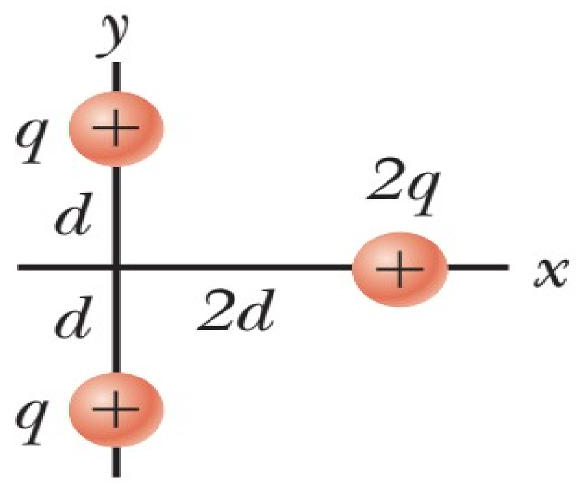
EJEMPLO-Ejercicio 1.2.16

1.2.16- Examen Febrero 2022 (ampliado)- Dos cargas positivas cada una de carga *q = 2,00 µC* se fijan en el eje *y*, una en *y* = *d* = 5,00 cm y la otra en *y* = -*d* como se muestra en la figura. Una tercera carga positiva 2*q*, de masa *m = 5,00 g,* se encuentra en el eje *x* en *x* = 2*d* que se libera desde el reposo.
a) Antes de liberar la carga *2q*, ¿cuánto vale el campo y el potencial eléctrico en el origen?



b) ¿Qué aceleración tiene inicialmente la carga *2q* cuando se libera?
c) Encuentre la velocidad de la carga 2*q* después de que se ha movido infinitamente lejos de las otras cargas.

a) Por simetría los campos eléctricos que crean las cargas +*q* en el origen se cancelan entre sí, entonces el campo eléctrico se debe sólo a la carga +*2q:*

$$E = k_E \frac{2q}{(2d)^2} = k_E \frac{q}{2d^2} = (8{,}988 \times 10^9) \frac{(2{,}00 \times 10^{-6})}{2 \times 0{,}0500^2} = 3{,}5952 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$\boxed{\overline{E} = -3{,}60 \times 10^7 \frac{N}{C}\ \hat{\imath}}$$

El potencial eléctrico en el origen vale:

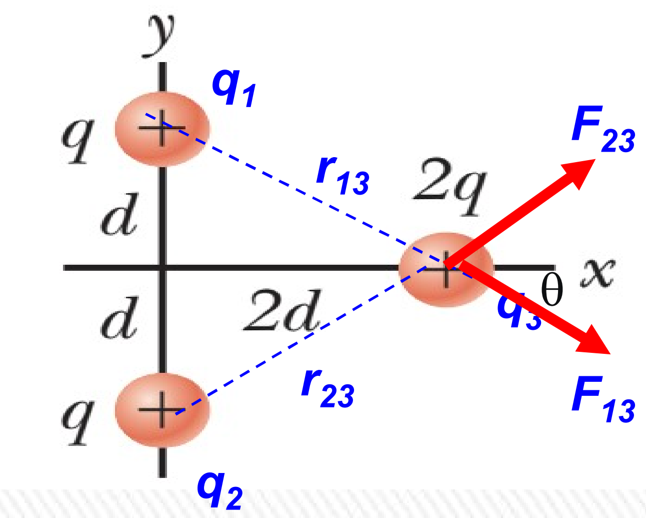
$$V = 2k_E \frac{q}{d} + k_E \frac{2q}{2d} = 3k_E \frac{q}{d} = 3(8{,}988 \times 10^9) \frac{(2{,}00 \times 10^{-6})}{0{,}0500} = 1{,}0786 \times 10^6 \text{ V}$$

$$\boxed{V = 1{,}08 \times 10^6 \text{ V}}$$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.16

b) ¿Qué aceleración tiene inicialmente la carga *2q* cuando se libera?

Entonces debo calcular la fuerza neta que ejercen q_1 y q_2 sobre q_3.



$$F_{13} = k_E \frac{q(2q)}{r_{13}^2} = 2k_E \frac{q^2}{(d^2 + (2d)^2)} = 2k_E \frac{q^2}{5d^2}$$

$$F_{13} = 2k_E \frac{q^2}{5d^2} = 5{,}752\ N$$

Se verifica que $F_{13} = F_{23}$; además las componentes según y se cancelan entre sí, y sólo sobreviven las componentes según x, por tanto:

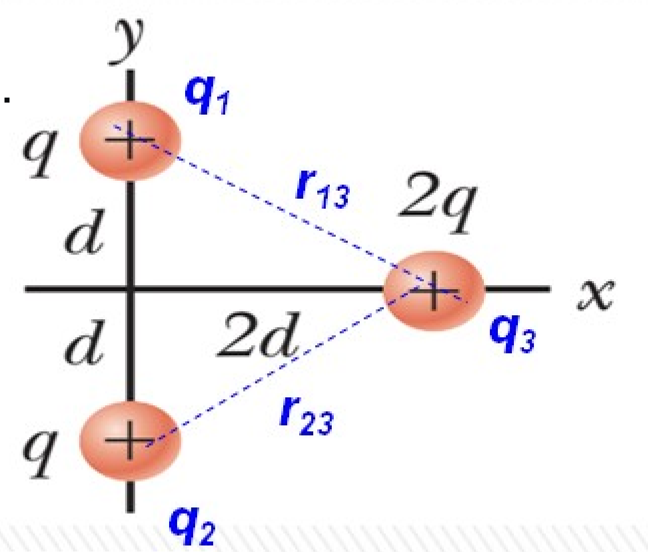
$$F = 2F_{13}\cos\theta = 2\left(2k_E \frac{q^2}{5d^2}\right)\frac{2d}{\sqrt{5}\,d} = 2\left(2(8{,}988\times 10^9)\frac{(2{,}00\times 10^{-6})^2}{5(0{,}0500)^2}\right)\frac{2}{\sqrt{5}} = \quad 10.290\ \text{N}$$

$$a = \frac{F_N}{m} = \frac{10{,}290}{0{,}00500} = 2058{,}0\ m/s^2$$

$a = 2{,}06\times 10^3\ m/s^2$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.16

c) Encuentre la velocidad de la carga 2*q* después de que se ha movido infinitamente lejos de las otras cargas.



Cuando la carga 2q está infinitamente alejada, su energía potencial eléctrica es nula, y sólo tiene energía cinética. Inicialmente, cuando comienza a acelerarse desde el reposo, sólo tiene energía potencial eléctrica.

$$U_I = K_F = \frac{1}{2} m v^2$$

$$U_I = q_3 V_1 + q_3 V_2 = q_3 k_E \frac{q_1}{r_{13}} + q_3 k_E \frac{q_2}{r_{23}} = 2k_E \frac{q_1 q_3}{r_{13}} = 2k_E \frac{q}{\sqrt{5}\, d} 2q$$

$$U = 2k_E \frac{q}{\sqrt{5}\, d} 2q = \frac{4}{\sqrt{5}} k_E \frac{q^2}{d} = \frac{4}{\sqrt{5}} (8{,}988 \times 10^9) \frac{(2{,}00 \times 10^{-6})^2}{(0{,}0500)} = 1{,}28626\ J$$

$$v = \sqrt{\frac{2U}{m}} = \sqrt{\frac{2(1{,}28626)}{0{,}00500}} = 22{,}68\ m/s$$

v = 22,7 m/s

6-CORRIENTE, RESISTENCIA Y FUERZA ELECTROMOTRIZ

Dos lamparillas 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 vimos electrostática (cargas eléctricas *en reposo)* *ahora* ***empezamos a estudiar*** ***cargas en movimiento****.*

Corriente eléctrica: *cargas eléctricas que se mueven de una región a otra,* si la trayectoria de conducción es cerrada: ***circuito eléctrico****.*

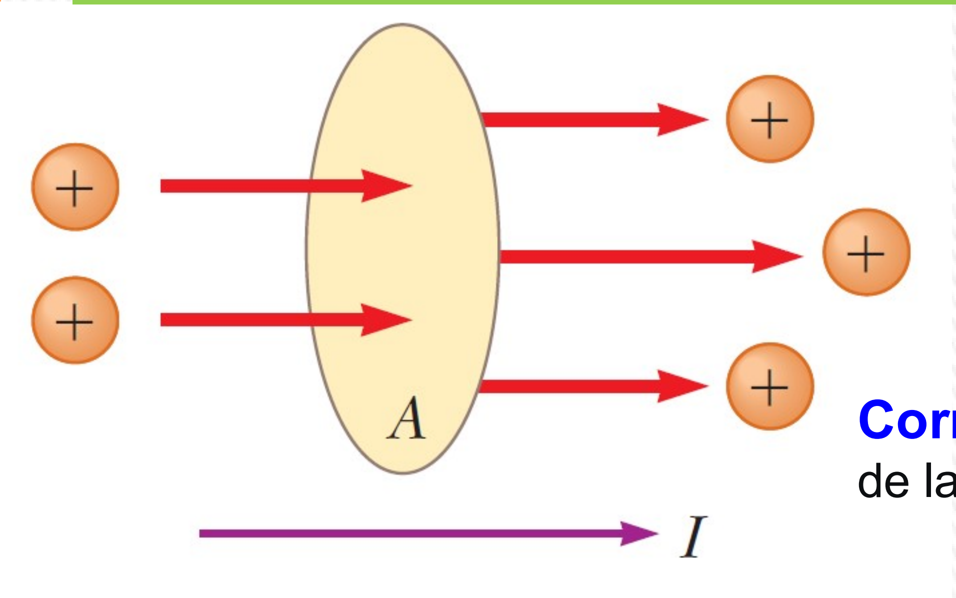
Describiremos a los ***conductores eléctricos*** y saber cómo los afecta su composición, las dimensiones y la temperatura.

Veremos las ***fuentes de fuerza electromotriz***, es decir las ***baterías*** como fuente de energía en el circuito y cómo generan corriente y transfieren energía en un circuito.

Nuevos conceptos de: **corriente eléctrica, diferencia de potencial (o voltaje), resistencia y fuerza electromotriz**.

Nos remitiremos a la **corriente continua…**

CORRIENTE ELÉCTRICA



Corriente eléctrica a través de un área de sección transversal *A es 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 $\Delta t \rightarrow 0$

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

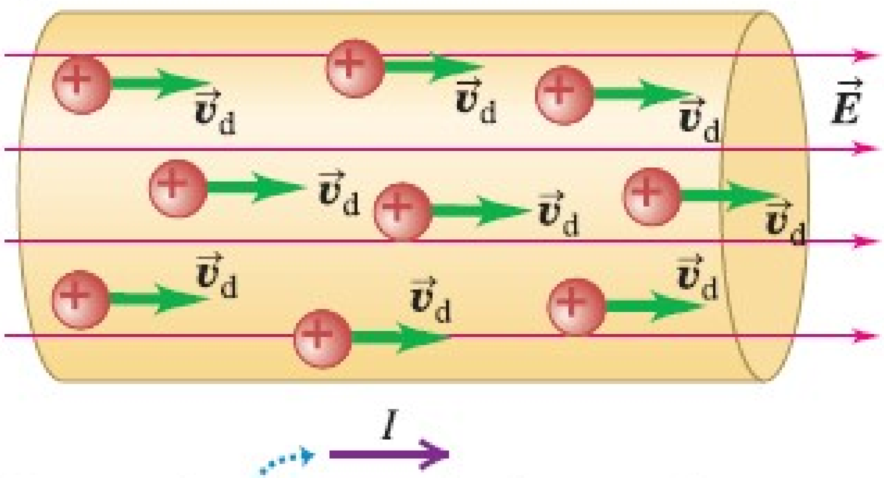
Convencionalmente se asigna a la corriente el mismo sentido que el del flujo de la carga positiva.

En conductores eléctricos metálicos (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.**

Unidad en SI para la corriente: **ampere (A): 1 A = 1 C/s**

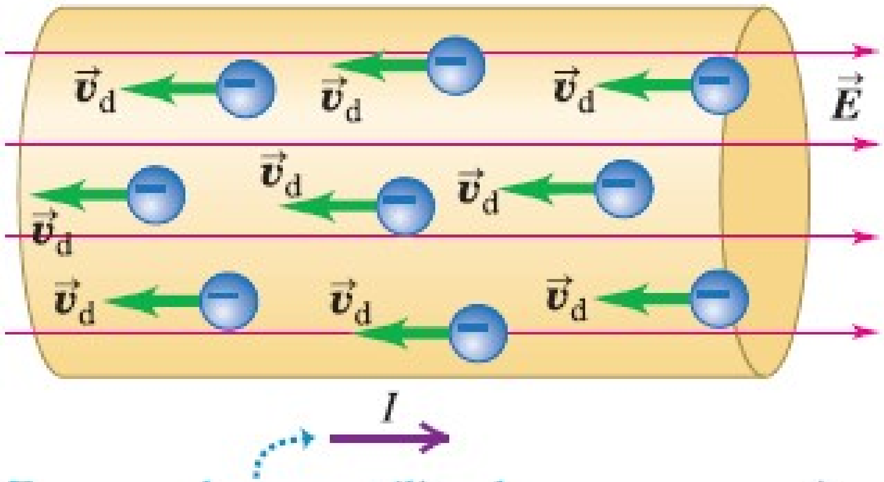
CORRIENTE ELÉCTRICA

a)



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)

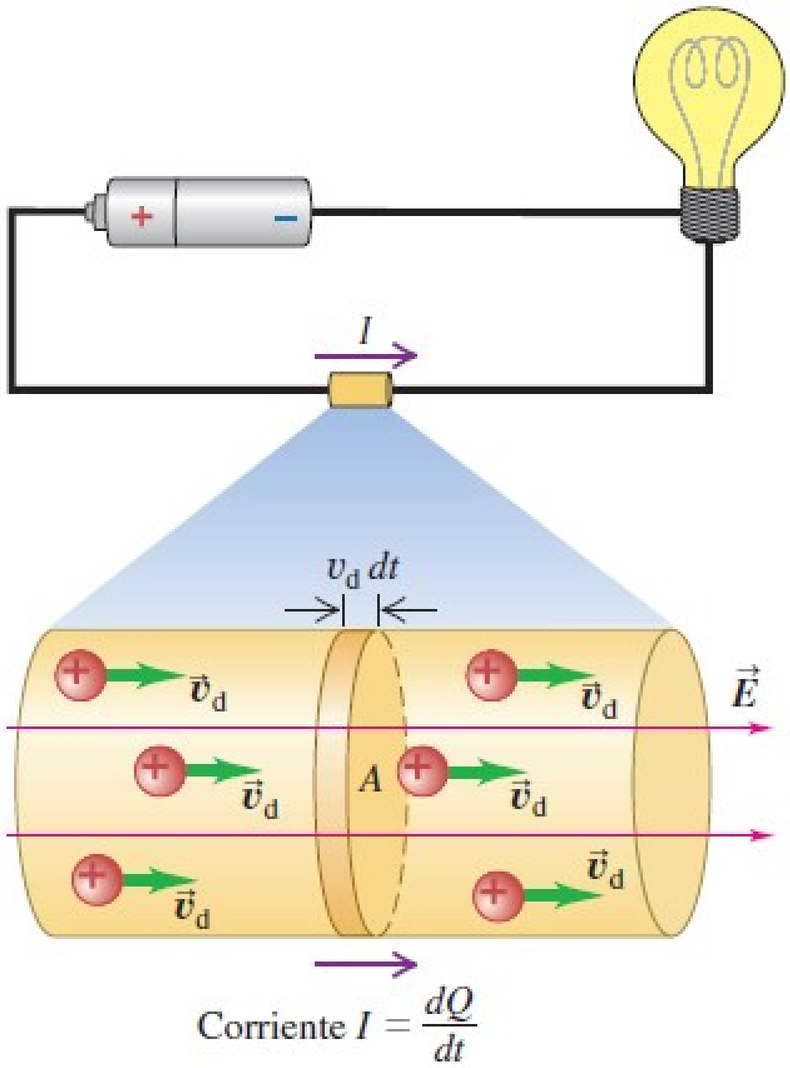


En un conductor metálico, las cargas en movimiento son electrones, pero la corriente aún apunta en la dirección en que fluirían las cargas positivas.

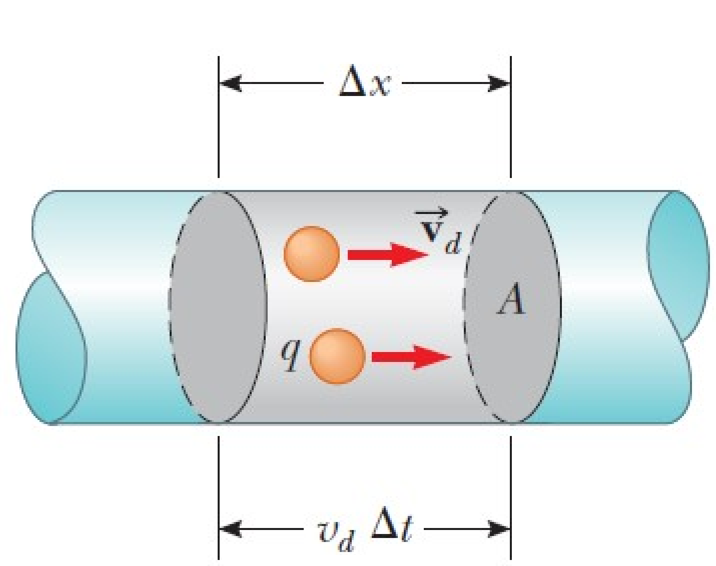
La misma corriente es producida por:
a) cargas positivas que se trasladan en sentido del campo eléctrico **E** , o
b) el mismo número de cargas negativas que se desplazan con la misma rapidez en el sentido opuesto a **E.**

Corriente, velocidad de arrastre y densidad de corriente

Conductor con área de sección transversal *A y un campo eléctrico dirigido de izquierda* a derecha.
Suponemos cargas libres en el conductor positivas; por lo que la velocidad de arrastre (v_d) tiene el mismo sentido del campo; y hay *n partículas con carga en movimiento por unidad de volumen:* ***n a la concentración de partículas*** *(unidad en SI* es m^{-3} ó $1/m^3$.
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.



Corriente, velocidad de arrastre y densidad de corriente



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 $\Delta x = v_d\, \Delta t$

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

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

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 $2{,}2\times10^{-4}$ 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****.*
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:*

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

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

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

En esta ecuación *no hay signos de valor absoluto.*
Si q es positiva $\mathbf{v_d}$ *tiene el mismo sentido que* ***E****, si q es negativa* $\mathbf{v_d}$ *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, ..., *concentraciones* n_1, n_2, … *y velocidades de arrastre* con magnitudes v_{d1}, v_{d2}, …

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 para cada tipo de partícula con carga:

$$\bar{J} = n_1 q_1 \bar{v}_{d1} + n_2 q_2 \bar{v}_{d2} + \cdots$$

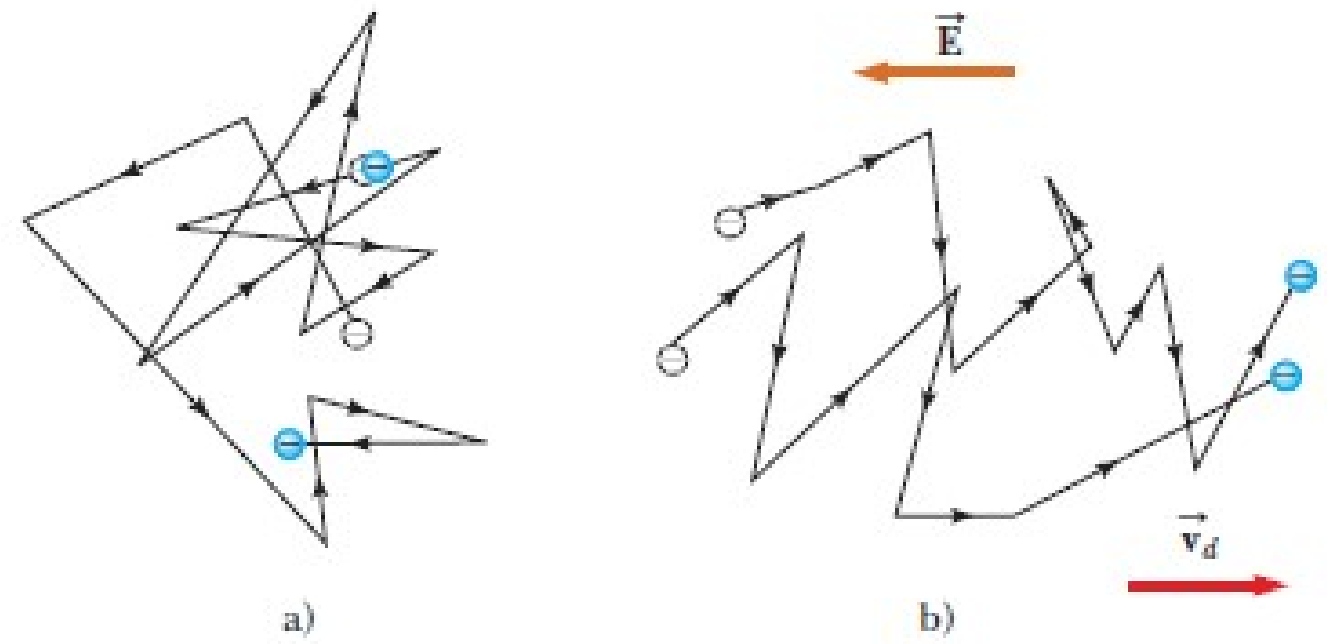
Una **corriente *estacionaria*** *(es decir,* constante en el tiempo) se obtiene únicamente si el material conductor forma un circuito cerrado, llamado ***circuito eléctrico***.

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.

Corriente, velocidad de arrastre y densidad de 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!!!.)

EJEMPLO: Ejercicio 2.1.4

Los electrones móviles que circulan por un conductor tienen una componente importante de energía cinética debida a la agitación térmica (aunque en promedio les da velocidad cero), y otra componente pequeña de energía cinética debida a la diferencia de potencial entre los extremos del alambre (que les da una velocidad neta de deriva $\boldsymbol{v}_d$).
Considere un alambre de cobre ($\rho_{cobre} = 1{,}7\times10^{-8}\ \Omega$ m) de longitud 1,0 m y diámetro 1,0 mm, por el que circula una corriente de 1,0 A.
¿Cuál es la velocidad de deriva v_d de los electrones en el alambre?
Datos: densidad del cobre: 8,95 g/cm^3; masa molar del cobre: 63,5 g/mol; número promedio de electrones móviles por átomo de cobre: 1,3

Volumen de un mol de cobre:

$$V_{molar} = \frac{masa\ molar}{densidad} = \frac{63{,}5\ g/mol}{8{,}95\ g/cm^3} = 7{,}095\ cm^3$$

Densidad de electrones del cobre (1,3 electrones/átomo)

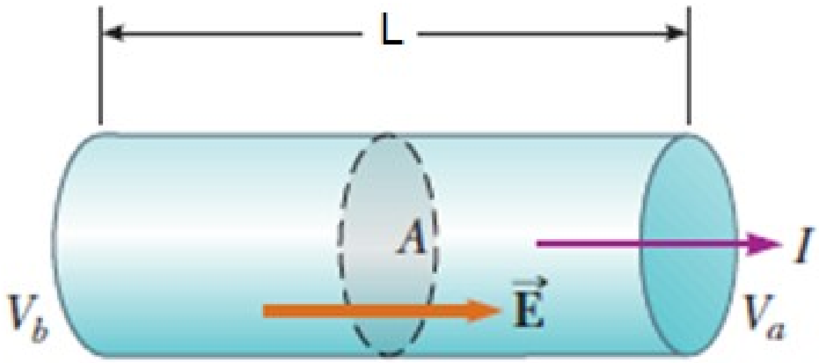
$$n = \frac{1{,}3 \times 6{,}02 \times 10^{23}\ electrones}{7{,}095\ cm^3} \times \frac{10^6\ cm^3}{1\ m^3} = 1{,}10 \times 10^{29}\ \ e/m^3$$

$$v_d = \frac{I}{nqA} = \frac{1{,}0A}{\left(1{,}10 \times 10^{29}\ \frac{e}{m^3}\right)(1{,}602 \times 10^{-19}C)(\frac{\pi}{4} \times 0{,}0010^2\ m^2)}$$

Se requiere más de 3 horas y 51 minutos para recorrer 1 metro!

v_d =7,2×10^{-5} m/s = 72 µm/s

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 **E,** que produce una corriente *I.*

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

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

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

RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

La densidad de corriente **J** en un conductor depende del campo eléctrico **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,
J es casi *directamente proporcional a* **E** *y la razón de las magnitudes de E y J es constante.*

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

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

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

la unidades de ρ es Ω.m (ohm.metro).

Resistencia y resistividad

La resistividad es una propiedad de una *sustancia*, en tanto que la resistencia es la propiedad de un *objeto*.
Para una temperatura dada, la resistividad será la misma para un elemento determinado.
Por ejemplo alambres de cobre tendrán la misma resistividad, pero su resistencia variará de las dimensiones que tengan (largo y diámetro).

RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

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	$10^{8}-10^{11}$

Axoplasma: citoplasma contenido dentro del axón (fibra nerviosa), fluido viscoso
ρ_a = 2,0 Ω.m

x: exponente del factor $\times 10^x$

x	Resistividad eléctrica (Ω/m)
$-\infty$	Superconductores. http://es.wikipedia.org/wiki/Superconductividad
-8	Metales comunes a 20°C. Desde la plata (1.59) al Litio (9.28)
-6	Nicromo a 20°C (1.1). http://es.wikipedia.org/wiki/Nicromo. Grafito (2.5-5.0)
-1	Agua del mar a 20°C (2.0)
0	Atomizador de vapor (1.5). http://www.provaping.com/esp/index/item/5/29/atomizador-pv510-lr-15ohm
1	Resistencia mínima del agua potable a 20°C (2)
3	Madera húmeda a 20°C (1-9). Resistividad máxima del agua potable a 20°C (2) Cuerpo humano con piel húmeda a 20°C (1)
5	Cuerpo humano con piel seca a 20°C (1) Agua desionizada a 20°C (1.8). http://www.aguadestilada.info/2012/04/diferencias-entre-agua-destilada-agua.html
11	Resistividad mínima del vidrio a 20°C (1)
15	Resistividad máxima del vidrio a 20°C (1)
16	Aire a 20°C (1.3-3.3)
23	Resistividad mínima del teflón a 20°C (1) http://www.uv.es/~jaguilar/curioso/teflon.html
25	Resistividad máxima del teflón a 20°C (1)

RESISTIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD

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

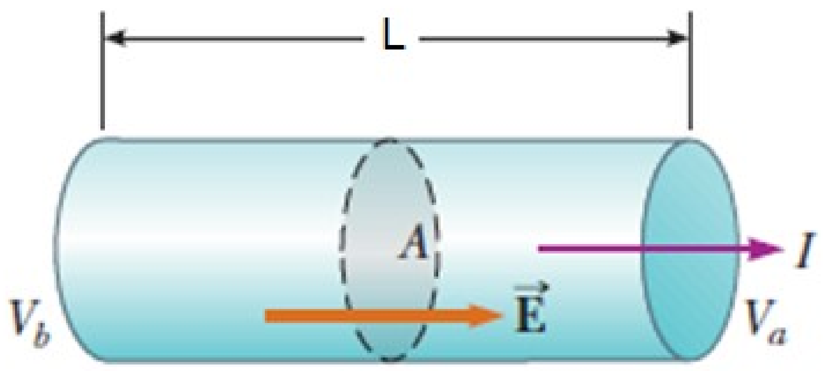
Un material que cumple razonablemente bien la ley de Ohm se llama **conductor *óhmico*** *o* **conductor lineal.**
Para esos materiales, a una temperatura dada, ρ es una *constante que no depende del valor de E.*
Muchos materiales cuyo comportamiento se aparta mucho de la ley de Ohm se denominan **no óhmicos** *o no lineales.*
En estos materiales, *J depende de E de forma más compleja*

La resistividad de un material aumenta con la temperatura.
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.**
Para el cobre α =3,9×10^{-3} /°C

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 **E,** que produce una corriente *I.*

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

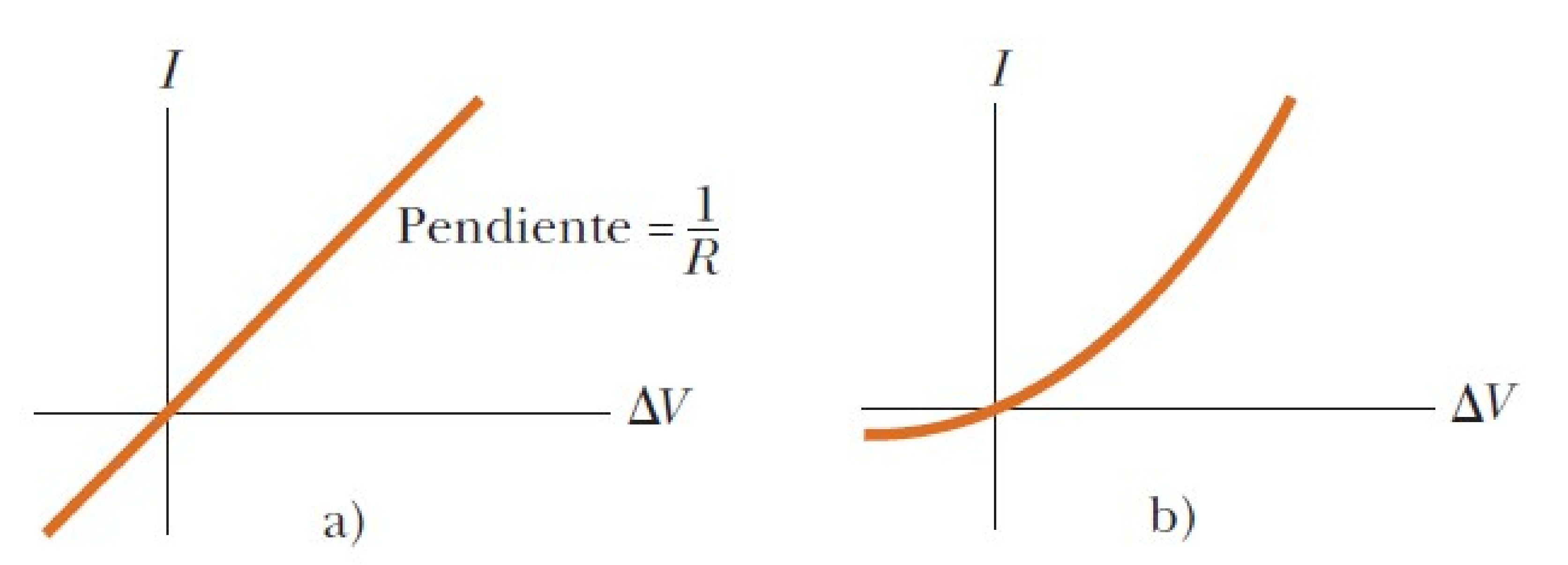
Supongo que el campo es uniforme: E=ΔV/L.
Como: J=σE = σ ΔV/L.
Entonces: (I/A) = σ ΔV/L

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

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

La ecuación: ΔV= R.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.

EJEMPLO: Ejercicio 2.1.3

Un alambre de resistencia R, longitud L y sección transversal constante se estira para formar otro cuya longitud es tres veces la original.
Encuentre la resistencia del nuevo alambre en función de R suponiendo que la resistividad y la densidad del material no cambian durante el estiramiento

Sean L' y A' las nuevas dimensiones del material estirado y R' la nueva resistencia.

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad R' = \frac{\rho L'}{A'}$$

Al estirarse, la masa y por tanto en volumen se mantiene por lo que: L.A = L'A'

$$L' = 3L \qquad A' = A/3$$

$$R' = \frac{\rho 3L}{\frac{A}{3}} = 9\,\frac{\rho L}{A} = 9R$$

R'= 9R

FUERZA ELECTROMOTRIZ

En un circuito eléctrico debe haber un dispositivo que mueva las cargas desde el lugar donde hay menor potencial eléctrico hacia donde hay más, a pesar de que la fuerza electrostática trate de llevarla de la mayor energía potencial a la menor (como una bomba de agua que eleva la misma a un depósito).

La corriente fluye del potencial menor al mayor debido a lo que se denomina **fuerza electromotriz** (**fem** y se símboliza Ɛ), aunque no es una fuerza.

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

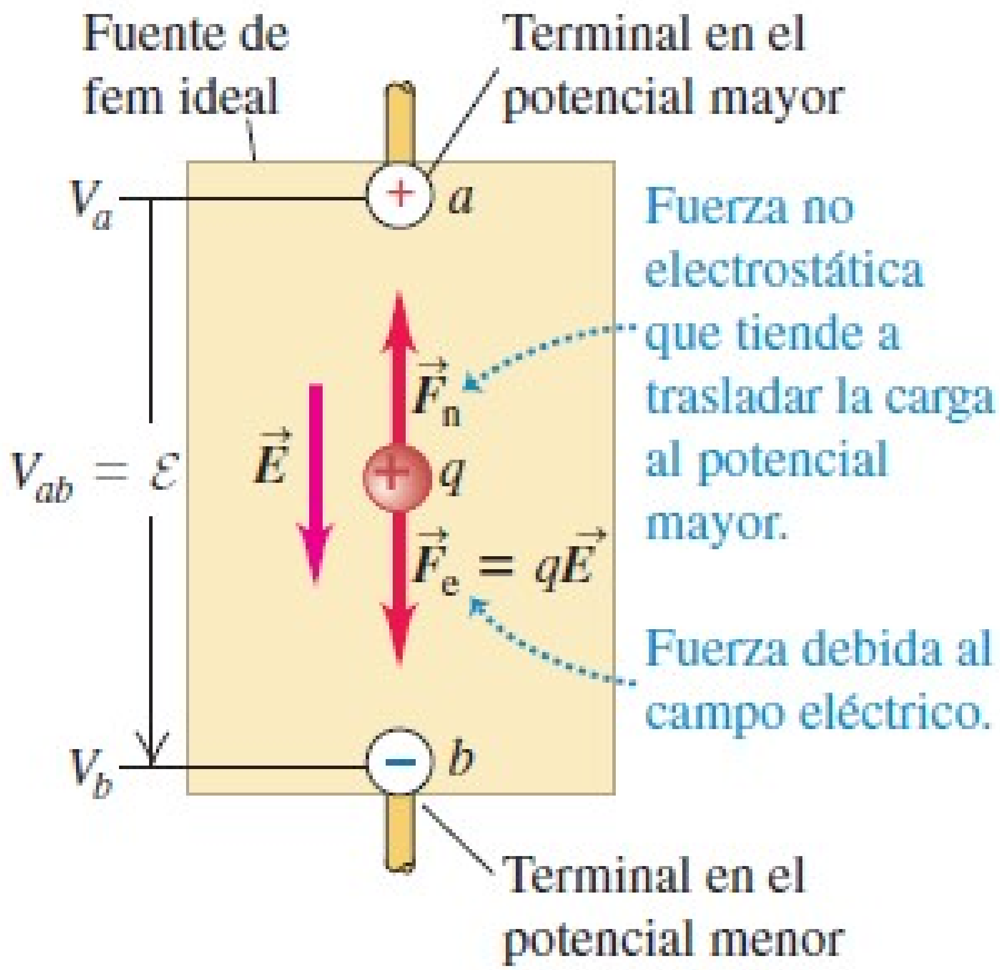
Todo circuito completo con corriente constante debe incluir alguna **fuente de fem**, ejemplos: baterías, generadores eléctricos, celdas solares, etc.

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

FUERZA ELECTROMOTRIZ

Modelo de una **fuente *ideal de fem*** mantiene una diferencia de potencial constante entre sus terminales, independientemente de la corriente que pase a través de ella.

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 la energía potencial es igual al trabajo no electrostático que realiza la fuente
$V_{ab} = \varepsilon$



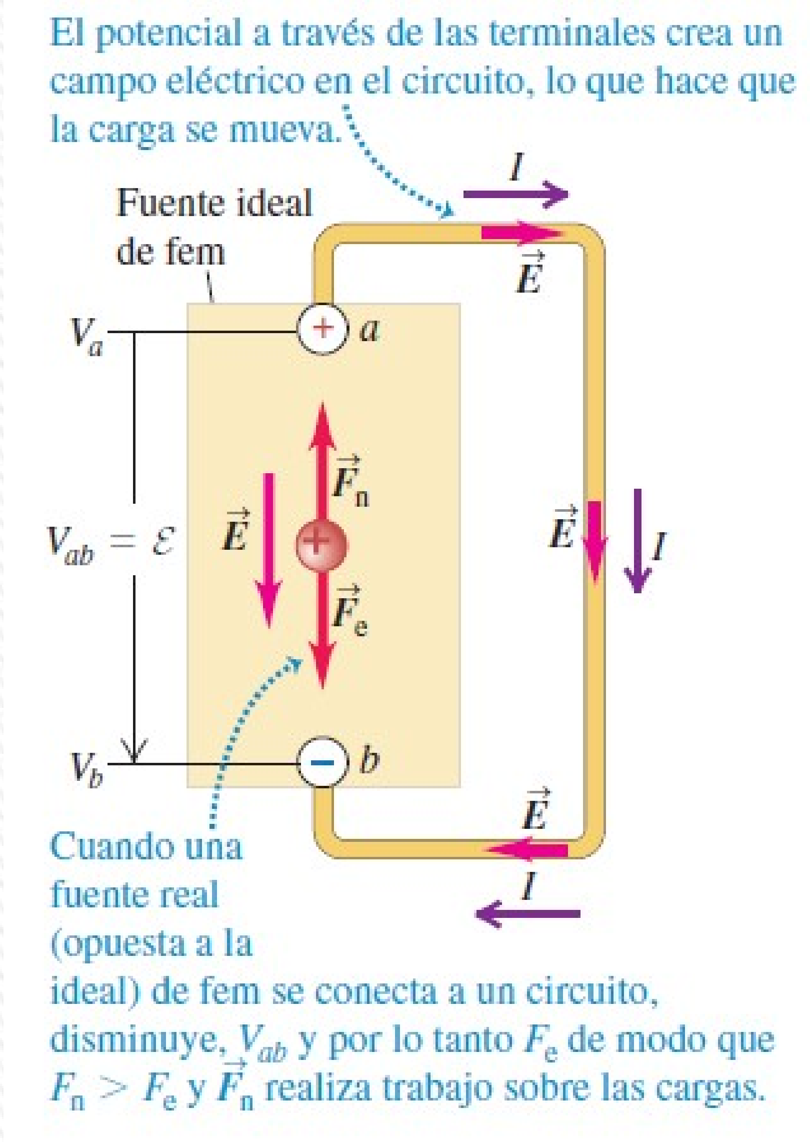
Cuando la fuente de fem no es parte de un circuito cerrado, $F_n = F_e$ y no hay movimiento neto de carga entre las terminales.

FUERZA ELECTROMOTRIZ

Ahora, consideremos un circuito completo conectando un alambre con resistencia *R a las terminales de una fuente.*
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.
La diferencia de potencial entre los extremos del alambre en la figura está dada por $V_{ab} = IR$.

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

Cuando una carga positiva *q fluye alrededor del circuito, el aumento de potencial **ε*** conforme pasa a través de la fuente ideal, es numéricamente igual a la *caída* de potencial $V_{ab} = IR$ *conforme pasa por el resto del circuito.*



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: la* **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 Vab 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.*

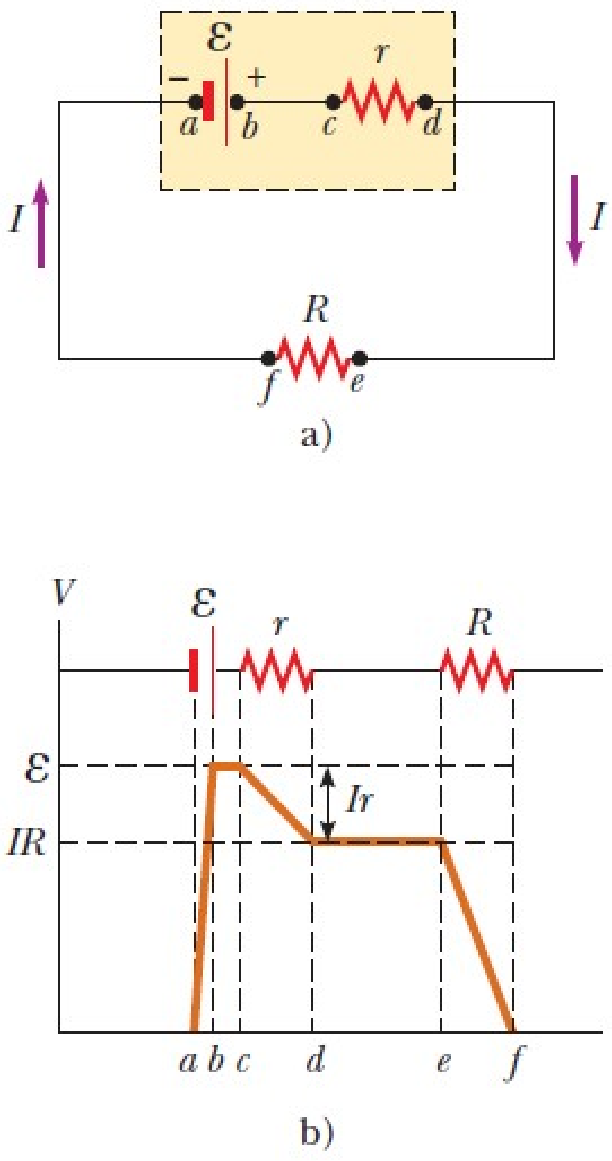
Una batería de 1,5 V tiene una fem de 1,5 V, pero el voltaje terminal V_{ab} *de la* batería es igual a 1,5 V únicamente si no hay corriente que fluya a través de ella.

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:*

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

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: **$\Delta V = \varepsilon - Ir$**

$$\varepsilon = Ir + IR \qquad I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$