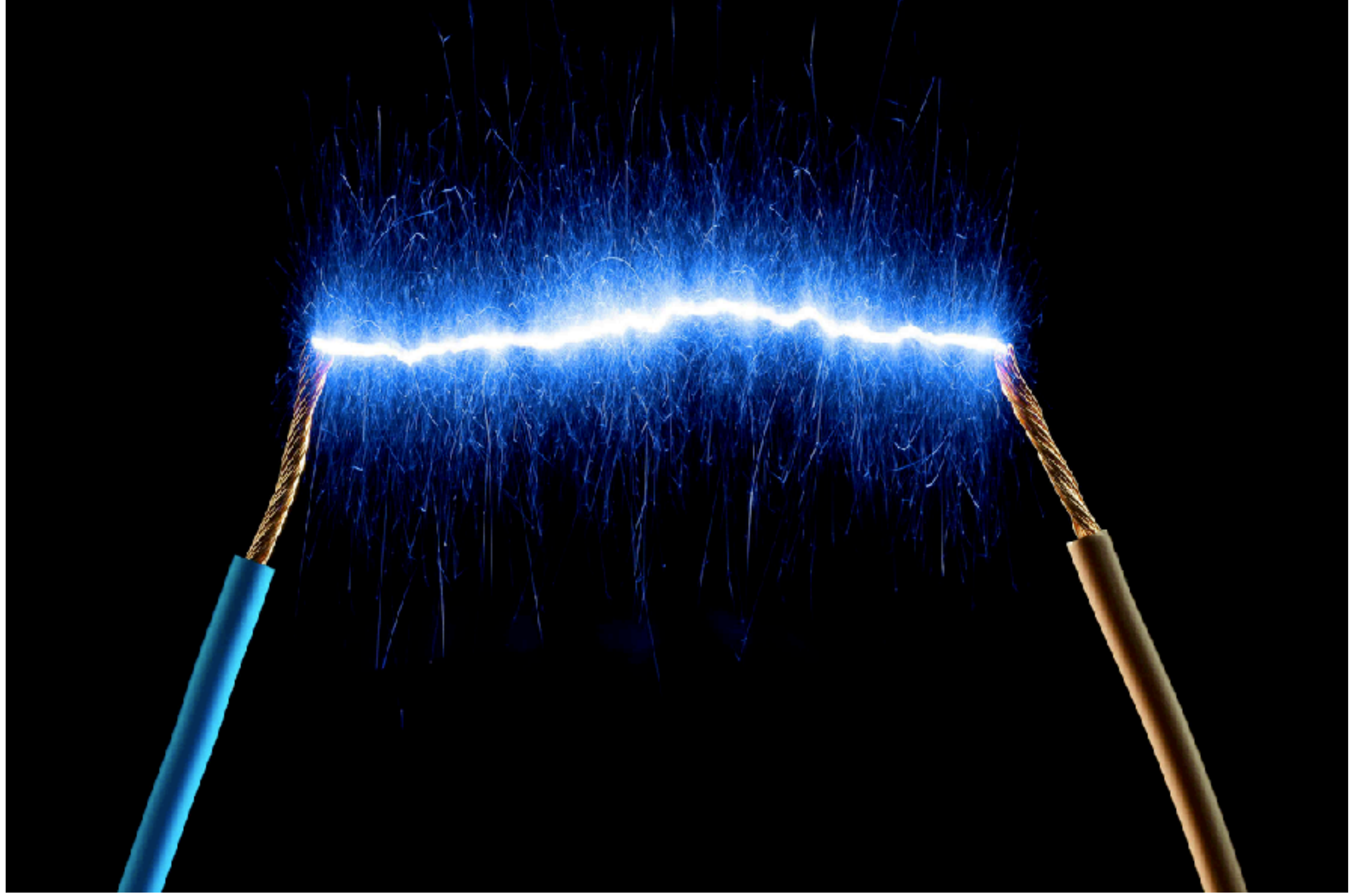
Física 2

Módulo 3: Corriente y campos magnéticos

Héctor Hernández - 2025

VII. Corriente eléctrica



1. Corriente eléctrica
2. Modelo de conducción en los metales
3. Resistividad y resistencia
4. Ley de Ohm
5. Resistencias en serie y paralelo
6. Efecto Joule, energía eléctrica y potencia

1. Corriente eléctrica

- Hemos considerado principalmente las cargas estáticas, pero cuando las cargas se mueven, se aceleran en respuesta a un campo eléctrico creado por una diferencia de voltaje.

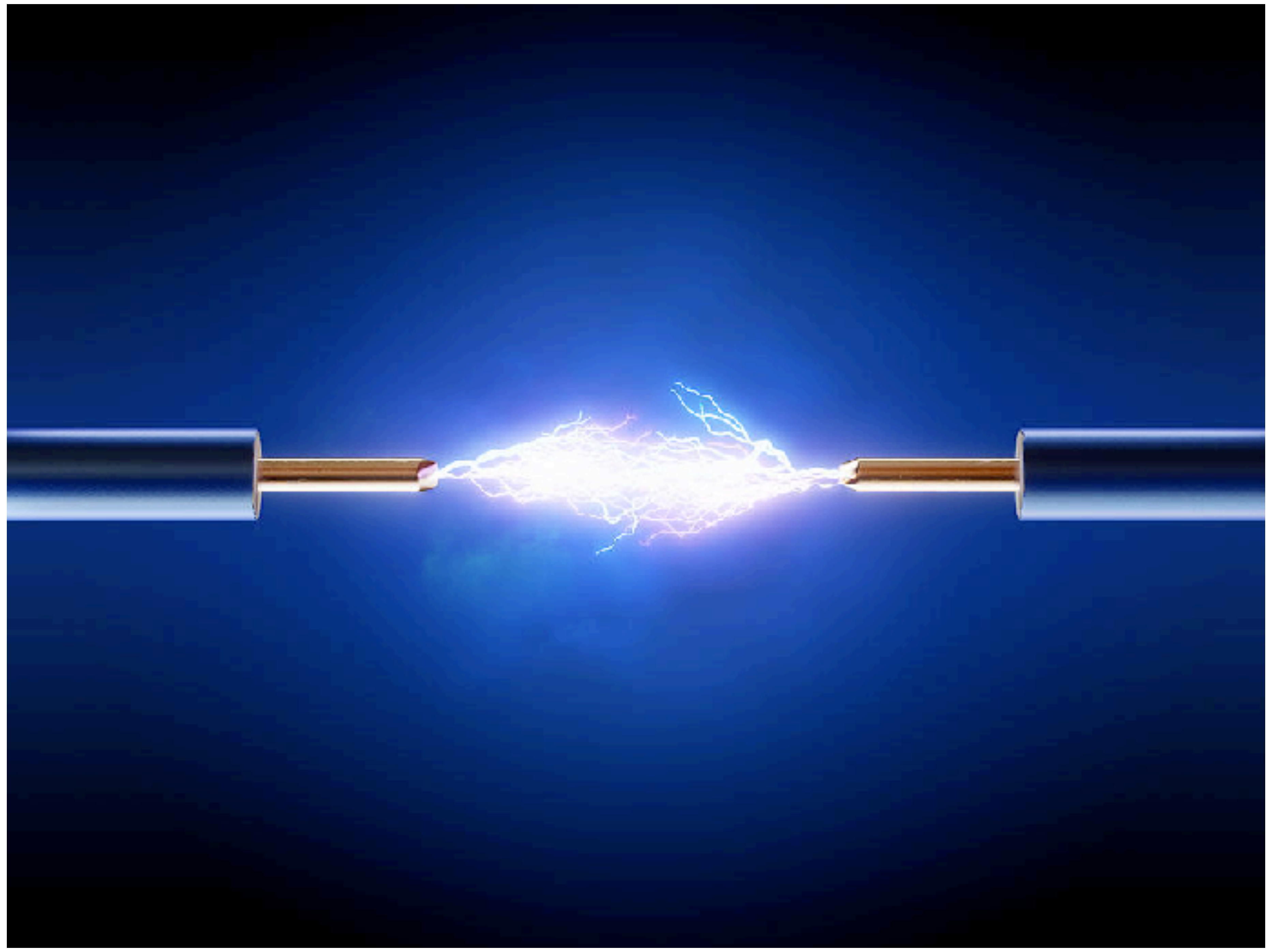
- Las cargas perdían energía potencial y ganaban energía cinética cuando se desplazaban a través de una diferencia de potencial en la que el campo eléctrico realizaba un trabajo sobre la carga.

- Las cargas no necesitan un material para fluir, pero estudiaremos el movimiento de las cargas a través de un material.

- La velocidad a la que las cargas fluyen a través de un lugar (la cantidad de carga por unidad de tiempo) se conoce como <u>corriente eléctrica</u>.

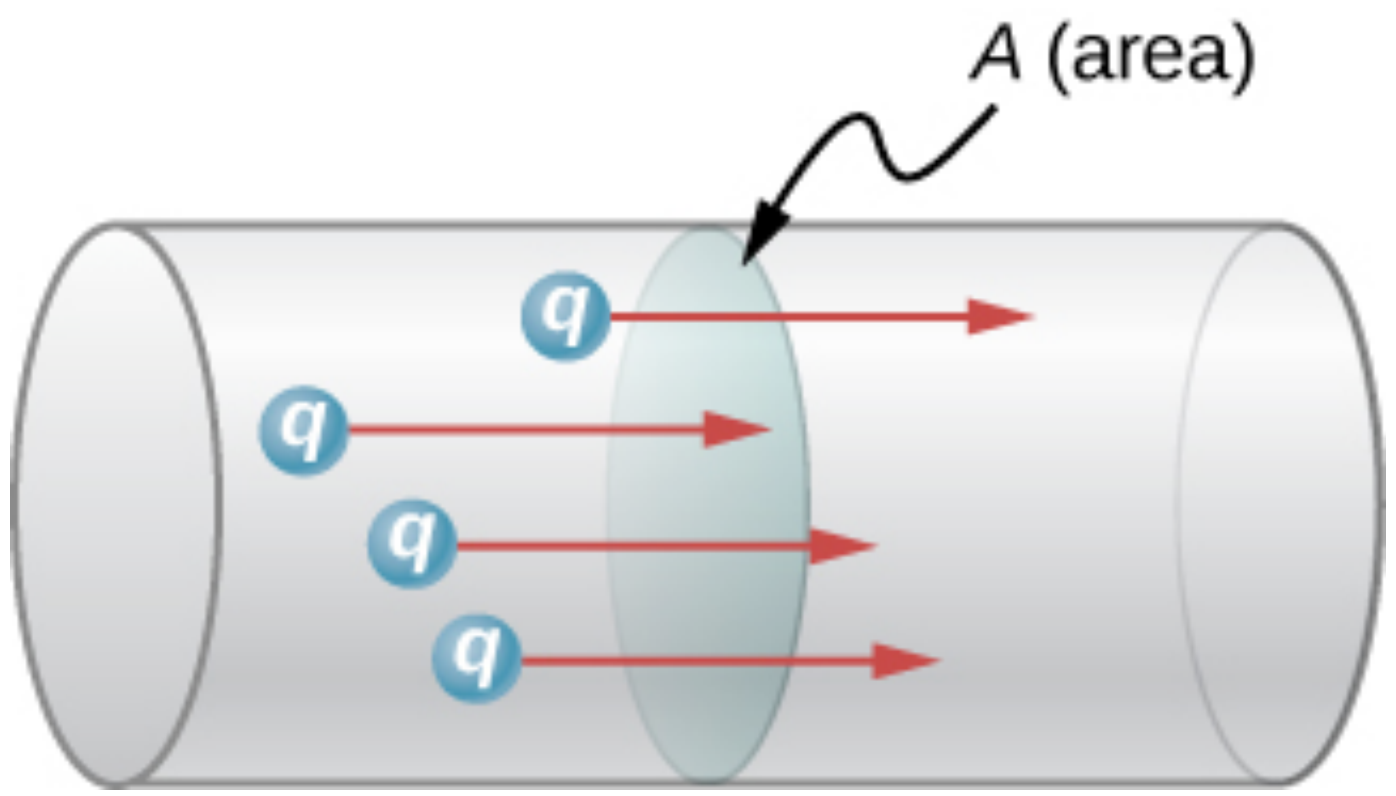
- Cuando las cargas fluyen a través de un medio, la corriente depende del voltaje aplicado, del material a través del cual fluyen las cargas y del estado del material.

- Discutimos la situación de la fuerza proporcionada por un campo eléctrico en un conductor, donde las cargas pierden energía cinética hasta alcanzar una velocidad constante, conocida como "velocidad de deriva".



Definición de la corriente y el amperio

Corriente = Flujo de carga



- La corriente eléctrica media I es la velocidad a la que fluye la carga,

$$I_{\text{med}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- Donde ΔQ es la cantidad de carga neta que pasa a través de un área transversal dada en el tiempo Δt.

- La unidad del SI para la corriente es el amperio (A), en honor a André-Marie Ampère (1775-1836).

- Dado que I=$\Delta Q \Delta t$, un amperio se define como un culombio de carga que pasa por un área determinada por segundo:

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

- La corriente eléctrica instantánea, o simplemente la corriente eléctrica, es la derivada temporal de la carga que fluye y se encuentra tomando el límite de la corriente eléctrica media como $\Delta t \to 0$.

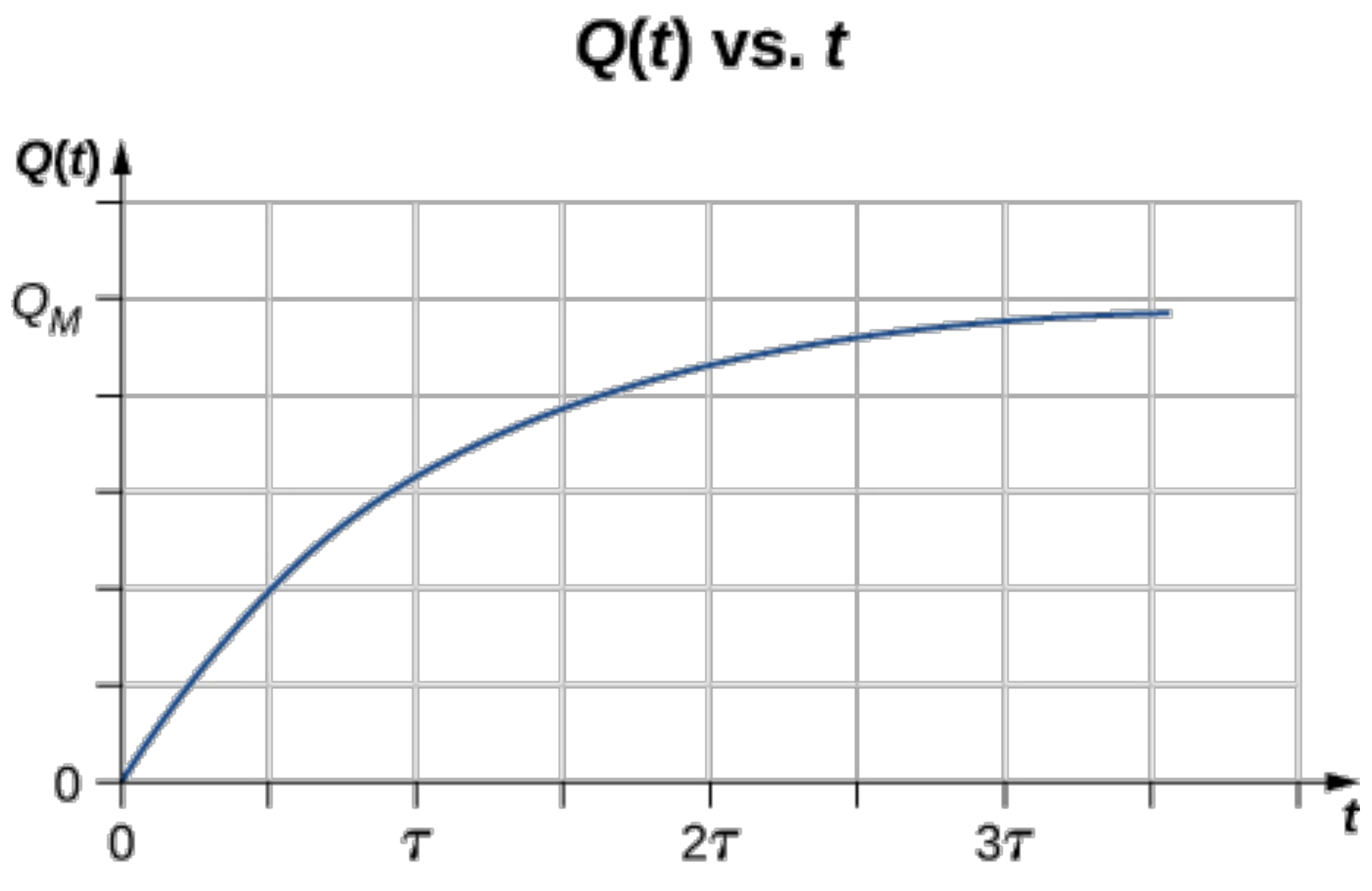
$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

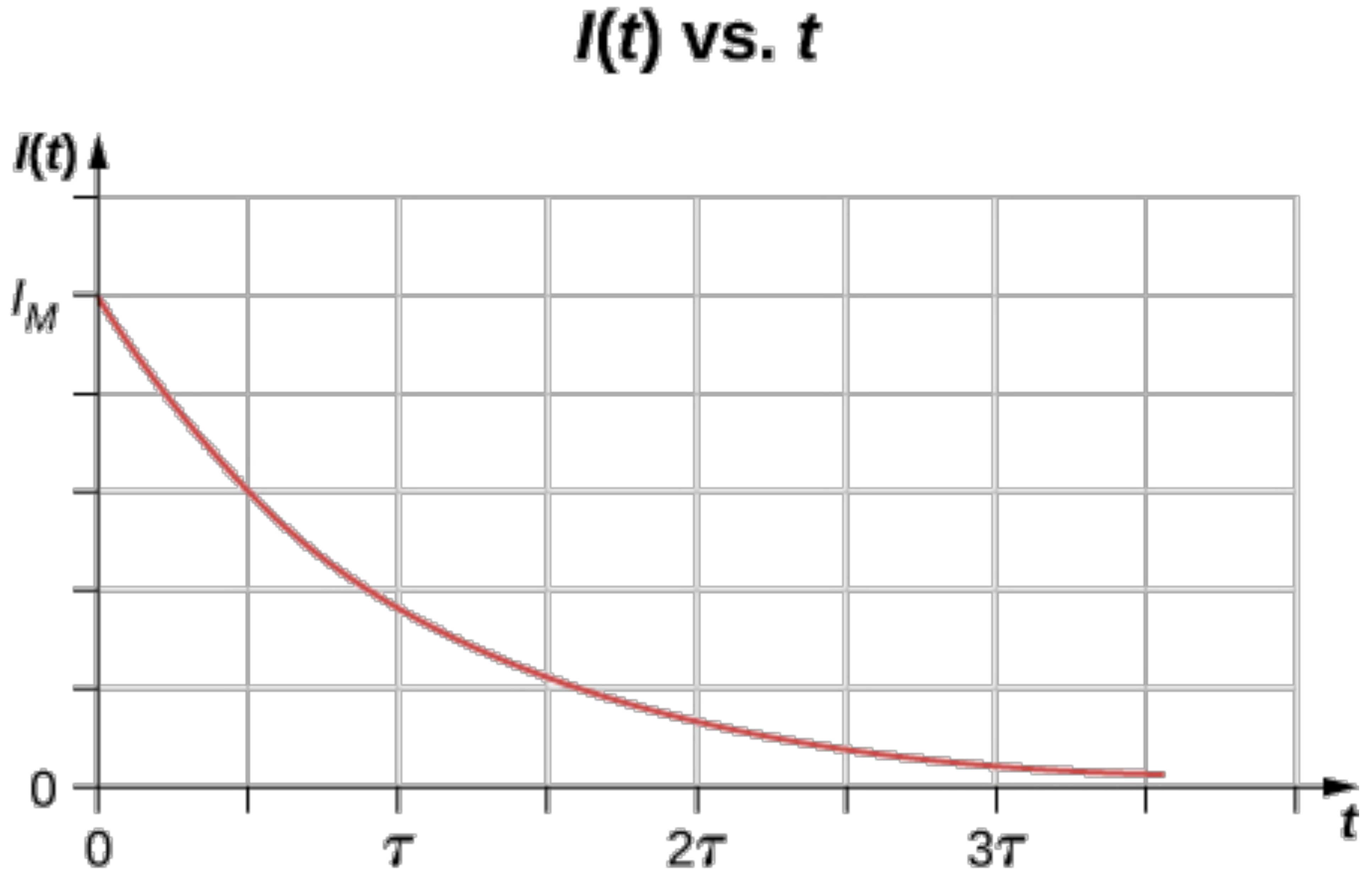
- Por ejemplo, una carga que se mueve a través de una sección transversal de un cable se modela como

$$Q(t) = Q_M\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

- Aquí, Q_M es la carga después de un largo período de tiempo, a medida que el tiempo se acerca al infinito, con unidades de culombios, y τ es una constante de tiempo con unidades de segundos.
- ¿Cuál es la corriente que atraviesa el cable?

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}\left[Q_M\left(1 - e^{-t/\tau}\right)\right] = \frac{Q_M}{\tau}e^{-t/\tau}$$



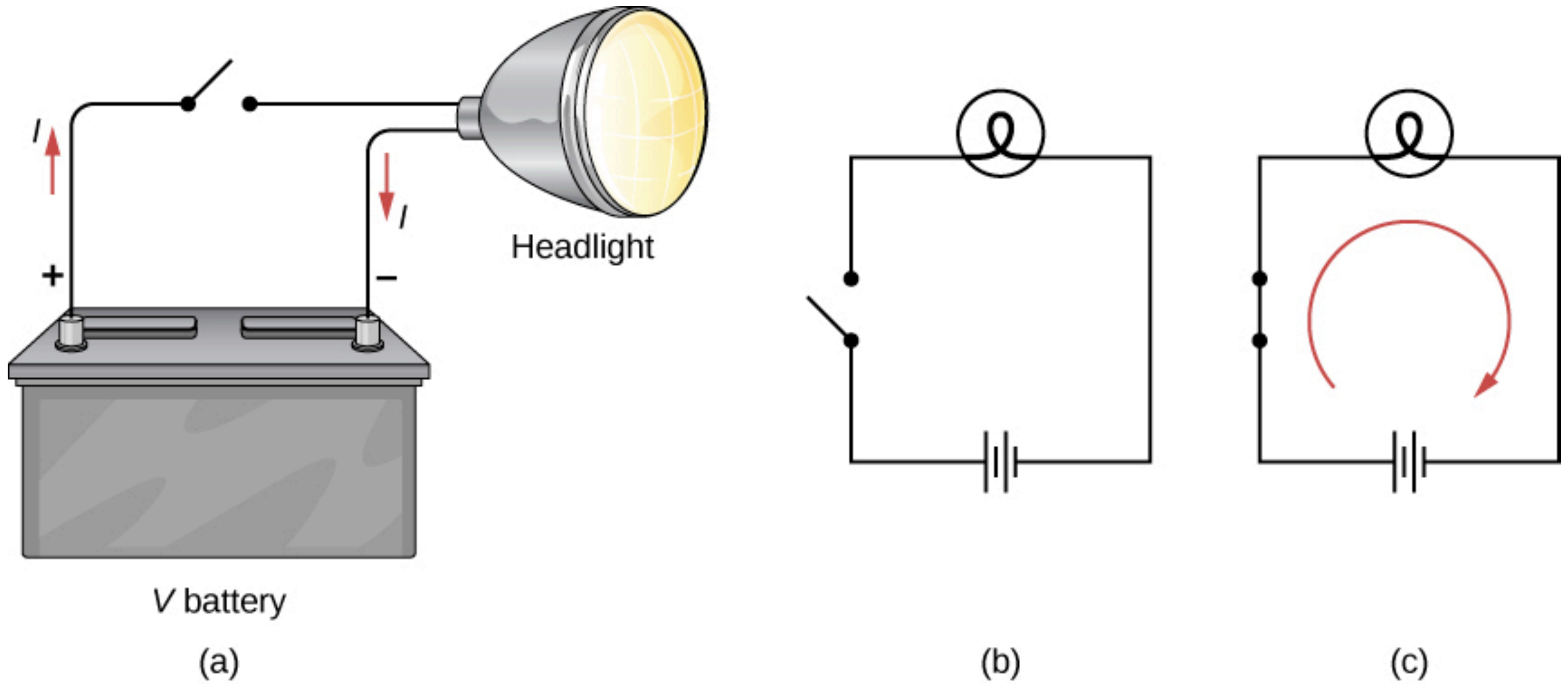


Corriente en un circuito

- Para que la carga fluya a través de un dispositivo, como una lámpara, debe haber un camino completo (o circuito) desde el terminal positivo hasta el negativo.

- Cuando el interruptor está cerrado, hay un camino completo para que las cargas fluyan, desde el terminal positivo de la batería, a través del interruptor, luego a través de la bombilla y de vuelta al terminal negativo de la batería.

- La dirección de la corriente convencional se representa siempre en la dirección en que fluiría la carga positiva, desde el terminal positivo al negativo.



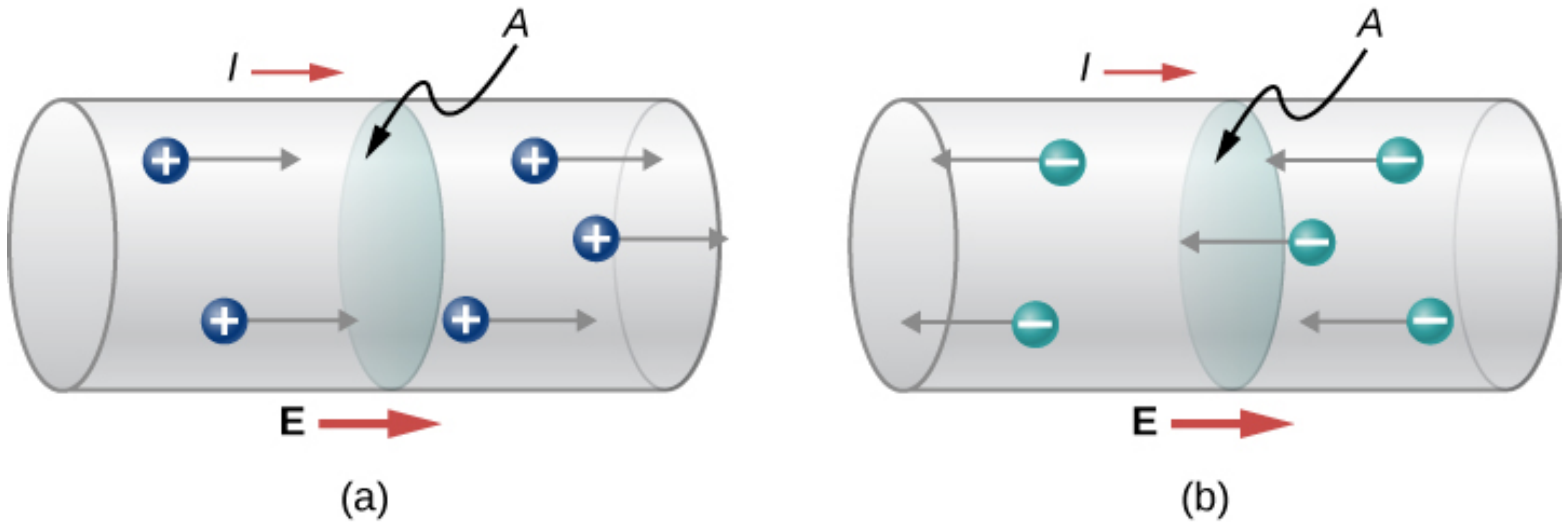
- Dependiendo de la situación real, pueden moverse cargas positivas, negativas o ambas.

- En los cables metálicos la corriente es transportada por los electrones, es decir, las cargas negativas se mueven.

- En las soluciones iónicas, como el agua salada, se mueven tanto las cargas positivas como las negativas.

- La figura ilustra el movimiento de las partículas cargadas que componen una corriente.

- El hecho de que la corriente se tome en la dirección en la que fluiría la carga positiva se remonta al científico y estadista estadounidense Benjamín Franklin en la década de 1700.

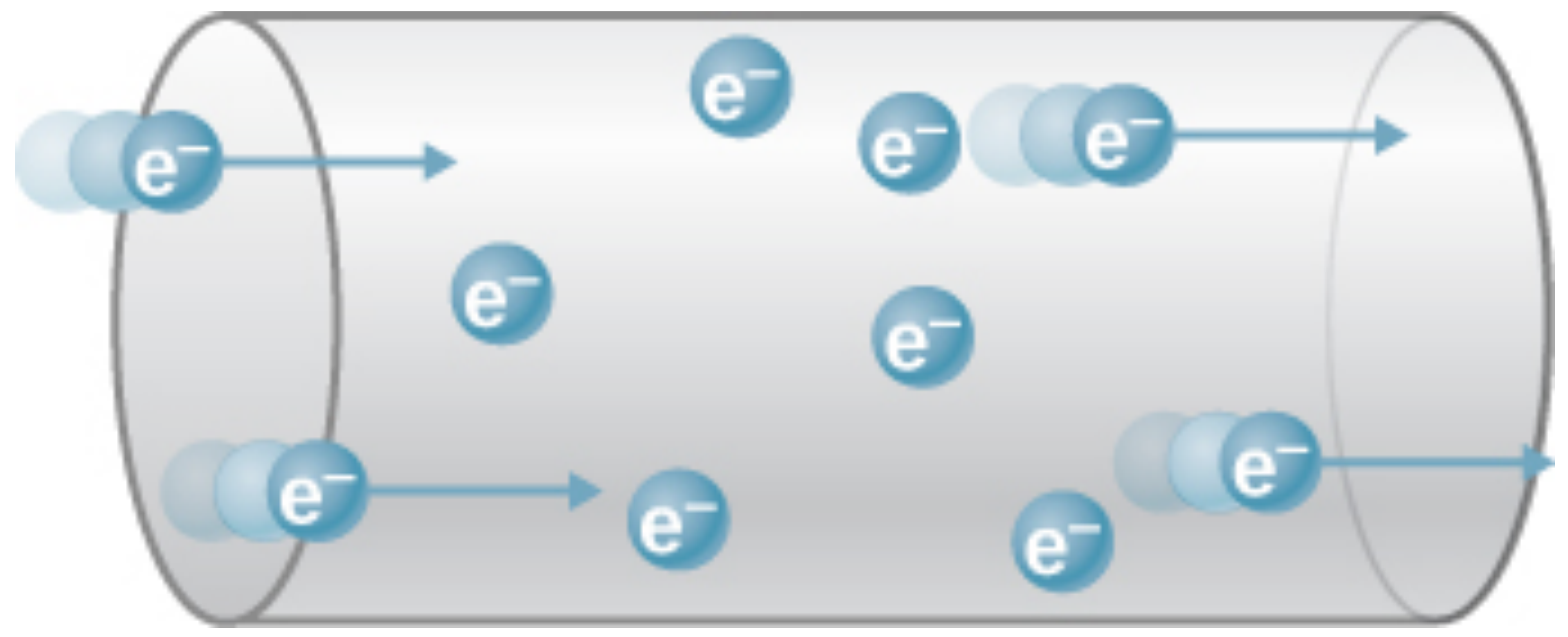


  - Sin conocer las partículas que componen el átomo, Franklin creía que la corriente eléctrica fluía desde un material que tenía más "fluido eléctrico" hacia un material que tenía menos de este "fluido eléctrico".
  - Acuñó el término “positivo” para el material que tenía más de este fluido eléctrico y “negativo” para el material que carecía de él. Franklin llamó a esta dirección de la corriente un flujo de corriente positiva.
  - Era un pensamiento muy avanzado cuando no sabía nada del átomo.
  - En un metal conductor, el flujo de corriente se debe principalmente a los electrones que fluyen desde el material negativo hacia el material positivo, pero por razones históricas, consideramos el flujo de corriente positivo.

- Es importante darse cuenta de que en los conductores existe un campo eléctrico que es el responsable de producir la corriente.

2. Modelo de conducción en los metales

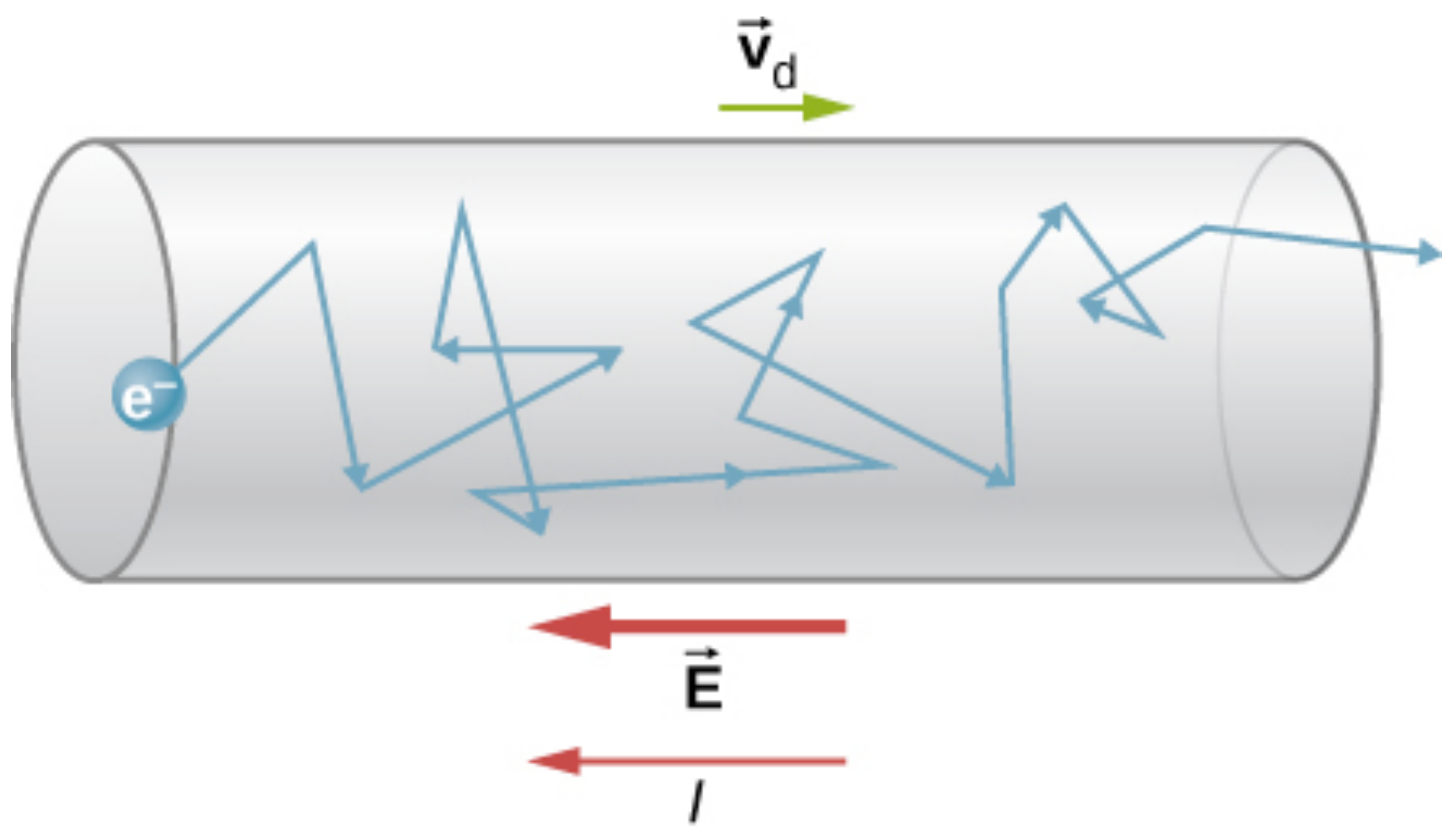
- Cuando los electrones se mueven a través de un cable conductor, no lo hacen a una velocidad constante, interactúan y chocan con los átomos y otros electrones libres del conductor.
- Aunque sea conveniente hablar de la dirección de la corriente, ésta es una cantidad escalar. Cuando se habla de la velocidad de las cargas en una corriente, es más apropiado hablar de la densidad de corriente.



- Cuando una carga libre es forzada a moverse en un cable, la carga empuja a otras debido a la fuerza de repulsión entre cargas similares.
- La densidad de carga en un sistema no puede aumentar fácilmente, por lo que la señal se transmite rápidamente.
- La señal de movimiento, u onda de choque, es un cambio en el campo eléctrico que se propaga rápidamente.

- Los buenos conductores tienen un gran número de cargas libres.
- En los metales, las cargas libres son electrones libres.
- La distancia que un electrón individual puede recorrer entre colisiones con átomos u otros electrones es bastante pequeña

- Las trayectorias de los electrones parecen casi aleatorias, como el movimiento de los átomos en un gas.
- Pero hay un campo eléctrico en el conductor que hace que los electrones se desplacen en la dirección indicada (opuesta al campo, ya que son negativos).
- La velocidad de deriva $\vec{v}_d$ es la velocidad media de las cargas libres. La velocidad de deriva es bastante pequeña, ya que hay muchas cargas libres.
- Podemos calcular la velocidad de deriva para una corriente determinada. Cuanto mayor sea la densidad, menor será la velocidad necesaria para una corriente determinada.



- Las colisiones de los electrones libres transfieren energía a los átomos del conductor.
- El campo eléctrico realiza un trabajo al mover los electrones a través de una distancia, pero ese trabajo no aumenta la energía cinética (ni la velocidad) de los electrones.
- El trabajo se transfiere a los átomos del conductor, lo que suele aumentar la temperatura. Por lo tanto, se requiere un aporte continuo de energía para mantener el flujo de la corriente.

- Podemos obtener una expresión para la relación entre la corriente y la velocidad de deriva considerando el número de cargas libres en un segmento de cable.

- El número de cargas libres por unidad de volumen, o la densidad numérica de cargas libres la llamaremos n

$$n = \frac{\text{número de cargas}}{\text{volumen}}$$

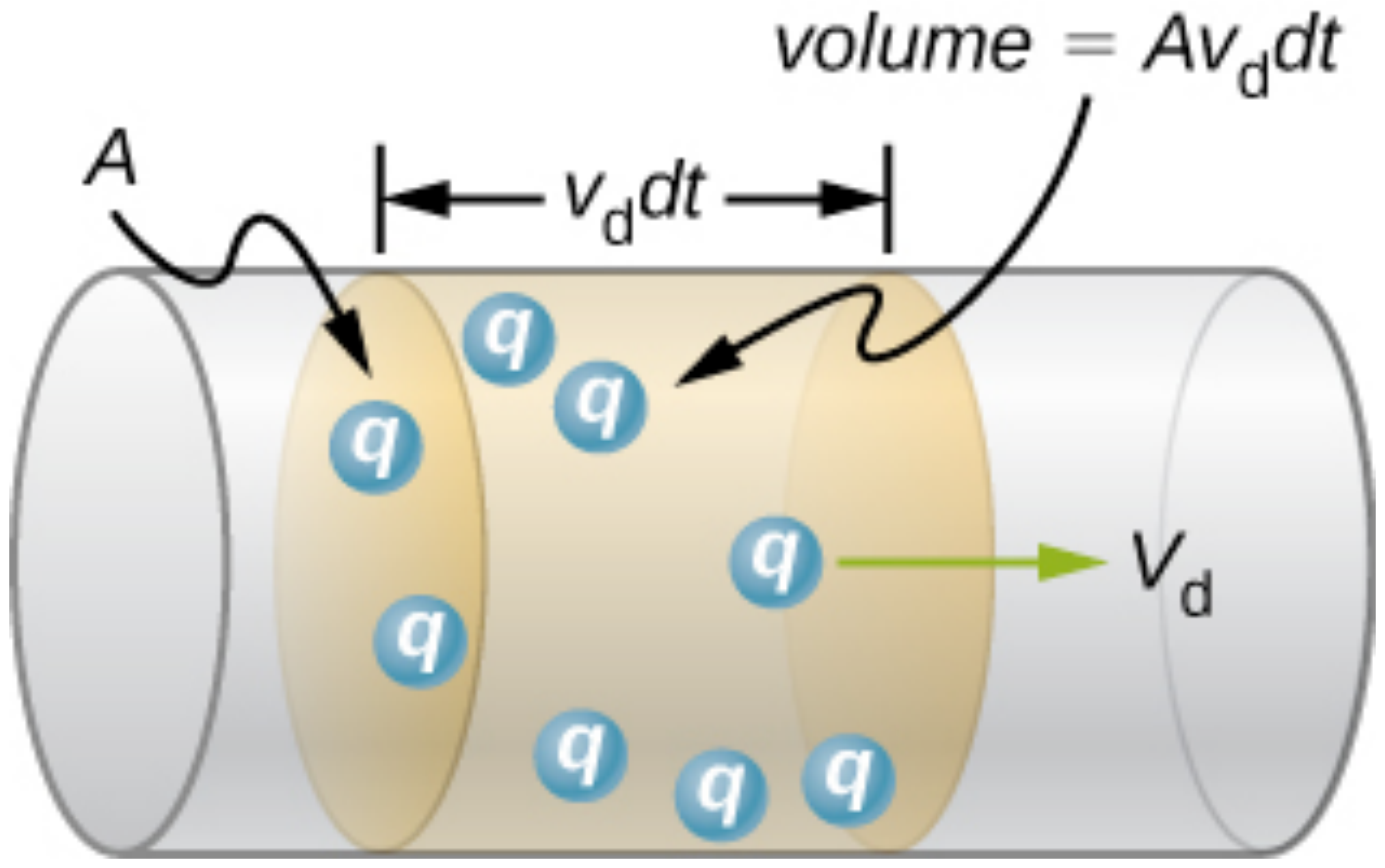
- El valor n depende del material.

- El segmento sombreado tiene un volumen: $Av_d dt$

- El número de cargas libres en el volumen es: $nAv_d dt$

- La carga dQ en este segmento es: $qnAv_d dt$, donde q es la cantidad de carga de cada portador.

- La corriente es la carga movida por unidad de tiempo; así, si todas las cargas originales se mueven fuera de este segmento en el tiempo dt, la corriente es



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

$$v_d = \frac{I}{nqA}$$

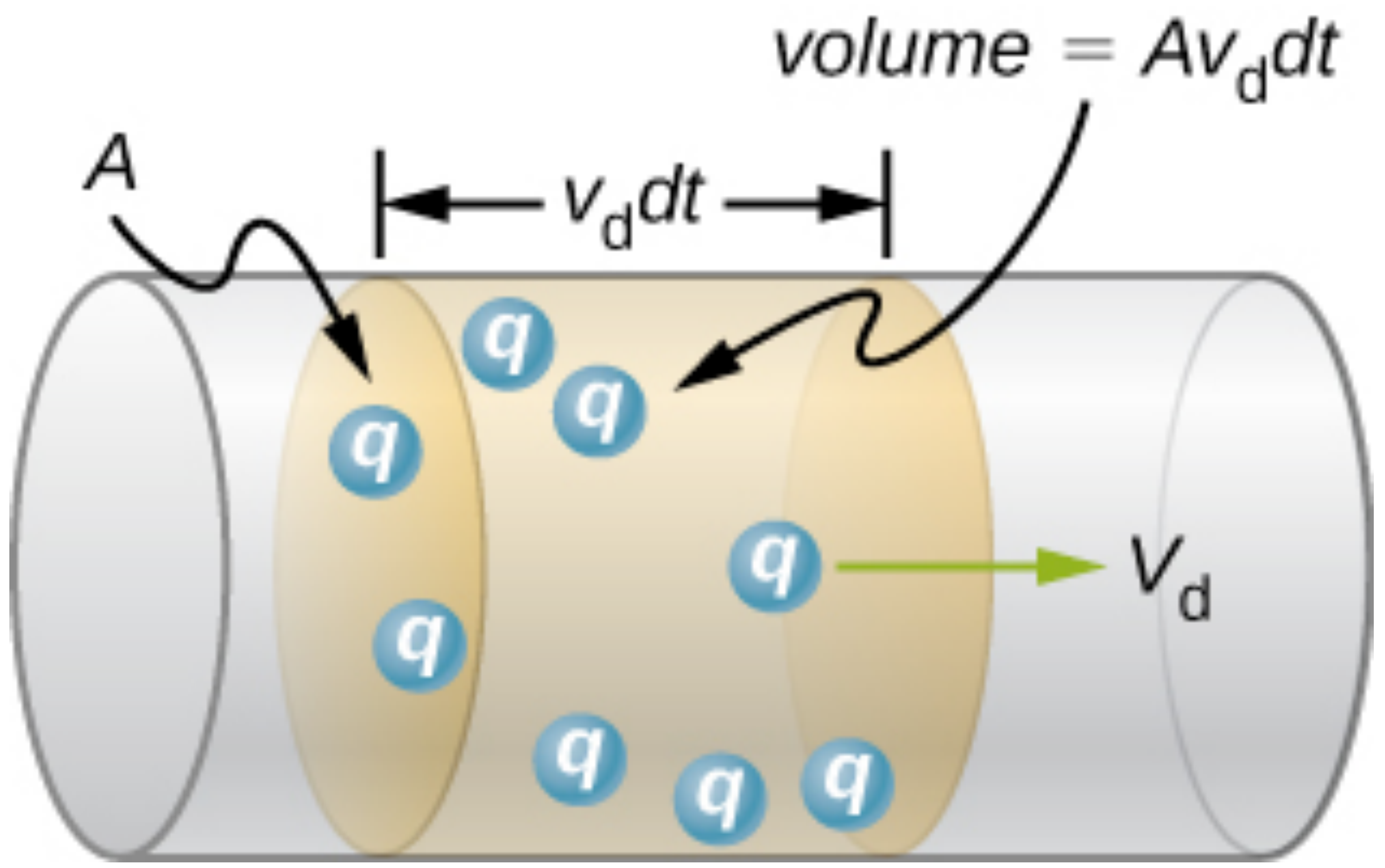
- Los portadores de la corriente tienen cada uno carga q y se mueven con una velocidad de deriva de magnitud v_d.

- No todos los electrones de un conductor pueden moverse libremente, y los que se mueven pueden hacerlo algo más rápido o más lento que la velocidad de deriva o de arrastre.

- Los átomos de un conductor metálico están empaquetados en forma de estructura reticular.

- Los electrones libres no están ligados a un solo átomo, sino que pueden moverse libremente entre los átomos en un "mar" de electrones.

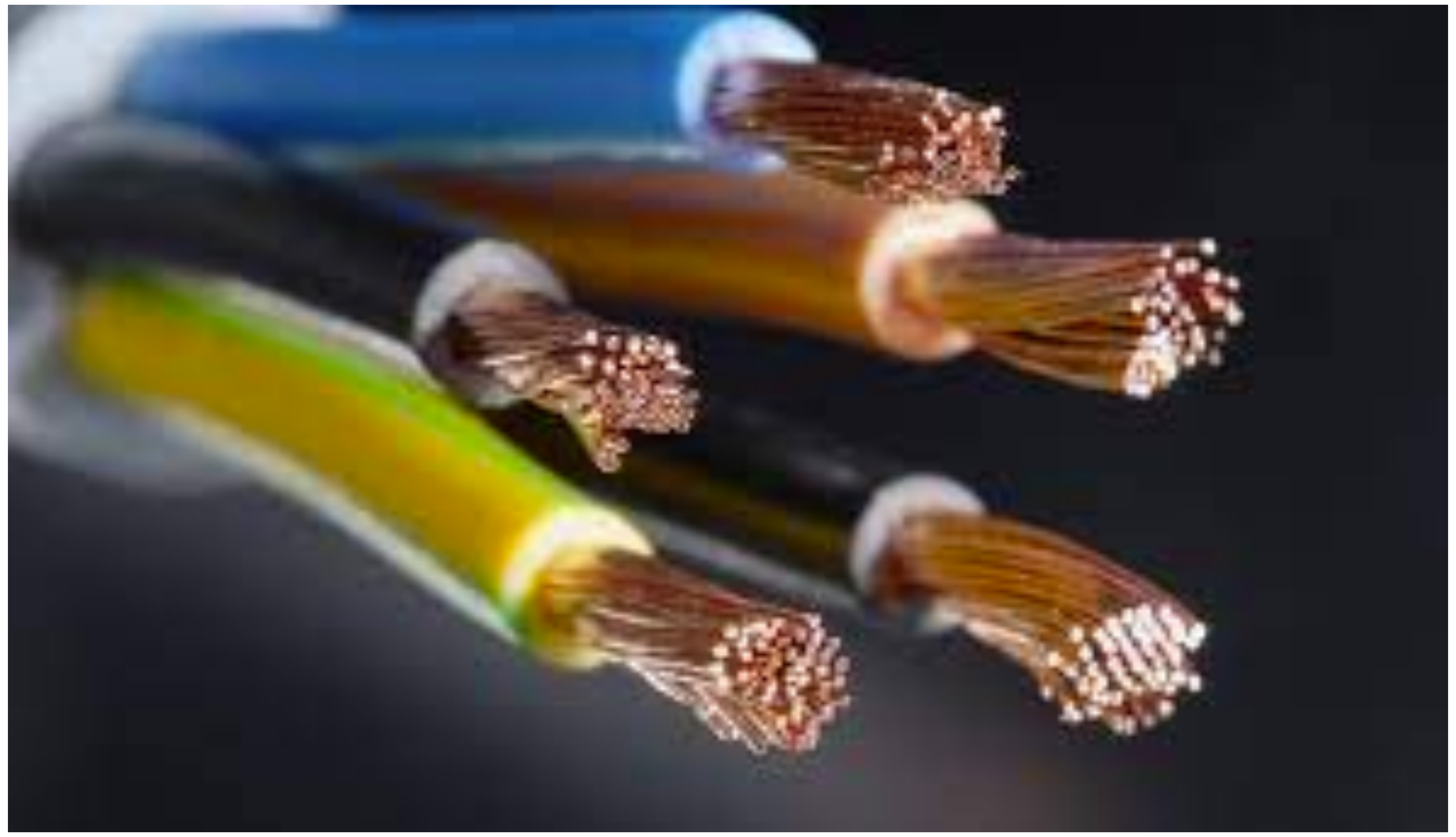
- Cuando se aplica un campo eléctrico, estos electrones libres responden acelerando. Al moverse, chocan con los átomos de la red y con otros electrones, generando energía térmica, y el conductor se calienta. En un aislante, la organización de los átomos y la estructura no permiten estos electrones libres.

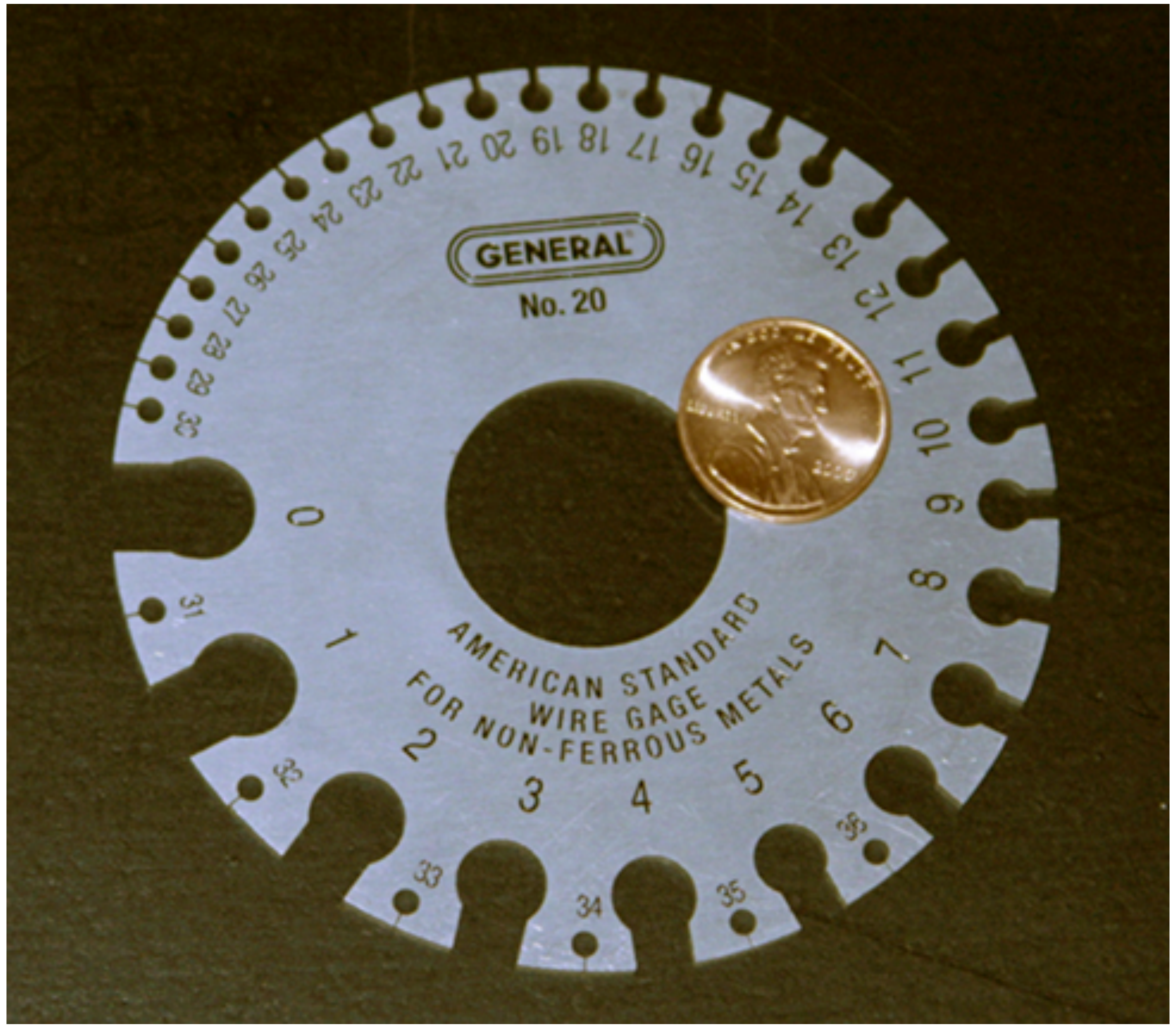


Calibres

- El diámetro de un cable determina la capacidad de transporte de corriente: cuanto mayor sea el diámetro, mayor será la capacidad de transporte de corriente.
- El alambre se suele vender en una unidad conocida como "calibre".
- Cuanto mayor es el calibre, menor es el diámetro.
- En Estados Unidos se desarrolló el American Wire Gauge (AWG) para estandarizar el sistema.
- El cableado doméstico suele estar compuesto por cables de calibre 10 (2,588 mm ø) a 14 (1,628 mm ø).

Cables	Calibre A.W.G.	Seccion mm^2	Cant. Amperes	Resistencia Ω/Km
	14	2.5	15	8.45
	12	4.0	20	5.32
	10	6.0	30	3.34
	08	10.0	40 - 55	2.10
	06	16.0	55 - 75	1.32





Ejemplo

- Calcular la velocidad de deriva de los electrones en un cable de cobre de 2,053 mm de diámetro (calibre 12) que transporta una corriente de 20,0 A, considerando que hay un electrón libre por átomo de cobre.
- La densidad del cobre es de $8,80 \times 10^3 \ \mathrm{kg/m^3}$ y la masa atómica del cobre es de 63,54 g/mol.

En primer lugar, calculamos la densidad de electrones libres en el cobre

$$n = \frac{1e^-}{\text{átomos}} \times \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ átomos}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{63,54 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{\text{kg}} \times \frac{8,80 \times 10^3 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 8,34 \times 10^{28} e^-/\mathrm{m}^3.$$

El área de la sección transversal del cable es

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{2,05 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2 = 3,30 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

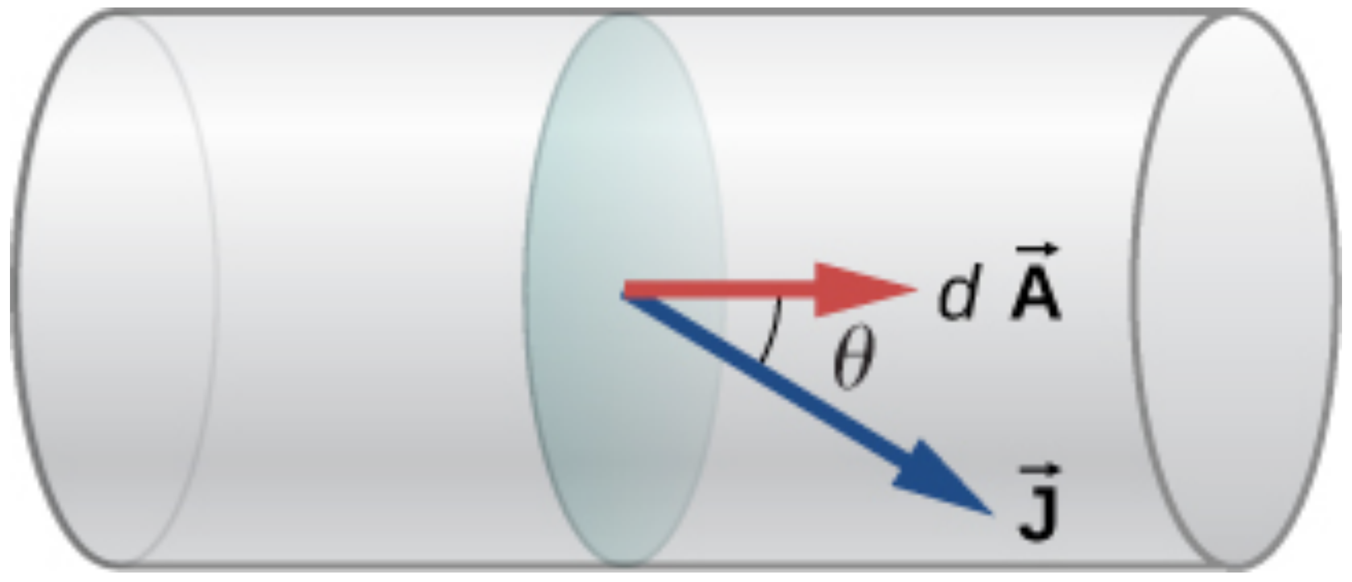
Por lo tanto

$$v_d = \frac{I}{nqA} = \frac{20,00\mathrm{A}}{(8,34 \times 10^{28}/\mathrm{m}^3)(-1,60 \times 10^{-19}\mathrm{C})(3,30 \times 10^{-6}\mathrm{m}^2)} = -4,54 \times 10^{-4} \text{ m/s}.$$

- El signo negativo indica que las cargas negativas se mueven en la dirección opuesta a la corriente convencional.

Densidad de corriente

- La corriente es una cantidad escalar, $I = dQ/dt$.
- A menudo se necesita discutir los detalles del movimiento de la carga y no el movimiento global de las cargas. En tales casos, es necesario definir la densidad de corriente, $\vec{J}$, una cantidad vectorial.



- La densidad de corriente es el flujo de carga a través de un área infinitesimal, dividido por el área.
- Esta toma en cuenta la magnitud local y la dirección del flujo de carga, que varía de un punto a otro.
- La unidad de la densidad de corriente es el amperio por metro cuadrado, y la dirección se define como la dirección del flujo neto de cargas positivas a través del área.

- El flujo de corriente diferencial a través del área $d\vec{A}$ se encuentra como: $dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} = J\,dA\cos\theta$

- La corriente total que pasa por el área $d\vec{A}$ se puede encontrar integrando sobre el área

$$I = \iint_{\text{area}} \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

- Consideremos la magnitud de la densidad de corriente, que es la corriente dividida por el área:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{n|q|Av_d}{A} = n|q|v_d$$

- La densidad de corriente es

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

- Si q es positivo, $\vec{v}_d$ está en la misma dirección que $\vec{E}$. Si q es negativo, $\vec{v}_d$ está en la dirección opuesta a $\vec{E}$.
- En cualquier caso, la dirección de la densidad de corriente $\vec{J}$ está en la dirección del campo eléctrico $\vec{E}$.

Ejemplo

- La corriente suministrada a una lámpara con una bombilla de 100 W es de 0,87 amperios. La lámpara está cableada con un hilo de cobre de 2,588 mm de diámetro (calibre 10).

- Encuentre la magnitud de la densidad de corriente.

Calculamos la densidad de corriente utilizando la corriente dada I=0,87A y el área de la sección transversal del cable

$$J = \frac{I}{A} = \frac{0,87A}{5,26 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^2} = 1,65 \times 10^5\ \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}^2}$$

- La densidad de corriente en un hilo conductor depende de la corriente que atraviesa el hilo conductor y del área de la sección transversal del hilo. Para una corriente determinada, a medida que aumenta el diámetro del cable, la densidad de carga disminuye.

- La densidad de corriente es proporcional a la corriente, y la corriente es el número de cargas que pasan por un área de sección transversal por segundo.

- Las cargas se mueven a través del conductor, aceleradas por la fuerza eléctrica proporcionada por el campo eléctrico. El campo eléctrico se crea cuando se aplica un voltaje a través del conductor.

3. Resistividad y resistencia

- Cuando se aplica un voltaje a un conductor, se crea un campo eléctrico $\vec{E}$ y las cargas del conductor sienten una fuerza debida al campo eléctrico.
- El campo eléctrico, a su vez, ejerce una fuerza sobre las cargas libres, provocando una corriente.
- La densidad de corriente $\vec{J}$ que resulta depende del campo eléctrico y de las propiedades del material.
- El material puede resistir el flujo de las cargas, y la medida de cuánto resiste un material el flujo de cargas se conoce como <u>resistividad</u>.
- Algunos materiales, incluidos los metales a una temperatura determinada, $\vec{J}$ es aproximadamente proporcional a $\vec{E}$,
- En estos casos, la densidad de corriente puede modelarse como

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

  - donde σ es la conductividad eléctrica.
  - σ mide capacidad de un material para conducir electricidad.
  - Los conductores tienen una mayor conductividad eléctrica que los aislantes.

- Como $\sigma = J/E$, las unidades son

$$\sigma = \frac{|J|}{|E|} = \frac{\mathrm{A/\,m^2}}{\mathrm{V/\,m}} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{V\,m}}$$

- Definiremos una unidad denominada **ohmio** con el símbolo griego omega en mayúscula, Ω . La unidad lleva el nombre en honor a Georg Simon Ohm (1789 - 1854)

- Un ohmio equivale a un voltio por amperio: $1\Omega = 1V/A$, por lo tanto, la unidad de conductividad eléctrica es: $1/(\Omega \cdot m)$.

- **La resistividad** de un material es una medida de la fuerza con la que un material se opone al flujo de la corriente eléctrica. La resistividad es el recíproco de la conductividad eléctrica:

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

- Si la resistividad y la sección transversal del alambre no varían a lo largo del hilo, la resistencia resulta ser

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

- Definimos la resistividad en función del campo eléctrico y de la densidad de corriente.

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

- Cuanto mayor sea la resistividad, mayor será el campo necesario para producir una densidad de corriente.
- Cuanto menor sea la resistividad, mayor será la densidad de corriente producida por un campo eléctrico.
- Los buenos conductores tienen una alta conductividad y una baja resistividad.
- Los buenos aislantes tienen una baja conductividad y una alta resistividad.

- Los materiales que aparecen en la tabla se dividen en categorías de conductores, semiconductores y aislantes, en función de grandes grupos de resistividad.
- Los conductores tienen la menor resistividad y los aislantes la mayor; los semiconductores tienen una resistividad intermedia.
- Los conductores tienen densidades de carga libres, variables pero grandes, mientras que la mayoría de las cargas de los aislantes están ligadas a los átomos y no son libres de moverse.
- Existen los semiconductores que son intermedios, ya que tienen muchas menos cargas libres que los conductores, pero tienen propiedades que hacen que el número de cargas libres dependa en gran medida del tipo y la cantidad de impurezas del semiconductor.
- Estas propiedades únicas de los semiconductores se utilizan en la electrónica moderna.

Material	Resistivity ρ at 20°C, $\Omega \cdot m$	Temperature Coefficient α at 20°C, K^{-1}
Conducting Elements		
Aluminum	2.8×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.93×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	4.3×10^{-3}
Mercury	96×10^{-8}	0.89×10^{-3}
Platinum	100×10^{-8}	3.927×10^{-3}
Silver	1.6×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Tungsten	5.5×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Carbon	3500×10^{-8}	-0.5×10^{-3}
Conducting alloys		
Brass	$\sim 8 \times 10^{-8}$	2×10^{-3}
Constantin (60% Cu, 40% Ni)	$\sim 44 \times 10^{-8}$	0.002×10^{-3}
Manganin (~84% Cu, ~12% Mn, ~4% Ni)	44×10^{-8}	0.000×10^{-3}
Nichrome	100×10^{-8}	0.4×10^{-3}
Semiconductors		
Germanium	0.45	-4.8×10^{-2}
Silicon	640	-7.5×10^{-2}
Insulators		
Neoprene	$\sim 10^{9}$	
Polystyrene	$\sim 10^{8}$	
Porcelain	$\sim 10^{11}$	
Wood	$10^{8} - 10^{14}$	
Glass	$10^{10} - 10^{14}$	
Hard rubber	$10^{13} - 10^{16}$	
Amber	5×10^{14}	
Sulfur	1×10^{15}	
Teflon	1×10^{14}	

Ejemplo

- Calcular la densidad de corriente, la resistencia y el campo eléctrico de un cable de cobre de 5 m de longitud con un diámetro de 2,053 mm (calibre 12) que transporta una corriente de $10mA$.

En primer lugar, calculamos la densidad de corriente:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{10 \times 10^{-3} A}{3,31 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^2} = 3,02 \times 10^3 \frac{A}{\mathrm{m}^2}$$

La resistencia del cable

$$R = \rho \frac{L}{A} = (1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m) \frac{5,00m}{3,31 \times 10^{-6} m^2} = 0,025\ \Omega.$$

Por último, el campo eléctrico:

$$E = \rho J = (1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m)\left(3,02 \times 10^3 \frac{A}{m^2}\right) = 5,07 \times 10^{-5} \frac{V}{m}$$

- El cobre efectivamente tiene una resistencia es bastante pequeña.
- La densidad de corriente y el campo eléctrico son independientes de la longitud del cable, pero no la tensión.

4. Ley de Ohm

- La corriente que circula por la mayoría de las sustancias es directamente proporcional a la tensión V que se le aplica.

- El físico alemán Georg Simon Ohm (1787-1854) fue el primero en demostrar experimentalmente que la corriente en un hilo metálico es directamente proporcional a la tensión aplicada.

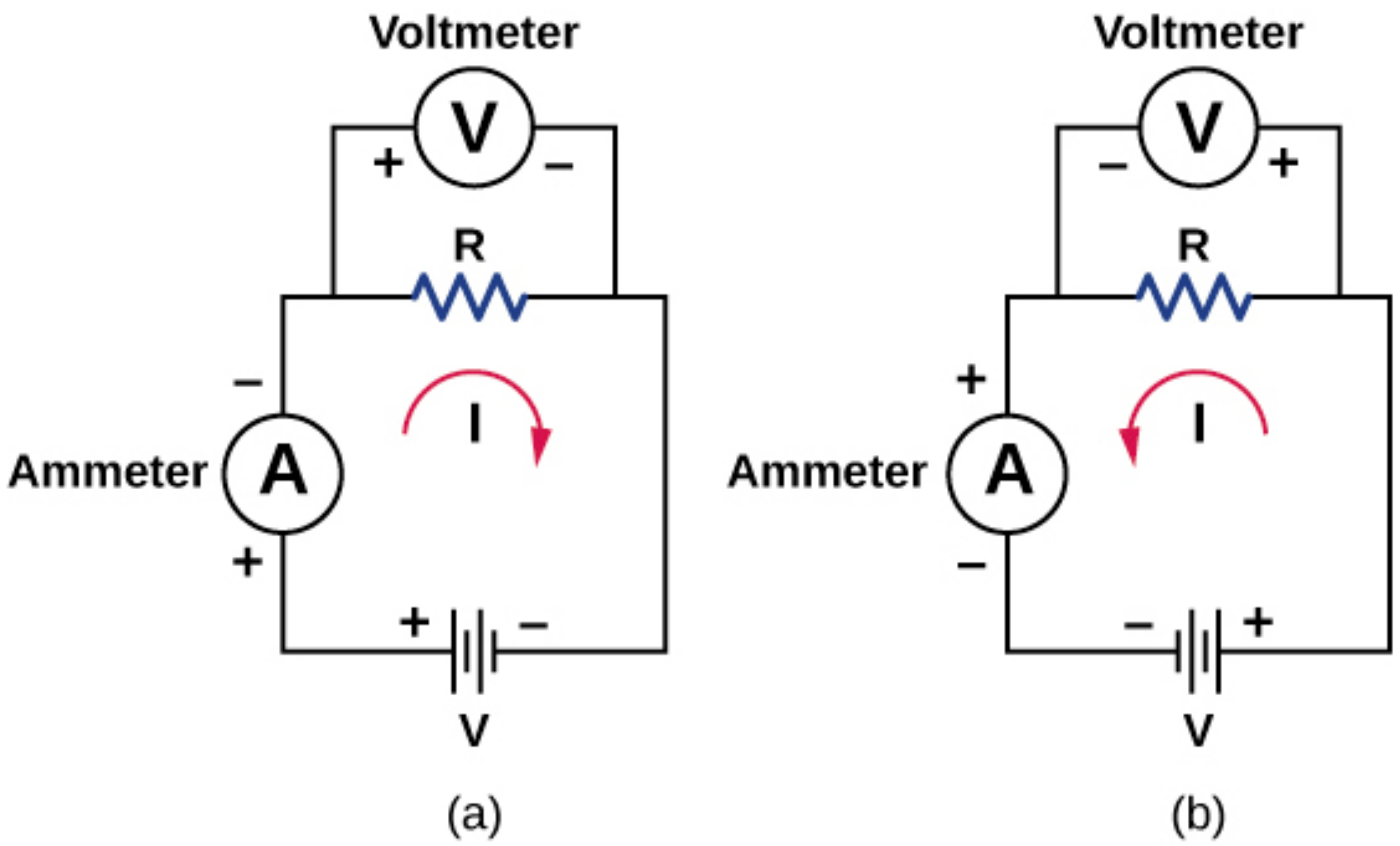
$$I \propto V$$

- Se trata de una ley empírica, es decir, un fenómeno observado experimentalmente.

- Cualquier material que obedezca la ley de Ohm. se conoce como material óhmico o componente óhmico.

  - (a) Cuando la batería está conectada, la corriente fluye en el sentido de las agujas del reloj y el voltímetro y el amperímetro tienen lecturas positivas.

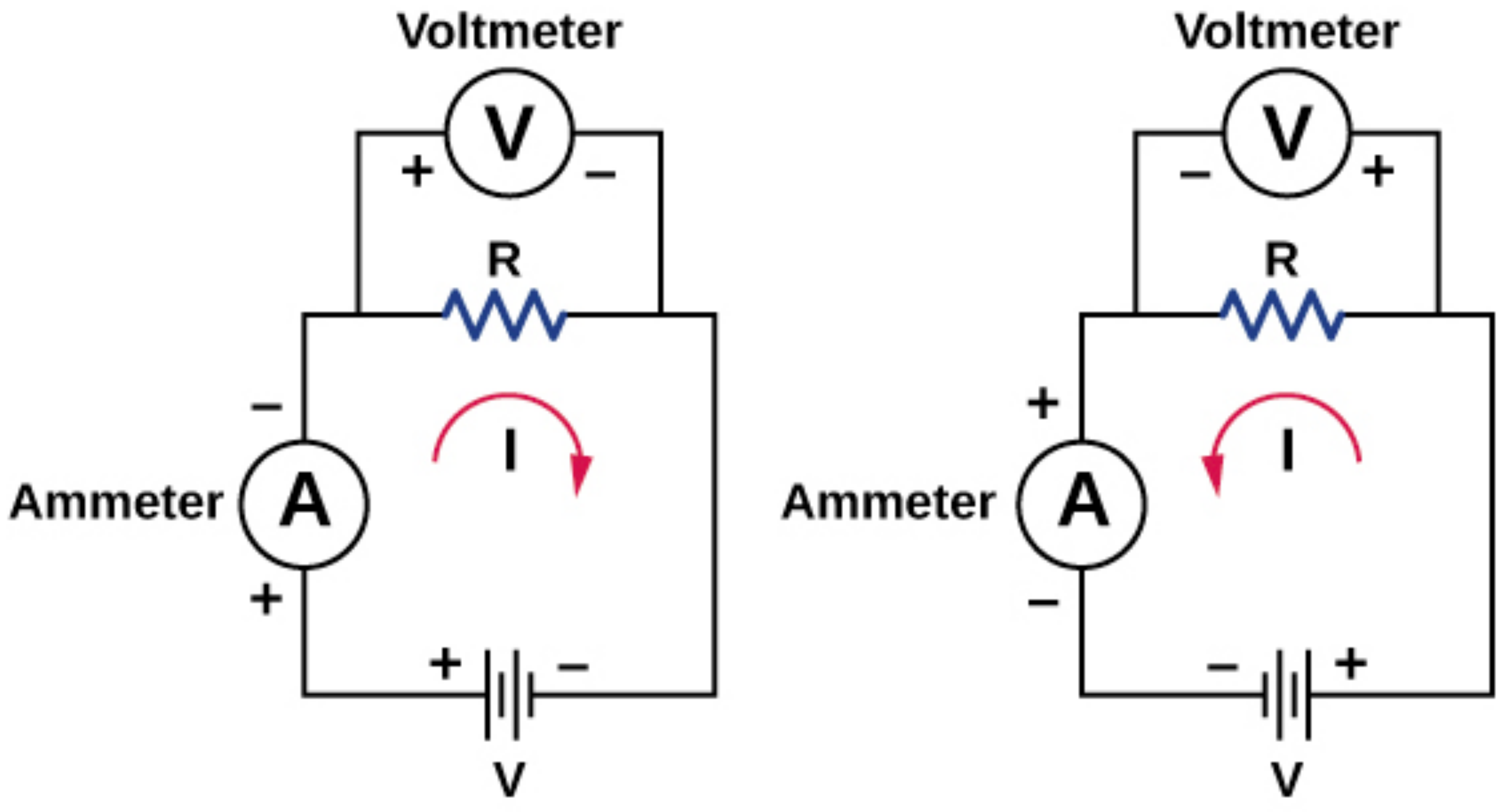
  - (b) Cuando se cambian los cables de la pila, la corriente fluye en el sentido contrario a las agujas del reloj y el voltímetro y el amperímetro tienen lecturas negativas.



- En este experimento, la tensión aplicada a través de la resistencia varía es de -10,00 a +10,00 V, con incrementos de 1,00 V.
- Se mide la corriente que pasa por la resistencia y la tensión a través de la misma.
- Se hace un gráfico de la tensión frente a la corriente, y el resultado es aproximadamente lineal.
- La pendiente de la línea es la resistencia, o la tensión dividida por la corriente. Este resultado se conoce como la ley de Ohm:

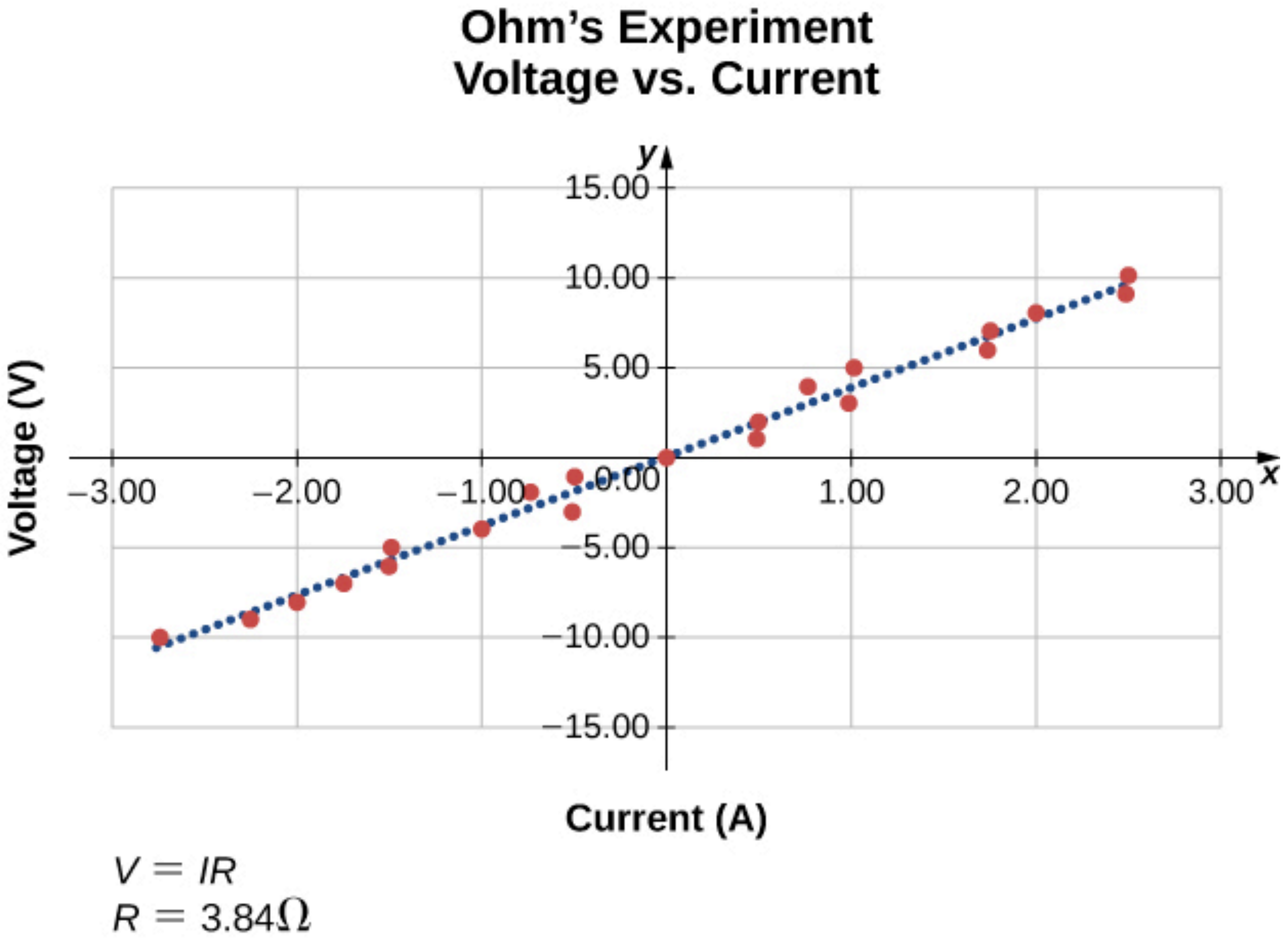
$$V = IR$$

- V es la tensión medida en voltios, I es la corriente medida en amperios, y R es la resistencia en unidades de ohmios.



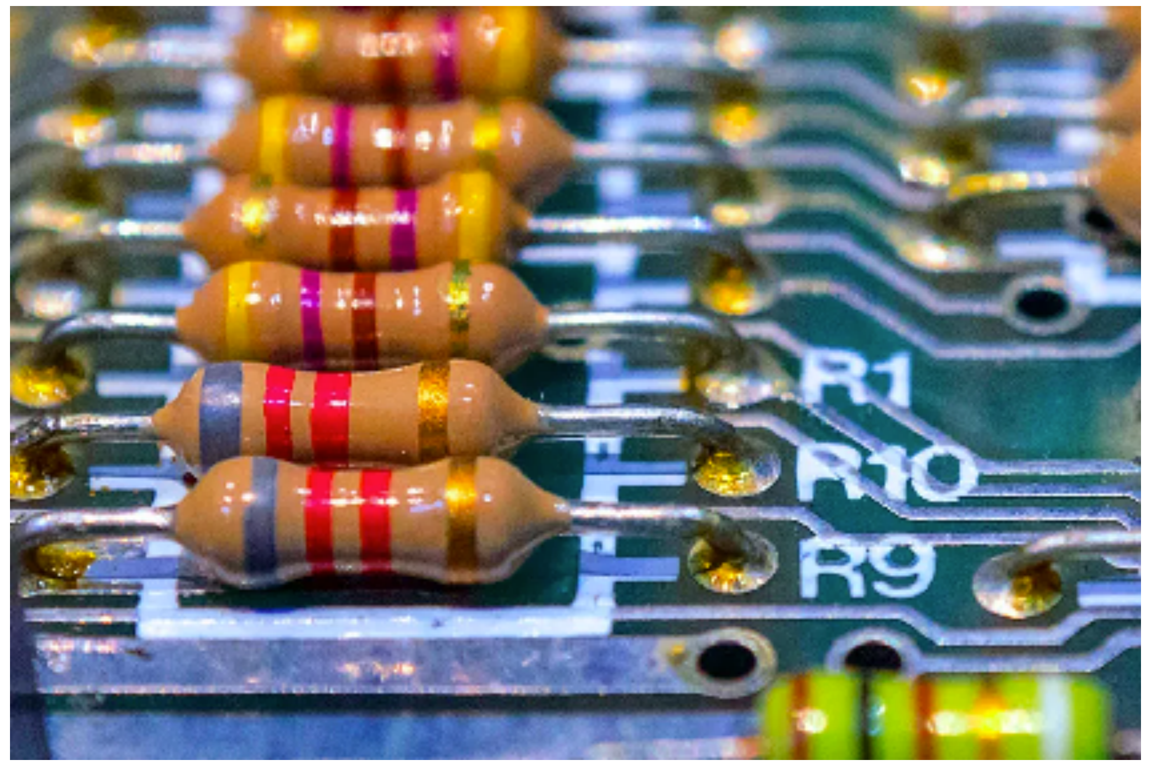
(a) (b)

I(A)	V(V)
−2.74	−10.00
−2.25	−9.00
−2.00	−8.00
−1.75	−7.00
−1.50	−6.00
−1.49	−5.00
−1.00	−4.00
−0.51	−3.00
−0.74	−2.00
−0.49	−1.00
+0.00	+0.00
+0.49	+1.00
+0.50	+2.00
+0.99	+3.00
+0.76	+4.00
+1.01	+5.00
+1.74	+6.00
+1.75	+7.00
+2.00	+8.00
+2.49	+9.00
+2.50	+10.00



Ejemplo

- Una resistencia de carbon a temperatura ambiente (20 ºC) está conectada a una batería de 9,00 V y la corriente medida a través de la resistencia es de 3,00 mA.
- (a) ¿Cuál es la resistencia de la resistencia medida en ohmios?
- (b) Si se aumenta la temperatura de la resistencia a 60 ºC calentando la resistencia ¿cuál es la corriente que pasa por la resistencia?



Utilizando la ley de Ohm se obtiene la resistencia a temperatura ambiente

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9,00\ \mathrm{V}}{3,00 \times 10^{-3} A} = 3,00 \times 10^{3}\ \Omega = 3,00\ \mathrm{k}\Omega$$

La resistencia a 60 ºC se puede encontrar utilizando la relación: R=R_0(1+$\alpha\Delta T$) donde el coeficiente de temperatura para el carbon es α = -0,0005/ºC.

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T) = \left(3,00 \times 10^{3}\ \Omega\right)\left[1 - \frac{0,0005}{^{\circ}\mathrm{C}}(60^{\circ}\mathrm{C} - 20^{\circ}\mathrm{C})\right] = 2,94\ \mathrm{k}\Omega$$

La corriente que atraviesa la resistencia calentada es

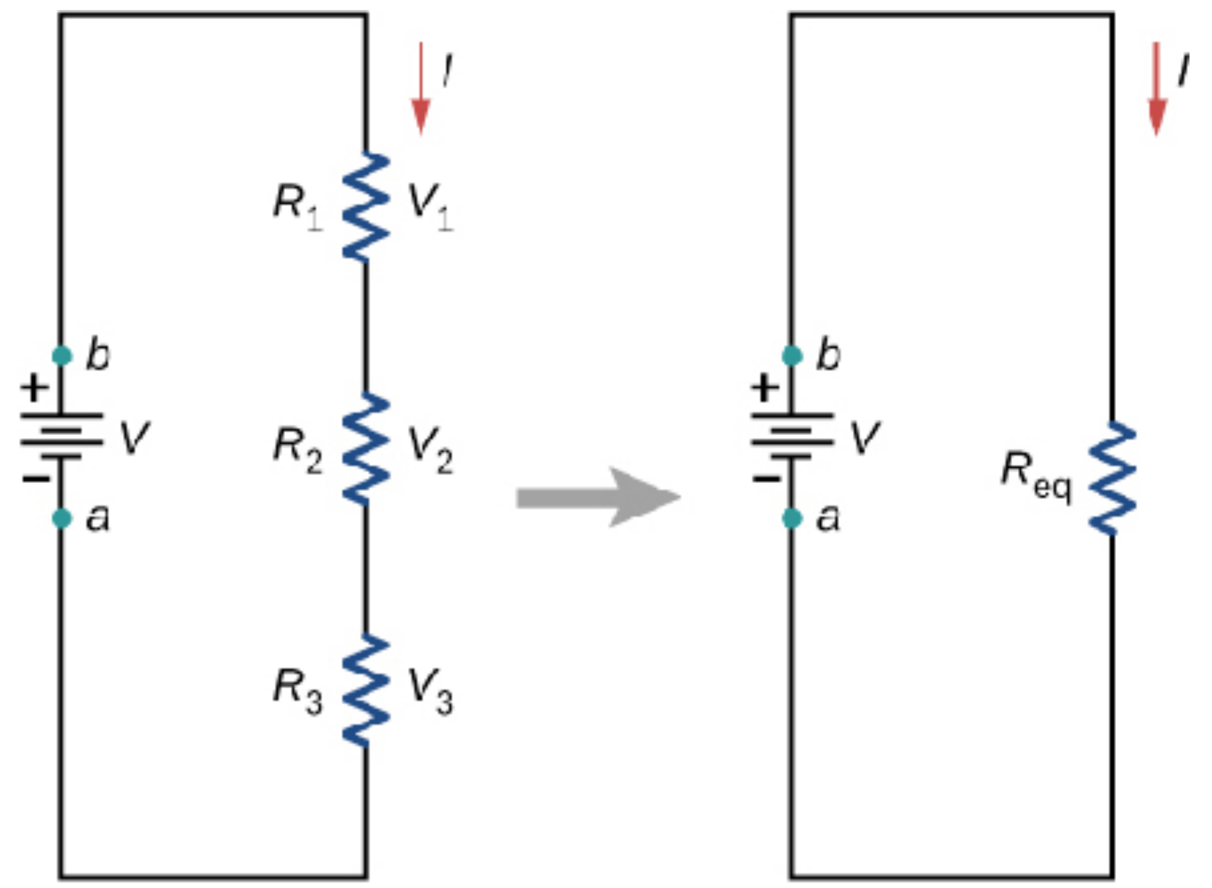
$$I = \frac{V}{R} = \frac{9,00V}{2,94 \times 10^{3}\Omega} = 3,06 \times 10^{-3} A = 3,06\ \mathrm{mA}$$

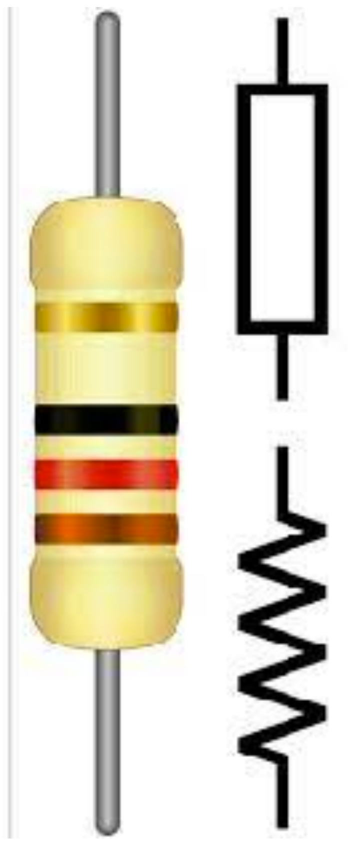
- Un cambio de temperatura de 40 ºC da lugar a un cambio del 2% en la corriente

5. Resistencias en serie y paralelo

- Básicamente, una resistencia limita el flujo de carga en un circuito y para materiales óhmicos se cumple V=IR.
- Si se conectan varias resistencias entre sí y se conectan a una batería, la corriente suministrada por la batería depende de la resistencia equivalente del circuito.

Resistencias en serie



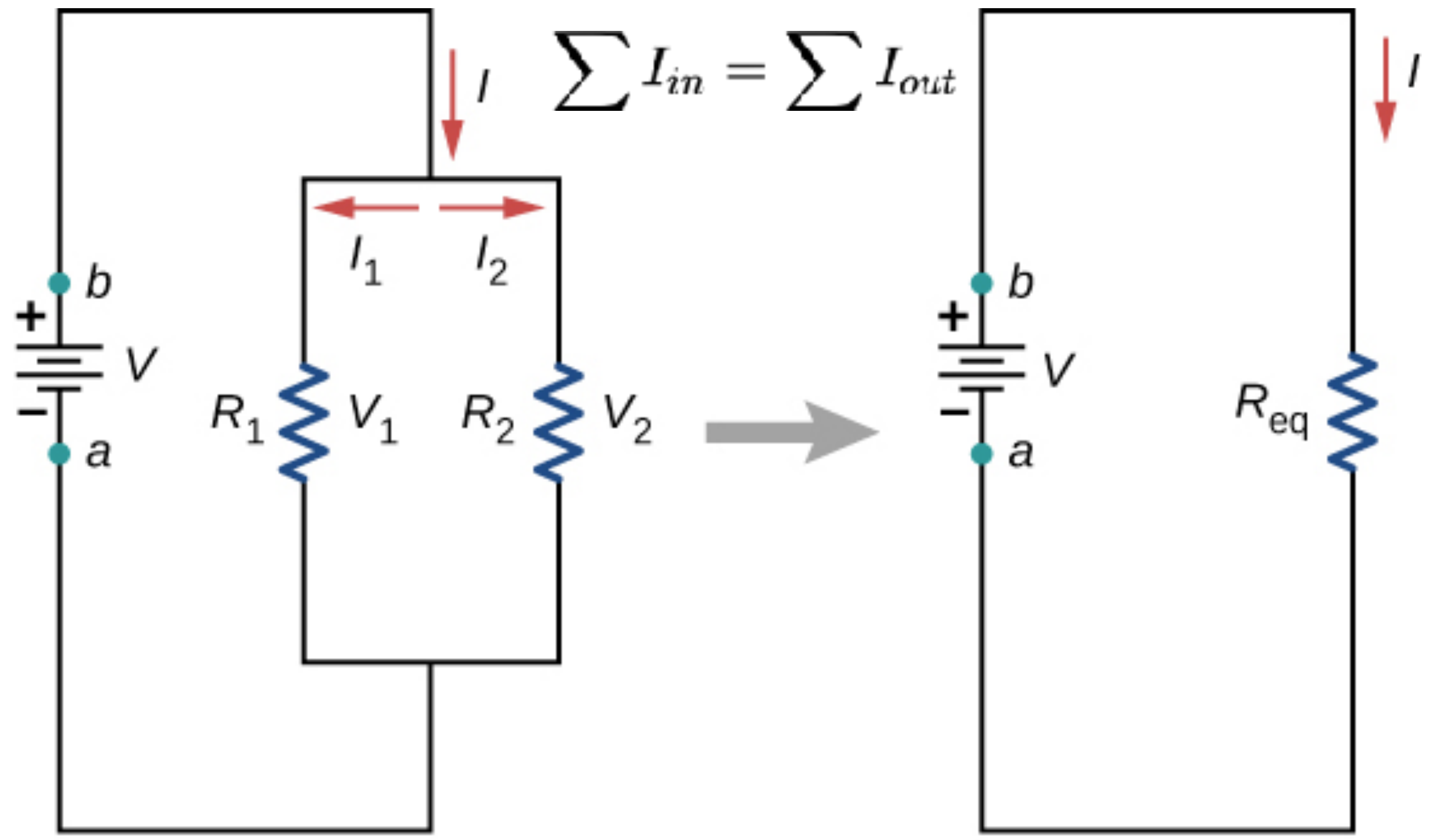


$$V - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$
$$V = V_1 + V_2 + V_3$$
$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V}{R_S}$$

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_N = \sum_{i=1}^{N} R_i$$

Resistencias en paralelo



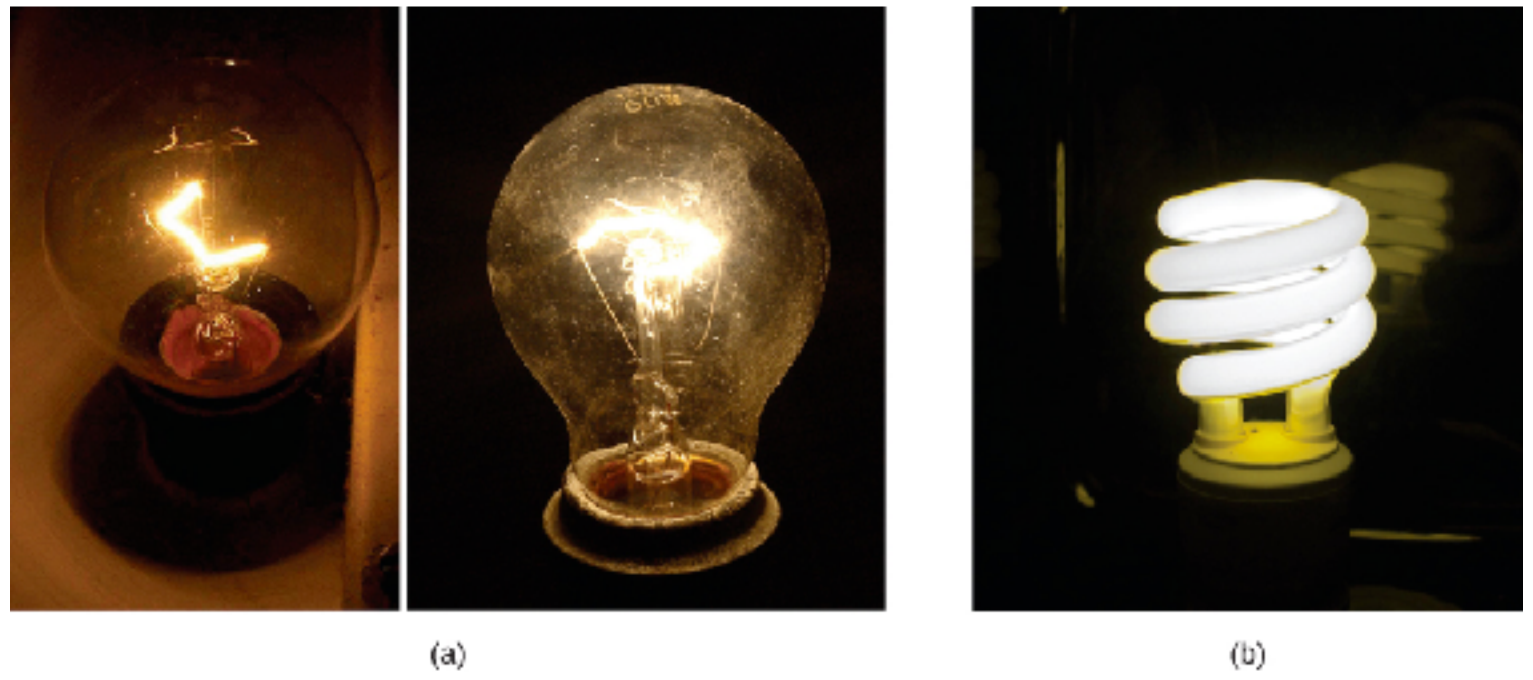
$$I = I_1 + I_2 = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{V}{R_P}$$

$$R_P = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_N}\right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i}\right)^{-1}$$

6. Efecto Joule, energía eléctrica y potencia

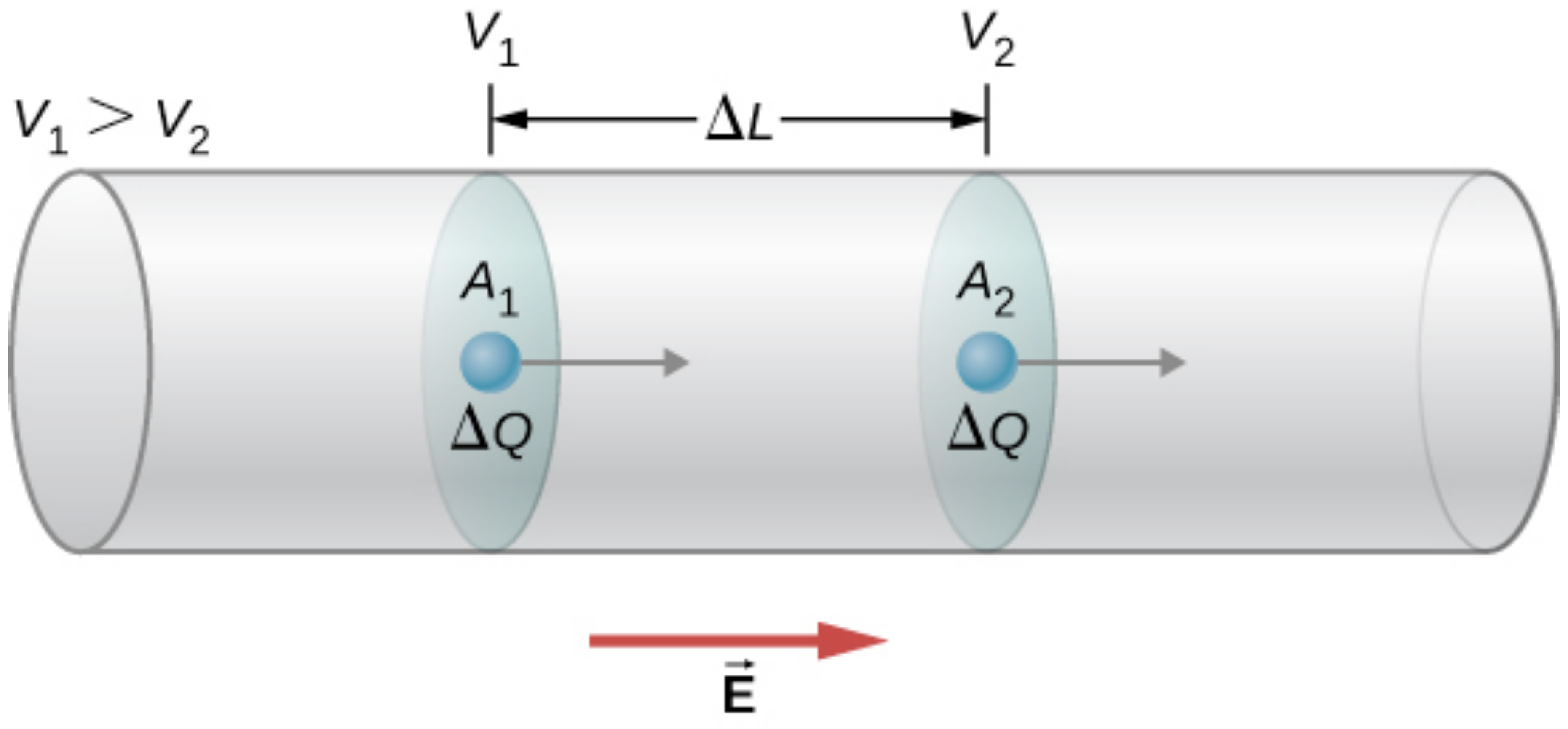
- Cuando fluye una corriente en un conductor, la energía eléctrica se convierte en energía térmica, el conductor se calienta (Efecto Joule)

- El campo eléctrico, suministrado por la fuente, acelera los electrones libres, aumentando su energía cinética durante un breve periodo de tiempo.



- Esta energía cinética aumentada se convierte en energía térmica mediante colisiones con los iones de la estructura reticular del conductor ¿Cuál es la expresión de la potencia eléctrica?

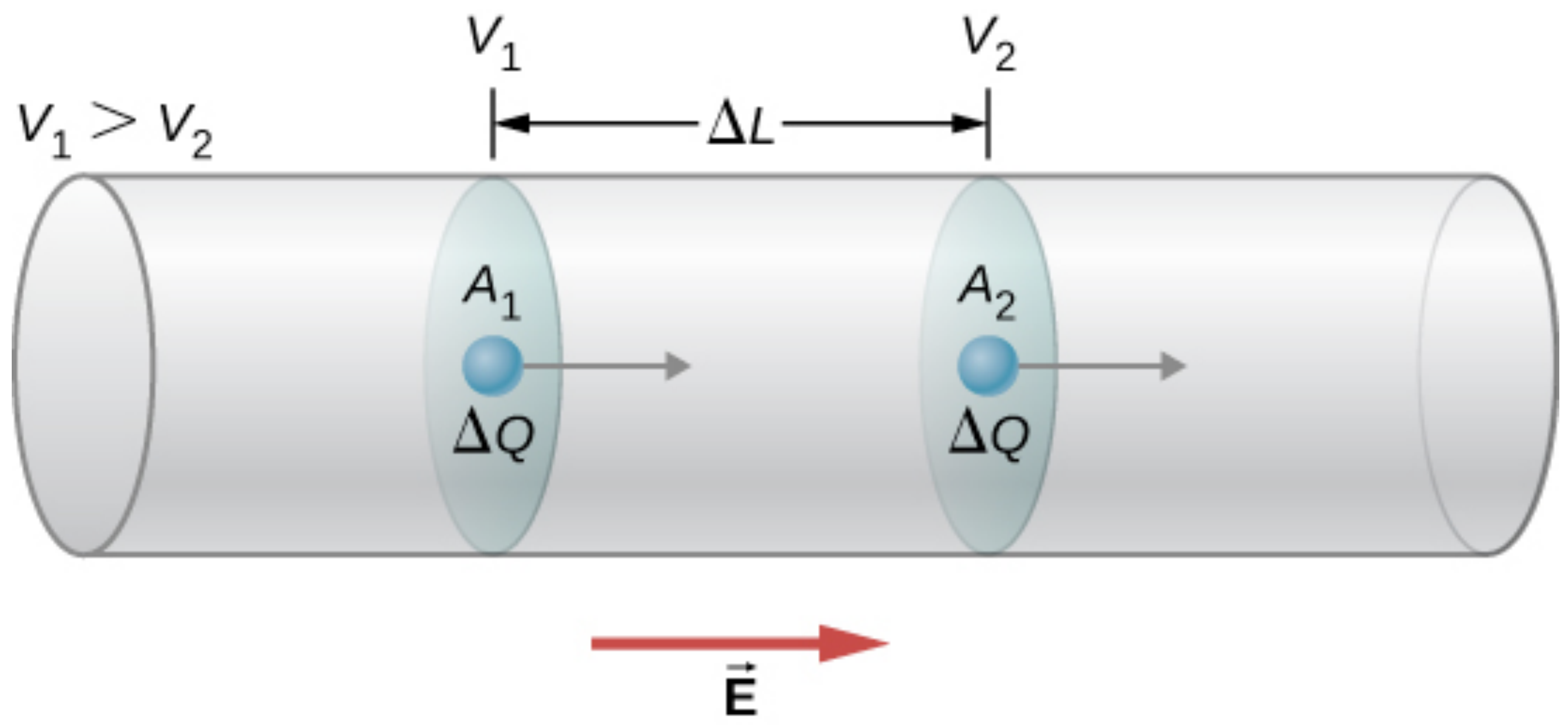
- Para calcular la potencia eléctrica, considere una diferencia de voltaje existente a través de un material. El potencial eléctrico V_1 es mayor que el potencial eléctrico en V_2 , y la diferencia de tensión es negativa $V=V_2-V_1$.



- Entre los dos potenciales existe un campo eléctrico que apunta desde el potencial más alto al más bajo.

- El potencial eléctrico se define como la energía potencial por carga, $V=\Delta U/q$, y la carga ΔQ pierde energía potencial al desplazarse por la diferencia de potencial.

- Si la carga es positiva, la carga experimenta una fuerza debida al campo eléctrico $\vec{F} = \Delta Q\vec{E}$.



- Esta fuerza no actúa para acelerar la carga a través de toda la distancia ΔL debido a las interacciones de la carga con los átomos y los electrones libres del material.

- La velocidad (energía cinética) de la carga no aumenta durante todo el recorrido a través de ΔL, y la carga que pasa por el área A_2 tiene la misma velocidad de deriva v_d que la carga que pasa por el área A_1.

- Sin embargo, se realiza un trabajo sobre la carga, por el campo eléctrico, que cambia la energía potencial.

- Como el cambio en la diferencia de potencial eléctrico es negativo, el campo eléctrico resulta ser

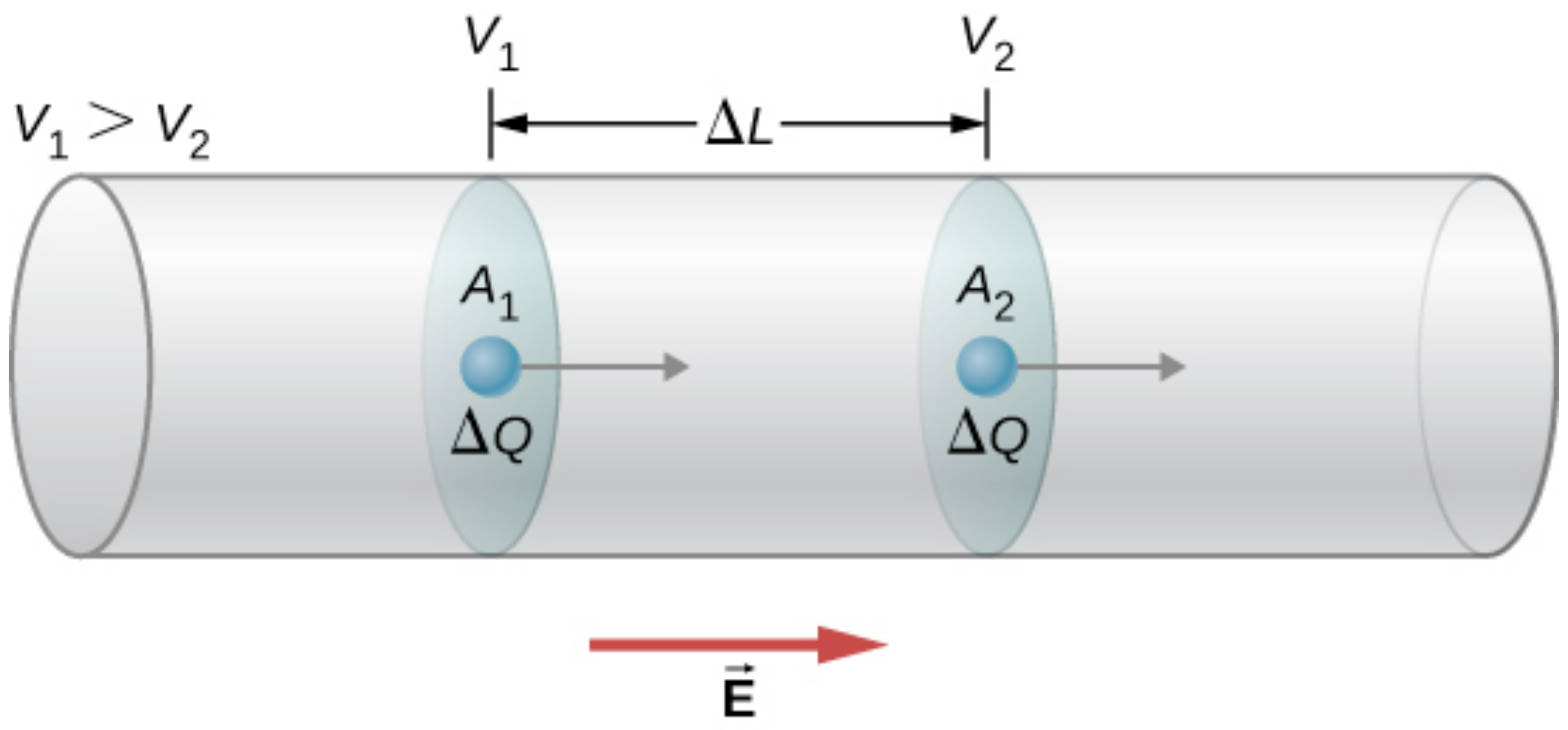
$$E = -\frac{(V_2 - V_1)}{\Delta L} = \frac{V}{\Delta L}$$

- El trabajo realizado sobre la carga es igual a la fuerza eléctrica por la longitud a la que se aplica la fuerza,

$$W = F\Delta L = (\Delta QE)\Delta L = \left(\Delta Q\frac{V}{\Delta L}\right)\Delta L = \Delta QV = \Delta U$$

$$P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta QV}{\Delta t} = IV$$

- La carga se mueve a una velocidad de deriva v_d por lo que el trabajo realizado sobre la carga da lugar a una pérdida de energía potencial, pero la energía cinética media permanece constante.



- La energía potencial eléctrica perdida aparece como energía térmica en el material.

- En una resistencia, se disipa en forma de calor, y en una bombilla, se disipa en forma de calor y luz.

  - La potencia disipada por el material en forma de calor y luz es igual a la tasa de cambio temporal del trabajo:

$$P = IV = I(IR) = I^2R$$

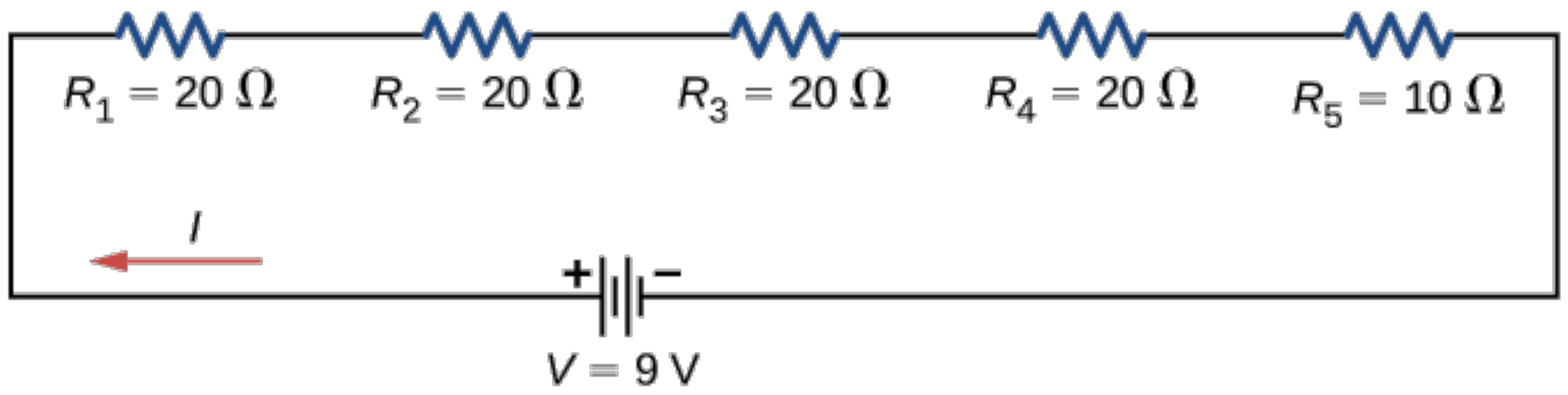
$$P = IV = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}$$

- Si se conecta una resistencia a una batería, la potencia disipada en forma de energía radiante por los cables y la resistencia es igual a

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

Ejemplo

- Una batería con una tensión en bornes de 9 V está conectada a un circuito formado por cuatro resistencias de 20Ω y una de 10Ω, todas en serie.



$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$
$$= 20\Omega + 20\Omega + 20\Omega + 20\Omega + 10\Omega = 90\Omega$$

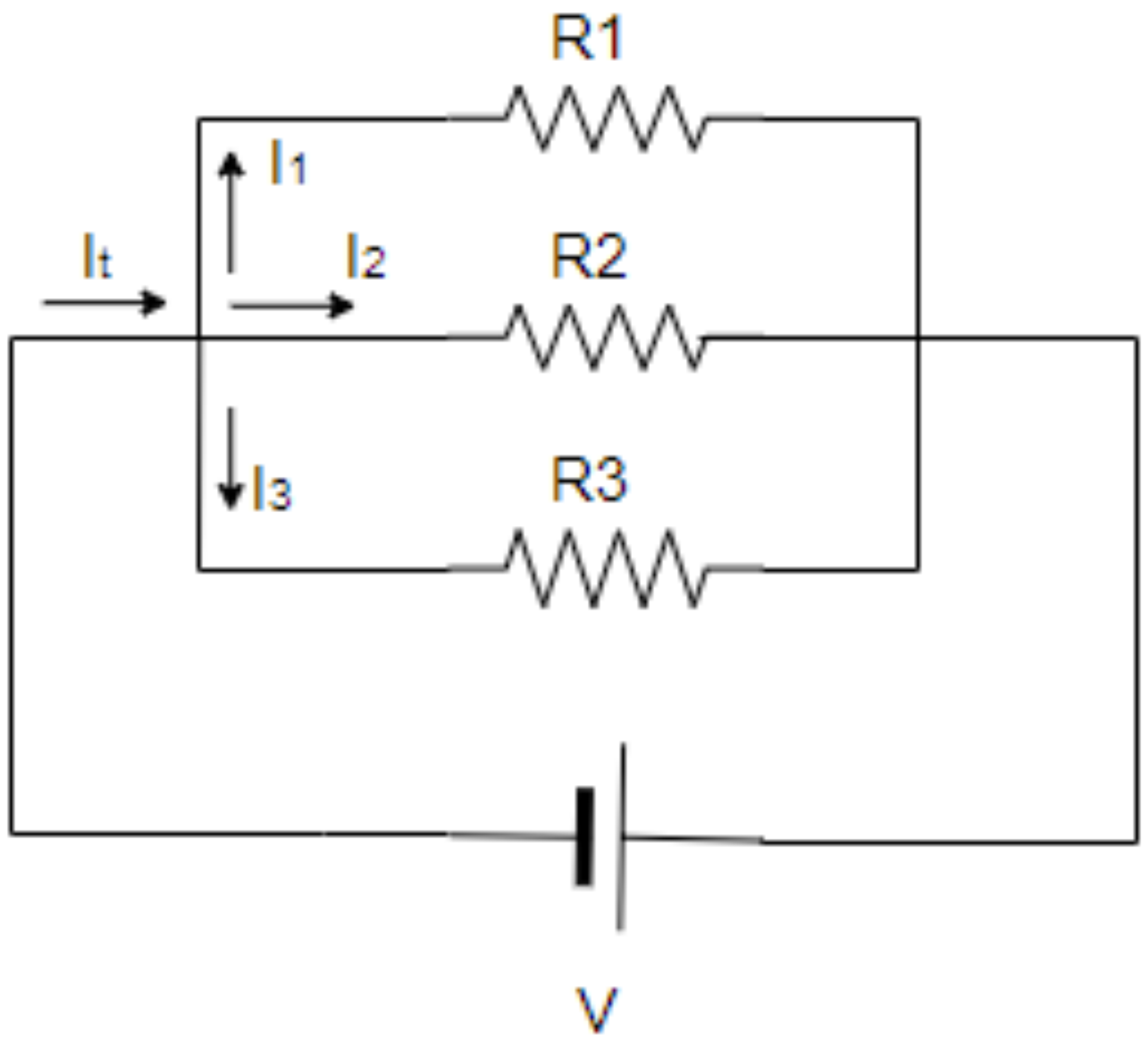
$$I = \frac{V}{R_S} = \frac{9V}{90\Omega} = 0,1\ \mathrm{A}$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = (0.1A)^2(20\Omega) = 0,2W,$$
$$P_5 = (0,1A)^2(10\Omega) = 0,1W,$$

$$P_{\text{disipada}} = 0,2W + 0,2W + 0,2W + 0.2W + 0,1W = 0,9W,$$
$$P_{\text{fuente}} = I\epsilon = (0,1A)(9V) = 0,9W.$$

Ejemplo

- Tres resistencias R_1=1,00Ω , R_2=2,00Ω , y R_3=2,00Ω , se conectan en paralelo. La conexión en paralelo está unida a una fuente de tensión V=3,00V.



$$R_P = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{1,00\Omega} + \frac{1}{2,00\Omega} + \frac{1}{2,00\Omega}\right)^{-1} = 0,50\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_P} = \frac{3,00V}{0,50\Omega} = 6,00A$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{3,00\text{ V}}{1,00\Omega} = 3,00\text{ A}.$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{3,00\text{ V}}{2,00\Omega} = 1,50\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{3,00\text{ V}}{2,00\Omega} = 1,50\text{ A}.$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 6,00\text{ A}$$

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} = \frac{(3,00\text{ V})^2}{1.00\Omega} = 9,00\text{ W}$$

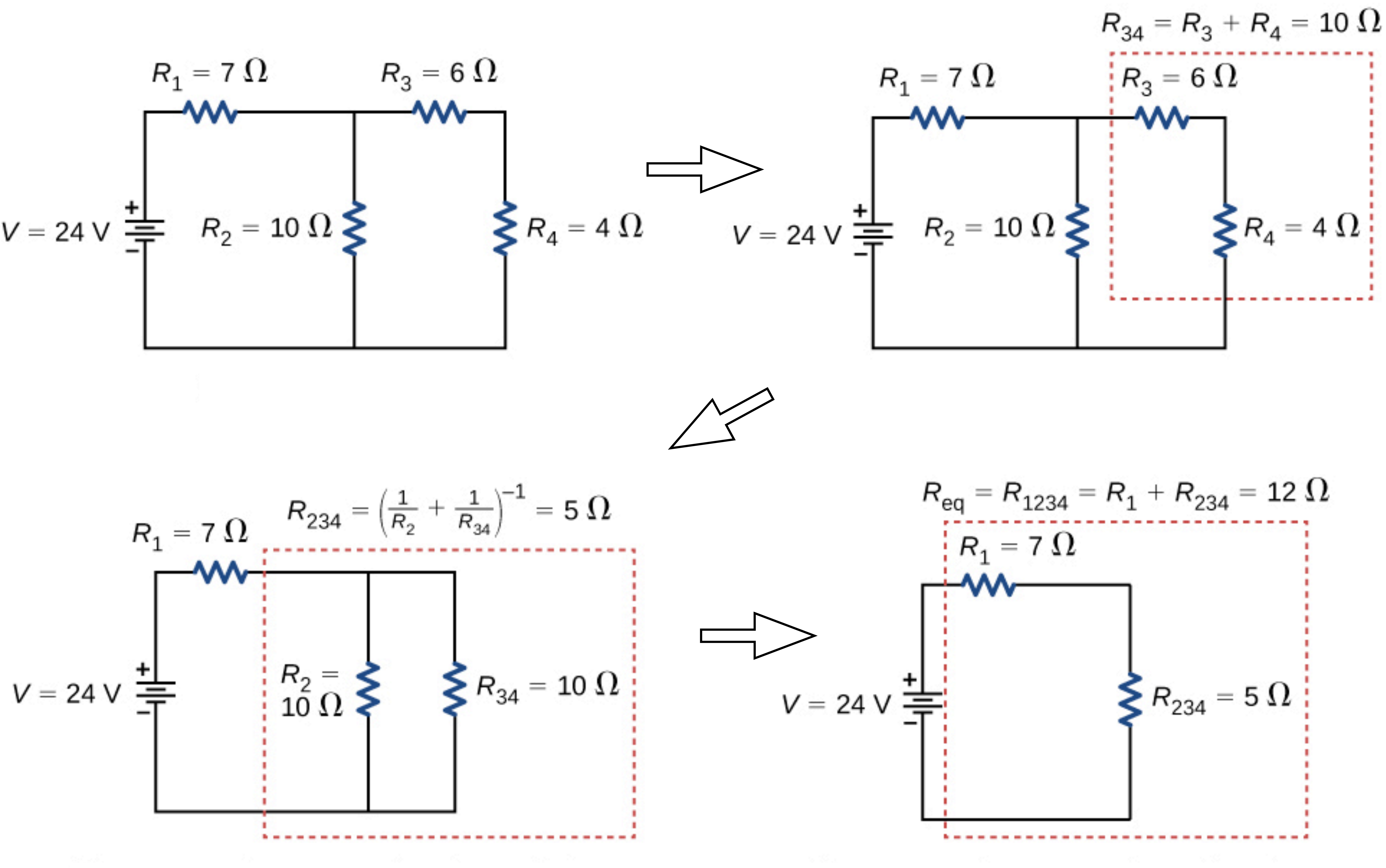
$$P_2 = \frac{V^2}{R_2} = \frac{(3,00\text{ V})^2}{2,00\Omega} = 4,50\text{ W}$$

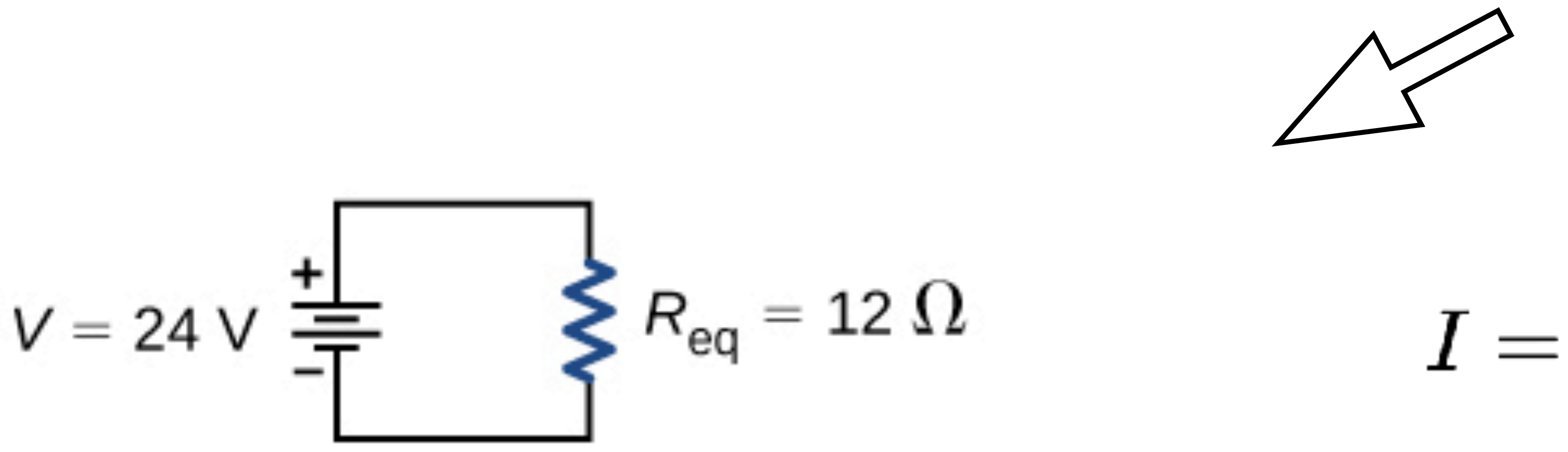
$$P_3 = \frac{V^2}{R_3} = \frac{(3,00\text{ V})^2}{2,00\Omega} = 4,50\text{ W}$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 9,00W + 4,50W + 4,50W = 18,00W$$

$$P = IV = (6,00A)(3,00V) = 18,00W$$

Ejemplo





$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{24V}{12\Omega} = 2A$$

$$V_1 = I_1 R_1 = (2A)(7\Omega) = 14V$$

$$24V - 14V = 10V$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{10\text{ V}}{10\Omega} = 1\text{ A}$$

$$I_3 = I_4 = I - I_2 = 2A - 1A = 1A$$

$$P_1 = I_1^2 R_1 = (2A)^2(7\Omega) = 28W$$
$$P_2 = I_2^2 R_2 = (1A)^2(10\Omega) = 10W$$
$$P_3 = I_3^2 R_3 = (1A)^2(6\Omega) = 6W$$
$$P_4 = I_4^2 R_4 = (1A)^2(4\Omega) = 4W$$

$$P_{\text{disipada}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 48W$$

$$P_s = IV = (2A)(24V) = 48W$$

El costo de la electricidad

- La unidad de energía que aparece en las facturas eléctricas es el kilovatio-hora ($kW{\cdot}h$), según la relación $E{=}Pt$.
- Es fácil calcular el coste de funcionamiento de los aparatos eléctricos si se tiene alguna idea de su tasa de consumo de energía en vatios o kilovatios, el tiempo que están encendidos en horas y el coste por kilovatio-hora de la compañía eléctrica.

Ejemplo

- La sustitución típica de una bombilla incandescente de 100 W es una bombilla LED de 20 W, porque la bombilla LED de 20 W puede proporcionar la misma cantidad de luz que la bombilla incandescente de 100 W.
- ¿Cuál es el ahorro por utilizar la bombilla LED en lugar de la bombilla incandescente durante un año, suponiendo que 800 pesos por kW-h es la tarifa energética que cobra la compañía eléctrica? Supongamos que la bombilla se enciende durante tres horas al día.

$$E_{\text{Inc}} = Pt = 100W\left(\frac{1kW}{1000W}\right)\left(\frac{3h}{\text{day}}\right)(365 \text{ days }) = 109,5\ kW \cdot h$$

$$E_{LED} = Pt = 20W\left(\frac{1kW}{1000W}\right)\left(\frac{3h}{\text{day}}\right)(365 \text{ days }) = 21,9\ kW \cdot h$$

$$\text{Costo }_{\text{Inc}} = 109,5 \text{ kW} \cdot h\left(\frac{800\$}{kW \cdot h}\right) = 87600\$$$

$$\text{Costo }_{LED} = 21,90 \text{ kW} \cdot h\left(\frac{800\$}{kW \cdot h}\right) = 17520\$$$

- Usar la bombilla LED implica un ahorro de 70080 pesos.

Problemas propuestos - Corriente Eléctrica

1. La cantidad de carga a través de un conductor se modela como

$$Q = 4{,}0\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}^4}t^4 - 1{,}0\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}t + 6{,}0\mathrm{mC}$$

   ¿Cuál es la corriente en el momento $t = 3{,}0$ s?

   Sol: $I(3{,}0\ \mathrm{s}) = 0{,}431\ \mathrm{A}$

2. La corriente suministrada a una unidad de aire acondicionado es de 4,00 A. El aire acondicionado está cableado con un cable de calibre 10 (diámetro 2,588 mm). La densidad de carga es $n = 8{,}48 \times 10^{28} \frac{\mathrm{electrones}}{\mathrm{m}^3}$. Encontrar la magnitud de (a) la densidad de corriente y (b) la velocidad de deriva.

   Sol: (a) $|J| = 7{,}60 \times 10^5 \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}^2}$ (b) $v_\mathrm{d} = 5{,}60 \times 10^{-5} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

3. Se conecta una resistencia de 250 kΩ a dos baterías tipo D (cada una de 1,50 V) en serie, con una tensión total de 3,00 V. El fabricante anuncia que sus resistencias están dentro del 5 % del valor nominal ¿Cuál es la corriente mínima y máxima que puede pasar por la resistencia?

   Sol: $R_{\text{mín}} = 2{,}375 \times 10^5\ \Omega, \quad I_{\text{mín}} = 12{,}63\mu\mathrm{A}$
   $R_{\text{máx}} = 2{,}625 \times 10^5\ \Omega, \quad I_{\text{máx}} = 11{,}43\mu\mathrm{A}$