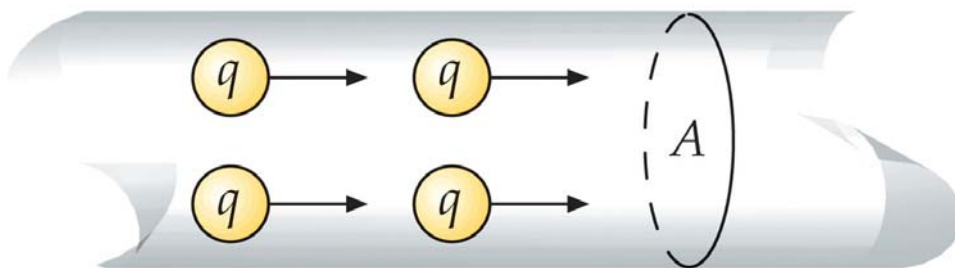


Capítulo 4:
Circuitos de corriente continua



$$I_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

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

Corriente promedio: carga que pasa por A por unidad de tiempo

Corriente Instantánea

[I] = C/s = A (Ampere)

$$\vec{J} = q \mathbf{n} \vec{v}_d$$

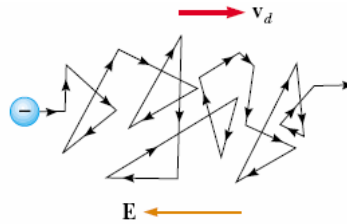
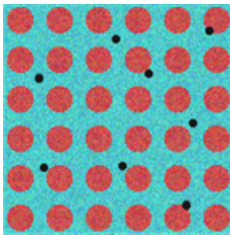
$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

Ley de Ohm



George Simon Ohm (1789-1854)

Modelo microscópico para la conducción eléctrica



$$\mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m_e}$$

$$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t = \mathbf{v}_i + \frac{q\mathbf{E}}{m_e} t$$

$$\bar{\mathbf{v}}_f = \mathbf{v}_d = \frac{q\mathbf{E}}{m_e} \tau$$

$$\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d = \frac{nq^2E}{m_e} \tau$$

$$\sigma = \frac{nq^2\tau}{m_e} \text{ conductividad eléctrica}$$

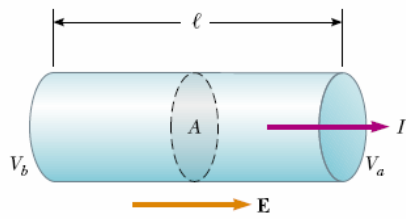
tiempo entre choques

$$\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$$

Ley de Ohm

relación empírica válida para ciertos materiales

Otro forma de la ley útil para aplicaciones prácticas:



$$\Delta V = V_b - V_a$$

$$\Delta V = E\ell$$

$$J = \sigma E = \sigma \frac{\Delta V}{\ell}$$

$$\Delta V = \frac{\ell}{\sigma} J = \left(\frac{\ell}{\sigma A} \right) I = RI$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e}{nq^2\tau}$$

resistividad eléctrica

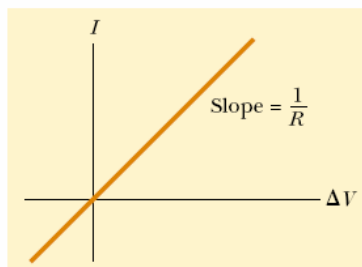
$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

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

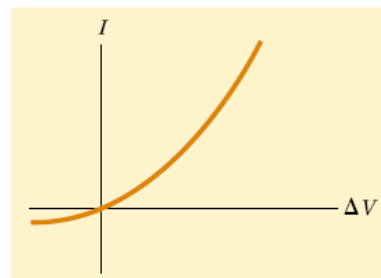
Ley de Ohm

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

Ley de Ohm



material ohmico



material no-ohmico
(ej.: diodo)

Símbolo:



$$[R] = V/A = \Omega \text{ (Ohm)}$$

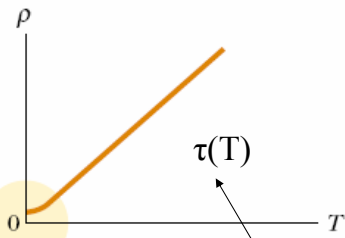
Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity ^a ($\Omega \cdot m$)	Temperature Coefficient ^b α [($^{\circ}C$) ⁻¹]
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome ^c	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\sim 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

^a All values at 20°C.

^b See Section 27.4.

^c A nickel–chromium alloy commonly used in heating elements.



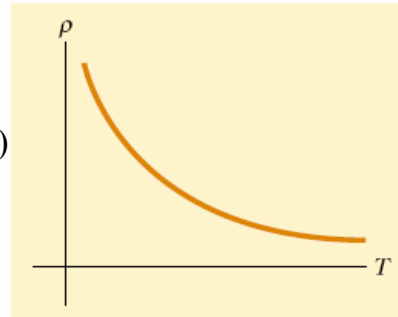
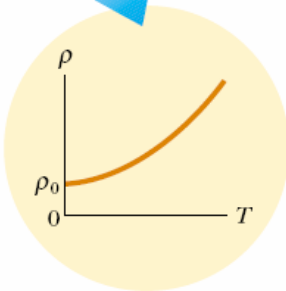
Metales

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

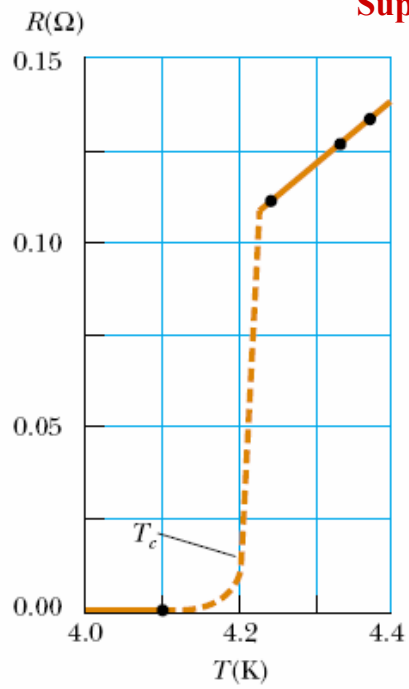
$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$\sigma = \frac{nq^2\tau}{m_e}$$

Semiconductores



Superconductores

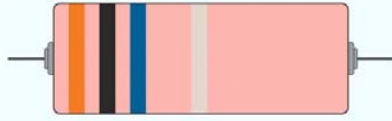


Critical Temperatures for Various Superconductors

Material	$T_c(K)$
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	134
Tl-Ba-Ca-Cu-O	125
Bi-Sr-Ca-Cu-O	105
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	92
Nb ₃ Ge	23.2
Nb ₃ Sn	18.05
Nb	9.46
Pb	7.18
Hg	4.15
Sn	3.72
Al	1.19
Zn	0.88



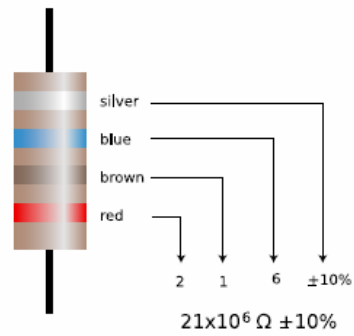
Código de colores



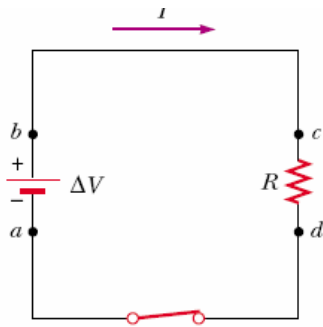
Color Coding for Resistors

Color	Number	Multiplier	Tolerance
Black	0	1	
Brown	1	10^1	
Red	2	10^2	
Orange	3	10^3	
Yellow	4	10^4	
Green	5	10^5	
Blue	6	10^6	
Violet	7	10^7	
Gray	8	10^8	
White	9	10^9	
Gold		10^{-1}	5%
Silver		10^{-2}	10%
Colorless			20%

Primer dígito
Segundo dígito
Multiplicador
Tolerancia



Ley de Joule



Energía Química → Energía Eléctrica → Energía Térmica

Mantener una corriente requiere un gasto de energía

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt} (Q\Delta V) = \frac{dQ}{dt} \Delta V = I\Delta V$$

$$\mathcal{P} = I\Delta V$$

$$\mathcal{P} = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

Ley de Joule

$$[\mathcal{P}] = \text{V} \cdot \text{A} = \text{A}^2 \cdot \Omega = \text{V}^2 / \Omega = \text{W (watt)}$$

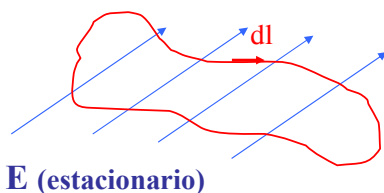
Fuerza Electromotriz



La fuerza electromotriz (**fem**) es el trabajo necesario para desplazar la unidad de carga a lo largo de una trayectoria cerrada.

$$fem = \epsilon = \oint_c \vec{E}_{ef} \cdot d\vec{l}$$

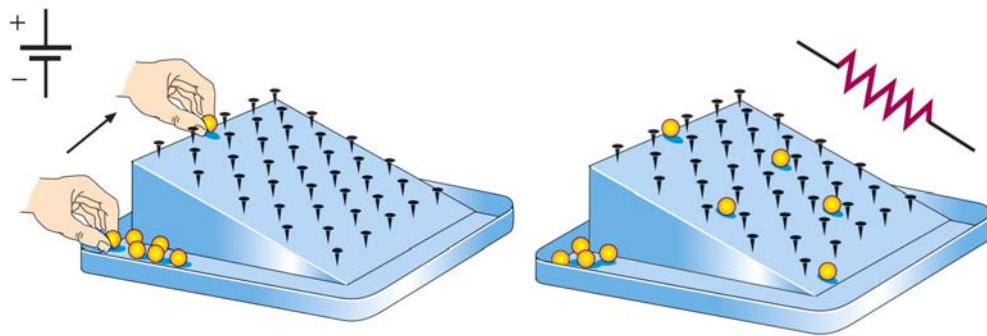
$$[\epsilon] = V$$



$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

Un campo eléctrico estacionario no puede mantener una corriente en un circuito cerrado

Se denomina fuente de **fem** a cualquier fuente, medio o dispositivo que origina un campo eléctrico y produce una corriente eléctrica en un circuito cerrado.



Análogo mecánico de fem y resistencia

Pilas y Baterías

energía química → eléctrica



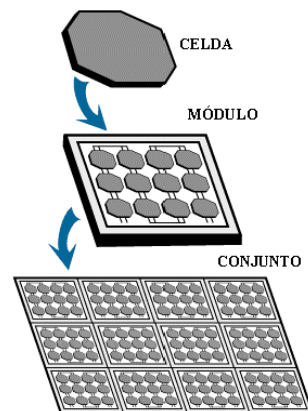
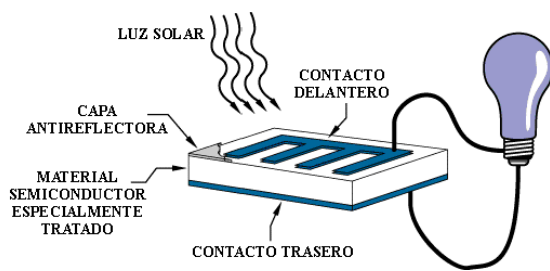
Generadores y Dínamos

energía mecánica → eléctrica

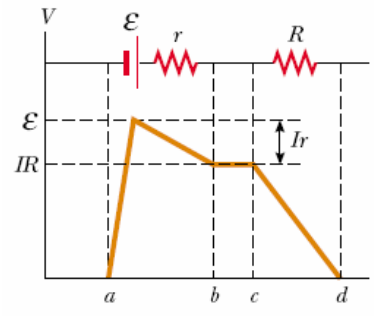
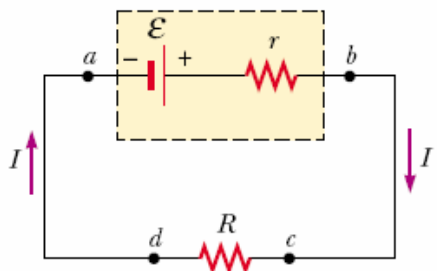
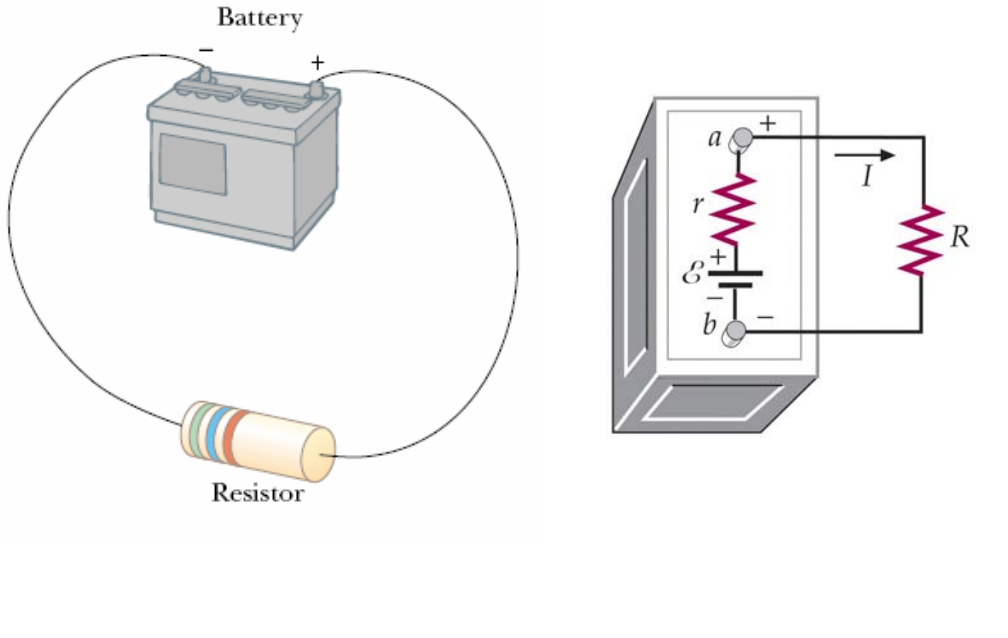


Celdas Fotovoltaicas

energía solar → eléctrica



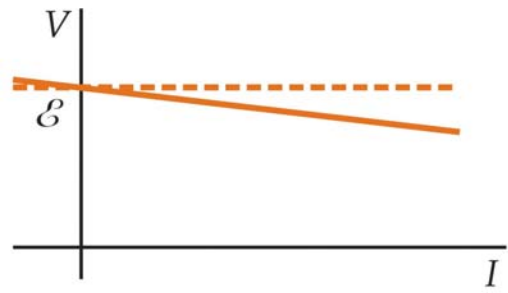
Resistencia interna de una fuente de fem



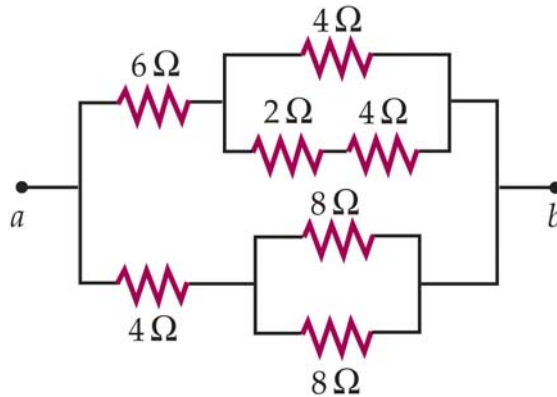
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad \mathcal{E} = IR + Ir$$

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir$$

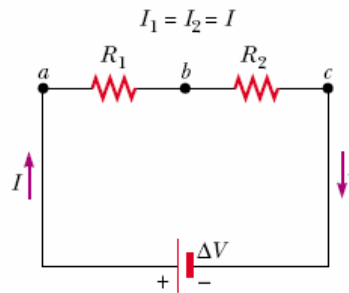
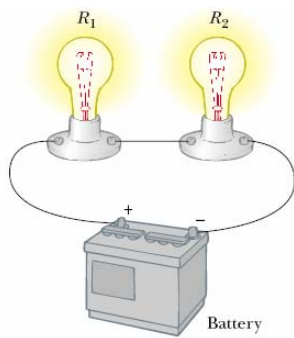
$$I\mathcal{E} = I^2R + I^2r$$



Combinación de Resistencias



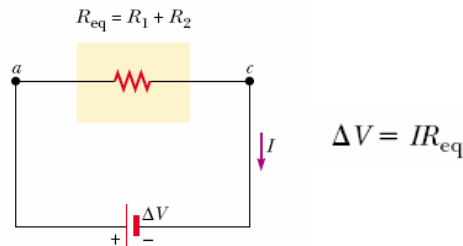
Resistencias en serie



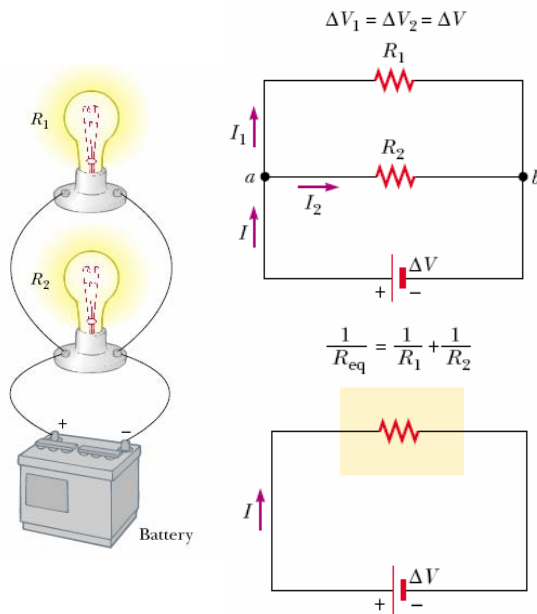
$$\Delta V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$\Delta V = IR_{eq} = I(R_1 + R_2) \longrightarrow R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$



Resistencias en paralelo



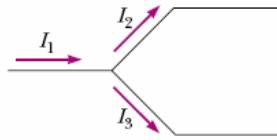
Leyes de Kirchhoff



Gustav Kirchhoff (1824-1887)

Primera ley de Kirchhoff

La suma de las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las corrientes que salen.



$$I_1 = I_2 + I_3$$

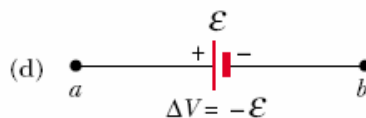
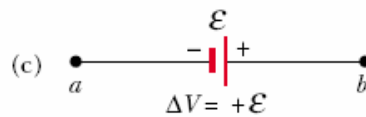
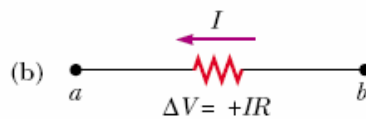
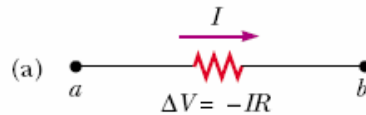
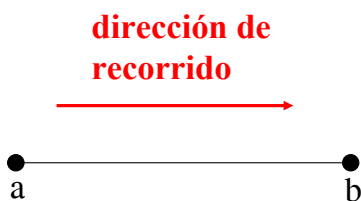
$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}}$$

Segunda ley de Kirchhoff

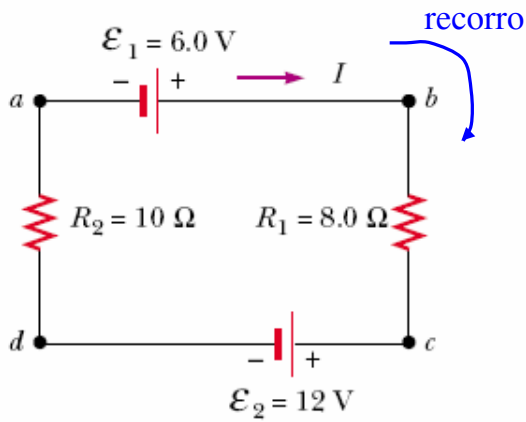
La suma de las diferencias de potencial a través de todos los elementos en cualquier lazo cerrado (o malla) de un circuito es cero.

$$\sum_{\text{closed loop}} \Delta V = 0$$

Convenio de signos



Circuito con una sola malla



1) Asigno un sentido a I

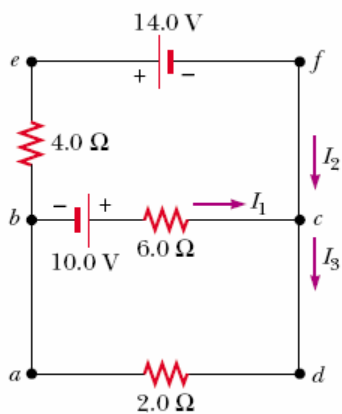
$$\sum \Delta V = 0$$

$$\mathcal{E}_1 - IR_1 - \mathcal{E}_2 - IR_2 = 0$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2} = \frac{6.0 \text{ V} - 12 \text{ V}}{8.0 \Omega + 10 \Omega} = -0.33 \text{ A}$$

$I < 0 \implies$ sentido opuesto al asignado

Circuito con dos mallas



$$I_1 + I_2 = I_3$$

abcd

$$10.0 \text{ V} - (6.0 \Omega)I_1 - (2.0 \Omega)I_3 = 0$$

befcb

$$-14.0 \text{ V} + (6.0 \Omega)I_1 - 10.0 \text{ V} - (4.0 \Omega)I_2 = 0$$

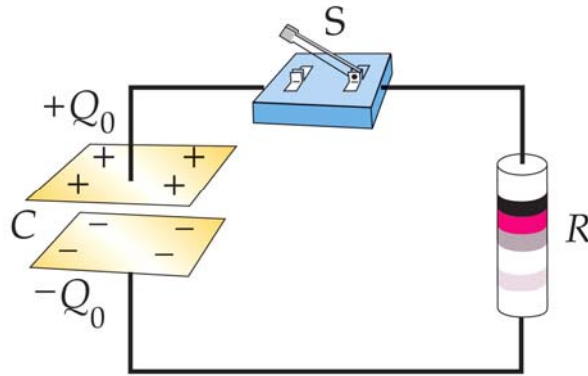
$$I_1 = 2.0 \text{ A}$$

$$I_2 = -3.0 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = -1.0 \text{ A}$$

Sentido I_2 I_3 opuestos a los indicados

Circuitos RC



Carga de un capacitor

(a)

(b) $t < 0$

(c) $t > 0$

$$\mathcal{E} - \frac{q}{C} - IR = 0 \quad \xrightarrow{I = dq/dt} \quad \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC}$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{C\mathcal{E}}{RC} - \frac{q}{RC} = -\frac{q - C\mathcal{E}}{RC}$$

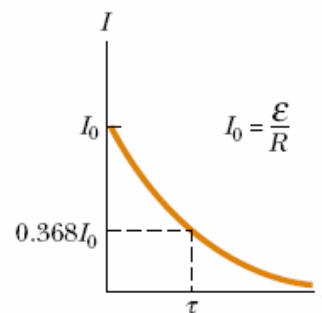
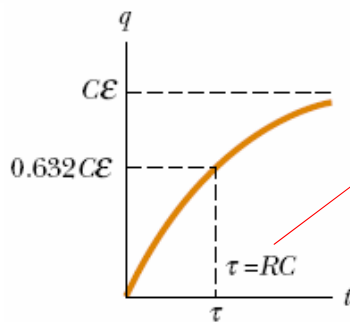
$$\frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{1}{RC} dt$$

$$\int_0^q \frac{dq}{(q - C\mathcal{E})} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

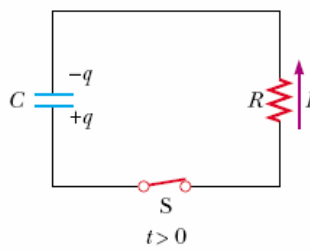
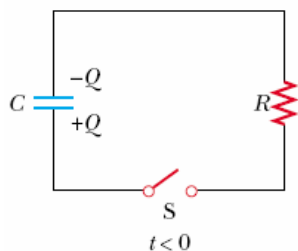
$$\ln\left(\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Llamamos: $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$ $Q = C\mathcal{E}$

$$q(t) = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q(1 - e^{-t/RC}) \implies I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}$$



Descarga de un capacitor



$$-\frac{q}{C} - IR = 0$$

$$I = -\frac{dq}{dt}$$

$$-R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C}$$

$$\int_Q^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

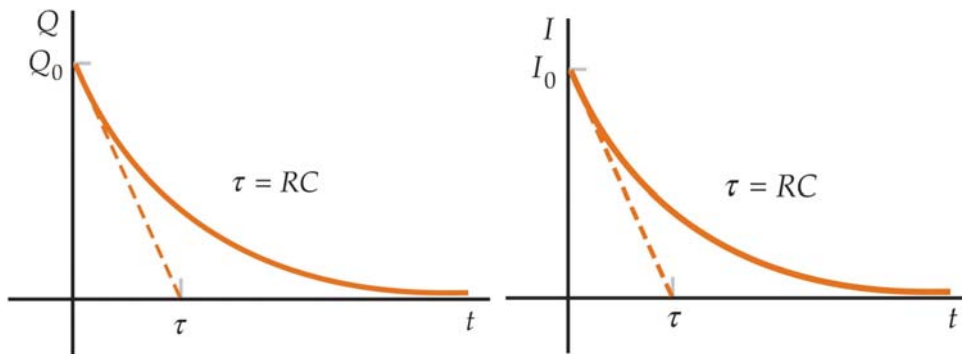
$$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$$

$$\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$

$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$

$$I(t) = \frac{-dq}{dt} = \frac{-d}{dt} (Qe^{-t/RC}) = \frac{Q}{RC} e^{-t/RC}$$



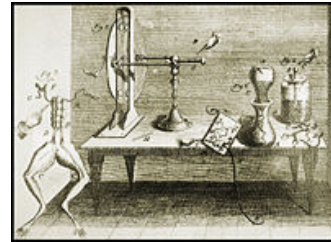
Electroquímica (Pilas y Baterías)



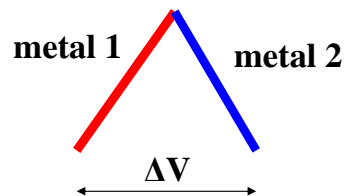


Luigi Galvani (1737-1798)

Electricidad animal

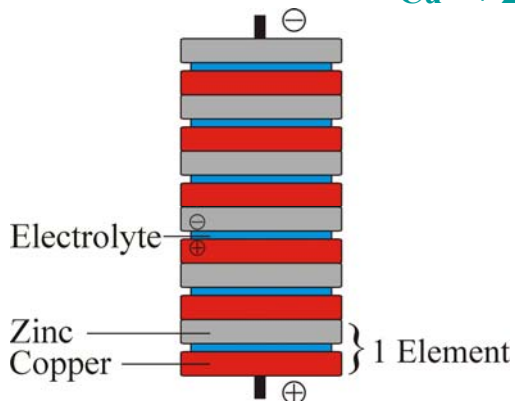


Mientras disecaba una pata de rana, su bisturí tocó accidentalmente un gancho de bronce del que colgaba la pata. Se produjo una pequeña descarga, y la pata se contrajo espontáneamente.



Alessandro Volta (1745-1827)

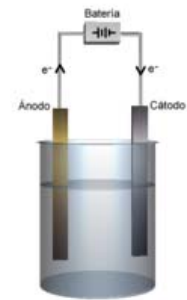
Pila de Volta: Apilamiento de discos de cinc y cobre, separados por discos de cartón humedecidos con un electrolito.



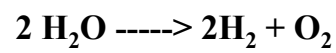


Michael Faraday (1791-1867)

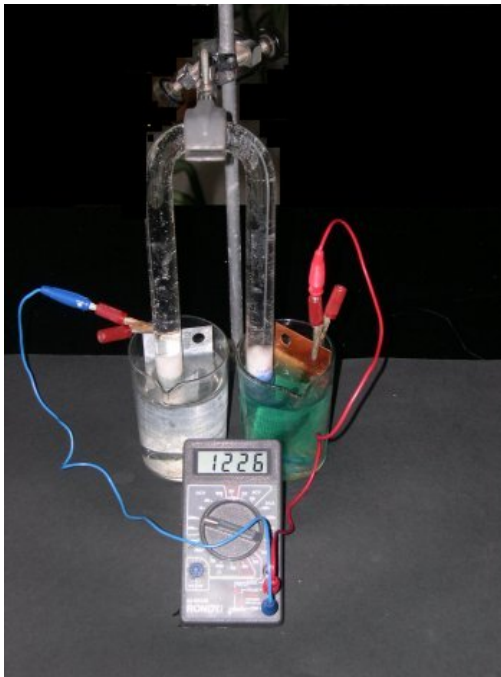
Electrólisis: consiste en la descomposición mediante una corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos.



Ejemplo:
electrólisis del agua

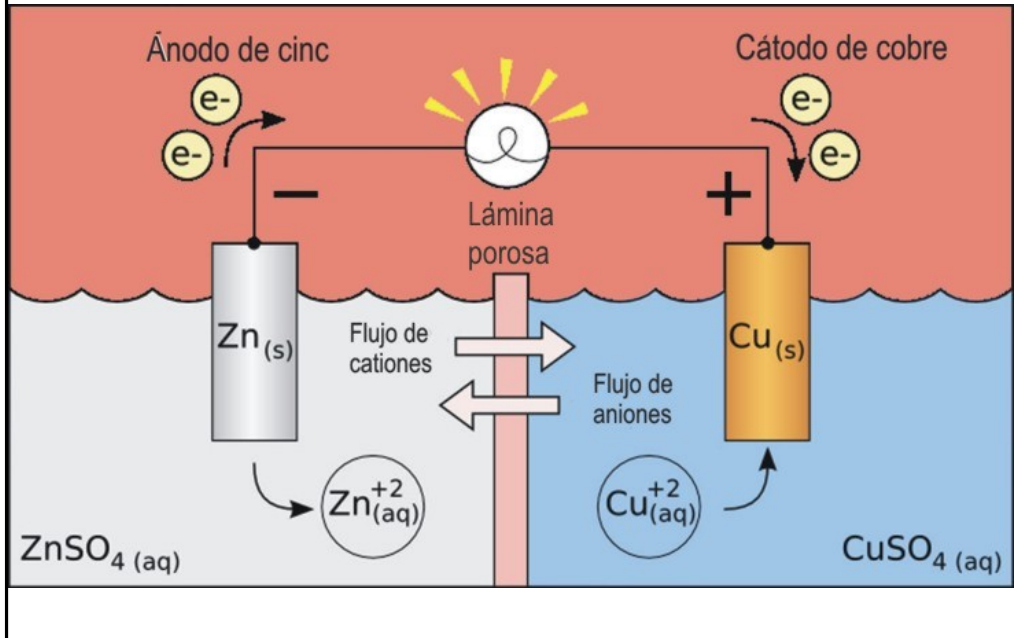


Proceso inverso



John Daniell (1790-1845)

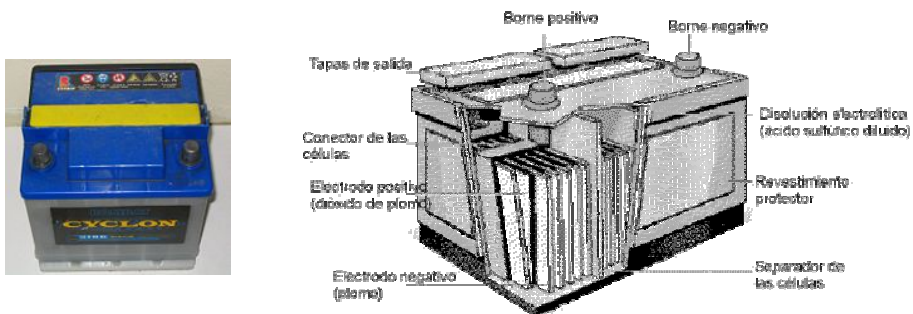
Pila de Daniell



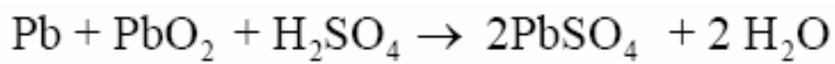
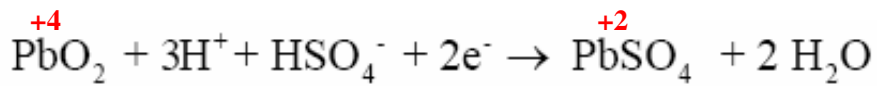
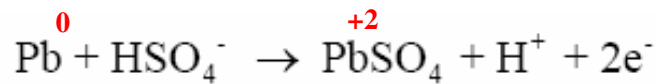
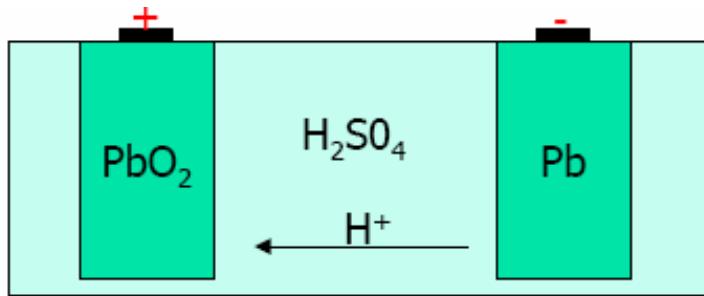
Batería de un automóvil

Electrodos: plomo,
Electrolito: solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo ($PbSO_4$) incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb).



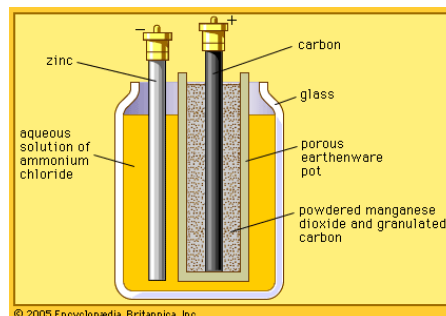
Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo es reducido a plomo metálico en el polo negativo, mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2).



Pila de Leclanché



En 1866, George Leclanché inventa en Francia la “pila seca” (Zinc-Dióxido de Manganese).



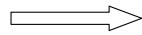
© 2005 Encyclopædia Britannica, Inc.

ánodo: Zn - cátodo: $\text{MnO}_2 + \text{C}$ - electrolito: $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$

ánodo: $\text{Zn} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

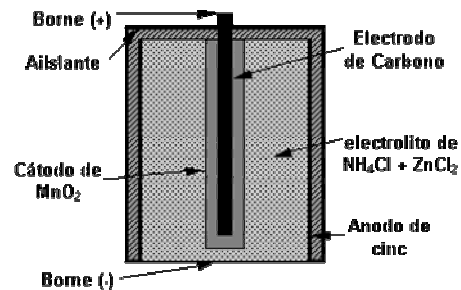
cátodo: $\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{MnO} + 2\text{OH}^-$

Pila seca



Se estabiliza el electrolito con una sustancia gelatinosa

La pila seca que se utiliza hoy es muy similar al invento original. El electrolito es una pasta consistente en una mezcla de cloruro de amonio y cloruro de cinc. El electrodo negativo es de cinc, igual que la parte exterior de la pila, y el electrodo positivo es una varilla de carbono rodeada por una mezcla de carbono y dióxido de manganeso.



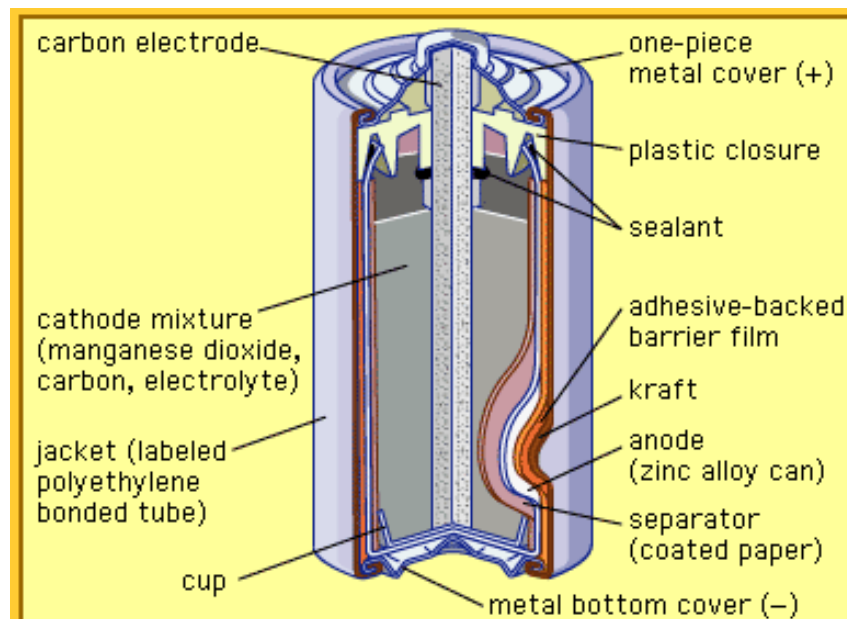
Anodo:



Cátodo:

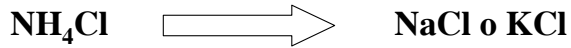


Reacción Global:



© 2005 Encyclopædia Britannica, Inc.

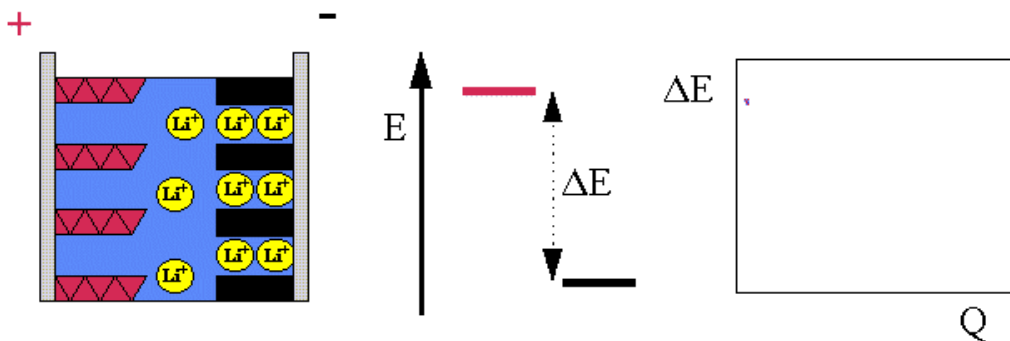
Pilas alcalinas (larga vida)



Duran más porque el zinc no está expuesto a un ambiente ácido como el que provocan los iones amonio en la pila convencional. Como los iones se mueven más fácilmente a través del electrolito, produce más potencia y una corriente más estable.

Baterías de litio

Emplea como electrolito una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. Las propiedades de las baterías de Li-ion, como la ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, han permitido el diseño de acumuladores livianos, de pequeño tamaño y variadas formas, con un alto rendimiento.



Celda de combustible

Está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos; es decir, produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería.

