



TEMA 3. Corrientes eléctricas: Conductores y semiconductores

1. Introducción
2. Movimiento de cargas en un conductor
3. Ley de Ohm
4. Potencia eléctrica
5. Materiales semiconductores: características.
6. Corrientes en semiconductores
7. Dispositivos: diodo de unión y transistor de unión (BJT)



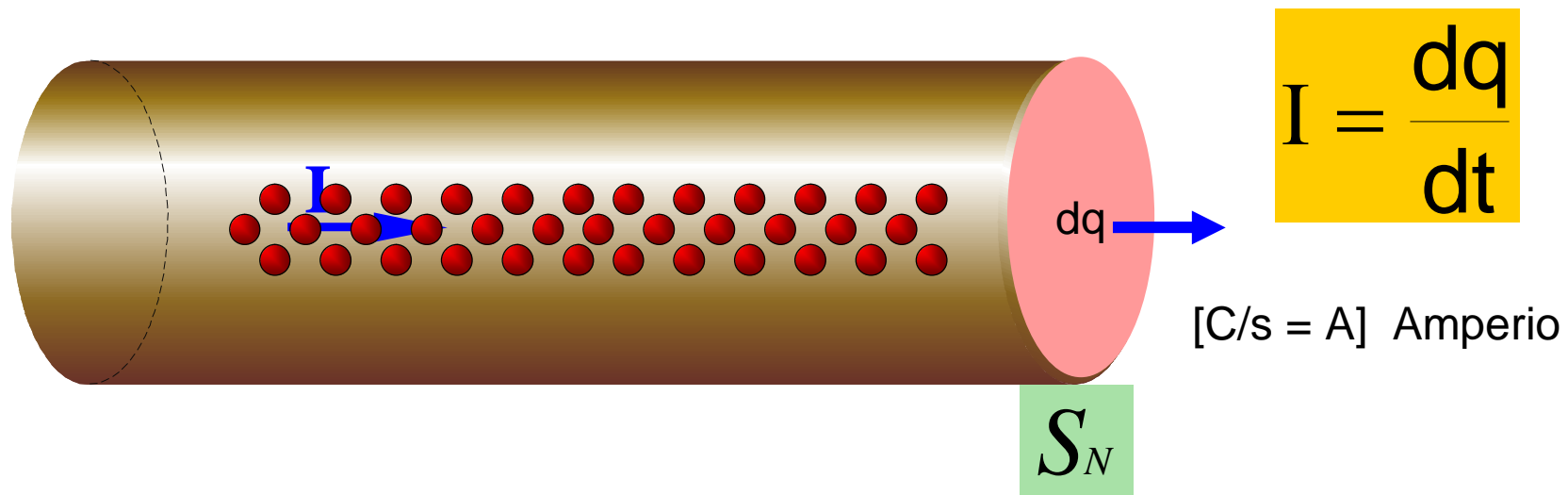


Introducción: Corriente eléctrica

- Una corriente eléctrica consiste en un flujo de partículas cargadas o iones:
 - Partículas cargadas en un acelerador
 - Iones en una solución electrolítica
 - Gas ionizado o plasma
 - Electrones en un conductor
 - Electrones y huecos en un semiconductor

Movimiento de cargas en un conductor: Intensidad de corriente

- La **intensidad de la corriente eléctrica I** , se define como la carga que pasa por unidad de tiempo a través de una sección (S_N) perpendicular a la dirección del movimiento de las cargas (en un circuito, sería a través de la sección del cable conductor).

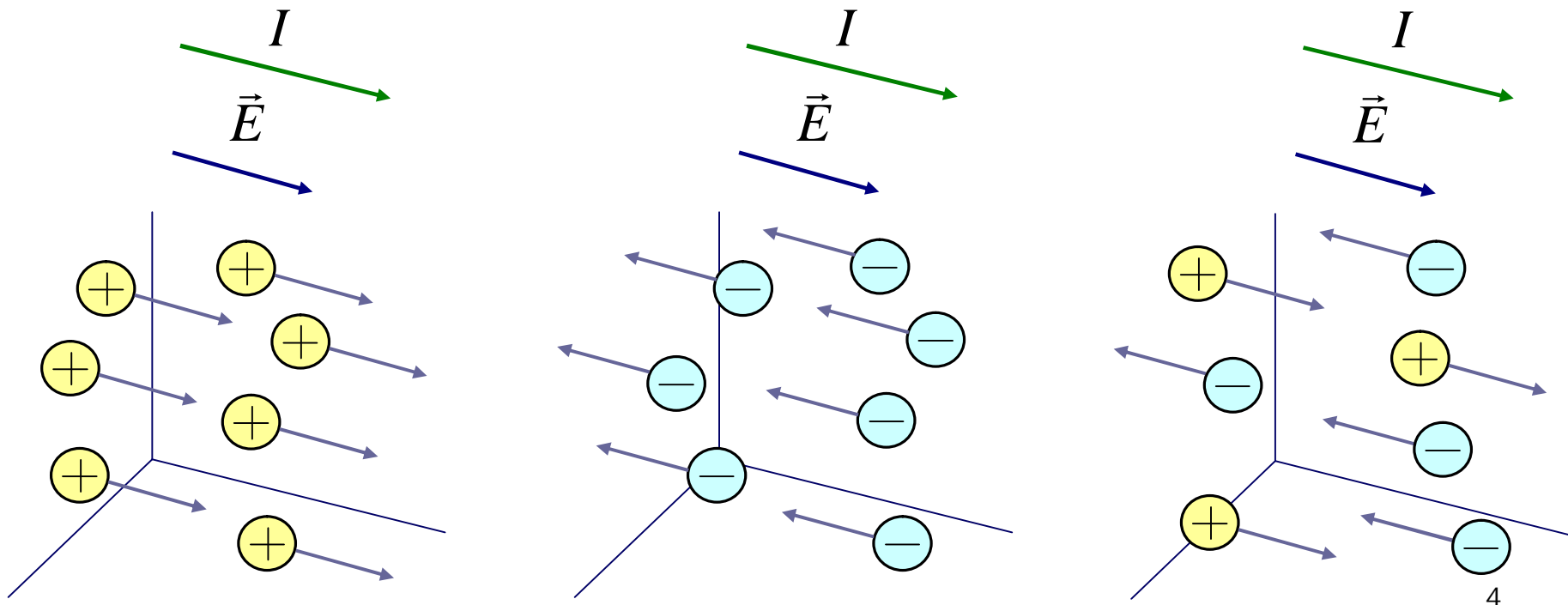


Intensidad de corriente

La intensidad de corriente eléctrica es un escalar, aunque se habla de sentido de la corriente.

Por convenio el del movimiento de portadores de carga positivos

El mismo el del campo eléctrico aplicado



Densidad de corriente

A partir de la intensidad podemos definir una magnitud, relacionada con el movimiento de cargas, con carácter vectorial e independiente de la sección

\vec{j} Densidad de corriente: es la corriente por unidad de área perpendicular al movimiento de cargas en el conductor

Módulo:

$$j = \frac{dI}{dS_n}$$

[A/m²]

dS_n : sección normal a la corriente

Dirección: La del movimiento de cargas

Sentido: El de desplazamiento de las cargas positivas

$$dI = j dS_n$$



$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

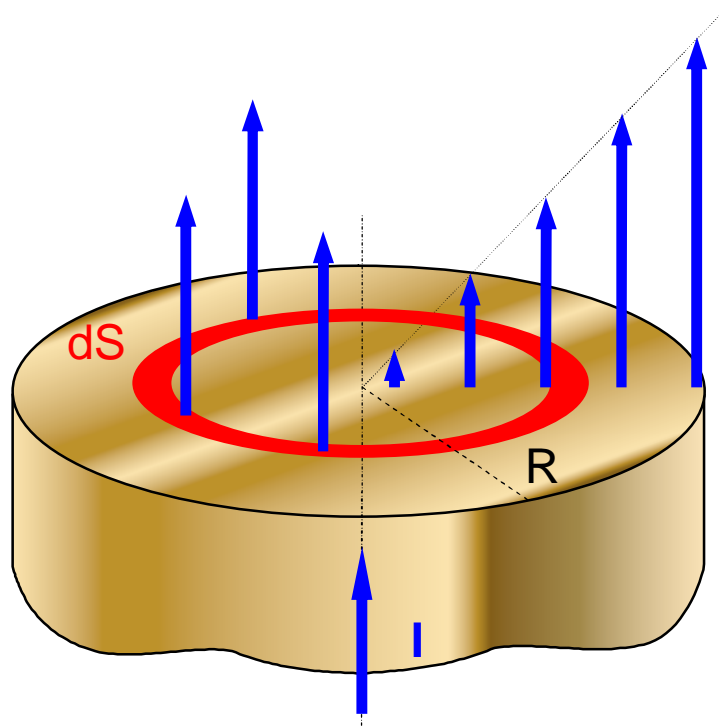
Densidad de corriente

ejercicio/ Cálculo de la corriente en un conductor para una densidad

de corriente variable:

$$\vec{j}(r) = j_0 \frac{r}{R}$$

$$dS = 2\pi r dr$$



$$dI = \vec{j}(r) \cdot d\vec{S}$$

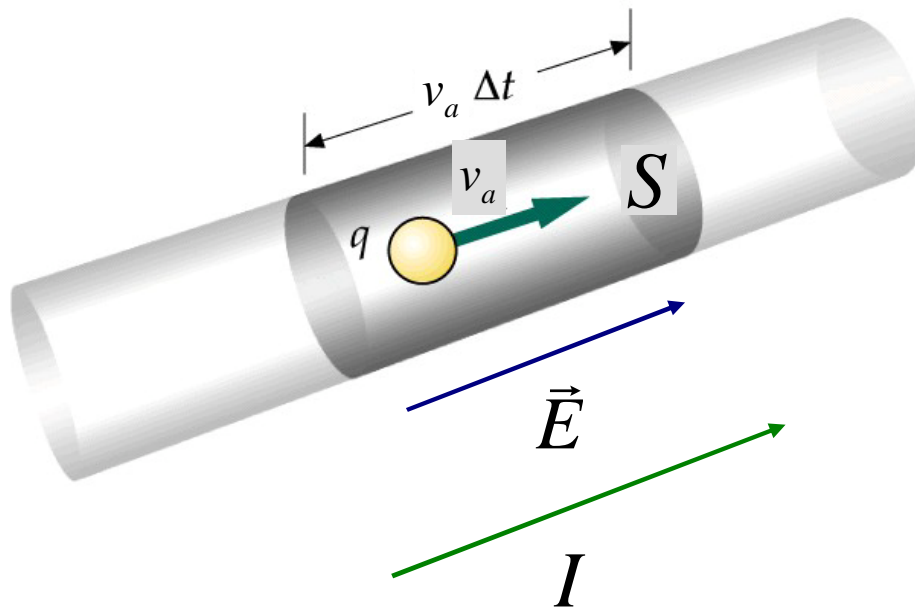
$$I = \int \vec{j}(r) \cdot d\vec{S} = \int_0^R j(r) \cdot 2\pi r dr =$$
$$\int_0^R j_0 \frac{r}{R} 2\pi r dr = \frac{2\pi j_0}{R} \int_0^R r^2 dr = \frac{2\pi j_0}{R} \frac{R^3}{3}$$

$$I = \frac{2}{3} \pi j_0 R^2$$

Densidad de corriente y velocidad de arrastre

Consideramos un **conductor cilíndrico de sección S** con \vec{j} uniforme:

- hay n partículas cargadas por unidad de volumen
- cada partícula cargada tiene carga q
- se mueven en la dirección de E con velocidad v_a (*velocidad de arrastre*)



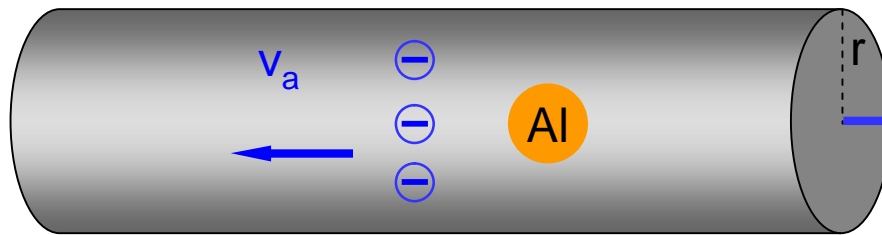
$$\left. \begin{array}{l} \Delta Q = nq \times \text{volumen} \\ \text{volumen} = S v_a \Delta t \end{array} \right\} \Delta Q = qnS v_a \Delta t$$

$$j = \frac{I}{S} = \frac{\Delta Q}{S \Delta t} = qn v_a$$

$$\boxed{\vec{j} = qn \vec{v}_a}$$

Densidad de corriente y velocidad de arrastre

ejercicio/ Cálculo de la velocidad de arrastre en un hilo de aluminio.



$$I = 20 \text{ A} ; r = 1.3 \text{ mm}$$

Aluminio (Al):

$$\text{densidad } \rho = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{p. atómico } A_r = 0.027 \text{ kg/mol}$$

densidad electrónica

nº de electrones libres por átomo

$$n_e = 3 \frac{\rho}{A_r} N_A = 3 \frac{2700}{0.027} 6.02 \cdot 10^{23} = 1.806 \cdot 10^{29} \text{ e}^-/\text{m}^3$$

densidad atómica

$$v_a = \frac{j}{n_e e} = \frac{\frac{20}{\pi (1.3 \cdot 10^{-3})^2} \frac{\text{A}}{\text{m}^2}}{1.806 \cdot 10^{29} \frac{\text{e}^-}{\text{m}^3} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{C}}{\text{e}^-}} = 0.13 \text{ mm/s} \cong 0,5 \text{ m/h}$$

Ley de Ohm. Resistencia

- Parece natural suponer que la intensidad de la corriente debe estar relacionada con el campo eléctrico aplicado (o lo que es lo mismo con el potencial eléctrico aplicado)
- Si aplicamos d.d.p. V a los extremos de un conductor, a temperatura constante, se produce una corriente I . El potencial eléctrico necesario para proporcionar una corriente dada depende de una propiedad del trozo de material utilizado como conductor
- Esta propiedad es su **resistencia eléctrica** R , que definimos como:

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



En el S.I. la resistencia R se mide en ohmios (Ω): $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$

Ley de Ohm. Resistencia

- Para muchos conductores su resistencia es independiente del potencial eléctrico aplicado, es decir la relación V/I se mantiene constante.

- **Ley de Ohm:**

$$V = R \cdot I \quad (\text{con } R \text{ constante})$$

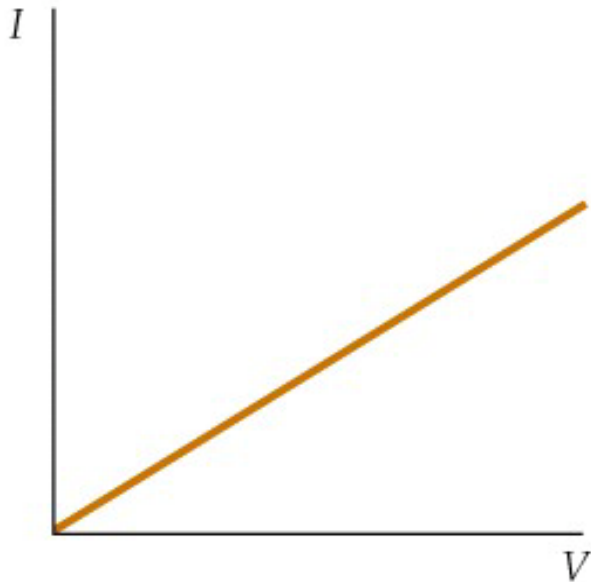


Georg Simon Ohm
(1787-1854)

- Los materiales que cumplen la Ley de Ohm se denominan **óhmicos**. Un conductor óhmico se caracteriza por tener un único valor de su resistencia para una temperatura dada.

Ley de Ohm. Resistencia

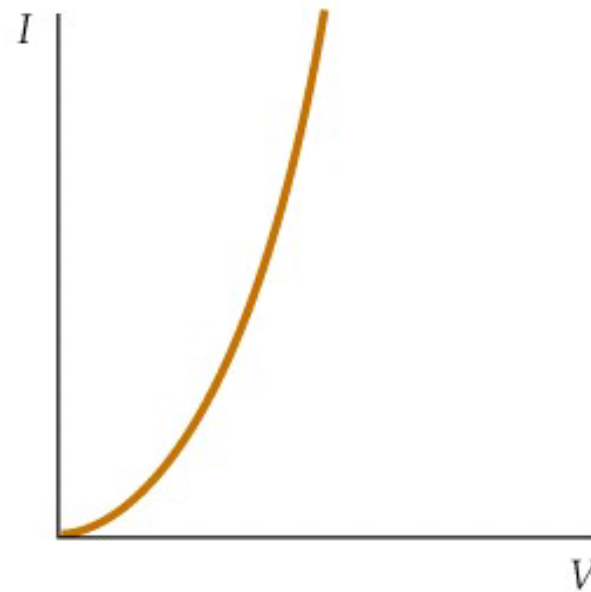
Conductores óhmicos



$$V = R I$$

R es constante

Conductores no óhmicos



$$V = R(I) I$$

En general, los conductores responden a la Ley de Ohm.

Ley de Ohm. Conductividad

Ley de Ohm

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

considero conductor cilíndrico

al que aplicamos V

- Si j uniforme en todo el volumen

$$\left. \begin{array}{l} I = j S \\ V = E l \end{array} \right\} \longrightarrow j S = \frac{E l}{R}$$

$$j = \frac{l}{S R} E;$$

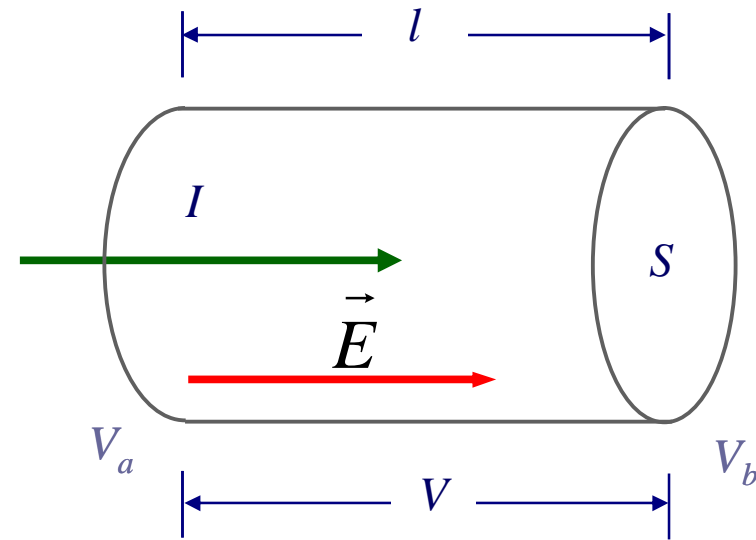
$$\boxed{\vec{j} = \sigma \vec{E}}$$

Ley de Ohm vectorial (microscópica)

$$\boxed{\sigma = \frac{l}{S R}}$$

conductividad eléctrica (característica de cada material)

En el S.I. σ se mide en $(\Omega\text{m})^{-1}$



$$j = \sigma E$$

Ley de Ohm. Conductividad

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

Ley de Ohm vectorial (microscópica)

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

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

resistividad eléctrica (característica de cada material)

En el S.I. σ se mide en Ωm

$$R = \frac{l}{\sigma S} = \rho \frac{l}{S}$$

R magnitud macroscópica. Depende:

- Del material (resistividad)
- De la geometría del conductor (l , S)

Ley de Ohm. Conductividad

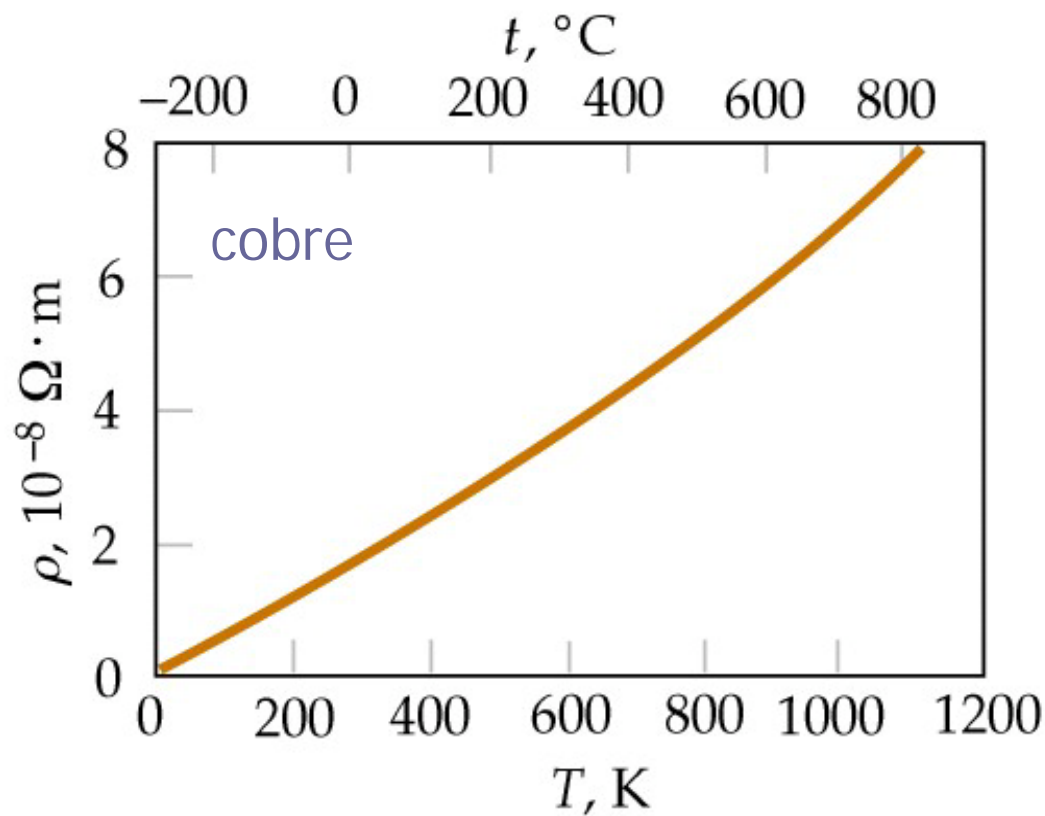
Conductividades eléctricas a temperatura ambiente

Sustancia	σ ($\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$)	Sustancia	σ ($\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$)
Metales		Semiconductores	
Cobre	5.81×10^7	Carbono	2.8×10^4
Plata	6.14×10^7	Germanio	2.2×10^{-2}
Aluminio	3.54×10^7	Silicio	1.6×10^{-5}
Hierro	1.53×10^7	Aislantes	
Tungsteno	1.82×10^7	Vidrio	10^{-10} a 10^{-14}
Aleaciones		Lucita	$< 10^{-13}$
Manganina	2.27×10^6	Mica	10^{-11} a 10^{-15}
Constantán	2.04×10^6	Cuarzo	1.33×10^{-18}
Nicromo	1.00×10^6	Teflón	$< 10^{-13}$

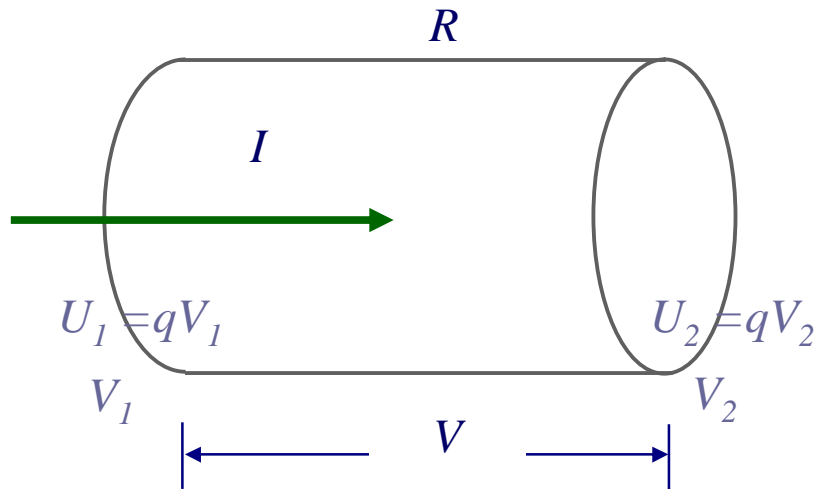
Ley de Ohm. Conductividad

La resistividad ρ depende de la temperatura

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha(t - 20))$$



Potencia eléctrica. Ley de Joule



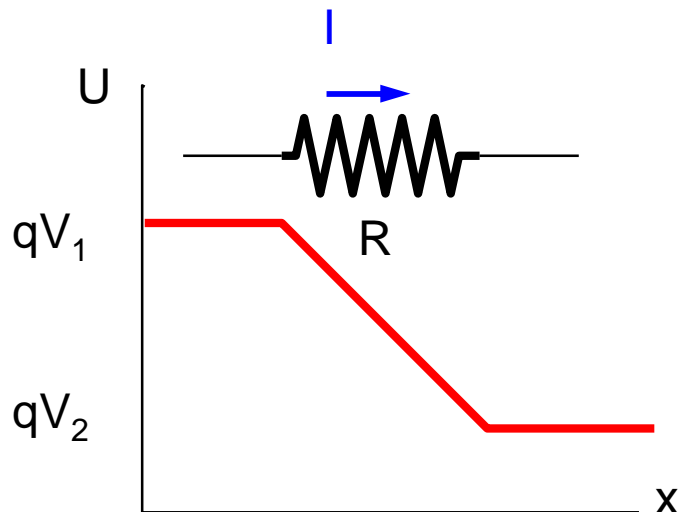
$$\Delta U = q\Delta V = q(V_2 - V_1) = qV$$

$$dU = dqV \quad P = \frac{dU}{dt} = \frac{dq}{dt}V = IV$$

Es necesario aportar energía para mantener una corriente circulando

$$P = IV$$

Potencia: vatio (W)



Expresión particular para conductor óhmico (Ley de Ohm):

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