



ce
pre
UNI

Física

**CICLO
PREUNIVERSITARIO**

2023-1





ce
pre
UNI

Física

CORRIENTE ELÉCTRICA

ce
pre
UNI

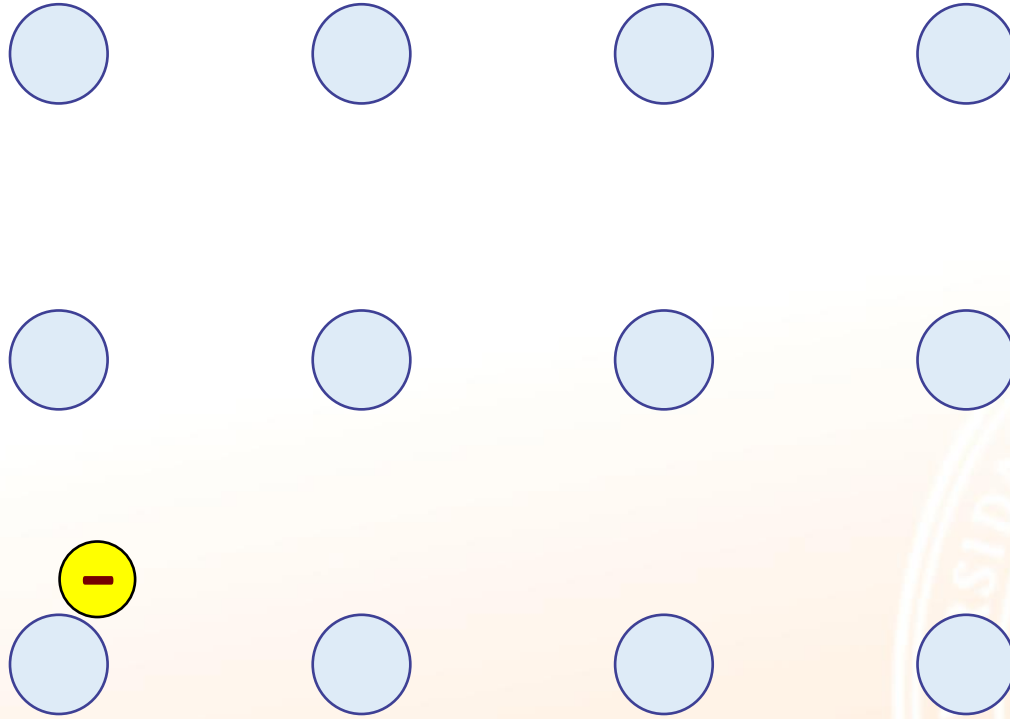
MODELO CINÉTICO APLICADO A LA CONDUCCIÓN ELÉCTRICA

Se considera que el conductor es una red 3D, donde los átomos (iones o núcleos) están en posiciones fijas y los electrones moviéndose a través de la red “chocando” con los átomos.

En ausencia de campo eléctrico aplicado al conductor, el movimiento de los electrones es aleatorio así como el movimiento de las moléculas en un gas ideal.

En presencia de campo eléctrico aplicado al conductor, el movimiento de los electrones es aleatorio, pero entre choques consecutivos, los electrones son arrastrados en la orientación de la fuerza eléctrica, fuerza debida al campo eléctrico.

En ausencia de campo eléctrico

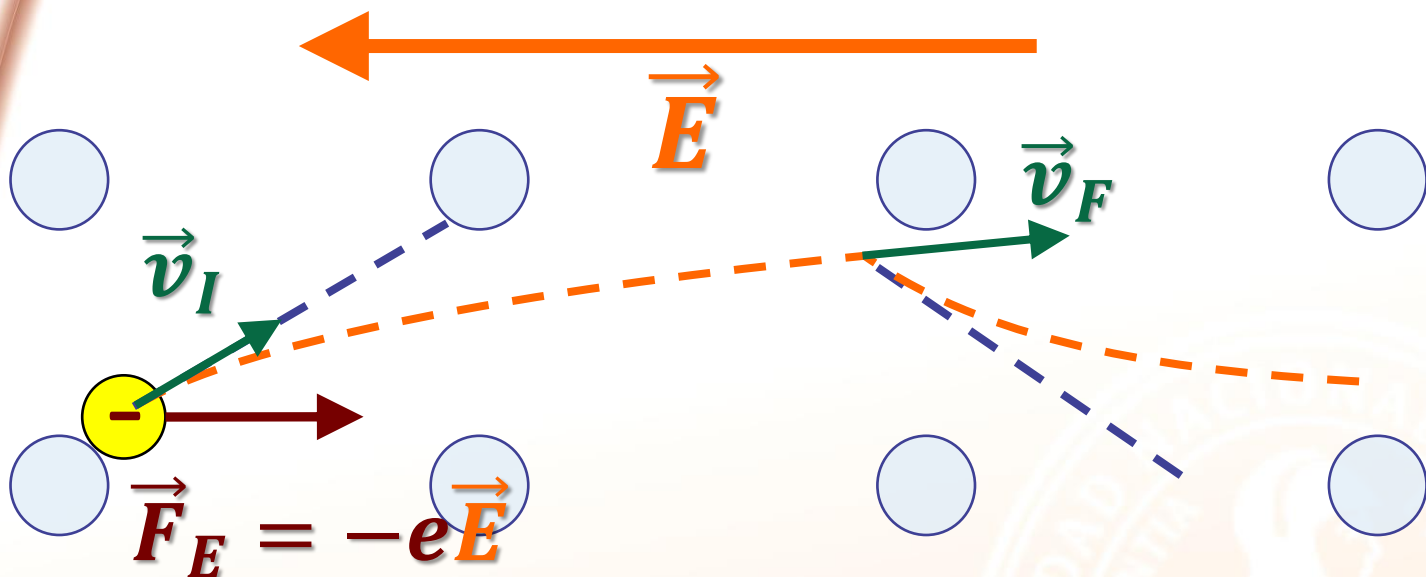


Como luego de un choque no se conoce en que orientación se mueve el electrón y como no se conoce la orientación de la fuerza resultante sobre él, podemos considerar que viaja en línea recta con la misma rapidez $|\vec{v}|$ entre choque y choque.

$$|\vec{v}| = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}}$$

Del modelo cinético en el gas ideal estimamos la rapidez del electrón donde m_e es la masa del electrón. A esta rapidez se le llama rapidez térmica, cuyo orden a 300 K es 10^6 m/s.

En presencia de campo eléctrico



$\vec{v}_I$: Velocidad del electrón
luego de un choque

$\vec{v}_F$: Velocidad del electrón
antes del siguiente choque

Como luego de un choque no se conoce la velocidad con la que sale el electrón (dado que el movimiento es aleatorio) entonces el promedio de $\vec{v}_I$, que se simboliza por $\langle \vec{v}_I \rangle$, es igual a cero.

Entre 2 choques consecutivos, la única fuerza que actúa sobre el electrón es la fuerza eléctrica, que sobre los electrones es opuesta al campo eléctrico.

Aplicando el teorema del impulso neto y la cantidad de movimiento sobre el electrón entre 2 choques consecutivos

$$\vec{I}^{FE} = \vec{F}_E \Delta t = -e \vec{E} \Delta t = m_e (\vec{v}_F - \vec{v}_I)$$

Tomando el promedio a cada término tenemos

$$\underbrace{-e \vec{E} \langle \Delta t \rangle}_{\text{Tiempo promedio}} = m_e (\underbrace{\langle \vec{v}_F \rangle}_{\text{Velocidad de arrastre}} - \underbrace{\langle \vec{v}_I \rangle}_{\text{Como puede moverse en cualquier orientación luego del choque, } \langle \vec{v} \rangle = \vec{0}})$$

Tiempo promedio
entre choques: τ

Velocidad de
arrastre: $\vec{v}_d$

Como puede moverse en
cualquier orientación
luego del choque, $\langle \vec{v} \rangle = \vec{0}$

$$-e \vec{E} \tau = m_e \vec{v}_d \Rightarrow \vec{v}_d = \frac{-e \vec{E} \tau}{m_e}$$

Esta velocidad de arrastre tiene
una magnitud del orden 10^{-4}
m/s.

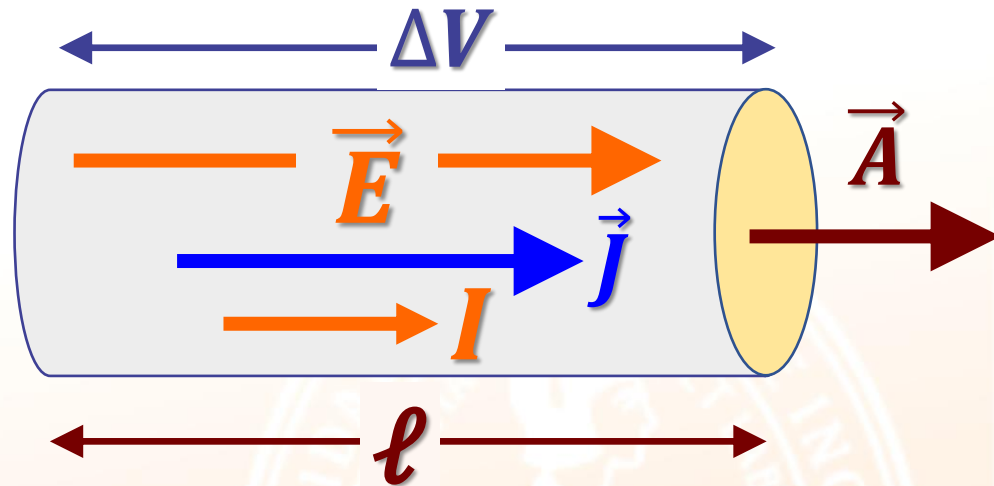
Recordando que $\vec{J} = nq\vec{v} \Rightarrow \vec{J} = n_e(-e)\vec{v}_d \Rightarrow \vec{v}_d = \frac{\vec{J}}{n_e(-e)}$

Y reemplazando la ecuación $\frac{-e\vec{E}\tau}{m_e} = \frac{\vec{J}}{n_e(-e)} \Rightarrow \vec{E} = \frac{m_e}{n_e(e^2)\tau} \vec{J}$ anterior

Dentro de un conductor vemos que la orientación de $\vec{E}$ y de $\vec{J}$ es la misma a pesar de haber estudiado el movimiento de los electrones. Y como la orientación de $\vec{J}$ es el sentido de la corriente eléctrica.



Tomando módulo en la ecuación $\Rightarrow |\vec{E}| = \frac{m_e}{n_e(e^2)\tau} |\vec{J}|$
anterior



Como $\Delta V = |\vec{E}| \ell \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{\Delta V}{\ell}$ y como $I = \vec{A} \cdot \vec{J} = |\vec{A}| |\vec{J}| \Rightarrow |\vec{J}| = \frac{I}{A}$

$$|\vec{E}| = \frac{m_e}{n_e(e^2)\tau} |\vec{J}| \Rightarrow \frac{\Delta V}{\ell} = \left(\frac{m_e}{n_e(e^2)\tau} \right) \frac{I}{A}$$

Pero la resistencia $R = \frac{\Delta V}{I} = \rho \frac{\ell}{A}$ y comparando con la ecuación anterior

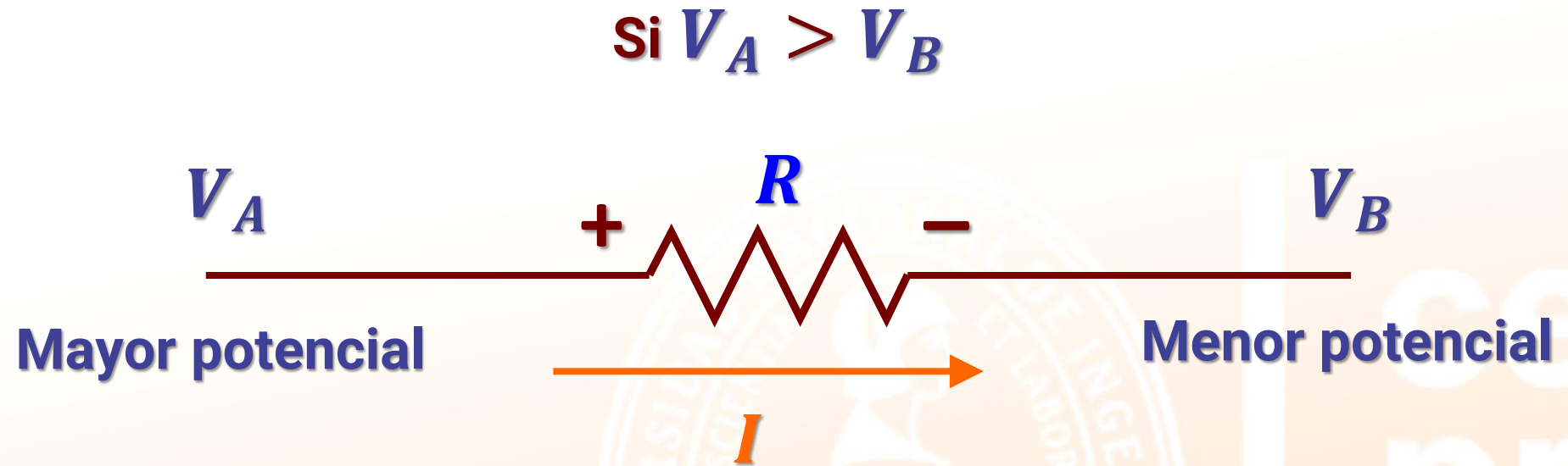
$$\frac{\Delta V}{I} = \left(\frac{m_e}{n_e (e^2) \tau} \right) \frac{\ell}{A} = \rho \frac{\ell}{A} \Rightarrow \boxed{\rho = \frac{m_e}{n_e (e^2) \tau}}$$

Vemos que la resistividad ρ es una característica del material dado que la concentración de electrones n_e y el tiempo promedio entre choques τ dependen del material. Además al aumentar la temperatura, los electrones se moverán más rápido y el tiempo promedio τ disminuye por lo que la resistividad ρ aumenta, como se vió anteriormente.

$$\boxed{\vec{E} = \frac{m_e}{n_e (e^2) \tau} \vec{J} \Rightarrow \vec{E} = \rho \vec{J}}$$

Ley de Ohm
microscópica

Un conductor cuya resistencia sea significativa, se puede simbolizar de la siguiente manera:

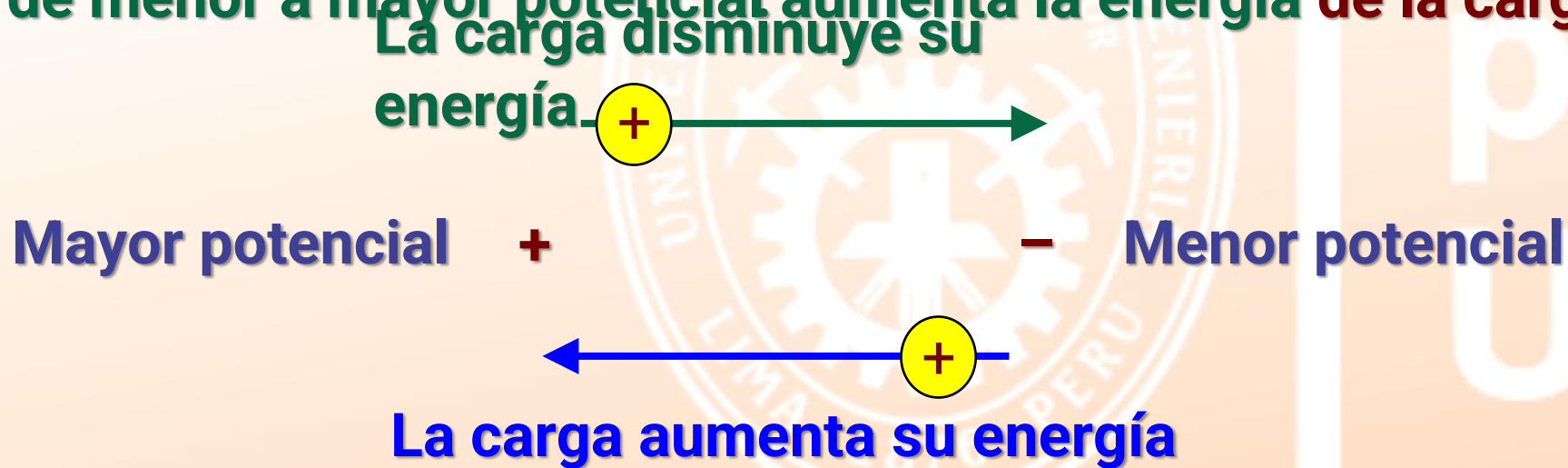


El voltaje entre los puntos A y B es la diferencia del mayor de los potenciales de estos puntos con el menor, en este caso sería

$$\Delta V_{AB} = V_A - V_B = IR$$

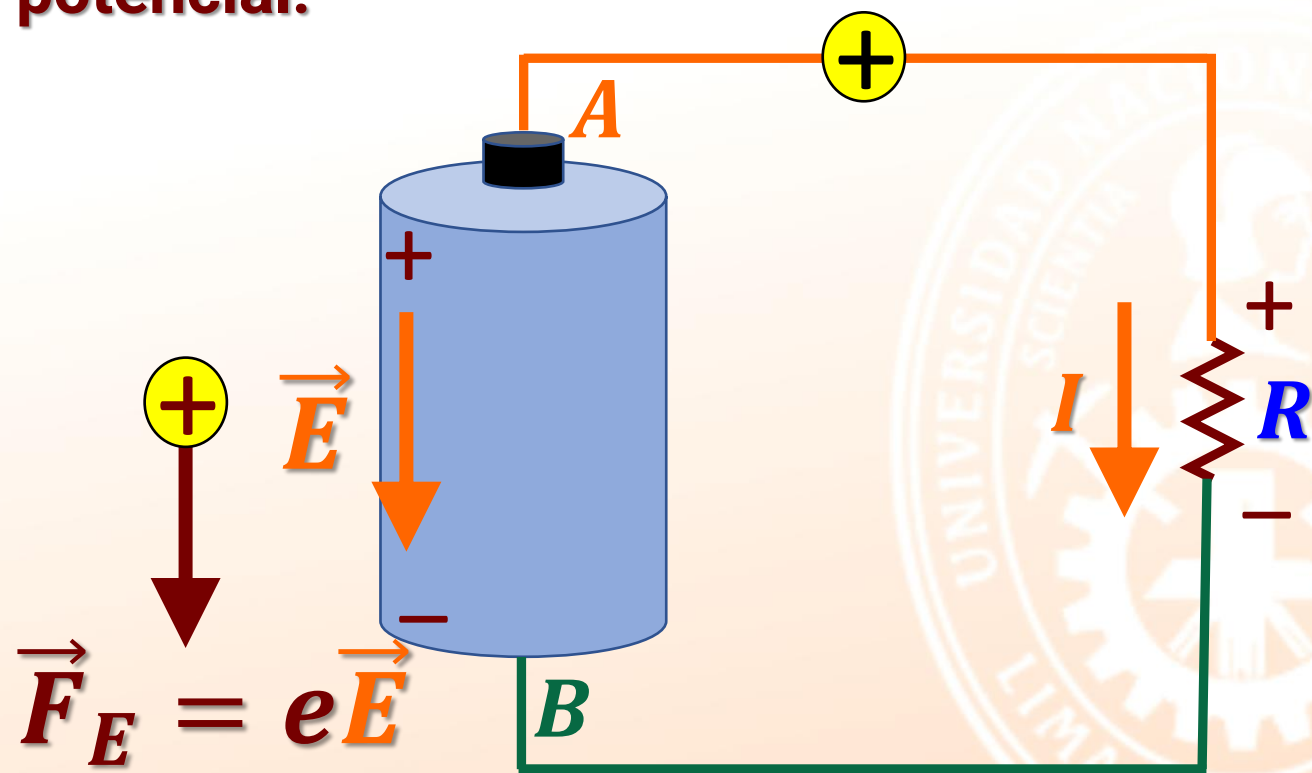
Como en promedio, la velocidad de las cargas es la de arrastre, y esta velocidad es constante, los cambios de energía para las cargas son fundamentalmente los asociados al cambio de la energía potencial eléctrica, que se calcula como $U = qV$ donde V es el potencial eléctrico.

Considerando el movimiento de portadores positivos para la corriente eléctrica, si la carga al moverse pasa a un punto de mayor potencial a menor potencial, la energía de la carga disminuye. Cuando la carga pasa de menor a mayor potencial aumenta la energía de la carga.



FUERZA ELECTROMOTRIZ

Al conectar una resistencia con una fuente, vemos que la corriente, a través de la resistencia, va de mayor a menor potencial, por lo que cuando las cargas atraviesen la fuente la harán de menor a mayor potencial.



Dentro de la fuente, la fuerza debido al campo se opone al movimiento de las cargas positivas, por lo que su trabajo es negativo, es decir disminuye la energía de las cargas.

Dentro de la fuente debe haber un agente que realice un trabajo positivo de modo que la carga al pasar a través de la fuente aumenta su energía.

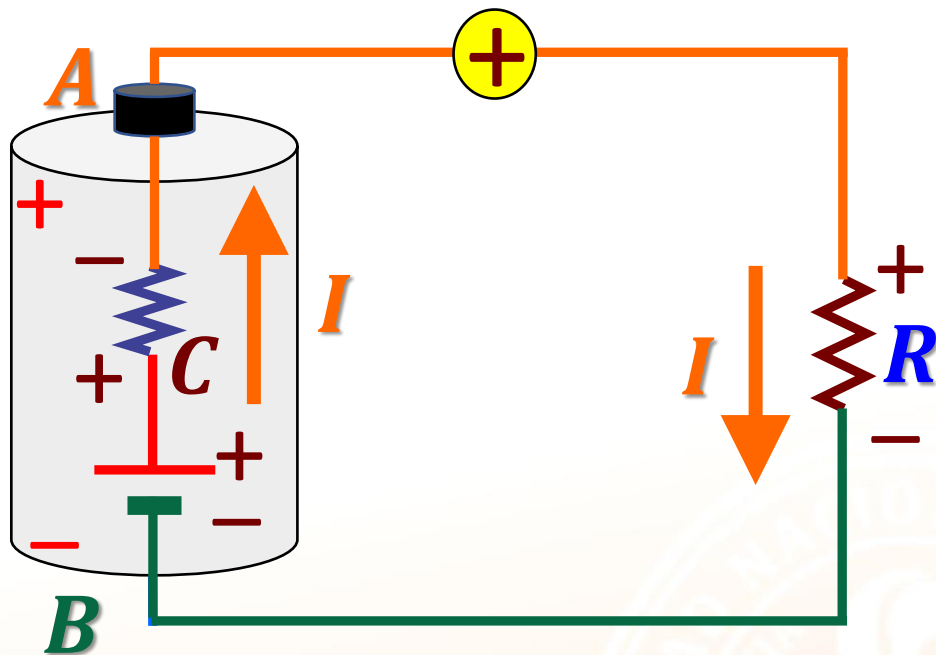
Al trabajo de dicho agente por unidad de carga que atraviesa la fuente se le denomina fuerza electromotriz (*fem*)

$$fem: \varepsilon = \frac{W_{\text{agente no electrostático}}}{q} \quad \text{Unidad S.I.: volt}$$

(V)
Decimos no electrostático porque transformaremos energía no eléctrica en energía eléctrica. Por ejemplo la energía química (pilas), eólica (viento), nuclear se transforma a energía eléctrica.

La fuerza electromotriz es la que sostiene la circulación de la corriente en un circuito, sin *fem* es imposible la circulación de la corriente

Resistencia
interna: r
 $fem: \varepsilon$



$$\begin{aligned} V_A - V_B &= V_A - V_C + V_C - V_B \\ &= -Ir + \varepsilon \end{aligned}$$

Voltaje entre los bornes de la
fuente: $V_A - V_B = \varepsilon - Ir$

Siempre que la carga pase a través de una resistencia, sale a un punto de menor potencial, por lo que la carga pierde energía.

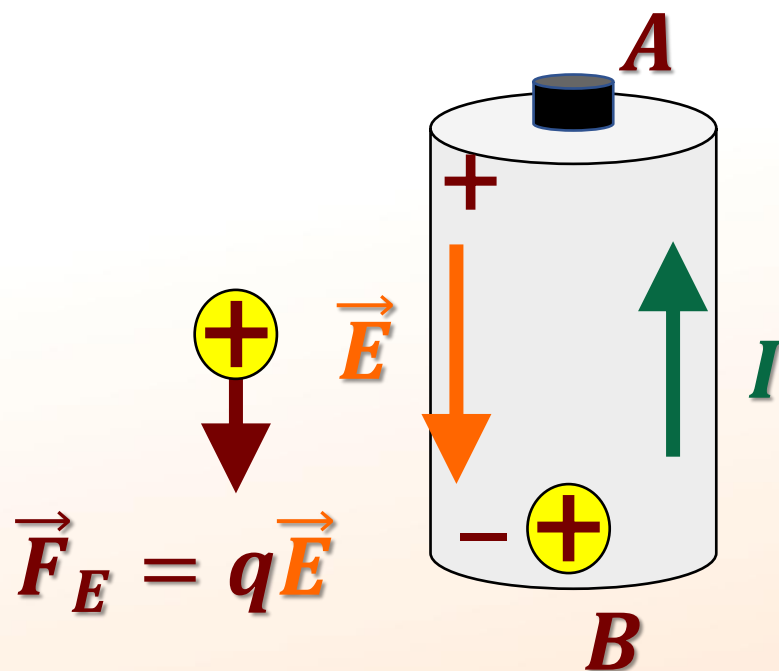
En una fuente ideal no habrían pérdidas de energía por lo que la diferencia de potencial de la fuente es igual a la fem.

Voltaje entre los bornes de la fuente ideal: $V_A - V_B =$

ε

POTENCIA ELÉCTRICA

Recordando que, en promedio, las cargas se mueven con la velocidad de arrastre (que es cte.), Entonces su energía cinética es constante.



Aplicando el teorema del trabajo neto y energía cinética

$$W_{A \rightarrow B}^{\text{Fuente}} + W_{A \rightarrow B}^{F_E} = \Delta E_{K_{AB}} = q(V_A - V_B) = 0$$

El trabajo realizado por la fuente sobre una carga q que pasa a través de

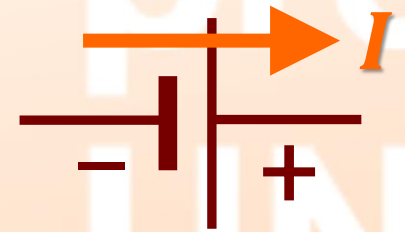
ella es $W_{A \rightarrow B}^{\text{Fuente}} = q(V_B - V_A)$

Entonces el trabajo realizado por la fuente sobre N cargas q que pasan a través de ella es $w_{A \rightarrow B}^{\text{Fuente}} = Nq(V_B - V_A)$

Por lo tanto la potencia de la fuente es

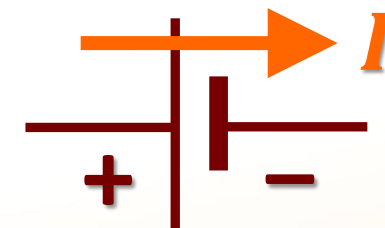
$$P = \frac{w_{A \rightarrow B}^{\text{Fuente}}}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t} (V_B - V_A) = I(\Delta V)$$

Si una carga al pasar a través de una fuente sale a una región de mayor potencial, entonces la carga aumenta su energía. Por lo tanto el trabajo y la potencia son positivos.



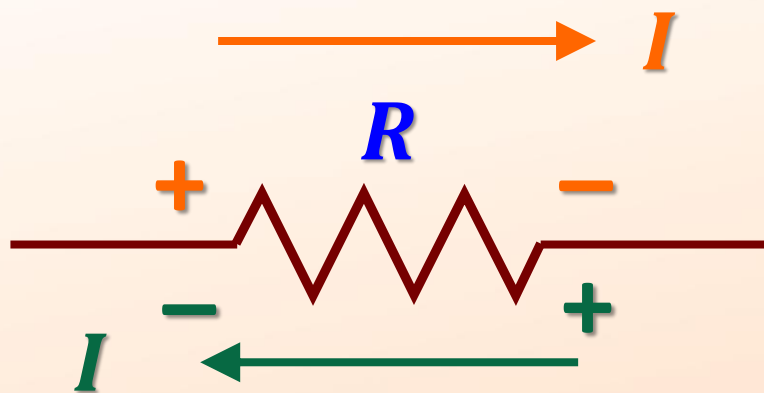
$$P = +I(\Delta V)$$

Si una carga al pasar a través de una fuente sale a una región de menor potencial, entonces la carga disminuye su energía. Por lo tanto el trabajo y la potencia son negativos.



$$P = -I(\Delta V)$$

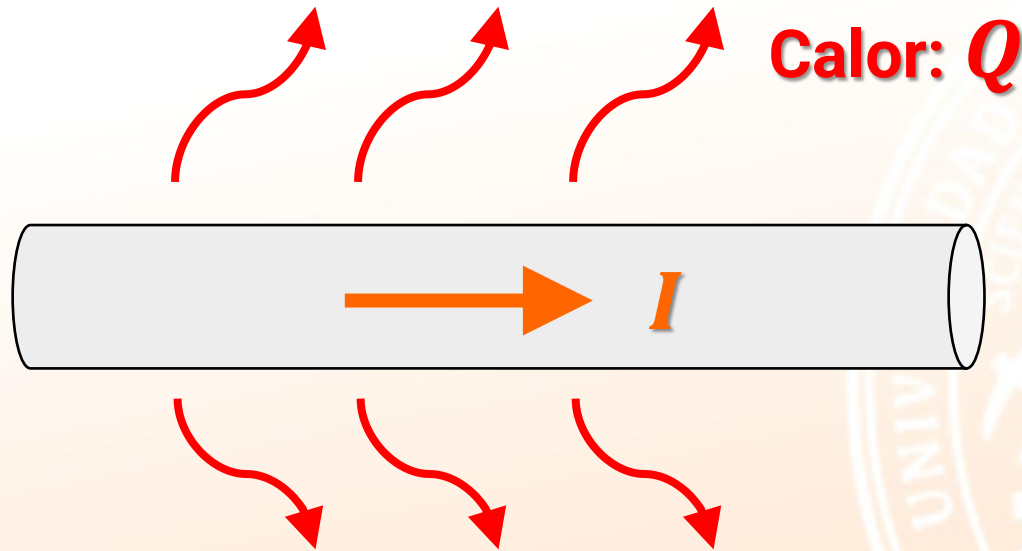
En el caso de las resistencias, las cargas que salen de ella siempre salen a una región de menor potencial por lo que siempre perderán energía. Así la potencia siempre es negativa.



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

EFFECTO JOULE

La cantidad en que disminuye la energía de las cargas al pasar por la resistencia, la misma cantidad en que aumenta la energía interna de la resistencia, la cual al elevar su temperatura libera calor. A esto se conoce como efecto Joule.



$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow I^2 R = \frac{Q}{\Delta t}$$

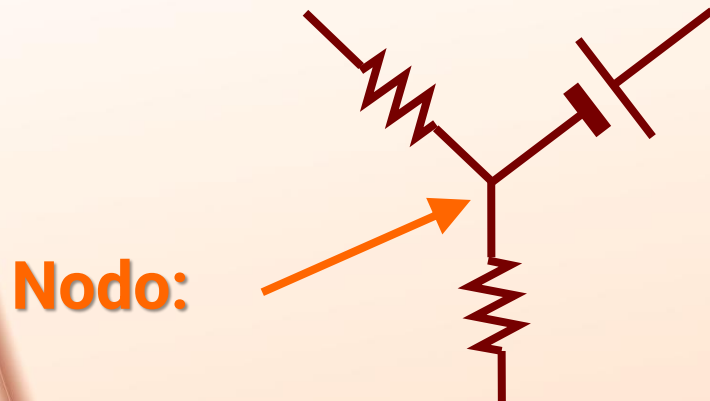
$$Q = I^2 R \Delta t$$

Recuerde que para aplicar esta expresión, debe pasar primero el calor de caloría a joule.

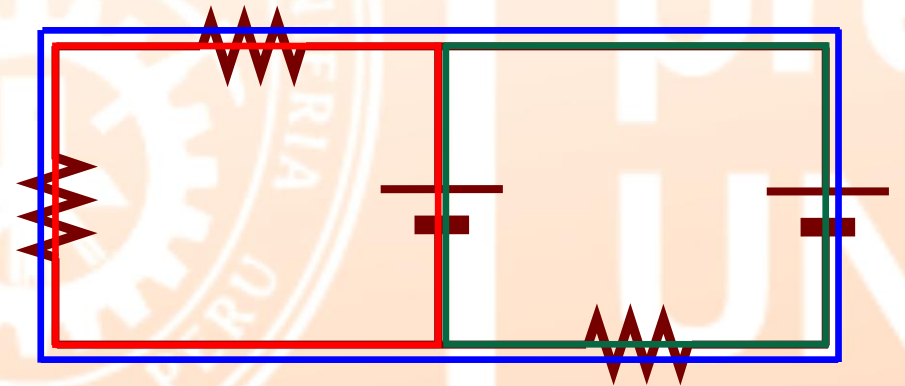
REGLAS DE KIRCHHOFF

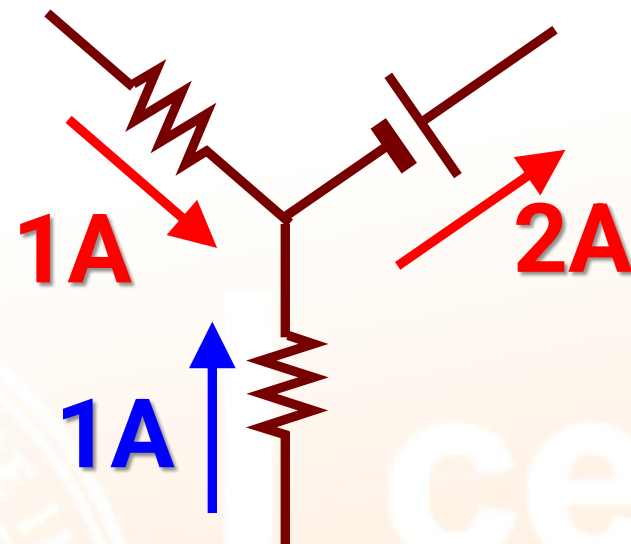
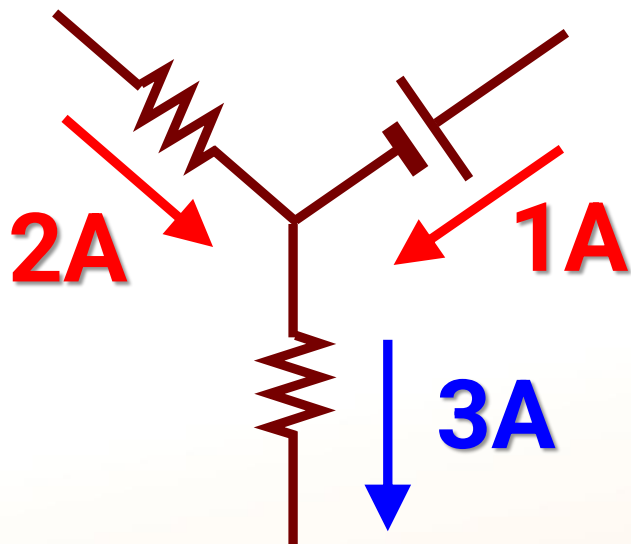
Estas se utilizan en circuitos, halladas experimentalmente por Gustav Kirchhoff. Posteriormente se halló que están basadas en la conservación de la carga y de la energía. Veamos algunas definiciones.

Nodo: Punto del circuito donde convergen las conexiones de al menos 3 elementos



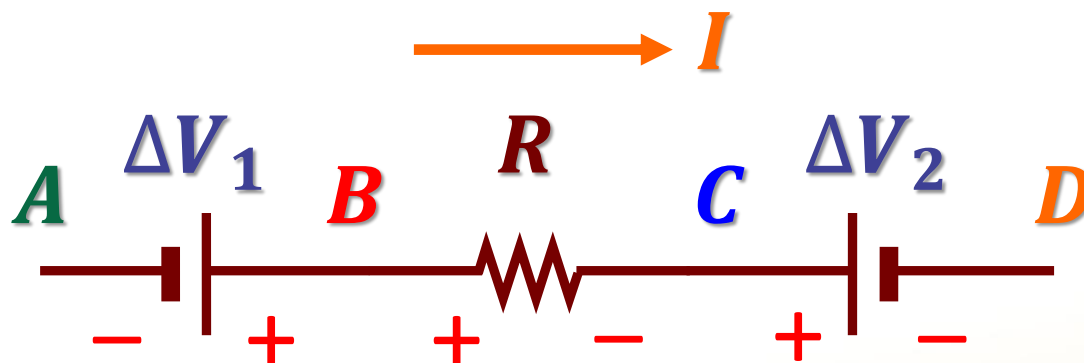
Malla: Camino cerrado formado por los elementos de circuitos.





$$\sum \text{Corrientes que entran a un nodo} = \sum \text{Corrientes que salen del mismo nodo}$$

**Primera
Kirchhoff** **Regla** **de**



En un circuito es posible que no se conozca inicialmente el sentido de la corriente, por lo que uno elige el sentido de la corriente. Luego verificaremos si es el sentido correcto.

Calcularemos los **cambios de potencial** (**potencial** del punto **final menos** el del punto **inicial**) cuando pasemos por los elementos del circuito. Es decir

Cambio de potencial al ir de A hacia B : $V_B - V_A = +\Delta V_1$

Cambio de potencial al ir de B hacia C : $V_C - V_B = -IR$

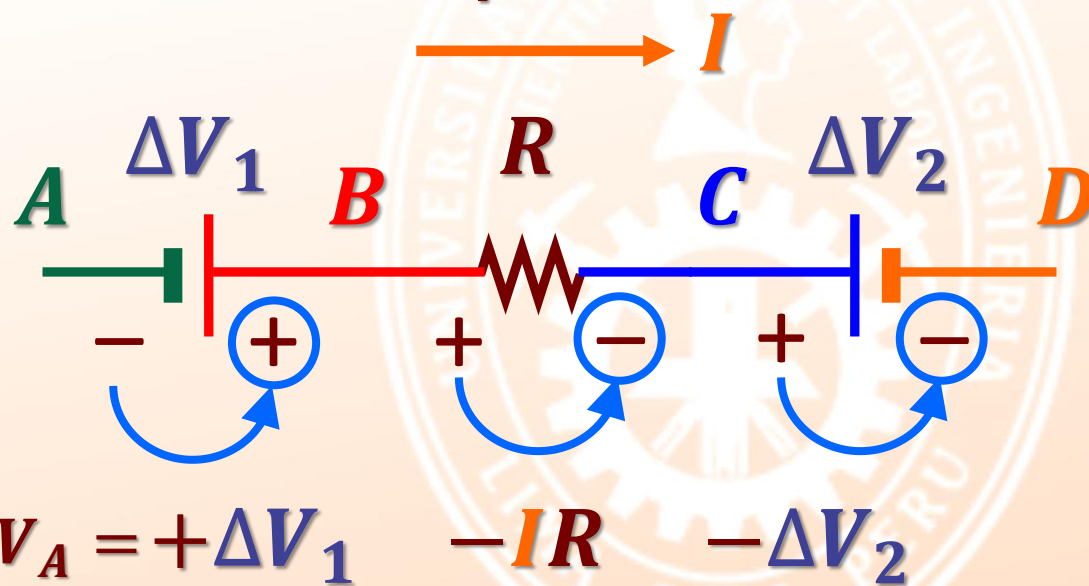
Cambio de potencial al ir de C hacia D : $V_D - V_C = -\Delta V_2$

Al sumar todos los cambios de potencial, tenemos

$$\Rightarrow V_B - V_A + V_C - V_B + V_D - V_C = V_D - V_A = +\Delta V_1 - IR - \Delta V_2$$

Cambio de potencial al ir de A hacia D : $V_D - V_A = +\Delta V_1 - IR - \Delta V_2$

Una forma práctica de obtener la ecuación anterior es al ir de un punto al otro fijarnos en el signo del ultimo punto, ese será el signo del cambio de potencial entre esos puntos.



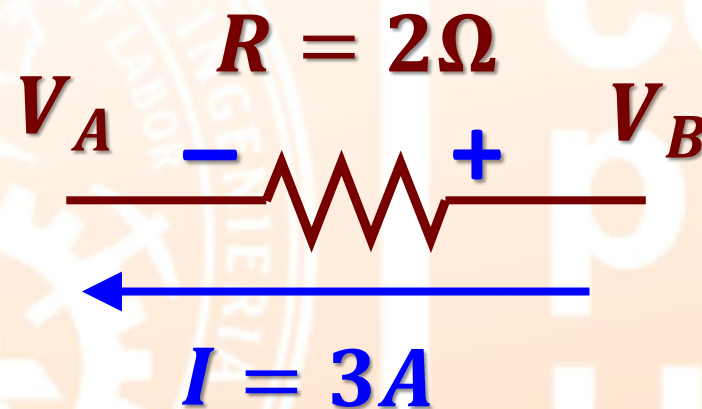
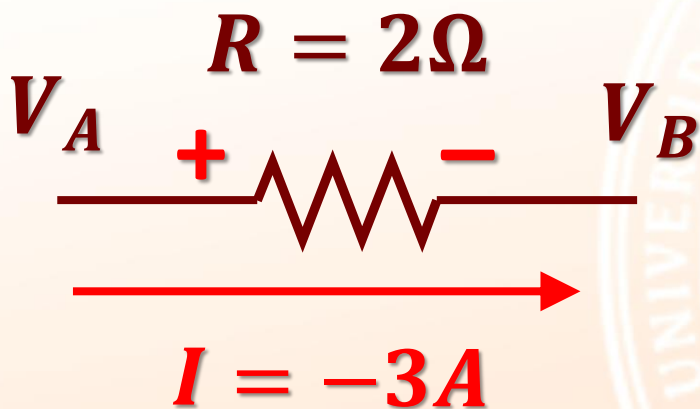
$$A \rightarrow D: V_D - V_A = +\Delta V_1 - IR - \Delta V_2$$

Y como una malla es un camino cerrado, el primer y último punto tienen el mismo potencial, por lo que

$$\sum \text{Cambios de potencial en una malla} = 0$$

Segunda Regla de Kirchhoff

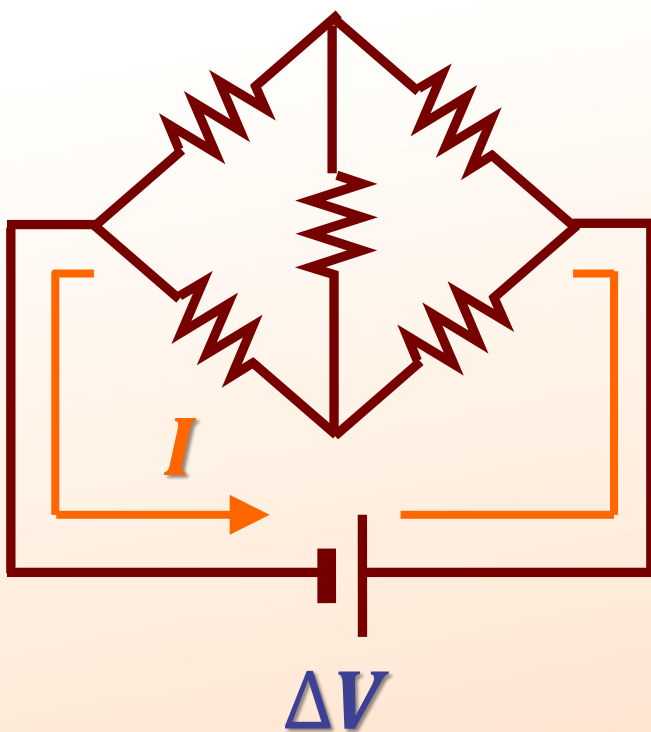
Si al resolver la ecuación obtenemos que la corriente es negativa



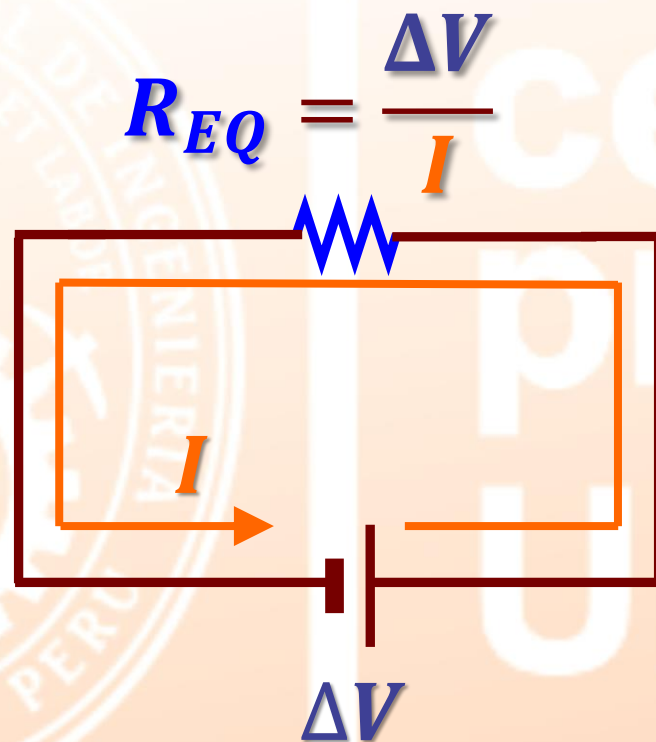
$V_A - V_B = IR \Rightarrow V_A - V_B = (-3A)(2\Omega) = -6V$ entonces V_A es menor que V_B por lo que la corriente circula en sentido contrario al que elegimos.

ASOCIACIÓN DE RESISTENCIAS

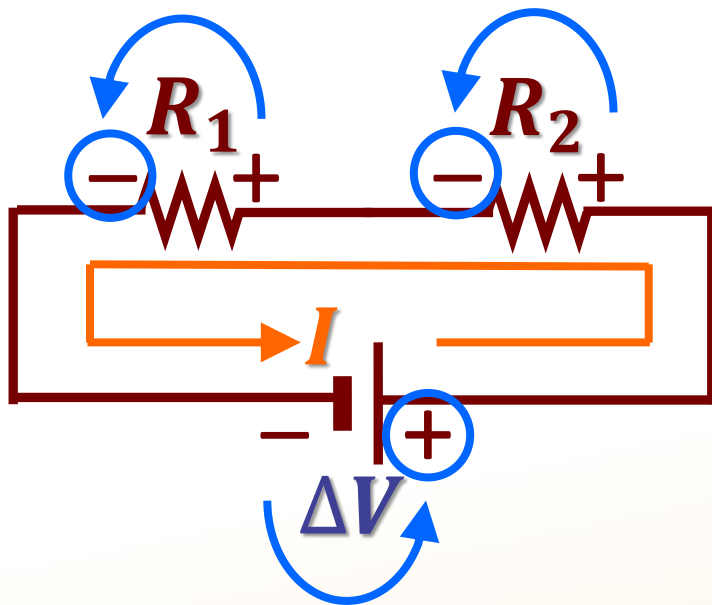
Si tenemos un sistema de resistencias conectadas a una sola fuente, y sabemos cual es la corriente que circula a través de la fuente, podemos hallar el valor de una resistencia que represente al sistema, llamada resistencia equivalente.



equivale a



$$R_{EQ} = \frac{\Delta V}{I}$$



Cuando las mismas cargas que pasan por una resistencia pasan por otra conectada a ella, se dice que están conectadas en serie.

Aplicando la segunda regla de Kirchhoff.

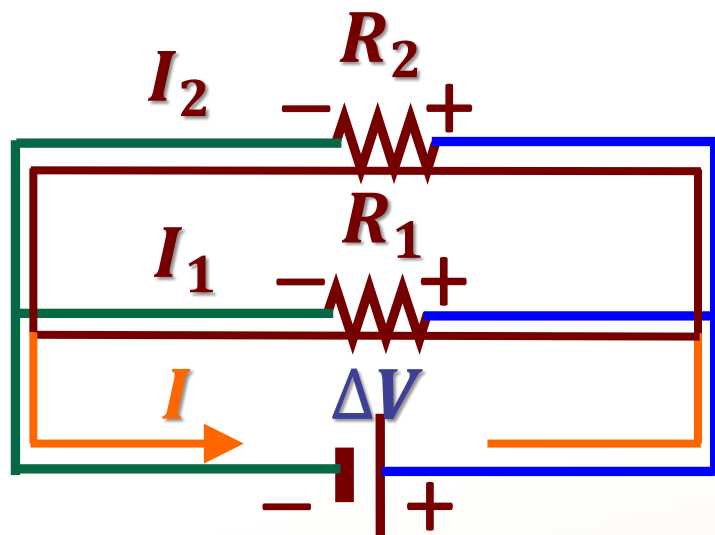
$$+\Delta V - IR_1 - IR_2 = 0$$

$$\frac{\Delta V}{I} = R_1 + R_2 = R_{EQ}$$

Multiplicando la ecuación anterior por I^2 tenemos:

$$I\Delta V = I^2 R_1 + I^2 R_2 = I^2 R_{EQ}$$

Potencia entregada por la fuente Potencia consumida por las resistencias Potencia consumida por la R_{EQ}



$$\Delta V = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

Cuando las resistencias están sometidas a la misma diferencia de potencial, se dice que están conectadas en paralelo.

Aplicando la primera regla de Kirchhoff.

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{I}{\Delta V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{EQ}}$$

Multiplicando la ecuación anterior por $(\Delta V)^2$ tenemos:

$$I \Delta V = \frac{(\Delta V)^2}{R_1} + \frac{(\Delta V)^2}{R_2} = \frac{(\Delta V)^2}{R_{EQ}}$$

Potencia entregada por la fuente

Potencia consumida por las resistencias

Potencia consumida por la R_{EQ}

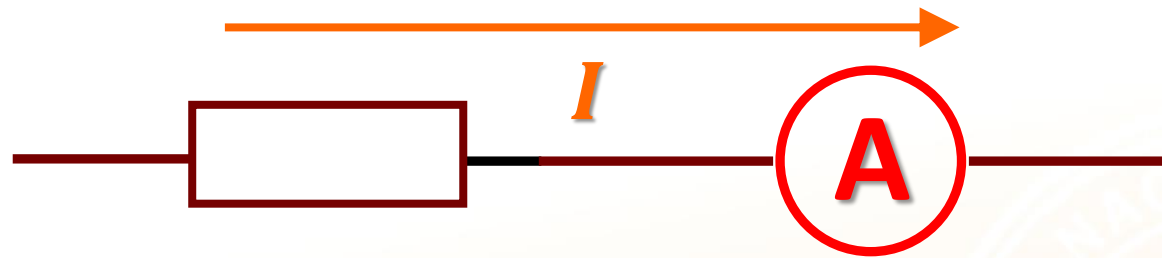
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN ELÉCTRICA

En un circuito con muchas mallas y nodos, aplicar las reglas de Kirchhoff puede ser algo tedioso. Por ello se utilizan instrumentos para medir tanto la intensidad de la corriente como la diferencia de potencial.

Pero se debe tomar en cuenta que **al introducir este instrumento en el circuito**, se altera la resistencia del mismo y por lo tanto se **alterarán o la corriente y/o la diferencia de potencial en cada elemento del circuito**, Y por ende consumirán diferente cantidad de energía.

Se **busca** que estos **instrumentos alteren lo menos posible la energía** entregada o consumida por **cada elemento del circuito**, por ende estos instrumentos deben consumir la menor cantidad de energía posible y por lo tanto la potencia consumida debe ser la más pequeña posible.

Amperímetro: Mide la intensidad de la corriente. Para que mida la misma intensidad de corriente en un elemento del circuito debe estar conectado en serie con él.



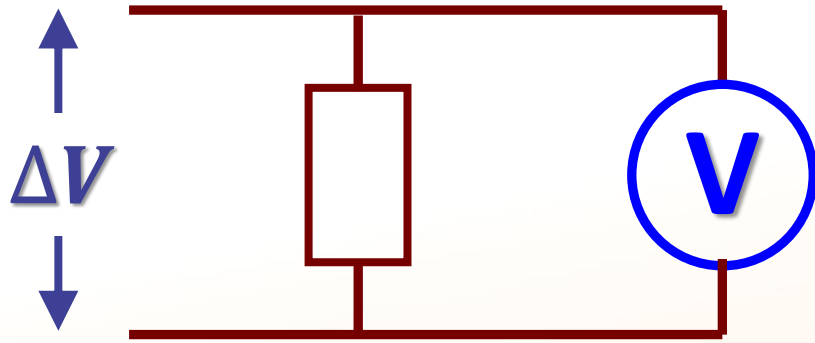
Siendo r_A la resistencia del amperímetro

La potencia consumida por el amperímetro es $I^2 r_A$ y para que esta potencia sea pequeña, r_A debe ser muy pequeña comparada con las otras resistencias del circuito.

El amperímetro ideal es aquel que no consume energía. Por ello $r_A = 0$. La diferencia de potencial en los extremos del amperímetro ideal es

$$\Delta V = I r_A = 0$$

Voltímetro: Mide el voltaje o diferencia de potencial. Para que mida la misma diferencia de potencial de un elemento del circuito debe estar conectado en paralelo con él.



Siendo r_V la resistencia del voltímetro

La potencia consumida por el voltímetro es $\frac{(\Delta V)^2}{r_V}$ y para que sea pequeña, r_V debe ser muy grande comparada con las otras resistencias.

El voltímetro ideal es aquel que no consume energía y para ello $r_V \rightarrow \infty$. La corriente a través del voltímetro ideal es

$$I = \frac{\Delta V}{r_V} = 0$$