



CERRAJERIA

Unidad 7



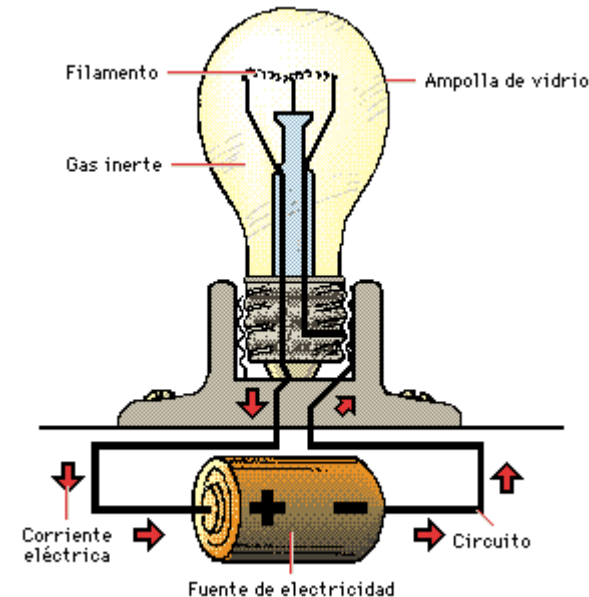
Corriente Eléctrica y Resistencia

Introducción

- Hasta ahora, nuestro estudio de los fenómenos eléctricos se ha restringido al estudio de la cargas en situaciones de equilibrio, es decir, de la *electrostática*.
- En adelante, se estudiarán la situaciones en las cuales las cargas eléctrica *no* estén equilibrio.
- Se utiliza el término *corriente eléctrica*, o simplemente *corriente*, para describir la velocidad del flujo de carga a través de alguna región del espacio.

Introducción

- La mayor parte de las aplicaciones prácticas de la electricidad implican corrientes eléctricas:
 - cuando se enciende una luz, se conecta el filamento metálico del foco o bombilla a una batería, estableciéndose una diferencia de potencial, lo cual hace fluir la carga eléctrica (*i.e.* se establece un corriente) a través del filamento;
 - la mayor parte de los electrodomésticos operan con un corriente alterna, e implican que la corriente existe en un conductor, tal y como un cable de cobre.



Introducción

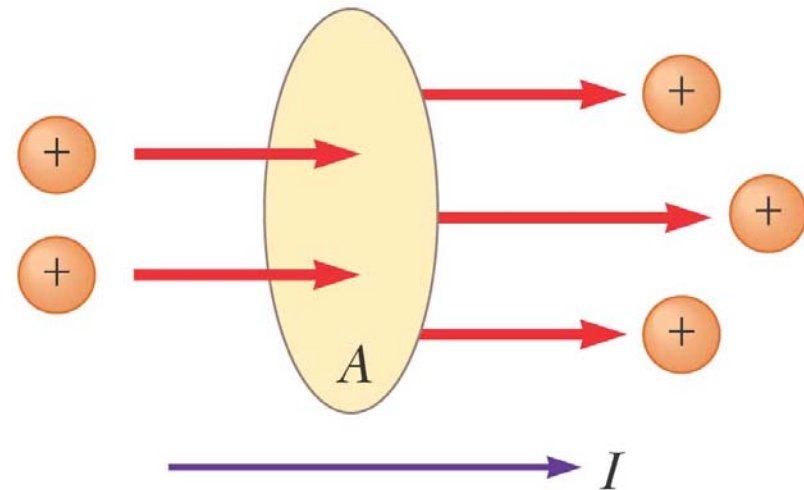
- Usualmente asociamos las corrientes al movimiento de cargas en cables conductores.
- Sin embargo, la corriente eléctrica puede existir fuera de un conductor; es decir, la corriente eléctrica surge de cualquier flujo de carga.
 - Un ejemplo de corriente no asociada a un cable conductor es el haz de electrones en un tubo de rayos catódicos (televisores, monitores,...)

Corriente eléctrica

- Siempre que haya un flujo neto de carga a través de alguna región (por ejemplo, un pedazo de material), se dice que existe una **corriente eléctrica**.
- La cantidad de flujo depende del material a través del cual las cargas fluyen y la diferencia de potencial a través del material.

Corriente eléctrica

- Para definir la corriente eléctrica con mayor precisión, supongan que las cargas se mueven perpendicularmente respecto una superficie de área A (por ejemplo, esta área puede ser la sección transversal de un alambre conductor)
- **La corriente se define como la velocidad a la cual la carga fluye a través de una superficie de área A .**



Corriente eléctrica

- Si ΔQ es la cantidad de carga que pasa a través de dicha área A en un intervalo de tiempo Δt , la **corriente promedio** I_{av} es igual a la carga que pasa a través de A por unidad de tiempo:

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

- Si la velocidad a la cual la carga fluye varía con el tiempo, entonces la corriente varía con el tiempo; la **corriente instantánea** I se define como el límite diferencial de la corriente promedio

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

Corriente eléctrica

- La unidad SI de la corriente eléctrica es el **ampere** (A):

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

- Es decir, 1 A de corriente es equivalente a 1 C de carga que pasa a través de una superficie de área A en 1 s.
- Las cargas que pasan a través de la superficie pueden ser positivas o negativas, o ambas. **Es una convención el asignar a la corriente la misma dirección que el flujo de carga positiva cuando es libre de moverse.**

Corriente eléctrica

- Sin embargo, en los conductores eléctricos (v. *gr.* Cu o Al) la corriente eléctrica se debe al movimiento de electrones cargados negativamente.
- En ese caso, cuando se refiere a la corriente en un conductor ordinario, **la dirección de la corriente es en dirección opuesta a la del flujo de electrones.**
- En algunos casos –tales como los que involucran gases y electrolitos– la corriente es el resultado del flujo tanto de cargas positivas como de cargas negativas.

Corriente eléctrica

- La **convención** de tomar como **sentido de la corriente** el del flujo de cargas **positivas** se estableció antes de que se conociera que **los electrones libres**, **negativamente cargados**, son las partículas que realmente se mueven y producen la corriente en un alambre conductor.
- **Pero** como en casi todas las aplicaciones, **el movimiento de cargas negativas hacia un lado es indistinguible del movimiento de cargas positiva hacia el otro**, se puede establecer que la **corriente eléctrica es el movimiento de cargas positivas en el sentido de la corriente** y recordar (si es necesario) que **en los conductores los electrones se mueven en sentido opuesto al de la corriente**.
- Ejemplo: en la electrólisis, la corriente eléctrica está producida por el movimiento de iones positivos en el sentido de la corriente, más el flujo de iones negativos en sentido contrario. Puesto que estas partículas se mueven en sentidos opuestos, ambas producen corriente en el mismo sentido.

Corriente eléctrica

- Por ejemplo, si los extremos de un alambre conductor se conectan entre sí para formar un bucle o circuito cerrado, todos los puntos en el circuito están a al mismo potencial eléctrico, y por lo tanto, la diferencia de potencial ΔV es cero.
- Si $\Delta V = 0$, entonces, por definición, el campo eléctrico \mathbf{E} dentro y sobre la superficie del conductor es cero:

$$\Delta V = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

para que esto sea igual a cero, \mathbf{E} tiene que ser igual a cero, pues el desplazamiento $d\mathbf{l}$ no puede ser igual a cero (si no hay desplazamiento ni siquiera se puede definir ΔV)

Corriente eléctrica

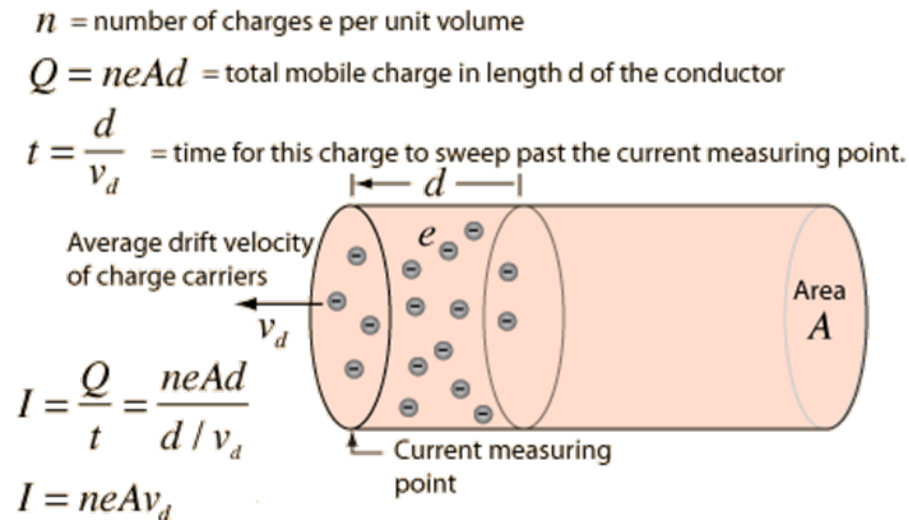
- Si el campo eléctrico es cero ($\mathbf{E} = 0$), entonces no hay un transporte neto de carga a través del cable y, por lo tanto, no hay corriente eléctrica ($I = 0$).
- Sin embargo, si los extremos del cable conductor se conectan a una batería, todos los puntos en el circuito no están al mismo potencial eléctrico ($\Delta V \neq 0$).
- La batería establece una diferencia de potencial entre los extremos del circuito, creando un campo eléctrico dentro del cable (si $\Delta V \neq 0$, entonces $\mathbf{E} \neq 0$).

Corriente eléctrica

- El campo eléctrico \mathbf{E} ($\neq 0$) dentro del alambre conductor ejerce fuerzas sobre los electrones conductores (“libres”) presentes en dicho alambre.
- Estas fuerzas provocan que los electrones se muevan en el alambre, produciéndose una corriente eléctrica.
- Es común el referirse a una carga en movimiento (positiva o negativa) como un **portador de carga** móvil.
 - Por ejemplo, los portadores de carga en un metal conductor son los electrones.

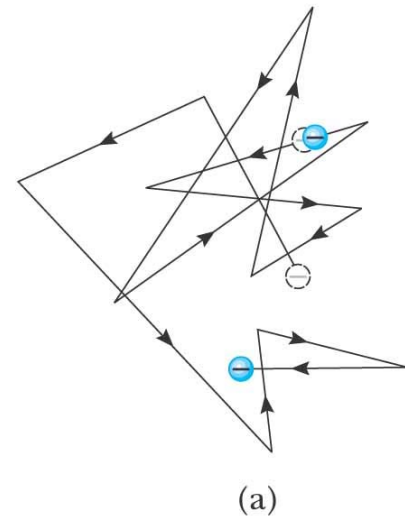
Aclaraciones importantes

- La frase *flujo de corriente* se usa comúnmente, aunque es estrictamente incorrecta, pues la corriente *es* un flujo (de carga). Esto es similar a la frase *transferencia de calor*, que también es redundante pues el calor *es* un transferencia (de energía).



Modelo microscópico

- El movimiento real de los electrones libres en un alambre conductor es muy complicado
- Si en el alambre no existe campo eléctrico, estos electrones se mueven con direcciones aleatorias y velocidades relativamente grandes debido a su energía térmica.
- Como los vectores velocidad de los electrones están orientados al azar, la velocidad promedio o media debida a esta energía térmica es cero.

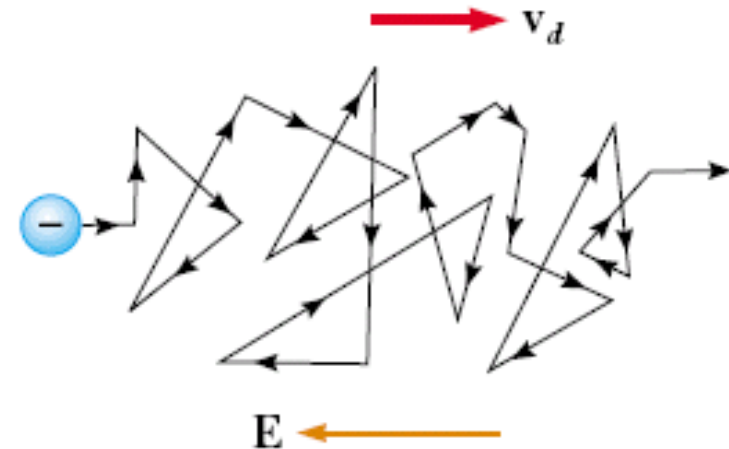


Modelo microscópico

- Cuando se aplica un campo eléctrico (v. gr. conectando el alambre a una batería que origina una diferencia de potencial a lo largo del alambre) los electrones libres experimentan una aceleración instantánea debida a la fuerza eléctrica $F = -e\mathbf{E}$,
- Los electrones adquieren una pequeña velocidad en dirección opuesta al campo, pero la energía cinética que adquieren es disipada rápidamente por choques con los iones fijos del alambre.
- Inmediatamente después, los electrones son de nuevo acelerados por el campo eléctrico.

Modelo microscópico

- El resultado neto de esta continua aceleración y disipación de energía es que los electrones poseen una pequeña **velocidad de desplazamiento** (del inglés *drift speed*) opuesta al campo eléctrico y que se superpone (suma vectorial) a su velocidad grande, pero aleatoria, y de origen térmico.
- Es decir, los electrones no se mueven en líneas rectas, sino que colisionan repetidamente con los átomos metálicos, y su movimiento resultante es en zigzag.



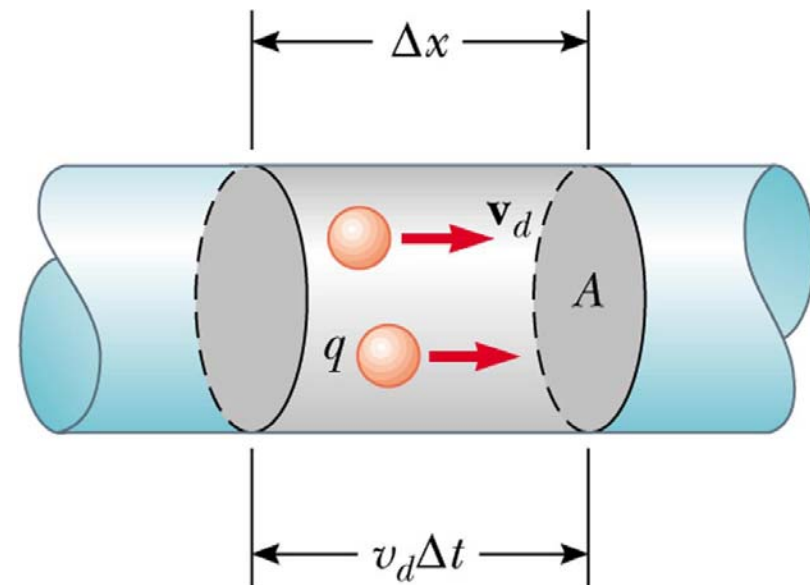
Modelo microscópico

- Cuando no hay corriente en un conductor, los electrones se mueven en direcciones aleatorias con velocidades muy grandes a causa de la energía térmica.
- Cuando hay corriente, los electrones poseen una pequeña velocidad de desplazamiento superpuesta a las velocidades térmicas, mucho mayores, pero aleatorias.

Modelo microscópico

- Se puede relacionar la corriente eléctrica con el movimiento de portadores de carga mediante un modelo microscópico de conducción en un metal.
- Consideren la corriente eléctrica en un conductor de área transversal A (ver figura).
- El volumen de una sección del conductor de longitud Δx es:

$$V = A\Delta x$$



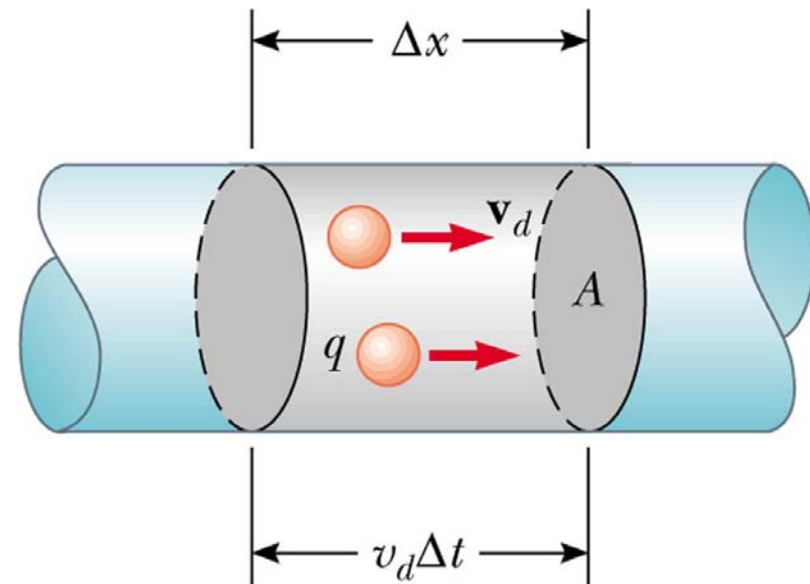
Modelo microscópico

- Si n representa el número de portadores de carga por unidad de volumen (es decir, la *densidad de portadores de carga*):

$$n = \frac{\# \text{ portadores de carga}}{V}$$

- entonces, en esta sección:

$$\# \text{ p. c.} = nV = nA\Delta x$$



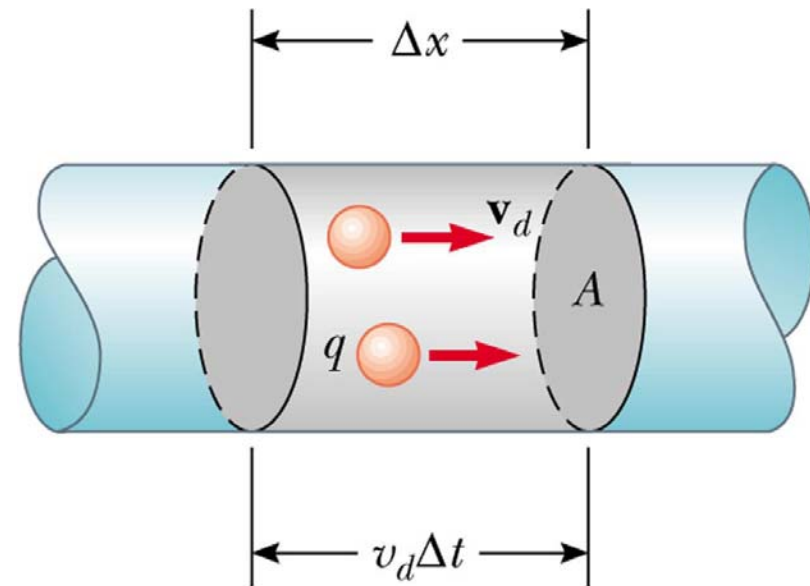
Modelo microscópico

- Por lo tanto, la carga total en esta sección es:

$$\Delta Q = \# \text{ p. c. } \times \text{ carga de cada portador}$$

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

- donde q es la carga de cada portador

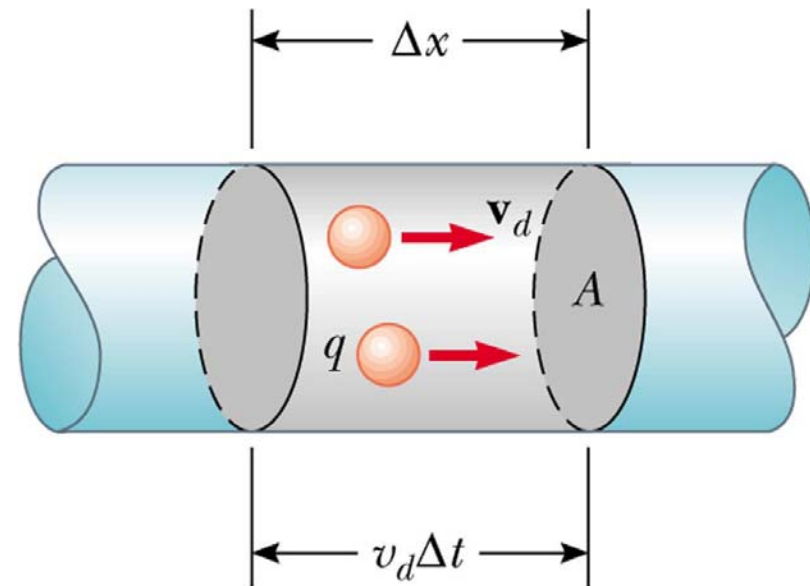


Modelo microscópico

- Si los portadores de carga se mueven con una velocidad v_d , el desplazamiento que experimentan en la dirección x en un intervalo de tiempo Δt es:

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

- Donde Δt se establece como el intervalo de tiempo requerido para que las cargas dentro del cilindro se desplacen una magnitud igual a la longitud del cilindro (área gris).

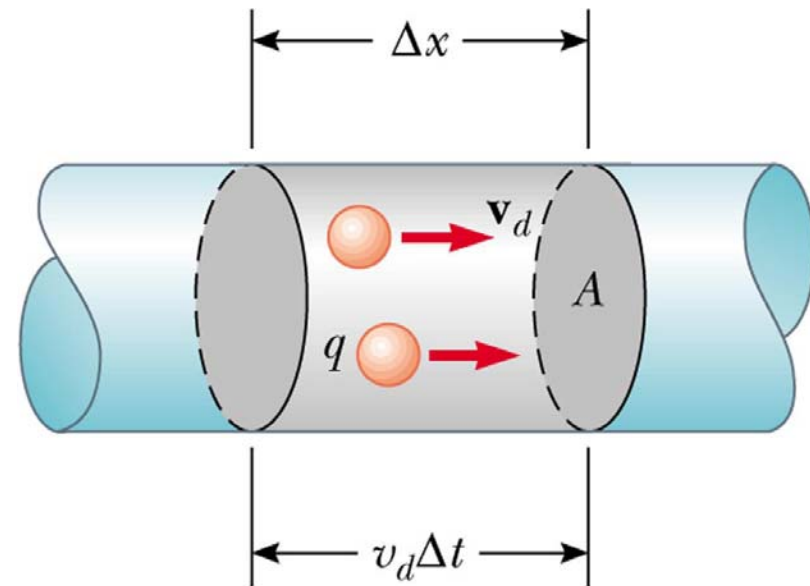


Modelo microscópico

- Este intervalo de tiempo Δt es también el que se requiere para que todas las cargas dentro del cilindro pasen a través del área circular A en uno de sus extremos (sección transversal).
- Con esta elección, se puede escribir ΔQ como:

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

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



Modelo microscópico

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

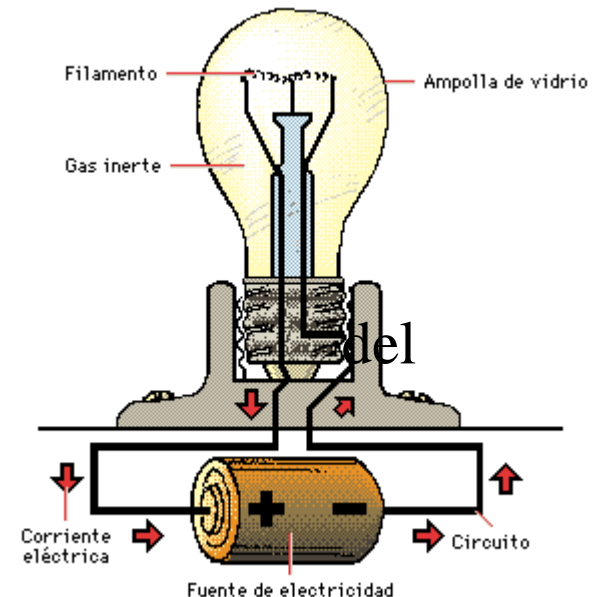
- Si se dividen ambos lados de la ecuación anterior entre Δt , se observa que la corriente eléctrica promedio I_{av} en el conductor es:

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_dA$$

- Esta ecuación puede utilizarse para calcular la corriente eléctrica promedio debida al flujo de cualquier partícula cargada, simplemente sustituyendo la velocidad de desplazamiento v_d por la velocidad de la partícula.

Aclaraciones importantes

- *Los electrones no tienen que viajar desde el interruptor de la luz hasta el foco para que éste opere. Los electrones presentes en el filamento del foco se mueven en respuesta al campo eléctrico que establece la batería. Nótese también que una batería no proporciona electrones al circuito, sólo establece una diferencia de potencial que a su vez establece el campo eléctrico que ejerce una fuerza sobre los electrones presentes en los alambres y elementos del circuito.*



Problemas

■ Velocidad de desplazamiento en un alambre de Cu.

El alambre de Cu de 12-gauge en una típica instalación eléctrica tiene una sección transversal de área $3.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Si lleva una corriente eléctrica de 10.0 A

(A) ¿cuál es la velocidad de desplazamiento de los electrones?

Supongan que cada átomo de Cu contribuye con un electrón libre a la corriente eléctrica. La densidad del Cu es 8.95 g/cm^3 y su M. M. es 63.5 g/mol .

(B) ¿A esa velocidad de desplazamiento, cuanto tardarían los electrones en recorrer 1 m?

Densidad de corriente y Conductividad

- En nuestro estudio del campo eléctrico, se estableció que el campo eléctrico \mathbf{E} dentro de un conductor es cero sólo si el conductor está en equilibrio electrostático (es decir, sólo si no hay cargas en movimiento). Si esto no fuese así, las cargas libres en el interior de un conductor se moverían.
- Pero... ¿qué pasa cuando las cargas en un conductor no están en equilibrio? es decir, ¿qué pasa cuando el conductor no está en equilibrio electrostático?
- En este caso, sí hay un campo eléctrico dentro del conductor y las cargas libres *se mueven*.

Densidad de corriente y Conductividad

- Cuando un conductor transporta una corriente, existe un campo eléctrico \mathbf{E} en su interior que ejerce una fuerza eléctrica ($\mathbf{F} = q\mathbf{E}$) sobre las cargas libres.
- El campo eléctrico \mathbf{E} tiene la dirección de la fuerza que actúa sobre una carga positiva.
- Y la dirección de la corriente eléctrica I es la de un flujo de cargas positivas.
- Entonces, la dirección de la corriente eléctrica I coincide con la del campo eléctrico \mathbf{E} .

Densidad de corriente y Conductividad

- Consideren un conductor cuya sección transversal tiene un área A y que lleva una corriente I .
- La **densidad de corriente** J en el conductor se define como la corriente eléctrica por unidad de área. Debido a que, según nuestro análisis microscópico, la corriente eléctrica en un conductor es:

$$I = nqv_d A$$

- entonces, la densidad de corriente es:

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

Densidad de corriente y Conductividad

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

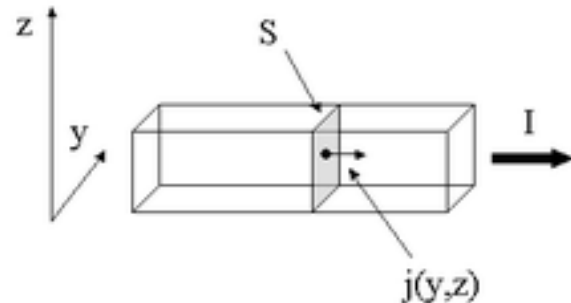
- donde J tiene unidades SI de A/m².
- Esta expresión sólo es válida si la densidad de corriente es uniforme y si la superficie de la sección transversal de área A es perpendicular a la dirección de la corriente.
- En general, la densidad de corriente es una cantidad vectorial:

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

Densidad de corriente y Conductividad

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

- A partir de esta ecuación, se puede establecer que:
 - la densidad de corriente tiene la misma dirección que el movimiento de portadores de carga positiva; y
 - la dirección opuesta que el movimiento de portadores de carga negativa.



Densidad de corriente y Conductividad

- Una densidad de corriente \mathbf{J} y un campo eléctrico \mathbf{E} se establecen dentro de un conductor siempre que una diferencia de potencial se mantenga a través del conductor.
- En algunos materiales, la densidad de corriente \mathbf{J} es proporcional al campo eléctrico \mathbf{E} :

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

- donde la constante de proporcionalidad σ se denomina la **conductividad** del conductor.
 - No confundir la conductividad σ con la densidad de carga superficial, aunque para las dos se utilice el mismo signo.