



ELECTROMAGNETISMO

Curso : 2019/2020

1er curso Grado en Ingeniería Informática

GRUPO 216 TEORÍA

Tema 4: Parte 1

MIRIAM JAAFAR RUIZ- CASTELLANOS

Dpto. Física de la Materia Condensada
Facultad de Ciencias Modulo C03-515
miriam.jaafar@uam.es

GUÍA DOCENTE

Capítulo 4: Corrientes eléctricas estacionarias

- **Corriente eléctrica. Ley de Ohm. Resistencia y resistividad.**
- **Asociación de resistencias. Potencia disipada.**
- Leyes de Kirchhoff. Circuitos simples.
- Carga y descarga de un condensador. Circuito RC.

VAMOS A TRABAJAR ESTE TEMA CON LA IDEA DE REALIZAR UNA CLASE INVERTIDA (*FLIPPED CLASSROOM*)

Resumiendo, ¿qué es el Flipped Classroom?

Trasladar la transmisión de contenidos a un recurso digital que el alumno puede visualizar individualmente, para después realizar actividades en clase con la presencia del profesor, donde aplicar los contenidos en tareas más complejas (debates, proyectos, problemas, prácticas, etc.)

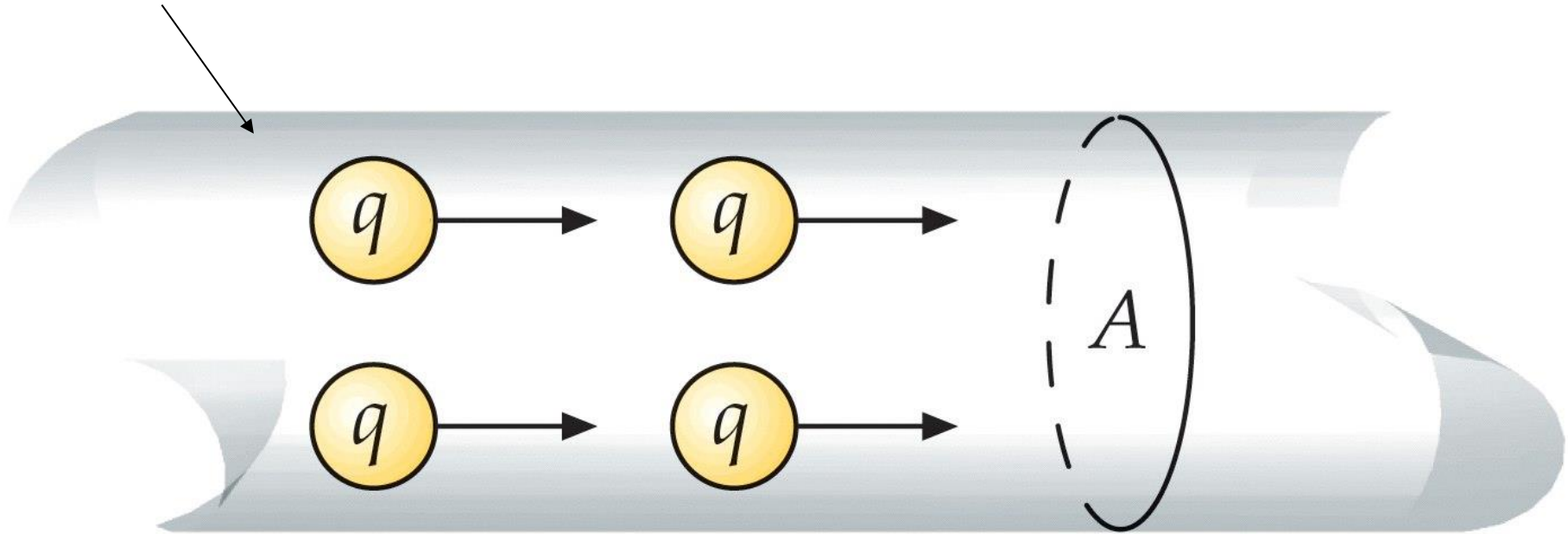
VAMOS A TRABAJAR ESTE TEMA CON LA IDEA DE REALIZAR UNA CLASE INVERTIDA (*FLIPPED CLASSROOM*)

- La idea es que tengáis material suficiente de modo que vosotros mismos fuerais capaces de explicar la teoría de este tema y en la clase presencial nos centremos en la resolución de problemas
- Os iré introduciendo enlaces a vídeos a lo largo de la presentación que en ocasiones son imprescindibles que visualicéis puesto que sustituye la explicación presencial.
- Al acabar cada bloque os pondré algunos ejercicios que siguiendo el material suministrado y los videos deberías ser capaces de resolver vosotros mismos

- Hasta ahora hemos visto el comportamiento de MATERIALES CONDUCTORES en EQUILIBRIO → tras un tiempo se alcanza dicho estado de equilibrio, en el que las cargas eléctricas están situadas en sus posiciones de equilibrio de tal manera que el campo eléctrico en el interior de un conductor es NULO
- En este tema vamos a sacar a los conductores de ese equilibrio. ¿Qué sucede si estamos constantemente aplicando una diferencia de potencial al conductor? Tendremos un campo que desplazará a los electrones.
- En el siguiente vídeo tenéis una **clase on line** de todo lo que os explico a continuación. Es muy necesaria su visualización mientras estudiáis las diapositivas:
<https://www.youtube.com/watch?v=QjGI-004Cm4&list=PLGaU5QQpWIH8xwVyw4uZEAT61FrQieDpW&index=27&t=0s>

Movimiento de cargas en un conductor

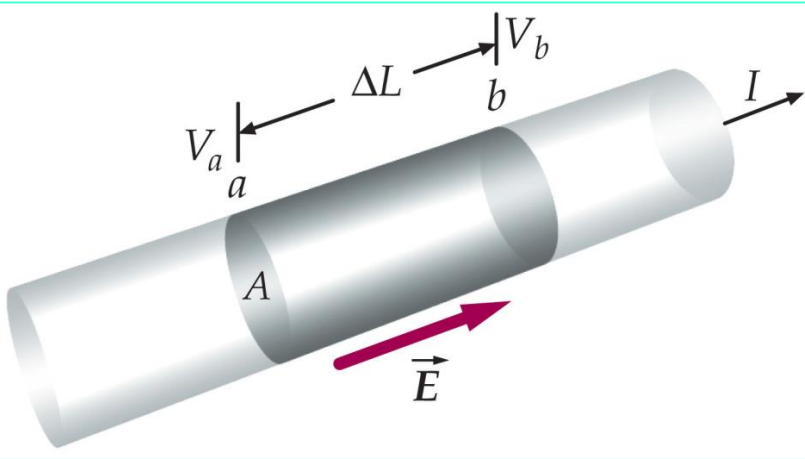
MATERIAL CONDUCTOR



A = área o sección; q = cargas en movimiento

Habíamos visto ya el movimiento de cargas en presencia de un campo eléctrico → lo recordamos a continuación

Movimiento de cargas en un conductor



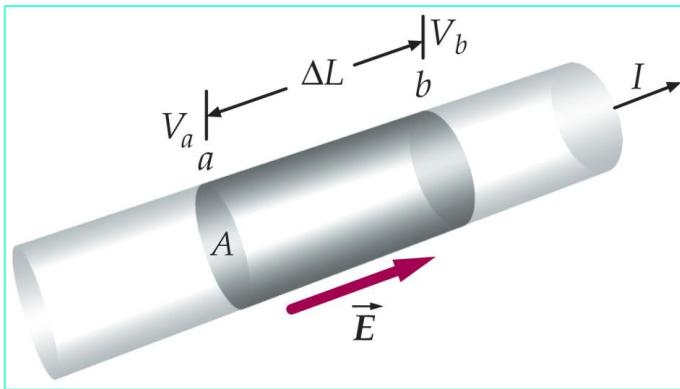
$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$$

$$v = at = \frac{qE}{m} t \dots ?$$

- 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: Esto como veremos más adelante va a implicar que hay corriente eléctrica)
- 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 = velocidad de la luz ... → **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, lo veremos más adelante*).
- Se puede definir una **Velocidad final** (promedio) v_d de los portadores de carga q :



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

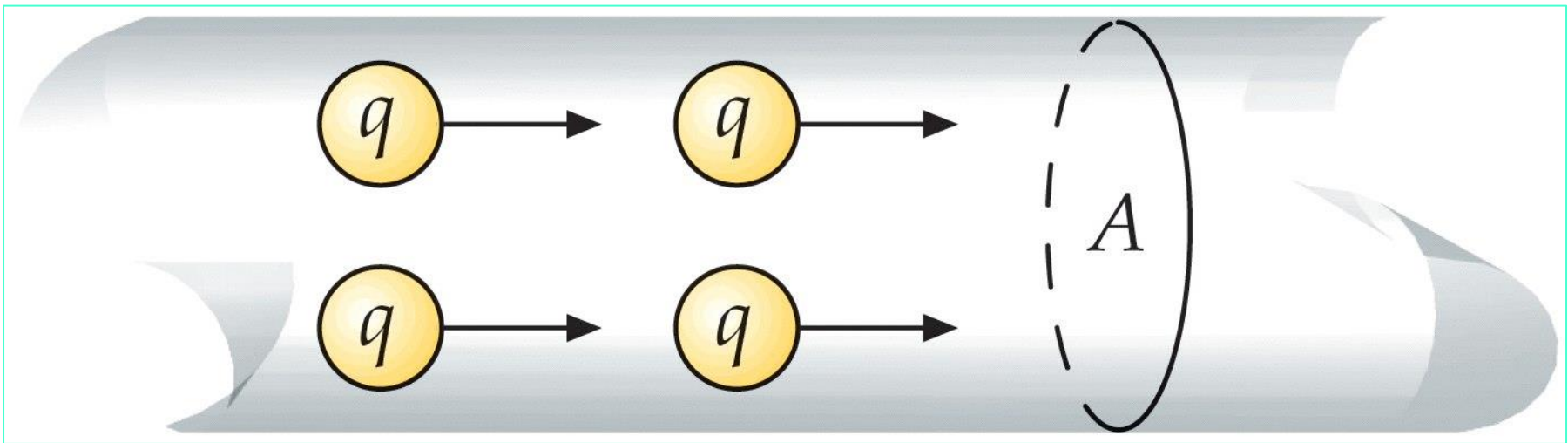
Corriente eléctrica

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

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

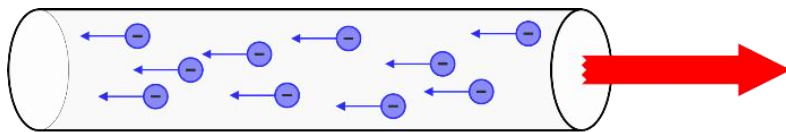
más general:

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



Corriente eléctrica

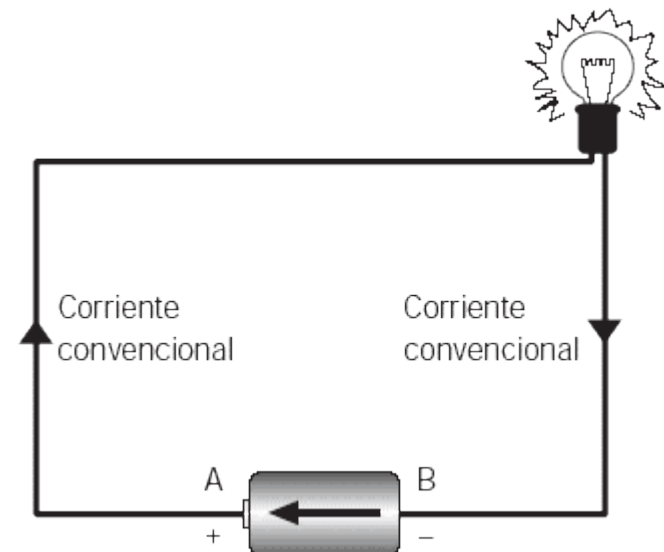
- Se toma como sentido de la corriente el del flujo de cargas positivas.
- Esta convención es anterior a que se supiera que los portadores de carga son los electrones o cargas negativas
- Es decir, los electrones se mueven en sentido contrario al de la corriente eléctrica



Sentido convencional



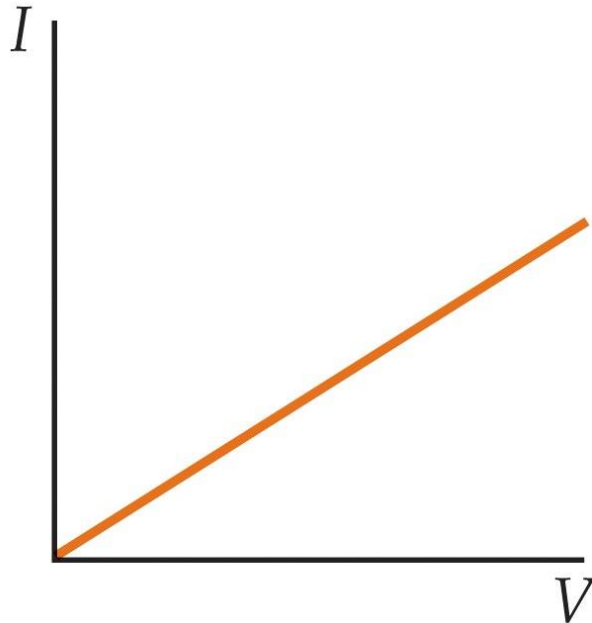
Sentido real



Ley de Ohm

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

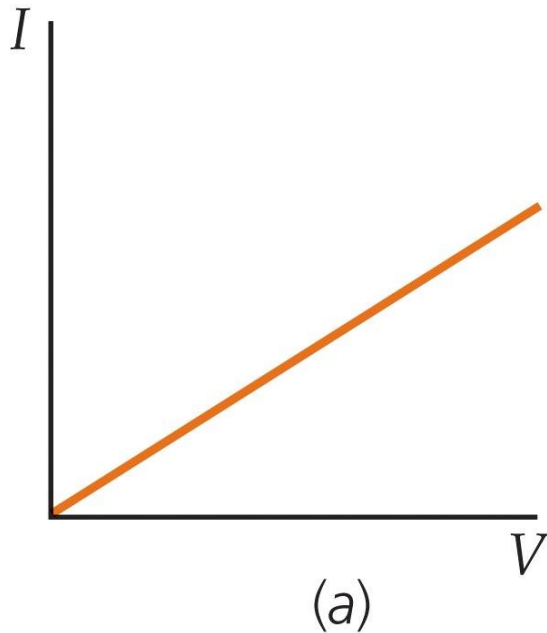
La corriente es proporcional a la diferencia de potencial aplicada



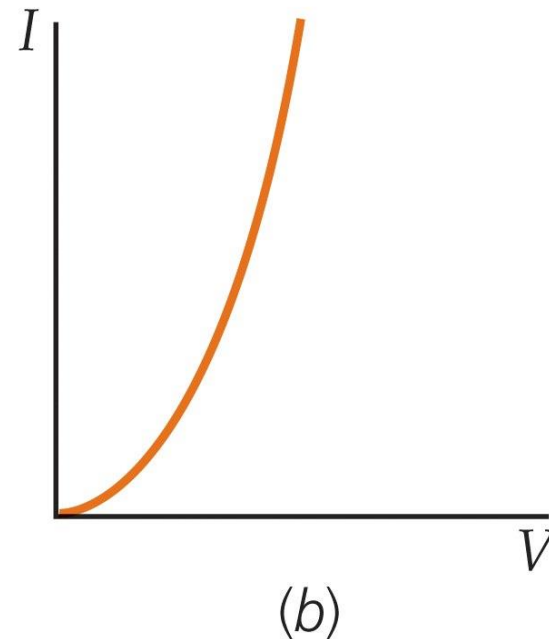
Comportamiento
óhmico (lineal)

Ley de Ohm

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



Comportamiento
óhmico (lineal)



Comportamiento no
óhmico (no lineal)

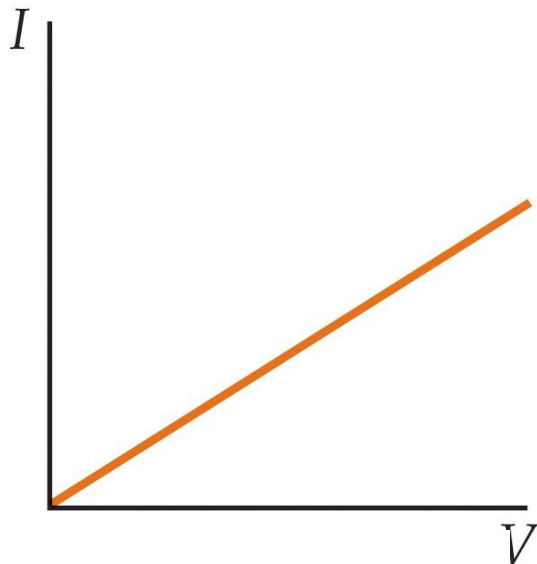
Resistencia eléctrica

- 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.

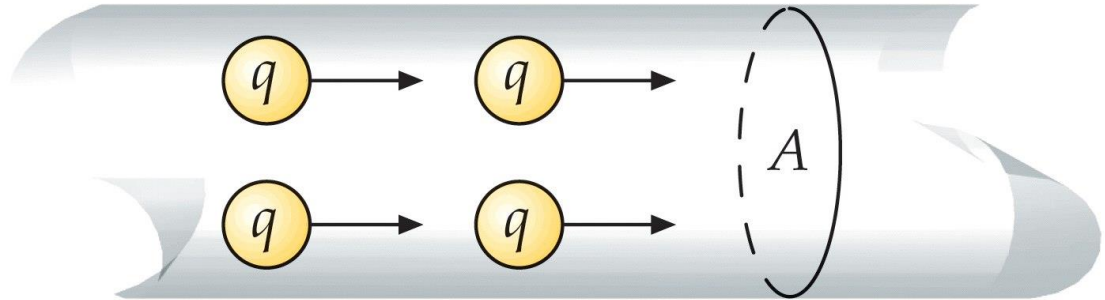
$$\rho = R \frac{A}{L}$$

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

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 :

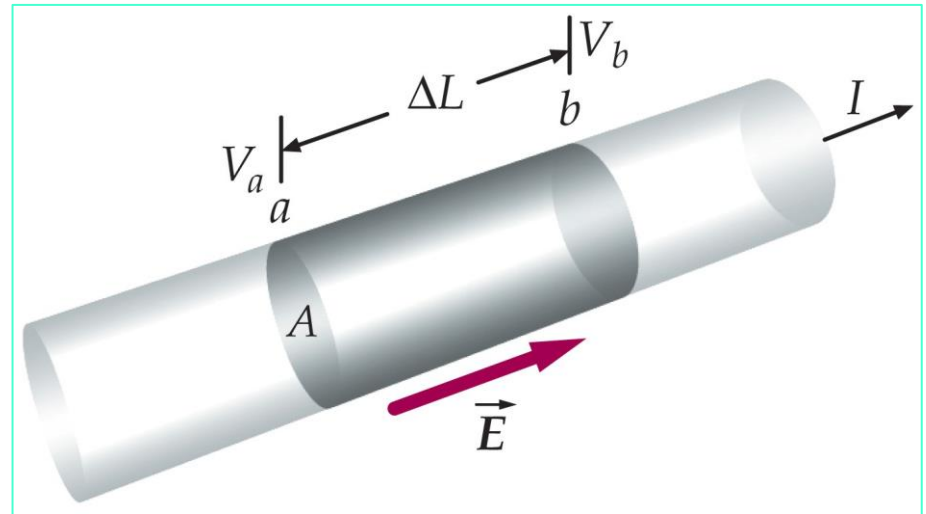
$$I = \int j dA$$

Ley de Ohm en términos de \mathbf{E}

- En campo \mathbf{E} homogéneo:

$$V = El$$

(recordamos la definición de potencial en función de \mathbf{E})



l = longitud del conductor

- Def. de R ;

Rel. $R - \rho$;

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

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

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

$$V = El$$

Ley de Ohm en términos de E

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

l = longitud del conductor

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

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

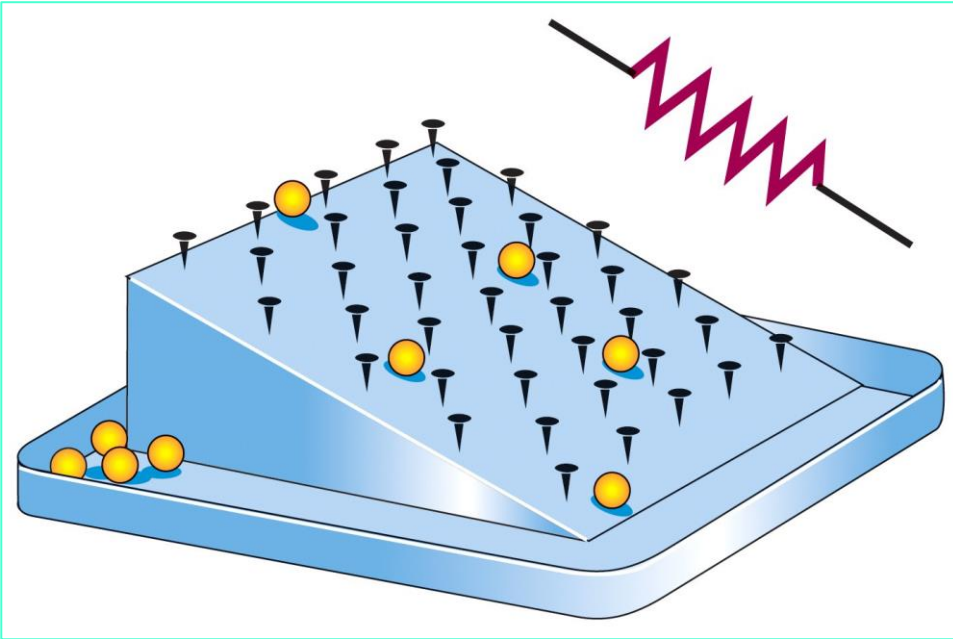
TABLE 25-1

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*

Analogía mecánica de la corriente eléctrica



- Bolas cayendo por la pendiente:

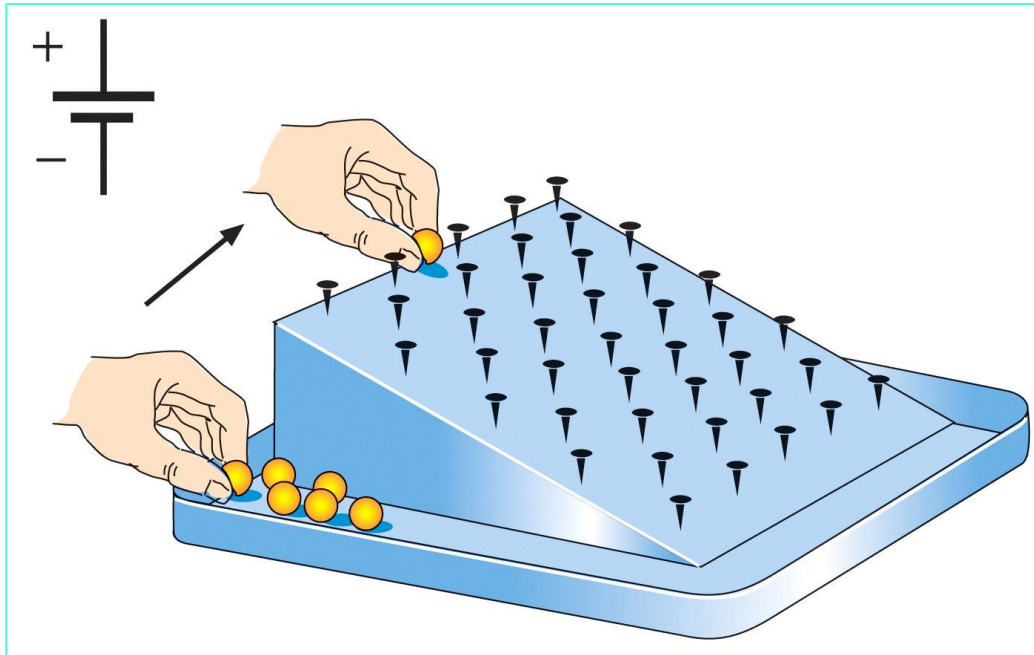
$$a = \text{cte.} \rightarrow v \sim t$$

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

$$v_d = a \tau$$

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

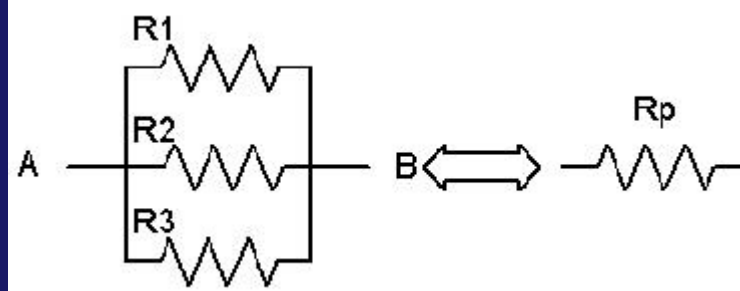
Analogía mecánica de la corriente eléctrica



- 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.

Conexiones de resistencias

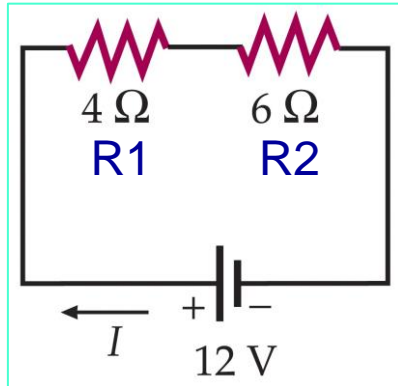


Os recomiendo ahora que veáis el vídeo explicativo de esta parte

<https://www.youtube.com/watch?v=f8S2ihGKU40>

Conexiones de resistencias

Resistencias **en serie**: se suman las resistencias

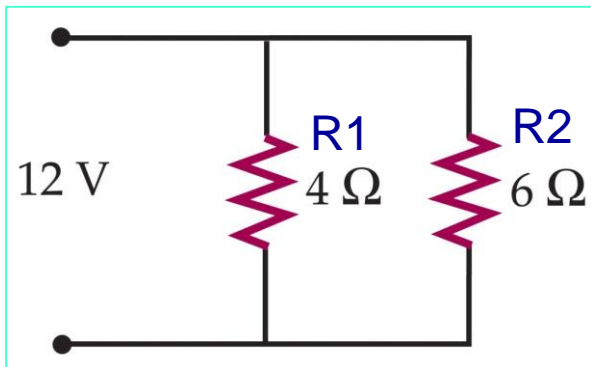


La corriente I es la misma por las dos R_1 y R_2

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Resistencias **en paralelo**: se suman los *inversos* de las resistencias

La diferencia de potencial V es la misma por las dos R_1 y R_2



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Potencia disipada por una corriente

IMPORTANTE:

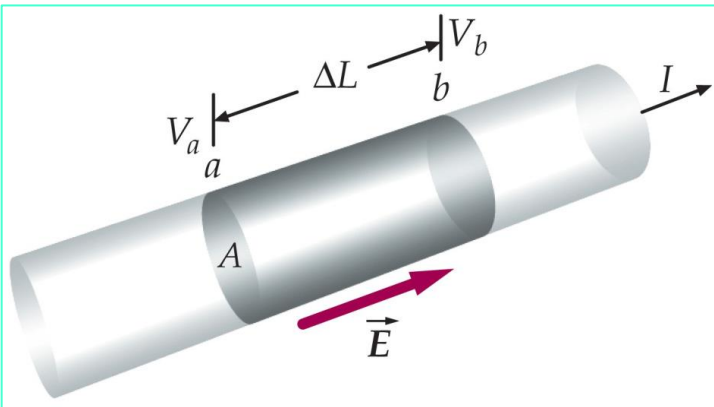
La corriente eléctrica siempre lleva asociada una pérdida de energía:
proceso disipativo

Excepción: superconductividad

Ahora sería muy recomendable que vierais el vídeo explicativo de esta parte

<https://www.youtube.com/watch?v=cCESriCJtgl>

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

$$P = IV$$

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

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

$$W = Pt$$

Trabajo

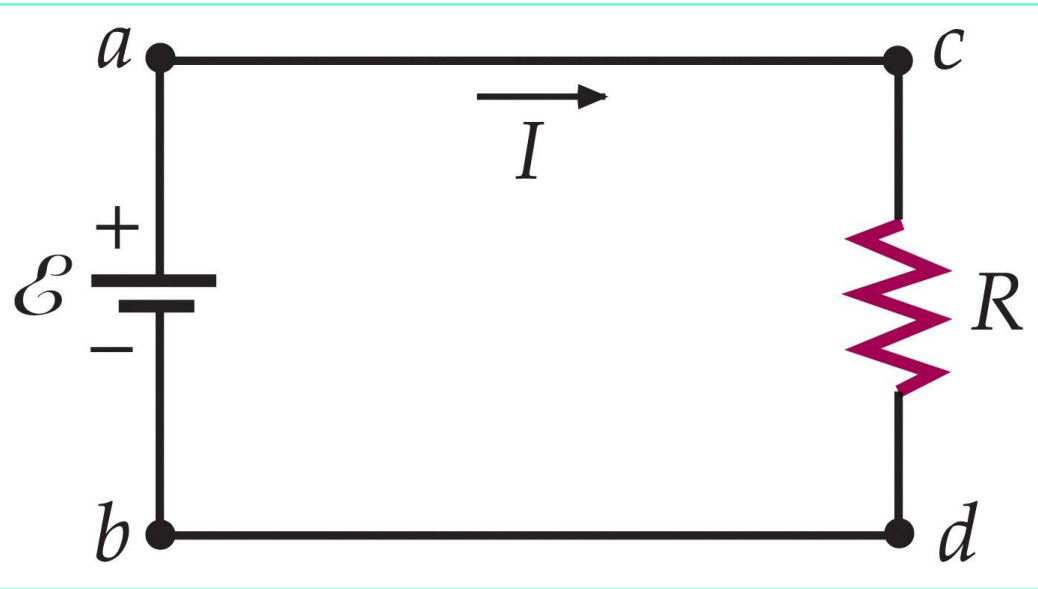
También: $1 \text{ J} = 1 \text{ W s}$:

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

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

$$V = IR$$

Potencia P disipada:

$$P = VI$$

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

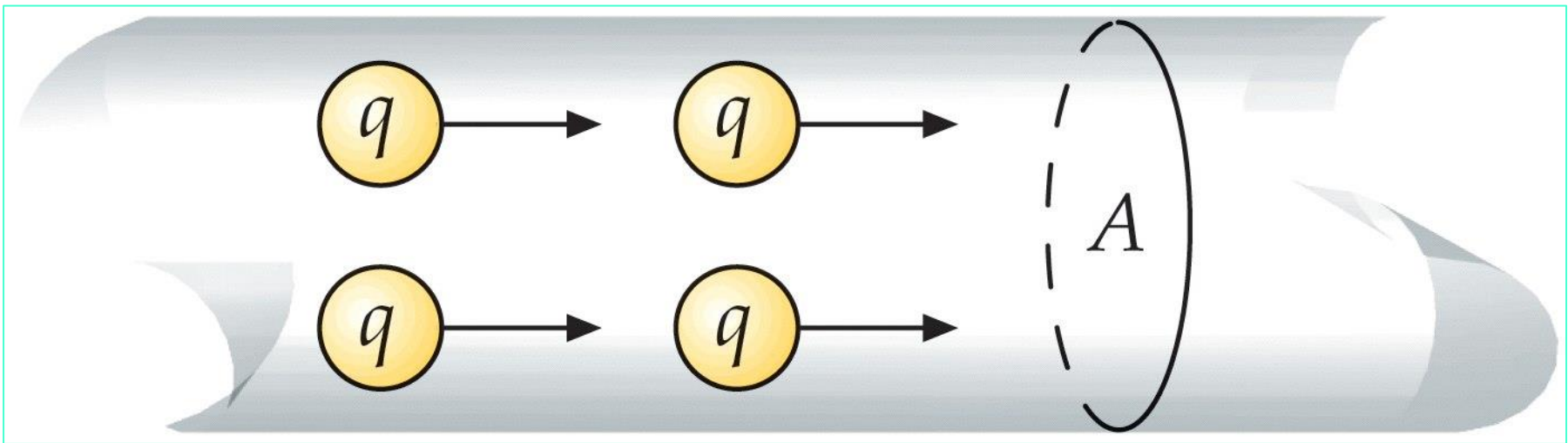
Resumen: Corriente eléctrica

- **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:

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

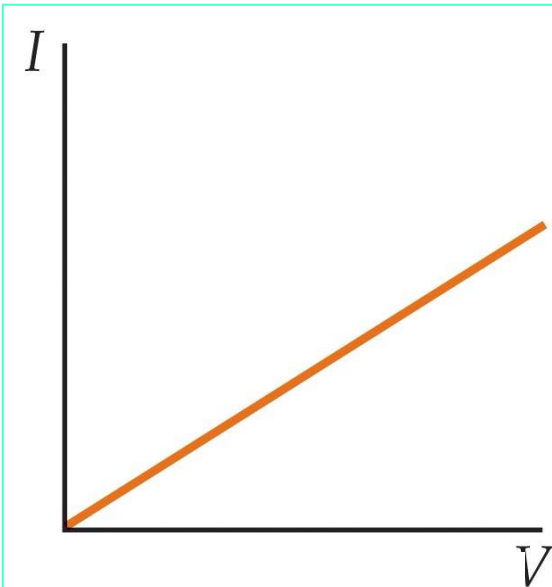


Resumen: Ley de Ohm

- 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:

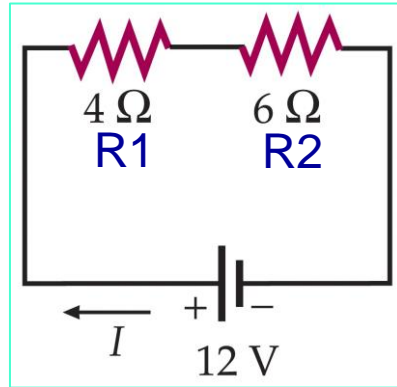
$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

- Unidades:

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

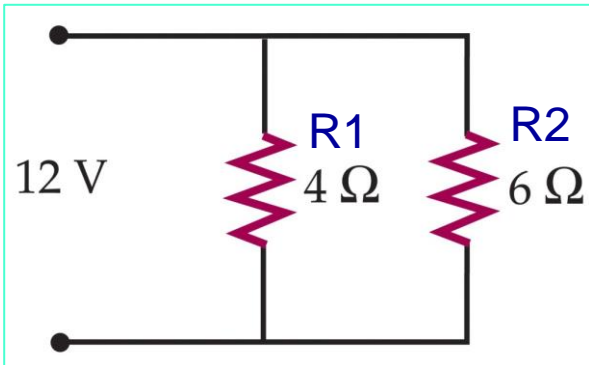
Resumen Conexiones de resistencias

En serie



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Resistencias en paralelo:

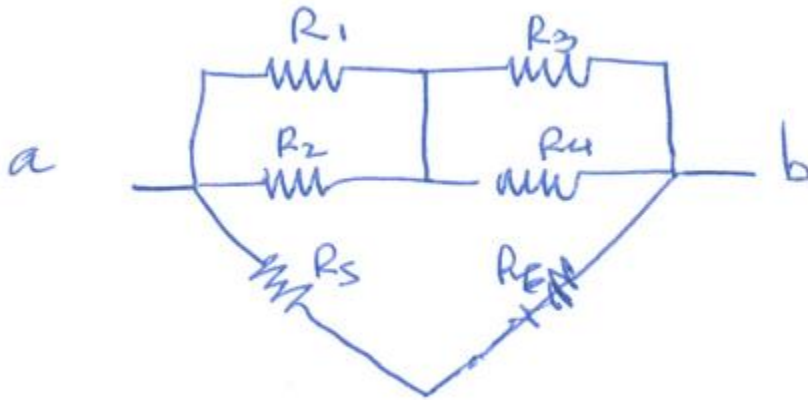


$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Ejercicios propuestos

1- Hallar la resistencia equivalente entre los puntos a y b



2-Tres resistencias iguales se conectan en serie. Si se aplica una diferencia de potencial a la combinación ésta consume una potencia total de 10 W. ¿Qué potencia consumirá si las tres resistencias se conectan en paralelo a la misma ddp?

Vídeos tomados del curso online de la Universidad Rey Juan Carlos

Material basado en el preparado por el profesor J.E. Prieto

Fuente principal de figuras:

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

P.A. Tipler, G. Mosca