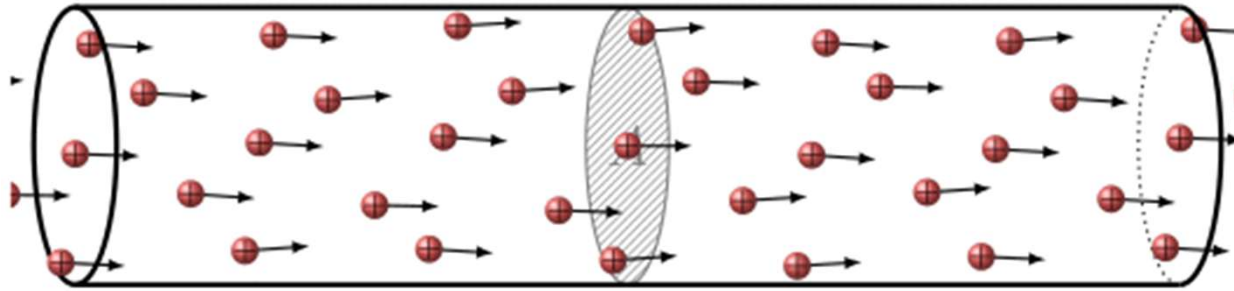


Corrientes estacionarias y circuitos

Corriente eléctrica

- Carga en movimiento



- La corriente I por un cable es la cantidad de carga que atraviesa la sección transversal en un punto fijo por unidad de tiempo.
- Se expresa en Ampères: $A = C/s$
- J es la densidad superficial de corriente $J = \frac{I}{A}$ y se expresa en A/m^2

Densidad de corriente y corriente

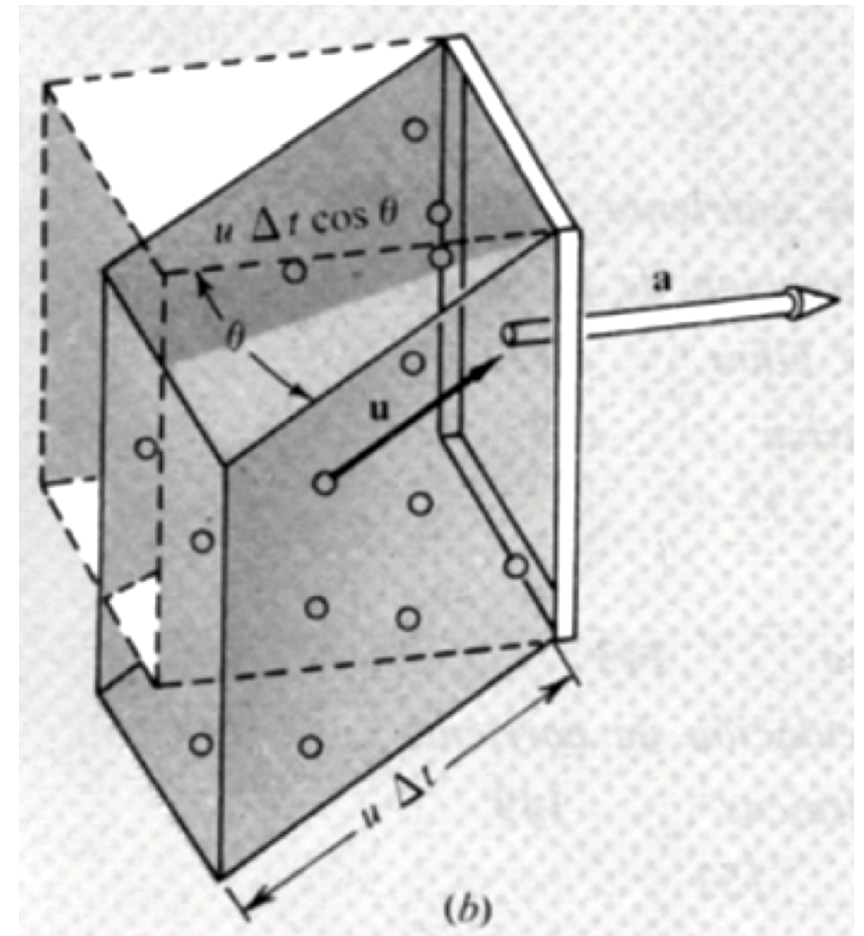
- En realidad importan las velocidades medias en una porción del espacio
- Para un portador de carga k , n_k cantidad de portadores por unidad de volumen

$$\vec{J}_k = n_k q_k \langle \vec{v}_k \rangle$$

- Entonces, si tengo muchas especies 'k'

$$\vec{J} = \sum_k \vec{J}_k$$

$$I = \int_A \vec{J} \cdot \vec{da}$$



Corriente estacionaria y conservación de la carga

- Una corriente estacionaria es aquella cuyo campo $\vec{J}$ no depende del tiempo en cada punto del espacio donde ocurre.
- Como vimos hoy, la divergencia de un campo permitía ver si había manantiales o sumideros de campo.
- El campo de densidad de corriente debe cumplir la conservación de la carga. Esta se escribe

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Esto quiere decir que el flujo saliente de cargas va a ir vaciando el diferencial de volumen de ellas, mientras que el flujo entrante contribuye a la acumulación de carga en el lugar.

Corrientes estacionarias

- En esta parte del curso nos centraremos en corrientes que no varían en el tiempo.
- Para la conservación de la carga, esto implica:

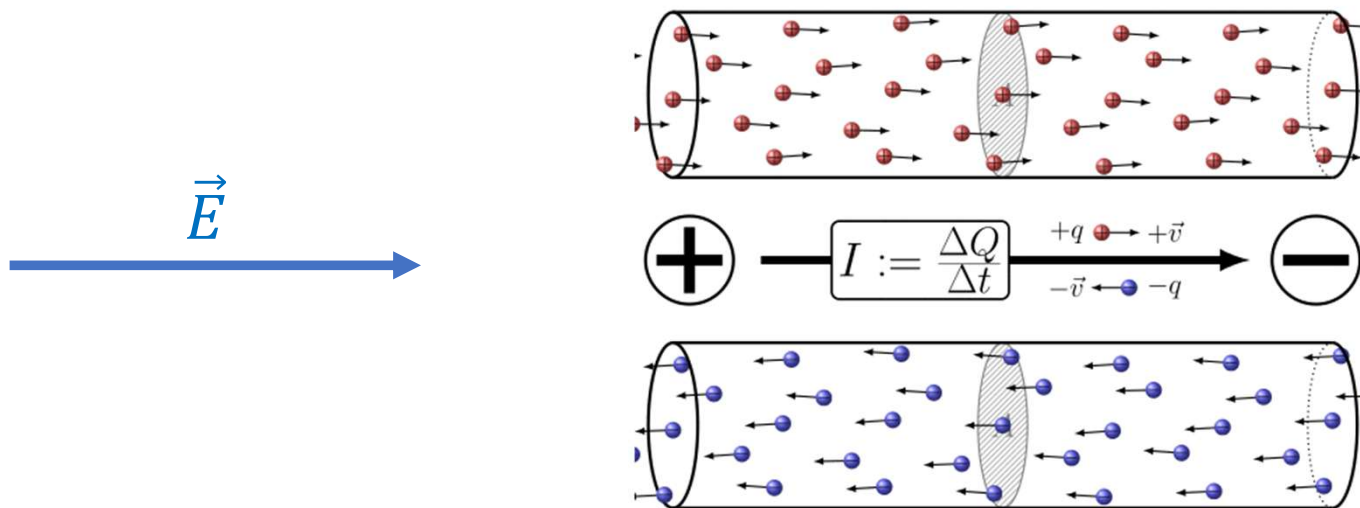
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0$$

En todo punto del espacio

En otras palabras, toda carga que llega a un punto, continúa hacia otro lado

Transporte de carga

- El agente más común para producir y mantener el transporte de carga es el campo eléctrico.
- El campo eléctrico mueve a los portadores de signos distintos en distintos sentidos



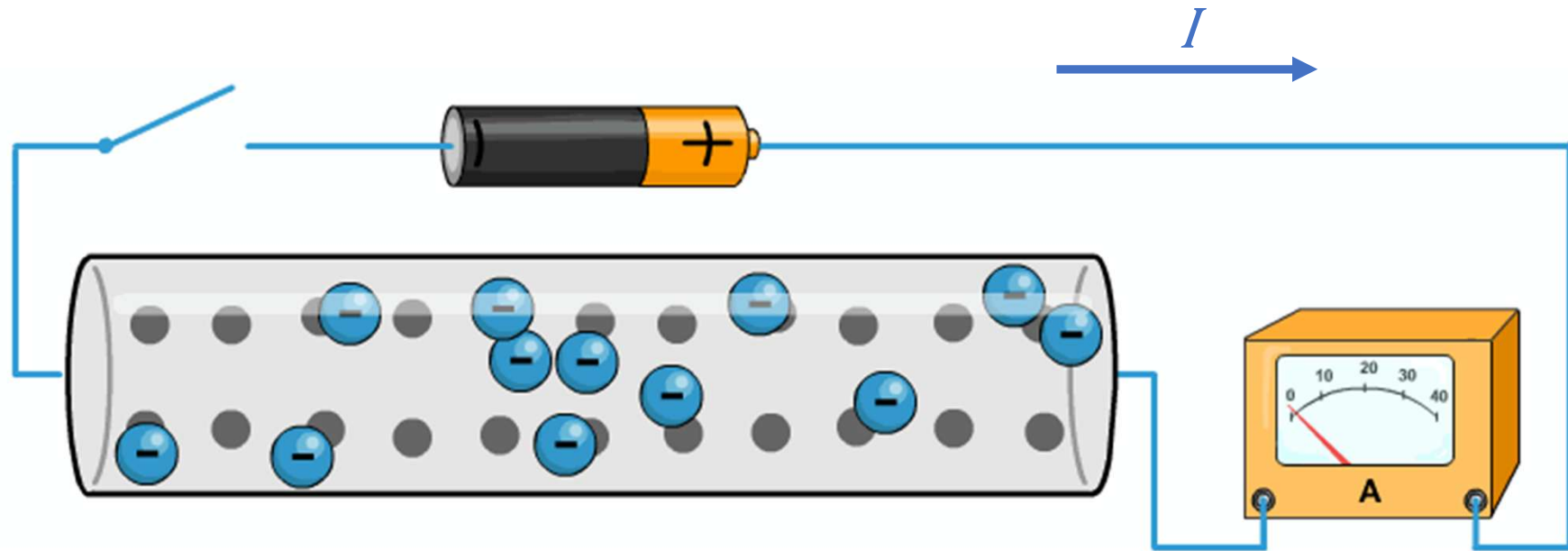
Ley de Ohm

- Es una relación lineal empírica entre el $\vec{E}$ y $\vec{J}$ que se cumple para muchos materiales en un rango muy amplio de intensidades de campo.

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

- σ es la conductividad del material
 - Constante en un rango determinado de condiciones
 - Es un escalar cuando el medio es isotrópico (no tiene en su estructura ninguna dirección privilegiada)

Corriente en un conductor



Los electrones libres en la banda de conducción circulan en respuesta a la diferencia de potencial entre los extremos del circuito mantenida por la batería, mientras que los núcleos del material conductor se mantienen quietos. Fijarse en el sentido de I !!

Ley de Ohm

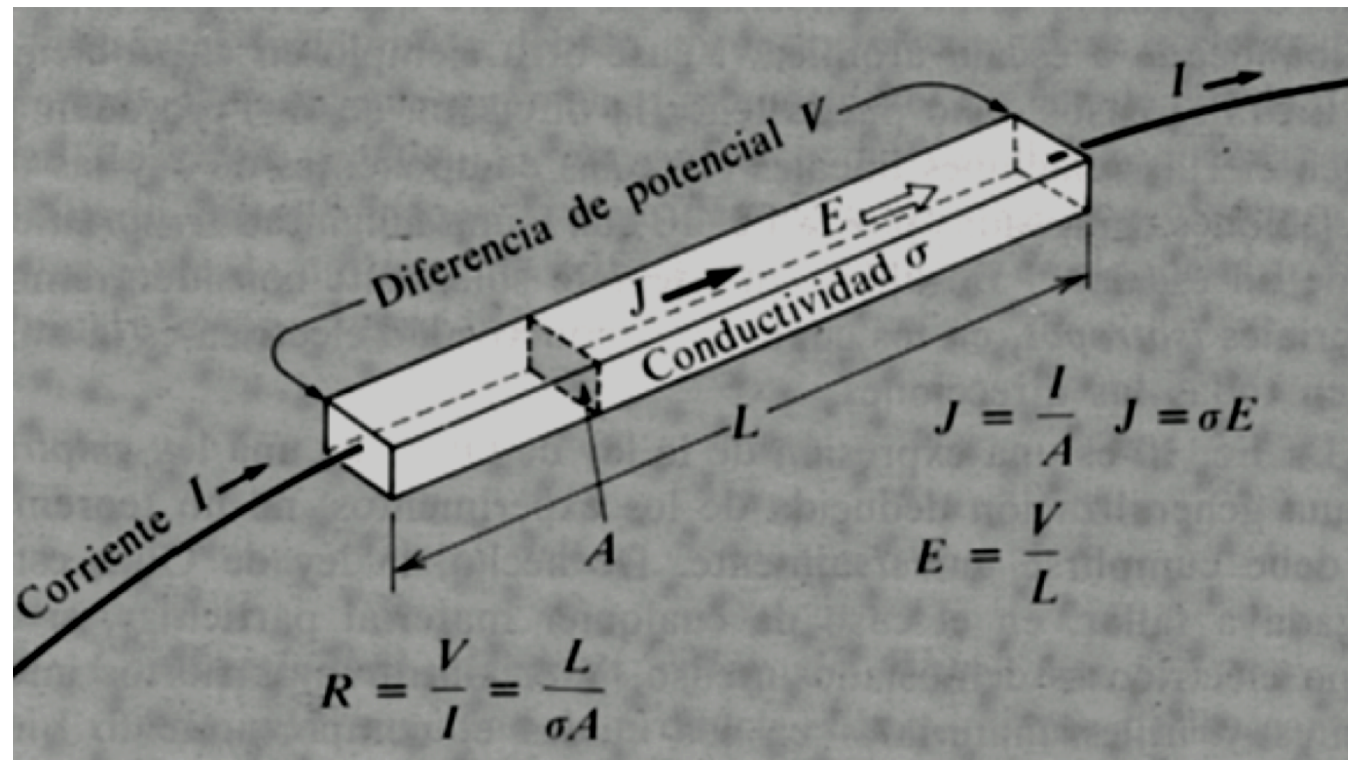
- Vamos a usar otra versión de la misma Ley de Ohm que relaciona a I y la diferencia de potencial V

$$V = IR$$

- R es la resistencia del conductor entre los dos terminales que están a una diferencia de potencial V .
- La unidad SI de R es el Ohm ($\Omega = \frac{V}{A}$)

Conductividad de una varilla conductora

- Sea una varilla de maciza de sección recta de área A y longitud L entre sus extremos.
- Una corriente estacionaria I circula a lo largo de la varilla.
- Entre los extremos hay una diferencia de potencial V .



Conductividad de una varilla conductora

- Dentro de la varilla, la densidad de corriente es

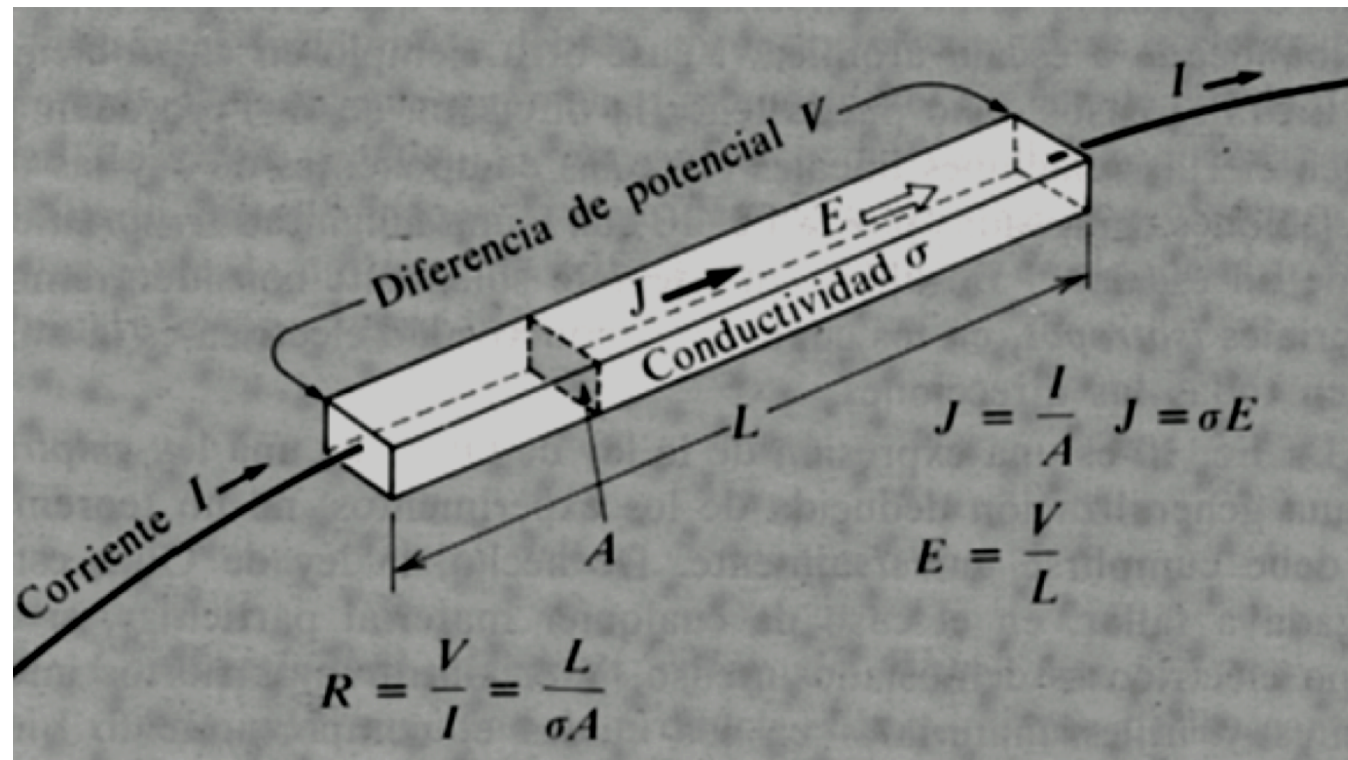
$$J = \frac{I}{A}$$

- El campo eléctrico es

$$E = \frac{V}{L}$$

- Entonces

$$R = \frac{V}{I} = \frac{LE}{AJ} = \frac{L}{A\sigma}$$



Conductividad y resistividad

- La conductividad σ tiene unidades de corriente por unidad de área dividido unidad de campo eléctrico. En el sistema SI:

$$[\sigma] = \frac{\frac{A}{m^2}}{\frac{V}{m}} = \frac{A}{Vm} = \frac{1}{\Omega m}$$

Conductividad y resistividad

- Entonces,

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

- La inversa de la conductividad es la resistividad $\rho = \frac{1}{\sigma}$

$$[\rho] = \frac{\frac{V}{A}}{\frac{m}{m^2}} = \frac{Vm}{A} = \Omega m$$

Disipación de la energía en una resistencia

- Sea $\vec{F}$ una fuerza para mover un portador de carga q en un campo $\vec{E}$
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

- El trabajo de $\vec{F}$ por unidad de tiempo es (suponiéndola estacionaria)

$$\frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} = q\vec{E} \cdot \vec{v}$$

- La energía potencial es transformada de este modo en calor y $P = \frac{dW}{dt}$ es la potencia disipada.

Disipación de la energía en una resistencia

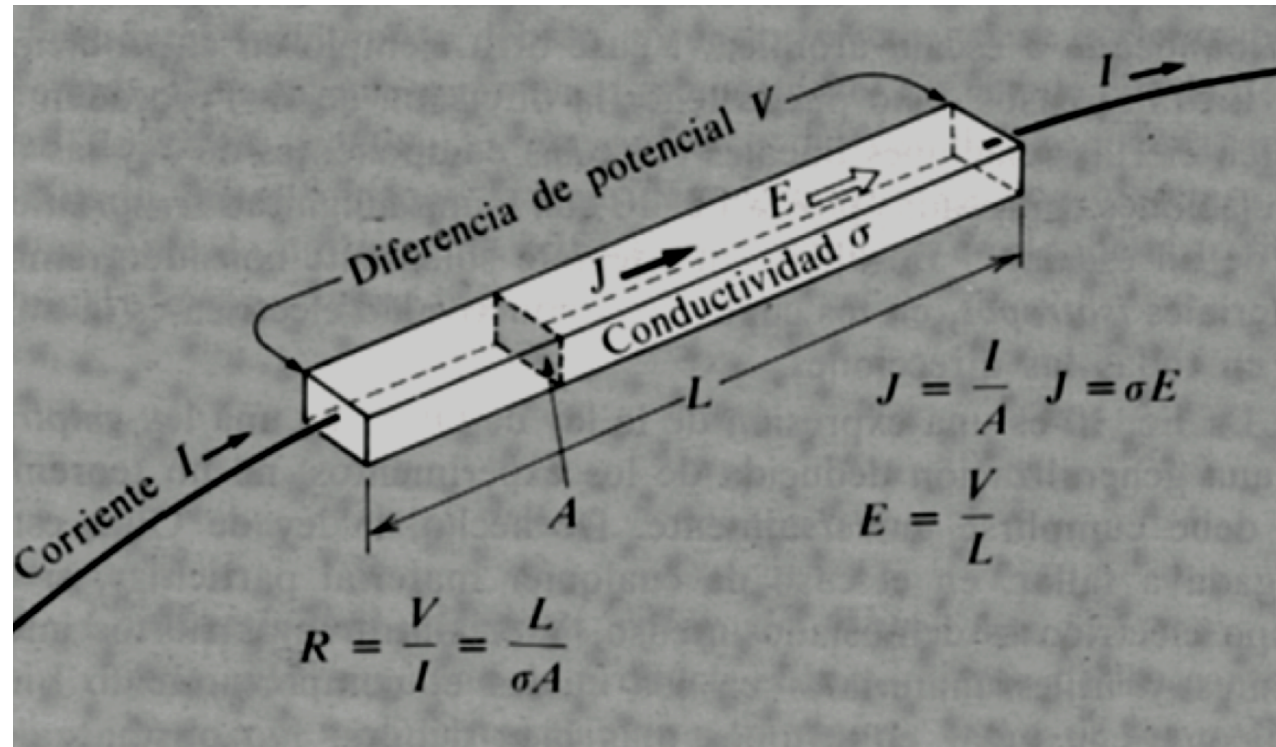
- Entonces en una dimensión y suponiendo que en Δt pasan N portadores de carga q por el área A

$$P = NqEv$$

donde $\Delta L = v \Delta t$

- Entonces por ley de Ohm

$$P = \frac{Nq\rho J\Delta L}{\Delta t}$$



Disipación de la energía en una resistencia

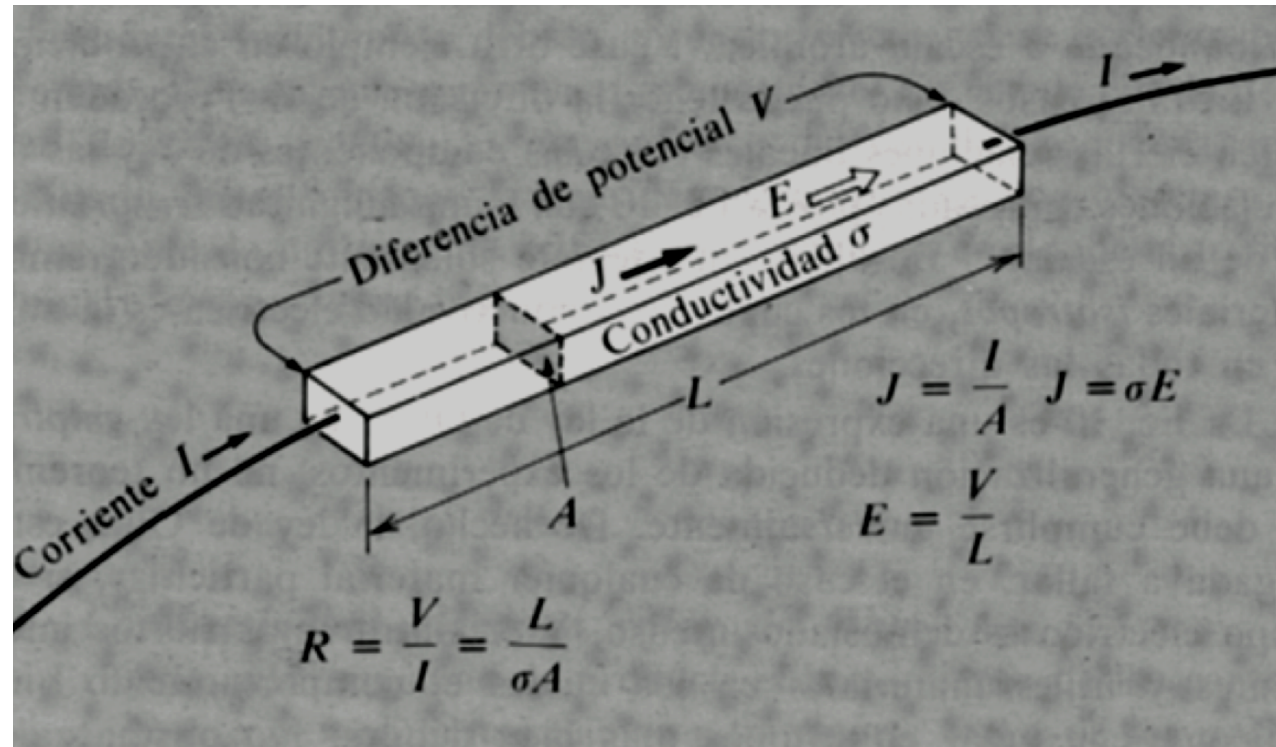
- Entonces como

$$I = \frac{Nq}{\Delta t} \text{ y } J = \frac{I}{A}$$

$$P = \frac{I^2 \rho \Delta L}{A}$$

- Lo que equivale a

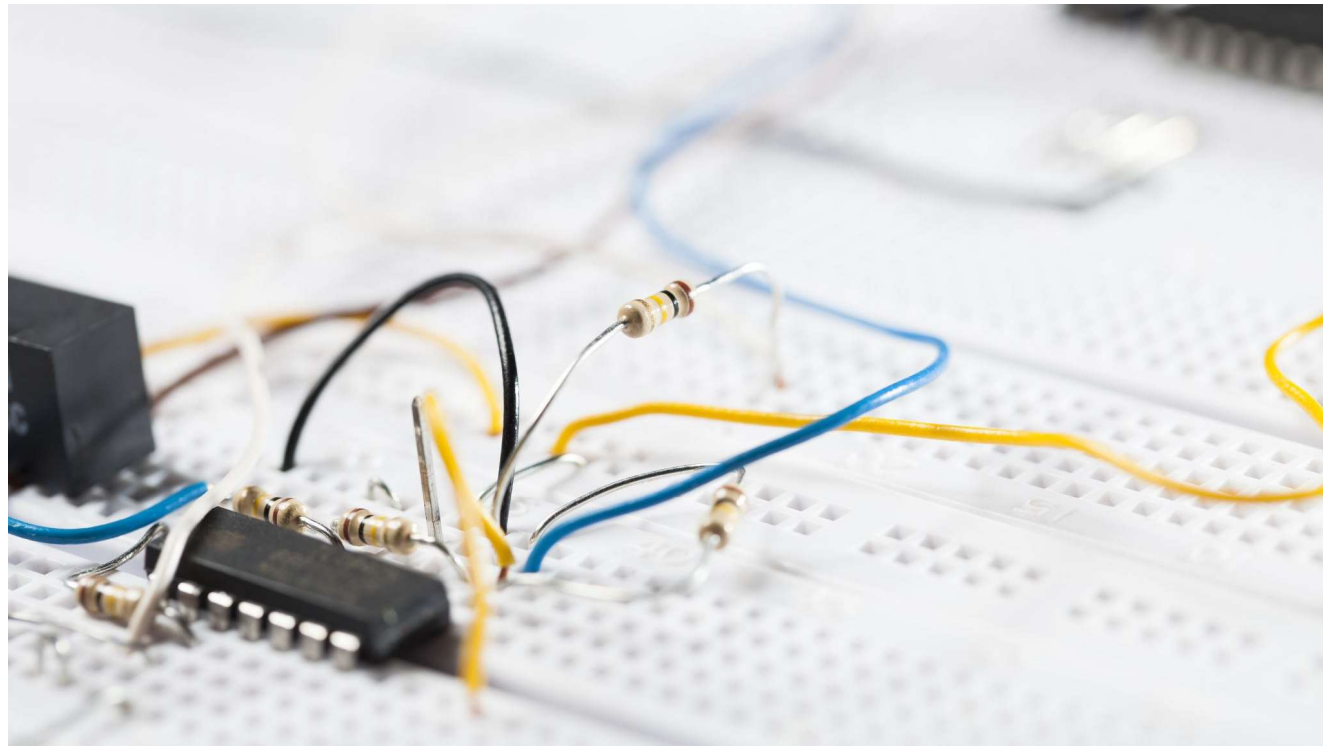
$$P = I^2 R$$



La potencia P o energía disipada por unidad de tiempo en SI se mide en Watts

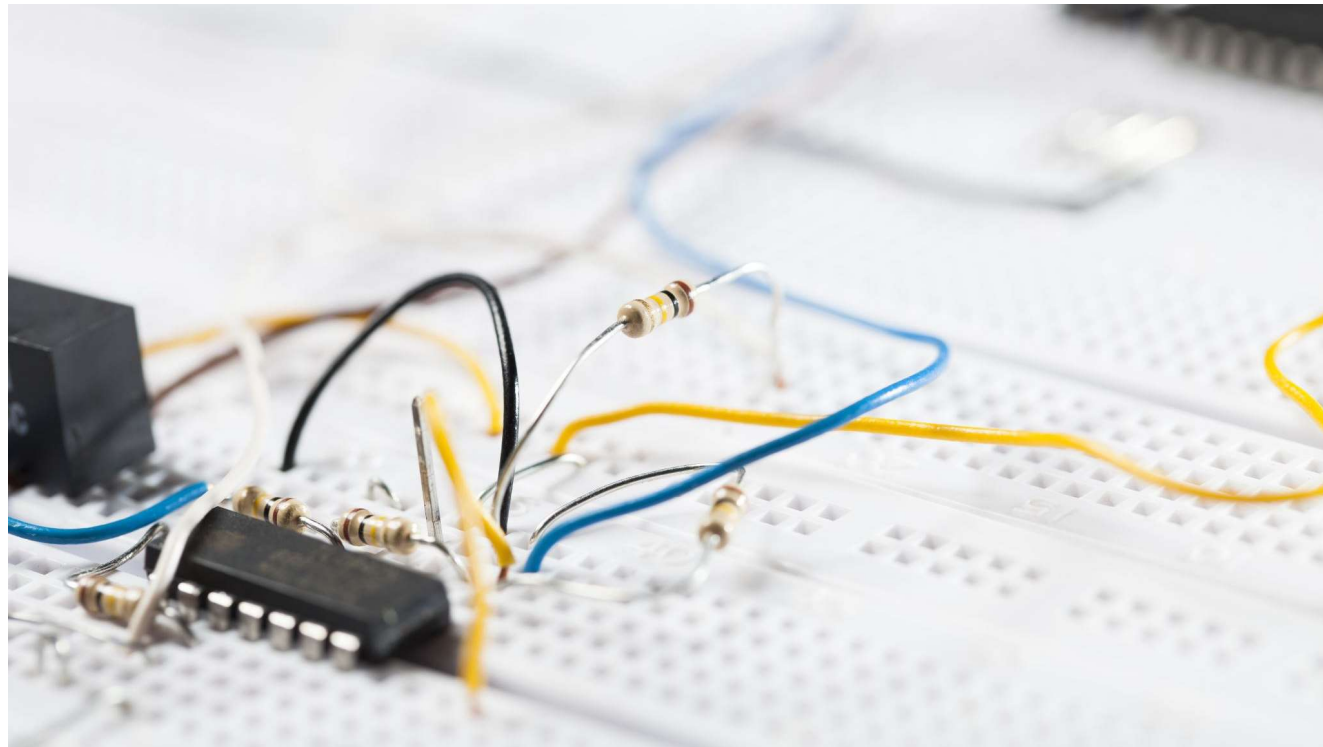
Circuitos

- Un circuito o red eléctrica es una agrupación de elementos unidos unos a otros por conductores de resistencia despreciable (cables).
- La corriente circula por el movida por una fuerza electromotriz.



Elementos de un Circuito

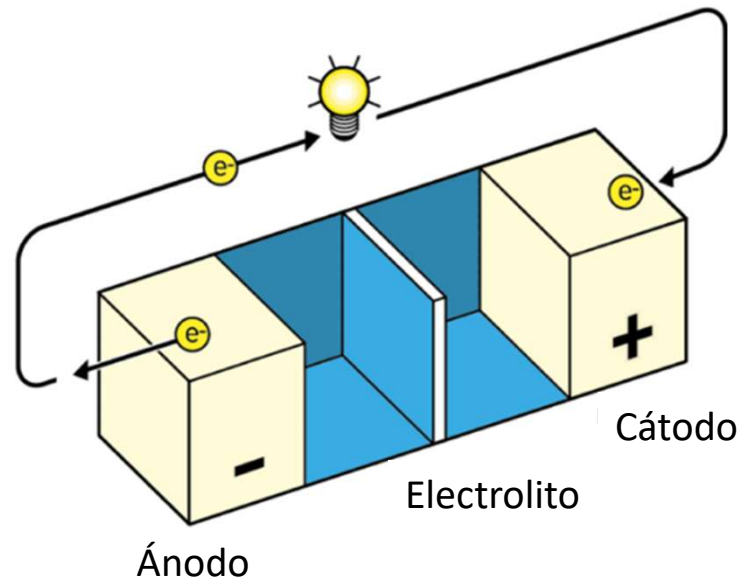
- Cables: Conductores perfectos, conducen corrientes sin resistencia.
- Fuerza electromotriz (FEM): diferencia de potencial que obliga a la corriente circular por el circuito.
- Elementos: Resistores, capacitores, diodos, LED, bobinas



Fuerza electromotriz (FEM) y baterías

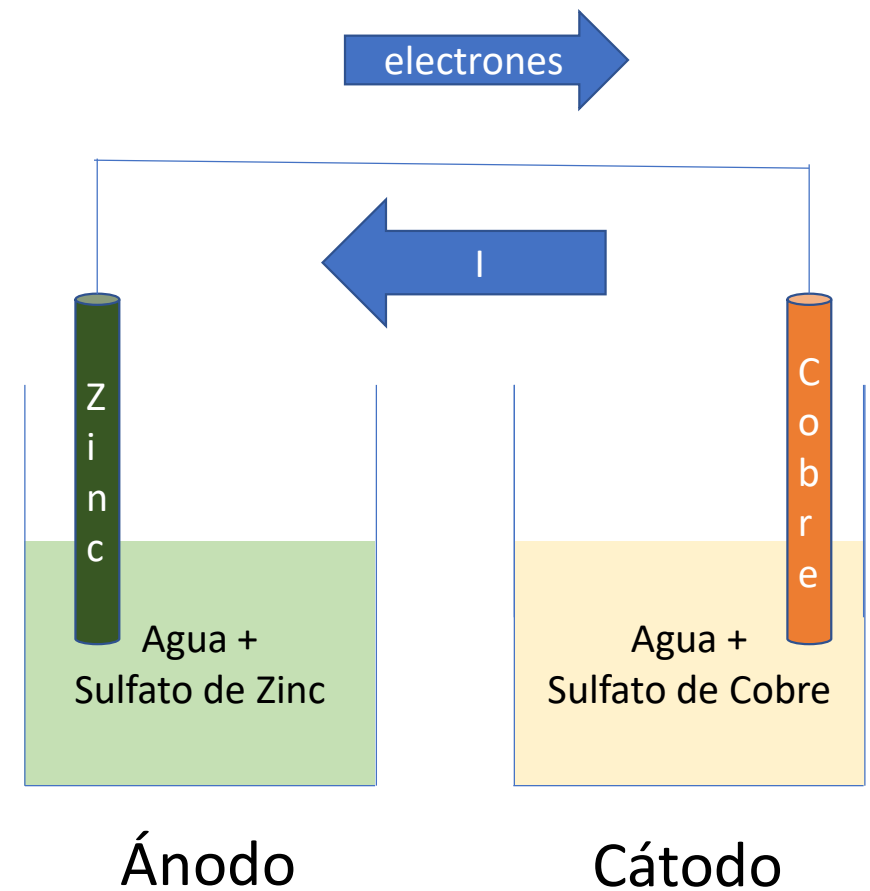
- La FEM es la diferencia de potencial generada por una fuente no eléctrica (o inducción)
- Las baterías producen FEM a partir de procesos químicos que ocurren en unidades llamadas celdas.

Principio de funcionamiento de una batería

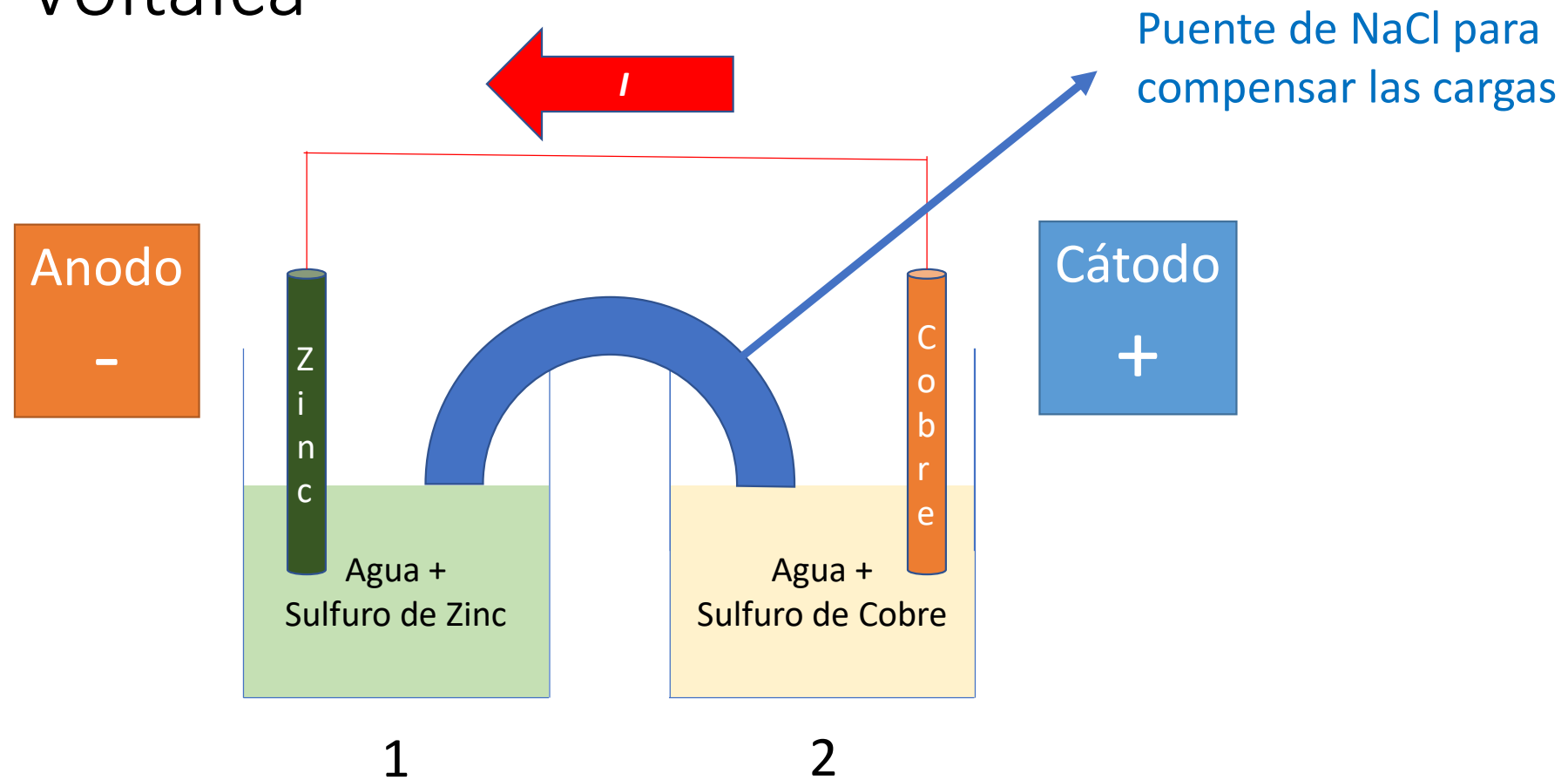


La pila Voltaica

- Basado en oxidación/reducción
- Los iones Cu^{++} en el recipiente 2 van a ser más fuertes en 'reclamar' electrones que los iones Zn^{++} .
- Electrones provenientes de la barra de Zn neutro (oxidación) van a viajar hacia la barra de cobre, creando una corriente I desde el cobre al zinc.
- Los electrones van a neutralizar los iones Cu^{++} que pasan a engrosar la barra del recipiente 2 (reducción).

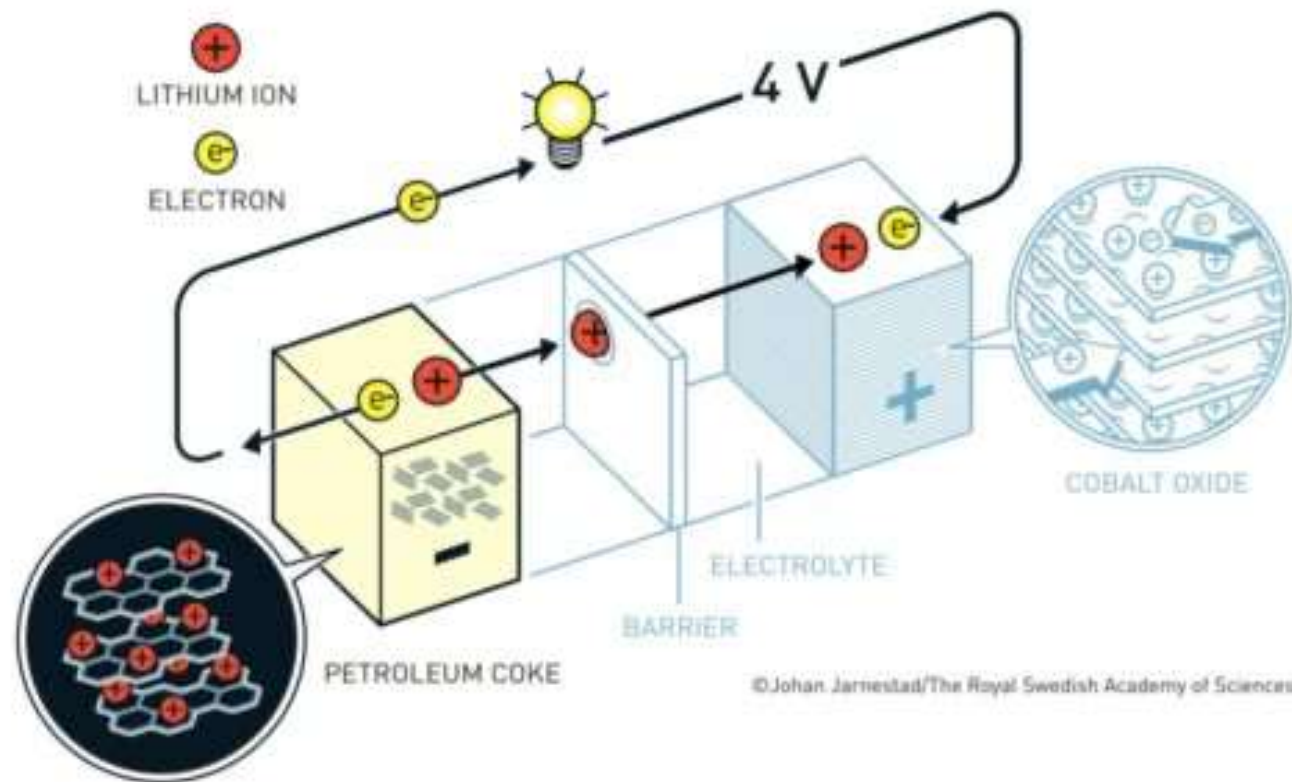


La pila Voltaica



EMF máxima = 1.1V por celda

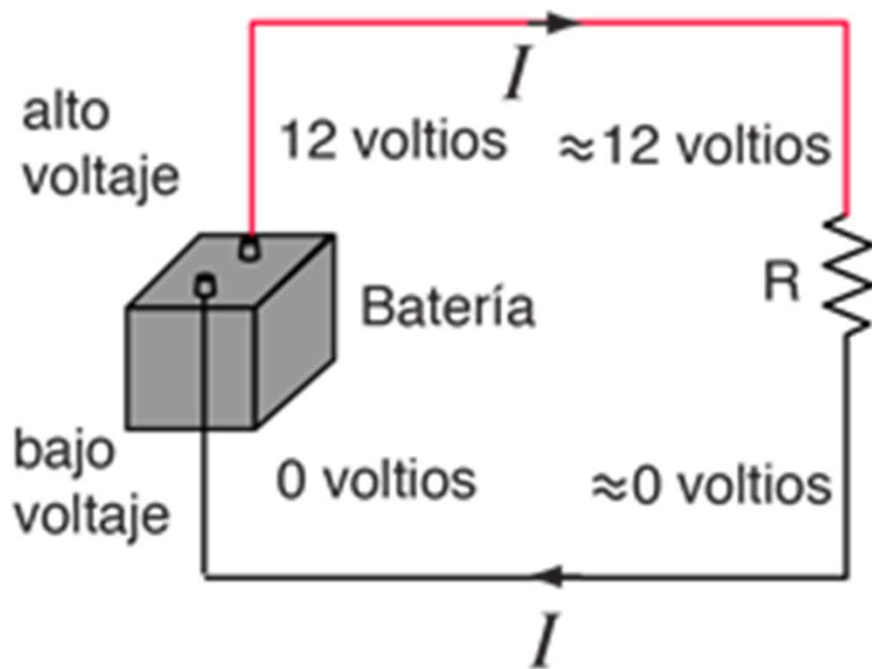
Batería de Litio



Leyes de Kirchhoff para circuitos estacionarios

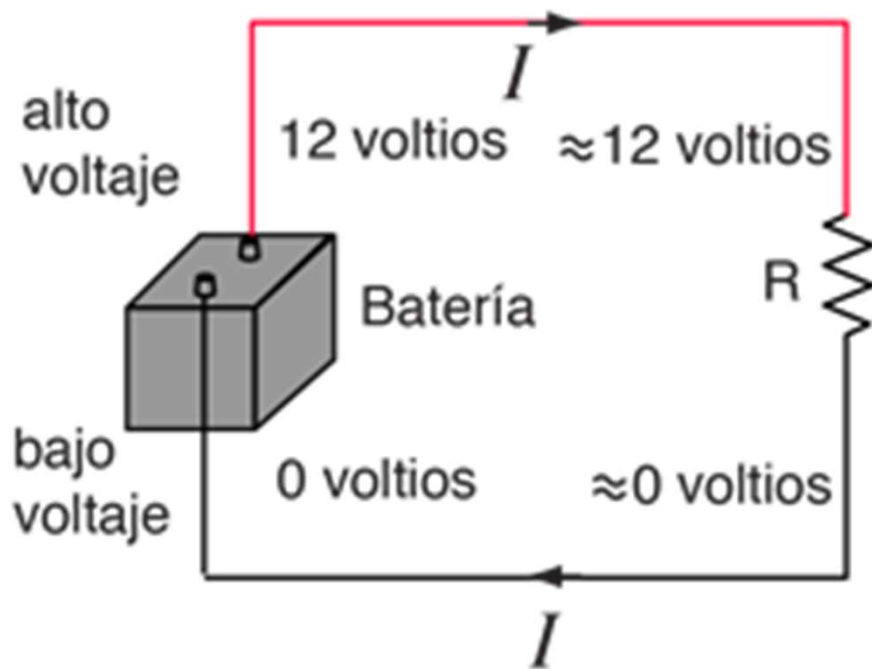
- Conservación de la carga
- Conservación de la energía

Ley de Kirchhoff de los voltajes



- El cambio neto de diferencia de potencial alrededor de cualquier bucle cerrado debe ser cero.
- Cualquier aumento de voltaje producido por la batería debe ser seguido por una caída de voltaje para traerlo de vuelta al voltaje original

Ley de Kirchhoff de los voltajes

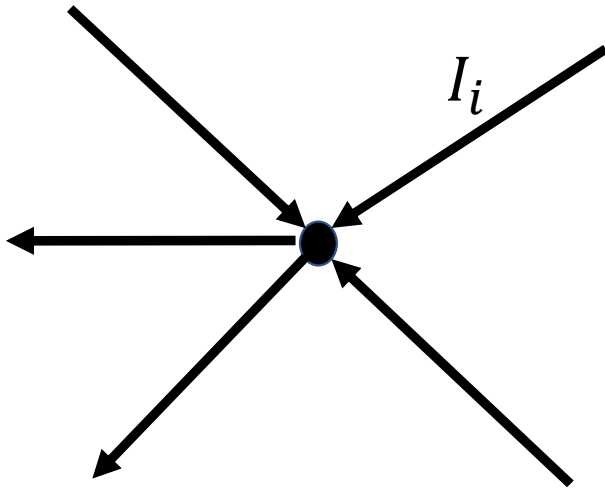


- La suma de variaciones de potencial en un lazo cerrado de un circuito es cero.

$$\sum_i V_i = 0$$

- Reglas y signos
 - Batería:
 - $V > 0$ al pasar del borne negativo al positivo.
 - $V < 0$ al pasar del borne positivo al negativo.
 - Resistencia
 - $V > 0$ al ir en contra de la corriente.
 - $V < 0$ al ir a favor de la corriente.

Ley de Kirchhoff de las corrientes



- En el circuito no se crea ni destruye carga

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0$$

- En un nodo, la suma de todas las corrientes que llegan o salen de él debe ser igual a cero

$$\sum_i I_i = 0$$

- Equivalentemente, toda la corriente que llega, debe ser igual a la que sale

Ley de Kirchhoff de las corrientes

- En el ejemplo hay dos nodos
- En cada nodo se puede escribir:

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$

o equivalentemente

$$I_{total} - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

