

Curso “Electromagnetismo”

Tema 4

Corrientes eléctricas estacionarias

José Emilio Prieto
Dpto. Física de la Materia Condensada
Universidad Autónoma de Madrid

joseemilio.prieto@uam.es

Corriente eléctrica

J.E. Prieto

Fuente principal de figuras:

“Physics for scientists and engineers” (5th edition),

P.A. Tipler, G. Mosca

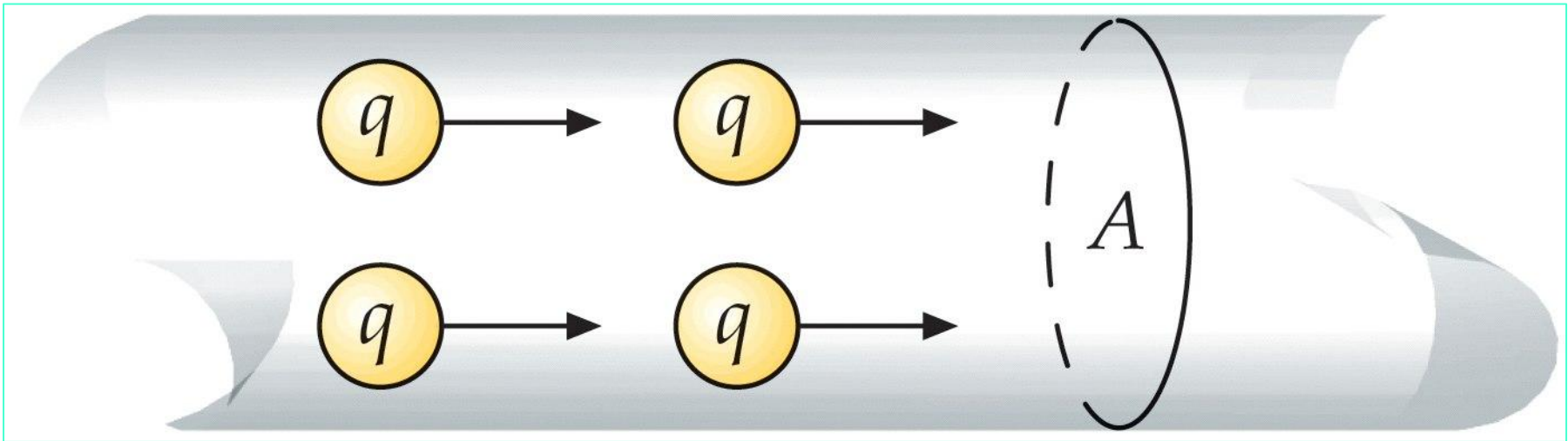
Corriente eléctrica

- **Corriente eléctrica:** *carga eléctrica en movimiento*
- Si pasa una cantidad de carga ΔQ en un tiempo Δt , definimos la corriente eléctrica I como:

$$I \equiv \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

más general:

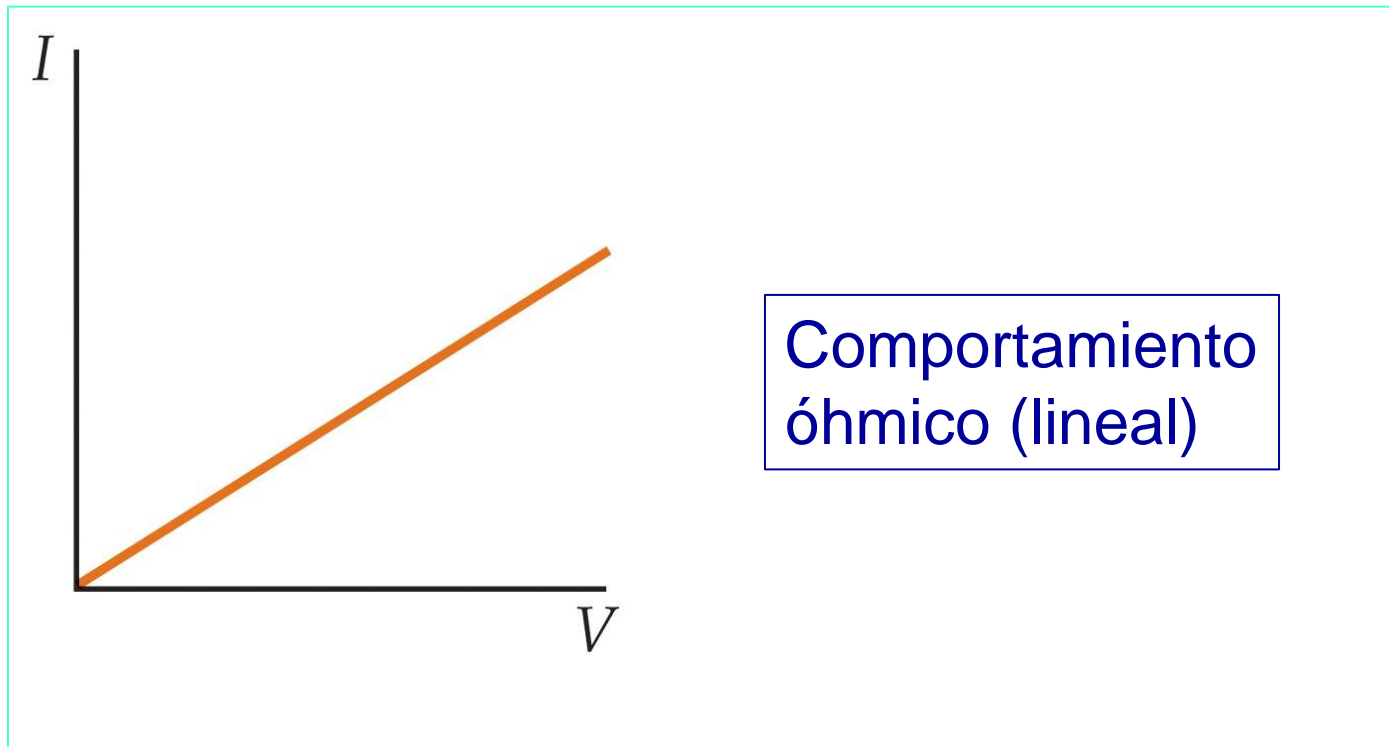
$$I \equiv \frac{dQ}{dt}$$



Ley de Ohm

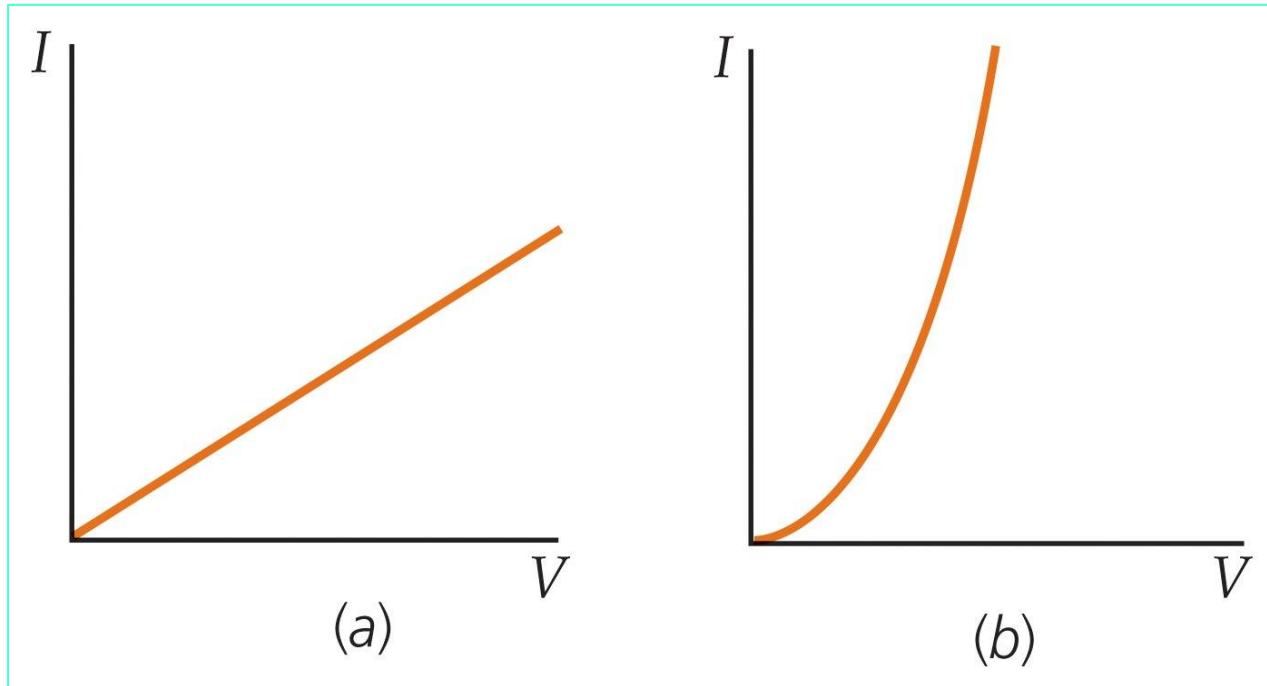
- Observación *experimental* (empírica):
 - Para muchos conductores (ej. metales) se verifica la ley de Ohm:

La corriente es proporcional a la diferencia de potencial aplicada



Ley de Ohm

- *No todos* los sistemas cumplen la ley de Ohm:
- Contraejemplo: elementos **semiconductores (diodos)**:



Comportamiento
óhmico (lineal)

Comportamiento no
óhmico (no lineal)

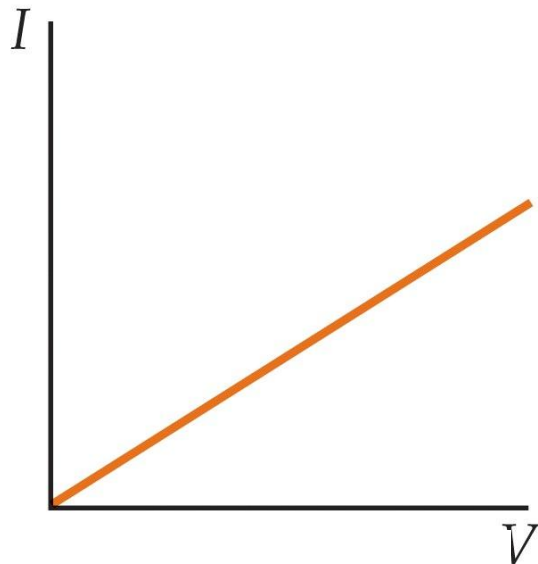
Resistencia eléctrica

- Ley de Ohm: La corriente I es *proporcional* a la diferencia de potencial aplicada V

→ el *cociente* es una *constante*

- Definición: **Resistencia eléctrica** R :

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



Unidad: el
ohmio

$$\begin{aligned}[R] &= V / A \\ &= \Omega\end{aligned}$$

Resistencia \leftrightarrow Resistividad

- Para un conductor de longitud L y sección A , la resistencia R es proporcional a L e inversamente proporcional a A :

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

- La *resistividad* ρ es una *propiedad característica del material* que nos dice cuán buen conductor es.

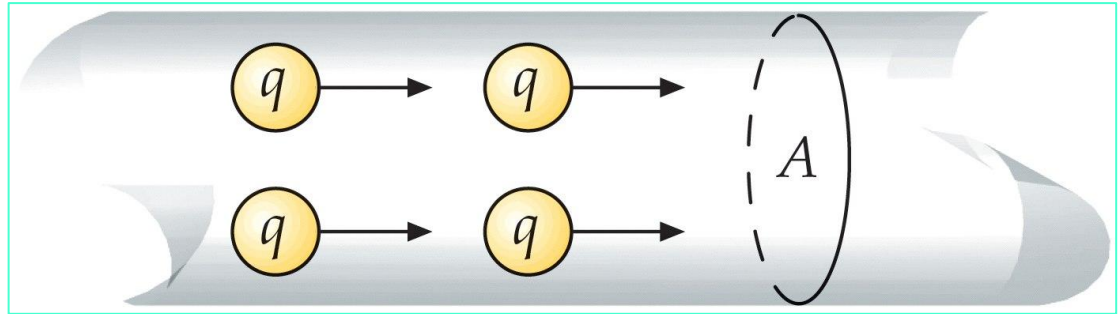
$$\rho = R \frac{A}{L}$$

unidad: $[\rho] = \Omega \text{ m}$

Ley de Ohm en términos de E

- Definición: *densidad de corriente* j : corriente I por unidad de área A . Si la corriente es homogénea en A :

$$j \equiv \frac{I}{A}$$



de forma que:

$$I = j A$$

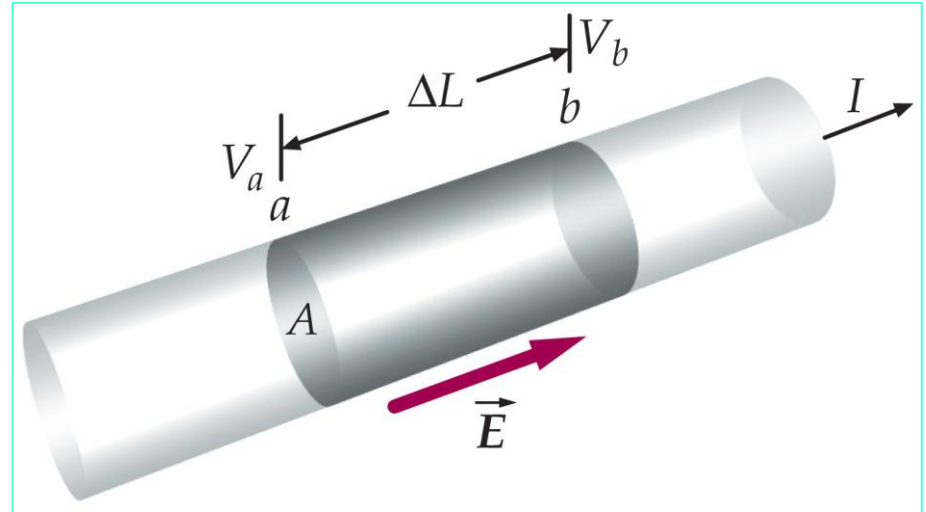
- En realidad, j es una magnitud *vectorial* y, en general, la corriente I se puede expresar como el *flujo* de la *densidad de corriente* j a través de una superficie transversal A :

$$I = \int j dA$$

Ley de Ohm en términos de \mathbf{E}

- En campo \mathbf{E} homogéneo:

$$V = El$$



- Def. de R ;

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

- Rel. $R - \rho$;

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

- Rel. $V - \mathbf{E}$ para \mathbf{E} cte

$$V = El$$

Ley de Ohm en términos de E

$$\rightarrow \rho \frac{l}{A} = \frac{E l}{j A}$$

$$\rightarrow j = \frac{1}{\rho} E$$

Definiendo la
conductividad σ :

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

$$\rightarrow j = \sigma E$$

Ley de Ohm en
términos del
campo E

Resistividades de algunos materiales

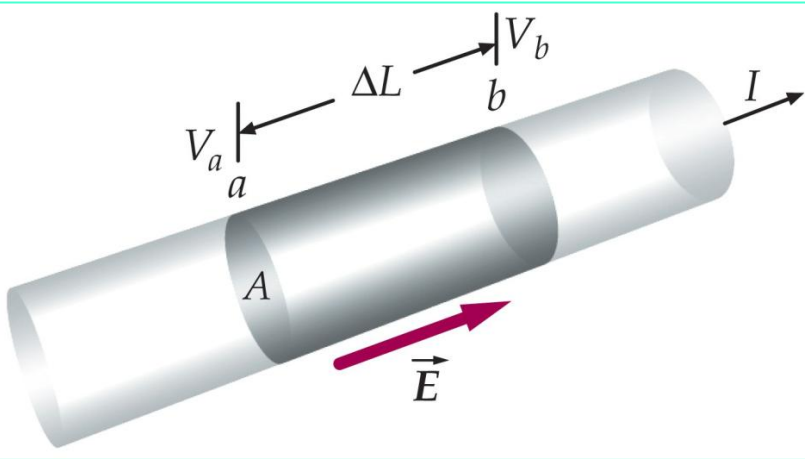
TABLE 25-1

Resistivities and Temperature Coefficients

Material	Resistivity ρ at 20°C, $\Omega \cdot \text{m}$	Temperature Coefficient α at 20°C, K^{-1}
Silver	1.6×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Aluminum	2.8×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.5×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	4.3×10^{-3}
Mercury	96×10^{-8}	0.9×10^{-3}
Nichrome	100×10^{-8}	0.4×10^{-3}
Carbon	3500×10^{-8}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.45	-4.8×10^{-2}
Silicon	640	-7.5×10^{-2}
Wood	$10^8 - 10^{14}$	
Glass	$10^{10} - 10^{14}$	
Hard rubber	$10^{13} - 10^{16}$	
Amber	5×10^{14}	
Sulfur	1×10^{15}	

- La resistividad ρ es una magnitud física que *varía* en *muchos órdenes de magnitud* de unos materiales a otros.
- Hay muy buenos *conductores* (metales) y muy buenos *aislantes*.
- *Semiconductores*: (Si, Ge): tienen resistividades *intermedias* y, más importante, son *fácilmente manipulables*

Movimiento de cargas en un conductor



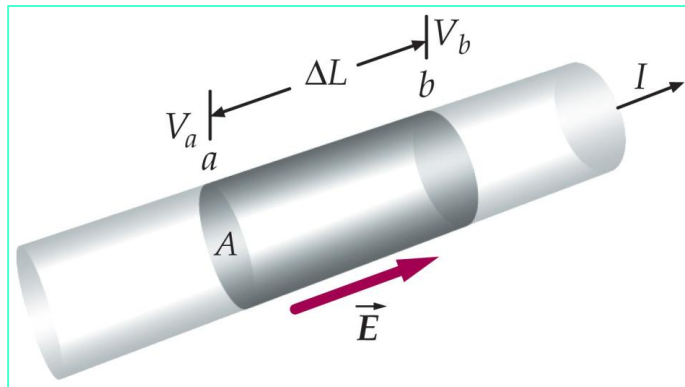
$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m} = \frac{q \mathbf{E}}{m}$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{a} t = \frac{q \mathbf{E}}{m} t \dots ?$$

- Las cargas se mueven en el campo \mathbf{E} asociado a la diferencia de potencial V (ojo: hay \mathbf{E} en el interior del conductor, pues *no es una situación estática*: ¡hay corriente!)
- En un campo *constante* \mathbf{E} se ejerce una fuerza *constante* $\mathbf{F} = q \mathbf{E}$ sobre la carga q . Por lo tanto, q se acelera con \mathbf{a} constante y su velocidad \mathbf{v} crecería *indefinidamente* con el tiempo... llegaría a ser superior a c ... → **NO puede ser** (!)

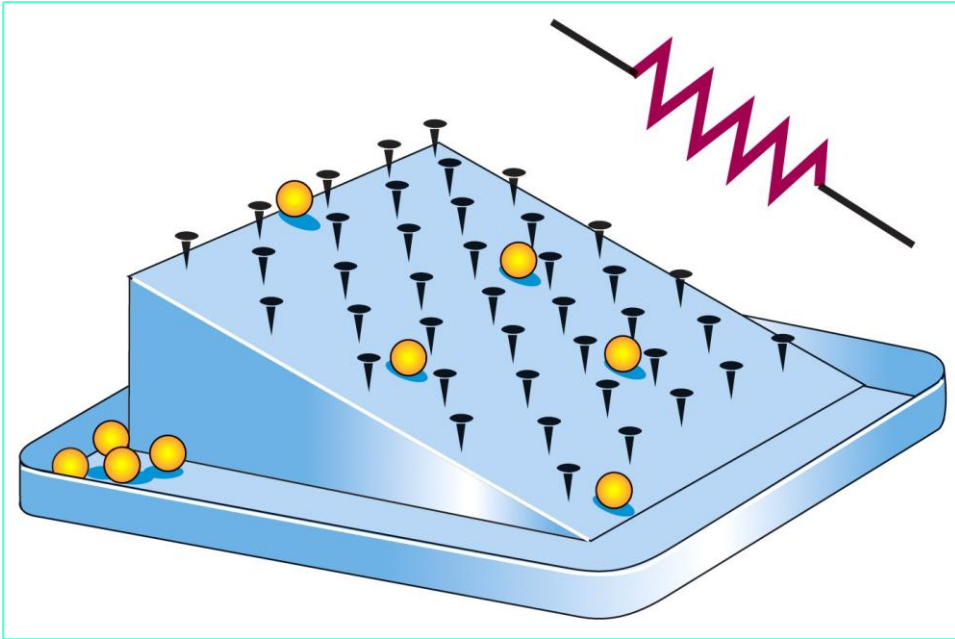
Movimiento de cargas en un conductor

- v no puede crecer indefinidamente $\rightarrow F$ sólo puede actuar durante un cierto tiempo. En promedio: *tiempo promedio* τ . Tras ese tiempo, la carga q sufre una colisión en la que pierde su velocidad y cede su energía al medio (calentamiento Joule).
- La *corriente eléctrica* siempre lleva asociada una *pérdida de energía*: proceso *disipativo*. Excepción: superconductividad
- Velocidad final (promedio) v_d de los portadores de carga q :



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

Analogía mecánica de la corriente eléctrica



- Bolas cayendo por la pendiente:

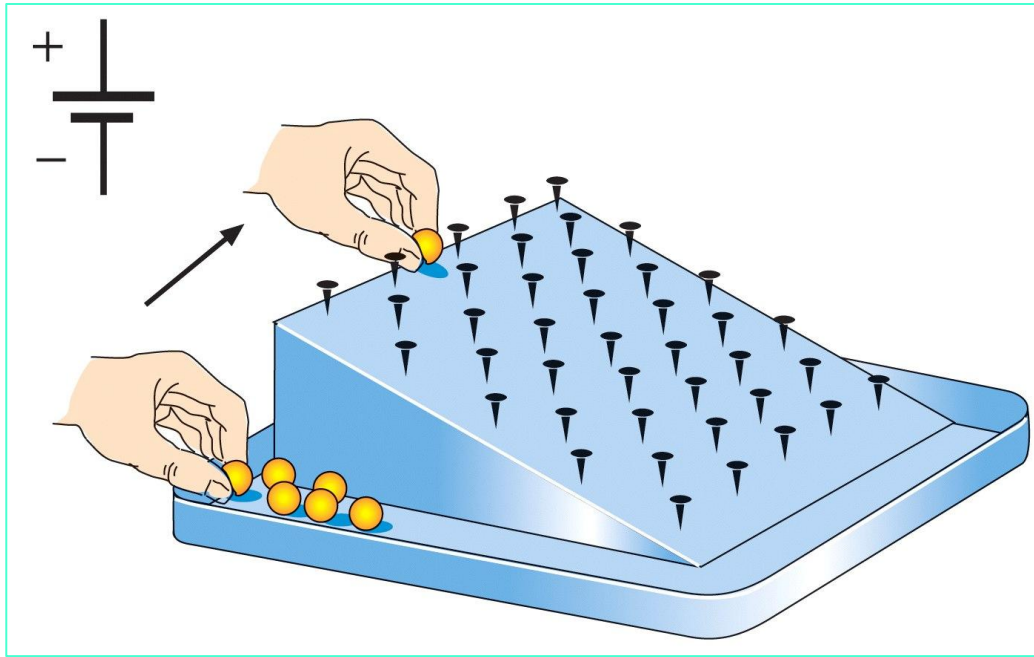
$$a = \text{cte.} \rightarrow v \sim t$$

- Hay colisiones tras un tiempo promedio τ
- Debido a las colisiones

$$v_d = a \tau$$

- ¿Quién aporta la **energía** necesaria para **mantener** la corriente?

Analogía mecánica de la corriente eléctrica



- Un campo E estático **no es suficiente** (sólo daría una corriente transitoria muy breve)

- Para **mantener** una corriente hace falta un **aporte externo continuo de energía**.
- Es necesaria una **fuerza de alimentación** que aporte una “**fuerza electromotriz**” (**fem**): una diferencia de potencial que se mantenga aún cuando pase una corriente.
- La energía puede ser de origen **químico** (pila), **mecánico** (generador eléctrico), **luminoso** (célula solar), etc.

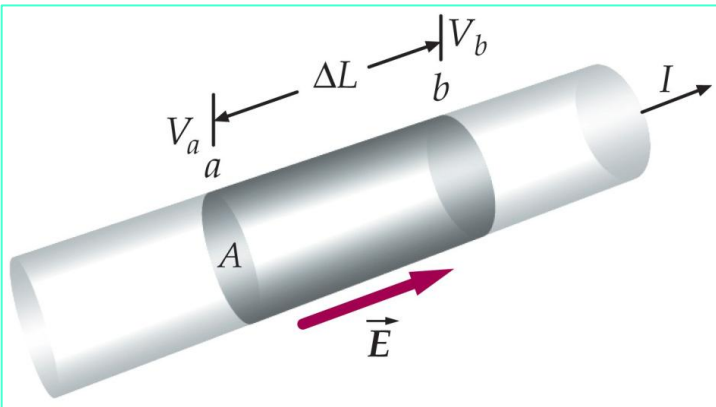
Energía disipada por la corriente eléctrica

J.E. Prieto

Fuente principal de figuras:

“Physics for scientists and engineers (5th edition),
P.A. Tipler, G. Mosca

Potencia disipada por una corriente



- Al pasar de un potencial V_a a V_b , una carga (Δq) pierde una energía:

$$\Delta U = (\Delta q)(V_a - V_b)$$

$$\Delta U = (\Delta q)V$$

- Durante un tiempo (Δt) :

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} V$$

(ΔU) : energía potencial que se disipa en forma de calor durante Δt . **Potencia disipada:**

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

Potencia disipada en una resistencia

$$P = IV$$

- La caída de potencial V tiene lugar en una resistencia R :
Por la definición de resistencia

$$R = \frac{V}{I}$$

- Tenemos distintas relaciones para la potencia P disipada por una resistencia R :

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

Unidades de potencia y energía

$$P = IV$$

$$[P] = [I][V] = \text{A} \cdot \text{V} = \text{C/s} \cdot \text{J/C} = \text{J/s} = \text{W (Watio)}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = Pt$$

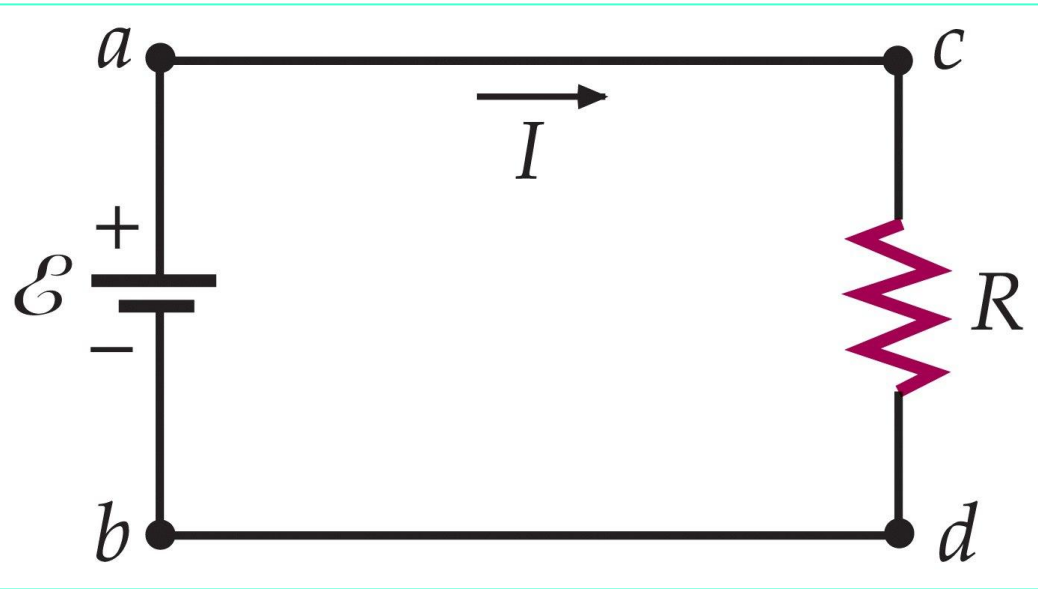
También: $1 \text{ J} = 1 \text{ W s}$:

El trabajo y la energía se pueden medir en unidades de $P \times t$:

Ejemplos:

- $1 \text{ W s} = 1 \text{ J}$
- $1 \text{ W h} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ J}$
- $1 \text{ kW h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

Circuito eléctrico elemental



Formado por:

- Fuente de **fem** \mathcal{E} ó V
- **Resistencia** R
- **Conexiones** formadas por conductores con R despreciables

Circula una corriente I :

$$I = \frac{V}{R}$$

Equivalentemente, en la resistencia R hay una caída de potencial V :

$$V = IR$$

Potencia P disipada:

$$P = VI$$

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

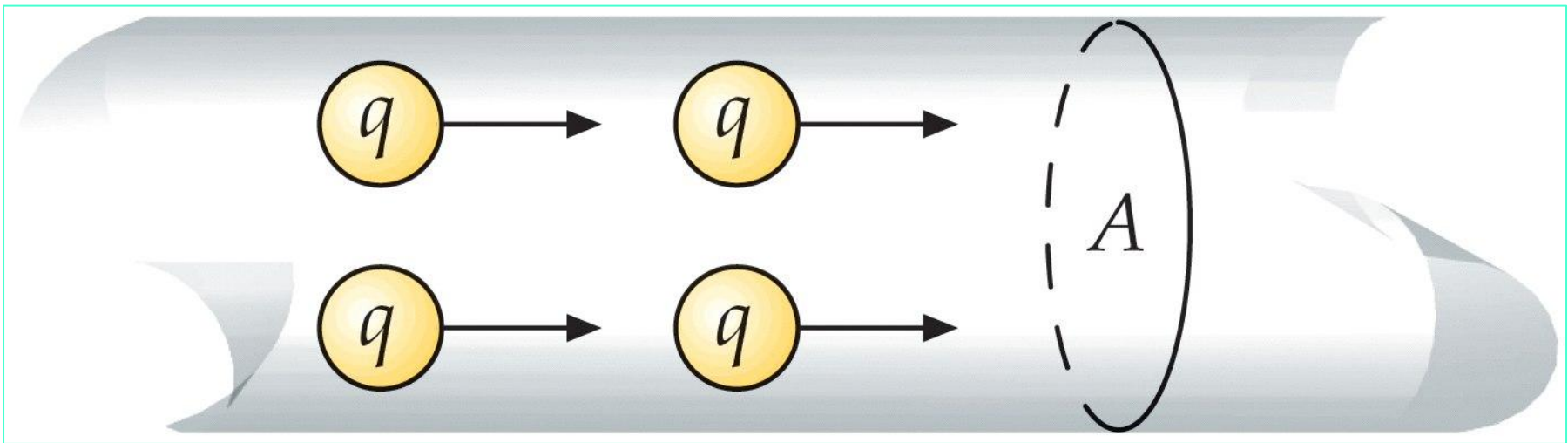
Resumen: Corriente eléctrica

- **Corriente eléctrica:** *carga eléctrica en movimiento*
- Si pasa una cantidad de carga ΔQ en un tiempo Δt , definimos la corriente eléctrica I como:

$$I \equiv \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

más general:

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

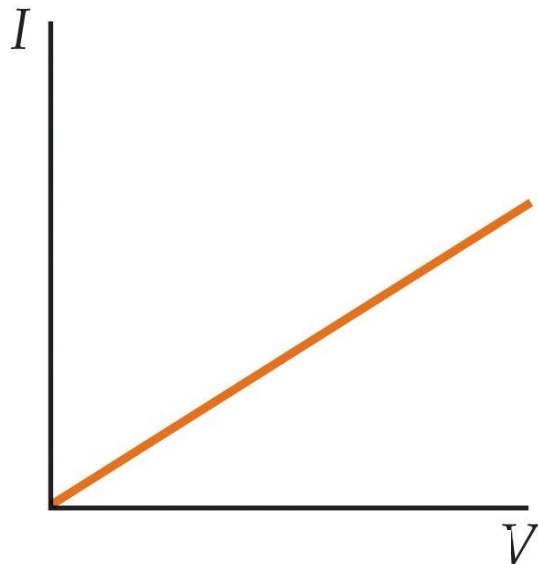


Resumen: Ley de Ohm

- Ley de Ohm: La corriente I es *proporcional* a la diferencia de potencial aplicada V
→ el *cociente* es una *constante*

- Definición: **Resistencia eléctrica** R :

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



Unidad: el
ohmio

$$\begin{aligned}[R] &= V / A \\ &= \Omega\end{aligned}$$

Resumen:

Potencia disipada en una resistencia

- Potencia P disipada por una resistencia R :

$$P = IV$$

- Además, hay varias expresiones útiles:

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

- Unidades:

$$[P] = [I][V] = \text{A} \cdot \text{V} = \text{C/s} \cdot \text{J/C} = \text{J/s} = \text{W (Watio)}$$