TEMA 1

CAMPO ELÉCTRICO

1. ELECTROSTÁTICA

1.1. Carga eléctrica y Ley de Coulomb
1.2. Campo eléctrico
1.3. Flujo eléctrico y Ley de Gauss
1.4. Energía potencial eléctrica y potencial eléctrico
1.5. Conductor en equilibrio electrostático
1.6. Condensadores.
1.7. Condensadores con dieléctrico
1.8. Energía del campo eléctrico. Densidad de energía eléctrica

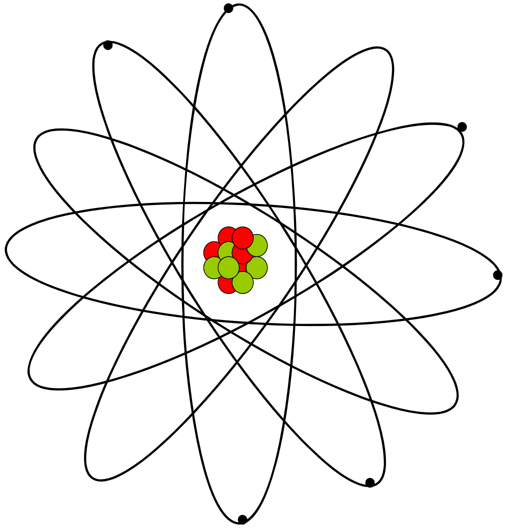
2. EL CAMPO ELÉCTRICO EN LOS CONDUCTORES

3.1. Intensidad de corriente eléctrica
3.2. Ley de Ohm
3.3. Ley de Joule
3.4. Fuerza electromotriz
3.5. Introducción a circuitos eléctricos

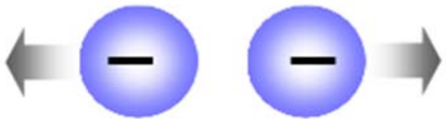
ELECTROSTÁTICA

CARGA ELÉCTRICA Y LEY DE COULOMB

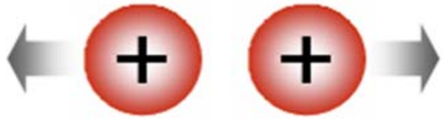
El origen de la electricidad : el átomo



INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA



Repulsión



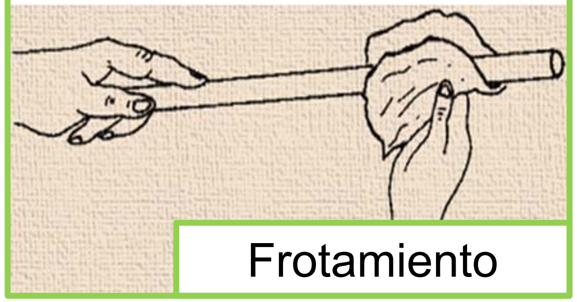
Repulsión

Atracción

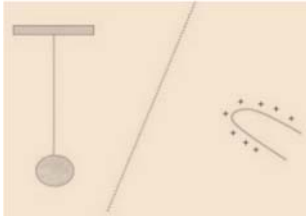
La materia tiene CARGA ELÉCTRICA

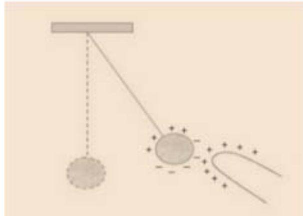
	Partícula	Carga	Masa
NÚCLEO	Neutrón	0	$1{,}67\cdot10^{-27}$ kg
	Protón	$1{,}6\cdot10^{-19}$ C	$1{,}67\cdot10^{-27}$ kg
CORTEZA	Electrón	$-1{,}6\cdot10^{-19}$ C	$9{,}11\cdot10^{-31}$ kg

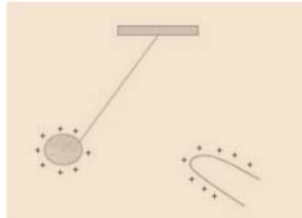
Formas de electrizar un cuerpo:
por frotamiento, **por contacto** y **por inducción**



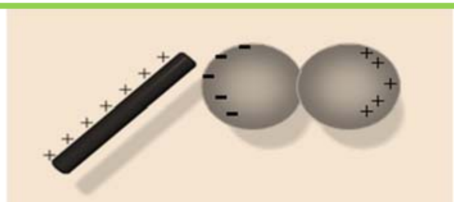
Frotamiento







Contacto



Inducción

Carga por unidad de longitud — **densidad lineal (λ)**

$$\lambda = \frac{dq}{d\ell} \xrightarrow{\text{carga uniformemente distribuida}} \lambda = \frac{Q}{\ell}$$

Carga por unidad de superficie — **densidad superficial (σ)**

$$\sigma = \frac{dq}{dS} \xrightarrow{\text{carga uniformemente distribuida}} \sigma = \frac{Q}{S}$$

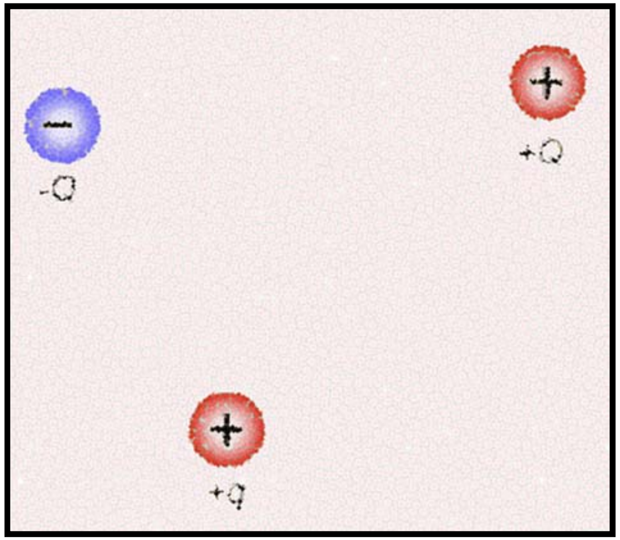
Carga por unidad de volumen — **densidad cúbica (ρ)**

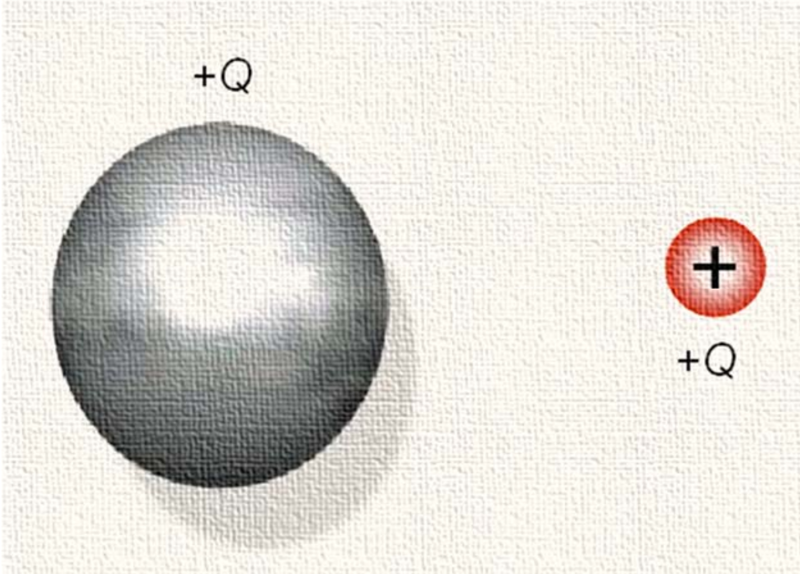
$$\rho = \frac{dq}{dV} \xrightarrow{\text{carga uniformemente distribuida}} \rho = \frac{Q}{V}$$

Carga eléctrica puntual

– es un cuerpo electrizado cuyas dimensiones resultan insignificantes en relación a la situación en que es considerado (es un concepto equivalente al de partícula)
– pueden ser positivas o negativas

Se designará con las letras “q” o “Q”





Propiedades de la carga:

- **La carga eléctrica se conserva**
- **La carga eléctrica está cuantizada**

1 e^- = -1´6·10^{-19}C

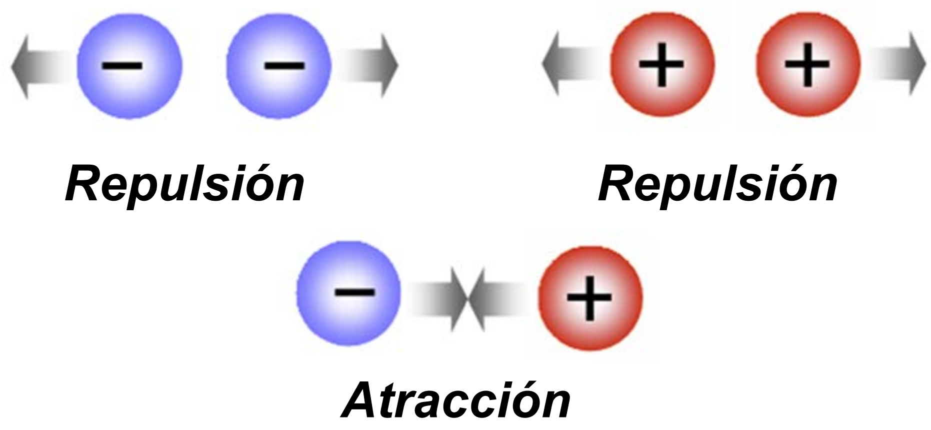
La unidad de carga en el S.I. es el culombio (C)

Ley de Coulomb

¿De qué factores depende la fuerza entre dos cuerpos electrizados?

- De la cantidad de carga "q"
- De la distancia "r" entre ellas
- Del medio en que se encuentran inmersas

INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA

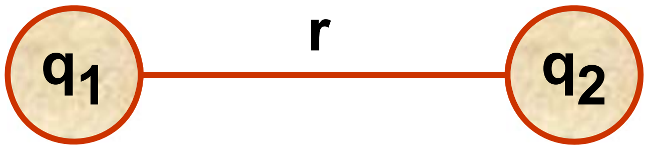


La fuerza eléctrica es directamente proporcional a la magnitud del producto de las cargas que interaccionan, es decir:

$$F_{eléctrica} \propto |q_A|\ |q_B|$$

Al medir la fuerza eléctrica entre las cargas a distintas distancias (r), se encuentra que es inversamente proporcional al cuadrado de dicha distancia, es decir:

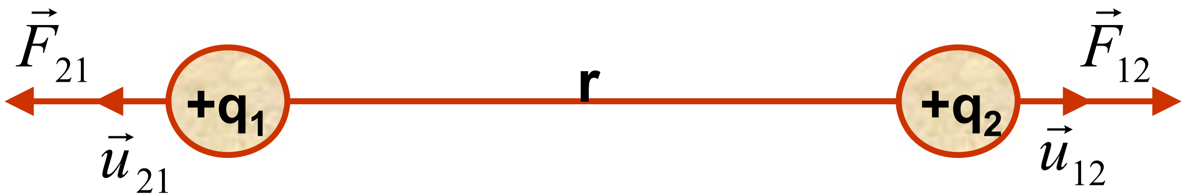
$$F_{eléctrica} \propto \frac{1}{r^2}$$



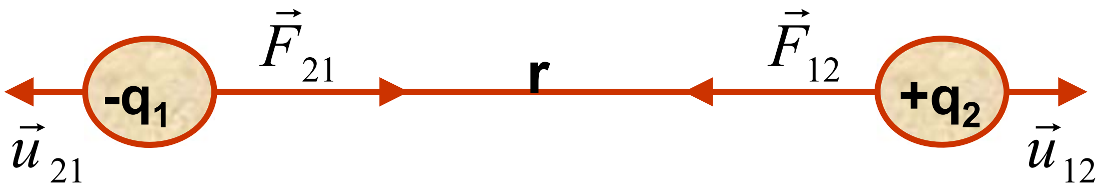
$$\vec{F}_{21} = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{21} \qquad \vec{F}_{12} = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$

La fuerza eléctrica:

- ✓ Magnitud vectorial
- ✓ Fuerza central
- ✓ Cumple la 3ª Ley de Newton



FUERZA ELÉCTRICA REPULSIVA



FUERZA ELÉCTRICA ATRACTIVA

"La fuerza de interacción entre dos cargas puntuales en reposo tiene la dirección de la recta que une las cargas y es directamente proporcional al producto de las mismas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa"

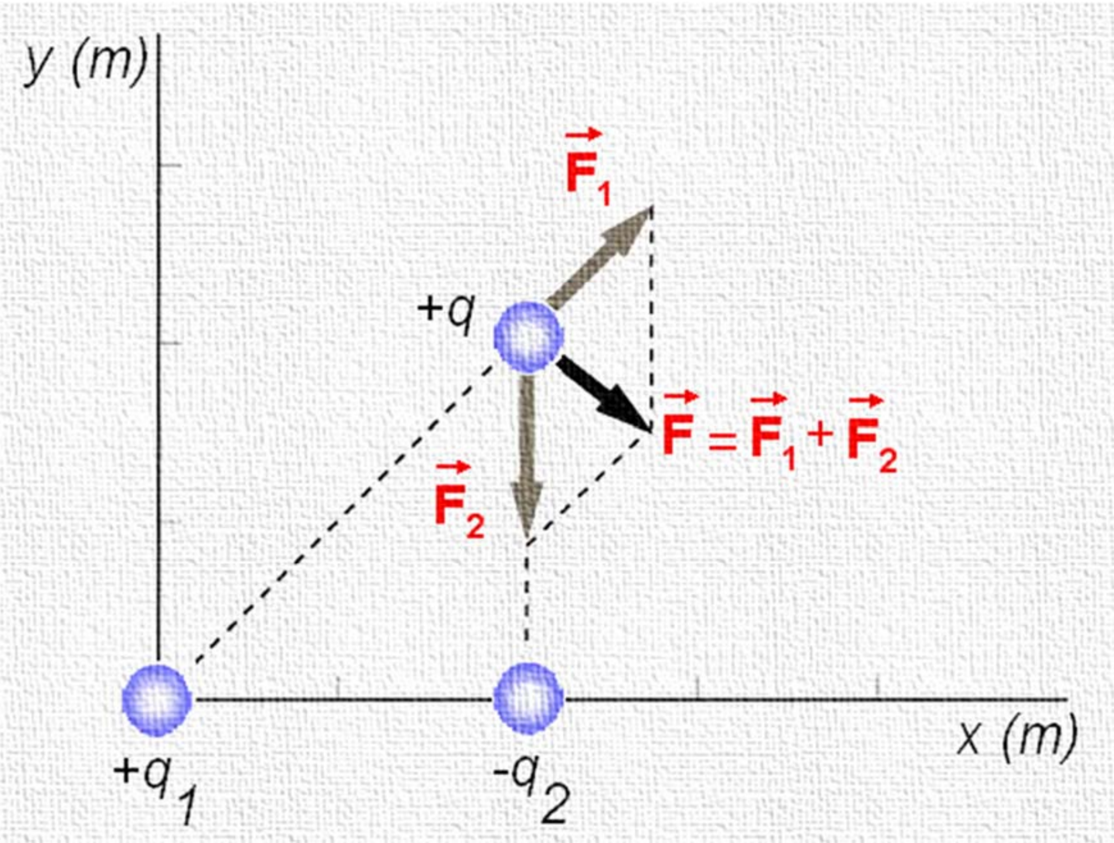
Restricciones de la ley de Coulomb:

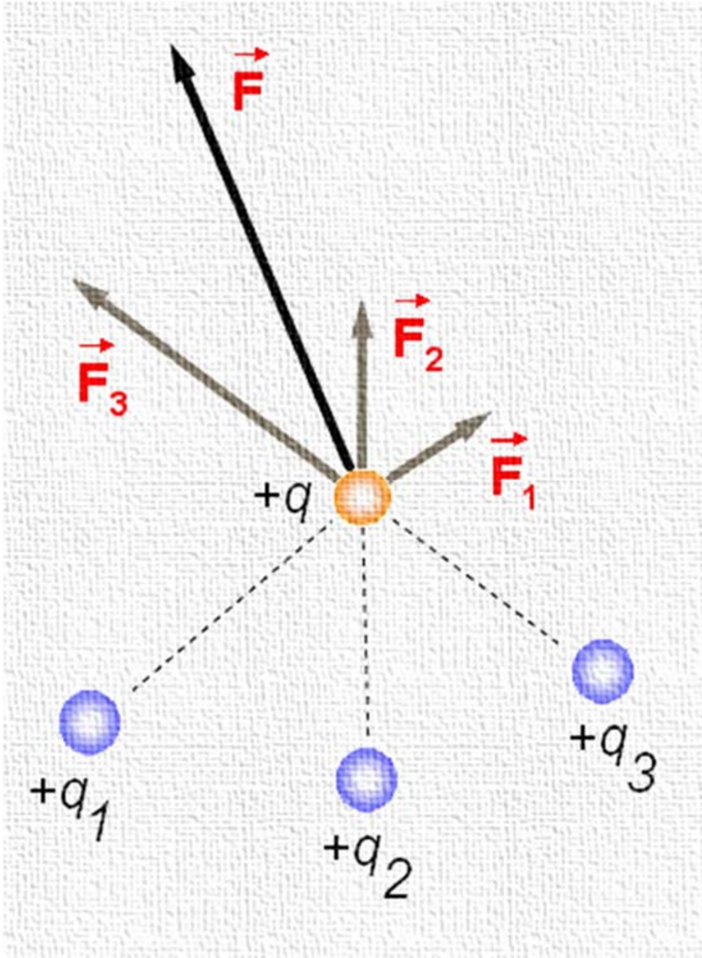
1) Cargas puntuales
2) Cargas en reposo
3) El medio el vacío o el aire

Principio de superposición

Fuerza que ejercen varias cargas puntuales sobre otra

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$$





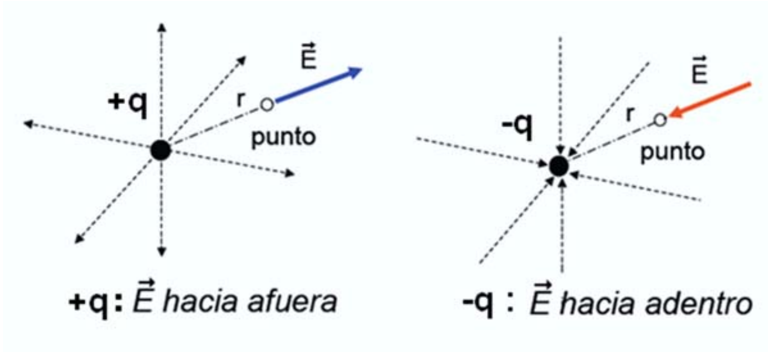
CAMPO ELÉCTRICO

Cualquier región del espacio en la que una carga eléctrica experimenta una fuerza eléctrica que, evidentemente, se debe a la presencia en la región de otra carga

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q´}$$

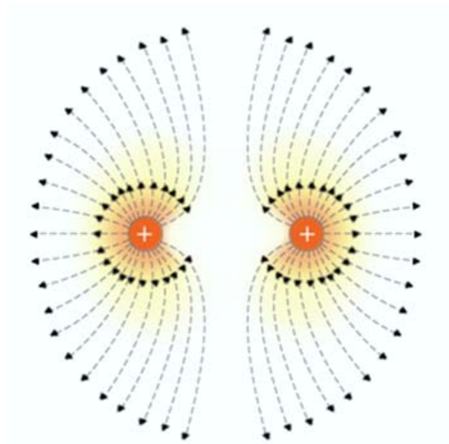
Campo electrostático de una carga puntual

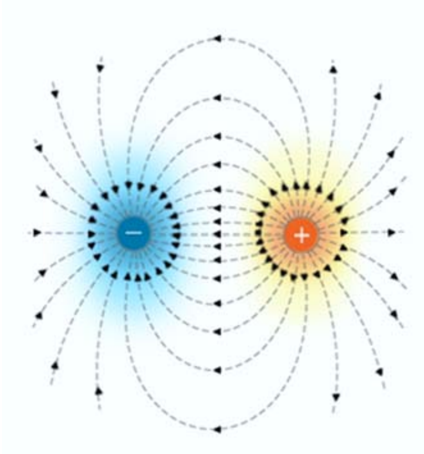
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q´} = k_o \frac{q\,q´}{r^2 q´}\vec{u}_r = k_o \frac{q}{r^2}\vec{u}_r$$



LÍNEAS DE CAMPO

- Densidad de líneas de campo proporcional a su intensidad
- Las cargas positivas son fuentes y las negativas sumideros
- No pueden cortarse dos líneas de campo en un punto sin carga
- Nº de líneas de campo salientes o entrantes proporcional a la carga





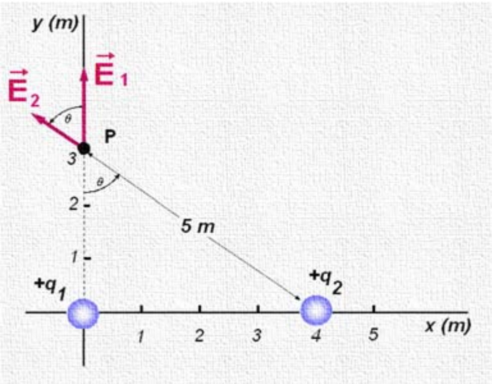
- No son materiales. Descripción cualitativa
- El campo es continuo y existe en cada punto
- Se pierde la perspectiva espacial del campo

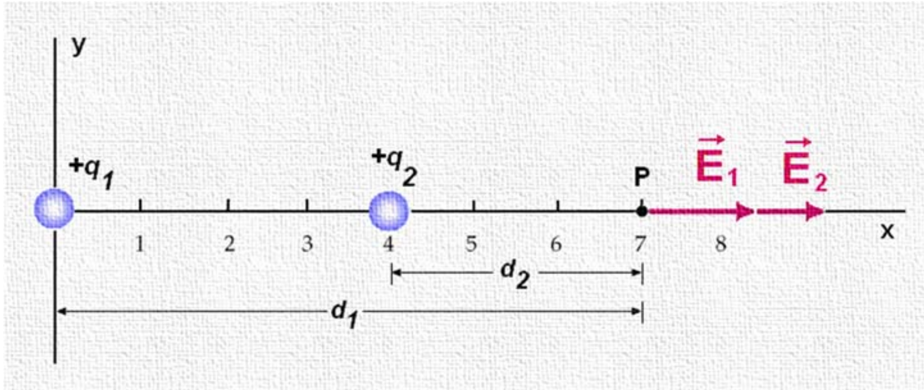
Principio de superposición

Campo eléctrico creado por un sistema de cargas puntuales

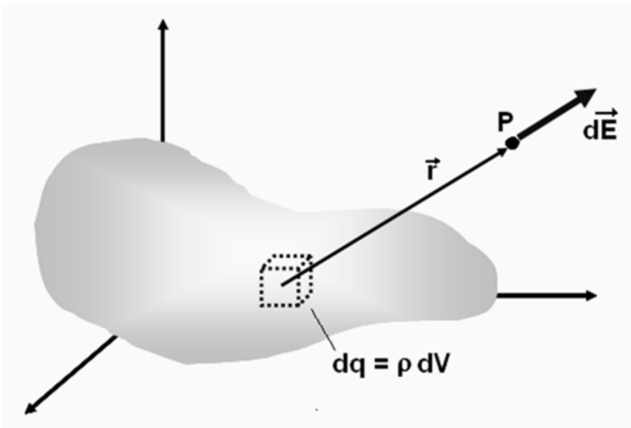
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i$$

Campo electrostático creado por una pareja de cargas positivas en la posición P indicada





Campo eléctrico creado por distribuciones continuas de carga



$$d\vec{E} = k_o \frac{dq}{r^2} \vec{u}_r$$

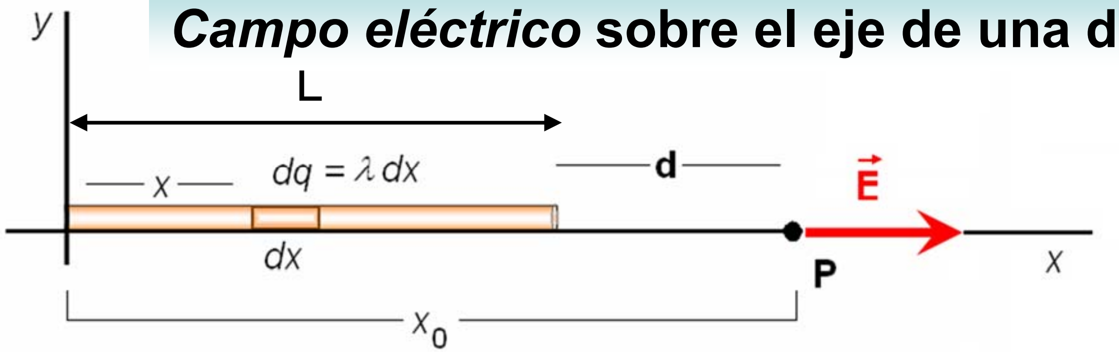
Campo eléctrico creado por un elemento de carga en el punto P

$$dq = \lambda \, d\ell$$

$$dq = \sigma \, dS$$

$$dq = \rho \, dV$$

Campo eléctrico sobre el eje de una distribución de carga lineal finita



$$\vec{E} = k_0 \frac{\lambda\, L}{d\ (L+d)}\, \vec{i}$$

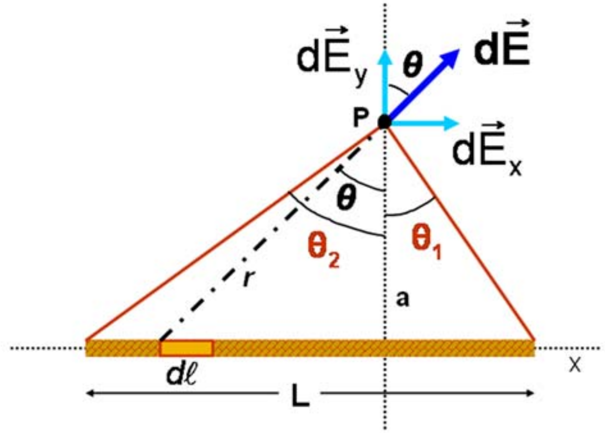
Campo eléctrico creado por una distribución lineal de carga

$$\vec{E} = k_0 \frac{\lambda}{a}\left[(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)\vec{i} + (\mathrm{sen}\theta_1 + \mathrm{sen}\theta_2)\,\vec{j}\right]$$

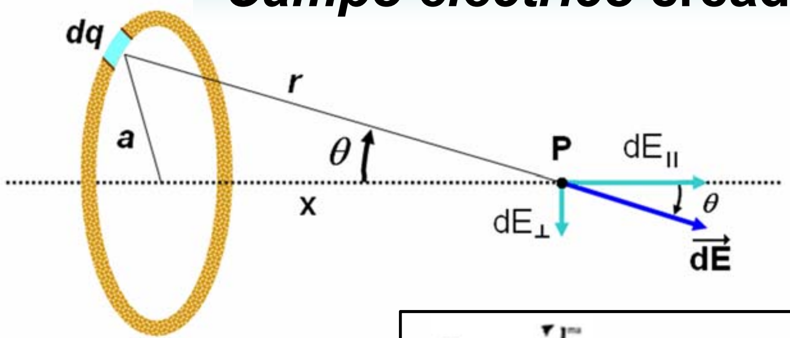
$\theta_1 = \theta_2 = \theta_0$ $\quad$ $L >> a$ ó $L \to \infty$

$$\vec{E} = 2\ k_0 \frac{\lambda}{a} \mathrm{sen}\theta_0\ \vec{j}$$

$$\vec{E} = 2\ k_0 \frac{\lambda}{a}\ \vec{j}$$

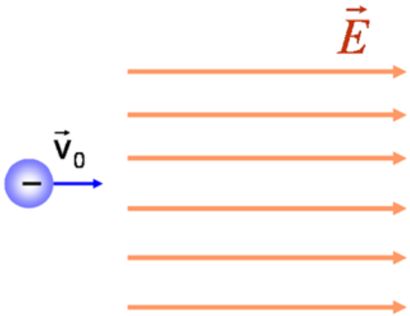


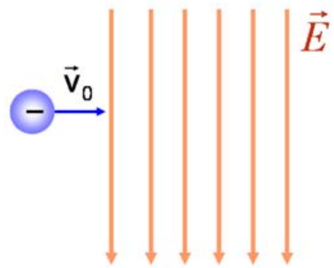
Campo eléctrico creado por un anillo de carga en un punto de su eje

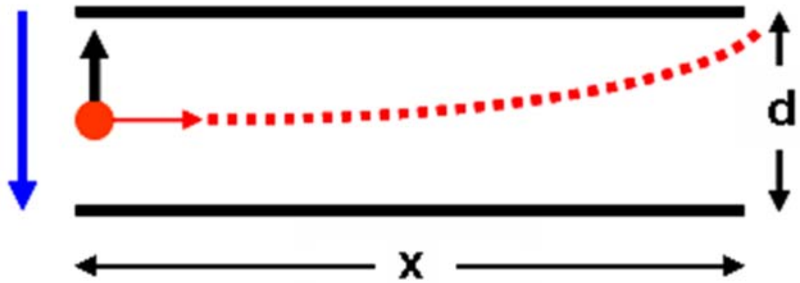


$$\vec{E} = k_0 \frac{Q x}{\left(a^2 + x^2\right)^{\frac{3}{2}}}\ \vec{i}$$

Movimiento de partículas cargadas en un campo eléctrico uniforme







$$\vec{F} = m\vec{a}$$

2ª Ley de Newton

$$\vec{F}_{electrica} = q\vec{E} \qquad \vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} = \frac{q}{m}\vec{E}$$

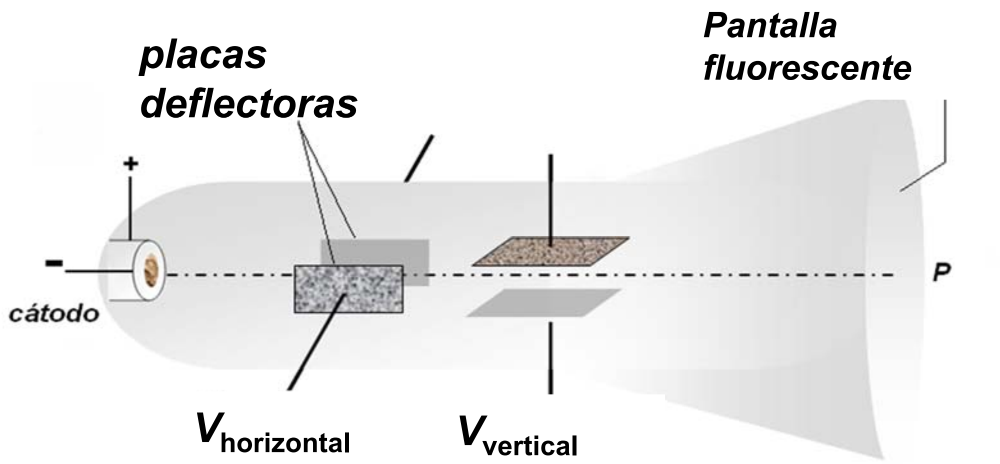
En las placas

$$F_{eléctrica} = ma_y = |q|\,E \Rightarrow a_y = \frac{|q|\,E}{m}$$

$$x = v_o t \qquad \Delta y = \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2}\frac{|q|E}{m} t^2 = \frac{1}{2}\frac{|q|E}{m}\frac{x^2}{v_o^2}$$

Tubo de Rayos Catódicos (*Cathode Ray Tube, CRT*)

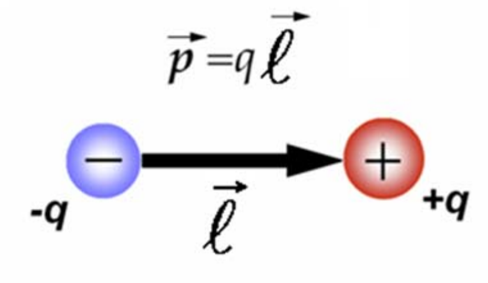


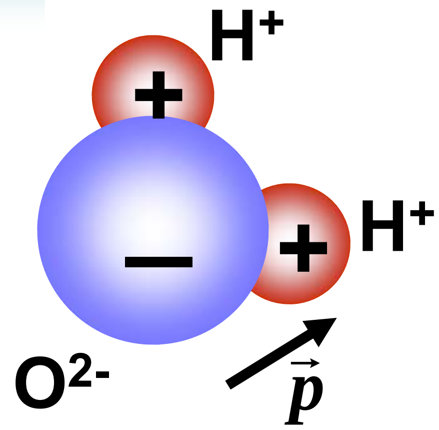
- ► OSCILOSCOPIO
- ► MONITORES *CRT*

Dipolos eléctricos en campos eléctricos

⇒ *Dipolo eléctrico. Momento dipolar*

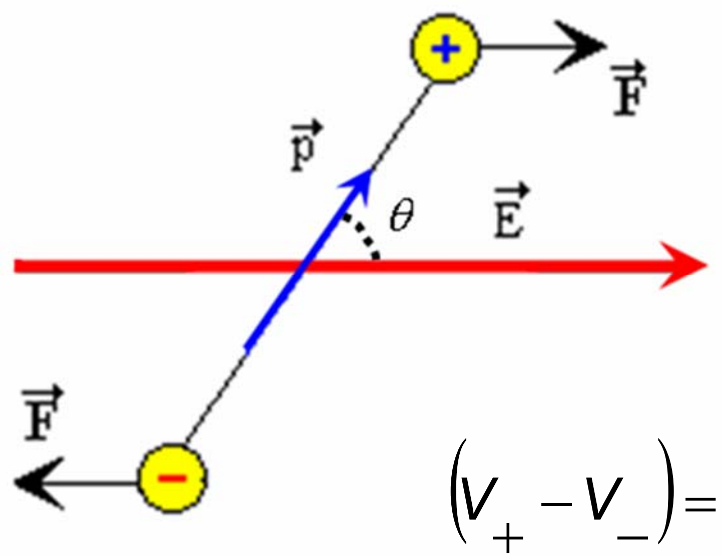
DIPOLO ELÉCTRICO: consta de una carga puntual $-q$ y una carga puntual $+q$ separadas una distancia fija





Molécula de agua

⇒ *Dipolo eléctrico en un campo eléctrico uniforme:*



Muchos átomos y moléculas neutros se comportan como dipolos cuando se someten a un campo eléctrico externo

$$\vec{\tau} = \vec{\ell} \times \vec{F}_{+} = \vec{\ell} \times q\vec{E} = \vec{p} \times \vec{E}$$

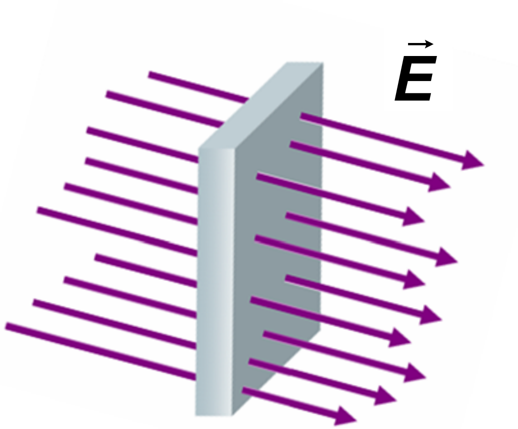
Energía potencial del dipolo $\quad U = q\,(V_{+} - V_{-})$

$$(V_{+} - V_{-}) = \int_{-}^{+} \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = -\int_{-}^{+} \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = -\int_{-}^{+} E\, d\ell \cos\theta = -E\,\ell\,\cos\theta$$

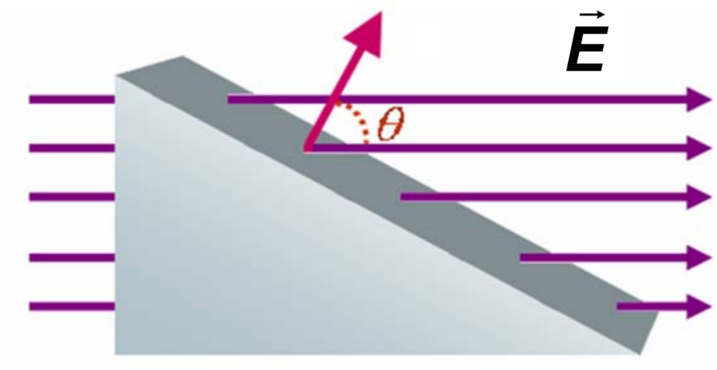
$$U = q\,(V_{+} - V_{-}) = -q\,E\ell\,\cos\theta = -p\,E\cos\theta = -\vec{p}\cdot\vec{E}$$

FLUJO ELÉCTRICO Y LEY DE GAUSS

El flujo es proporcional al número de líneas de campo que atraviesan la superficie

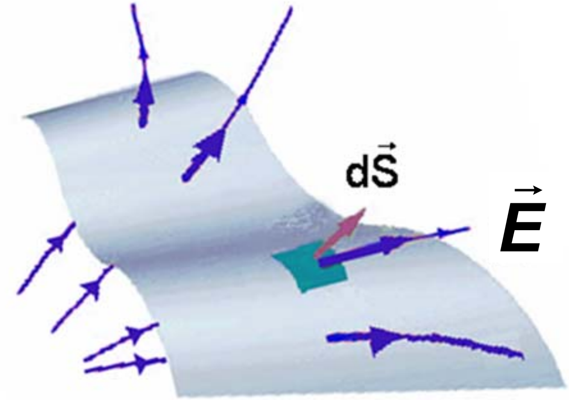


$$\Phi_E = E\,S$$



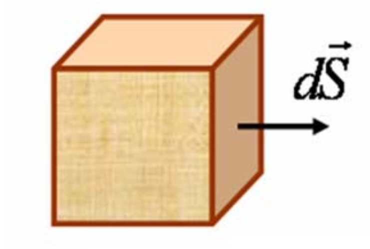
$$\Phi_E = E\,S\cos\theta$$

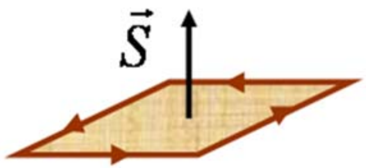
$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{S}$$



$$d\Phi_E = \vec{E}\cdot d\vec{S} = E\,dS\cos\theta$$

Superficie cerrada





Superficie abierta

Flujo eléctrico a través de una superficie

abierta

$$\Phi_E = \iint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}$$

cerrada

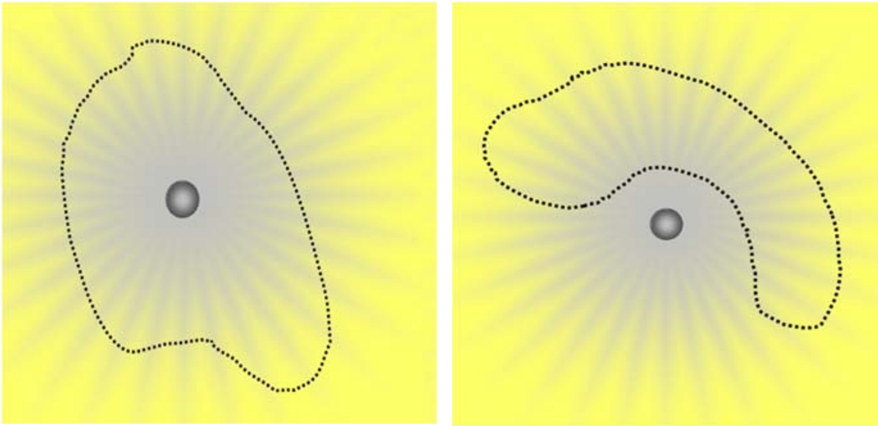
$$\Phi_E = \oiint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}$$

Unidades en el S.I. $\dfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}\cdot\mathrm{m}^2 = \mathrm{J}\cdot\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{C}}$

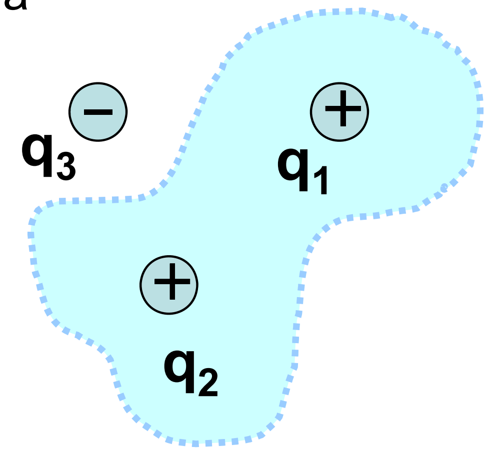
Ley de Gauss

$$\Phi_{neto} = \oint\!\!\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{int}}{\varepsilon_o}$$

1. **El flujo eléctrico es proporcional a la carga neta encerrada por la superficie. Las cargas exteriores no contribuyen al flujo eléctrico.**
2. **El flujo eléctrico se calcula a través de una superficie cerrada *cualquiera* , es decir, el flujo no depende de la forma de la superficie.**
3. **El flujo eléctrico no depende de cómo esté distribuida la carga en el interior de la superficie cerrada.**



La Ley de Gauss es válida para todas las superficies y distribuciones de carga

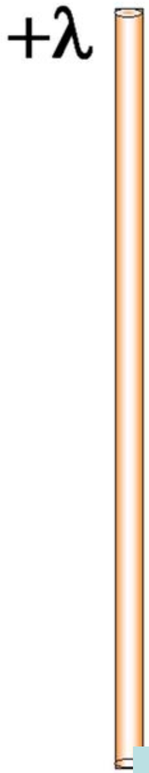


$$\Phi_{neto} = \frac{q_1 + q_2}{\varepsilon_0}$$

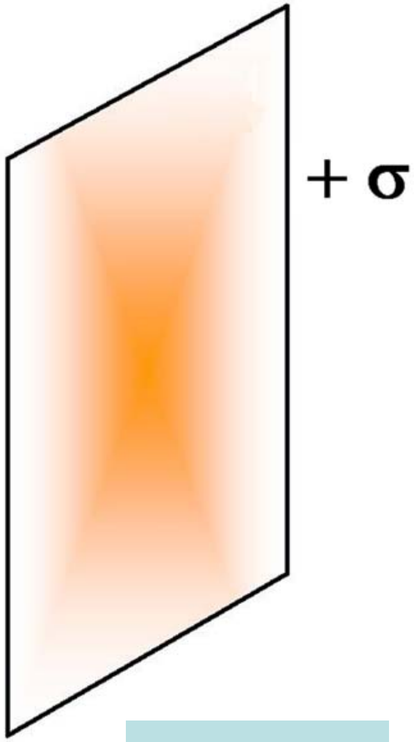
La Ley de Gauss es una herramienta muy potente para el cálculo del flujo eléctrico y, sobre todo, para el cálculo de intensidades de campo cuando las cargas que lo crean tienen un alto grado de simetría.

Aplicaciones de la Ley de Gauss

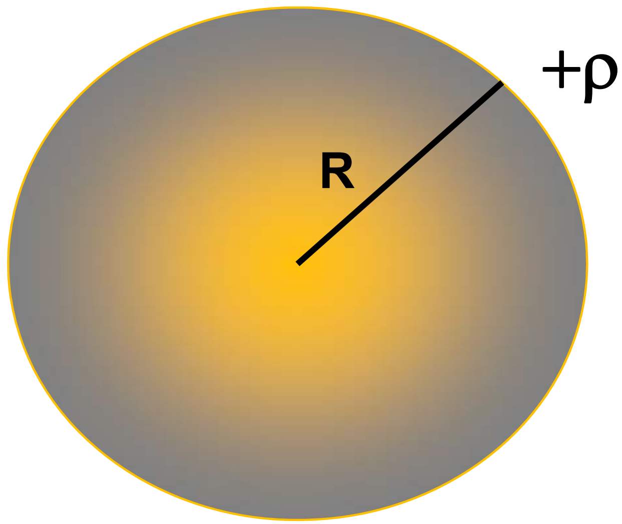
1. A partir de la simetría de la distribución de carga, determinar la dirección del campo eléctrico
2. Elegir una superficie cerrada apropiada para calcular el flujo
3. Determinar la carga que hay en el interior de la superficie cerrada
4. Aplicar el teorema de Gauss y despejar el módulo del campo eléctrico



$$\vec{E}_r = 2\mathrm{k}_0 \frac{\lambda}{r} \vec{u}_r$$



$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_o} \vec{u}$$



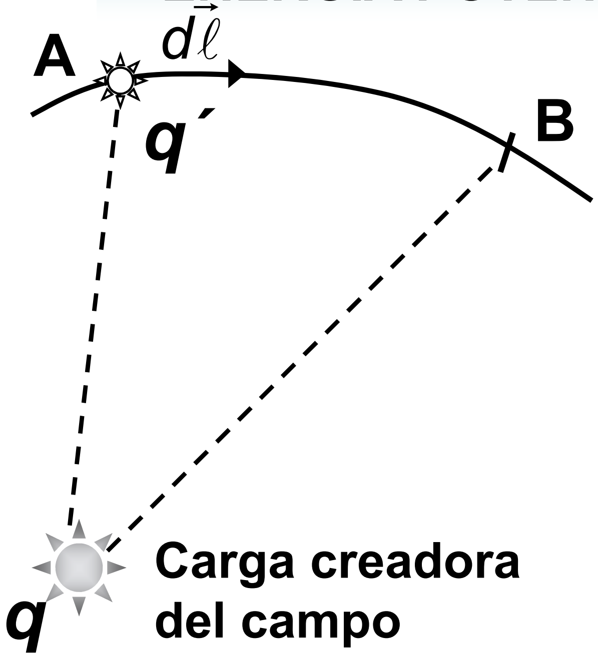
$r \leq R$

$$\vec{E} = \mathrm{k}_\mathrm{o} \frac{Q_{\mathrm{int}}}{r^2} \vec{u} = \frac{\rho}{3\varepsilon_\mathrm{o}} r\vec{u}$$

$r \geq R$

$$\vec{E} = \mathrm{k}_\mathrm{o} \frac{Q}{r^2} \vec{u} = \frac{\rho}{3\varepsilon_\mathrm{o}} \frac{R^3}{r^2} \vec{u}$$

ENERGÍA POTENCIAL ELECTROSTÁTICA Y POTENCIAL ELÉCTRICO



Carga creadora del campo

La fuerza eléctrica es una fuerza central y, por tanto, conservativa

$$W_C(A \to B) = \int_A^B \vec{F}_C \cdot d\vec{r} = -\Delta U = -(U_B - U_A) = (U_A - U_B)$$

El trabajo realizado por la fuerza eléctrica es independiente del camino seguido y la <u>variación</u> de energía potencial electrostática entre los puntos A y B es igual al trabajo realizado por la fuerza conservativa cambiado de signo.

$$W_C(A \to B) = -\Delta U = U_A - U_B = k_o q_1 q_2 \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right]$$

Trabajo realizado por la fuerza del campo creado por una carga puntual para trasladar otra carga puntual desde A hasta B

► En un campo de fuerzas conservativo, el trabajo realizado por las fuerzas del campo siempre se realiza en el sentido de disminuir la energía potencial del sistema ⇨ $\Delta U < 0$, $W_{campo} > 0$

► Si el sistema aumenta su energía potencial ($\Delta U > 0$) es porque ha actuado un agente exterior en contra de las fuerzas del campo

$$W_{ext} = \Delta E = \Delta E_c + \Delta U$$

Energía potencial de una carga *q´* en un punto del campo creado por otra carga puntual *q*

Por convenio, se elige como origen de energías potenciales un punto en el que la interacción electrostática entre las cargas sea nula

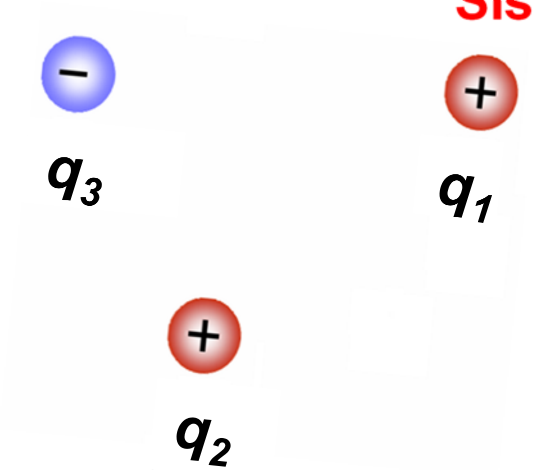
$$r_B = \infty \quad \Rightarrow \quad U_B = 0$$

$$W_C(A \to \infty) = U = k_o \frac{qq'}{r}$$

Trabajo que debe realizar el campo para separar las cargas una distancia infinita

Principio de superposición

Sistema constituido por *n* cargas puntuales



$$U = k_o \sum_{pares} \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

$$U = k_0 \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right)$$

Si la energía potencial eléctrica es positiva, el trabajo para separar todas las cargas una distancia mutua infinita será realizado por el campo; si es negativa, dicho trabajo será realizado por un agente exterior en contra de las fuerzas del campo

POTENCIAL ELÉCTRICO

El trabajo realizado por la fuerza eléctrica para trasladar la carga *q´* desde un punto A hasta otro punto B es:

$$W_C(A \to B) = \int_A^B \vec{F}_C \cdot d\vec{r} = \int_A^B q´\vec{E} \cdot d\vec{r} = q´\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta U = (U_A - U_B)$$

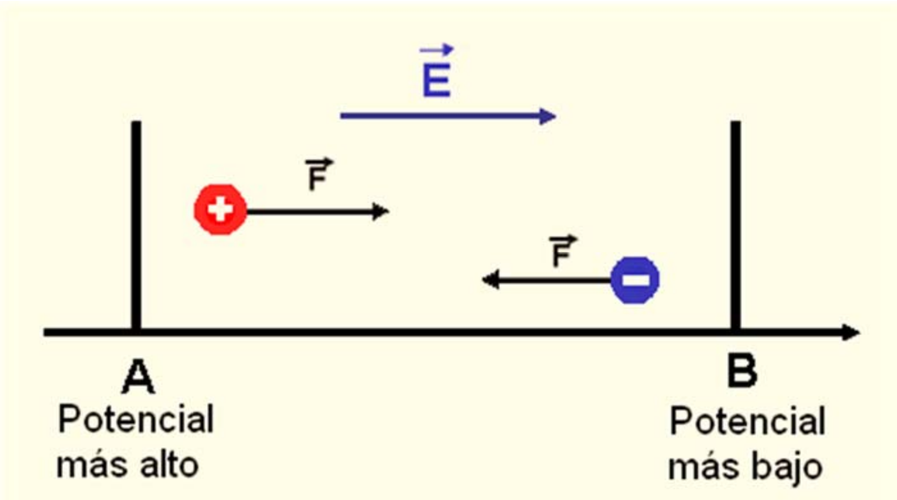
$$\frac{W_C(A \to B)}{q'} = \int_A^B \vec{E} d\vec{r} = \frac{(U_A - U_B)}{q'} = V_A - V_B = -\Delta V$$

Diferencia de potencial (d.d.p.) entre dos puntos representa:

- **la diferencia de energía potencial de la unidad de carga positiva situada en dichos puntos**
- **el trabajo que debe realizar el campo para trasladar la unidad de carga positiva del primer punto al segundo**

$$W_C(A \to B) = q´(V_A - V_B)$$

Expresión que permite calcular el trabajo realizado por el campo cuando conocemos la diferencia de potencial



Unidades S.I. : voltio

1 V = 1 J/C

Potencial de un punto

Como en el infinito la fuerza de interacción entre cargas puntuales es nula, suele tomarse ese punto como origen → $V_\infty = 0$

$$V = \frac{U}{q'}$$

Potencial en un punto representa el trabajo que debe realizar el campo para trasladar la unidad de carga desde el punto hasta el infinito

Potencial electrostático producido por una carga puntual a una distancia r

$$V = \frac{U}{q'} = \frac{k_o \dfrac{qq'}{r}}{q'} = k_o \frac{q}{r}$$

Principio de superposición

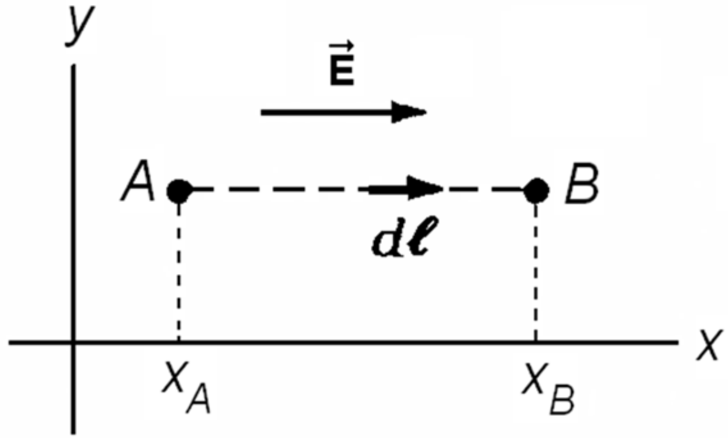
Potencial de un punto del campo si el campo está creado por n cargas puntuales

Potencial electrostático producido por un sistema de cargas puntuales

$$V = k_o \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{r_{ij}}$$

CAMPO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL: GRADIENTE DE POTENCIAL

$$U_B - U_A = -\int_A^B \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = -q_0\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$



$$\boxed{\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{\ell}}$$

$$\boxed{dV = -\vec{E}\cdot d\vec{\ell}}$$

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \qquad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \qquad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k}\right)$$

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x}dx + \frac{\partial V}{\partial y}dy + \frac{\partial V}{\partial z}dz$$

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k}$$

$$d\vec{r} = dx\ \vec{i} + dy\ \vec{j} + dz\ \vec{k}$$

$$dV = \vec{\nabla}V\cdot d\vec{\ell}$$

$$dV = -\vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$

$$\boxed{\vec{E} = -\vec{\nabla}V}$$

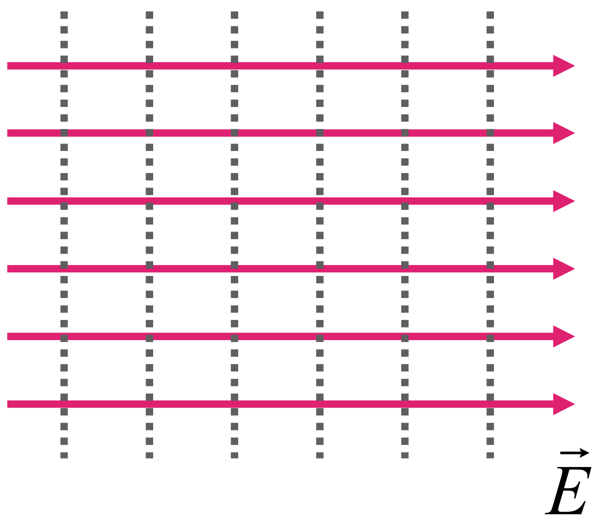
Superficie equipotencial

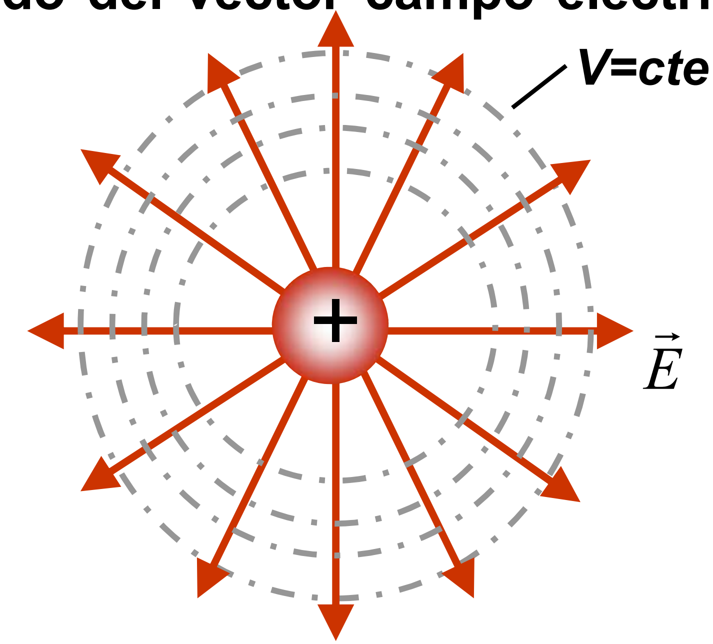
Lugar geométrico de todos los puntos del campo que están a un mismo potencial

Sus propiedades

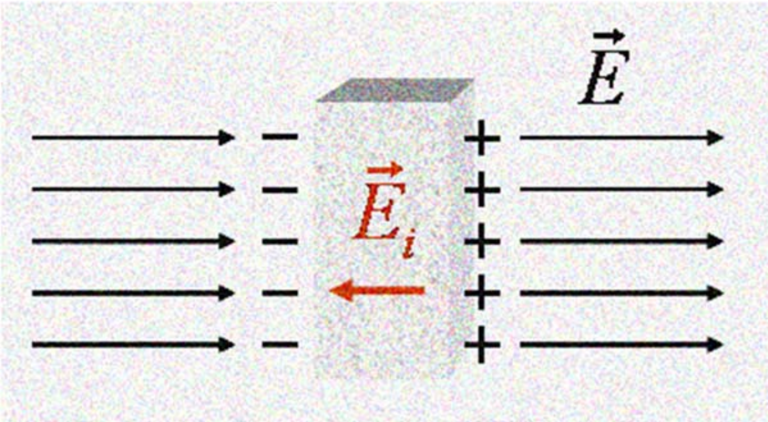
► El trabajo realizado para desplazar una carga entre dos puntos de una superficie equipotencial es nulo

► Las líneas de campo (y, por tanto, $\vec{E}$) son perpendiculares en cada punto a las superficies equipotenciales y el sentido del vector campo eléctrico es el de los potenciales decrecientes



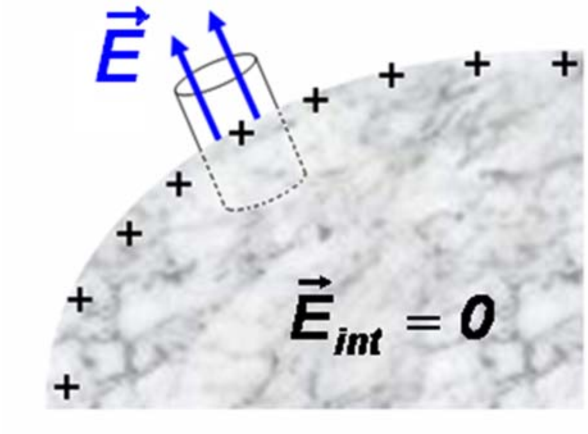


CONDUCTOR EN EQUILIBRIO ELECTROSTÁTICO



1. El campo eléctrico es CERO en cualquier punto del interior del conductor.

2. Cualquier exceso de carga sobre un conductor aislado se localiza enteramente sobre su superficie, (σ).

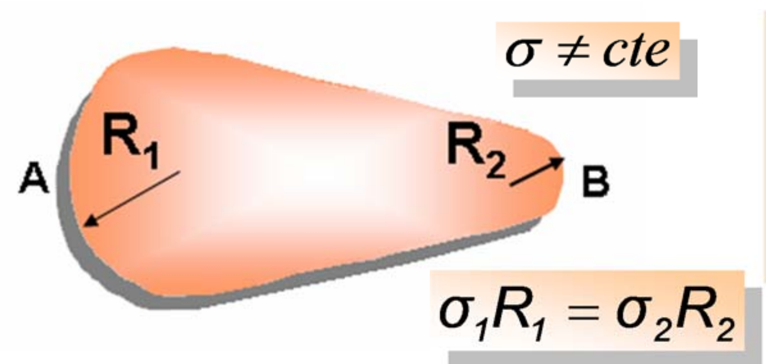


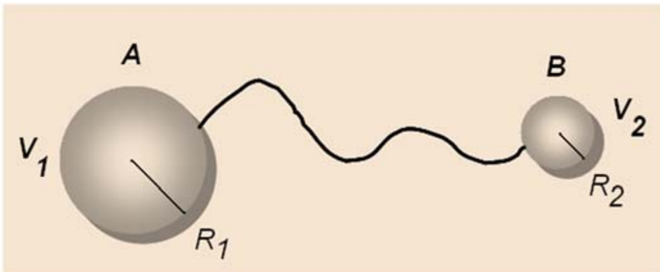
3. El campo eléctrico justo fuera del conductor es perpendicular a su superficie y tiene una magnitud de σ/ε_0.

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{u}_s$$

4. El conductor constituye un volumen equipotencial

En un conductor de forma irregular, la carga tiende a acumularse donde el radio de curvatura de la superficie es más pequeño, es decir, donde termina en punta.





$$V = k_0 \frac{q}{R}$$

$$q = \sigma\, S = 4\pi\, R^2 \sigma$$

Capacidad de un conductor

Definición de capacidad de un conductor

$$C = \frac{Q}{V}$$

Características de la capacidad de un conductor:

- Magnitud positiva
- No depende de la carga ni del potencial, sólo de la forma y tamaño

Unidad de capacidad S.I.: Faradio $1\ F = 1\ C/V$

$1\ \mu F = 10^{-6}\ F$; $1\ nF = 10^{-9}\ F$; $1\ pF = 10^{-12}\ F$

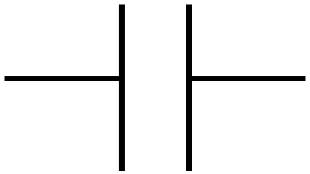
CONDENSADORES

¿Qué es un condensador?

El conjunto de dos conductores iguales y próximos que reciben cargas iguales y opuestas

Capacidad de un condensador

$$C = \frac{Q_+}{V_+ - V_-} = \frac{Q_-}{V_- - V_+}$$



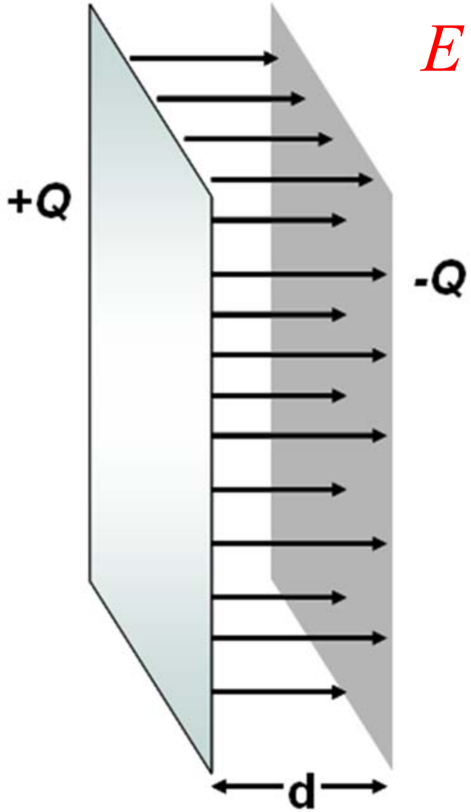
Características de la capacidad de un condensador:

- Magnitud positiva
- No depende ni de la carga ni de la diferencia de potencial de los conductores
- Depende de la forma, tamaño y disposición geométrica de los conductores

Capacidad de los condensadores plano, esférico y cilíndrico

Condensador plano

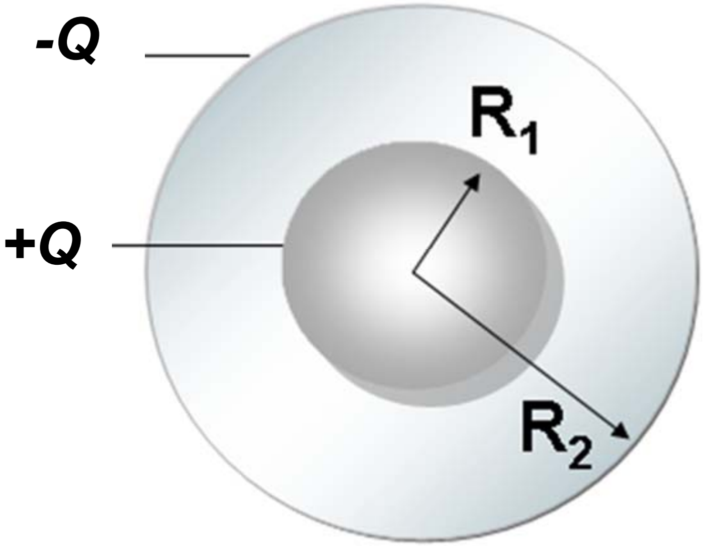
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$



$$C = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

Condensador esférico

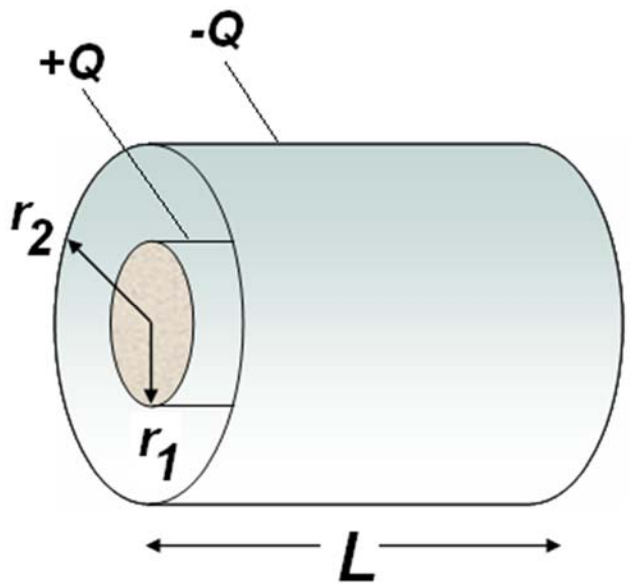
$$E = k_0 \frac{Q}{r^2}$$



$$C = \frac{R_1 R_2}{k_0 (R_2 - R_1)}$$

Condensador cilíndrico

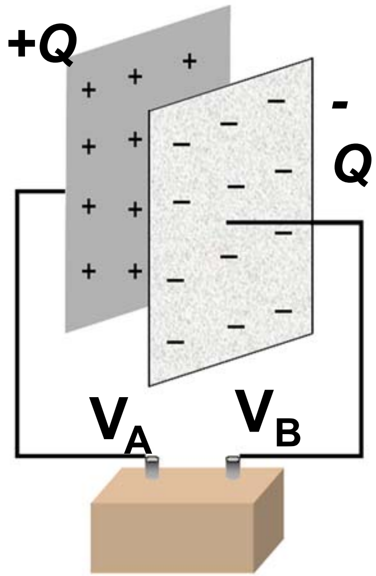
$$E = 2k_0 \frac{\lambda}{r}$$



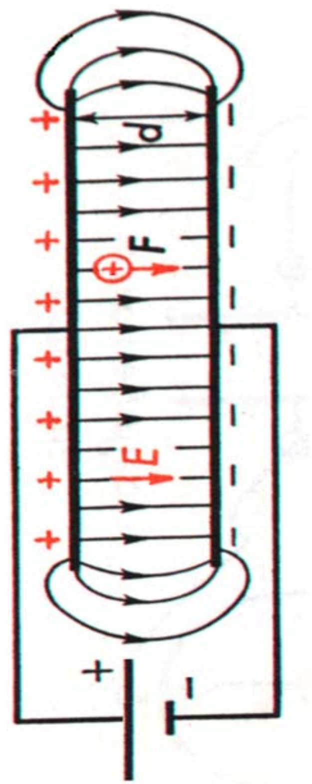
$$C = \frac{L}{2k_0 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Energía electrostática almacenada por un condensador

Para cargar un condensador, conectamos las placas una a cada polo de la pila



Un condensador cargado es distinto de uno descargado debido a la carga separada en las placas y al campo eléctrico entre ellas

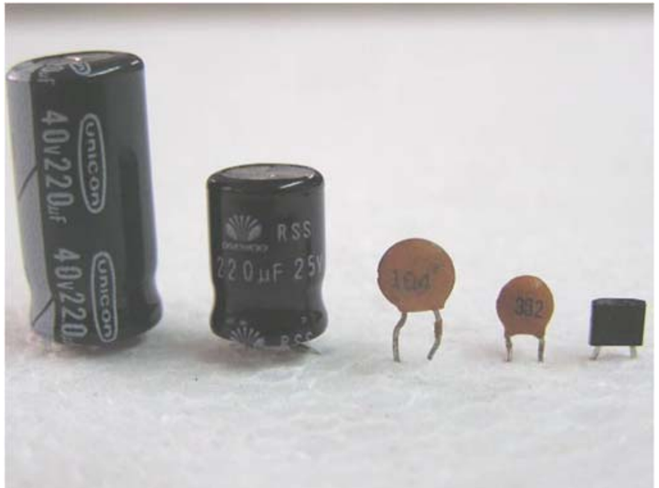


Proceso de carga
↓
Transferencia de carga
↓
Trabajo
↓
Energía potencial almacenada en el condensador

La energía almacenada en un condensador proviene del trabajo realizado para ir situando cargas del mismo signo sobre la superficie de su armadura. Estas cargas, por el efecto de la repulsión, tienden a separarse devolviendo el trabajo realizado para juntarlas

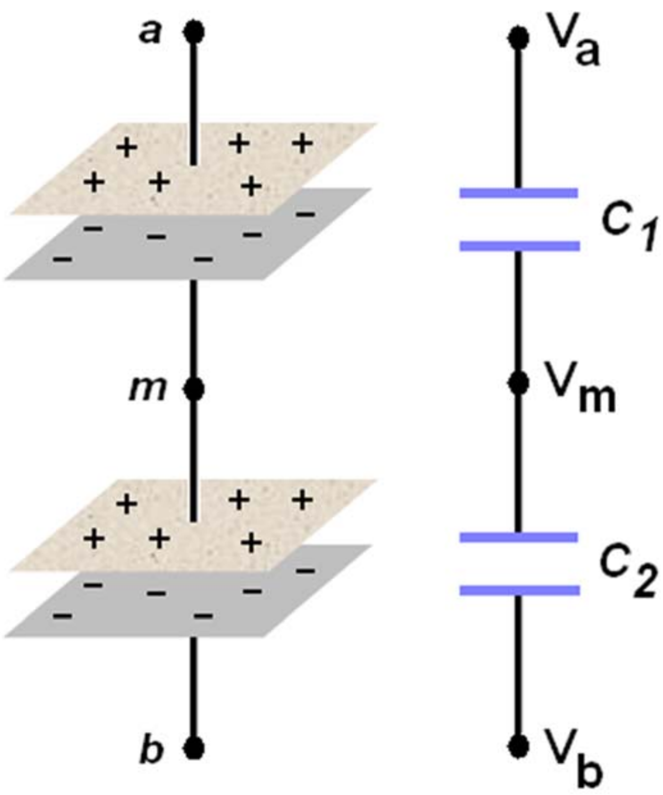
$$U = \frac{Q^2}{2\,C} = \frac{Q\left(V_A - V_B\right)}{2} = \frac{1}{2}C\left(V_A - V_B\right)^2$$

Varios tipos de condensadores



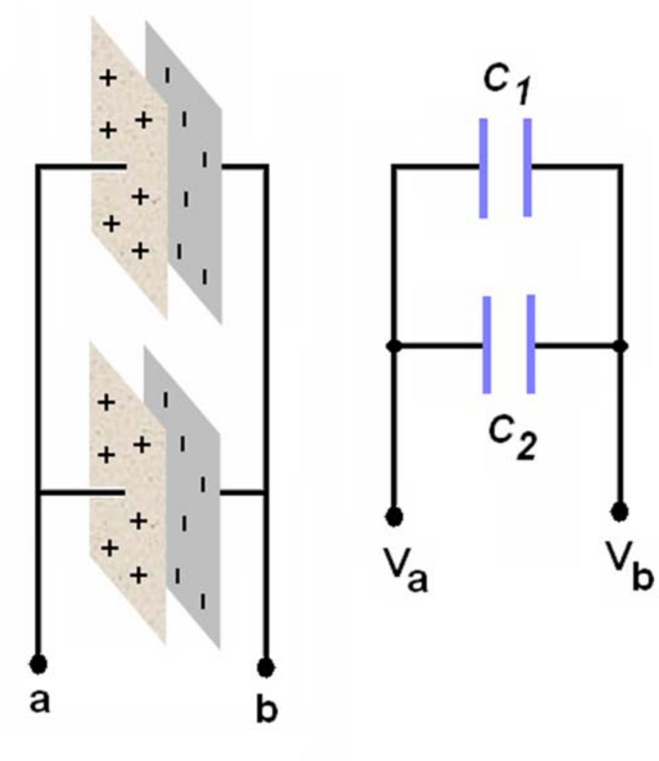
Asociación de condensadores

Asociación en serie



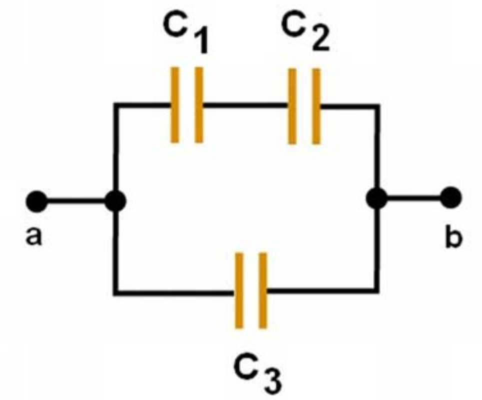
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Asociación en paralelo

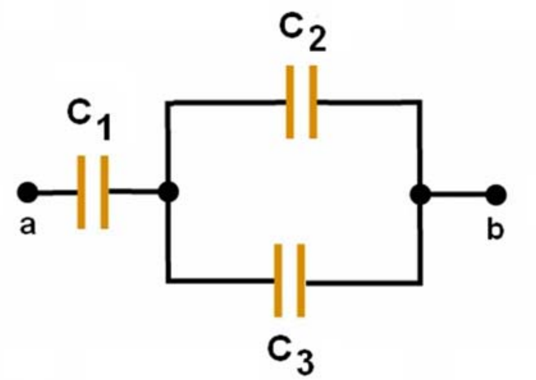


$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

Asociación mixta



$$C_{eq} = \frac{C_1C_2 + C_3(C_1 + C_2)}{C_1 + C_2}$$

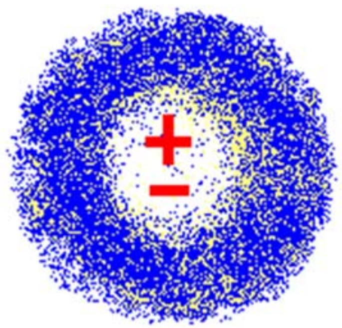


$$C_{eq} = \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

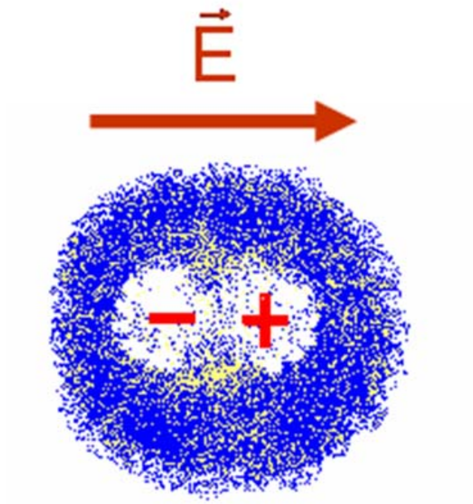
CONDENSADORES CON DIELÉCTRICOS

Descripción de los dieléctricos

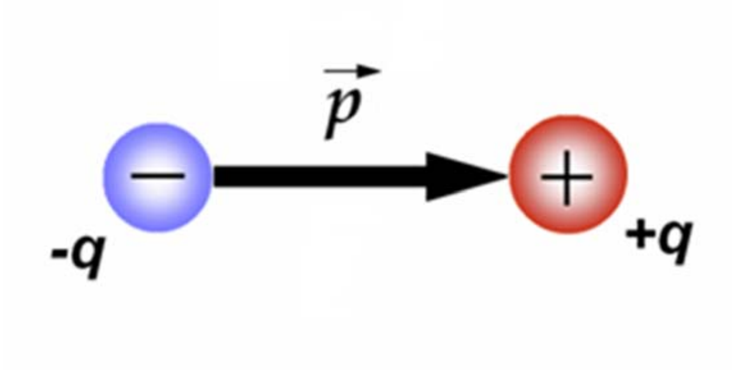
Los átomos y las moléculas neutros se comportan como dipolos cuando se someten a un campo eléctrico externo



La nube negativa de electrones de un átomo normalmente está centrada sobre su núcleo positivo



Un campo eléctrico externo desplaza la carga de manera opuesta



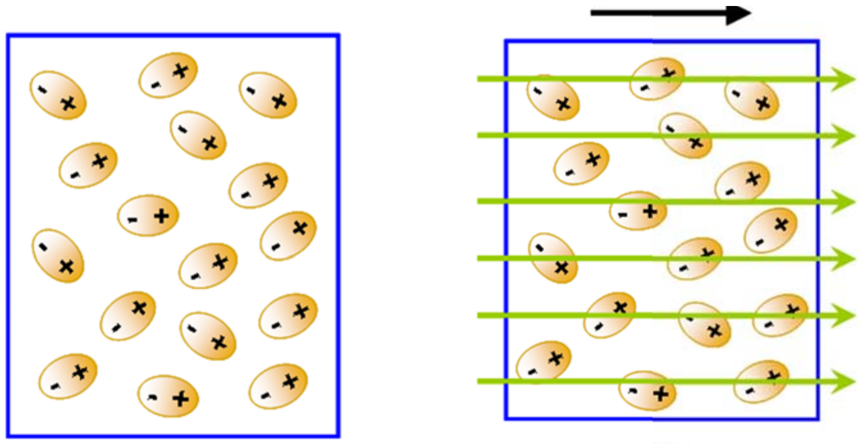
Esto hace que el átomo se comporte como si fuese un dipolo eléctrico

***MOLÉCULAS POLARES*: forman dipolos permanentes. HCl, H_2O, NH_3, …**

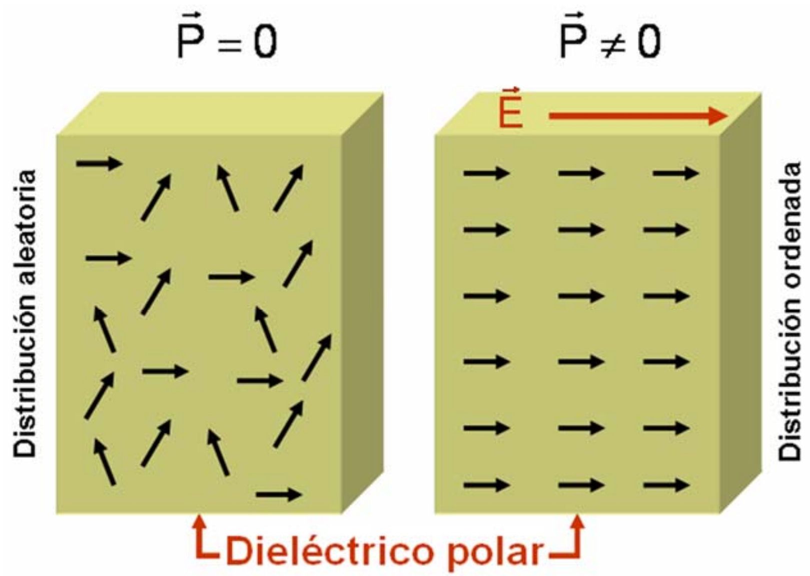
***MOLÉCULAS APOLARES*: No tienen momento dipolar permanente. H_2, N_2, O_2, …**

Polarización eléctrica

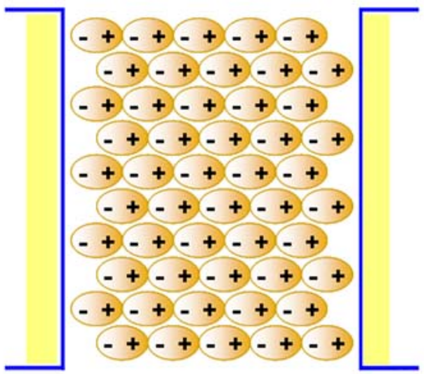
DIELÉCTRICOS EN UN CAMPO ELÉCTRICO: el campo exterior polariza las moléculas del dieléctrico



(a) (b)



Cada molécula se transforma en un pequeño dipolo orientado en la misma dirección que el campo eléctrico



(c)

En la superficie del dieléctrico los dipolos moleculares forman una capa de carga: *carga ligada*

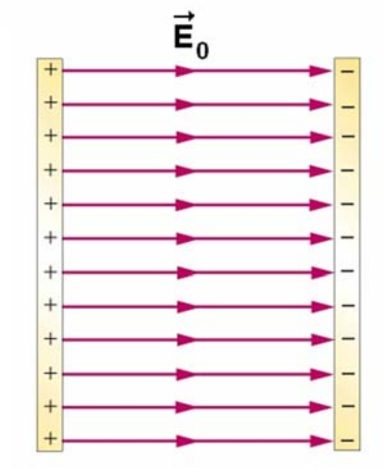
Vector Polarización

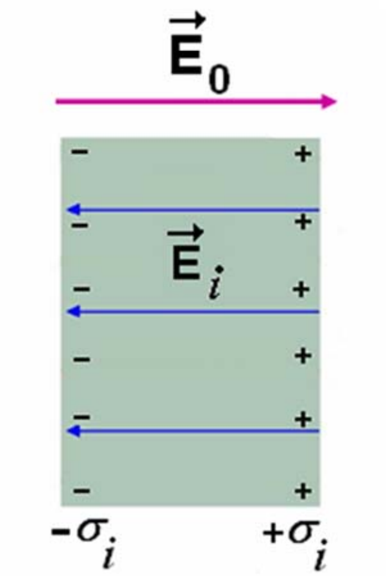
$$\vec{P} = \frac{n\vec{p}}{V}$$

$$P = \frac{np}{V} = \frac{Q\ell}{Sd} = \frac{Q_i d}{Sd} = \sigma_i$$

Densidad de carga de polarización

Dieléctrico en un campo eléctrico



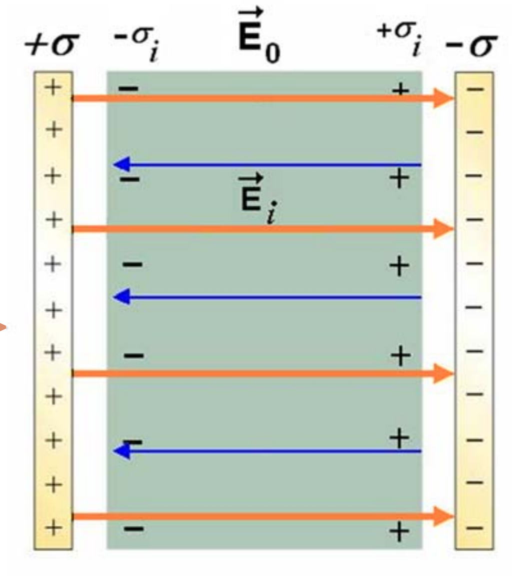


$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_0}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_i$$

$$E = E_0 - E_i = \frac{\sigma - \sigma_i}{\varepsilon_0}$$

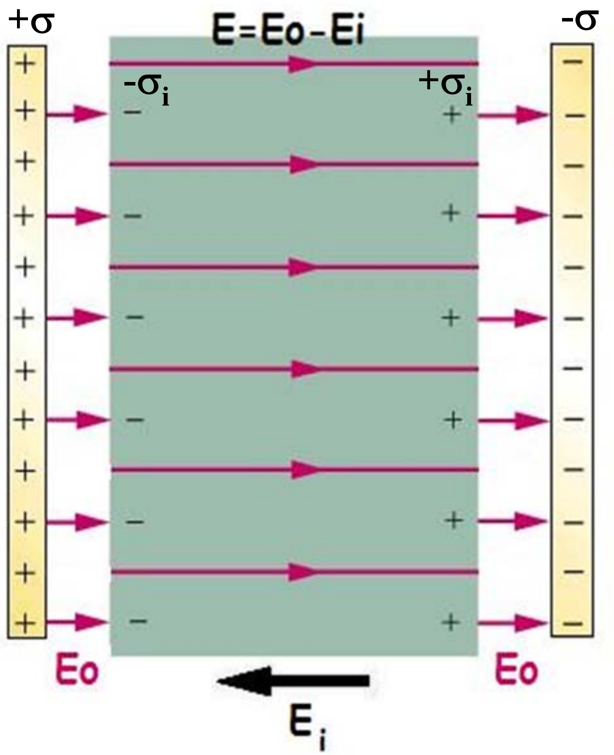


$$E = \frac{E_0}{\kappa} = \frac{\sigma}{\kappa\ \varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Valores que debe tomar la constante κ según el medio que haya entre las láminas cargadas

Esa carga produce un campo eléctrico que se opone, en el interior del material, al campo aplicado externamente

Dieléctrico $\kappa > 1$	Vacío $\kappa = 1$	Conductor $\kappa = \infty$
$\sigma_i < \sigma$	$\sigma_i = 0$	$\sigma_i = \sigma$
$E_i < E_0$ $E < E_0$	$E_i = 0$ $E = E_0$	$E_i = E_0$ $E = 0$



$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

Constante dieléctrica o permitividad dieléctrica relativa

Susceptibilidad eléctrica

$$\left.\begin{aligned} \vec{P} &= \chi \varepsilon_0 \vec{E} \\ P &= \chi \varepsilon_0 E \\ P &= \sigma_i \end{aligned}\right\} E = E_0 - E_i = \frac{\sigma - P}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma - \chi \varepsilon_0 E}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 (1+\chi)}$$

Material	ε_r
Vacío	1´0
Aire	1´001
Papel	3´7
Vidrio	5-10

$$E_i = E_o - E$$

$$E_i = \left(\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r}\right) E_0$$

$$\sigma_i = \left(\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r}\right) \sigma$$

$$\varepsilon_r = 1 + \chi$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi)$$

Condensadores con dieléctricos

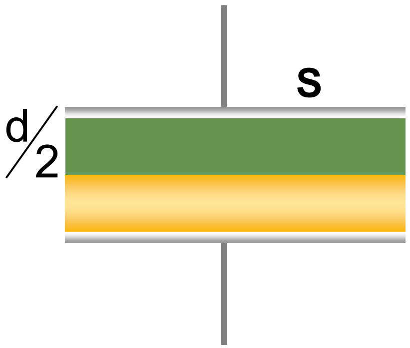
Influencia del dieléctrico sobre el condensador

$$E=\frac{E_0}{\varepsilon_r} \qquad (V_+ - V_-)=\frac{(V_+ - V_-)_0}{\varepsilon_r}$$

- **Aumenta la capacidad**
- **Soporte de separación armaduras**
- **Aumenta la resistencia a la ruptura del condensador**

$$C=C_0\,\varepsilon_r$$

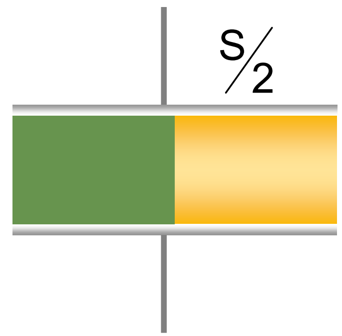
El equivalente son dos condensadores conectados en serie



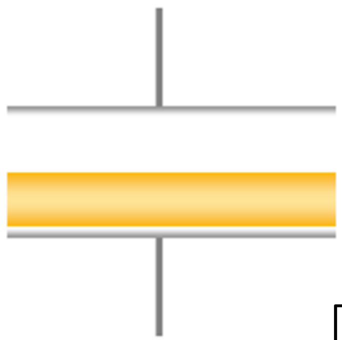
$$C=2\varepsilon_0\frac{S}{d}\left(\frac{\varepsilon_{r1}\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}+\varepsilon_{r2}}\right)$$

El equivalente son dos condensadores conectados en paralelo

$$C=\varepsilon_0\frac{S}{d}\left(\frac{\varepsilon_{r1}+\varepsilon_{r2}}{2}\right)$$

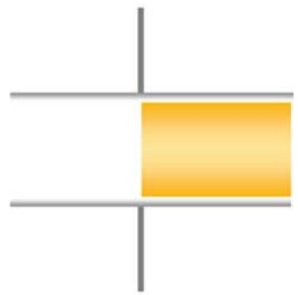


Condensadores parcialmente llenos



$$C=2\varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{d}\left(\frac{1}{1+\varepsilon_r}\right)$$

$$C=\varepsilon_0\frac{S}{d}\left(\frac{1+\varepsilon_r}{2}\right)$$



ENERGÍA DEL CAMPO ELÉCTRICO. DENSIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Podemos asignar una energía a un campo eléctrico creado por una distribución de carga → **ENERGÍA DEL CAMPO ELÉCTRICO**

Para un campo eléctrico uniforme

$$U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 V$$

Energía por unidad de volumen

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

$$\eta_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

Esta ecuación tiene validez general y nos da la densidad de energía que hay en cualquier punto del espacio debido al campo eléctrico que existe en dicho punto cualquiera que sea la distribución de carga que lo produzca.

La densidad de energía eléctrica es un ejemplo de campo escalar y en el S.I. se mide en J/m^3

EL CAMPO ELÉCTRICO EN LOS CONDUCTORES

TIPOS DE MATERIALES CONDUCTORES Y CORRIENTES

Conductor metálico → Los portadores de carga son e^-

Semiconductores → Los portadores de carga son + y -

Electrolitos → Las cargas libres son iones +, - y e^-

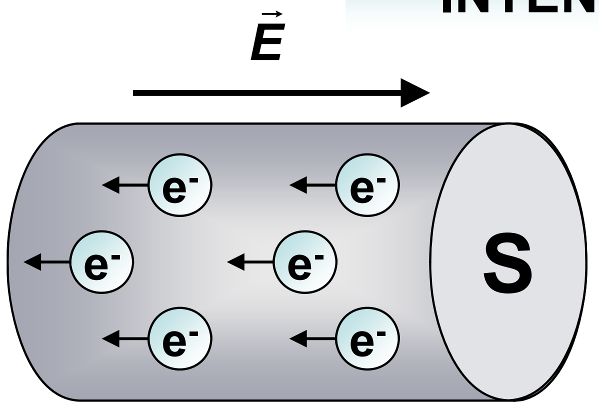
Gas en condiciones especiales → Las cargas libres son iones +, - y e^-

TIPOS DE CORRIENTE

- ► Corriente transitoria
- ► Corriente permanente
  - \- Corriente continua (*cc*)
  - \- Corriente alterna (*ca*)

CIRCUITO ELÉCTRICO

INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA



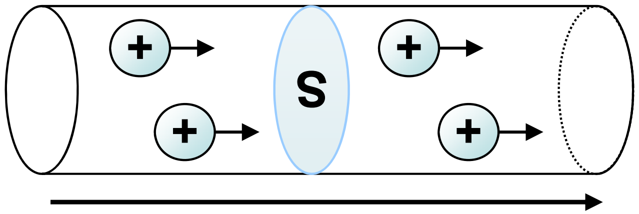
La corriente eléctrica en un alambre de metal consiste en electrones en movimiento

INTENSIDAD DE CORRIENTE: Carga que atraviesa la sección recta de un conductor en la unidad de tiempo

$$I = \frac{Q}{t} \qquad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

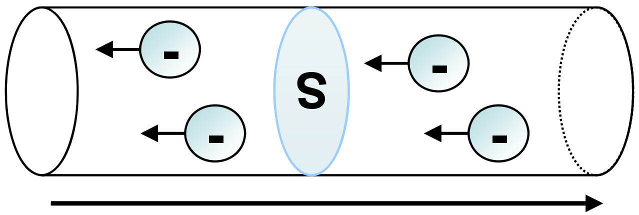
$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Haz de protones



Sentido convencional de I

Electrones en una barra metálica



Sentido convencional de I

***Sentido convencional de la corriente*:** el que llevarían las cargas positivas

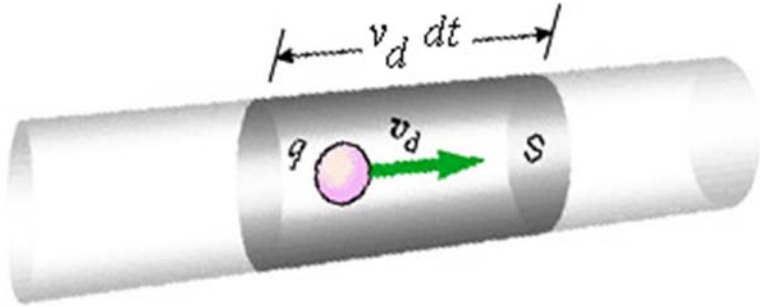
Unidad S.I.: amperio

1 A = 1 C/s

INTENSIDAD Y DENSIDAD DE CORRIENTE

DENSIDAD DE CORRIENTE

$$J = \frac{dI}{dS} \qquad \boxed{J = \frac{I}{S}}$$



$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{qdN}{dt} = \frac{qnSd\ell}{dt} = \frac{qnSv_d dt}{dt} = q\,nSv_d$$

$$\boxed{I = q\,n\,S\,v_d} \rightarrow \frac{I}{S} = J = q\,n\,v_d \rightarrow \boxed{\vec{J} = q\,n\,\vec{v}_d}$$

Para cualquier tipo de corriente

$$\boxed{I = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}}$$

Para corrientes con diferentes tipos de portadores de carga

$$\boxed{\vec{J} = \sum_{i=1}^{n} n_i q_i \vec{v}_{di}}$$

Intensidad de corriente

$$I = \frac{dQ}{dt} \qquad I = nqv_d S$$

Densidad de corriente

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^{n} n_i q_i \vec{v}_{di}$$

LEY DE OHM

Conductores óhmicos $\vec{E} \propto \vec{v}_d \xrightarrow{\vec{J} \propto \vec{v}_d} \vec{J} = \sigma \vec{E}$ **Ley de Ohm**

$\sigma =$ ***Conductividad***

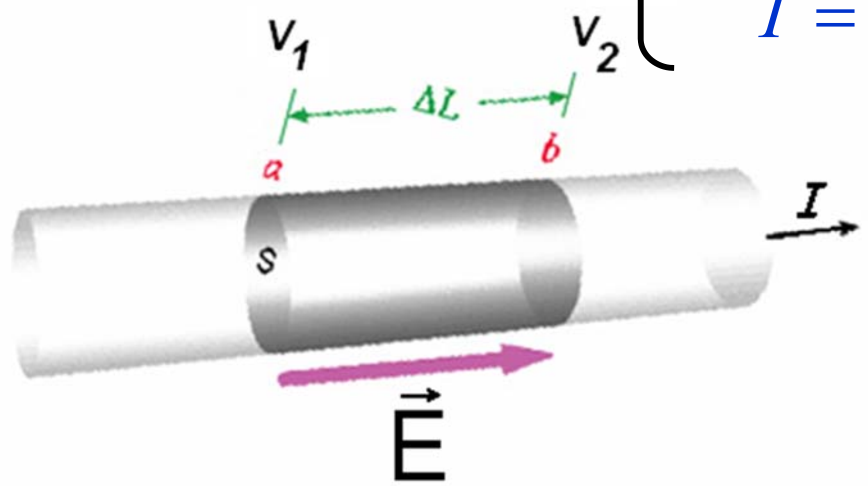
$$\sigma \neq \sigma\,(\vec{E})$$

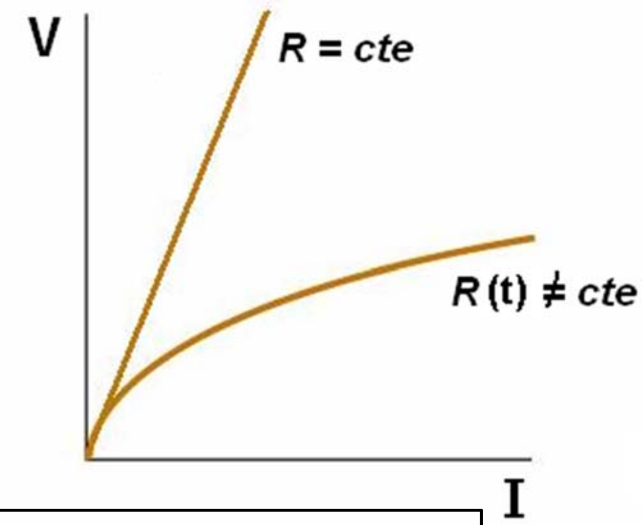
Ley de Ohm operacional

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 - V_2 = I\,R \\ I = \dfrac{V_1 - V_2}{R} \end{array} \right.$$

R = Resistencia del conductor

S.I. ohmio : 1Ω = 1 V/A





RESISTENCIA ELÉCTRICA (R), CONDUCTIVIDAD (σ) Y RESISTIVIDAD (ρ)

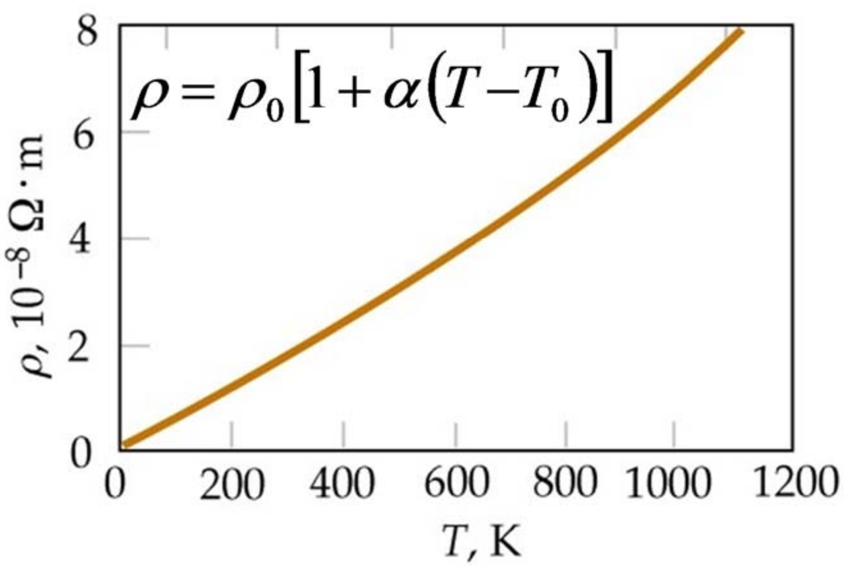
Resistencia del conductor

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{\ell}{S} = \rho\frac{\ell}{S}$$

Un elemento eléctrico que se caracterice exclusivamente por su resistencia se llama *resistor* o *resistencia* y su símbolo en un circuito es:

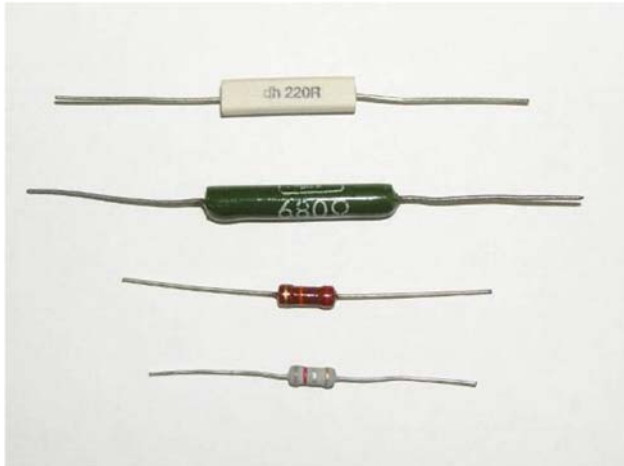
Resistividad ρ

$$\rho = \rho_o(1 + \alpha\, t + \beta\, t^2 + \ldots)$$



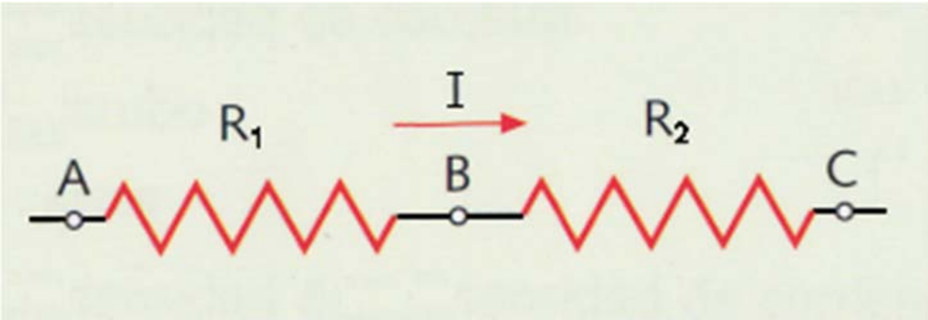
Resistividad de algunos materiales a 20ºC

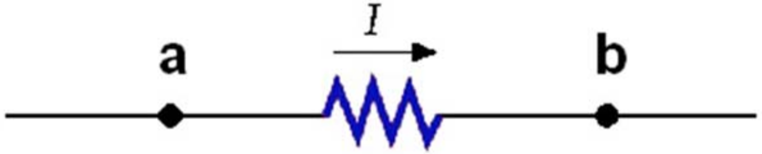
Material	Resistividad (Ω m)
Plata	$1{,}59\cdot10^{-8}$
Cobre	$1{,}67\cdot10^{-8}$
Oro	$2{,}35\cdot10^{-8}$
Aluminio	$2{,}66\cdot10^{-8}$
Níquel	$6{,}84\cdot10^{-8}$
Hierro	$9{,}71\cdot10^{-8}$
Plomo	$20{,}7\cdot10^{-8}$
Silicio	$4{,}3\cdot10^{3}$
Germanio	0,46
Vidrio	10^{10}-10^{14}
Teflón	10^{13}
Caucho	10^{13}-10^{16}
Madera	10^{8}-10^{10}
Diamante	10^{11}



ASOCIACIÓN DE RESISTENCIAS

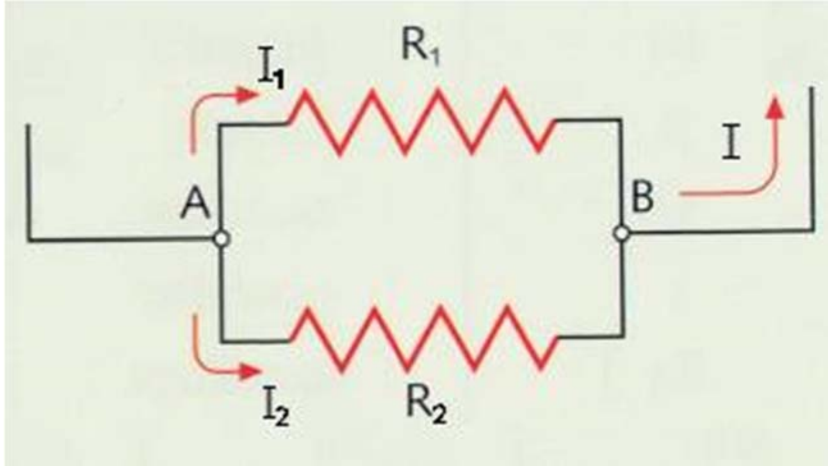
Asociación en serie

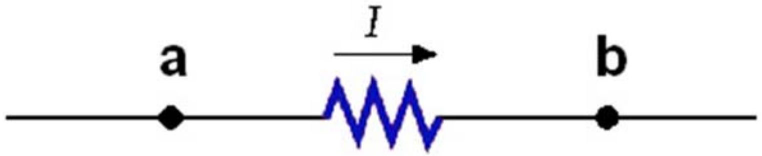




$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

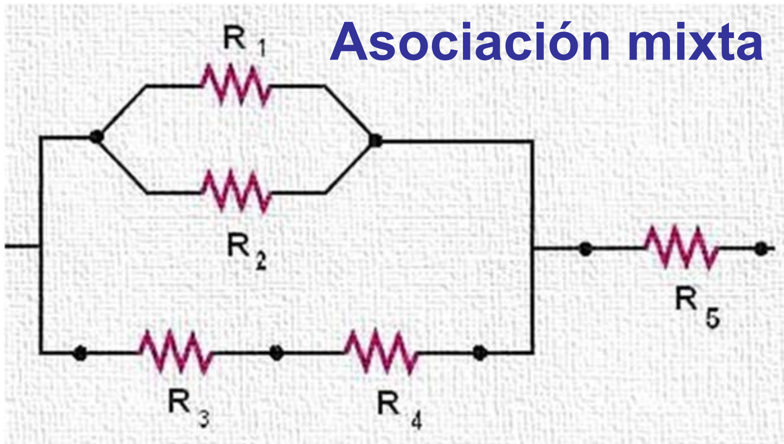
Asociación en paralelo





$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Asociación mixta



Solución ejemplo

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_5 \left[(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 \right]}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2}$$

LEY DE JOULE

Al pasar corriente por un conductor éste se calienta. → **EFECTO JOULE**

El trabajo realizado por el campo eléctrico para mover una carga elemental dq entre los extremos de un conductor entre los que se ha establecido una ddp

$$dW = (V_a - V_b)\,dq$$

El trabajo, por unidad de tiempo, realizado por el campo eléctrico para conseguir que circule corriente por el conductor:

$$\frac{dW}{dt} = (V_a - V_b)\,\frac{dq}{dt} = (V_a - V_b)\,I$$

Esta potencia coincidirá con la potencia disipada en forma de energía calorífica en éste

La potencia disipada por el conductor

$$P = \frac{dW}{dt}$$

$$P = (V_a - V_b)\,I$$

LEY DE JOULE

La ley de Joule = potencia disipada por el conductor

$$P = (V_a - V_b)\,I = I^2 R = \frac{(V_a - V_b)^2}{R}$$

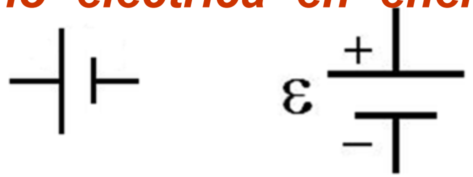
$$(V_b - V_b) = I\,R$$

Tres formas alternativas de la Ley de Joule

FUERZA ELECTROMOTRIZ (f.e.m.)

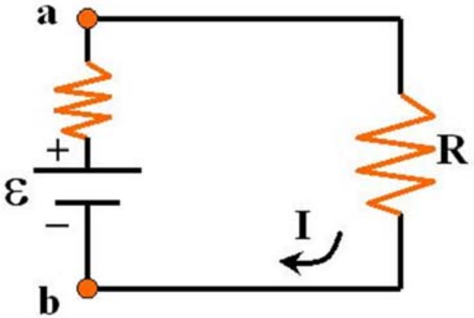
La energía para conseguir corriente en un circuito se consigue por medio de un generador → *cualquier dispositivo que transforma energía no eléctrica en energía eléctrica*

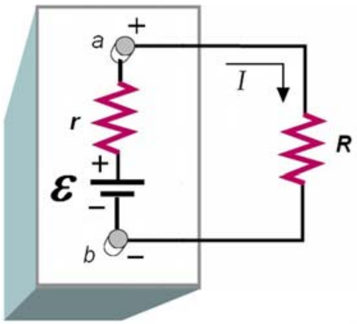
Símbolo que representa al generador en un circuito de corriente continua

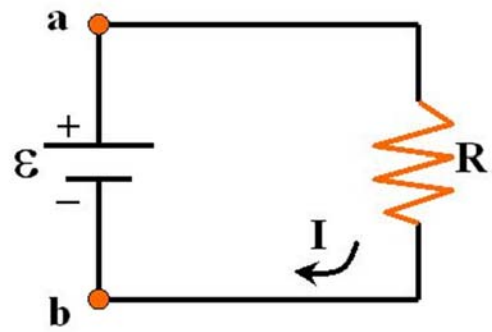


Fuerza electromotriz de un generador, ε , es la energía suministrada por unidad carga que lo recorre (del polo negativo al positivo)

$$\varepsilon = \frac{dW}{dq} \Rightarrow P = \frac{dW}{dt} = \varepsilon \frac{dq}{dt} = \varepsilon\, I \longrightarrow P_{suministrada} = \varepsilon\, I$$







$$P_{consumida} = P_{efecto\ \ Joule} + P_{entregada\ \ al\ \ circuito}$$

Ley de Ohm generalizada

$$P_{suministrada} = P_{consumida}$$

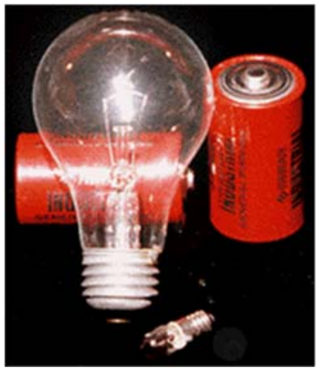
$$\varepsilon I = I^2 r + (V_a - V_b) I \rightarrow (V_a - V_b) = \varepsilon - Ir$$

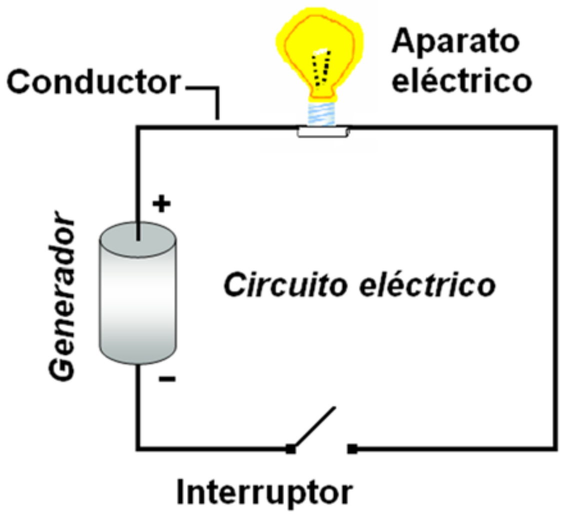
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

INTRODUCCIÓN A LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

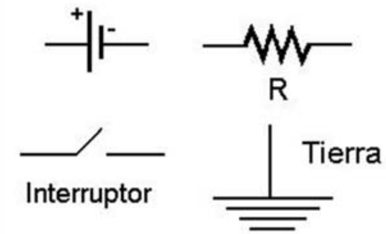
¿Qué es un circuito eléctrico?

Para corriente continua



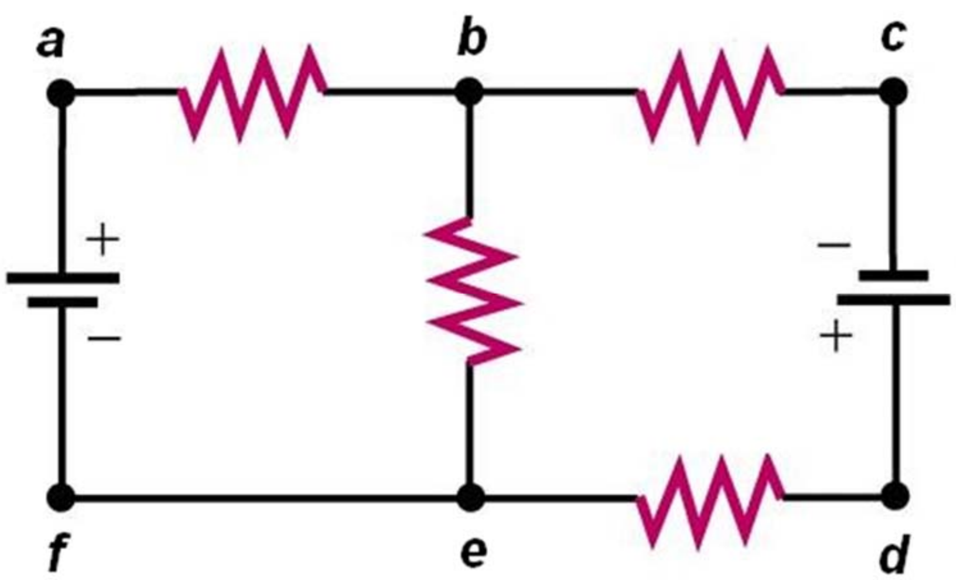


Símbolos estándar de una f.e.m., una resistencia, un interruptor y una conexión a tierra.



Elemento	Resistor	Condensador	Inductancia
Magnitud	Resistencia	Capacidad	Inducción
Unidad	Ohmio (Ω)	Faradio (F)	Henrio (H)
Símbolo			
Relación circuital	$V = I \cdot R$	$i(t) = C \cdot \frac{dv(t)}{dt}$	$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$

Circuito eléctrico → Corriente continua → Estado Estacionario



Red → Conjunto de conductores y dispositivos unidos entre sí de forma arbitraria, de manera que por ellos circulan distintas intensidades

Nudo → Punto del circuito donde confluyen más de dos conductores (***b, e***)

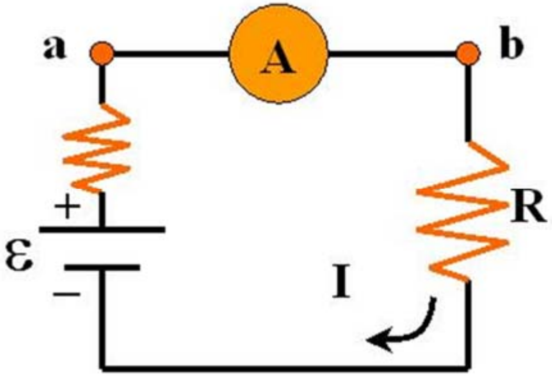
Rama → Parte del circuito que está entre dos nudos consecutivos. En ella sólo hay una corriente (***eb***)

Malla → Cualquier camino cerrado de un circuito. Conjunto de conductores y dispositivos que forman un circuito obtenido partiendo de un nudo y volviendo a él, sin recorrer dos veces el mismo conductor (***abef, bcde, acdf***)

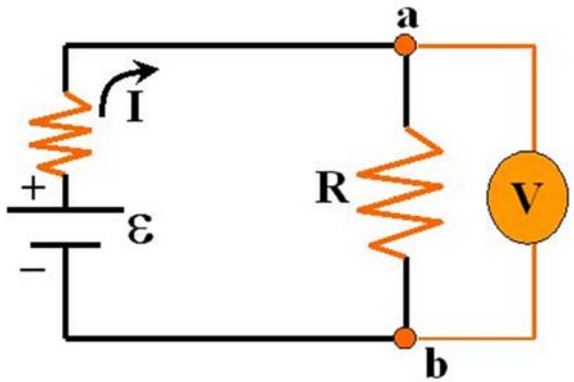
MEDICIONES ELÉCTRICAS: Galvanómetros, Amperímetros y Voltímetros

Galvanómetro

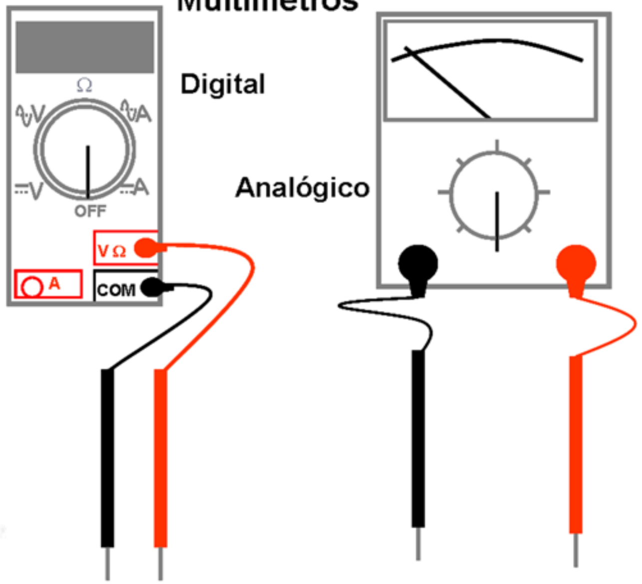
Amperímetro

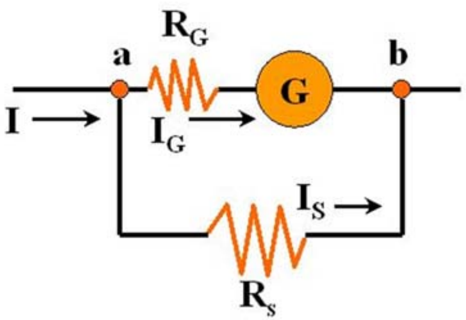


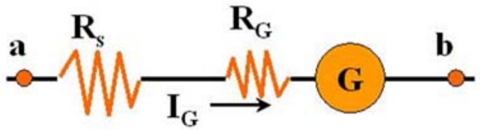
Voltímetro



Multímetros







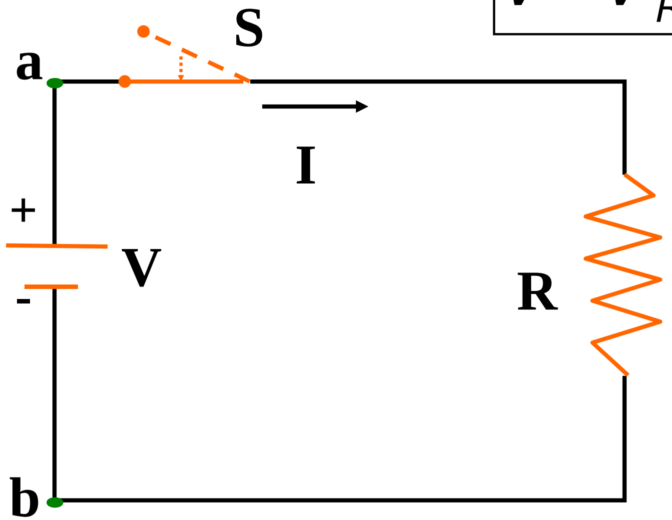
DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS EN CIRCUITOS

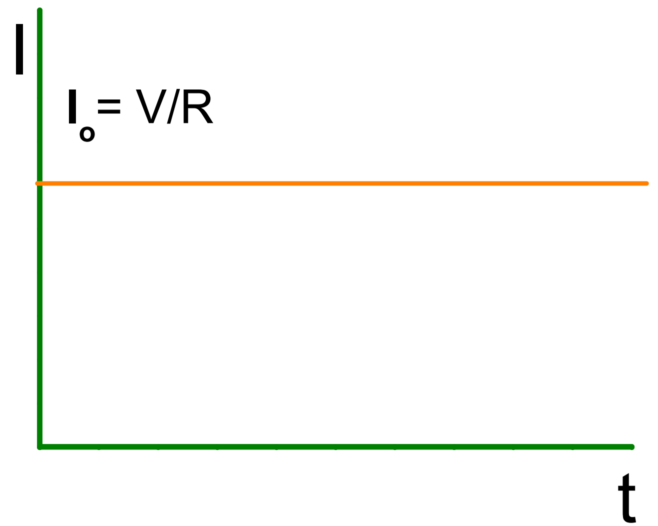
Circuitos de corriente continua

- **Comportamiento de los tres dispositivos básicos: resistencia, condensador, autoinducción**
- **Estado transitorio y estado estacionario**
- **Intensidad de corriente en el estado estacionario**

Resistencia en un circuito de corriente continua

$$\boxed{V = V_R}$$



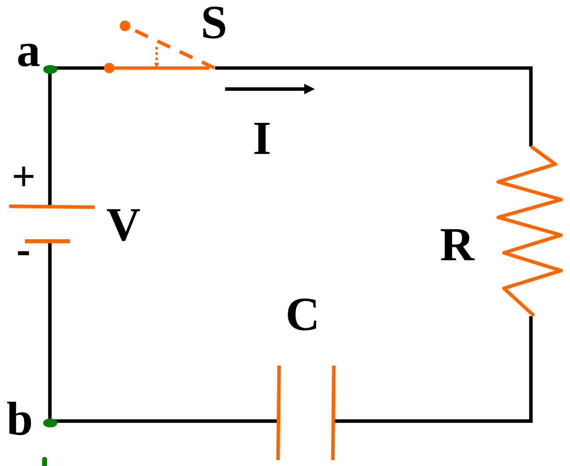


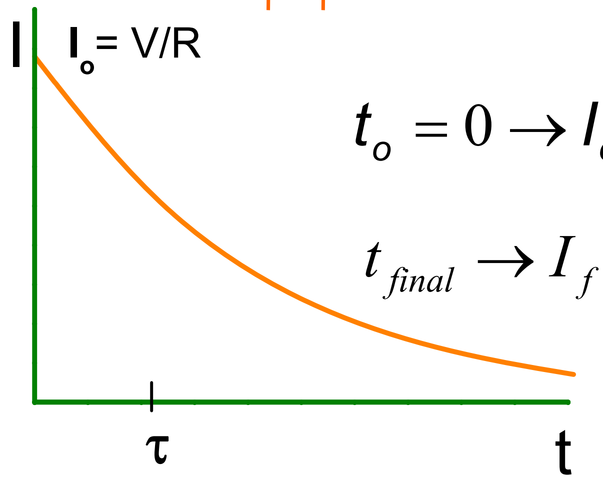
$$t_0 = 0 \rightarrow I_o = \frac{V}{R}$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R}$$

Condensador en un circuito de corriente continua: Transitorio RC

$$V = V_R(t) + V_C(t)$$



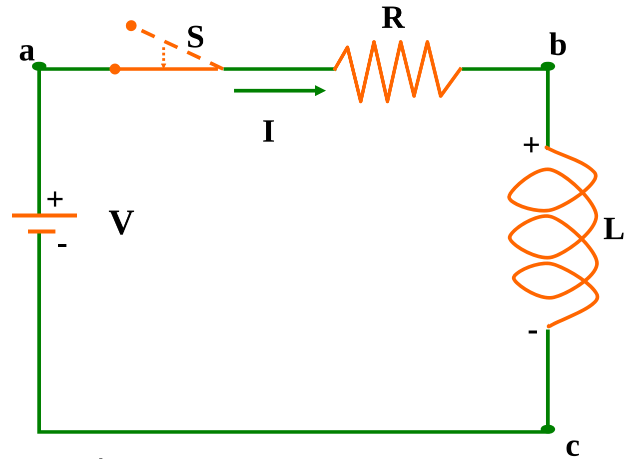


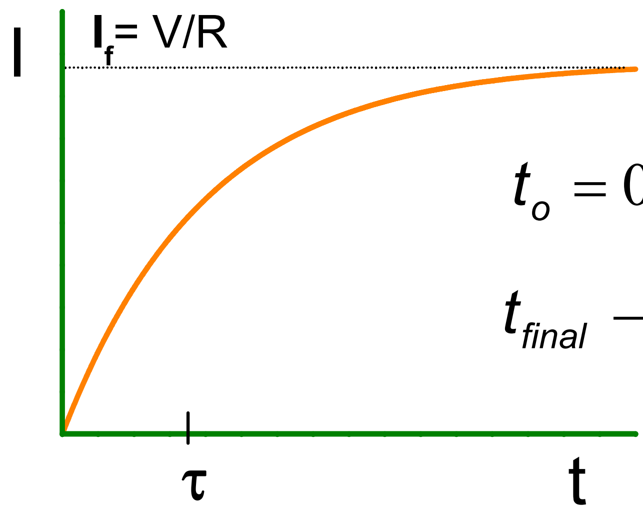
$$t_o = 0 \rightarrow I_o = \frac{V}{R}$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0$$

Autoinducción en un circuito de corriente continua: Transitorio RL

$$V = V_R(t) + V_L(t)$$



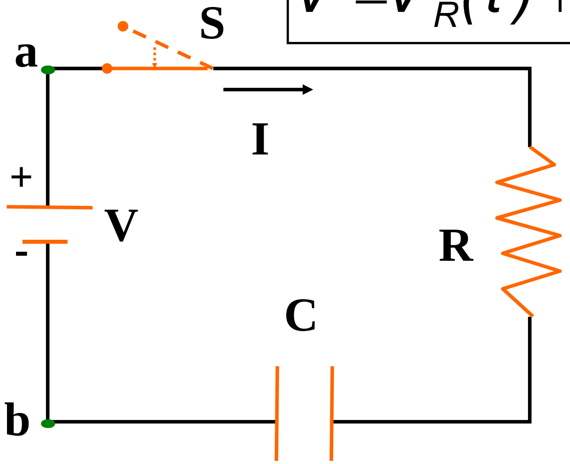


$$t_o = 0 \rightarrow I_o = 0$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R}$$

Transitorio RC

a. Carga de un condensador



$$\boxed{V = V_R(t) + V_C(t)}$$

$$V = I(t)R + \frac{Q(t)}{C}$$

τ = RC, Constante de tiempo

$$t = 0 \rightarrow Q_0 = 0;\ V_{C0} = 0$$

$$V_{R0} = V;\ I_o = \frac{V}{R}$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0;\ Q_f = Q_{max} = VC$$

$$V_{Rf} = 0;\ V_{Cf} = V$$

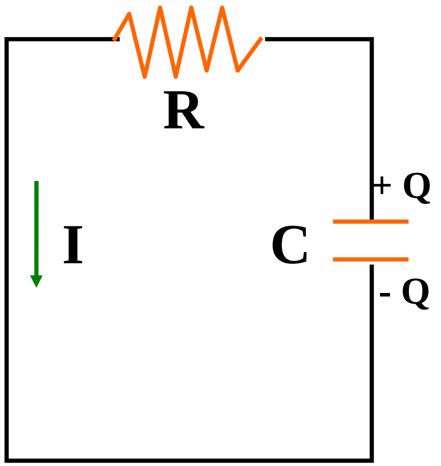
$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

$$Q(t) = Q_{max}(1 - e^{-t/RC})$$

$$V_R(t) = V\, e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V\,(1 - e^{-t/RC})$$

b. Descarga de un condensador



$$\boxed{V_R(t) = V_C(t)}$$

$$I(t)R = \frac{Q(t)}{C}$$

τ = RC, Constante de tiempo

$$t = 0 \rightarrow Q(0) = Q_0;\ V_{C0} = \frac{Q_0}{C}$$

$$I(0) = I_0 = \frac{V_{C0}}{R} = \frac{Q_0}{RC}$$

$$t_{final} \rightarrow Q_f = 0;\ V_{Cf} = 0$$

$$I_f = 0;\ V_{Rf} = 0$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/RC}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

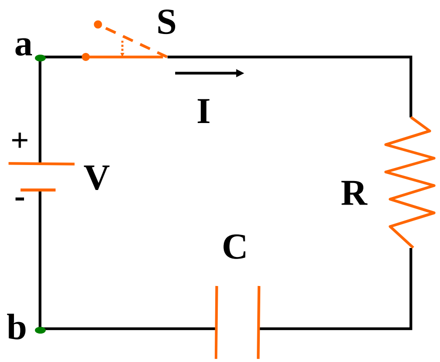
$$V_R(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

Transitorio RC

a. Carga de un condensador

$$V = V_R(t) + V_C(t)$$

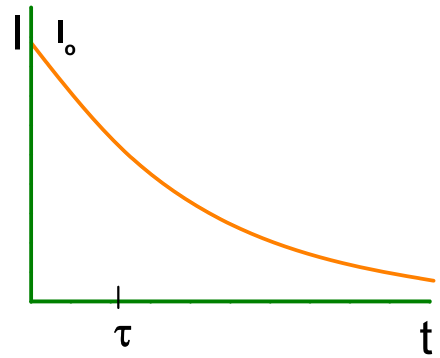


$$V_R(t) = V\, e^{-t/RC}$$

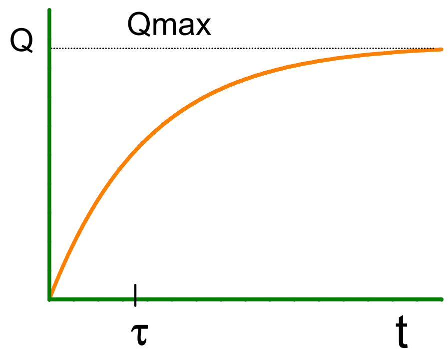
$$V_C(t) = V\,(1 - e^{-t/RC})$$

τ = RC
Constante de tiempo

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

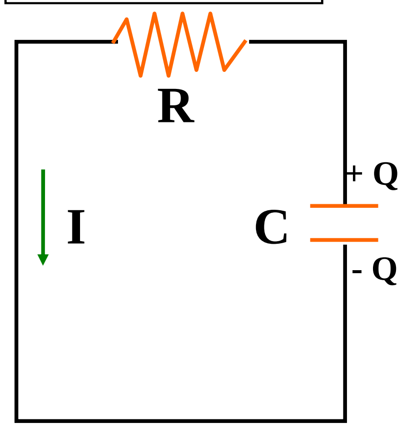


$$Q(t) = Q_{max}(1 - e^{-t/RC})$$



b. Descarga de un condensador

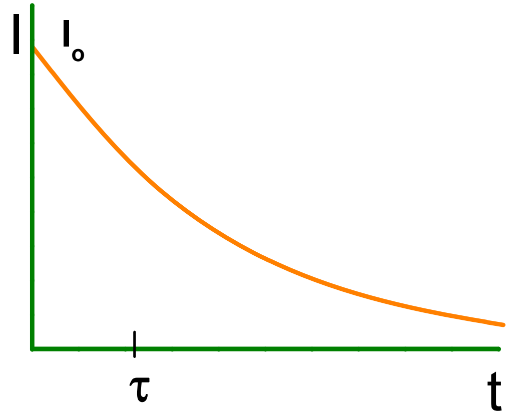
$$V_R(t) = V_C(t)$$



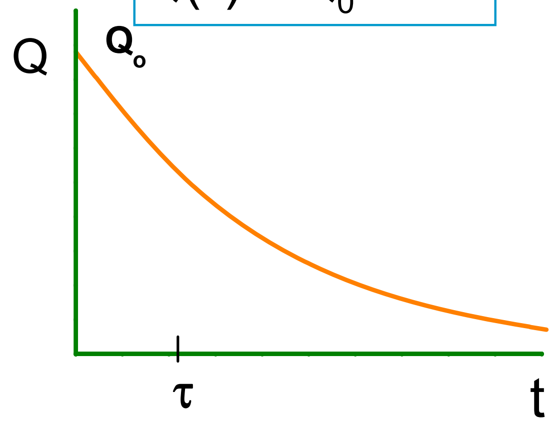
$$V_R(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

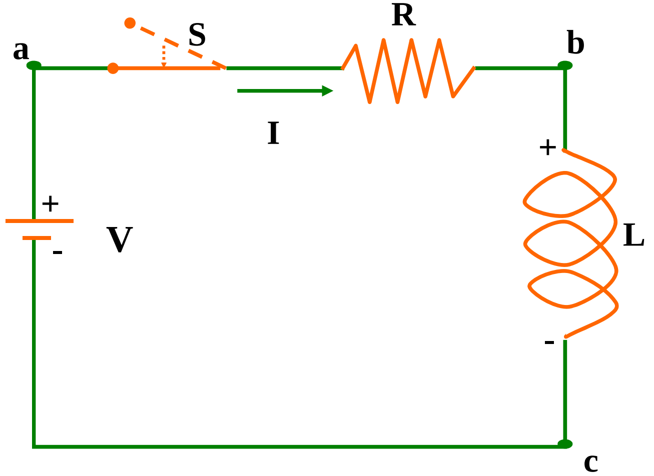


$$Q(t) = Q_0 e^{-t/RC}$$



Transitorio RL

$$V = V_R(t) + V_L(t)$$

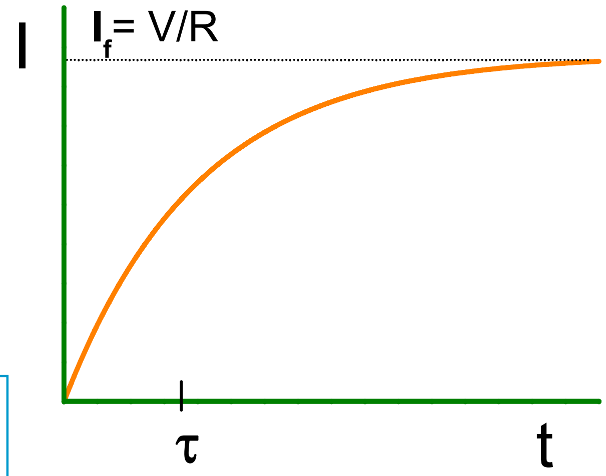


$$V = I(t)R + L\frac{dI(t)}{dt}$$

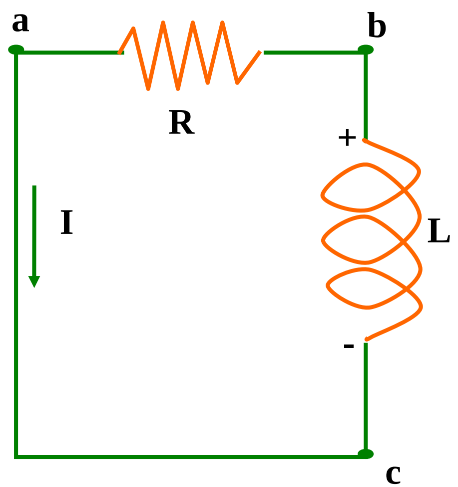
$$t_o = 0 \rightarrow I_o = 0;\; V_{L0} = V$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R}$$

$$\boxed{I(t) = \frac{V}{R}(1 - e^{-Rt/L})}$$



$$0 = V_R(t) + V_L(t)$$



τ = L/R,
Constante de tiempo

$$I(t)R = -L\frac{dI(t)}{dt}$$

$$t_0 = 0 \rightarrow I_0$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0$$

$$\boxed{I(t) = I_0 e^{-Rt/L}}$$