

La corriente eléctrica

Juan Ángel Sans Tresserras

E-mail: juasant2@upv.es

Índice

- ✓ Corriente eléctrica y densidad de corriente
- ✓ Resistencia y ley de Ohm
- ✓ Asociación de resistencias
- ✓ Energía, potencia y ley de Joule
- ✓ Generador y receptor
- ✓ Asociación de generadores
- ✓ Circuitos de una sola malla
- ✓ Circuito abierto y cortocircuito
- ✓ Instrumentos de medida eléctricos
- ✓ Circuitos RC

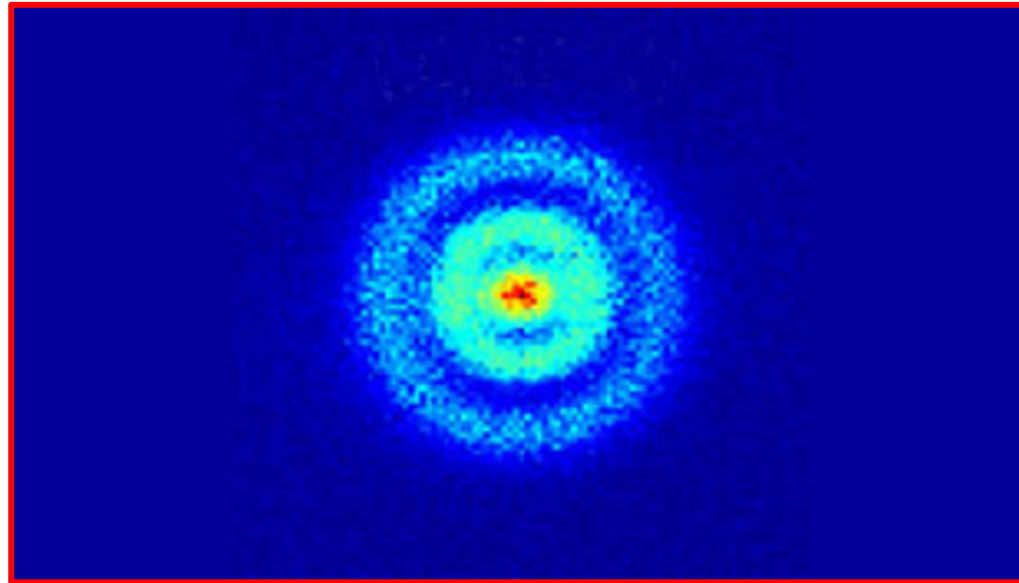
Tipler. “Física”. Capítulo 25. (Vol. 2).

Alonso. “Física”. Capítulo 24.

Halliday. “Fundamentos de Física”. Capítulo 31.

Serway. “Física”. Capítulo 27 y 28.

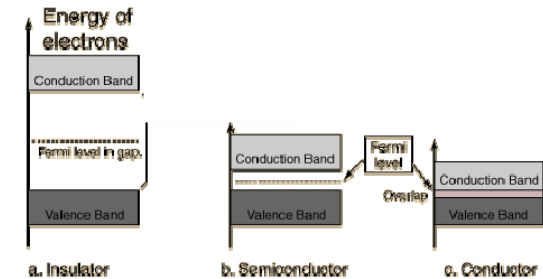
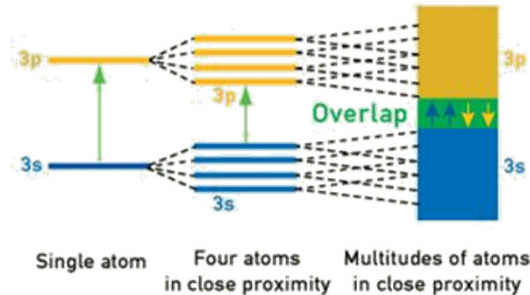
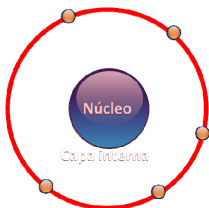
Corriente eléctrica



PRL 110, 213001 (2013) Selected for a Viewpoint in Physics PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 24 MAY 2013
 Hydrogen Atoms under Magnification: Direct Observation of the Nodal Structure of Stark States

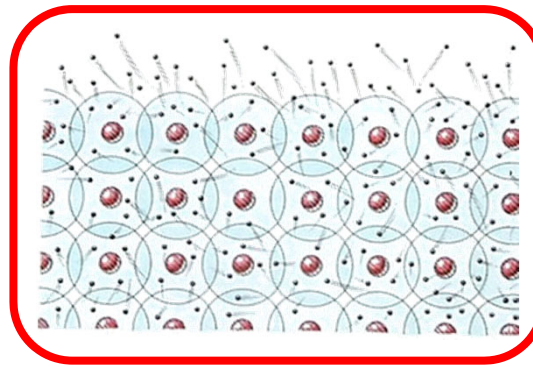
Los átomos están compuestos por un núcleo formado por protones y neutrones, con electrones orbitando a su alrededor en energías cuantizadas.

Cloro: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

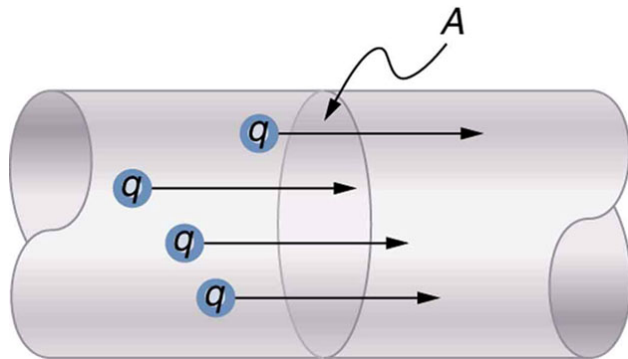


Corriente eléctrica

Tenemos un material que permite que las partículas cargadas (electrones) se puedan mover libremente, a estos compuestos se les llama metales.



¿Cómo se define la corriente eléctrica? Como la cantidad de cargas eléctricas que atraviesan un área fija por unidad de tiempo.

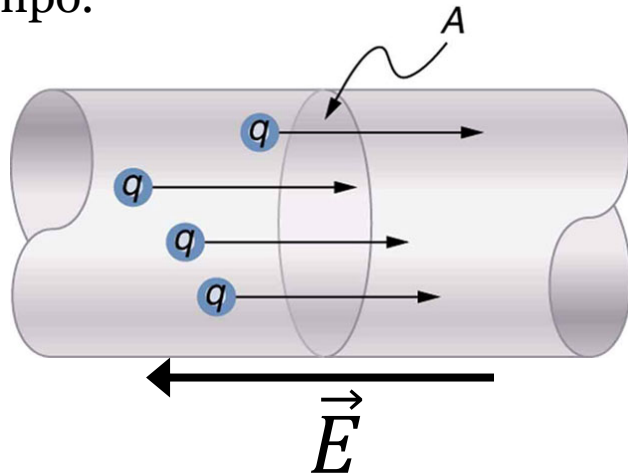


$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

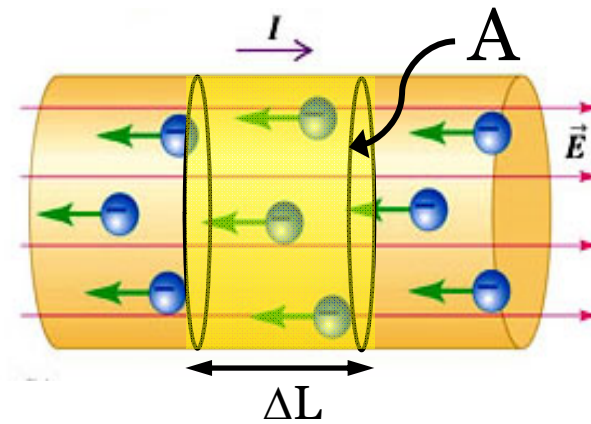
Unidad: Amperio
 $1\text{A} = 1\text{C/s}$

Corriente eléctrica

¿En qué sentido se mueven las cargas eléctricas? Cuando aplicas un campo eléctrico en un sentido, los electrones libres se mueven es sentido opuesto al campo.



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



Estos electrones se mueven a una cierta velocidad que se llama, velocidad de desplazamiento.

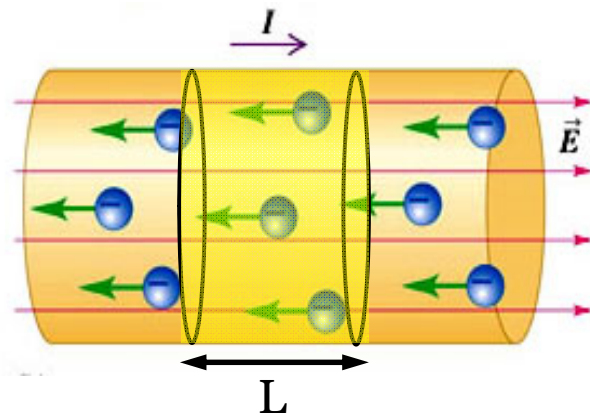
$$\Delta V = A \cdot \Delta L = A \cdot \underbrace{v_d \cdot \Delta t}_{\Delta L}$$

$$\longrightarrow \Delta q = n \cdot q \cdot A \cdot v_d \cdot \Delta t$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = n \cdot q \cdot A \cdot v_d$$

Densidad de corriente eléctrica

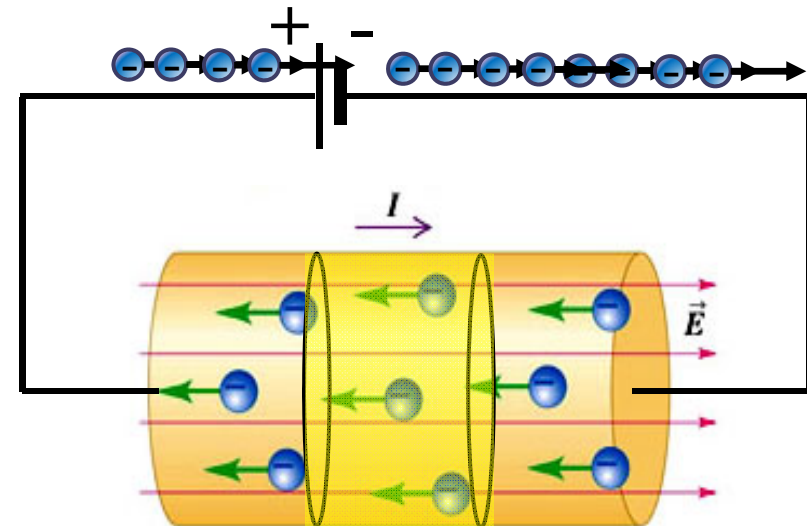
Densidad de corriente eléctrica: Corriente por unidad de área



$$\vec{j} = \frac{I}{A} = n \cdot q \cdot \vec{v}_d$$

Para conseguir que la corriente sea permanente y que los portadores circulen se tiene que generar una diferencia de potencial entre los extremos del material. Esto se hace gracias a un generador.

Generador. Dispositivo capaz de mantener una ddp entre dos puntos de un conductor.



Potencial eléctrico

Definición: Trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva desde dicho punto hasta el punto de referencia, dividido por unidad de carga.



A diagram illustrating the definition of electric potential. It shows a blue circle with '-1C' and a red circle with a '+' sign. A horizontal line with a bracket underneath is labeled '10J'. A blue arrow points from this line to the equation $\frac{10J}{1C} = 10V$.

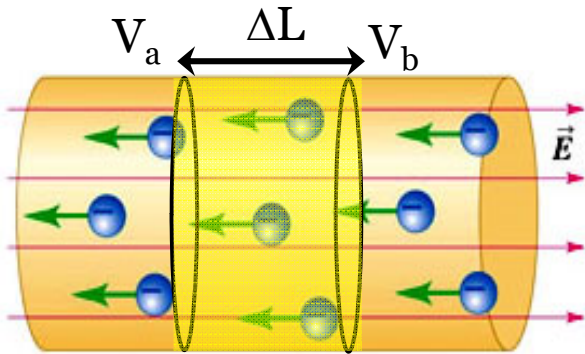
¿Qué pasa cuando hay una diferencia de potencial entre dos puntos?



Tierra: Potencial eléctrico nulo

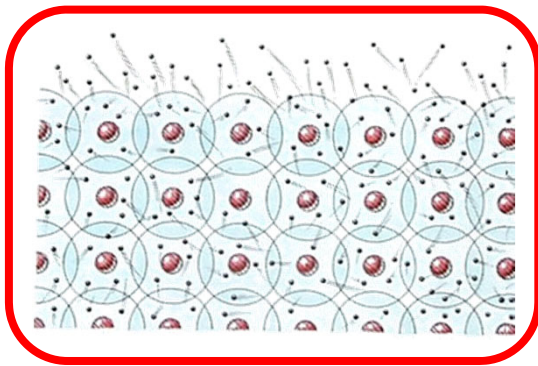
Resistencia y Ley de Ohm

Tenemos un generador que crea una diferencia de potencial entre los puntos a y b .



$$V = V_a - V_b = E \cdot \Delta L$$

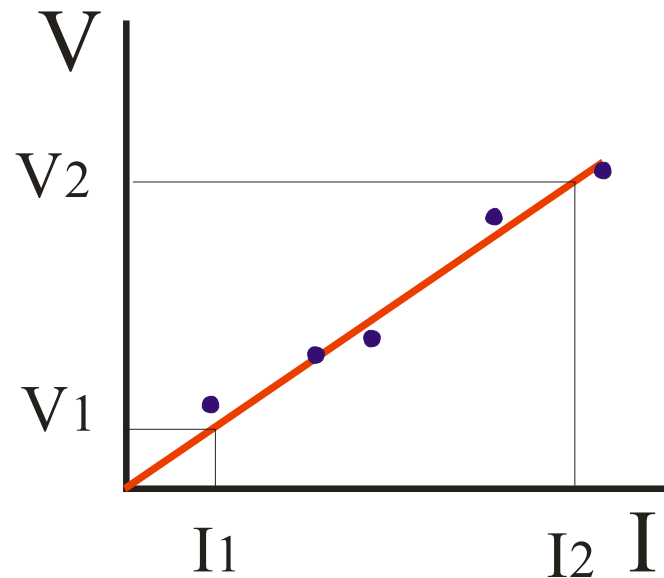
Resistencia eléctrica. Medida de la oposición (resistencia) que ejerce un material al flujo de carga que lo atraviesa.



Henry Cavendish observó que la diferencia de potencial tiene una relación de proporcionalidad con la intensidad. Esto se conoció más tarde como la **Ley de Ohm**.

$$V = I \cdot R$$

Resistencia y Ley de Ohm



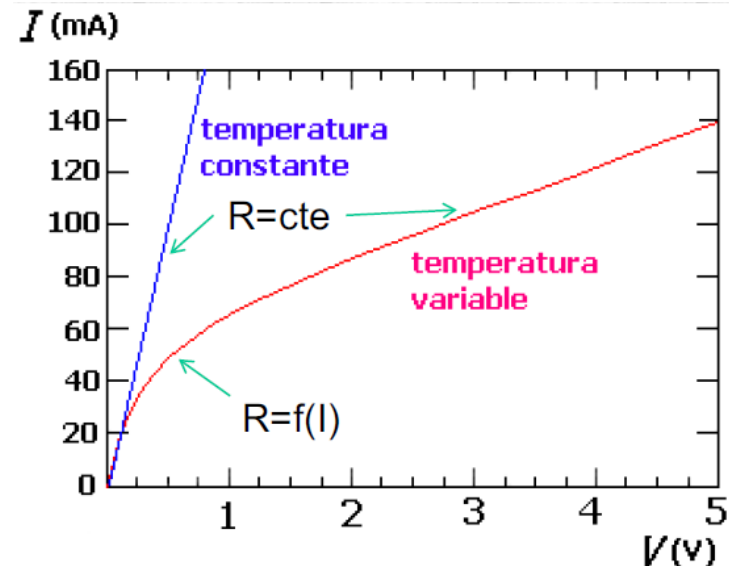
$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

Existe una relación entre la resistencia de un conductor y su tamaño.

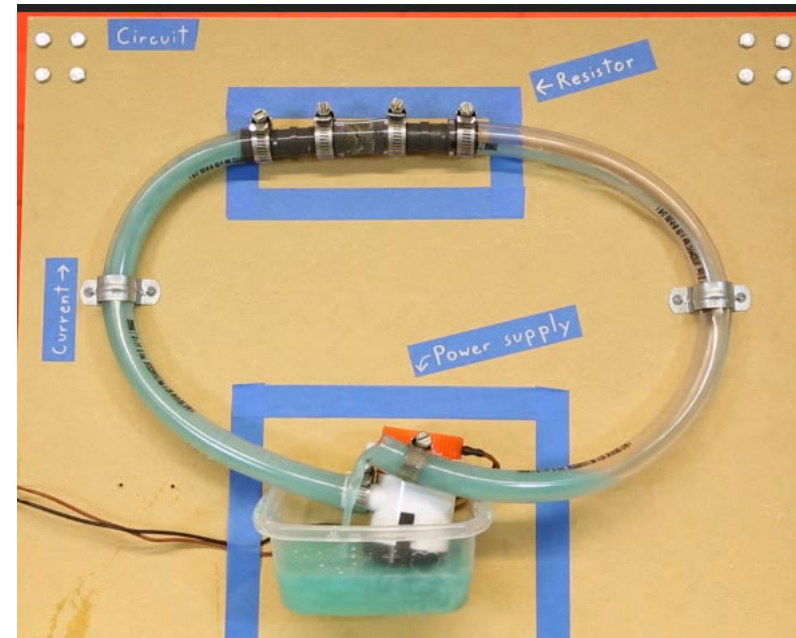
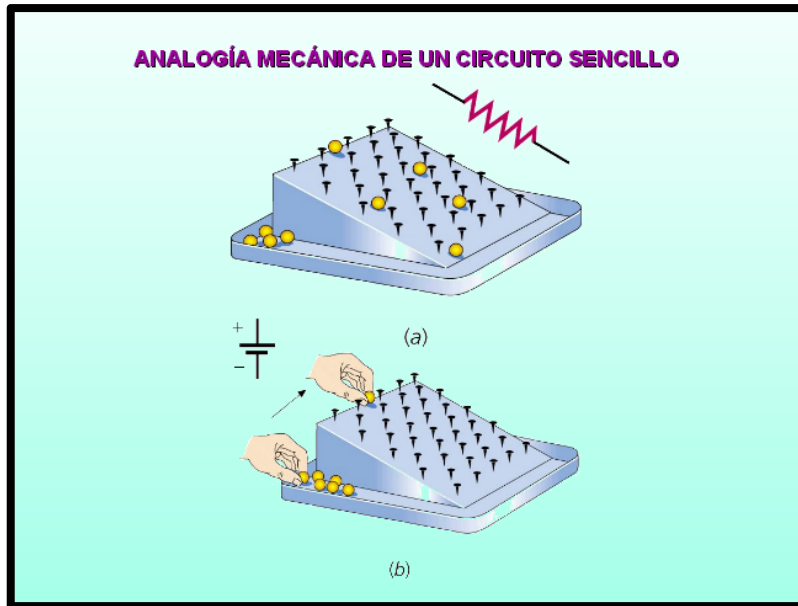
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde ρ se define como la **resistividad**.

Siempre hablamos de materiales óhmicos, es decir, aquellos que su resistencia no depende de la intensidad ni de la diferencia de potencial



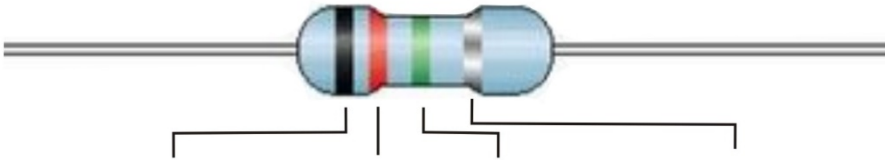
Resistencia y Ley de Ohm



¿Cómo sería el análogo a una fuente de corriente o intensidad en el circuito hidráulico?

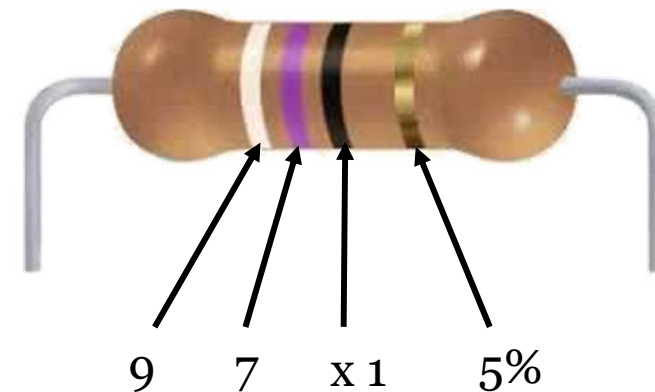
Resistencia y Ley de Ohm

Codigo de colores.



Color	1ra. Banda	2da. Banda	3ra. Banda Multiplicador	Tolerancia %
Negro	0	0	x1	
Cafe	1	1	x10	
Rojo	2	2	x100	2%
Naranja	3	3	x1000	
Amarillo	4	4	x10000	
Verde	5	5	x100000	
Azul	6	6	x1000000	
Violeta	7	7	x10000000	
Gris	8	8	x100000000	
Blanco	9	9	x1000000000	
Circuitos Básicos				Dorado 5%
				Plata 10%

Por ejemplo:



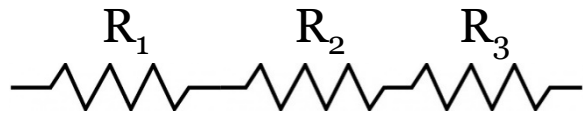
$$R = 97 \, \Omega \pm 5\%$$



$$R = (97 \pm 5) \, \Omega$$

Asociación de resistencias

Asociación en serie.



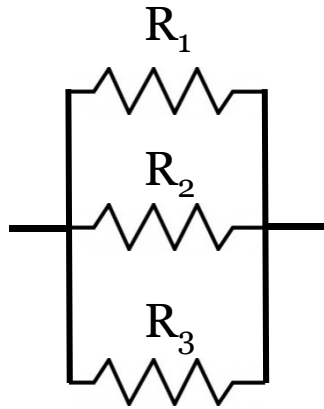
Hemos dicho que la diferencia de potencial genera una intensidad (I). Si no hay nudos donde se dividan los electrones, entonces circulará la misma intensidad por todas las resistencias.

$$V_a - V_b = V_1 + V_2 + V_3 = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i = R_{eq} \cdot i$$

$$R_{eq} = \sum_j R_j$$

Asociación de resistencias

Asociación en paralelo.



El mismo número de electrones que entren por un lado tienen que salir por el otro. Por lo tanto, si hay n caminos posibles estos electrones se deben dividir.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_a - V_b}{R_1} + \frac{V_a - V_b}{R_2} + \frac{V_a - V_b}{R_3} = \frac{V_a - V_b}{R_{eq}}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_j \frac{1}{R_j}$$

Energía en los circuitos eléctricos

La ley de la conservación de la energía se cumple también en los conductores. Los electrones se mueven de potencial bajo a potencial alto, lo que hace que las cargas adquieran energía cinética a costa de perder energía potencial.



En el punto a (energía potencial entrante) la energía potencial viene dada por:

$$dU_a = V_a \cdot I \cdot dt = V_a dq$$

En el punto b (energía potencial saliente) la energía potencial viene dada por:

$$dU_b = V_b \cdot I \cdot dt = V_b dq$$

La pérdida de energía potencial de los electrones se define como:

$$dW = (V_a - V_b) \cdot I \cdot dt = (V_a - V_b) \cdot dq$$

Potencia. Ley de Joule

El aumento de la energía cinética en las cargas se traduce de inmediato en energía térmica.



Partiendo de la pérdida de energía potencial, podemos definir la potencia disipada:

$$dW = (V_a - V_b) \cdot I \cdot dt \rightarrow \frac{dW}{dt} = (V_a - V_b) \cdot I = P$$

Si en el circuito solo existen resistencias, se puede aplicar la ley de Ohm.

$$P = I \cdot V = I^2 \cdot R$$

Generadores. Fuerza electromotriz

Cantidad de energía eléctrica que desarrolla el generador por unidad de carga

$$\varepsilon = \frac{dW}{dq}$$

Si comparamos con la expresión de la pérdida de energía potencial

$$dW = (V_a - V_b) \cdot dq \qquad V = \frac{dW}{dq}$$

La potencia generada viene dada por

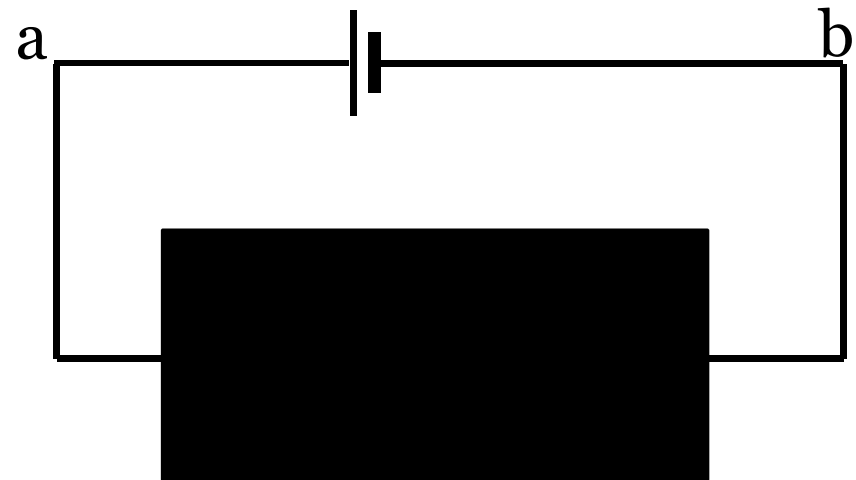
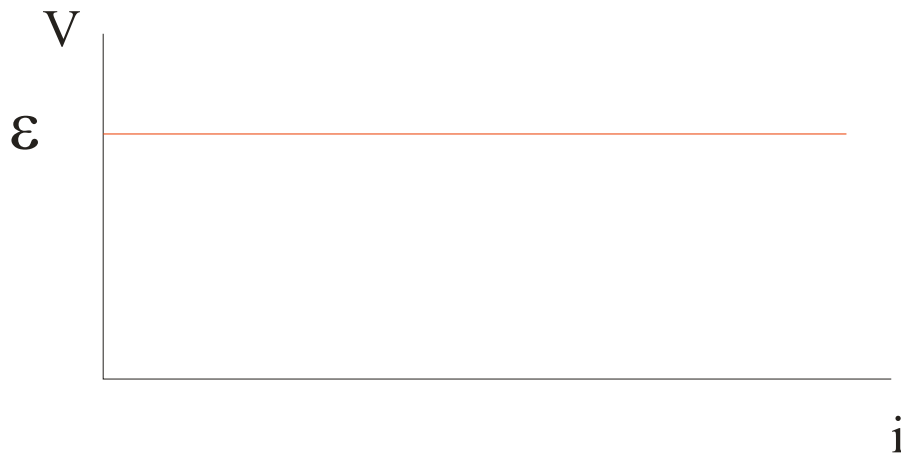
$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = \varepsilon \cdot I$$

Generadores. Fuerza electromotriz

Generador ideal

Potencia aportada por el generador es igual a la potencia consumida por el circuito.
El dispositivo transforma la energía química o mecánica en energía eléctrica.

$$P = \varepsilon \cdot I = (V_a - V_b) \cdot I \rightarrow \boxed{\varepsilon = (V_a - V_b)}$$



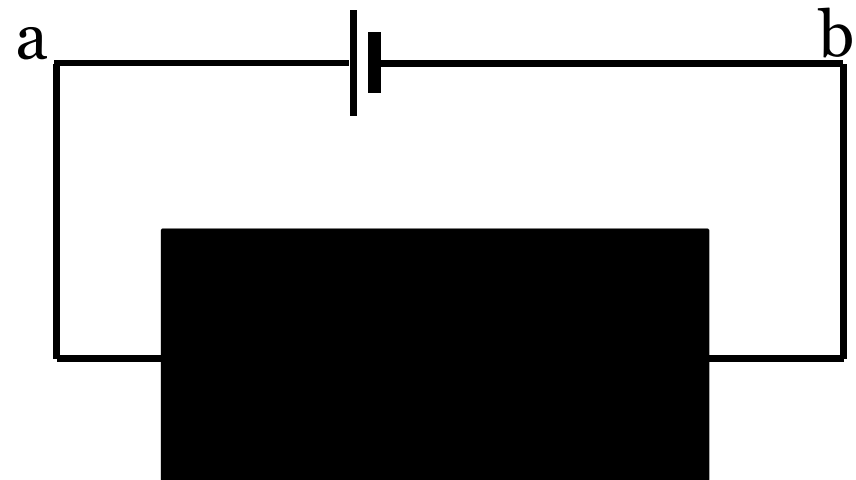
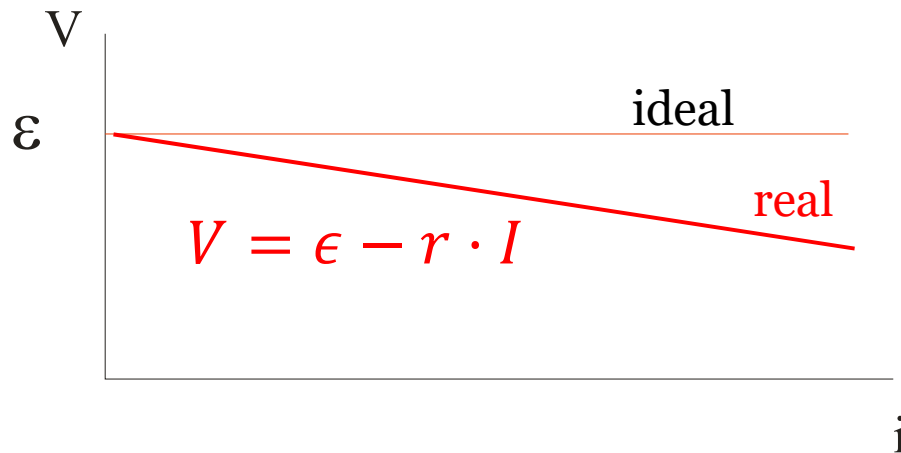
Generadores. Fuerza electromotriz

Generador real

La diferencia de potencial en los bornes cae con el aumento de corriente

$$P = \varepsilon \cdot I = P_1 + P_2 = I^2 \cdot r + (V_a - V_b) \cdot I$$

$$V_a - V_b = \varepsilon - I \cdot r$$



Generadores. Fuerza electromotriz

Rendimiento del generador

El rendimiento se define como el cociente entre la potencia que suministra y la potencia que desarrolla

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{suministrada}} = \frac{(V_a - V_b)}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon - I \cdot r}{\varepsilon}$$

Receptores. Fuerza contraelectromotriz

Receptor

Todo aquel elemento que transforma la energía eléctrica en otro tipo: lumínica, mecánica, calorífica...etc.

Fuerza contraelectromotriz. Energía que desarrolla (transforma) el receptor por unidad de carga

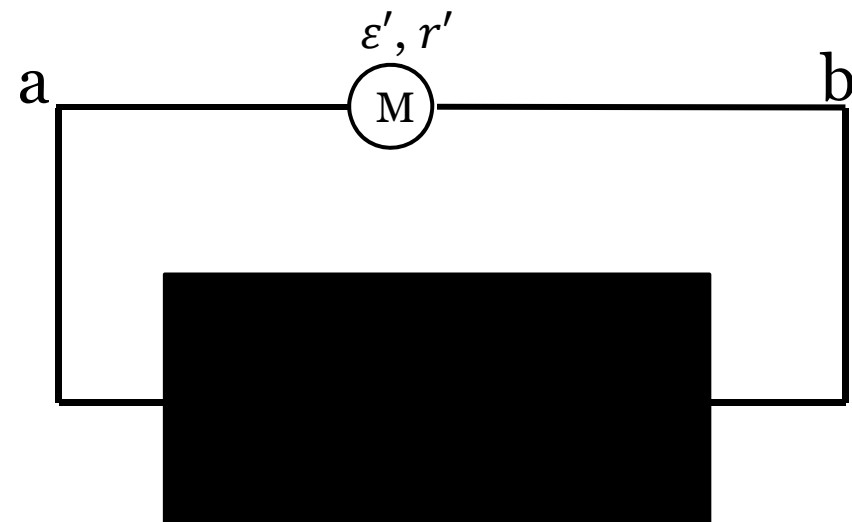
$$\varepsilon' = \frac{dW'}{dq}$$

Receptor ideal ($r' = 0$)

$$(V_a - V_b) = \varepsilon'$$

Receptor real ($r' \neq 0$)

$$(V_a - V_b) = \varepsilon' + r' \cdot I$$



Receptores. Fuerza electromotriz

Rendimiento del receptor

El rendimiento se define como el cociente entre la potencia que suministra y la potencia que desarrolla

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{suministrada}} = \frac{\varepsilon' \cdot I}{V \cdot I} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon' + I \cdot r'}$$

Ejemplo:

Conectamos la batidora a la toma de 220 V.

Motor transforma energía eléctrica en mecánica con una fuerza contraelectromotriz determinada.

¿Es ideal o real? ¿Tiene resistencia interna?

¿Cómo lo sabemos?



Ley de Ohm generalizada

Ley de Ohm generalizada

La potencia suministrada por el generador es igual a la potencia consumida por todos los elementos del circuito

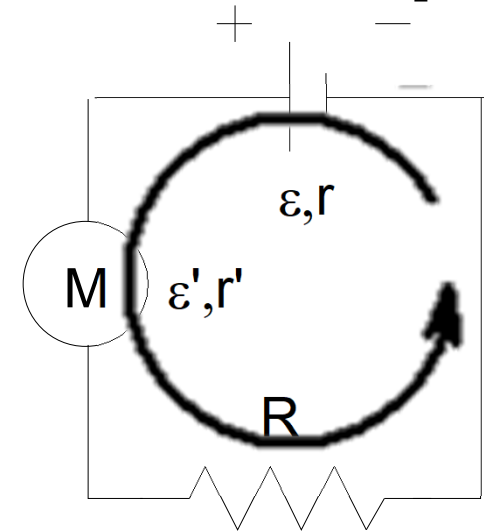
$$P_{\text{generador}} = \varepsilon \cdot I - r \cdot I^2$$

$$P_{\text{receptor}} = \varepsilon' \cdot I + r' \cdot I^2$$

$$P_{\text{resistencia}} = R \cdot I^2$$

$$\varepsilon \cdot I - r \cdot I^2 = \varepsilon' \cdot I + r' \cdot I^2 + R \cdot I^2$$

$$\varepsilon = \varepsilon' + (r' + r + R) \cdot I$$



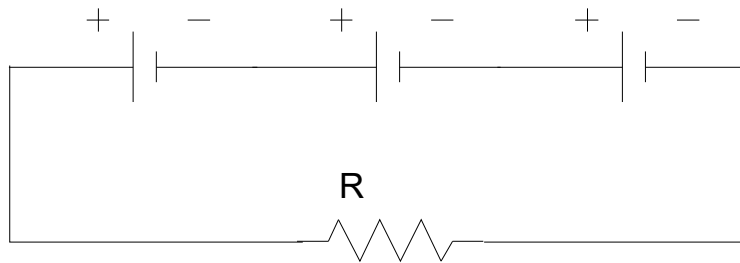
$$P = V \cdot I$$

$$\sum \varepsilon = \sum \varepsilon' + \sum r \cdot I$$

Asociación de generadores

Asociación en serie

Si tenemos n generadores iguales



$$\sum \varepsilon = \sum \varepsilon' + \sum r \cdot I$$

$$n \cdot \varepsilon = (R + n \cdot r) \cdot I$$

$$I = \frac{n \cdot \varepsilon}{R + n \cdot r}$$

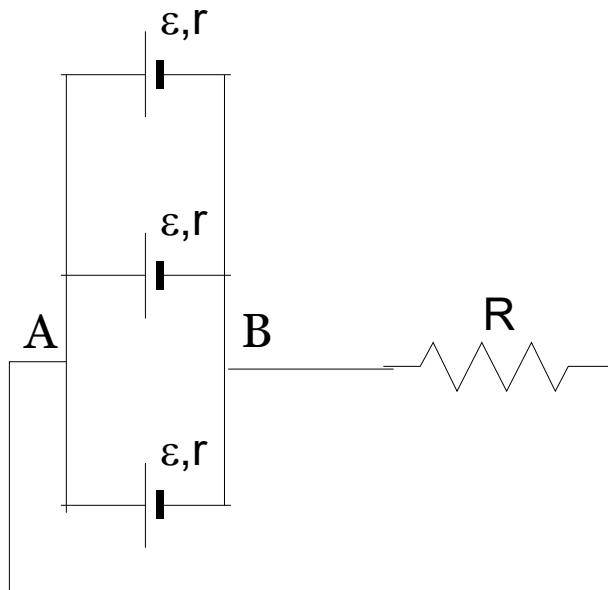


$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{eq} = n \cdot \varepsilon \\ r_{eq} = n \cdot r \end{array} \right.$$

Asociación de generadores

Asociación en paralelo

Si tenemos n generadores iguales. Nunca se puede conectar generadores distintos en paralelo.



La diferencia de potencial entre A y B es la misma independientemente del camino.

$$\varepsilon_{eq} = \varepsilon$$

La resistencia equivalente:

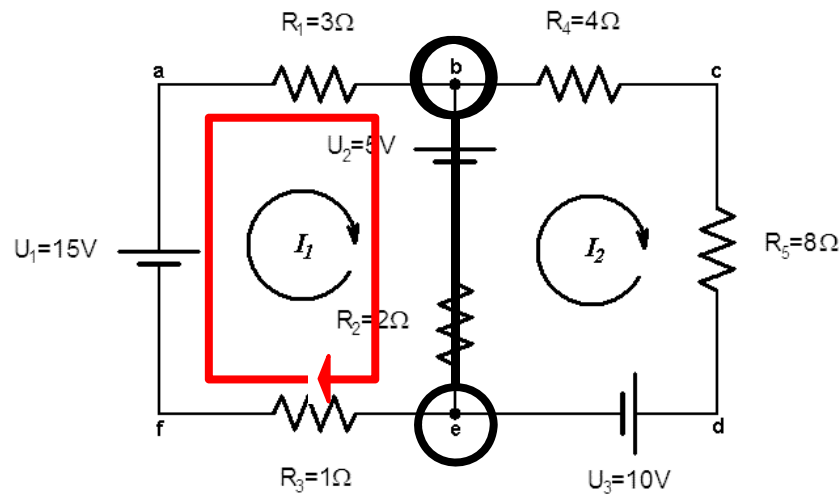
$$r_{eq} = \frac{r}{n}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_j \frac{1}{R_j}$$

Circuitos de una sola malla

Leyes de Kirchhoff

Son útiles para encontrar las corrientes que circulan por las diferentes partes de un circuito o las caídas de potencial que existen entre dos puntos determinados de dicho circuito.



Nudo. Intersección de tres o más conductores.

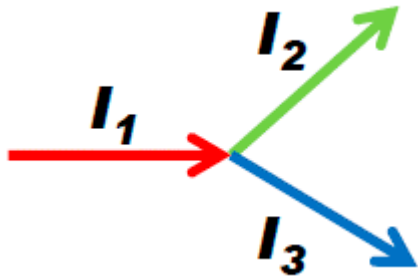
Malla. Todo recorrido cerrado en un circuito.

Rama. Es un elemento o grupo de elementos conectados entre dos nudos.

Circuitos de una sola malla

Leyes de Kirchhoff

Ley de los nodos. La suma algebraica de todas las corrientes que concurren en un nudo es cero.



$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Corrientes que entran en el nudo (+)

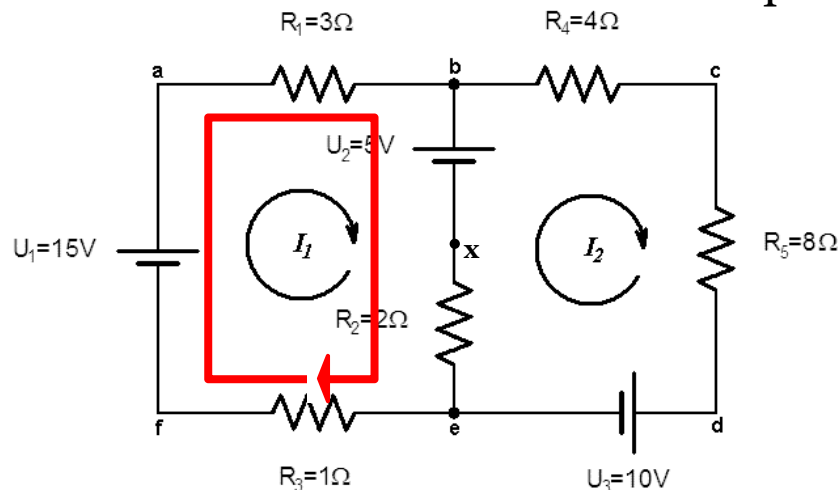
Corrientes que salen del nudo (-)

$$\sum_j I_j = 0$$

Circuitos de una sola malla

Leyes de Kirchhoff

Ley de las mallas. La suma algebraica de todas las caídas de tensión a lo largo de una malla debe ser nula en cualquier instante.



$$V_{fa} - V_{ab} + V_{bx} - V_{xe} - V_{ef} = 0$$

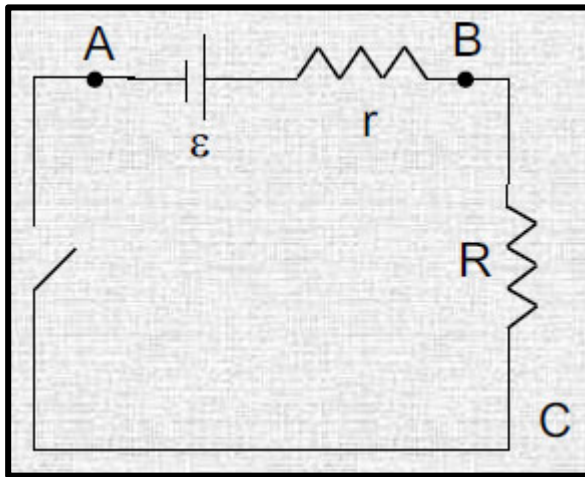
$$\sum_j V_j = 0$$

Voltaje positivo en una resistencia que se mide en la misma dirección que la corriente

Voltaje positivo en una batería en el sentido del terminal positivo al negativo. Independiente de la corriente.

Circuito abierto y cortocircuito

Circuito abierto

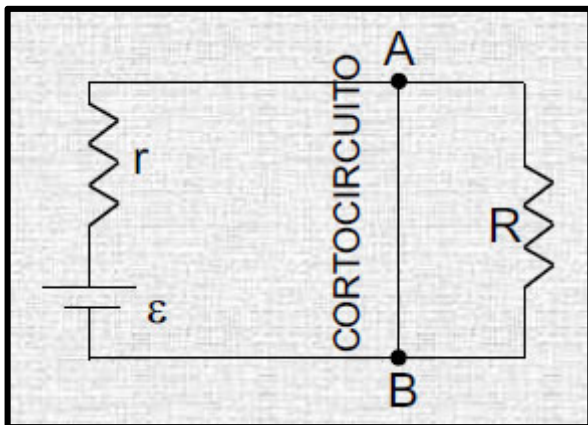


$$V_{ab} = \varepsilon - I \cdot r$$

0

$$V_{ab} = \varepsilon$$

Cortocircuito



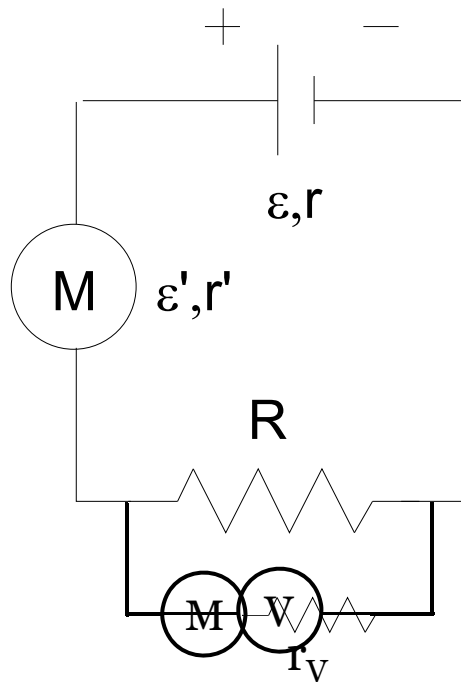
Recorrido de muy baja resistencia (idealmente $R=0$)

$$V_{ab} = 0$$

Instrumentos de medida

Voltímetro

Se debe de colocar obligatoriamente en **PARALELO** al componente del cual se quiere medir el voltaje.



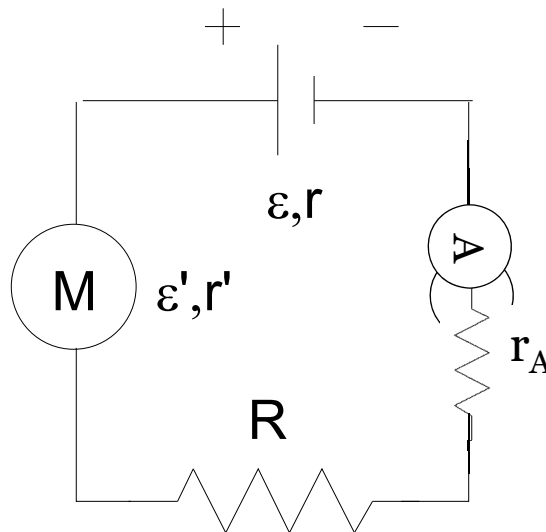
Errores comunes

El voltímetro tiene una resistencia interna (no es ideal). Esta resistencia interna debe ser muy grande (idealmente infinita)

Instrumentos de medida

Amperímetro

Se debe de colocar obligatoriamente en **SERIE** al componente del cual se quiere medir la intensidad.



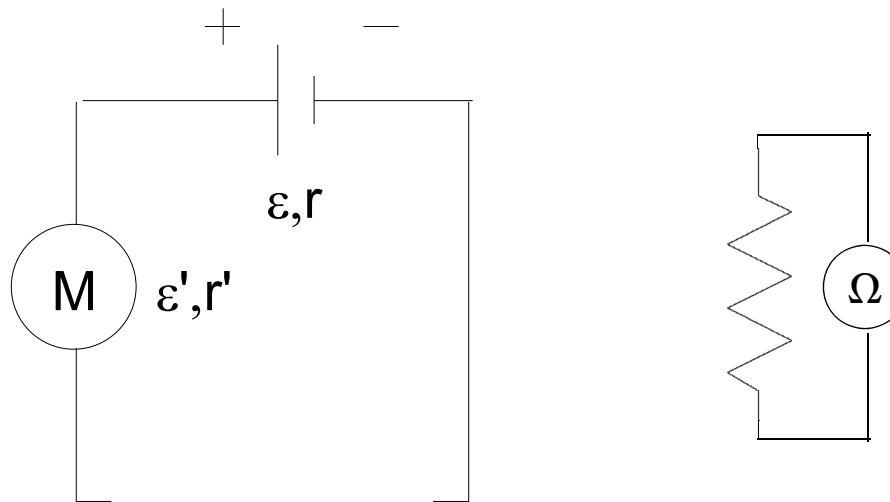
Errores comunes

El amperímetro también tiene una resistencia interna (no es ideal). Esta resistencia interna debe ser muy pequeña (idealmente cero)

Instrumentos de medida

Óhmetro

Se debe de colocar obligatoriamente en **PARALELO** al componente del cual se quiere medir la resistencia. Se debe sacar del circuito.



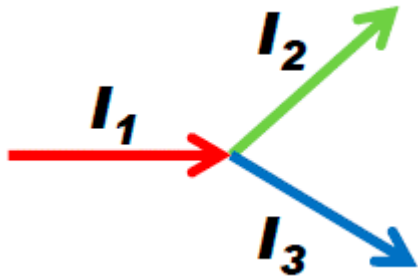
Errores comunes

El óhmetro también tiene asociado un cierto error, hay que tenerlo en cuenta en la medida empírica.

Circuitos de una sola malla

Leyes de Kirchhoff

Ley de los nodos. La suma algebraica de todas las corrientes que concurren en un nudo es cero.



$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Corrientes que entran en el nudo (+)

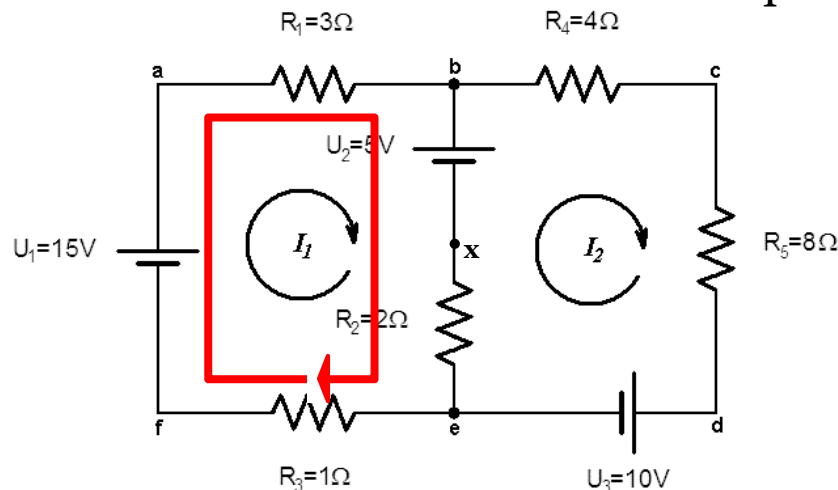
Corrientes que salen del nudo (-)

$$\sum_j I_j = 0$$

Circuitos de una sola malla

Leyes de Kirchhoff

Ley de las mallas. La suma algebraica de todas las caídas de tensión a lo largo de una malla debe ser nula en cualquier instante.



$$V_{fa} - V_{ab} + V_{bx} - V_{xe} - V_{ef} = 0$$

$$\sum_j V_j = 0$$

Voltaje positivo en una resistencia que se mide en la misma dirección que la corriente

Voltaje positivo en una batería en el sentido del terminal positivo al negativo. Independiente de la corriente.

Cuestiones

¿Alguien quiere un descanso?



¿Cual es la velocidad de traslación de los electrones en un cable de sección 1 mm^2 por el que circula una corriente de 1A ? El material conductor del cable tiene una concentración de electrones de 10^{22} cm^{-3} .

a) $1.6 \cdot 10^3 \text{ m/s}$; b) $3 \cdot 10^2 \text{ m/s}$; c) $1.875 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; d) 0.625 mm/s ;
e) Ninguna de las anteriores.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = n \cdot q \cdot A \cdot v_d$$



¿Qué valor aproximado tiene la resistividad de un buen conductor?

a) $10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$

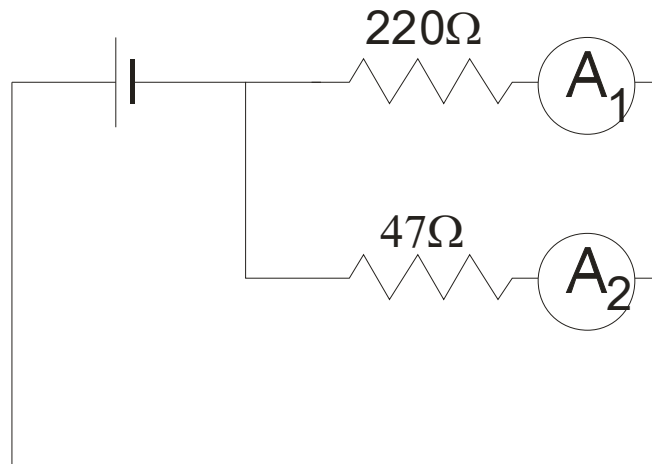
b) $0.1 \Omega \cdot \text{m}$

c) $10^3 \Omega \cdot \text{m}$

d) $10^7 \Omega \cdot \text{m}$

e) Muy distinto de los anteriores.

Si el amperímetro A_1 señala 50 mA. ¿Cual es el voltaje de la pila? y, ¿cuanto señala A_2 ?

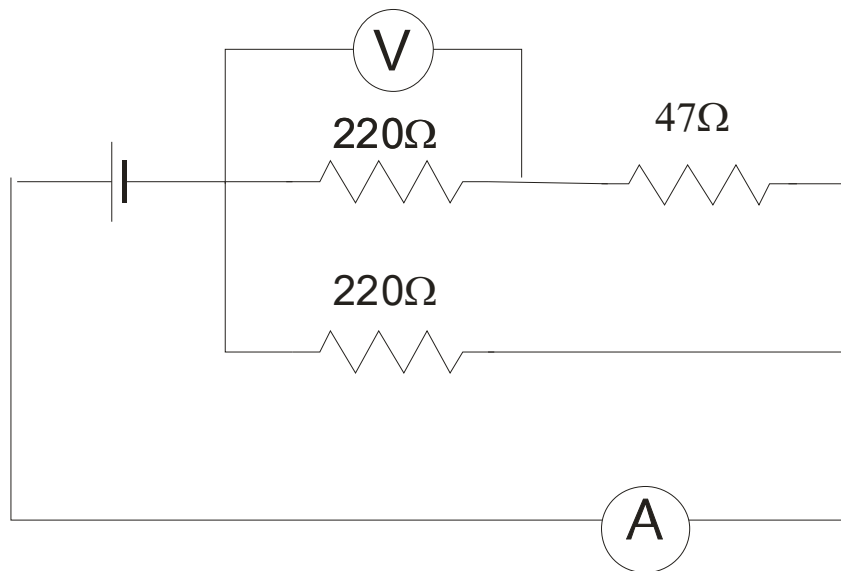


$$V_1 = V_2$$

$$220 \cdot 0.05 = 47 \cdot i$$

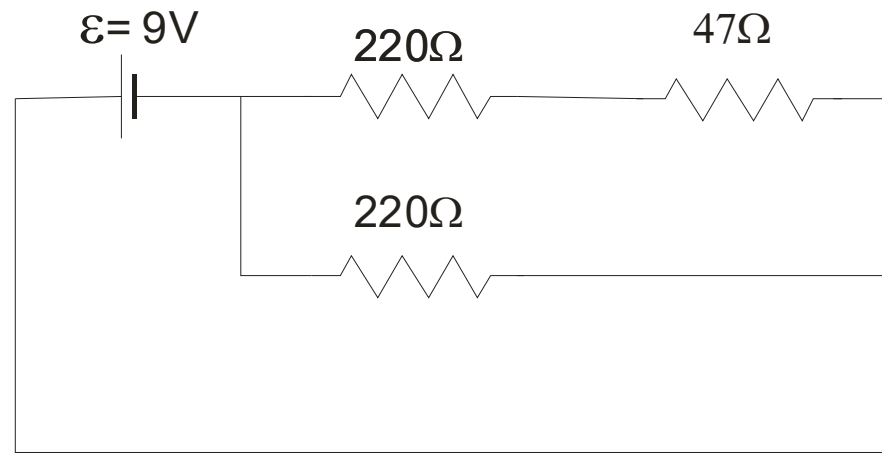
$$i = 0.234041 \text{ A}$$

- a) Si el voltímetro indica $V = 5 \text{ V}$, ¿Cuánto señala el amperímetro?
- b) Si el amperímetro indica 50 mA , ¿Cuánto indica el voltímetro?



$$\begin{aligned} 5 &= 220 \cdot i_1; i_1 = 0.02273 \text{ A}; \\ V_T &= (220 + 47) \cdot i_1 = 6.069 \text{ V}; \\ i_2 &= 6.069 / 220 = 0.02759 \text{ A}; \\ i &= i_1 + i_2 = 0.05032 \text{ A} \\ i &= i_1 + i_2 = 0.05 \text{ A}; 267 \cdot i_1 = 220 i_2; \\ V &= i_1 \cdot 220 \text{ V} \end{aligned}$$

¿Cuánta potencia disipa la resistencia de 47Ω

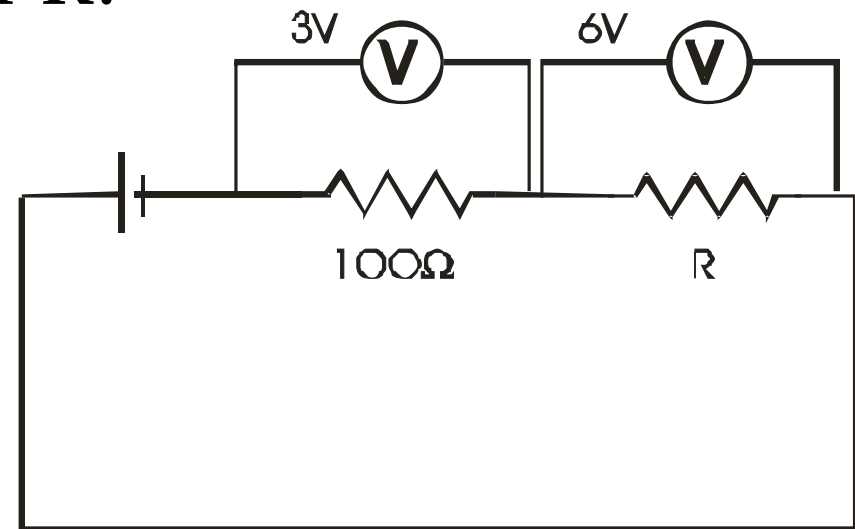


$$I_1 = 9/267 = 0.03371$$

$$P = R \cdot I_1^2 = 0.06W$$

De acuerdo con las medidas de los aparatos de la figura. ¿Qué valor debe tener R?

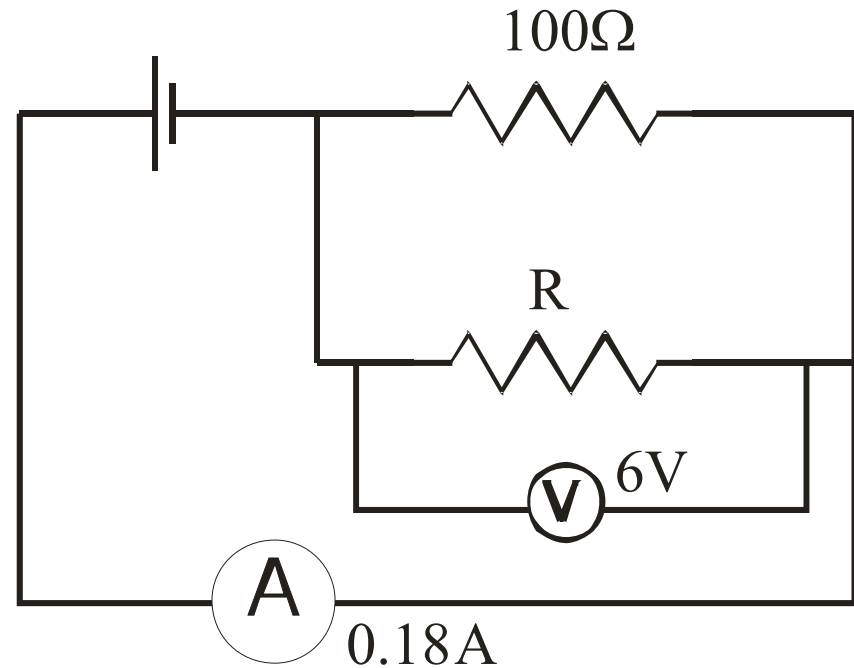
- a) 50Ω .
- b) 10Ω .
- c) 100Ω .
- d) 200Ω .
- e) Depende del generador.



$$i = 3/100 = 0.03\text{A}; R = V/i = 6/0.03 = 200\Omega$$

De acuerdo con las medidas de los aparatos de la figura. ¿Qué valor debe tener R?

- a) 50 Ω .
- b) 10 Ω .
- c) 100 Ω .
- d) 200 Ω .
- e) Depende del generador.



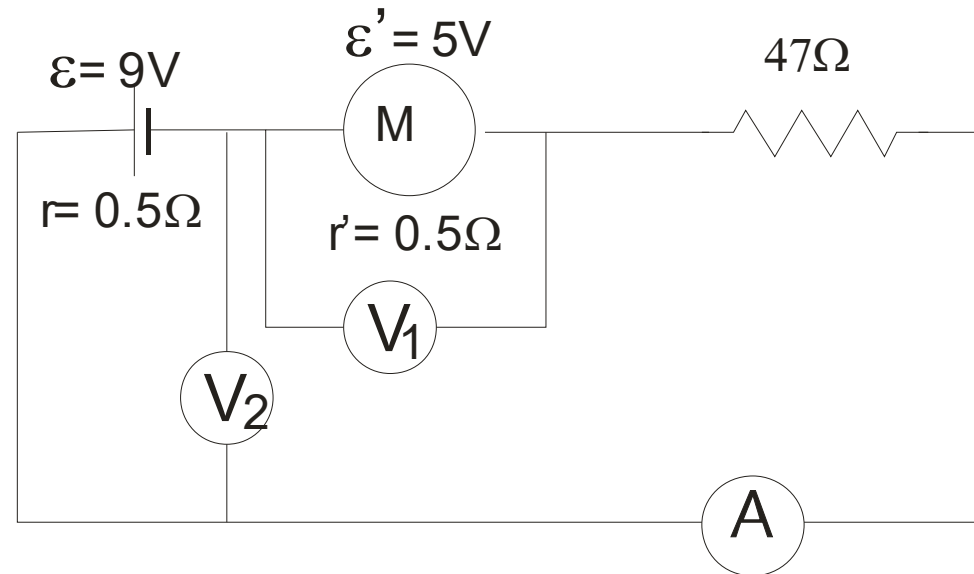
$$R_{eq} = \frac{100 \cdot R}{100 + R} \Omega; 6 V = 0.18 \cdot \frac{100 \cdot R}{100 + R}; R = 50 \Omega$$

Se tiene un generador de 9V de f.e.m. y resistencia interna 1.5Ω . El generador alimenta un circuito con una I de 2A. ¿Qué diferencia de potencial se mediría entre los bornes del generador?

a) 6V; b) 12V; c) 3V; d) 8.25 V

$$V = e - r \cdot I = 9 - 1.5 \cdot 2 = 6V$$

¿Que señala cada uno de los instrumentos de la figura?



$$I = (9 - 5) / (0.5 + 0.5 + 47) = 0.08333 \text{ A}$$

$$V_1 = 5 + 0.5 \cdot 0.08333 = 5.042 \text{ V}$$

$$V_2 = 9 - 0.5 \cdot 0.08333 = 8.958 \text{ V}$$

$$V_R = 47 \cdot 0.08333 = 3.915 \text{ V}$$

$$\sum \varepsilon = \sum \varepsilon' + \sum r \cdot I$$

La eficiencia de un motor es el cociente entre el trabajo realizado y la energía consumida y normalmente se expresa en %. ¿Qué eficiencia tiene un motor eléctrico que funciona con una corriente de 5 A, un voltaje de 10 V y que tiene una resistencia de 1Ω ?

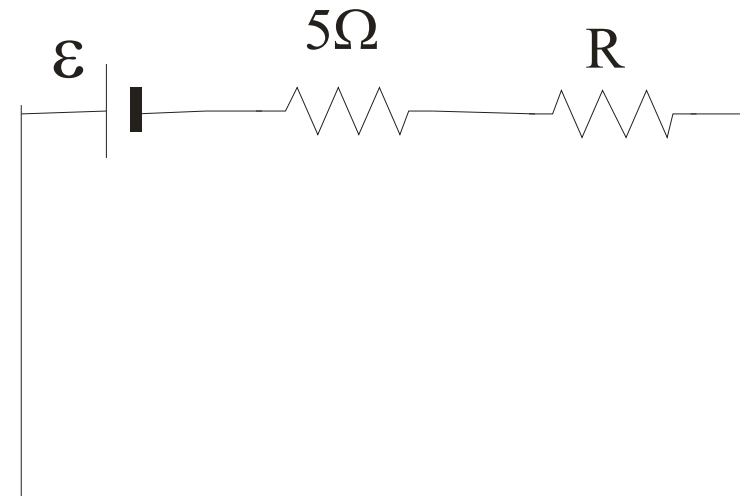
- a) 100 %
- b) 90%
- c) 80%
- d) 70%
- e) Ninguna de las anteriores

$$V = \varepsilon + r \cdot i \Rightarrow V = 10 + 5 = 15V$$

$$\eta = \varepsilon / (\varepsilon + r \cdot i) \cdot 100 = 10 / 15 \cdot 100 = 67\%$$

Se tiene el circuito de la figura y se quiere que la potencia consumida por efecto Joule en R sea máxima. ¿Que valor debe tener R ?

- a) Cuanto más grande mejor.
- b) $2\ \Omega$
- c) $50\ \Omega$
- d) $5\ \Omega$
- e) Cuanto mas pequeña mejor



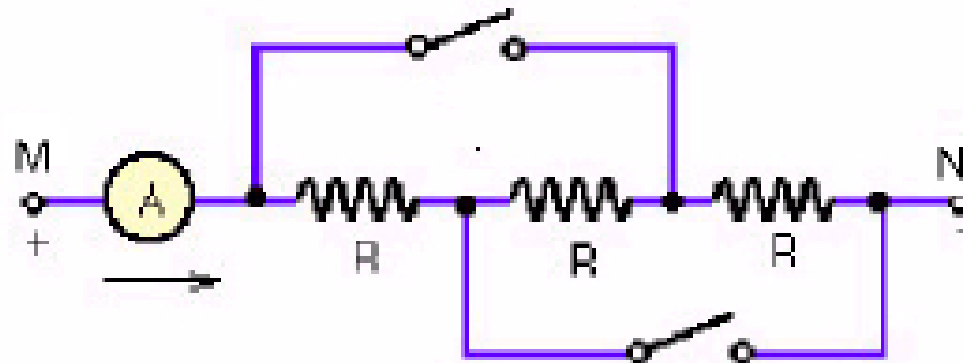
$$P = I^2 R = \frac{\varepsilon^2}{(R + 5)^2} R$$

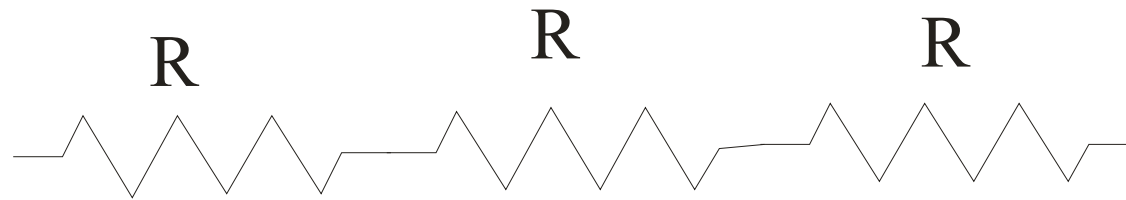
$$\frac{dP}{dR} = \frac{d}{dR} \left(\frac{\varepsilon^2}{(R + 5)^2} R \right) = 0$$

$$\frac{\varepsilon^2 (5 - R)}{(R + 5)^3} = 0 \qquad R = 5\Omega$$

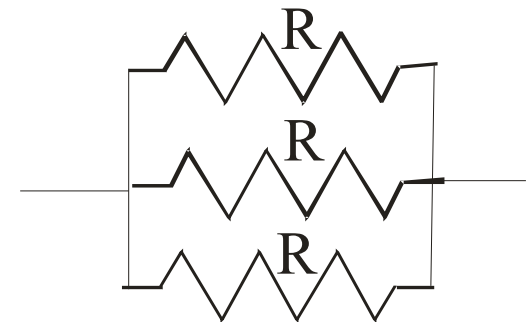
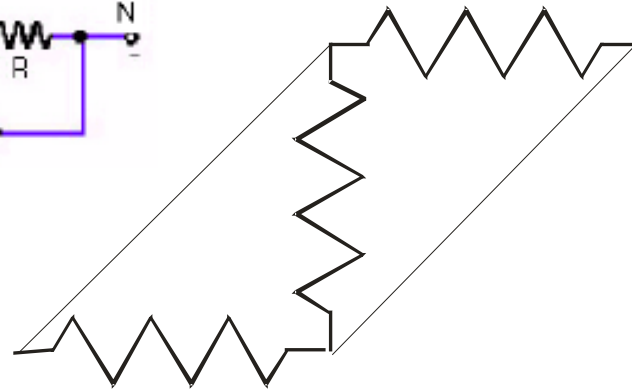
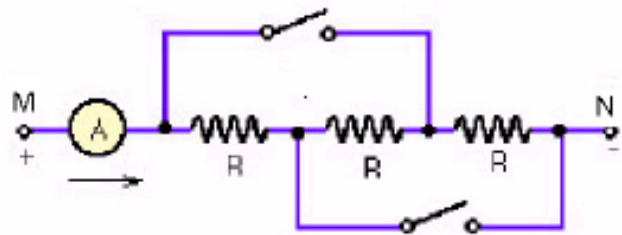
En el circuito mostrado, tres resistencias idénticas están conectadas entre sí y existe una diferencia de potencial entre los terminales M y N. Con ambos interruptores abiertos, el amperímetro indica una corriente de 1 Amperio. Si se cierran los dos interruptores ¿cuál será la nueva lectura del amperímetro?

- a) $1/3$ A b) 3 A c) 9 A





A) $R_{eq} = 3R$; $V = 3R \cdot 1 = 3R$ Voltios



B) $R_{eq} = R/3$; $I = 3R/(R/3) = 9A$

Una pila de fuerza electromotriz 10 V y 1Ω de resistencia interna se conecta a una resistencia R

¿Cuál debe ser el valor de R para que la potencia disipada en ella sea el 20 % de la suministrada por la pila?

a) $R = 4 \Omega$

b) $R = 0,5 \Omega$

c) $R = 0,25 \Omega$

$$P = 10 \cdot i \text{ W}; P_R = i^2 \cdot R = 0.2 \cdot P \text{ W}; R = 2/i \Omega$$

$$\varepsilon = (R + r) \cdot i \text{ V}; i = 10/(R + 1) \text{ A}$$

$$R = 2 \cdot (R + 1)/10 \Omega; R = 0.25 \Omega$$

Es sabido que el filamento de una bombilla, fabricado normalmente con wolframio, presenta una resistencia eléctrica que aumenta al aumentar la temperatura del mismo. Si una bombilla, que alimentada a 220 V consume 0,25 A se conectase a 110 V ¿qué corriente consumiría?

a) Menos de 0,125 A.

b) 0,125 A.

c) Más de 0,125 A.

$$R = \frac{V}{I} = 880\Omega \quad \text{con } 220 V ;$$

$$\text{Si mantuviese la resistencia } I = \frac{110}{880} = 0.125A \text{ con } 110 V$$

Al descender el voltaje, desciende la potencia, desciende la temperatura, desciende la resistencia, la intensidad debe ser mayor.