

CLASE 1

Fuerza Electrostática

LEY DE COULOMB

Definiciones

¿Qué es ELECTRICIDAD?

1. f. *Fís.* Propiedad fundamental de la materia que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes, originada por la **existencia de electrones, con carga negativa**, o protones, **con carga positiva**.
 2. f. *Fís.* **Forma de energía basada en esta propiedad**, que puede manifestarse en reposo, como **electricidad** estática, o en movimiento, como corriente eléctrica, y que da lugar a luz, calor, campos magnéticos, etc.
 3. f. **Parte de la física que estudia los fenómenos eléctricos.**
Electricidad estática.
 1. f. *Fís.* La que aparece en un cuerpo cuando existen en él cargas eléctricas en reposo.
- Negativa.-** La que adquiere el ámbar frotado con lana o piel.
- Positiva.-** La que adquiere el vidrio frotado con lana o piel.

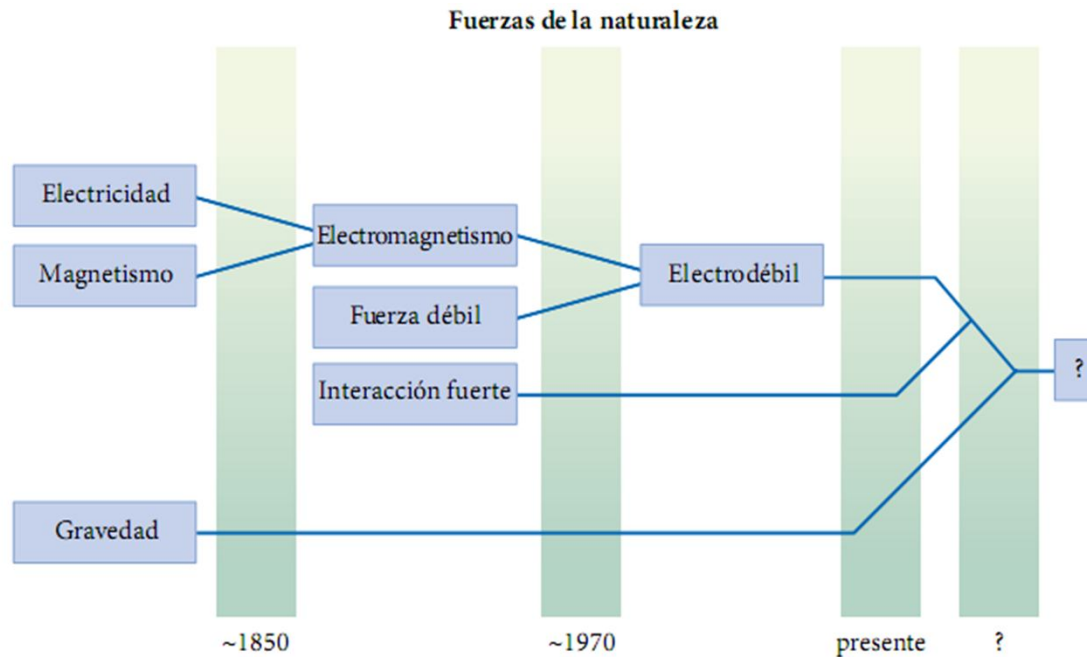
¿Qué es una carga eléctrica?

- **Cantidad de electricidad** acumulada en un cuerpo.
- **Carga elemental:**
 - La del electrón o la del protón $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Solamente pueden existir cargas positivas, negativas y/o neutras (carga neta equilibrada)

CARGAS Y FUERZA ELÉCTRICA

ELECTROSTATICA



Ley de conservación de la carga

La carga eléctrica total de un sistema aislado se conserva.

Electrostática

Es la parte de la física que estudia las acciones producidas entre cargas eléctricas en reposo.

Todos conocemos desde hace tiempo el hecho de que una barra de ebonita frotada con un paño de lana adquiere la propiedad de atraer ciertos cuerpos como el papel y el azúcar.

Esta fuerza de atracción es tan pequeña que, para que se manifieste se necesita que los cuerpos sobre los que actúa sean muy ligeros y estén muy próximos a la barra.

Naturaleza discreta de la carga eléctrica

Experimentos de electrostática:

Dos barras de plástico frotadas con piel

Dos barras de vidrio frotadas con seda

Caso 1)

Barras de plástico se repelen (ambas adquieren la misma carga)

Barras de vidrio se repelen (ambas adquieren la misma carga)

Caso 2)

Barras de plástico y vidrio se atraen (tienen cargas opuestas)

¿Que es lo que ocurre con las barras?

“Franklin designo a este tipo de cargas como negativa la que adquiere el plástico y positiva la que adquiere el vidrio”

Para entender el fenómeno debemos encontrar el origen de esas “fuerzas” ... analizaremos un átomo

Constituyentes de la materia

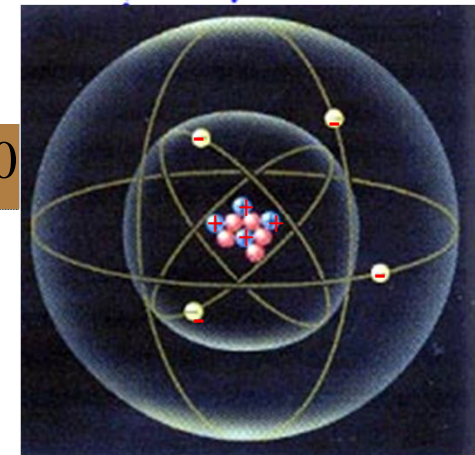
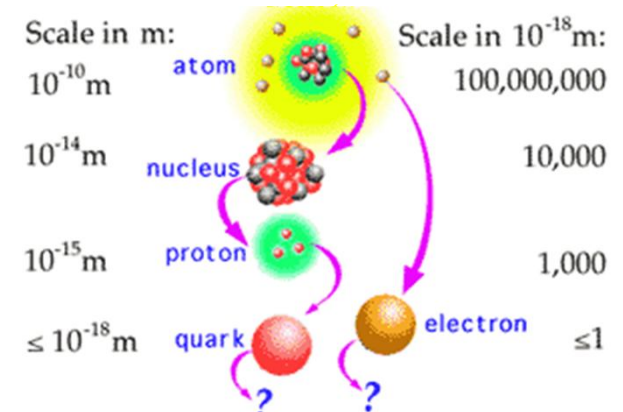
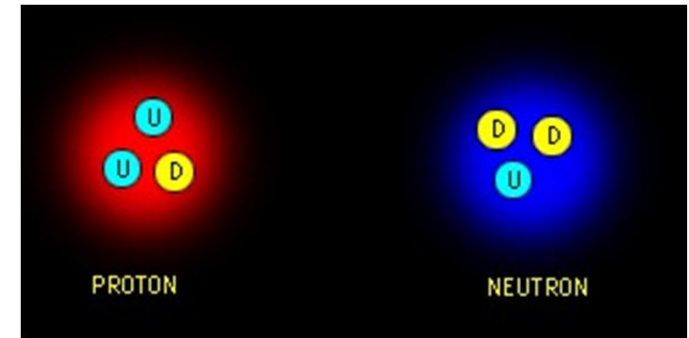
Partícula	Masa (kg)	Carga (C)
electrón	9.1×10^{-31}	-1.6×10^{-19}
protón	1.67×10^{-27}	$+1.6 \times 10^{-19}$
neutrón	1.67×10^{-27}	0

Z = número electrones =
 número protones \longrightarrow **Elemento**
A = número protones +
 neutrones \longrightarrow **Isótopo**

➤ Un átomo tiene el mismo número de electrones que de protones \rightarrow es **neutro** ; $Q = Z \cdot q_p - Z \cdot q_e = 0$

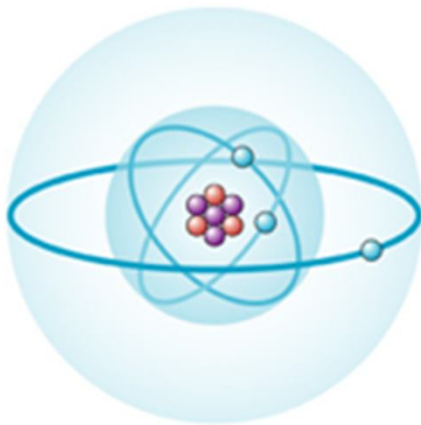
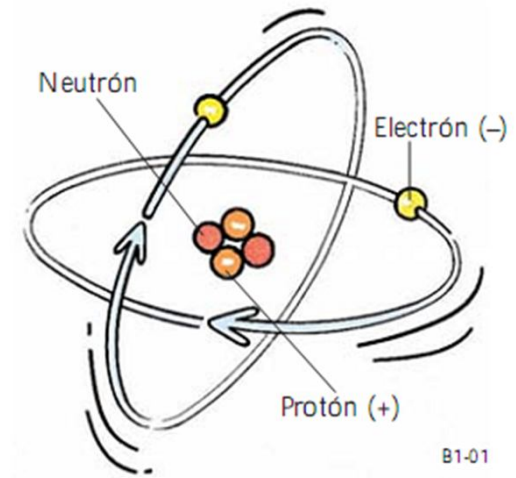
➤ Ión positivo : le faltan electrones $Q = +n_e \cdot q_e$

➤ Ión negativo: tiene electrones añadidos $Q = -n_e \cdot q_e$



Estructura y propiedades eléctricas de los átomos

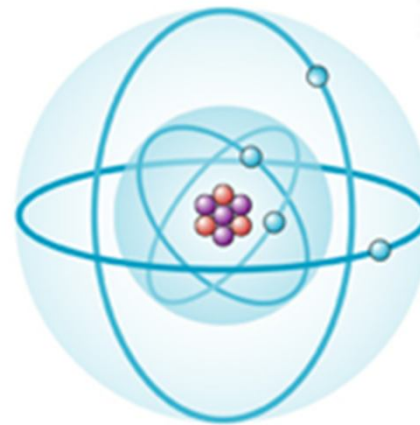
La estructura de los átomos se puede describir en términos de tres partículas elementales:



a)



b)



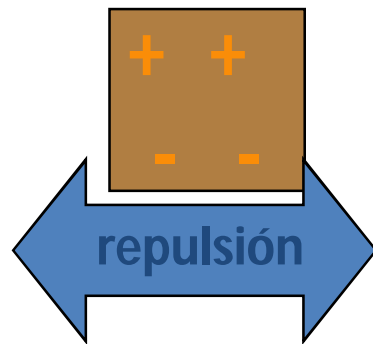
c)

átomo de litio neutro (a) y sus iones positivo (b) y negativo (c)

La ganancia ó pérdida de electrones se conoce como **ionización**

Carga eléctrica

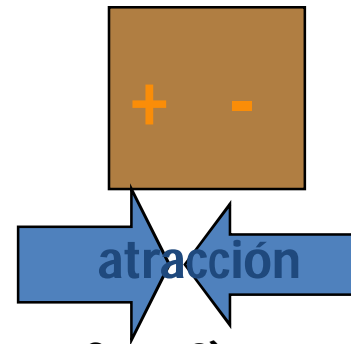
Propiedades de la carga "signos"



Caso 1)

Barras de plástico se repelen (ambas adquieren la misma carga)

Barras de vidrio se repelen (ambas adquieren la misma carga)



Caso 2)

Barras de plástico y vidrio se atraen (tienen cargas opuestas)

Unidad de carga = el electrón

$$e = 1.602177 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Principio de Conservación de la carga

- La carga ni se crea ni se destruye → se transfiere
 - Entre átomos
 - Entre moléculas
 - Entre cuerpos

La suma de todas las cargas de un sistema cerrado es constante

Si la carga no se crea ni se destruye... ¿cómo se transfiere?

Al proceso de transferencia de carga de un cuerpo a otro se conoce como: **electrización**

- A) **Por Frotamiento**
- B) **Por Contacto**
- C) **Por inducción o influencia**



Resumen

Propiedades de la carga:

- La carga eléctrica está cuantificada y su unidad más elemental es la carga del electrón.
- Existe dos tipos de carga: positiva y negativa.
- La interacción electrostática entre cargas del mismo signo es repulsiva, mientras que la interacción entre cargas de signo opuesto es atractiva.
- La carga eléctrica se conserva en cualquier proceso que tenga lugar en un sistema aislado.
- La carga no se crea ni se destruye solo se transfiere: frotamiento, contacto e inducción.

CARGA Y FUERZA ELÉCTRICA

LEY DE COULOMB

Charles Agustin Coulomb, estudió las fuerzas de interacción entre partículas con carga eléctrica. En el caso de cargas puntuales (cuerpos con carga eléctrica que son muy pequeños en comparación con la distancia que los separa) Coulomb encontró que:

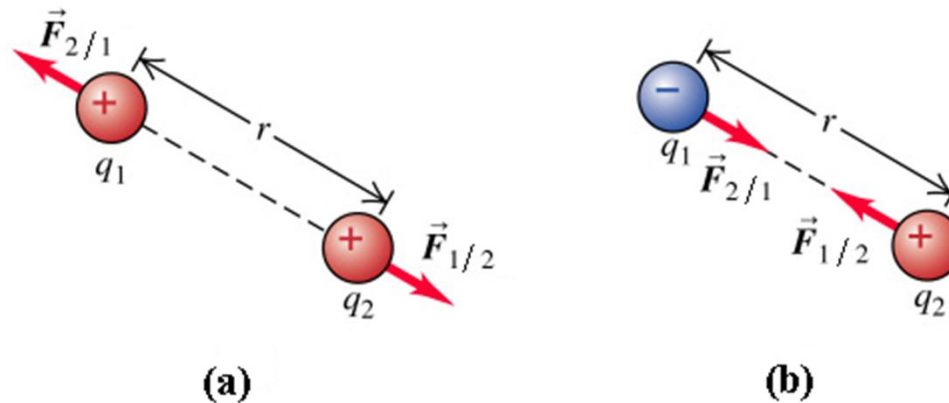
La fuerza eléctrica es **proporcional** a: $\frac{1}{r^2}$

(Cuando se reduce la distancia entre las cargas puntuales, la fuerza eléctrica aumenta y cuando aumenta esta distancia la fuerza eléctrica disminuye)

LEY DE COULOMB

“La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales, es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa”

LEY DE COULOMB



En ambos casos las fuerzas obedecen la tercera ley de Newton

Matemáticamente el concepto se expresa como:

$$\vec{F}_e = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

donde q_1 y q_2 son las cargas, r es la distancia entre ellas y k , es una constante de proporcionalidad que depende del sistema de unidades que se utilice.

Las *barras de valor absoluto* se usan por que las cargas pueden ser positivas o negativas pero la magnitud de la fuerza SIEMPRE ES POSITIVA.

La unidad SI para la carga eléctrica es el coulomb, denotado por C, y la constante de proporcionalidad tiene un valor de:

$$k = 8.987551787 \times 10^9 \cong 8.988 \times 10^9 \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Por lo general, en SI la constante suele escribirse como: $k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$

Por lo tanto, la **ley de Coulomb** se escribe como:

$$\vec{F}_e = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \qquad \vec{F}_e = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

donde: $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$ **Permitividad del medio en el vacío**

Estrictamente, la Ley de Coulomb **solo debe aplicarse a cargas puntuales en el vacío** ya que si hay materia en el espacio que separa las cargas, la fuerza neta que actúa sobre cada carga se altera por que se inducen cargas en las moléculas del material que se interpone.

Por convención, en el curso usaremos*:

$$k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

La **unidad de carga más fundamental** es la magnitud de la carga de un electrón o de un protón, que se denota como :

$$e = 1,602176462 \times 10^{-19} \text{ C} \quad e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Un coulomb representa **el negativo** de la carga total de aproximadamente:

$$6 \times 10^{18} \text{ electrones}$$

LIMITACIONES DE LA LEY DE COULOMB

- La expresión matemática solo es aplicable a cargas puntuales.
- La fuerza no está definida para $r = 0$.

Otra forma de escribir la Ley de Coulomb

Por definición de vector unitario

$$\hat{\vec{A}} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} \quad \longrightarrow \quad \vec{F} = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^2} \cdot \frac{(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$$

Re escribiendo

$$\vec{F} = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} \cdot (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$

La fuerza F es una fuerza central y conservativa.

La fuerza F es repulsiva si las cargas son del mismo signo y es atractiva si las cargas son de signo contrario.

Forma vectorial de la Fuerza Eléctrica

sea

$$\vec{r}_1 = x_1 \hat{i} + y_1 \hat{j}$$

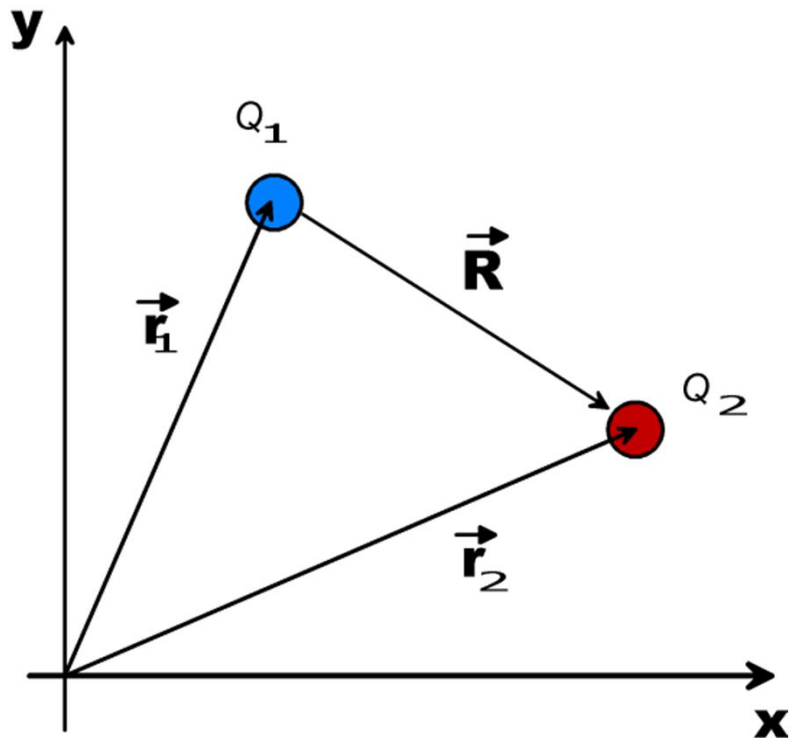
$$\vec{r}_2 = x_2 \hat{i} + y_2 \hat{j}$$

Y se debe cumplir que

$$\vec{r}_1 + \vec{R} = \vec{r}_2$$

Por lo tanto

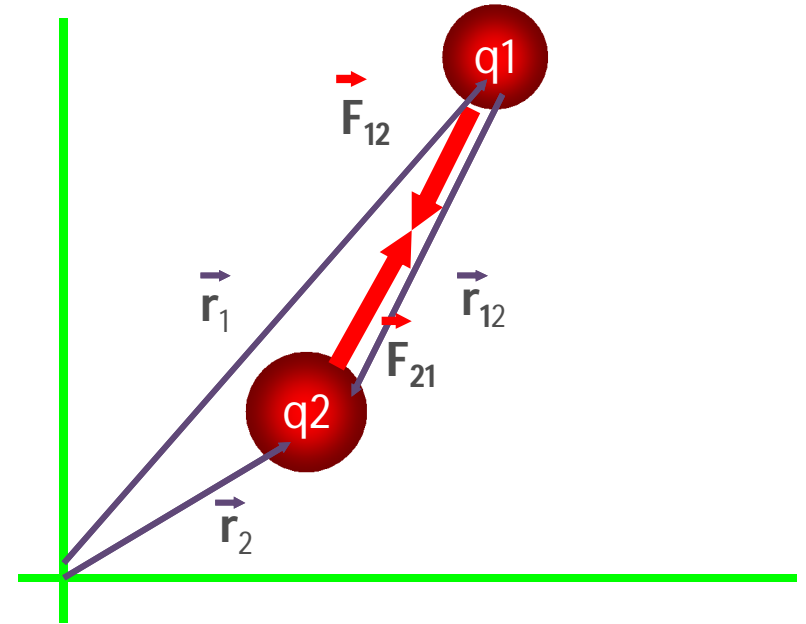
$$\vec{R} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$



Ley de Coulomb. Fenomenología

- La fuerza entre cargas puntuales está dirigida a lo largo de la línea que las une.
- La fuerza varía inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia que los separa y es proporcional al producto de las cargas.
- La fuerza es repulsiva si las cargas son del mismo signo y atractiva si son de signo diferente.

$$\vec{F}_e = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$



$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$$
$$\vec{r}_1 - \vec{r}_2 = \vec{r}_{12}$$

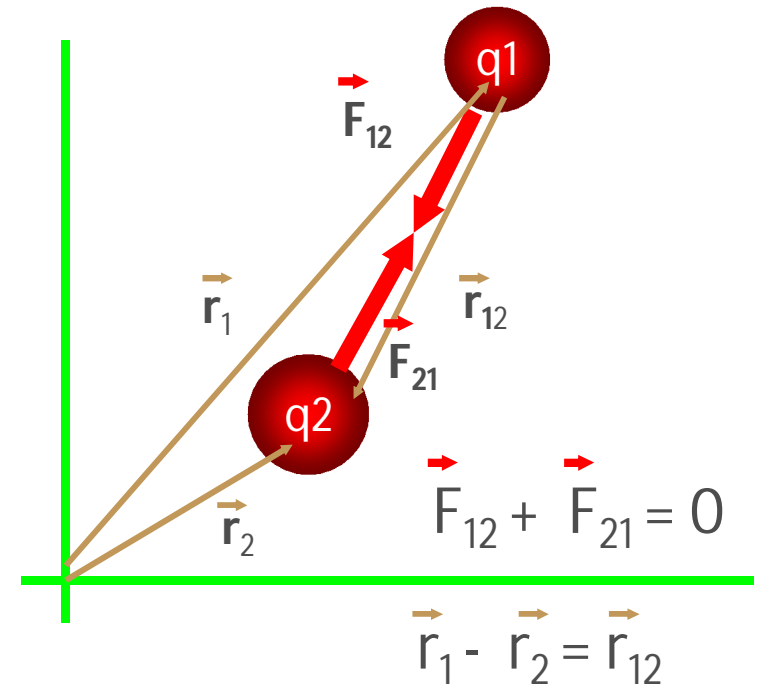
Fuerza ejercida por q_1 sobre q_2

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$k = 8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$



Distribuciones discretas de cargas: principio de superposición

Principio de Superposición: la fuerza total que un sistemas de cargas puntuales ejerce sobre una cierta carga q es igual a la suma de las fuerzas que cada una de las cargas q_i del sistema ejerce sobre la carga q .

$$\mathbf{F}_{q_i \rightarrow q} = \mathbf{F}_{q_1 \rightarrow q} + \dots + \mathbf{F}_{q_N \rightarrow q} = \sum_{i=1}^N \mathbf{F}_{q_i \rightarrow q} = \sum_{i=1}^N \frac{q q_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{\mathbf{r}}_i}{r_i^2}$$

Ley de Coulomb

La ley de Coulomb describe sólo la interacción **de dos cargas puntuales**, pero cuando dos cargas ejercen fuerzas eléctricas simultáneamente sobre una tercera carga, **la fuerza total** que actúa sobre esa carga es **la suma vectorial de las fuerzas** que cada una de las cargas ejercen individualmente sobre ella.

Esta propiedad se conoce como el **principio de superposición de fuerzas** y es válido para cualquier número de cargas.

“El principio de superposición de fuerzas permite aplicar la Ley de Coulomb a cualquier conjunto de cargas”

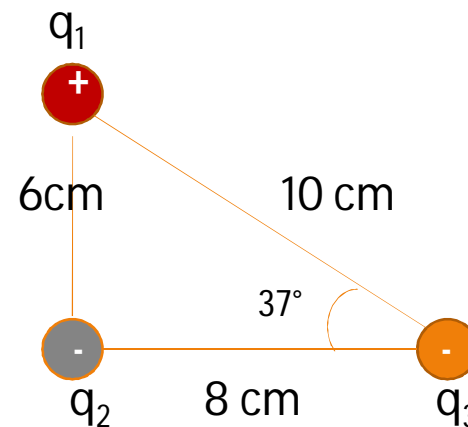
La intensidad del campo creado por un número de cargas en un punto, es la suma de los **campos** originados individualmente por cada una de las cargas.

Ejercicios

Ley de Coulomb y Campo Eléctrico

Ley de Coulomb CARGAS PUNTUALES

1. Una carga de $-3\mu\text{C}$ se coloca a 100 mm de una carga de $+3\mu\text{C}$.
¿Calcule la fuerza entre estas dos cargas?
2. Dos cargas $q_1 = -8\mu\text{C}$ y $q_2 = 12\mu\text{C}$ se colocan a 120 mm de distancia. ¿Cuál es la fuerza resultante si una tercera carga $q_3 = -4\mu\text{C}$, se coloca a la mitad del camino entre las cargas anteriores?
3. Tres cargas $q_1 = +4 \times 10^{-9}\text{C}$, $q_2 = -6 \times 10^{-9}\text{C}$ y $q_3 = -8 \times 10^{-9}\text{C}$, se arreglan como se muestra en la figura. ¿Cuál es la fuerza resultante sobre q_3 debido a las otras cargas?



4. Una cuenta metálica con carga $q_1 = +1.28\mu\text{C}$ está fija sobre un cable aislante que forma un ángulo de $\Theta = 42.3^\circ$ con respecto a la horizontal. Una segunda cuenta metálica con carga $q_2 = -5.06\mu\text{C}$ se desliza sin fricción sobre el alambre. A una distancia $d = 0.380\text{m}$ entre las dos cuentas metálicas, la fuerza neta sobre la segunda cuenta metálica es cero. ¿Cuál es la masa, m_2 , de la segunda cuenta?

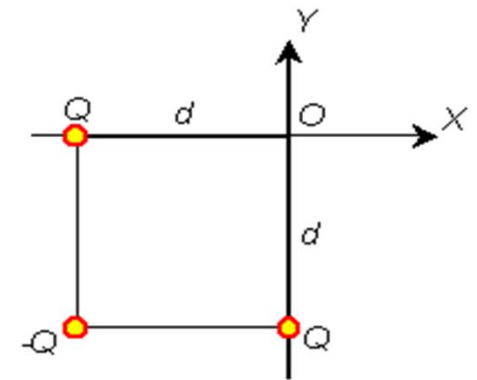
5. Calcula la fuerza sobre una carga q , de 1C , situada en el punto $(0,0,0)$ sobre la que actúan dos cargas: una, q_1 , de -1C situada en el punto $(-1,0,0)$ y otra, q_2 , de 2C situada en el punto $(0,-1,0)$. Las coordenadas vienen dadas en metros.

Resp. $8,9 \times 10^9 \text{ C } (-\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) \text{ N}$

6. Utilizando el problema anterior, ¿dónde hay que colocar una carga de $0,5 \text{ C}$ para que la fuerza total ejercida sobre la carga q sea nula? **Resp. $0,47 \text{ m}$**

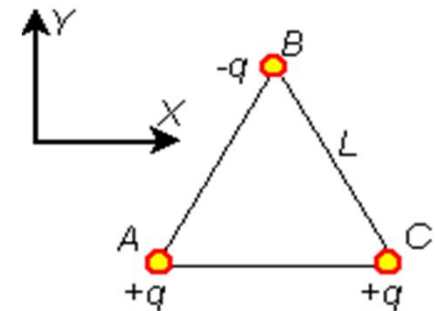
7. Dadas las tres cargas puntuales situadas como se muestra en la figura, determina la fuerza eléctrica que ejercen sobre una carga $Q/2$ situada en el punto O .

Resp. $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{2d^2} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{4}\right) (\mathbf{i} + \mathbf{j}) \text{ N}$



8. Dadas las tres cargas puntuales situadas formando un triángulo equilátero de lado L , tal y como se muestra en la figura:

a) Si el valor de la carga q es 1 mC y la longitud del lado del triángulo L es 1 m . ¿Cuál sería la fuerza ejercida sobre una carga $q' = 5 \text{ mC}$ situada en el baricentro del triángulo?



Resp: $0,270 \mathbf{j} \text{ N}$

PRÓXIMO TEMA

Concepto de campo

- Un campo es la descripción de determinadas propiedades de los puntos del espacio.
- Campo Escalar.
 - Se puede describir con sólo un número para cada punto.
 - Se representa por medio de una función de la posición.
 - Ejemplos: Temperatura de un medio. Altura del terreno. Potencial Electrostático...
- Campo Vectorial.
 - Para cada punto la propiedad varía con la dirección considerada.
 - Requiere una función vectorial: un vector que cambia con cada punto del espacio.
 - Ejemplos: La velocidad de un fluido. La fuerza de la gravedad...
- El campo electromagnético requiere al menos dos vectores.