

# Tema 1 – Corriente continua

- 1 Carga eléctrica. Campo eléctrico.
- 2 Corriente eléctrica
- 3 Diferencia de potencial
- 4 Potencia
- 5 Resistencia. Ley de Ohm. Efecto Joule
- 6 Fuentes de tensión
- 7 Leyes de Kirchhoff
- 8 Asociación de resistencias
- 9 Aparatos de medida
- 10 Teorema de Thévenin
- 11 Condensadores

# 1.1 Carga eléctrica

---

Carga eléctrica es una magnitud fundamental de la física, responsable de la interacción electromagnética.

-En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de carga eléctrica se denomina culombio  $C$

Submúltiplos  
del Culombio

$$1 \text{ nC} = 10^{-9} C$$

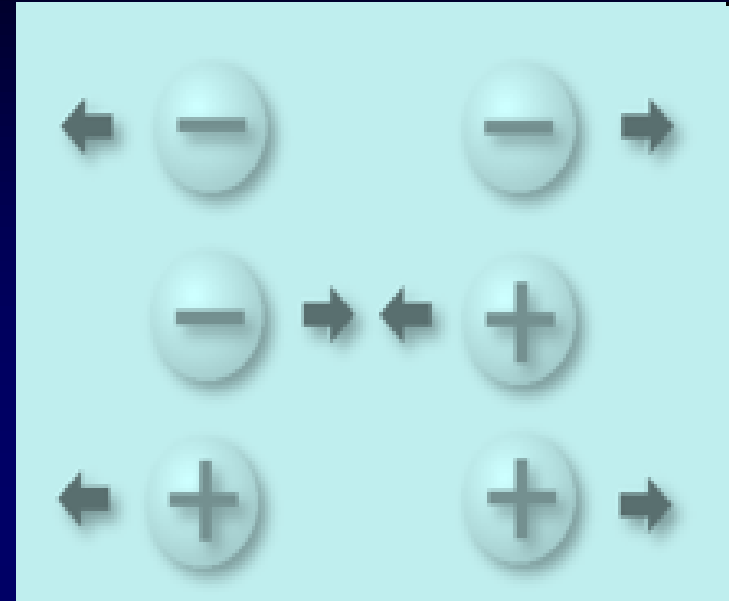
$$1 \text{ }\mu\text{C} = 10^{-6} C$$

$$1 \text{ mC} = 10^{-3} C$$

-Un culombio corresponde a  $6,241\ 509 \times 10^{18}$  electrones

# Dualidad de la carga

**Dualidad de la carga:** Todas las partículas cargadas pueden dividirse en positivas y negativas, de forma que las de un mismo signo se repelen mientras que las de signo contrario se atraen.



- A los electrones se les asignan carga negativa:  $-e$
- Los protones tienen carga positiva:  $+e$
- Los neutrones son neutros y no tienen carga:  $0$

# Principio de conservación de la carga

---

Principio de conservación de la carga: en cualquier proceso físico, la carga total de un sistema cerrado (aislado) se conserva.

- La carga ni se crea ni se destruye
- Se transfiere
  - entre átomos
  - entre moléculas
  - entre cuerpos
- Quitando electrones a un átomo resulta en un átomo de carga positiva.

# Cuantización de la carga

---

Cuantización de la carga: La carga eléctrica siempre se presenta como un múltiplo entero de una carga fundamental, que es la del electrón.

El valor de la carga del electrón es

$$q_e = -e = -1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

y  $e$  es la carga elemental.

Cualquiera carga  $q$  puede ser escrita como

$$q = N e$$

con  $N$  entero (positivo o negativo)

# Modelo atómico

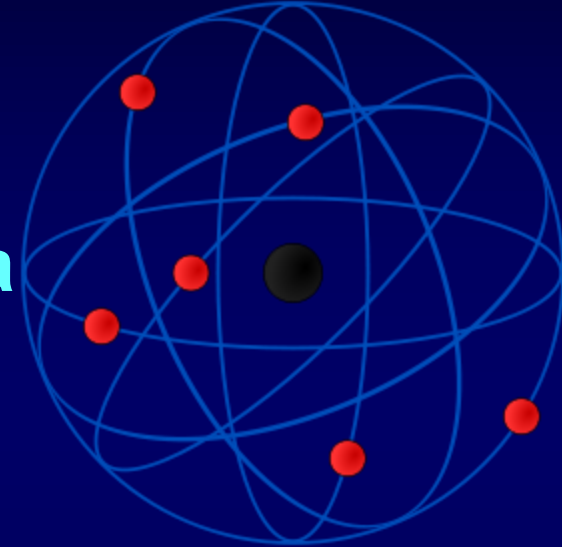
**Modelo clásico de un átomo (de Rutherford):**  
formado por dos partes:

- núcleo, muy pequeño, con toda la carga eléctrica positiva y casi toda la masa del átomo

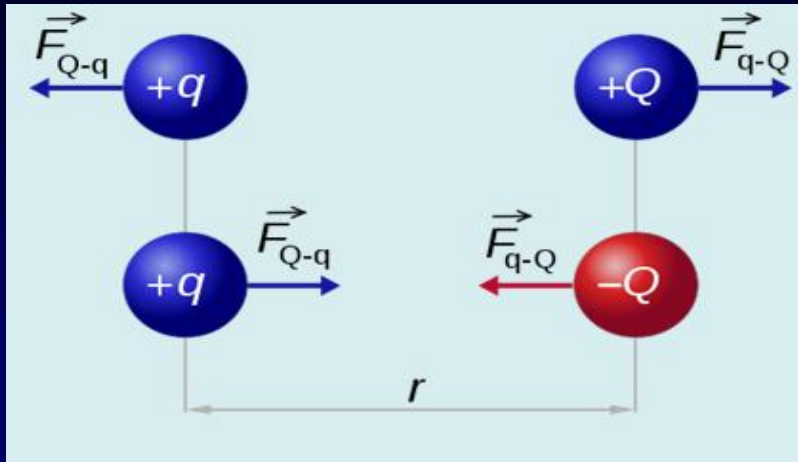
- "corteza", de electrones, girando a gran velocidad alrededor del núcleo.

- Carga  $q$  de un átomo de  $N_p$  protones,  $N_n$  neutrones y  $N_e$  electrones:  $q = e (N_p - N_e)$

- Los electrones externos pueden ser utilizados en la formación de compuestos y a los cuales se les denomina como electrones de valencia.



# Ley de Coulomb



$$F = k Q q / r^2$$



Charles-Augustin de Coulomb  
1736 - 1806

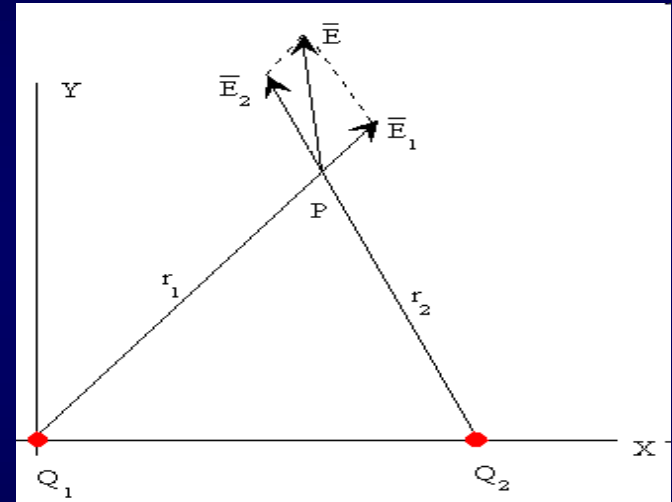
La ley de Coulomb: La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de la magnitud de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.  $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$ ;

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  permitividad del vacío/const.dielectr.

# Campo eléctrico

Campo eléctrico  $E$  es un campo vectorial en el cual una carga eléctrica puntual  $q$  siente una fuerza eléctrica  $F$  dada por la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = \vec{E} q$$

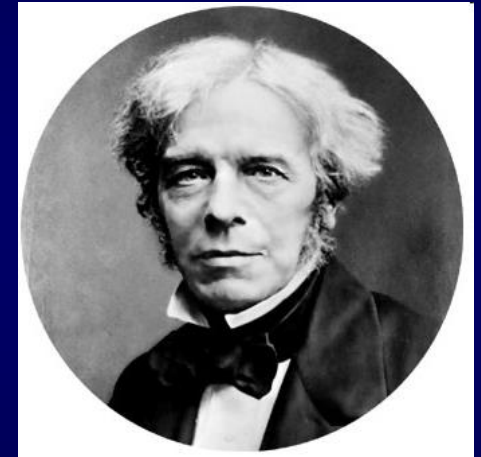
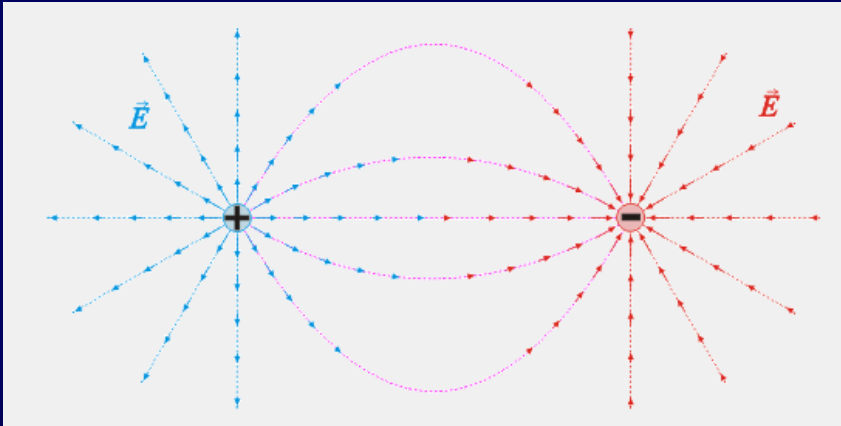


Principio de superposición para campos electrostáticos: en presencia de varias cargas el campo eléctrico  $E_{\text{total}}$  es la suma vectorial de campos individuales:  $\vec{E}_{\text{total}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$



# Líneas de campo

Un campo eléctrico puede ser representado con líneas (introducidas por Michael Faraday) las cuales indican las trayectorias que seguiría una carga positiva si se la abandona libremente.



Michael Faraday  
(1791 – 1867)

- salen de las cargas positivas y llegan a las cargas negativas
- la densidad de líneas en un punto es proporcional al valor del campo eléctrico en dicho punto.

# 1.2 Corriente eléctrica

---

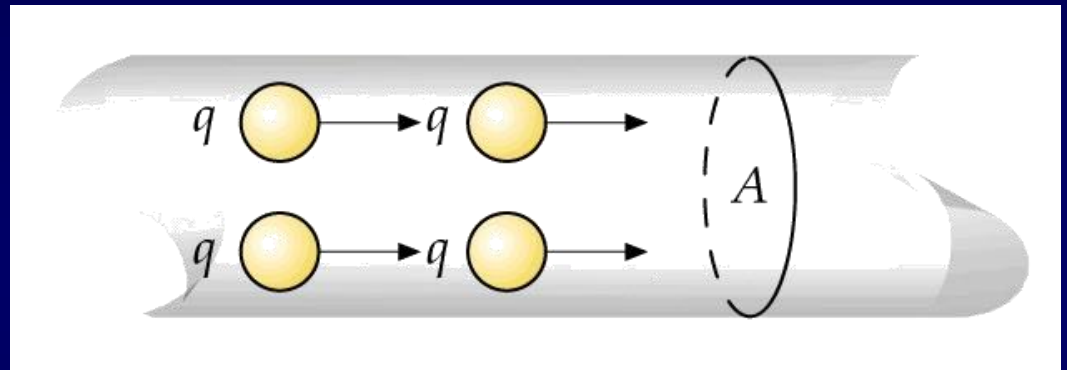
**La conducción eléctrica** es el movimiento de partículas eléctricamente cargadas a través de un medio de transmisión (conductor eléctrico).

- El movimiento de las cargas constituye una corriente eléctrica.
- Puede ser debida a:
  - electrones (metales)
  - electrones y huecos (semiconductores)
  - iones (electrólitos)

# Intensidad eléctrica

La intensidad eléctrica  $I$  es el flujo de carga  $q$  por unidad de tiempo  $t$  que recorre un material.

$$I = q / t$$

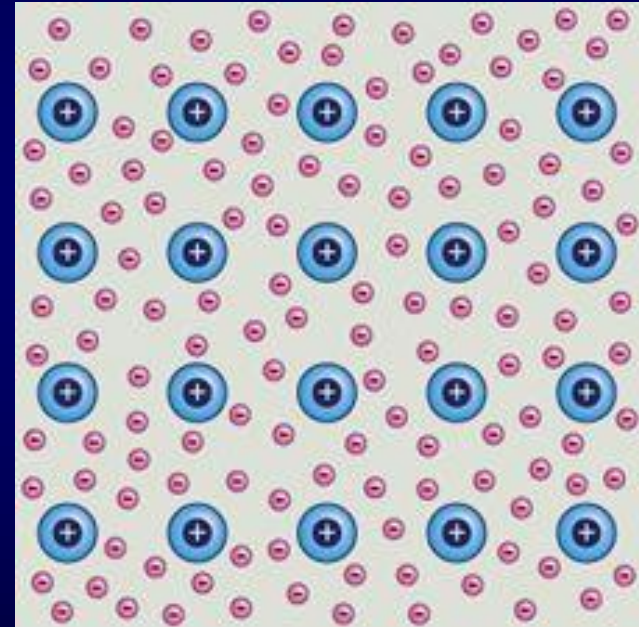


- Se debe al movimiento de los electrones o iones en el interior del material.
- En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en amperios (A)
- $1 \text{ A} = 1 \text{ C} / 1 \text{ s}$

# Conductor

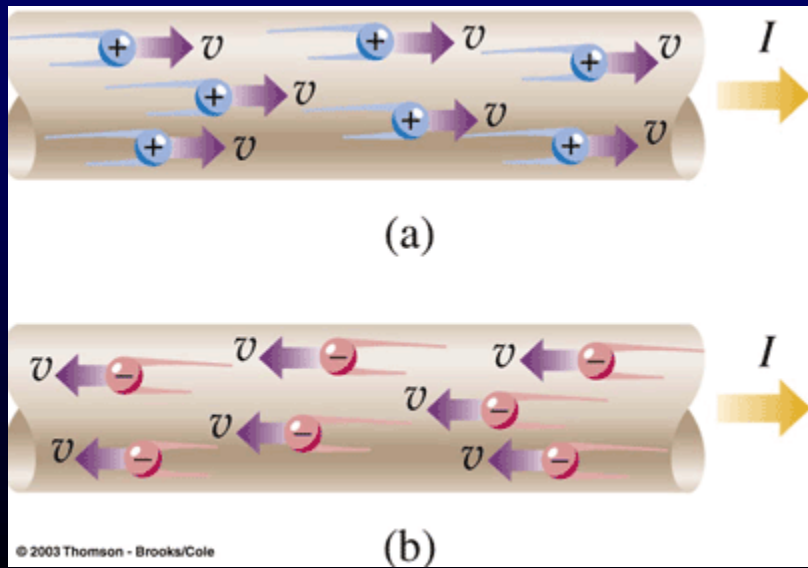
**Conductor** es un tipo de material que está formado por átomos unidos mediante enlaces metálicos. De modo que cada átomo pierde unos cuantos electrones (1 ó 2), quedando ionizado positivamente.

- Los electrones que quedan libres forman parte de una nube electrónica que rodea a los iones.
- Los electrones se mueven de forma errática, y sólo aparece una corriente cuando se aplica un campo eléctrico interno que los impulsa.



# Sentido de la corriente

- Históricamente, la corriente eléctrica se definió como un flujo de cargas positivas (+).
- En los metales los portadores de carga son electrones de carga negativa (-), los cuales fluyen en sentido contrario al convencional.

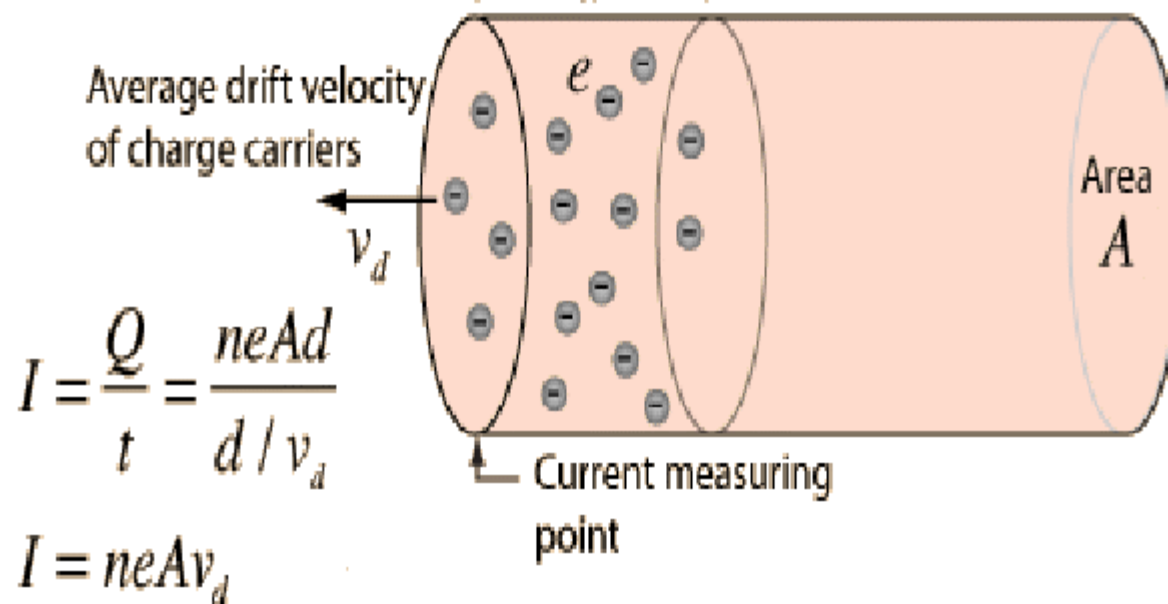


# Intensidad de corriente

$n$  = number of charges  $e$  per unit volume

$Q = neAd$  = total mobile charge in length  $d$  of the conductor

$t = \frac{d}{v_d}$  = time for this charge to sweep past the current measuring point.



# 1.3 Diferencia de potencial

---

Diferencia de potencial  $V$  (voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

Se define como el trabajo  $W$  por unidad de carga  $q$  ejercido por el campo eléctrico  $E$  sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas  $A \rightarrow B$

$$V = V_A - V_B = W / q$$

En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en Voltios (V)  $1 \text{ V} = 1 \text{ J} / 1 \text{ C}$

# El trabajo en mecánica

El trabajo total  $W$  realizado por la fuerza  $F$  a lo largo de la trayectoria entre los puntos A y B es

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

El trabajo realizado por una fuerza constante (en módulo, dirección y sentido) viene expresado por el producto escalar de la fuerza por el vector desplazamiento total entre la posición inicial y la final  $W = F d \cos \varphi$

- $d$  es la distancia entre puntos A y B
- $\varphi$  es el ángulo entre  $\vec{F}$  y  $\vec{d}$
- desplazamiento en dirección de la fuerza:  $W = F d$



# Potencial eléctrico

---

Trabajo realizado por al mover una partícula entre puntos A y B,

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

La diferencia del potencial

$$V_B - V_A = \frac{W}{q} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

# Campo uniforme

La diferencia de potencial:

$$V_B - V_A = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Dentro del conductor el campo es uniforme, resultando:

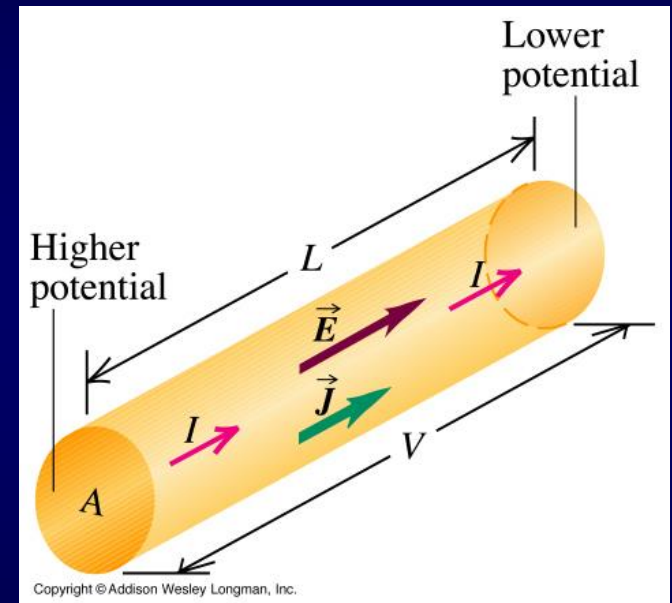
$$V_B - V_A = E d \cos \phi$$

-  $d$  es la distancia A - B

-  $\phi$  es el ángulo entre  $\vec{E}$  y  $\vec{d}$

- desplazamiento en dirección del campo eléctrico:

$$V_B - V_A = E d$$



# Problemas 1, 2

---

# 1.4 Potencia

---

Potencia  $P$  es la cantidad de trabajo  $W$  por unidad de tiempo  $t$ .

$$P = W / t$$

En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en vatios o Watts ( $W$ )  $1 W = 1 J / 1 s$

# Potencia en corriente continua

---

Potencia  $P$  es la cantidad del trabajo  $W$  en una unidad de tiempo  $t$ .

$$V = W / q \rightarrow W = V \cdot q$$

$$I = q / t \rightarrow t = q / I$$

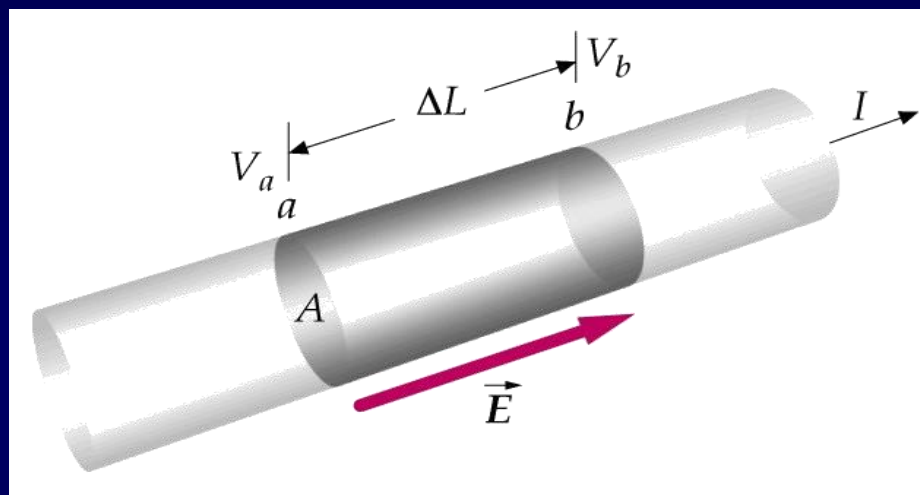
$$P = W / t = I \cdot V$$

Entonces, la potencia es proporcional a la corriente  $I$  y a la diferencia de potencial  $V$ .

# 1.5 Resistencia

Resistencia eléctrica  $R$  es la medida de la oposición que ejerce un material al flujo de carga a través de él.

$$R = V / I$$

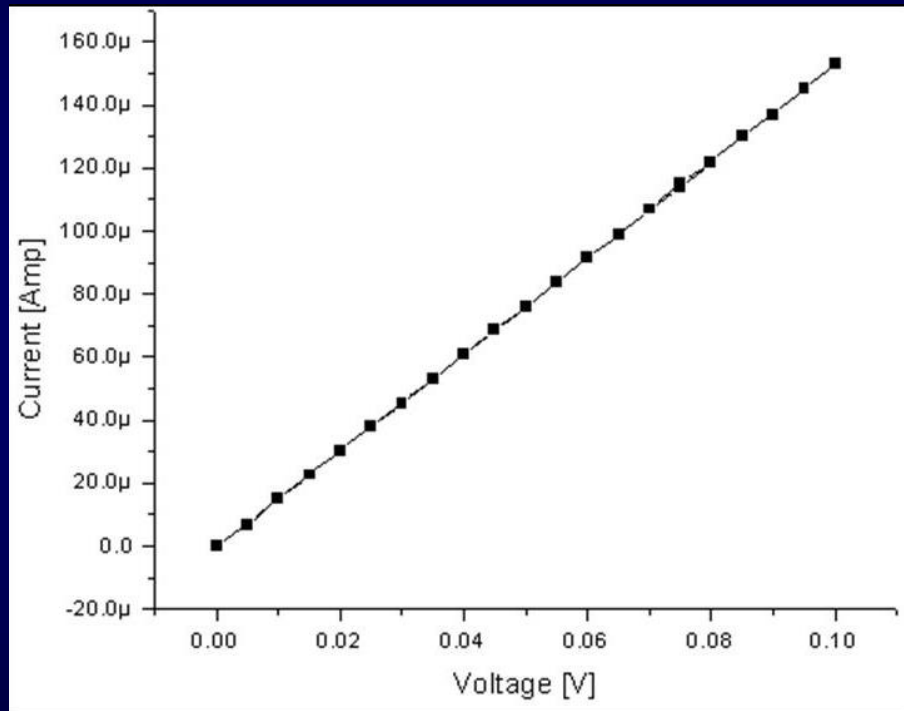


$$V = V_a - V_b = E \Delta L$$

- En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en Ohmios ( $\Omega$ )
- $1 \Omega = 1 \text{ V} / \text{A}$

# Ley de Ohm

La caída de potencial  $V$  es proporcional a la intensidad de corriente  $I$  y la resistencia  $R$



$$V = I \cdot R$$



**Materiales óhmicos** tienen una resistencia constante la cual no depende de la caída de potencial ni de la intensidad.

# Resistividad

---

La resistividad  $\rho$  expresa la relación entre la resistencia de un conductor y su tamaño

$$R = \rho L/S$$

siendo:

$L$  – la longitud [ $m$ ]

$S$  – la sección [ $mm^2$ ]

- Unidades de  $\rho$  :  $\Omega \cdot m$

- Un valor alto de resistividad  $\rho$  indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.



# Conductividad

---

La conductividad  $\sigma$  es la inversa de la resistividad  $\rho$ :

$$\sigma = 1 / \rho = L / (R S)$$

- Unidades de  $\sigma$  :  $(\Omega \cdot m)^{-1}$

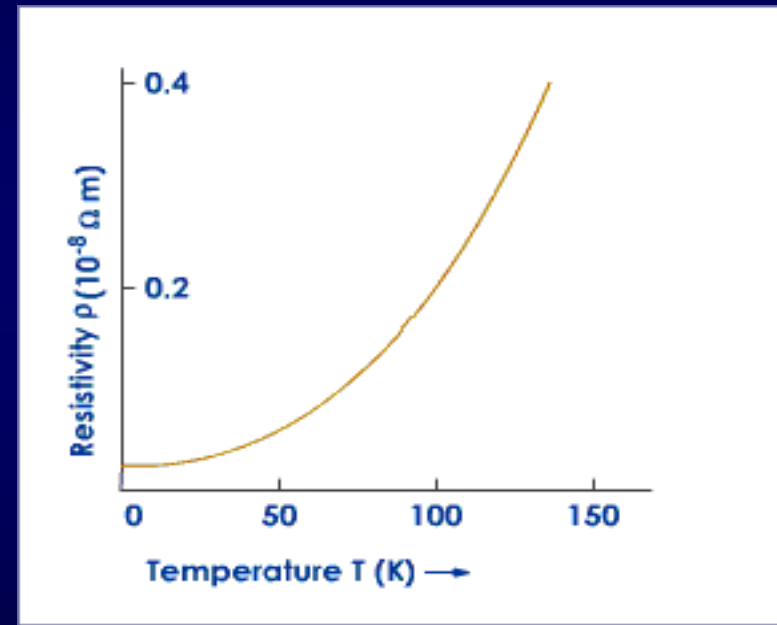
# Resistividad: varios materiales

Material	Resistividad a 23°C en ohmios - metro	Material	Resistividad a 23°C en ohmios - metro
Plata	$1.59 \times 10^{-8}$	Nicromio	$1.50 \times 10^{-6}$
Cobre	$1.68 \times 10^{-8}$	Carbón	$3.5 \times 10^{-5}$
Oro	$2.20 \times 10^{-8}$	Germanio	$4.6 \times 10^{-1}$
Aluminio	$2.65 \times 10^{-8}$	Silicio	$6.40 \times 10^2$
Tungsteno	$5.6 \times 10^{-8}$	Piel humana	$5.0 \times 10^5$ aprox.
Hierro	$9.71 \times 10^{-8}$	Vidrio	$10^{10}$ to $10^{14}$
Acero	$7.2 \times 10^{-7}$	Hule	$10^{13}$ aprox.
Platino	$1.1 \times 10^{-7}$	Sulfuro	$10^{15}$
Plomo	$2.2 \times 10^{-7}$	Cuarzo	$7.5 \times 10^{17}$

# Resistividad de metales

En general, la resistividad eléctrica  $\rho$  de los metales aumenta con la temperatura  $T$ . A altas temperaturas, la resistencia de un metal aumenta linealmente con la temperatura.

-A temperaturas muy bajas la resistividad normalmente alcanza un valor constante, conocido como la resistividad residual.



- El valor de la resistividad residual de un metal se decide por su concentración de impurezas.

# Dependencia lineal de temperatura

La resistividad eléctrica  $\rho$  cambia con la temperatura. Si la temperatura  $T$  no varía de forma considerable, una aproximación lineal se utiliza normalmente:

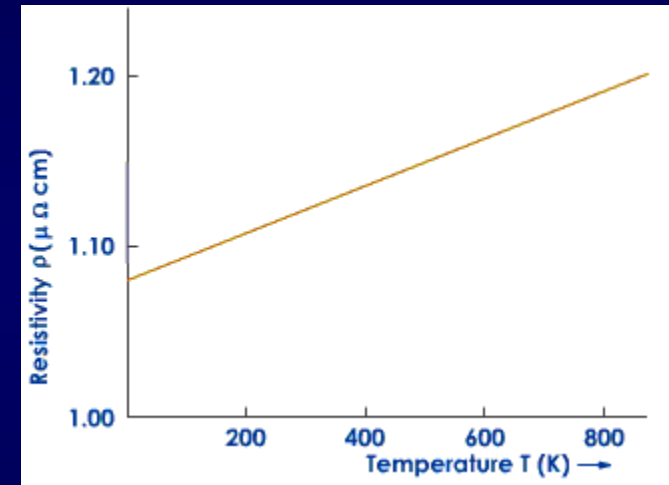
$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)],$$

donde

$T_0$  es una temperatura de referencia  
(por lo general la temperatura ambiente),

$\rho_0$  es la resistividad a temperatura  $T_0$

$\alpha$  es un coeficiente empírico  
provisto de datos de medición

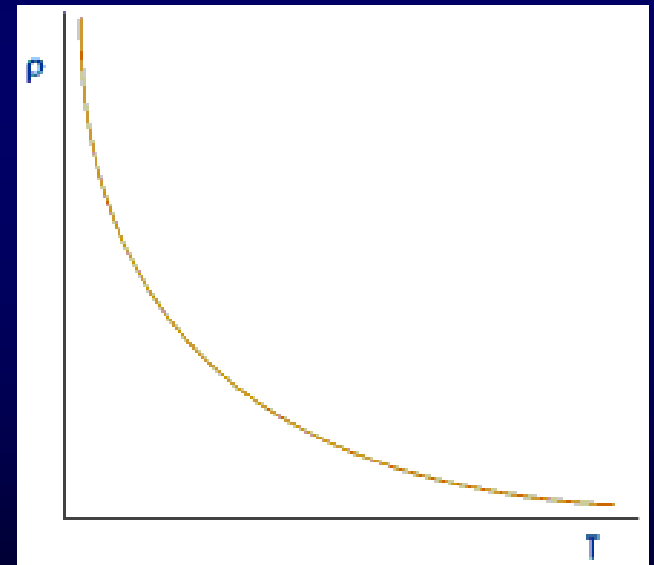


# Resistividad de semiconductores

Los átomos o iones en los metales vibran con una amplitud creciente a medida que aumenta la temperatura. Por lo tanto, las colisiones de electrones con ellos se hacen más frecuentes. Esto significa un aumento de la  $\rho$  con aumento de la temperatura.

En semiconducotores y aislantes el número de portadores de carga libres aumenta exponencialmente con la temperatura

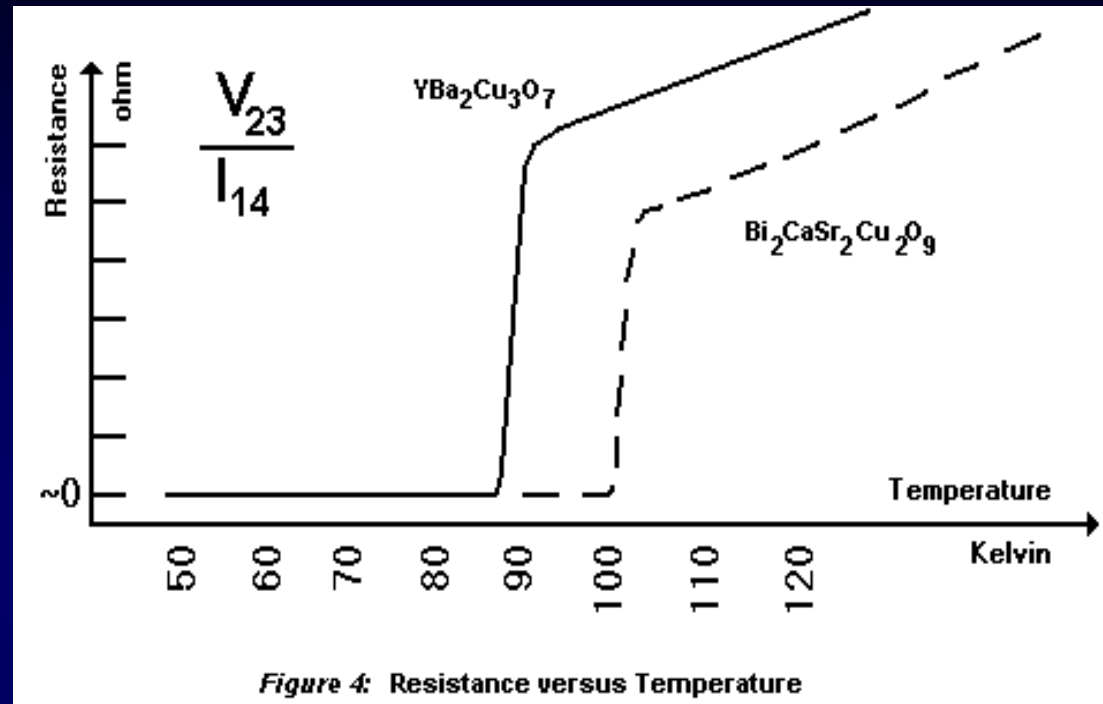
$$\rho(T) = \rho_0 \exp\{E_g / k_B T\},$$



En los semiconductores,  $E_g \sim 1$  eV;  $\rho$  no es muy alta.  
En los aislantes,  $E_g \gg 1$  eV; resistividad  $\rho$  es muy alta. 29

# Materiales no óhmicos: superconductores

- La resistencia de un superconductor desciende bruscamente a cero cuando el material se enfría por debajo de su temperatura crítica.

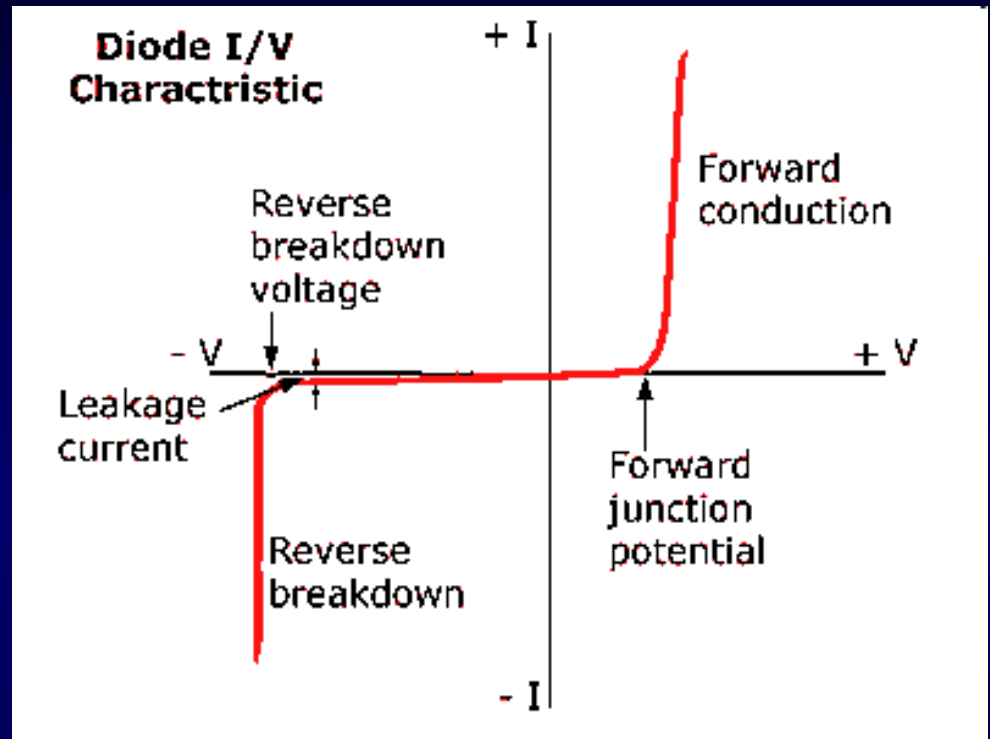


- Una corriente eléctrica puede persistir indefinidamente sin fuente de alimentación.

- La superconductividad es un fenómeno de la mecánica cuántica.

# Materiales no óhmicos: diodes

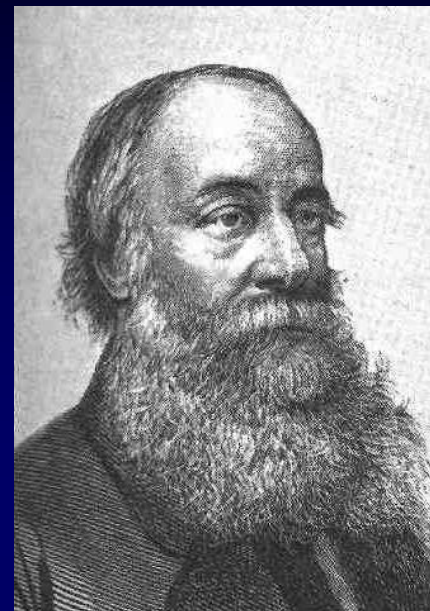
La curva característica de un diodo ( $I$ - $V$ ) consta de dos regiones:



- por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce).
- por encima se comporta como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña.

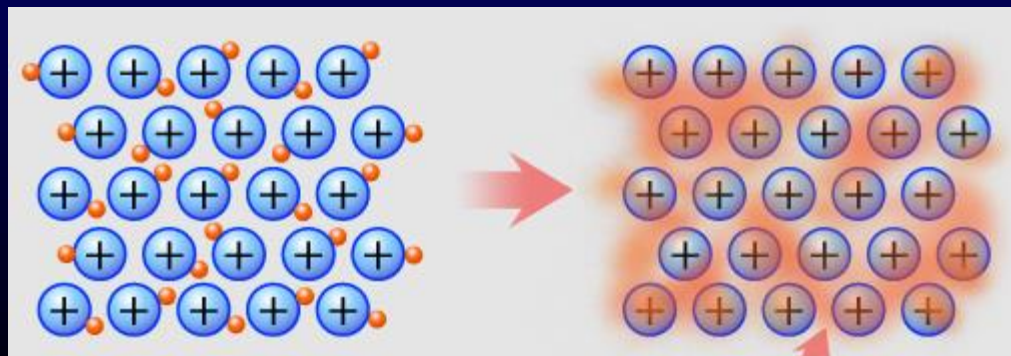
# Efecto Joule

Cuando corriente eléctrica  $I$  atraviesa una resistencia  $R$ , los átomos sufren choques de electrones. Una parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor  $Q$ .



James Joule

El calor disipado:  $Q = P t = I V t = R I^2 t$





# Problemas 4; 7

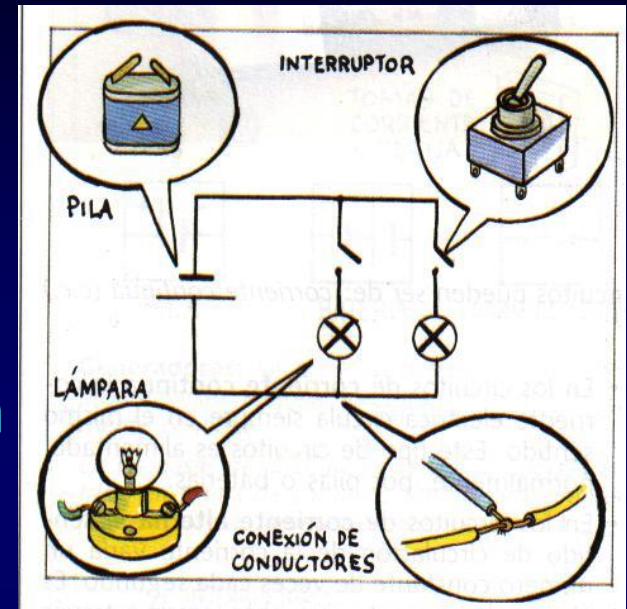
---

# Circuito eléctrico

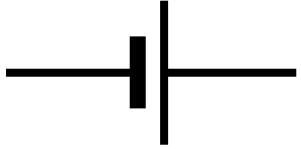
**Un circuito es una red eléctrica que contiene una trayectoria cerrada.**

**Una red eléctrica es interconexión de dos o más componentes, tales como resistencias, inductores, condensadores, fuentes, diodos, ...**

**Los circuitos que contienen solo fuentes, componentes lineales (resistores, condensadores, inductores), pueden analizarse por métodos algebraicos para determinar su comportamiento en corriente directa o en corriente alterna.**



# Símbolos electrónicos



- fuente de tensión, pila, acumulador



- conexión



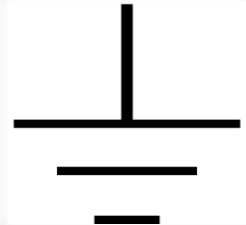
- conexión, con indicación del sentido de corriente



- resistencia



- condensador



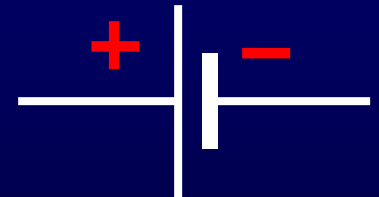
- tierra  
(potencial cero)

# 1.6 Fuentes de tensión

La fuente de tensión es un elemento activo que es capaz de generar una diferencia de potencial  $V = V_A - V_B$  entre sus bornes (**A** y **B**) y proporcionar una corriente eléctrica.



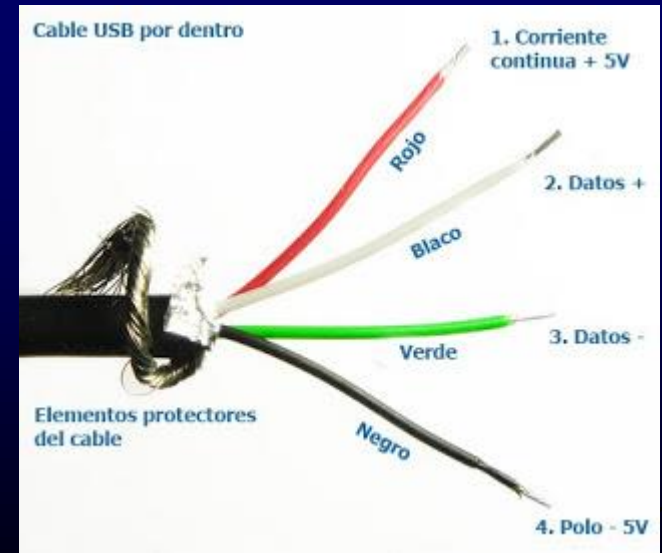
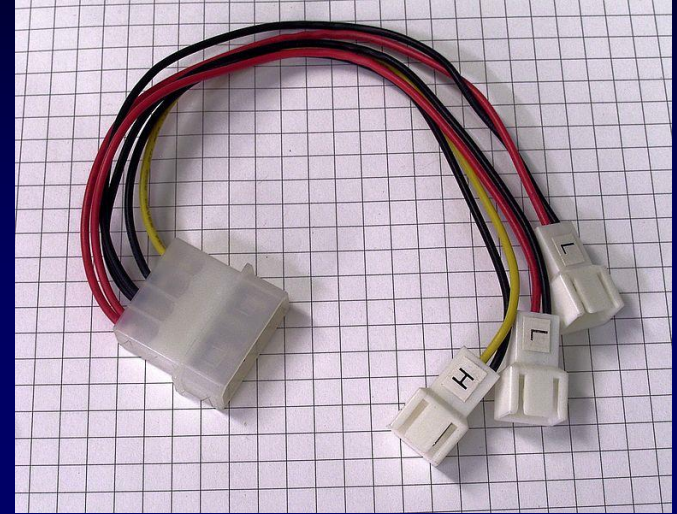
- El símbolo de fuente de tensión es
- El trazo largo indica el polo positivo (+)



# Colores de cables en informática

Muchos aparatos digitales necesitan 4 cables:

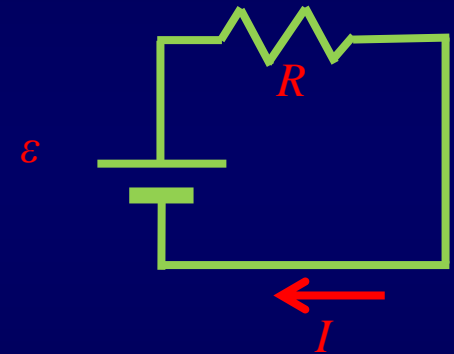
- VCC (+5V)
  - Tierra
  - D+, D- (datos)
- 
- **+5 V** → Rojo (naranja)
  - Tierra (negativo)  
→ negro (azul, marrón)
  - D+ → Verde, gris
  - D- → Blanco, amarillo



# Fuentes de tensión ideal

**Fuente de tensión ideal:** aquella que genera una diferencia de potencial entre sus terminales constante e independiente de la carga que alimente.

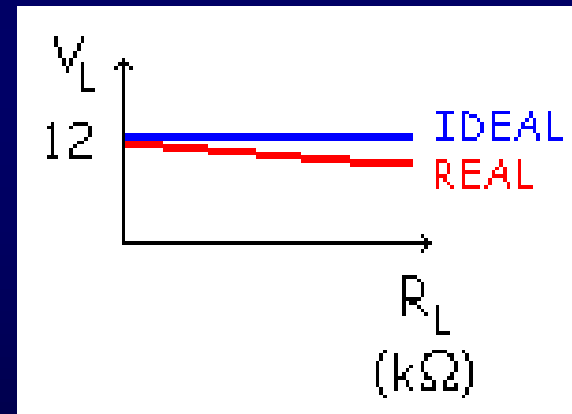
- es una fuente de tensión con resistencia interna cero
- toda la tensión va a la carga  $R$ .



- Es un elemento utilizado en la teoría de circuitos para el análisis y la creación de modelos que permitan analizar el comportamiento de componentes electrónicos o circuitos reales.

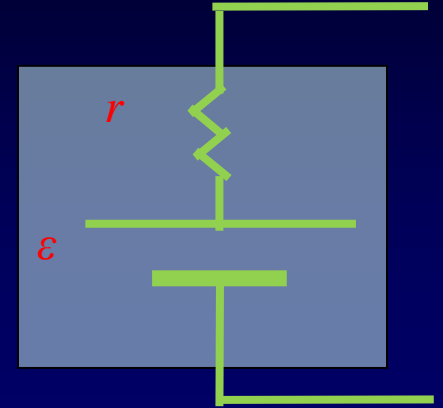
# Fuentes de tensión real

A diferencia de las fuentes ideales, la diferencia de potencial entre bornes o la corriente que proporcionan fuentes reales, depende de la carga a la que estén conectadas.



# Resistencia interna

Una fuente de tensión real se puede considerar como una fuente de tensión ideal,  $\mathcal{E}$ , en serie con una resistencia  $r$ , a la que se denomina resistencia interna de la fuente.



En circuito abierto, la tensión entre los bornes **A** y **B** ( $V_A - V_B$ ) es igual a  $\mathcal{E}$ , pero si entre los mencionados bornes se conecta una carga,  $R$ , la tensión pasa a ser:

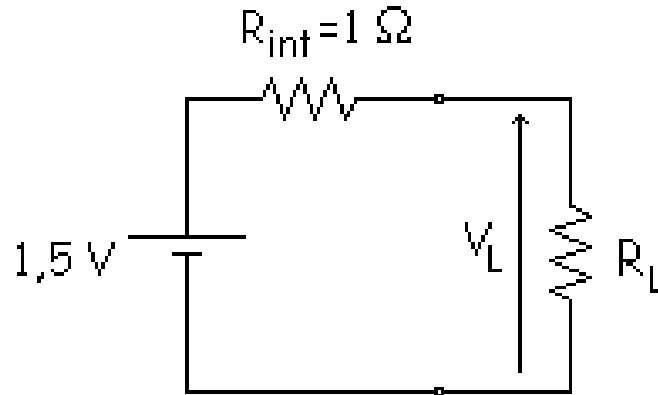
$$V_A - V_B = \mathcal{E} - r I$$

donde  $\mathcal{E}$  es la fuerza electromotriz (fem) y es una característica de fuente de tensión.

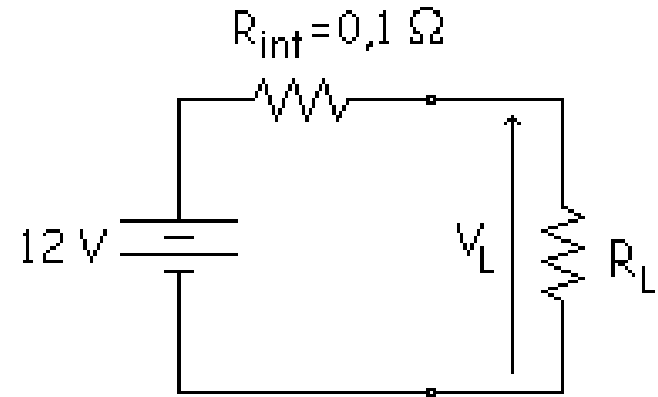


# Resistencia interna: ejemplos

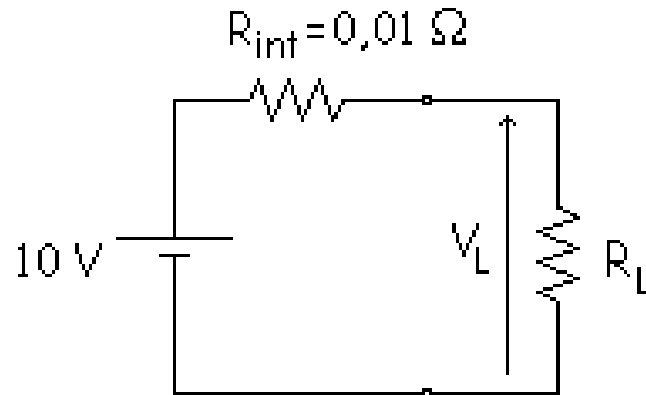
PILA



BATERIA  
AUTOMÓVIL



FUENTE DE ALIMENTACIÓN  
DE LABORATORIO



# Rendimiento

Una fuente real no puede entregar toda la potencia a la carga  $R$  que alimente debido a su resistencia interna  $r$ . En la fuente real de tensión:

- la intensidad de corriente

$$I = \varepsilon / (R + r),$$

- la potencia consumida

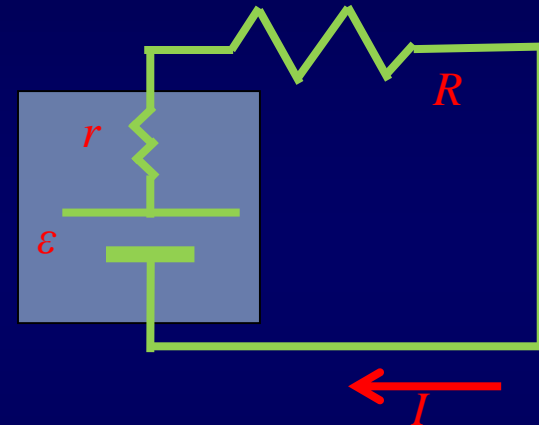
$$P_{consumida} = \varepsilon I = (R + r) I^2$$

- la potencia entregada (útil):

$$P_{entregada} = R I^2$$

Se denomina rendimiento  $\eta$  de la fuente a la relación entre potencia entregada y la total:

$$\eta = P_{entregada} / P_{consumida} = R / (R + r)$$



# Cortocircuito

---

**Cortocircuito** se produce cuando la fuente de tensión llega a ser conectada a la resistencia cero.

-provoca un paso de corriente tan alta que supera sus posibilidades de conducir la corriente sin deteriorarse

$$V_A = V_B \longrightarrow I_{cc} = \varepsilon / r$$

El calor disipado por efecto de Joule :

$$Q = r I_{cc}^2 t = \varepsilon^2 t / r$$

con potencia disipada:  $P = \varepsilon^2 / r$

# Cortocircuito

**Cortocircuito** se produce cuando la fuente de tensión llega a ser conectada a la resistencia cero.

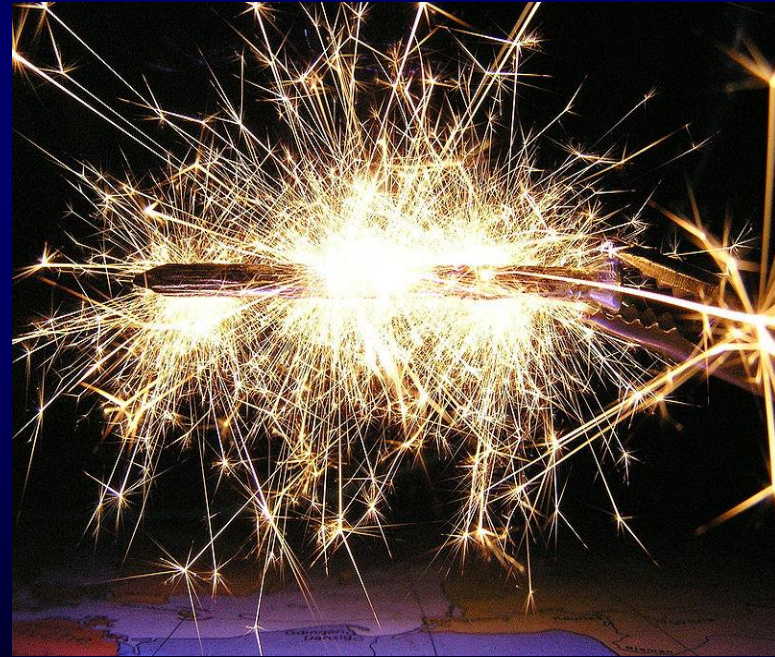
-provoca un paso de corriente tan alta que supera sus posibilidades de conducir la corriente sin deteriorarse

$$V_A = V_B \rightarrow I_c = \varepsilon / r$$

El calor disipado por efecto de Joule :

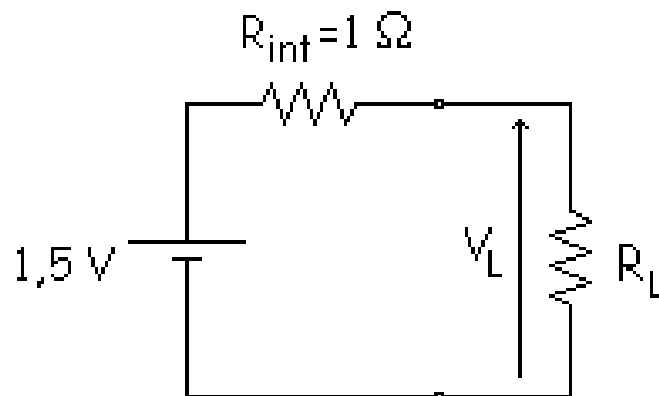
$$Q = r I_c^2 t = \varepsilon^2 t / r$$

con potencia disipada:  $P = \varepsilon^2 / r$

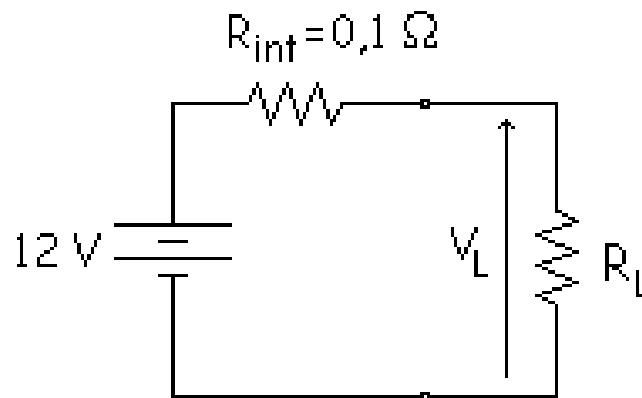


# Cortocircuito: ejemplos, I? P?

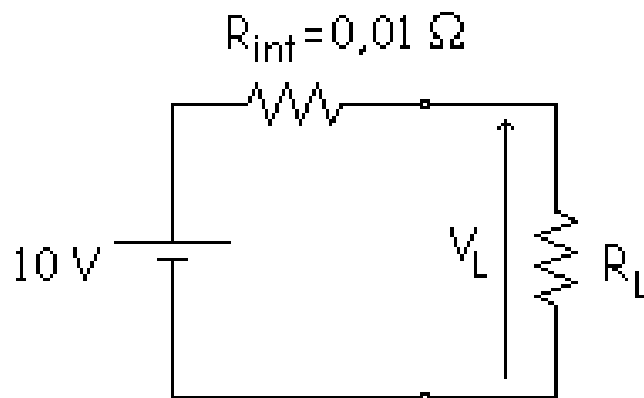
PILA



BATERIA  
AUTOMÓVIL



FUENTE DE ALIMENTACIÓN  
DE LABORATORIO



# Batería reversible / acumulador

Si la batería es reversible también se puede cargarla.

- En este caso actúa como receptor.
- La corriente entra por el polo (+) y sale por el (-)
- La diferencia de potencial entre los dos terminales es:  $V_A - V_B = \varepsilon + r I$
- La potencia total es  $P = (V_A - V_B)I = \varepsilon I + r I^2$



# Capacidad de batería

---

Para el caso de las baterías se define la capacidad  $q$  como la cantidad de carga que se puede suministrar.

-Generalmente se expresa en  $A \cdot h$  ( $1 A \cdot h = 3600 C$ )

-Por tanto, la energía total acumulada  $W$  en una batería de fem  $\varepsilon$  es

$$W = \varepsilon q$$

-El tiempo que tarda la batería en descargarse, o en el caso de un proceso de carga, a cargarse vale:

$$- P = W/t$$

$$- t = W/P = (\varepsilon q) / (\varepsilon I) = q/I$$

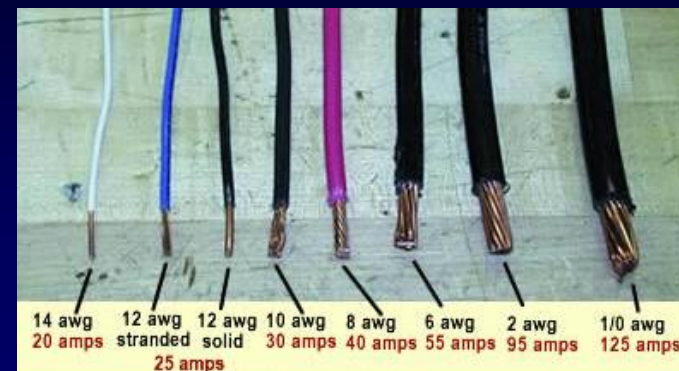
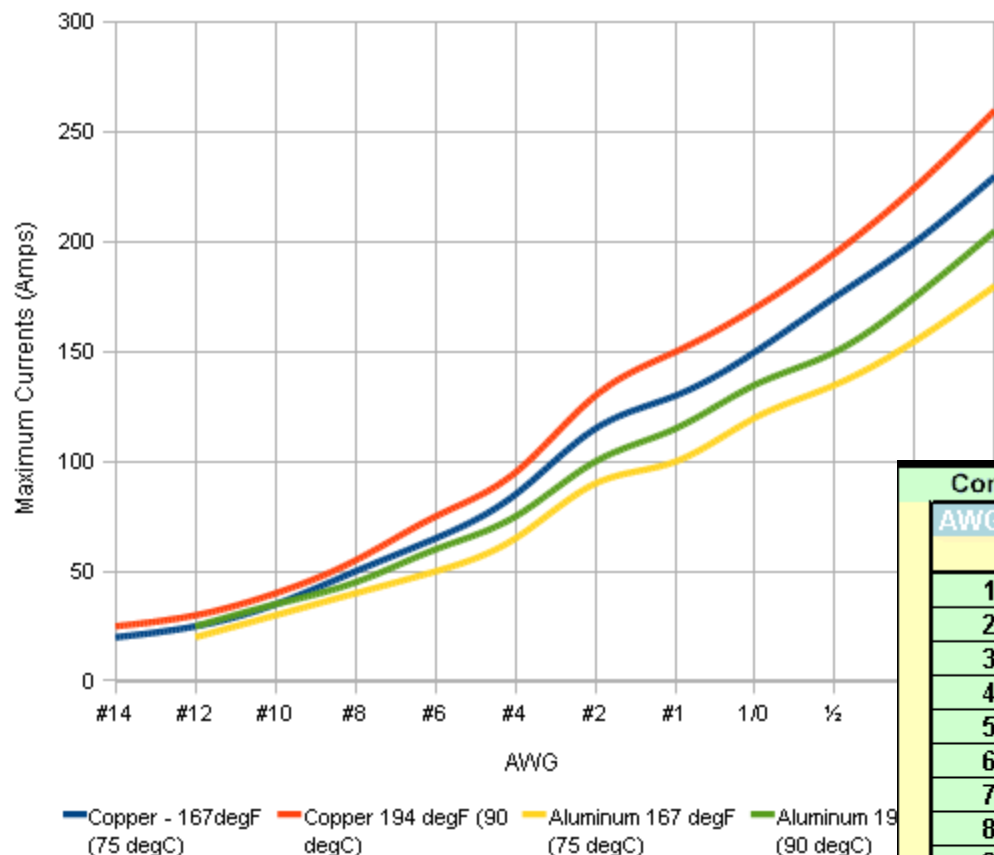
# Problemas 5; 6; 8

---



# Corriente máxima

Maximum Current for Copper and Aluminum Wire



Conversion table - American Wire Gauge - mm. - mm<sup>2</sup>

AWG N°	Diam. mm.	Area mm <sup>2</sup>	AWG N°	Diam. mm.	Area mm <sup>2</sup>
1	7,350	42,400	16	1,290	1,3100
2	6,540	33,600	17	1,150	1,0400
3	5,830	26,700	18	1,024	0,8230
4	5,190	21,200	19	0,912	0,6530
5	4,620	16,800	20	0,812	0,5190
6	4,110	13,300	21	0,723	0,4120
7	3,670	10,600	22	0,644	0,3250
8	3,260	8,350	23	0,573	0,2590
9	2,910	6,620	24	0,511	0,2050
10	2,590	5,270	25	0,455	0,1630
11	2,300	4,150	26	0,405	0,1280
12	2,050	3,310	27	0,361	0,1020
13	1,830	2,630	28	0,321	0,0804
14	1,630	2,080	29	0,286	0,0646
15	1,450	1,650	30	0,255	0,0503

The Engineering Tool  
www.En

# Problema 9

---

# 1.7 Leyes de Kirchhoff

---

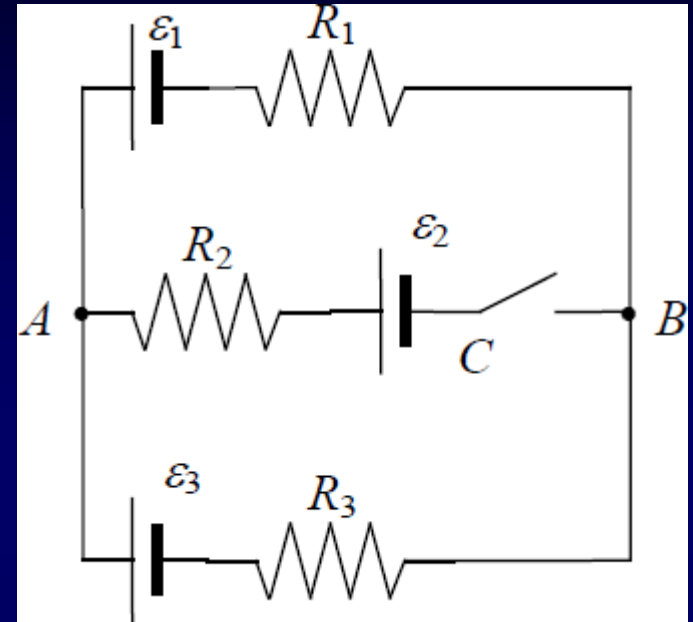
- Las leyes de Kirchhoff fueron formuladas por Gustav Kirchhoff en 1845, cuando aún era estudiante.
- Son ampliamente utilizadas en ingeniería eléctrica para obtener los valores de la corriente y el potencial en cada punto de un circuito eléctrico.
- Estas leyes permiten resolver los circuitos utilizando el conjunto de ecuaciones al que ellos responden.



Gustav Robert Kirchhoff  
1824 –1887

# Definiciones

- **Nodo:** cualquier punto donde dos o más elementos tienen una conexión común.
- **Rama:** conjunto de todos los elementos comprendidos entre dos nodos consecutivos con la misma intensidad de corriente
- **Malla:** cualquier camino cerrado en un circuito eléctrico

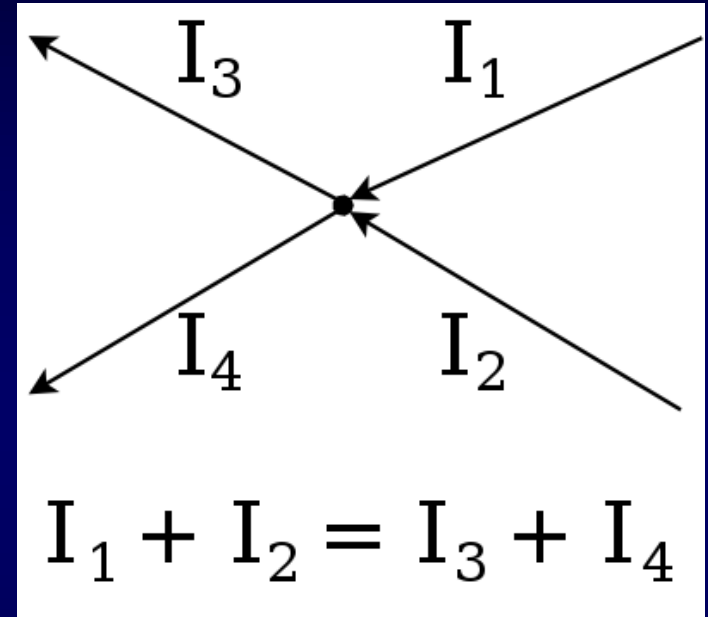


# Primera ley de Kirchhoff

## Primera ley de Kirchhoff (ley de nodos):

En cualquier nodo, la suma de todas las corrientes  $I_i$  que pasan por el nodo es igual a cero:

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots = 0$$

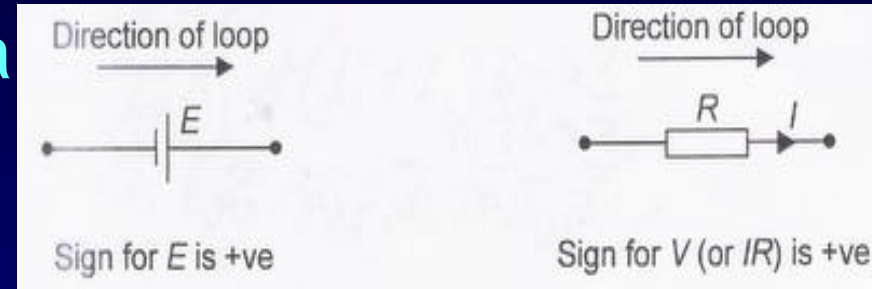


- De forma equivalente, la suma de las corrientes que entran en ese nodo es igual a la suma de las corrientes que salen.
- La ley se basa en el principio de la conservación de la carga

# Segunda ley de Kirchhoff

## Segunda ley de Kirchhoff (ley de mallas):

En un lazo cerrado, la suma de todas las caídas de tensión es igual a la tensión total suministrada.



$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots = R_1 I_1 + R_2 I_2 +$$

- La ley se basa en el principio de la conservación de la energía.

# Procedimiento

---

- 1 Localizar los nodos y mallas del circuito
- 2 Asignar un sentido arbitrario a la corriente de cada malla
- 3 Aplicar la ley de nodos, teniendo en cuenta si las corrientes salen o entran a los nodos
- 4 Aplicar la ley de mallas, teniendo en cuenta que:
  - las f.e.m. se consideran positivas si al recorrer la malla primero encontramos el polo (-) y luego el (+)
  - la caída de tensión en una resistencia es positiva si el sentido de recorrido y el de la corriente coinciden, en caso contrario es negativa.
- 5 Resolver las ecuaciones

# Problema 12

---



# Regla de Cramer

---

Si  $Ax = b$  es un sistema lineal de ecuaciones, donde

- $A$  es la matriz de coeficientes del sistema,
- $x$  es el vector de las incógnitas (i.e. intensidades)
- $b$  es el vector de la parte derecha (i.e. las fem)

Entonces la solución al sistema es:

$$x_j = \frac{\det A_j}{\det A}$$

donde  $A_j$  es la matriz resultante de reemplazar la  $j$ -ésima columna de  $A$  por el vector  $b$ .

# Determinante

---

1) matriz de orden uno (un caso trivial)

$$\det(a) = |a| = a$$

2) matriz de orden dos

$$\det \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = a d - b c$$

3) matriz de orden tres

$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} = a \begin{vmatrix} e & f \\ h & i \end{vmatrix} - b \begin{vmatrix} d & f \\ g & i \end{vmatrix} + c \begin{vmatrix} d & e \\ g & h \end{vmatrix}$$

(-1) – para la segunda (cuarta, ...) fila

# Regla de Cramer, 2x2

---

Ej. sistema de ecuaciones 2x2:  $\begin{cases} ax + by = e \\ cx + dy = f \end{cases}$

se representa matricialmente:  $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix}$

Solución matricial:

$$x = \frac{\begin{vmatrix} e & b \\ f & d \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} = \frac{ed - bf}{ad - bc}$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} a & e \\ c & f \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} = \frac{af - ec}{ad - bc}$$

# Problema 13

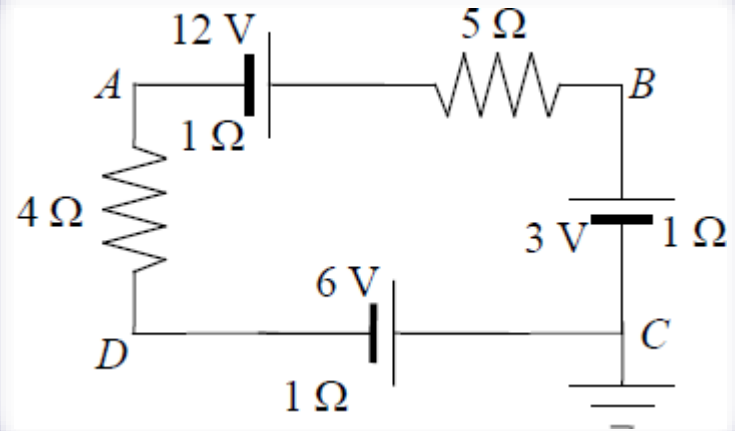
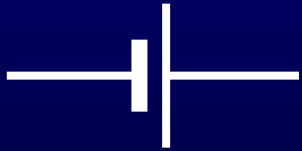
---

# Cálculo de diferencias de potencial

Para calcular las diferencias de potencial hay que separar la contribución de cada elemento.

$$\begin{aligned}\text{Ej.: } V_A - V_C &= (V_A - V_D) + (V_D - V_C) \\ &= (V_A - V_B) + (V_B - V_C)\end{aligned}$$

tierra:  potencial cero



# Cálculo de diferencias de potencial

---

Potencial eléctrico en un punto de un circuito representa la energía que posee cada unidad de carga al paso por dicho punto.

fem: 

polo positivo tiene potencial más alto

resistencia: la energía perdida por cada unidad de carga se manifestará como trabajo realizado en dicho circuito (calentamiento en una resistencia, luz)

# Problema 10

---

# 1.8 Asociación de resistencias

---

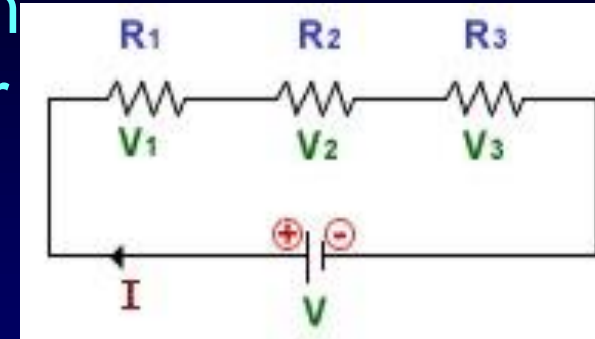
Resistencia equivalente:

Se denomina resistencia equivalente de una asociación respecto de dos puntos **A** y **B**, a aquella que conectada a la misma diferencia de potencial,  $V_{AB}$ , demanda la misma intensidad,  $I$ .



# Resistencias en serie

Dos o más resistencias se encuentran conectadas en serie cuando al aplicar al conjunto una diferencia de potencial, todas ellas son recorridas por la misma corriente.

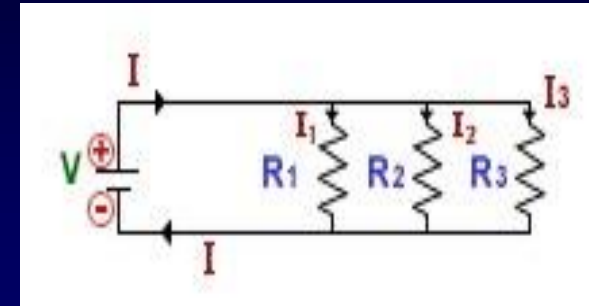


- resistencia equivalente:  $V_{AB}=R \cdot I$
- segunda ley de Kirchhoff (por cada resistencia circula la misma corriente):  $V_{AB}=(R_1+R_2+...)\cdot I$
- la resistencia equivalente a todas ellas es igual a la suma de cada una de las resistencias

$$R=R_1+R_2+...$$

# Resistencias en paralelo

Dos o más resistencias se encuentran en paralelo cuando tienen dos terminales comunes de modo que al aplicar al conjunto una diferencia de potencial,  $V_{AB}$ , todas las resistencias tienen la misma caída de tensión,  $V_{AB}$ .



La resistencia equivalente es igual a la inversa de la suma de las inversas de cada una de las resistencias.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

# Problemas 15, 16, 18, 19

---

**En prácticas de laboratorio  
se usa polímetro**

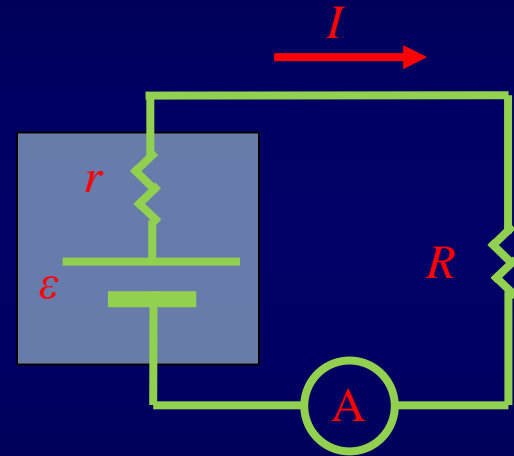
- corrientes, i.e. función de amperímetro
- potenciales (tensiones), función de voltímetro o pasivas como
- resistencias (ohmímetro) , capacidades y otras.
- Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna.



# Amperímetro

Un amperímetro es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico.

- Hemos de conectar el amperímetro en serie. Así, toda la corriente que circula por la rama va a pasar antes por el amperímetro.

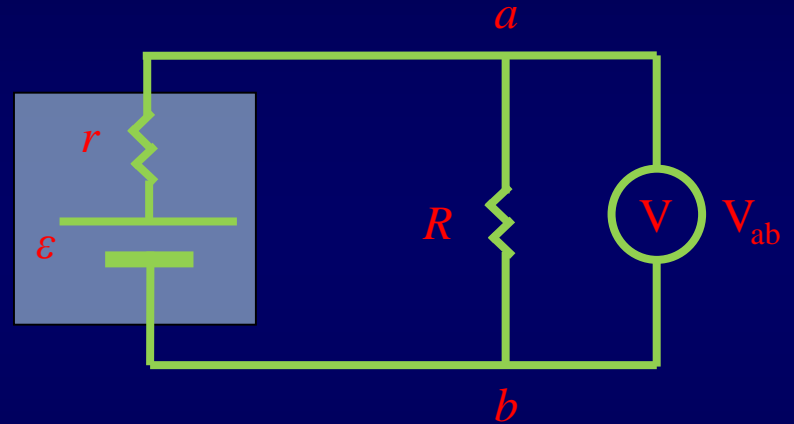


- Los amperímetros tienen una resistencia interna muy pequeña (menor de 1 ohmio), con la finalidad de que su presencia no disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito eléctrico.

# Voltímetro

Un voltímetro es un instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.

- Hemos de conectar el voltímetro en paralelo, entre los puntos donde tratamos de efectuar la medida



- el voltímetro debe poseer una resistencia interna lo más alta posible, a fin de que no produzca un consumo apreciable, lo que daría lugar a una medida errónea de la tensión.

# Ohmnímetro

---

Un ohmnímetro (óhmetro) es un instrumento para medir la resistencia eléctrica.

El diseño de un ohmímetro se compone de una pequeña batería para aplicar un voltaje  $V$  a la resistencia bajo medida, para luego mediante un amperímetro medir la corriente  $I$  que circula a través de la resistencia  $R$ .

$$R = V/I$$

# Lectura en un aparato de medida

---

Los resultados de una medida son:

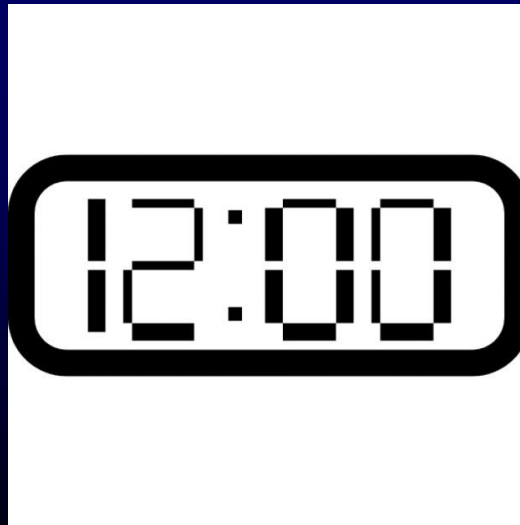
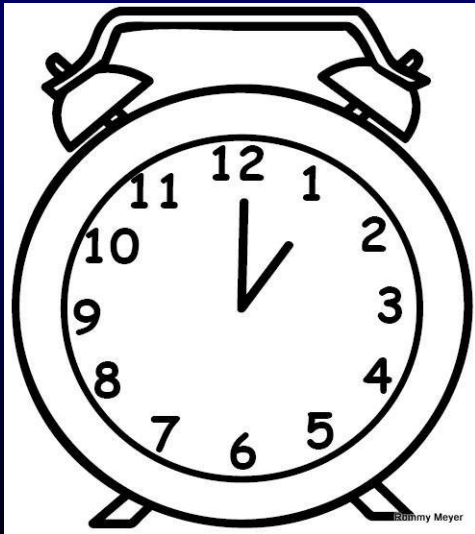
1) Valor de la lectura  $A$

2) El error  $\Delta A$

La precisión del aparato :

1) Digital - la última cifra significativa

2) Analógico - la mitad de la división mas pequeña



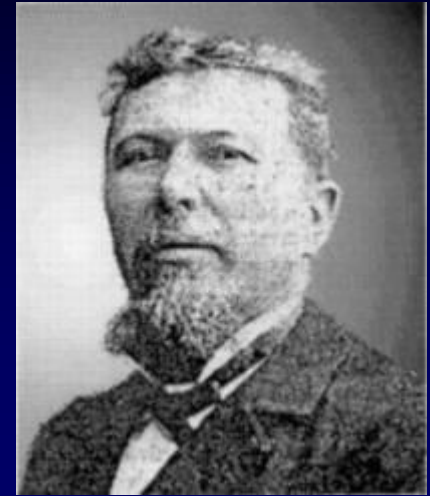


# Problemas 21, 20

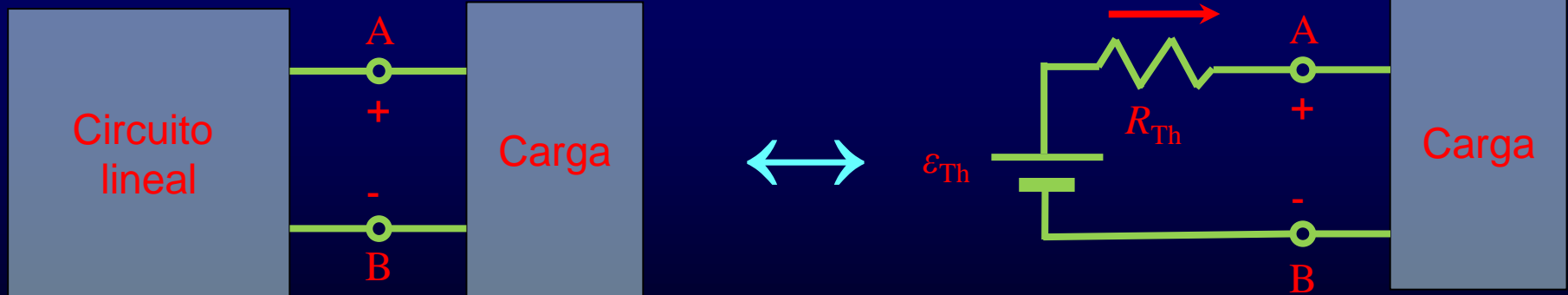
---

# 1.10 Equivalente de Thévenin

Una parte de un circuito eléctrico lineal entre dos terminales **A** y **B** puede sustituirse por un circuito equivalente que esté constituido únicamente por una fem  $\varepsilon_{Th}$  en serie con una resistencia  $R_{Th}$ .



Léon Charles Thévenin  
1857 - 1926



- permite simplificar descripción de un circuito

# Validez de equivalente de Thévenin

---

- Es válido en circuitos lineales formados por generadores y resistencias.
- Es válido en corriente alterna.
- Es válido en circuitos con condensadores y bobinas.
- No es válido en circuitos con diodos o transistores, ya que en este caso la resistencia varía con la intensidad o la tensión de forma no lineal (propiedades de semiconductores).

# FEM equivalente de Thévenin

---

Aplicación de teorema de Thévenin:

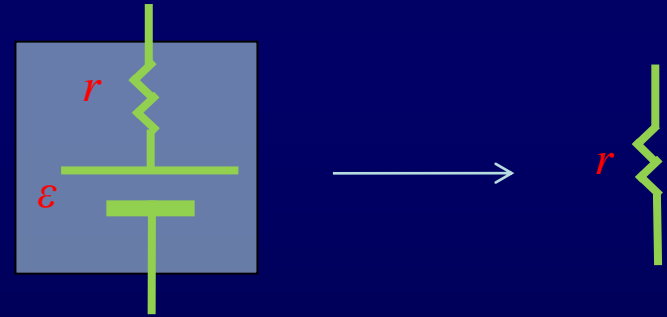
- La tensión de Thévenin  $\varepsilon_{Th}$  se define como la tensión que aparece entre los terminales cuando se desconecta la resistencia de la carga (circuito abierto).

# Resistencia equivalente de Thévenin

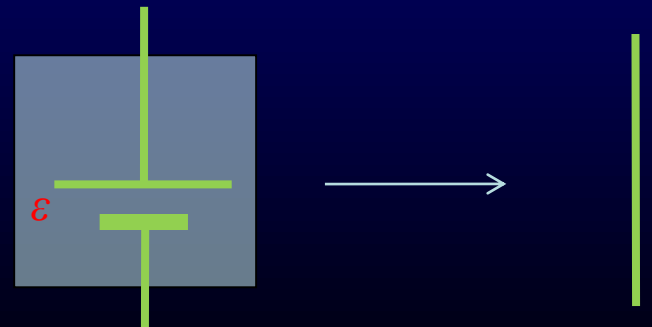
Aplicación de teorema de Thévenin:

- Para calcular la resistencia de Thévenin  $R_{Th}$ , desconectamos la carga del circuito y anulamos la fuente de tensión sustituyéndola por un cortocircuito

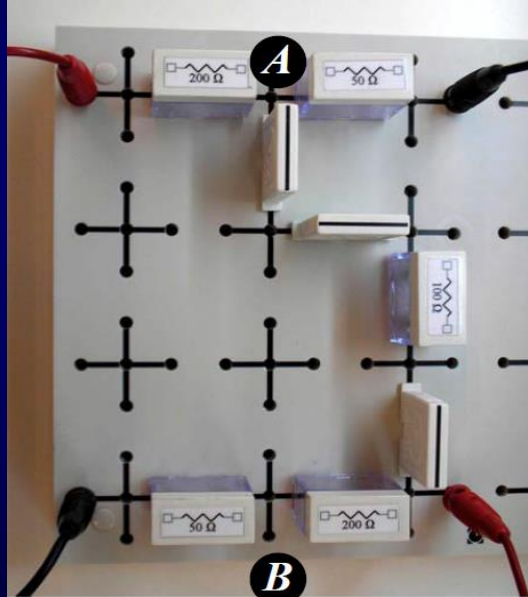
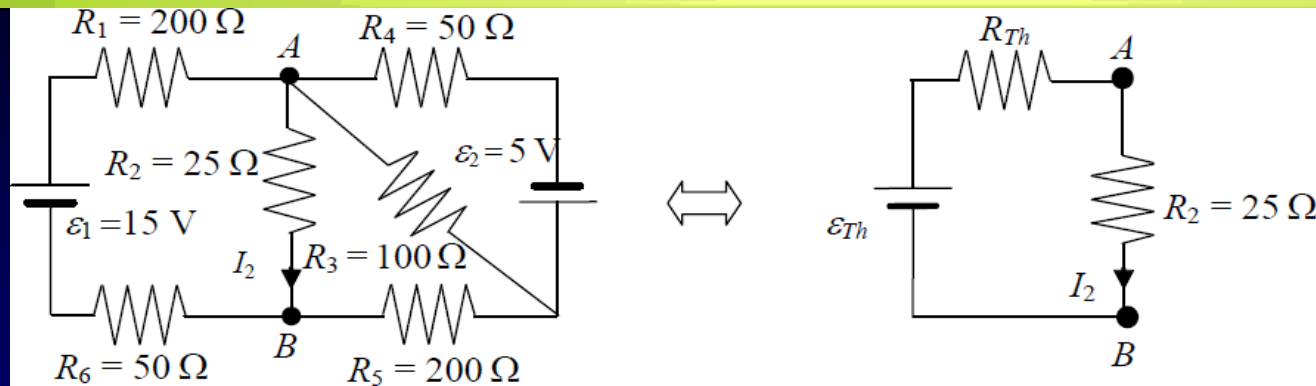
- Fuente de tensión  $\varepsilon$  de resistencia interna  $r$  viene cambiada por una resistencia  $r$ .



- Fuente ideal de tensión  $\varepsilon$  (resistencia interna 0) viene cambiada por una conexión de resistencia 0.



# Práctica de equivalente de Thévenin

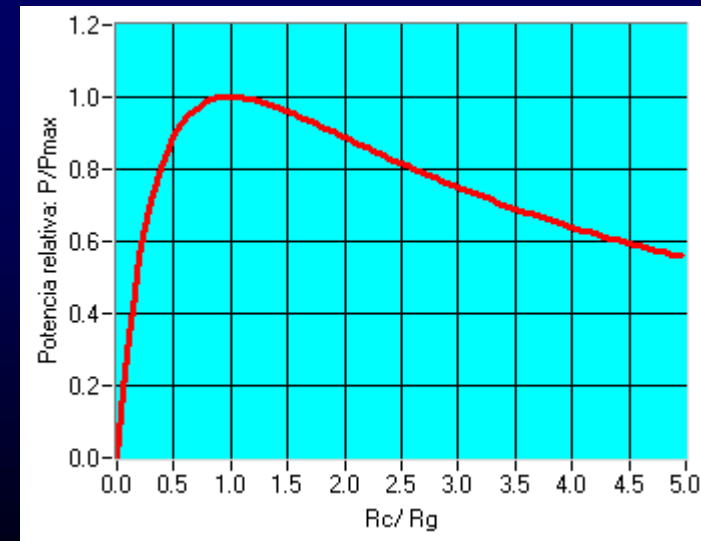


Aplicació del teorema de Thévenin

$I_2^{ex} =$	$I_2^{calc} = \frac{\varepsilon_{Th}^{ex}}{R_2 + R_{Th}^{ex}}$
--------------	--

# Máxima transferencia de potencia

El teorema de la máxima transferencia de potencia establece que, dada una fuente, con una resistencia de fuente fija, la resistencia de carga que maximiza la transferencia de potencia es aquella con un valor óhmico igual a la resistencia de fuente.



# Adaptación de impedancias

---

- Adaptar o emparejar las impedancias consiste en hacer que la impedancia de salida de un origen de señal, sea igual a la impedancia de entrada de la carga a la cual se conecta.
- Esto con el fin de conseguir la máxima transferencia de potencia y aminorar las pérdidas de potencia por reflexiones desde la carga.
- Ej: una impedancia de la antena de TV es de 75 ohmios. El cable coaxial, que se utiliza conjuntamente con las antenas para las señales de la televisión que transmiten, se empareja a esta impedancia y también tiene una impedancia de 75 ohmios.



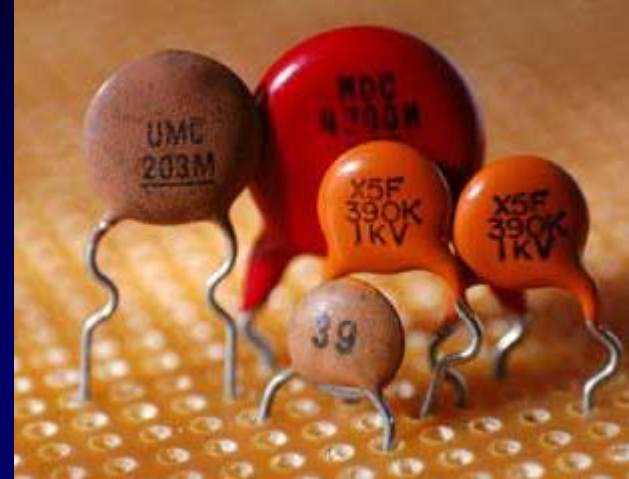
# Problemas 24, 25, 26

---

# 1.11 Condensadores

Un condensador es capaz de almacenar energía cuando es sometido a un campo eléctrico.

-Está formado por un par de superficies conductoras (láminas o placas) separadas por un material dieléctrico o por el vacío.



La carga almacenada  $q$  es proporcional a la diferencia de potencial  $\Delta V$  entre placas

$$q = C \Delta V$$

- la constante de proporcionalidad  $C$  es la capacidad

# Unidades de capacidad

---

En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en Faradios (F)  $1 \text{ F} = 1 \text{ C} / 1 \text{ V}$

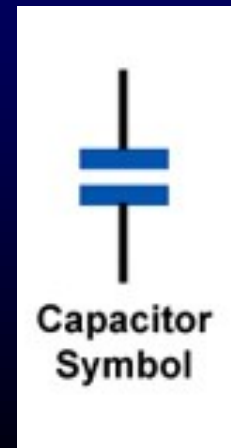
La capacidad de 1 faradio es mucho más grande que la de la mayoría de los condensadores, por lo que en la práctica se suele indicar la capacidad en

-microfaradios –  $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ ,

-nanofaradios –  $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$ ,

-picofaradios –  $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ ,

-femtofaradios –  $1 \text{ fF} = 10^{-15} \text{ F}$



# Condensador plano

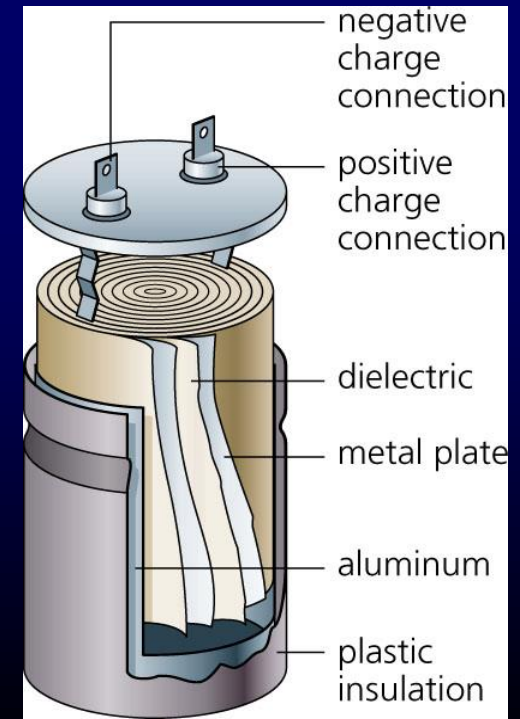
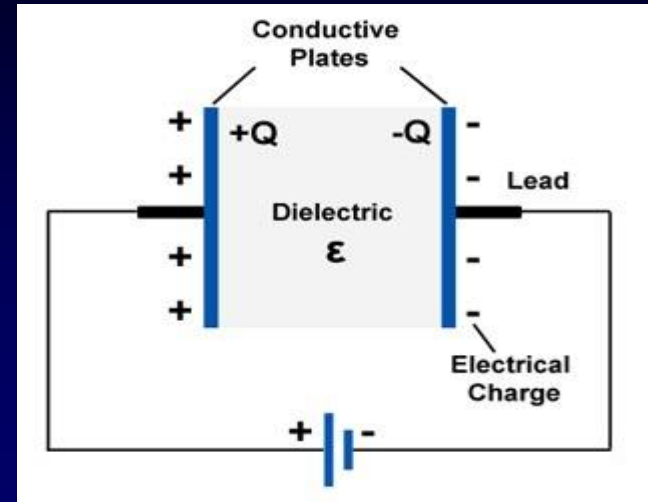
La capacidad de un condensador plano de dos placas conductoras planas de tamaño  $A$  con cargas totales  $+q$  y  $-q$ , separadas por una distancia  $d$  es

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 A / d$$

-la permitividad del vacío

$$\varepsilon_0 \approx 8,85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

-  $\varepsilon$  es la constante dieléctrica (permitividad relativa del material dieléctrico entre las placas)



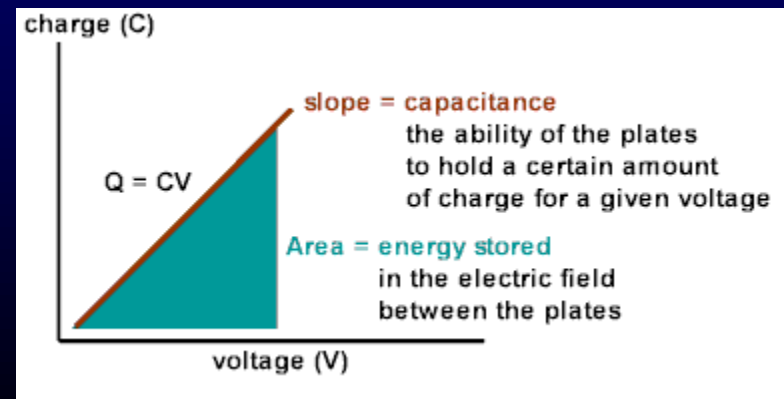
# Energía de un condensador

Cuando la diferencia de potencial entre las placas es  $V$ , la carga es de  $q=C \cdot V$

El trabajo necesario para incrementar en  $dq$  la carga del condensador será  $dW=V \cdot dq=q \cdot dq/C$

El trabajo total  $W$ , realizado en el proceso de carga, mientras esta aumenta desde cero hasta su valor final  $Q$ .

$$W = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C V^2$$



# Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica es el valor límite del campo eléctrico  $E_c$ , en el cual un material pierde su propiedad aisladora.

La ruptura dieléctrica se produce saltando una chispa en el vacío, o quemando el dieléctrico.

- Esto limita la carga que se puede almacenar en las placas de un condensador.

- Se mide en Voltios por metro  $V/m$



# Rigidez dieléctrica

Substancia	Rotura dieléctrica (MV/m)
<u>Helio</u>	0'15
<u>Aire</u>	0'4 - 3'0 (depende de su presión)
Vidrio de ventana	9'8 - 13'8
<u>Agua</u> ultra-pura	30
Alto <u>vacío</u>	20 - 40 (depende de la forma del electrodo)
Papel de cera	40 - 60
<u>Teflon</u>	60
Película delgada de SiO <sub>2</sub>	> 1000
<u>Parafina</u>	13'9
Papel parafinado	32 - 40 (depende del grosor de cada material)

# Problemas 29, 33, exam07.03.2014

---