



FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA INFORMÁTICA

Curso : 2022/2023

1er curso Grado en Ingeniería Informática

Tema 1b

Tema 1b

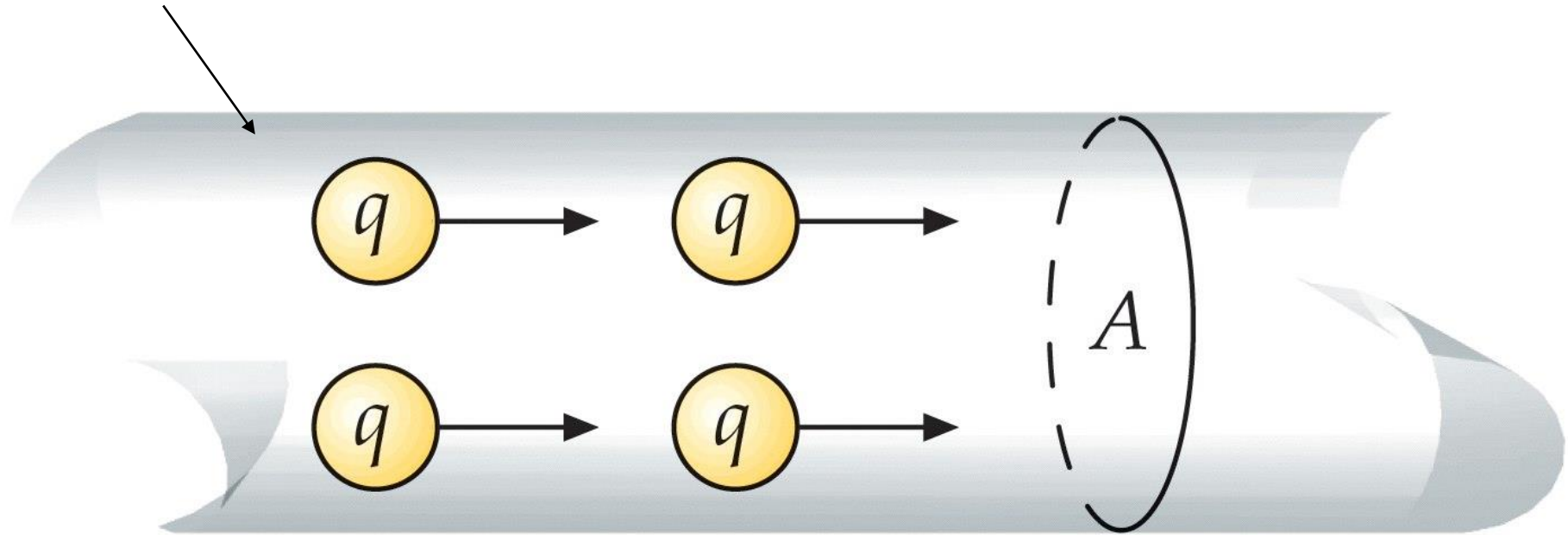
Capítulo 1b: Corrientes eléctricas estacionarias

1b.1 Corriente eléctrica. Ley de Ohm. Resistencia y resistividad.

1b.2 Potencia disipada.

Movimiento de cargas en un conductor

MATERIAL CONDUCTOR



A = área o sección; q = cargas en movimiento

Vamos a estar en situación NO estática, hay movimiento de cargas

Movimiento de cargas en un campo eléctrico

Ahora vamos a aplicar lo que hemos aprendido combinando la 2ª Ley de Newton con la Ley de Coulomb

- **Newton:** la **Fuerza** \mathbf{F} produce una *aceleración* \mathbf{a} : $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$
- Si además tenemos un campo \mathbf{E} se ejerce \mathbf{F} sobre carga q
 $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$
- *Por tanto*, combinando ambas ecuaciones podemos despejar la aceleración que sufre una carga en presencia de un campo eléctrico

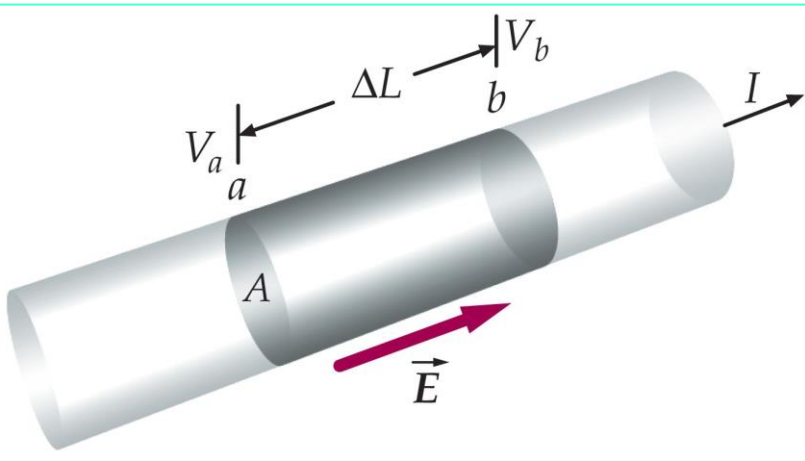
$$a = \frac{F}{m} = \frac{q E}{m}$$

la aceleración es un **vector**.

Ecuaciones movimiento acelerado en 1D

$$v = v_0 + a t$$
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2, \dots$$

Movimiento de cargas en un conductor



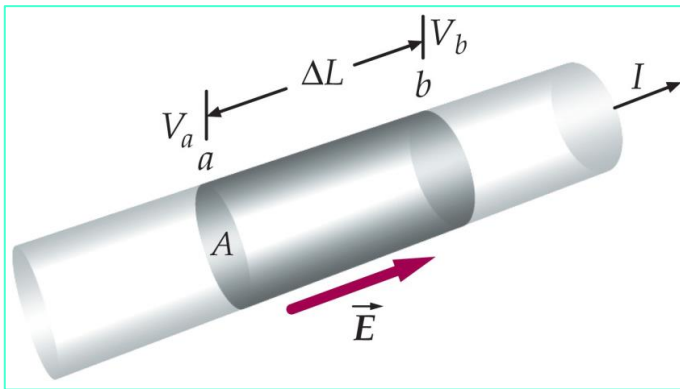
$$a = \frac{F}{m} = \frac{q E}{m}$$

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

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

Movimiento de cargas en un conductor

- \mathbf{v} no puede crecer indefinidamente $\rightarrow \mathbf{F}$ 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, lo veremos más adelante*).
- Se puede definir una **Velocidad final** (promedio) \mathbf{v}_d de los portadores de carga q :



$$\mathbf{v}_d = \frac{q \mathbf{E}}{m} \tau$$

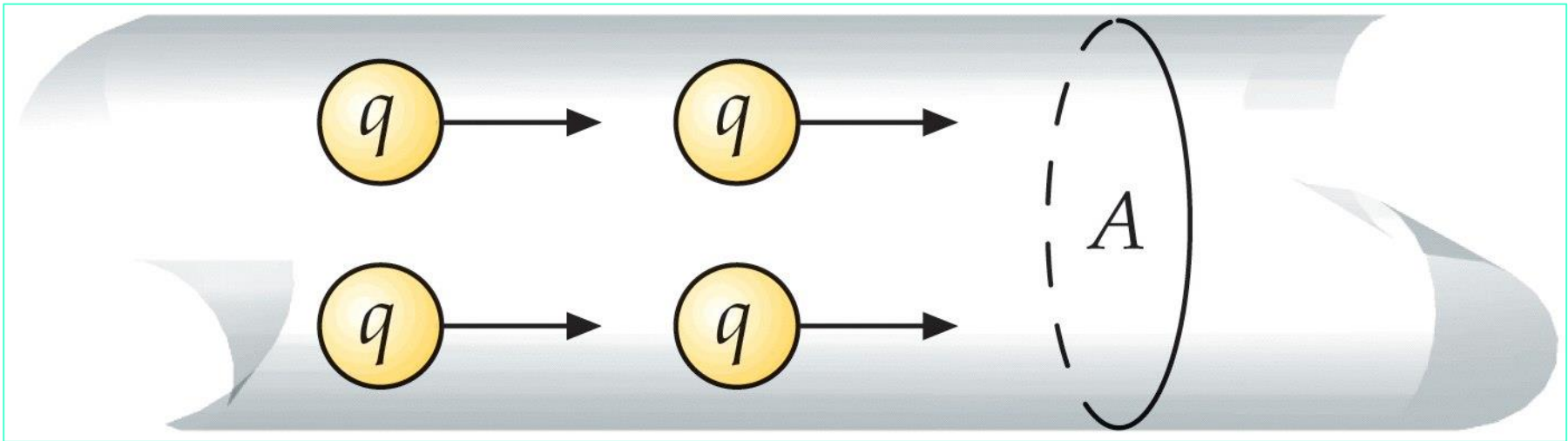
Corriente eléctrica

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

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

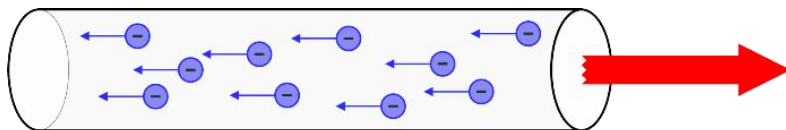
más general:

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



Corriente eléctrica

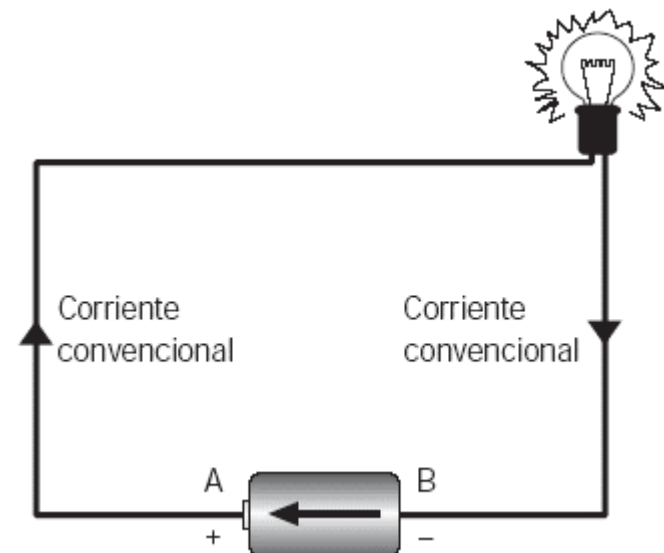
- Se toma como sentido de la corriente el del flujo de cargas positivas.
- Esta convención es anterior a que se supiera que los portadores de carga son los electrones o cargas negativas
- Es decir, los electrones se mueven en sentido contrario al de la corriente eléctrica



Sentido convencional



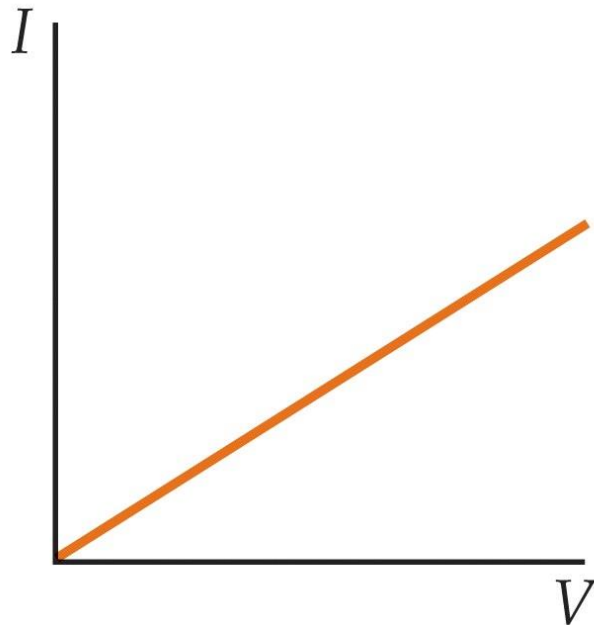
Sentido real



Ley de Ohm

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

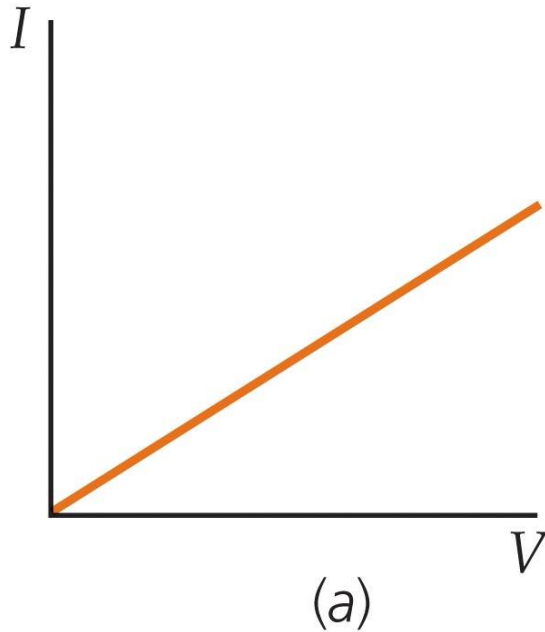
La corriente es proporcional a la diferencia de potencial aplicada



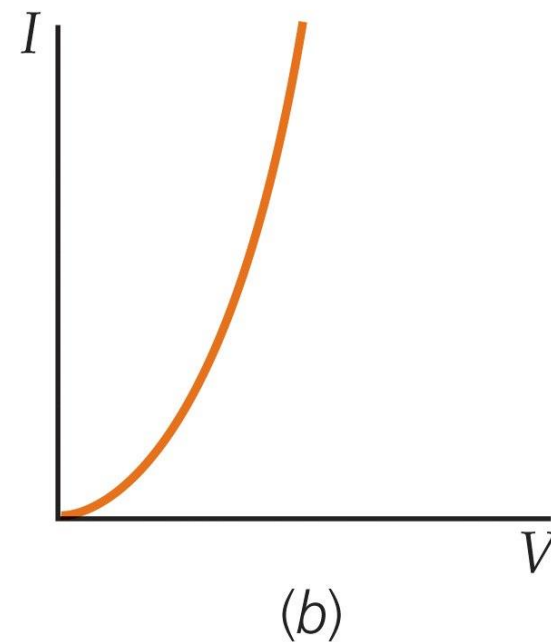
Comportamiento
óhmico (lineal)

Ley de Ohm

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



Comportamiento
óhmico (lineal)



Comportamiento no
óhmico (no lineal)

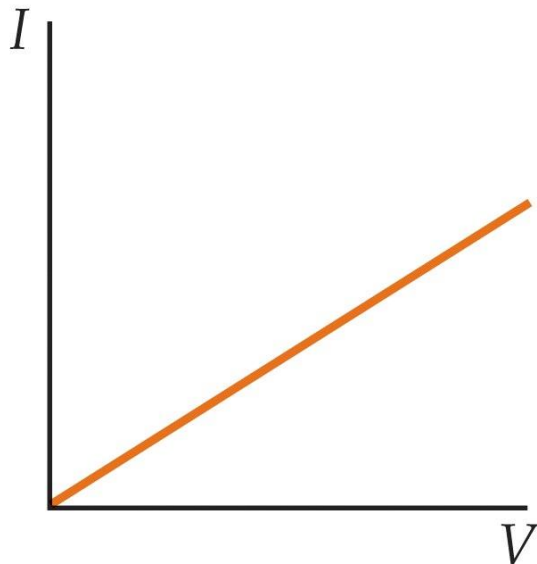
Resistencia eléctrica

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

Resistividades de algunos materiales

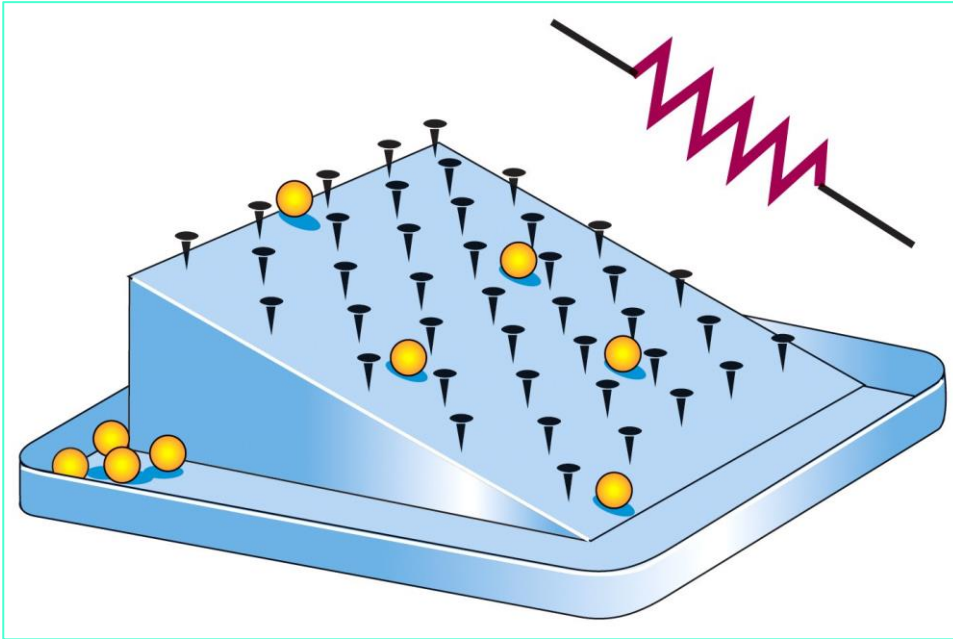
TABLE 25-1

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*

Analogía mecánica de la corriente eléctrica



- Bolas cayendo por la pendiente:

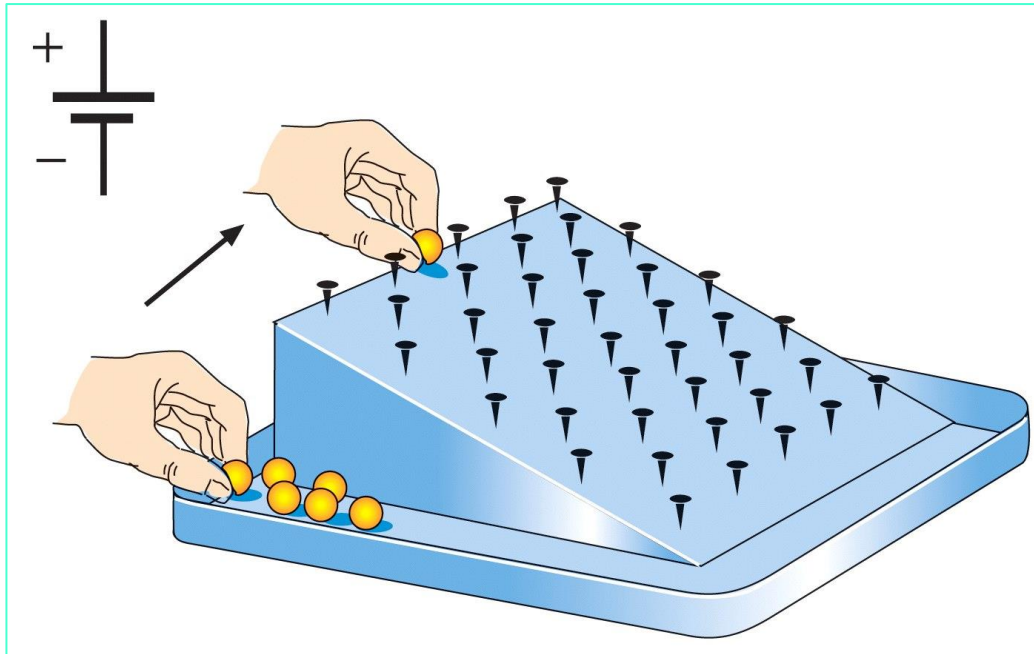
$$a = \text{cte.} \rightarrow v \sim a t$$

- 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

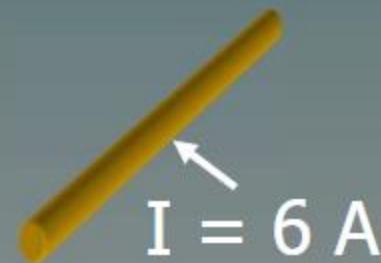


- Un campo E estático **no es suficiente** (sólo daría una corriente transitoria muy breve)

- 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.

Ejemplo 1. La corriente eléctrica en un alambre es de 6 A. ¿Cuántos electrones fluyen a través de un punto dado en un tiempo de 3 s?

$$I = \frac{q}{t}; \quad q = It$$



$$q = (6 \text{ A})(3 \text{ s}) = 18 \text{ C}$$

Recuerde que: $1 \text{ e}^- = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, luego convierta:

$$18 \text{ C} = (18 \text{ C}) \left(\frac{1 \text{ e}^-}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \right) = 1.125 \times 10^{20} \text{ electrons}$$

En 3 s: 1.12×10^{20} electrones

Ejemplo 2. Cuando una batería de **3 V** se conecta a una luz, se observa una corriente de **6 mA**. ¿Cuál es la resistencia del filamento de la luz?

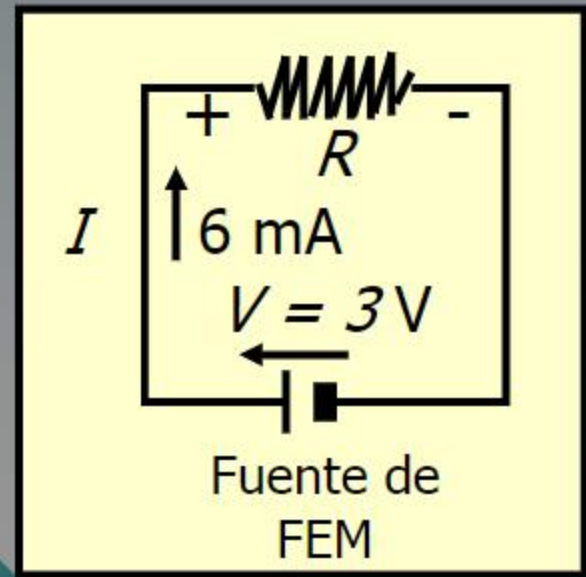
$$R = \frac{V}{I} = \frac{3.0 \text{ V}}{0.006 \text{ A}}$$

$$R = 500 \, \Omega$$



La **unidad SI** para la resistencia eléctrica es el **ohm**, Ω :

$$1 \, \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$



Ejemplo 3. ¿Qué longitud L de alambre de cobre se requiere para producir un resistor de $4 \text{ m}\Omega$? Suponga que el diámetro del alambre es 1 mm y que la resistividad ρ del cobre es $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.001 \text{ m})^2}{4} \quad A = 7.85 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad L = \frac{RA}{\rho} = \frac{(0.004 \Omega)(7.85 \times 10^{-7} \text{ m}^2)}{1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}$$

La longitud requerida es:

$$L = 0.183 \text{ m}$$

Ejercicio 10 hoja 1 de problemas

¿Qué intensidad pasará a través de un conductor de aluminio de 2 Km de longitud y 1 mm^2 de sección, cuando se le aplique una d.d.p. de 50V?

Dato: Resistividad del aluminio = $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

Resolución

Ohm:
$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Conocemos la Diferencia de Potencial (V) pero no conocemos la Resistencia, pero se puede conocer puesto que:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

ρ = Resistividad ($\Omega \cdot \text{m}$)

L = Longitud del conductor (m)

S = Sección del conductor (m^2)

$$L = 2 \text{ Km} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}} = 2000 \text{ m}$$

$$S = 1 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2} = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$R = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot \frac{2000 \text{ m}}{10^{-6} \text{ m}^2} = 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot 2000 \Omega \cdot \text{m}^2 / 10^{-6} \text{ m}^2 = 5600 \cdot 10^{-8} \cdot 10^6 \Omega = 5600 \cdot 10^{-2} \Omega = 56 \Omega$$

Conocida la resistencia volvemos a la ecuación (1):

$$I = \frac{V}{R}; I = 50 \text{ V} / 56 \Omega = 0,89 \text{ A}$$

Potencial eléctrico

Potencial \leftrightarrow Energía potencial

- *Potencial eléctrico: energía potencial por unidad de carga:*

$$V(\mathbf{r}) \equiv \frac{U(\mathbf{r})}{q}$$

- Unidades: $[V] = [U] / [q] = \text{J} / \text{C} = \text{V (Voltio)}$

→ la energía potencial de una carga q en un lugar \mathbf{r} del espacio donde el potencial es $V(\mathbf{r})$ vale:

$$U(\mathbf{r}) = qV(\mathbf{r})$$

Potencial \leftrightarrow Energía potencial

- Energía potencial de dos cargas puntuales en interacción electrostática mutua

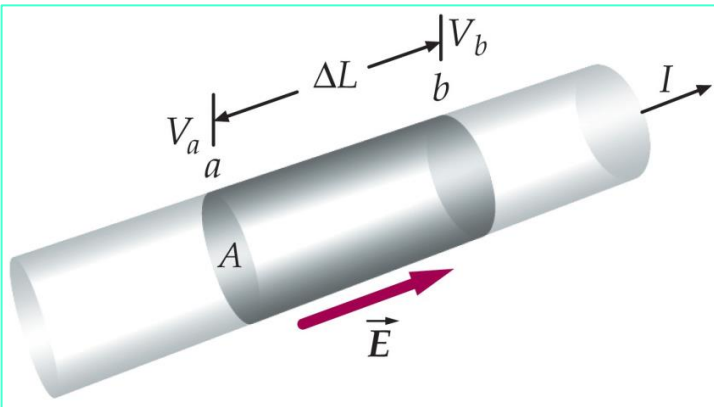
$$U(\mathbf{r}) = \frac{k q q_i}{r}$$

U: energía potencial electrostática de dos *cargas puntuales q y q_i* separadas por una distancia *r* .

- Calculamos el *potencial de Coulomb $V(\mathbf{r})$* creado por una carga *puntual q_i* :

$$V(\mathbf{r}) \equiv \frac{U(\mathbf{r})}{q} = \frac{k q_i}{r}$$

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:

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

Ejemplo 5. Una herramienta se clasifica en **9 A** cuando se usa con un circuito que proporciona **120 V**. ¿Qué potencia se usa para operar esta herramienta?

$$P = VI = (120 \text{ V})(9 \text{ A})$$

$$P = 1080 \text{ W}$$

Ejemplo 6. Un calentador de 500 W extrae una corriente de 10 A. ¿Cuál es la resistencia?

$$P = I^2 R; \quad R = \frac{P}{I^2} = \frac{500 \text{ W}}{(10 \text{ A})^2}$$

$$R = 5.00 \, \Omega$$

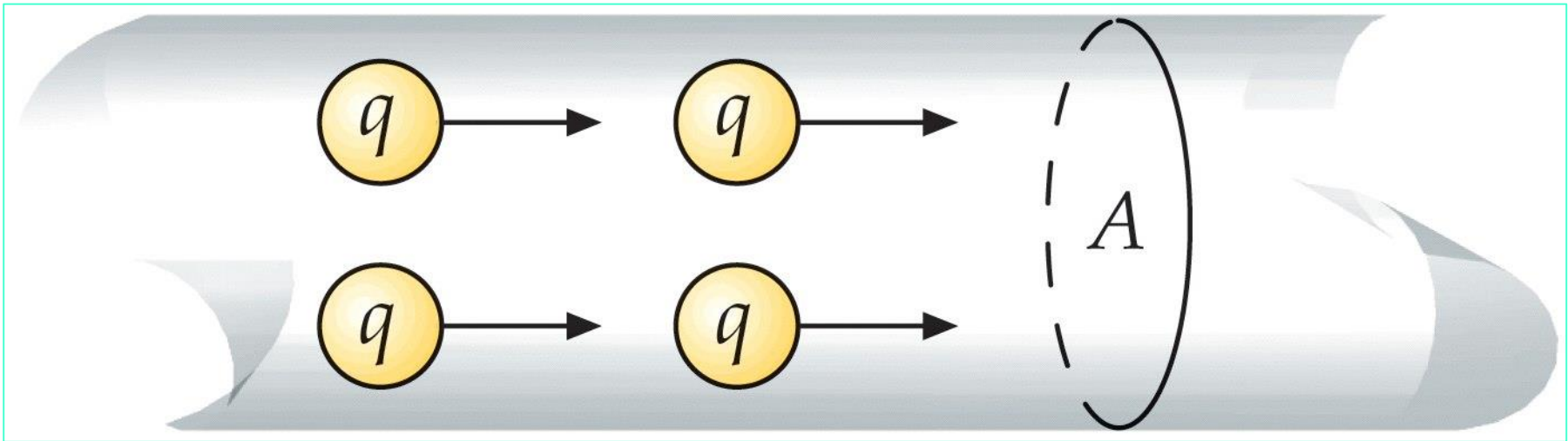
Resumen: Corriente eléctrica

- **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:

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

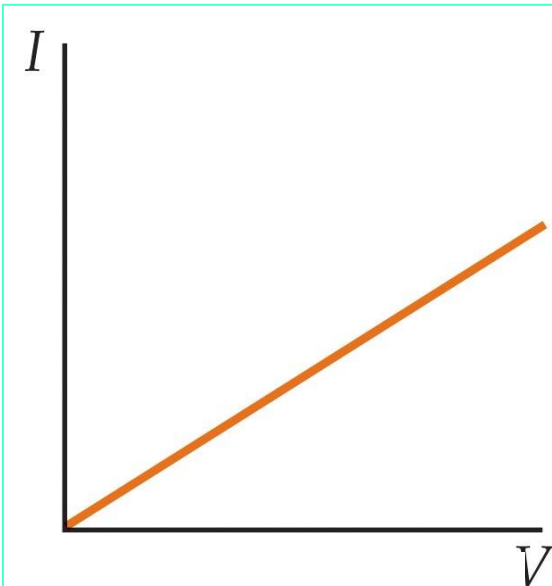


Resumen: Ley de Ohm

- 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:

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