

# Corriente eléctrica

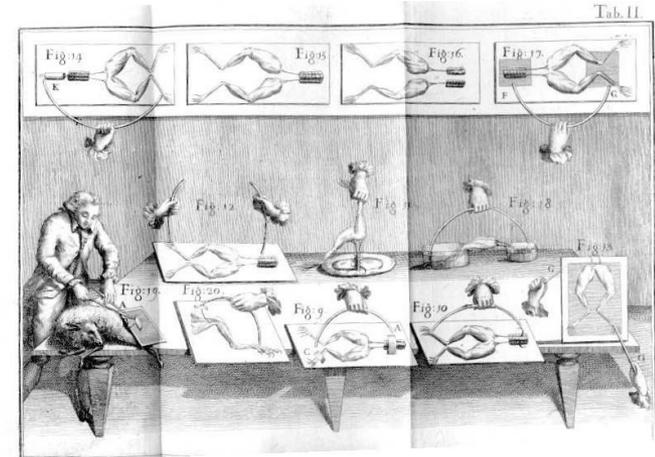
1. Corriente eléctrica: Intensidad y densidad de corriente.
2. Ley de Ohm. Resistencia. Conductividad eléctrica.
3. Potencia disipada en un conductor. Ley de Joule. Fuerza electromotriz.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Tipler-Mosca. "Física". Cap. 25, vol 2, 5ª ed.
- Serway-Jewett. "Física". Cap.21 . Vol 2. 3ª ed.

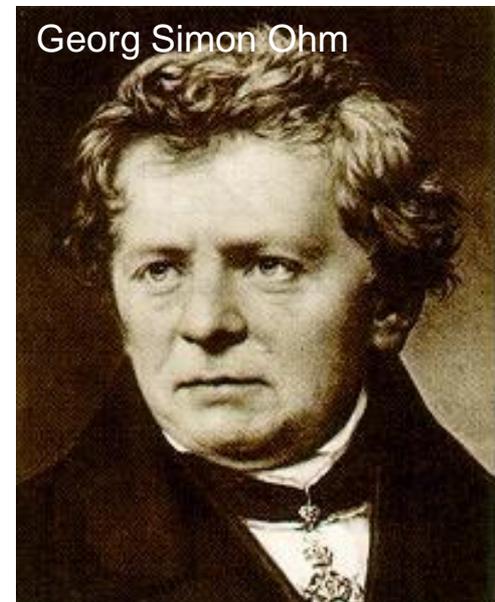
# Introducción

- Luigi Galvani (1737-1798) propone la teoría de la electricidad animal.
- Alejandro Volta (1745-1827): Inventa en 1800 la pila de volta, es la primera batería capaz de producir corriente eléctrica.



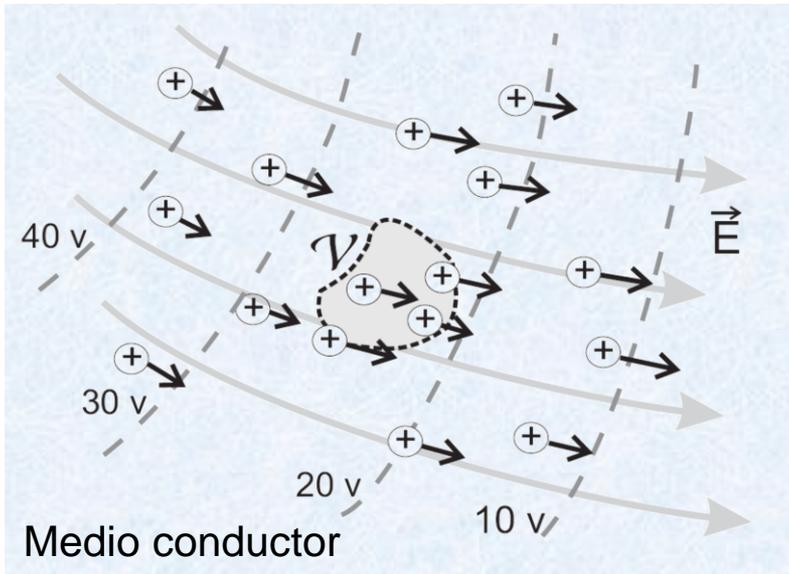
- Henry Cavendish realiza los primeros experimentos de conducción eléctrica hacia 1775, pero no los publica.
- Georg Simon Ohm (1786-1854) descubre la ley de Ohm.

- Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz (1821-1894) descubre que la primera ley los circuitos eléctricos cumple la ley de la conservación de la energía.
- James Prescott Joule (1818-1889), descubridor de la equivalencia entre calor y energía, inventa la soldadura eléctrica de arco.



# Corriente eléctrica: Intensidad y densidad de corriente.

Se puede imaginar un conductor como una esponja mojada. La parte sólida de la esponja la forman los cationes, y confieren rigidez al sólido. Los electrones libres (en el caso de un metal) son como el líquido que se mueve libremente por el interior de la esponja, y se les denomina **portadores de carga, cargas libres o cargas de conducción**. Bajo la acción de un campo eléctrico, las cargas libres se moverán.



El flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo a través de una superficie se denomina **corriente eléctrica**.

$$I = \frac{dQ(t)}{dt}$$

Unidad: Amperio

$$1\text{A} = 1\text{C/s}$$

El sentido de la corriente eléctrica coincide con el del campo  $E$  responsable de la corriente eléctrica en caso de que los portadores de carga positivos. Si los portadores de carga son negativos (como los electrones) la corriente tiene el sentido opuesto al movimiento de las cargas eléctricas.

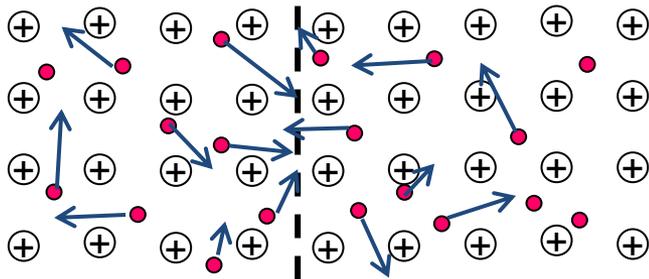
# Corriente eléctrica: densidad de corriente.

Si en un medio conductor no existe un campo eléctrico:

$$\vec{E} = 0 \Rightarrow \vec{F} = q\vec{E} = 0$$

no actúa fuerza sobre los portadores de carga y no se moverán. El conductor está en equilibrio electrostático. Esto no implica que los portadores estén en reposo. Mejor habría que decir *que no se produce un desplazamiento neto de carga en el conductor*.

Debido a la temperatura, los portadores, electrones libres en los metales, están en un continuo movimiento aleatorio chocando con los iones de la red cristalina del material de forma que no se produce un flujo neto de carga a lo largo del conductor.



• = Los  $e^-$  libres en la red se comportan como las moléculas de un gas chocando con los átomos de la red cristalina del material

En equilibrio térmico y electrostático no hay flujo neto de carga a través de una sección del conductor, y no hay corriente eléctrica neta. Por tanto:

Para que exista una corriente eléctrica neta en un conductor debe existir un campo eléctrico  $\mathbf{E}$  en su interior.

# Corriente eléctrica: Intensidad

## Velocidad de desplazamiento o arrastre ( $v_a$ )

La velocidad de arrastre caracteriza el movimiento de los electrones dentro de un conductor sometido a un campo eléctrico externo en la dirección en que se produce la corriente eléctrica. Es inferior a la velocidad de las cargas en el interior del material debido a que al moverse van chocando con los iones que forman el material.

La corriente eléctrica depende del tipo de portadores de carga, de la velocidad de los portadores, de la carga de los portadores y de por dónde circule la corriente eléctrica.

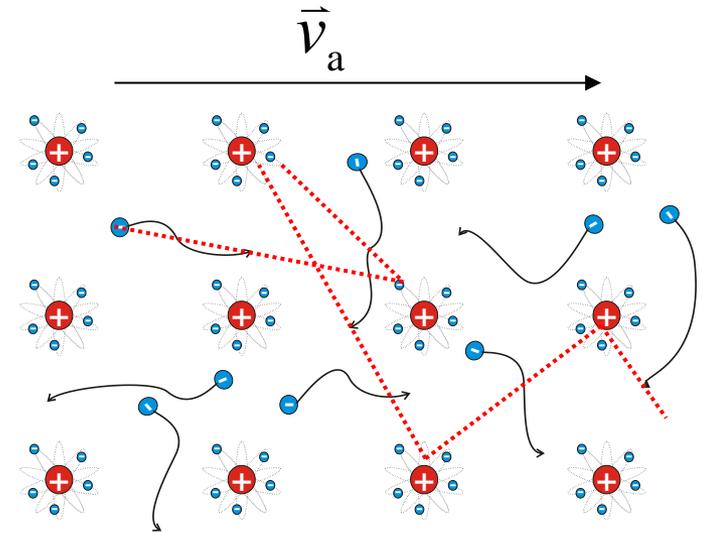
Llamaremos:

$n$ : densidad de portadores de carga

$q$ : carga de cada portador

$v_a$ : velocidad de cada portador

No hay que confundir la densidad de portadores de carga,  $n$ , con la densidad de carga. La densidad de portadores de carga  $n$  es el número de cargas libres por unidad de volumen. Sus unidades en el S.I. son:  $[n]=1/m^3$



# Corriente eléctrica: Intensidad

Suponer que queremos calcular la carga eléctrica que pasa por una superficie dada  $S=A_1$ . Podemos imaginar esa superficie como la sección recta de un cable.

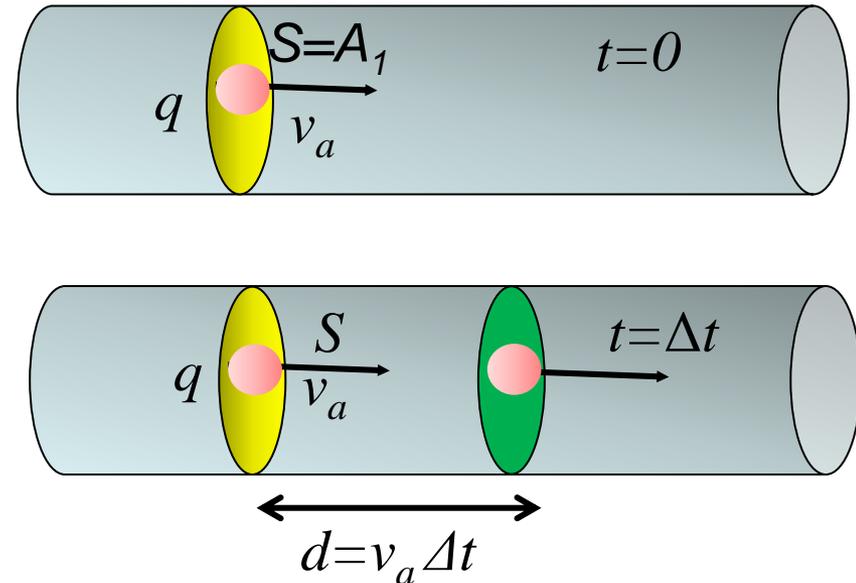
La carga total que pasa por la superficie  $S$  en un tiempo  $\Delta t$  es función de la densidad de portadores  $n$  (portadores/m<sup>3</sup>), la carga de cada uno y la velocidad a la que se mueven  $v_a$ :

$$\Delta Q = qn(Sv_a \Delta t)$$

Luego la corriente que circula por el cable de sección  $S$  es:

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

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_d S$$



## Corriente eléctrica: Intensidad

Si la carga circula por una superficie  $A_2$  cuya normal  $\mathbf{n}$  no es paralela a la velocidad de arrastre de las cargas portadoras, entonces hay que tener en cuenta que solo la componente perpendicular de la velocidad a la superficie permite a las cargas pasar por dicha superficie. Esto hace que la carga total que pasa por sea  $A_2$  (que es igual a al que circula por  $A_1$ ) sea:

$$\Delta Q = qn(A_2 v_a \Delta t) \cos(\alpha)$$

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



$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nq v_a A_2 \cos(\alpha) = nq v_a S$$

Es claro que la intensidad de corriente que circula por la sección del cable es igual sea cual sea la sección considerada. Es lo mismo que la corriente de agua que circula por una manguera: sale el mismo agua por la boca de la manguera aunque cortemos la manguera con el ángulo que sea.

# Corriente eléctrica: Intensidad

## Ejemplo:

Estime la velocidad de desplazamiento de los electrones libres en un cable de cobre de  $S = 3 \text{ mm}^2$  cuando pasa una corriente de 10 A.

Solución en los problemas. Intenta solucionarlo sin mirar el resultado

# Corriente eléctrica: Intensidad y densidad de corriente.

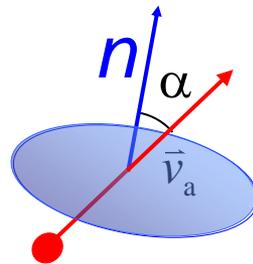
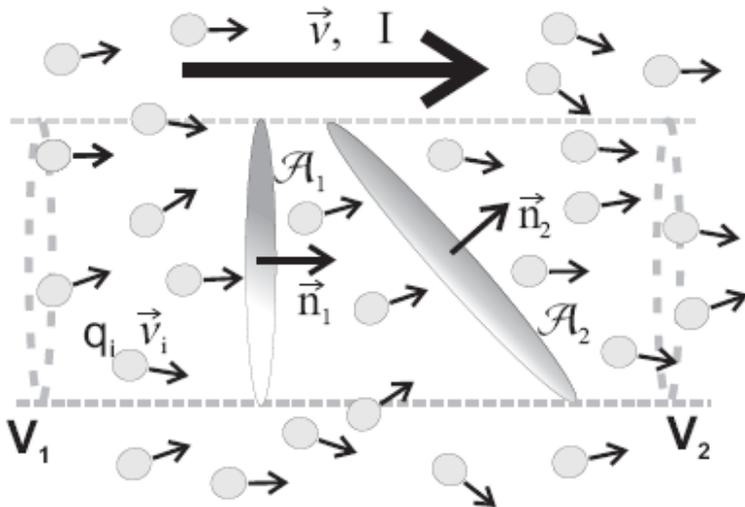
**Densidad de corriente:** La densidad de corriente,  $\vec{J}$ , dice cuantos portadores de carga atraviesan una superficie por unidad de superficie y tiempo. Es un vector

Si la densidad de portadores es constante y se mueven todos a la misma velocidad.

$$|\vec{J}| = \frac{dI}{dS} = nqv_a \Rightarrow \vec{J} = J \frac{\vec{v}_a}{v_a} = nq\vec{v}_a$$

**En general:** La densidad de corriente,  $\vec{J}$ , nos dice cuantos portadores de carga atraviesan un superficie por unidad de superficie y tiempo, y puede variar de un punto a otro del material.

$$dI = nqv_a dS = nq\vec{v}_a \cdot \vec{n}_S dS = nq\vec{v} d\vec{S} = \vec{J} d\vec{S}$$



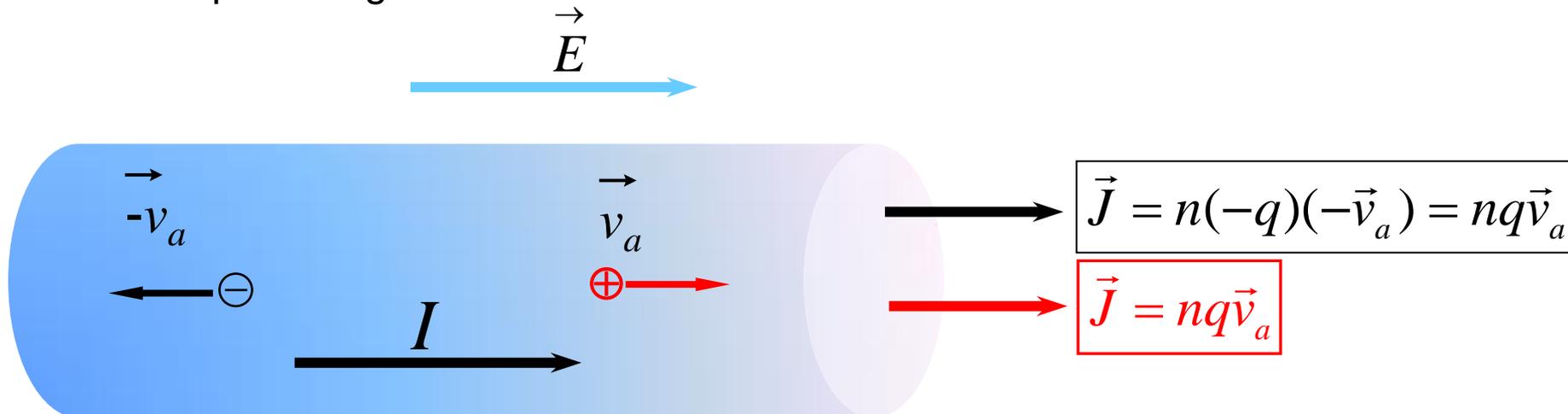
$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = \int_S J \cos(\alpha) dS$$

$\alpha$  = ángulo que forma la normal a la superficie con la velocidad de las cargas portadoras.

# Corriente eléctrica: Intensidad y densidad de corriente.

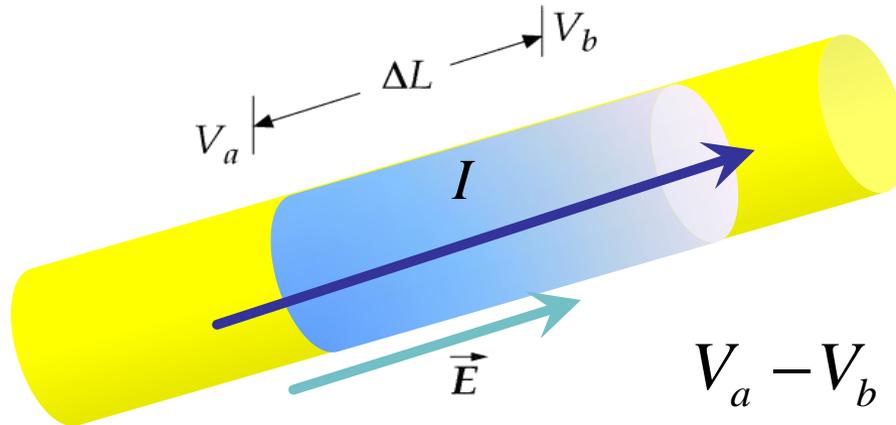
## Densidad de corriente y dirección de movimiento de las cargas

La densidad de corriente tiene el sentido del campo eléctrico aplicado y no el del movimiento de las cargas portadoras. Este resultado se observa claramente en el esquema siguiente.



$$J = \frac{dI}{dt} = nqv_a \Rightarrow \vec{J} = J \frac{\vec{v}_a}{v_a} = nq\vec{v}_a$$

# Ley de Ohm: resistividad y resistencia eléctricas



Siempre que hay una corriente eléctrica  $I$  debe existir un campo eléctrico  $\mathbf{E}$  que mantenga la corriente. El campo  $\mathbf{E}$  está dirigido de las regiones de mayor potencial a las de menor potencial:

$$V_a - V_b = \Delta V = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_a^b E dl = E\Delta L$$

**Resistencia eléctrica:** Es una medida de la oposición que ejerce un material en un conductor concreto al flujo de carga a través de él. Se define como:

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

Unidad: Ohmio

$$1\Omega = 1V/A$$

$$V = I R$$

**Ley de Ohm (simplificada)**

# Ley de Ohm: resistividad y resistencia eléctricas

**Ley de Ohm:** establece la relación entre el campo eléctrico en el interior de un material y la densidad de corriente producida por ese campo eléctrico.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad \sigma = \text{conductividad} \quad \rho = \frac{1}{\sigma} \text{ resistividad se mide en } \Omega \cdot \text{m}$$

La relación entre la diferencia de potencial aplicada y la corriente eléctrica es la resistencia eléctrica total R:

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \int_a^b \frac{\vec{J}}{\sigma} d\vec{\ell}$$

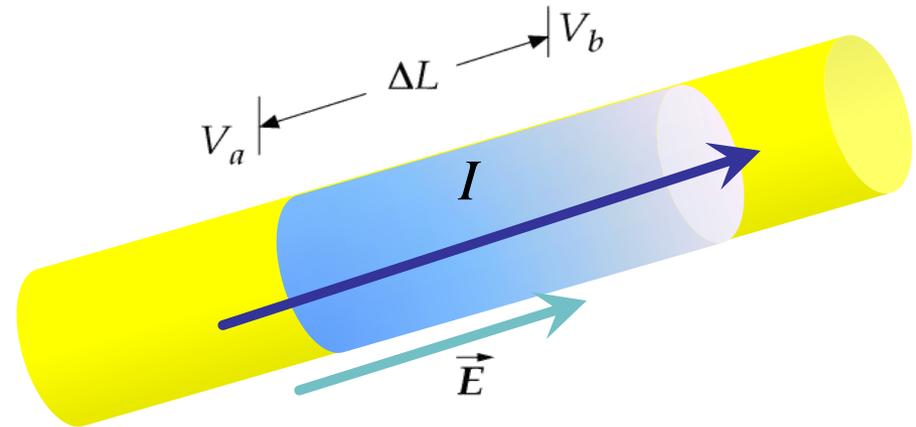
En general se define la resistencia para un conductor:

$$R = \int_a^b \rho \frac{d\ell}{A}$$

Si el conductor es de sección constante, homogéneo e isótropo:

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

Donde  $\ell$  es la longitud y  $A$  la sección recta.



# Ley de Ohm: resistividad y resistencia eléctricas

**Resistencia eléctrica a 20°C:** Algunos ejemplos de resistividad eléctrica

La resistividad depende de la temperatura según el coeficiente  $\alpha$ . En primera aproximación esa dependencia es lineal.

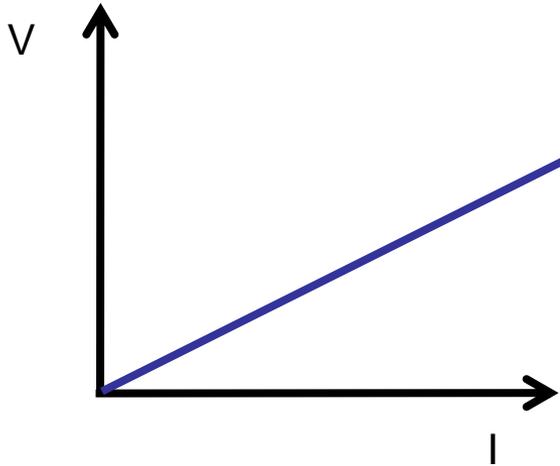
$$\rho(T) = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Como se observa en la tabla, la variación de la resistividad es enorme entre un conductor y un aislante.

	$\rho_0$ ( $\Omega \cdot m$ )	Coficiente de temperatura ( $K^{-1}$ )
Plata	$1,59 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Oro	$2,35 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Aluminio	$2,65 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Wolframio	$5,65 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Níquel	$6,84 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
Hierro	$9,71 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Platino	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$3,93 \cdot 10^{-3}$
Plomo	$20,65 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Silicio	4300	$-7,5 \cdot 10^{-2}$
Germanio	0,46	$-4,8 \cdot 10^{-2}$
Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$	
Cuarzo	$7,5 \cdot 10^{17}$	
Azufre	$10^{15}$	
Madera	$10^8 - 10^{11}$	
Diamante	$10^{11}$	

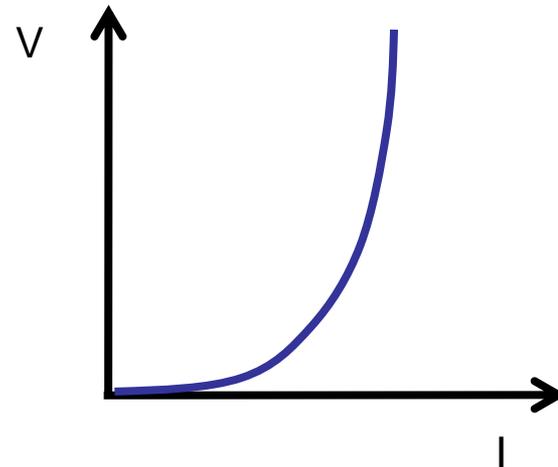
## Ley de Ohm: resistividad y resistencia eléctricas

Según su comportamiento al aplicar una corriente  $I$ , los materiales se clasifican.



Materiales óhmicos

La resistencia no depende de la caída de potencial ni de la intensidad ( $R$  es la pendiente de la curva  $V-I$ ).



Materiales no óhmicos

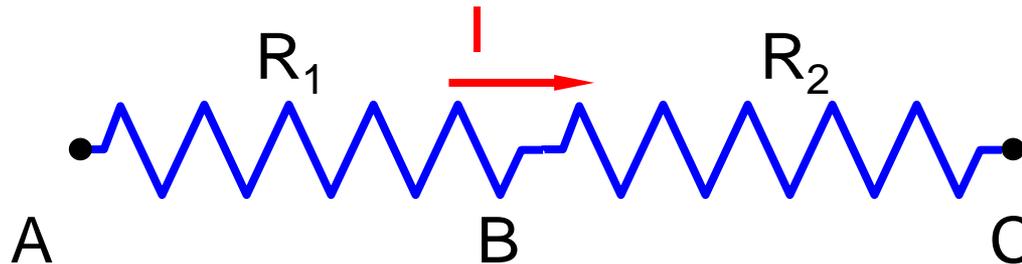
La resistencia depende de la corriente  $I$  de forma no lineal ( $R$  es la pendiente de la curva  $V-I$ ).

# Ley de Ohm: resistividad y resistencia eléctricas

Se llama **resistencia equivalente** de un circuito o asociación de resistencias,  $R_{eq}$ , al valor de la resistencia única que habría que poner para que la resistencia total fuese la misma.

Los casos más sencillos de asociación de resistencias son resistencias en serie y en paralelo.

Asociación de resistencias en serie: En este caso la corriente que circula por todas las resistencias es la misma.

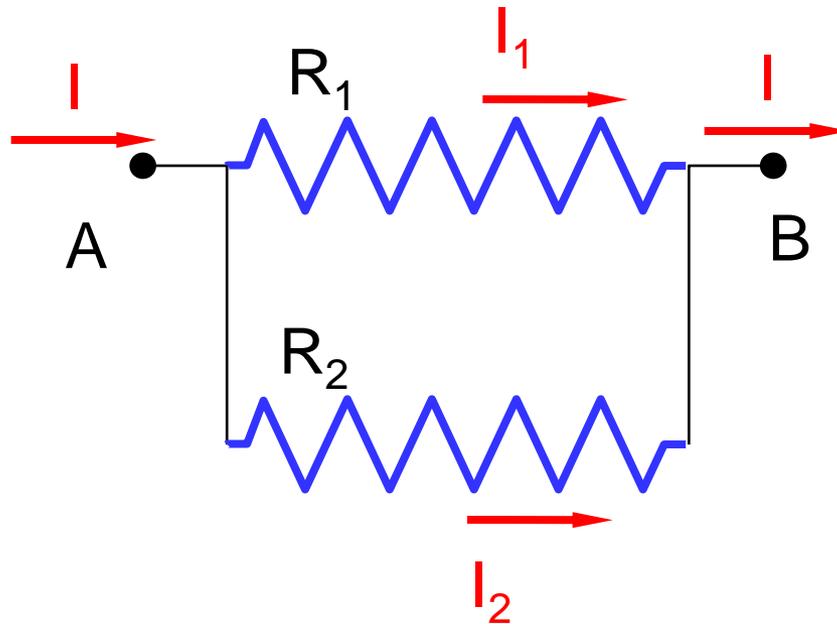


$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$

$$R_{eq} = \sum_{1}^{n} R_i$$

## Ley de Ohm: resistividad y resistencia eléctricas

Asociación de resistencias en paralelo: En este caso todas las resistencias están sometidas a la misma caída de potencial.



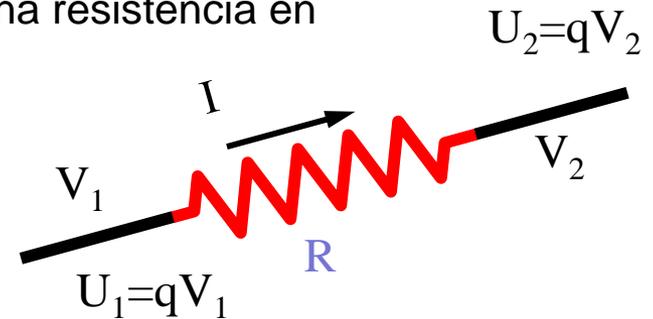
$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_1^n \frac{1}{R_i}$$

# Ley de Joule: Potencia y energía

**Ley de Joule:** Permite calcular la energía disipada por una resistencia en forma de calor.

Si durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$  por la resistencia  $R$  del circuito ha pasado la cantidad de carga  $\Delta Q$ , la variación de energía potencial que experimenta dicha cantidad de carga al pasar desde la entrada a la salida del circuito es:



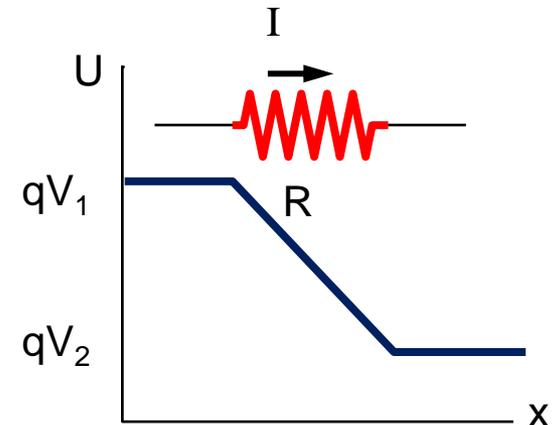
$$\Delta U = q\Delta V = q(V_2 - V_1) = qIR$$

Luego, la potencia disipada  $P$  (energía por unidad de tiempo) es:

$$dU = dqIR \quad P = \frac{dU}{dt} = \frac{dq}{dt}IR = I^2R$$

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

vatio (W)



La energía consumida por efecto Joule durante cierto tiempo  $t$  será:

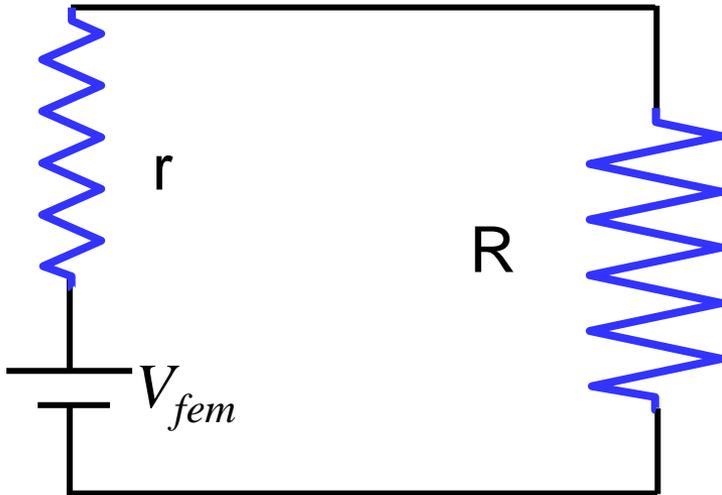
$$W = \int_0^t P(t) dt = Pt = RI^2t$$

Si  $P$  no depende de  $t$ .

# Fuerza electromotriz

## Fuerza electromotriz y baterías:

El dispositivo que suministra la energía eléctrica suficiente para que se produzca una corriente estacionaria en un conductor se llama fuente de fuerza electromotriz (fem). Convierte la energía química o mecánica en energía eléctrica



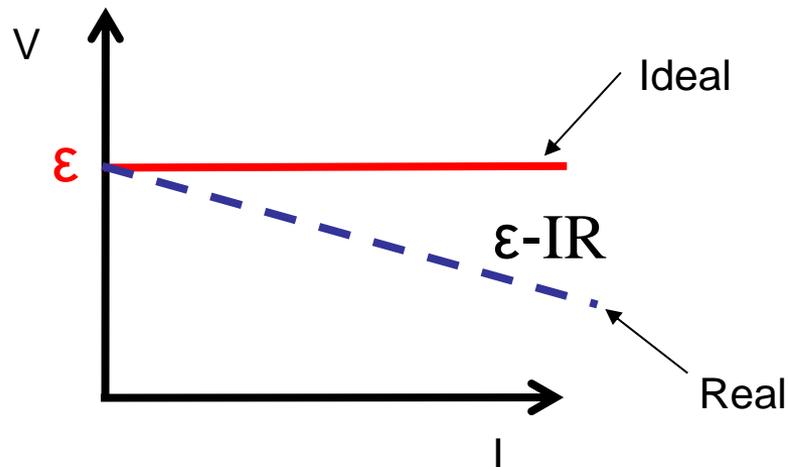
La fuente de fem realiza trabajo sobre la carga que la atraviesa, elevando su energía potencial en  $(q \Delta V)$ . Este trabajo por unidad de carga es suministrado por la fuerza electromotriz, fem, de la batería:

$$\varepsilon = \text{Fuerza Electro Motriz} = \Delta V_{fem}$$

# Fuerza electromotriz

**Fuente de fem ideal:** Mantiene constante la diferencia de potencial entre sus bornes e igual a  $\varepsilon$ , independientemente de donde esté conectada.

**Fuente de fem real:** La diferencia de potencial entre sus bornes disminuye con el aumento de la corriente al tener la fuente de potencial una resistencia interna  $r$ .



$$\Delta V = \varepsilon - I r$$

$r$  = Resistencia interna de la fuente de potencial.

La fem,  $\varepsilon$ , es la mayor diferencia de potencial que puede suministrar una fuente de potencial. Cuando una fuente de potencial se conecta a un dispositivo, la diferencia de potencial a la salida, *en bornes*, depende de la corriente que suministre  $I$ , la resistencia interna  $r$  y la fem  $\varepsilon$ .

