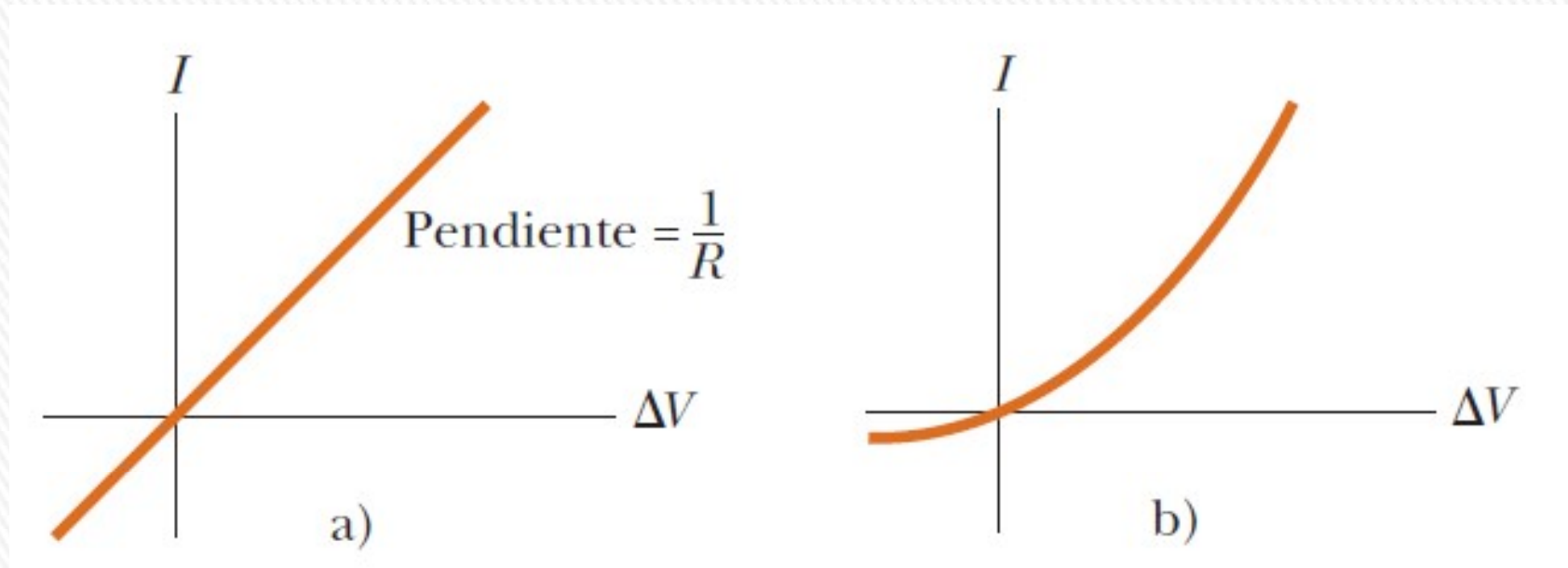
Definición: **resistencia (R) del conductor** - relación de la diferencia de potencial aplicada a un conductor entre la corriente que pasa por el mismo

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I} \quad R = \frac{\rho L}{A}$$

Unidad de resistencia en el S.I. **ohm (Ω)**

La ecuación: $\Delta V = R \cdot I$ suele conocerse como la ley de Ohm, pero es importante entender que el contenido real de la ley de Ohm es la proporcionalidad directa (para ciertos materiales) de V con respecto a I o de J con E .

MATERIAL ÓHMICO Y NO ÓHMICO

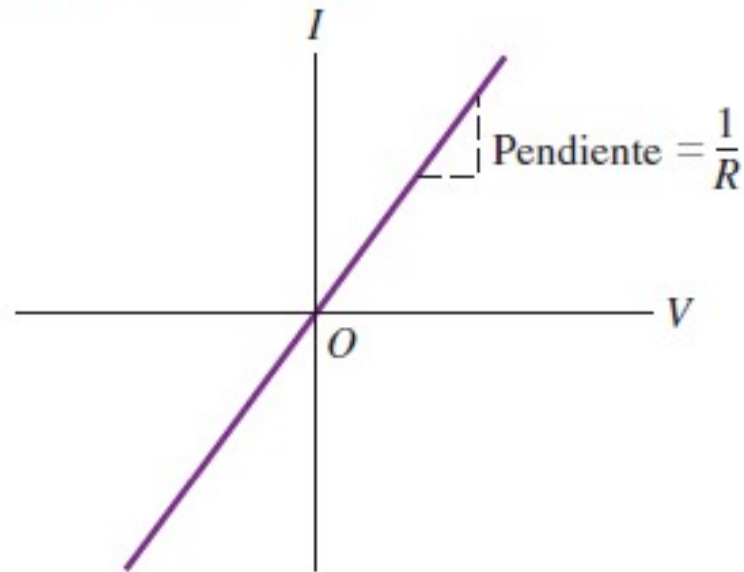


a) Curva corriente-diferencia de potencial para un **material óhmico**. La curva es lineal y la pendiente es igual al recíproco de la resistencia del conductor.

b) Curva no lineal corriente-diferencia de potencial correspondiente a un diodo de unión. Este dispositivo no sigue la ley de Ohm.

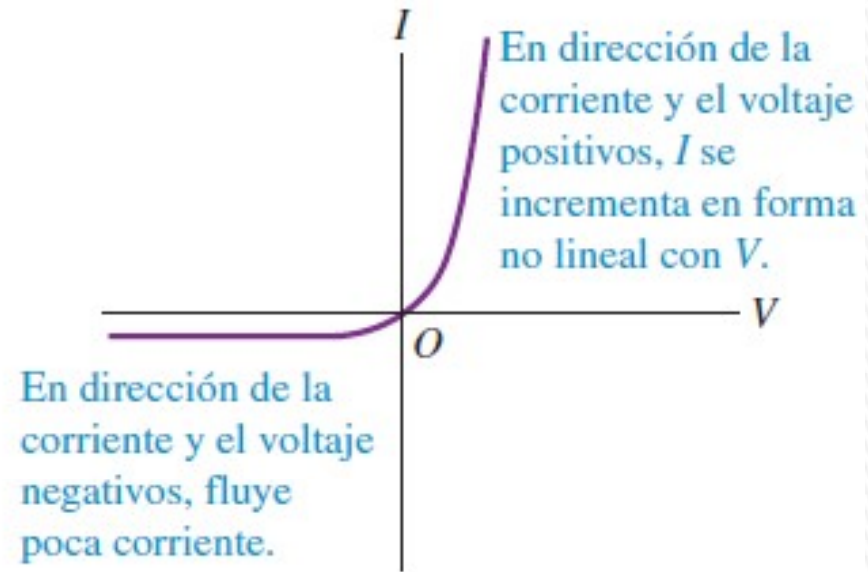
a)

Resistor óhmico (por ejemplo, un alambre de metal común): a cierta temperatura, la corriente es proporcional al voltaje.



b)

Diodo semiconductor: resistor no óhmico

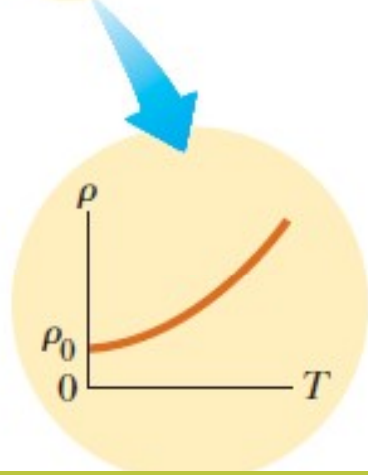
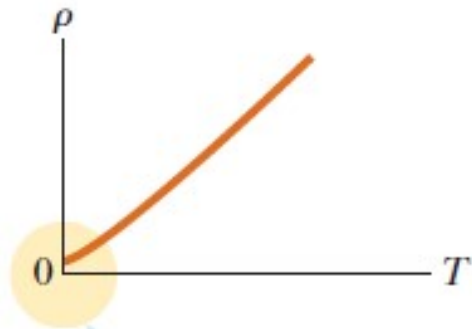


Relaciones corriente-voltaje para dos dispositivos. Únicamente para un resistor que cumpla la ley de Ohm como en a), la corriente I es proporcional al voltaje V .

La figura b muestra el comportamiento de un diodo semiconductor, dispositivo que se usa para convertir corriente alterna en directa, y que realiza muchas funciones lógicas en los circuitos de cómputo. Para potenciales V positivos del ánodo (una de las dos terminales del diodo) con respecto del cátodo (la otra terminal), I aumenta en forma exponencial con el incremento de V ; para potenciales negativos, la corriente es extremadamente pequeña. Así, una V positiva ocasiona que una corriente fluya en la dirección positiva, pero una diferencia de potencial del otro signo origina poca o ninguna corriente.

De este modo, un diodo actúa en un circuito como una válvula de un solo sentido.

RESISTENCIA Y TEMPERATURA



La resistividad de un material varía con la temperatura, la resistencia de un conductor específico también cambia con la temperatura. Para intervalos de temperatura que no son demasiado elevados, esta variación sigue aproximadamente una relación lineal,

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

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

ρ resistividad a temperatura T (en grados Celsius),
 ρ_0 resistividad a temperatura de referencia T_0 (20°C), y
 α **coeficiente de temperatura de resistividad**.

Resistividad en función de la temperatura (cobre).

La curva es lineal en una amplia gama de temperaturas, y ρ aumenta al incrementarse la temperatura. Conforme T se acerca al cero absoluto (detalle), la resistividad se acerca a un valor finito ρ_0 .

Se puede escribir en forma aproximada:

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

RESISTENCIA

Resistividades y coeficientes de temperatura de resistividad para diversos materiales

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

Resistividades y coeficientes de temperatura de resistividad para diversos materiales

^a Todos los valores están a 20°C. Los elementos de la tabla se consideran libres de impurezas.



FUERZA ELECTROMOTRIZ

En un circuito eléctrico debe haber un dispositivo en algún punto del mismo que actúe de modo que una carga se mueva desde el lugar donde haya menos energía potencial hacia donde hay más, aún cuando la fuerza electrostática trate de llevarla de la mayor energía potencial a la menor.

La dirección de la corriente en ese dispositivo es del potencial más bajo al más alto, exactamente lo opuesto de lo que sucede en un conductor ordinario.

La influencia que hace que la corriente fluya del potencial menor al mayor se llama **fuerza electromotriz** (se abrevia **fem**).

Término inadecuado porque la fem *no es una fuerza, sino una cantidad de energía por unidad de carga, como el potencial.*

La unidad del SI de la fem es la misma que la del potencial, el volt ($1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$).

Una batería de linterna común tiene una fem de 1,5 V; esto significa que la batería hace un trabajo de 1,5 J por cada coulomb de carga que pasa a través de ella.

Para denotar la fem se usa el símbolo \mathcal{E} (la letra manuscrita E).

Todo circuito completo con corriente constante debe incluir algún dispositivo que provea una fem. Tal dispositivo recibe el nombre de **fuerza de fem**.

Ejemplos de fuentes de fem: baterías, generadores eléctricos, celdas solares, termopares y celdas de combustible.

Estos dispositivos convierten energía de algún tipo (mecánica, química, térmica, etc.) en energía potencial eléctrica y la transfieren al circuito al que está conectado el dispositivo.

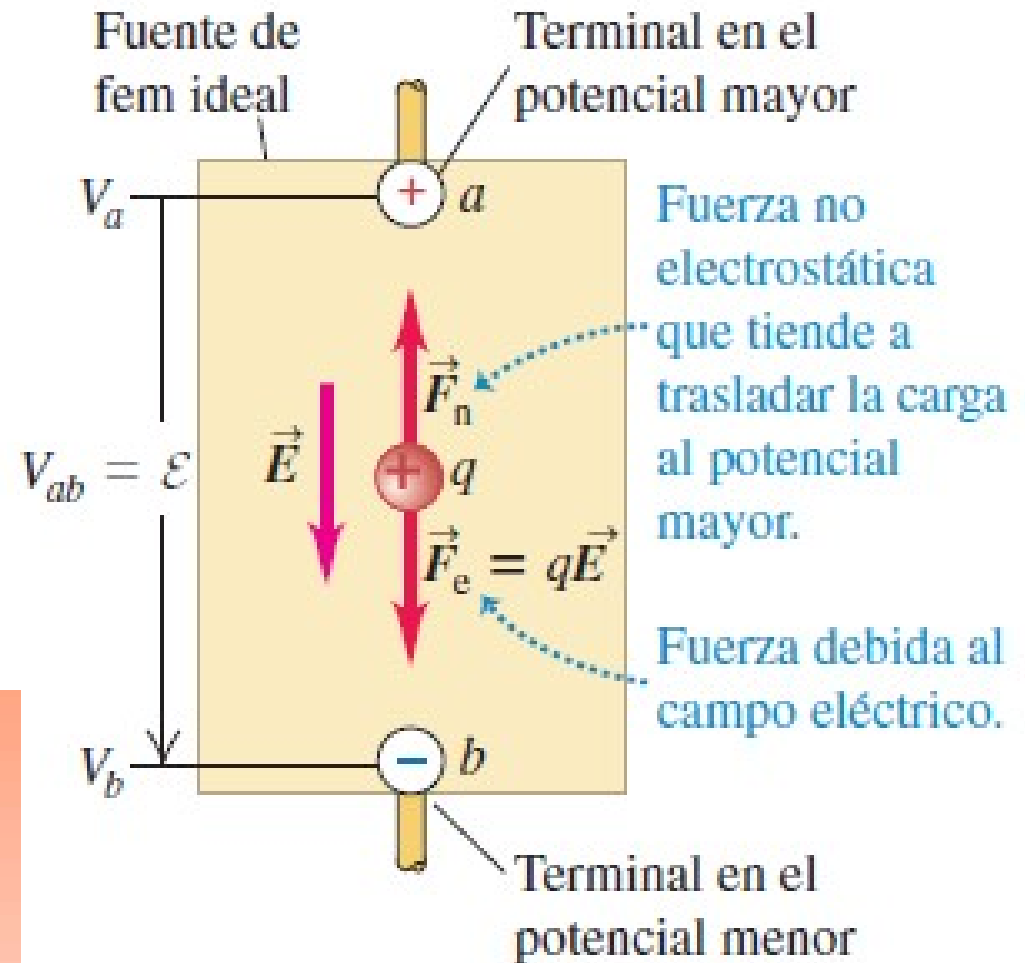
FUERZA ELECTROMOTRIZ

Una **fuerza ideal de fem** mantiene una diferencia de potencial constante entre sus terminales, independientemente de la corriente que pase a través de ella. La fuerza electromotriz se define cuantitativamente como la magnitud de esta diferencia de potencial. Las fuentes ideales de este tipo son dispositivos inexistentes, como el plano sin fricción y la cuerda con masa despreciable.

Una fuente de fem ideal que mantiene una diferencia de potencial entre los conductores a y b , **llamados terminales del dispositivo**.

La terminal a , marcada con $+$, se mantiene a un potencial mayor que la terminal b , marcada con $-$.

El incremento en energía potencial es igual al trabajo no electrostático W_n , por lo que $qE = qV_{ab}$: $V_{ab} = \mathcal{E}$



Cuando la fuente de fem no es parte de un circuito cerrado, $F_n = F_e$ y no hay movimiento neto de carga entre las terminales.

FUERZA ELECTROMOTRIZ

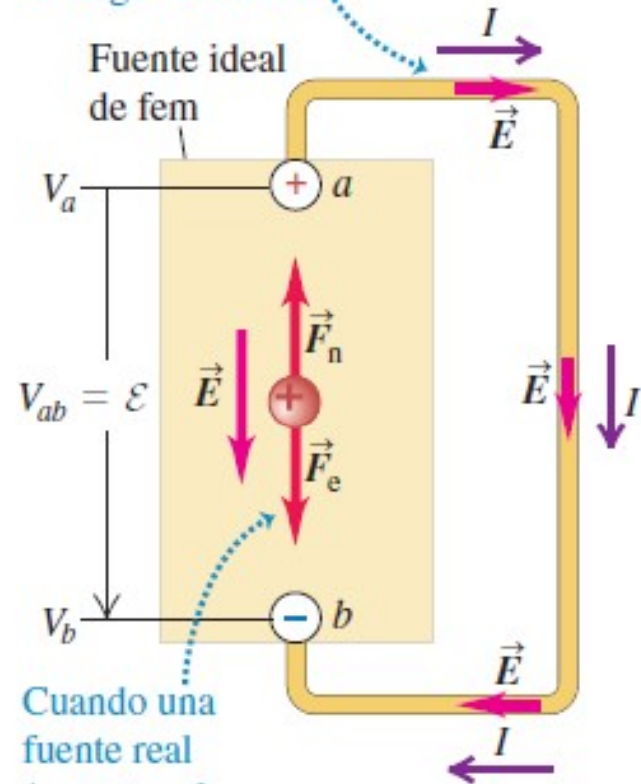
La diferencia de potencial entre las terminales a y b genera un campo eléctrico dentro del alambre; esto hace que la corriente fluya alrededor del circuito de a hacia b , del potencial más alto al más bajo.

Donde el alambre se dobla, subsisten cantidades iguales de carga positiva y negativa en el "interior" y en el "exterior" del punto de doblez. Estas cargas ejercen las fuerzas que hacen que la corriente siga las dobladuras del alambre.

La diferencia de potencial entre los extremos del alambre en la figura está dada por $V_{ab} = IR$.

$$\mathcal{E} = V_{ab} = IR$$

El potencial a través de las terminales crea un campo eléctrico en el circuito, lo que hace que la carga se mueva.



Cuando una fuente real (opuesta a la ideal) de fem se conecta a un circuito, disminuye V_{ab} y por lo tanto F_e de modo que $F_n > F_e$ y \vec{F}_n realiza trabajo sobre las cargas.

RESISTENCIA INTERNA

Las fuentes reales de fem en un circuito no se comportan exactamente del modo descrito; la diferencia de potencial a través de una fuente real en un circuito *no* es igual a la fem.

La razón es que la carga en movimiento a través del material de cualquier fuente real encuentra una *resistencia*, a la que llamamos **resistencia interna de la fuente(*r*)**.

Si esta resistencia se comporta de acuerdo con la ley de Ohm, r es constante e independiente de la corriente I .

Conforme la corriente avanza a través de r , experimenta una caída de potencial asociada que es igual a Ir .

Cuando una corriente fluye a través de una fuente de la terminal negativa b a la terminal positiva a , la diferencia de potencial V_{ab} entre las terminales es:

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$$

El potencial V_{ab} , llamado **voltaje terminal**, es menor que la fem ya que el término Ir representa la caída de potencial a través de la resistencia interna r .

Una batería de 1,5 V tiene una fem de 1,5 V, pero el voltaje terminal V_{ab} de la batería es igual a 1,5 V únicamente si no hay corriente que fluya a través de ella.


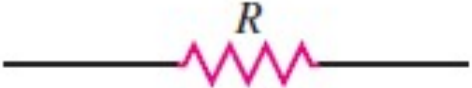
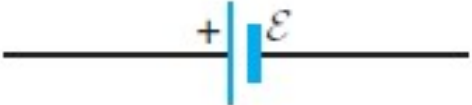

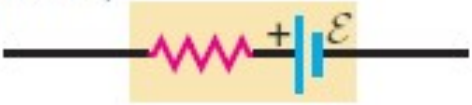


Si la batería forma parte de un circuito completo a través del cual fluye corriente, el voltaje terminal será menor de 1,5 V.

Como: $V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$ y además $V_{ab} = IR$ se tiene que:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

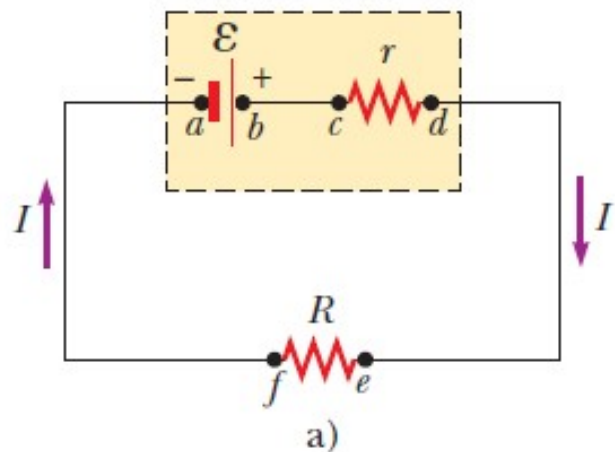
Símbolos en los diagramas de circuitos

Tabla 25.4 Símbolos para diagramas de circuitos

	Conductor con resistencia despreciable
	Resistor
	Fuente de fem (la línea vertical más larga representa la terminal positiva, por lo general aquella con el mayor potencial)
	Fuente de fem con resistencia interna r (la r se puede colocar en cualquier lado)
o bien,	
	
	Voltímetro (mide la diferencia de potencial entre sus terminales)
	Amperímetro (mide la corriente que pasa a través de él)

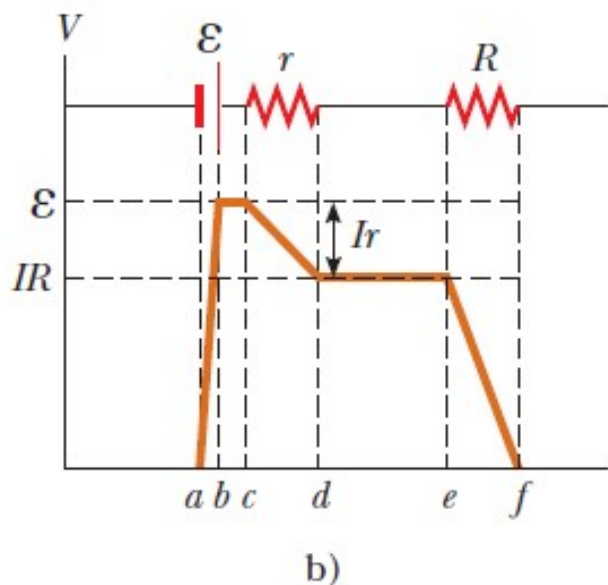


FUERZA ELECTROMOTRIZ



a) Diagrama de un circuito de una fuente de fem ϵ (en este caso, una batería), de resistencia interna r , conectada a un resistor externo, de resistencia R .

b) Gráfica variación del potencial eléctrico a lo largo del circuito en a) en sentido de las manecillas del reloj.



El voltaje entre las terminales de la batería ΔV vale: $\Delta V = \epsilon - Ir$

$$\epsilon = Ir + IR$$

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$