Campos Electromagnéticos
“Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico”

Profesor: Pedro Labraña
Departamento de Física,
Universidad del Bío-Bío

Carrera: Ingeniería Civil en Automatización
Créditos: 5

Campos Eléctricos

*Cargas Eléctricas, Aisladores y conductores, **<u>Ley de Coulomb</u>**, Campo Eléctrico. Movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos uniformes. Campo eléctrico de distribuciones continuas. Líneas de Campo Eléctrico.*

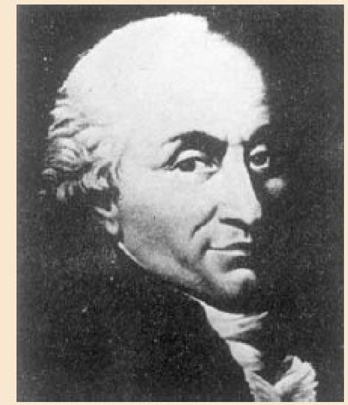
Ley de Coulomb

En 1785 Charles Augustín Coulomb (1736-1806) descubrió que la fuerza entre dos cargas puntuales q_1, q_2 es:

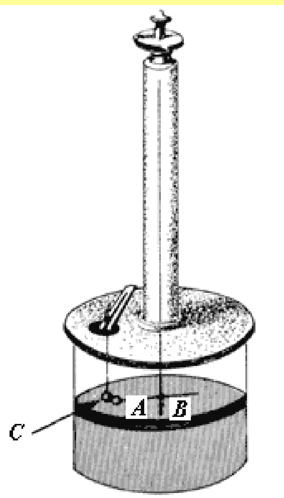
(a) inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y dirigida a lo largo de la recta que une los centros.

(b) proporcional al producto $q_1 q_2$ de las cargas

(c) atractiva si las cargas tienen signos opuestos y repulsiva si tienen signos iguales.



Charles A. Coulomb
(1736 - 1806)



Esto es:

Magnitud de la fuerza entre dos cargas puntuales q_1 y q_2, i.e. la fuerza producida por q_2 sobre q_1 o vice-versa.

Magnitud

$$F = k\frac{q_1 q_2}{R_{12}^2} \qquad [N]$$

donde R_{12} es la distancia entre las cargas.

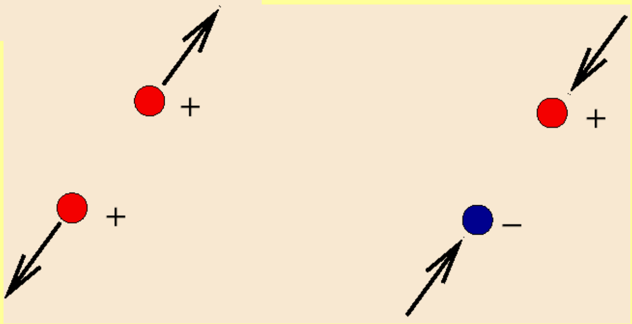
En el sistema MKS las cargas se miden en unidades llamadas coulomb (C) y la constante vale:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 8.9874 \times 10^9 \simeq 9.0 \times 10^9 \qquad [Nm^2/C^2]$$

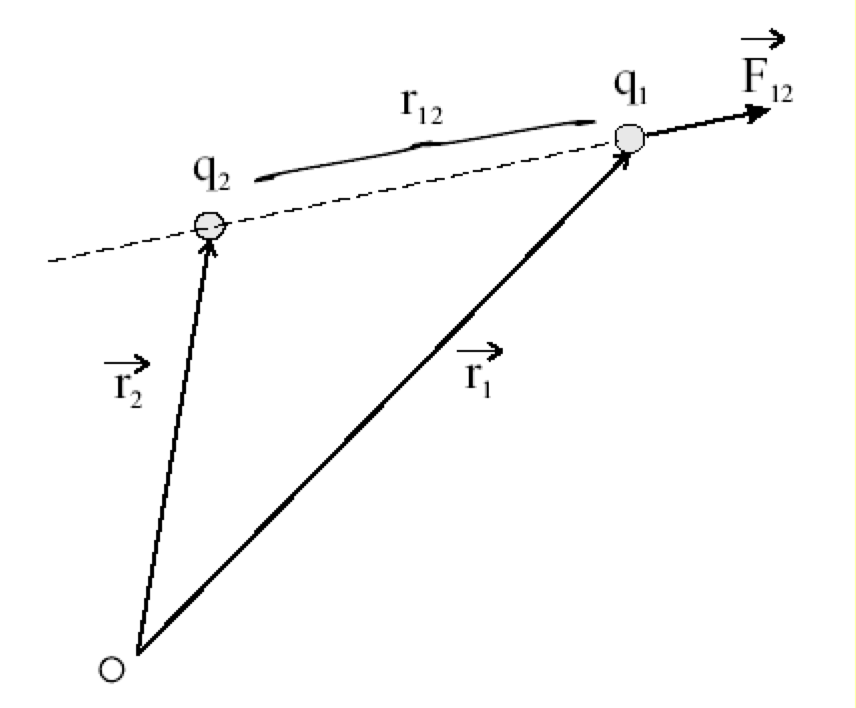
La constante ϵ_o se llama la permitividad del vacío.

Dirección y sentido

La direccion de la fuerza es la dirección de la línea que une las dos cargas y la fuerza es atractiva si las cargas son de signos distintos y repulsiva si son iguales.



La Ley de Coulomb en forma vectorial.
Fuerza sobre la carga q_1:



$$\vec{F}_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_o} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

Notemos que la fuerza que siente q2 debido a la presencia de q1 es:

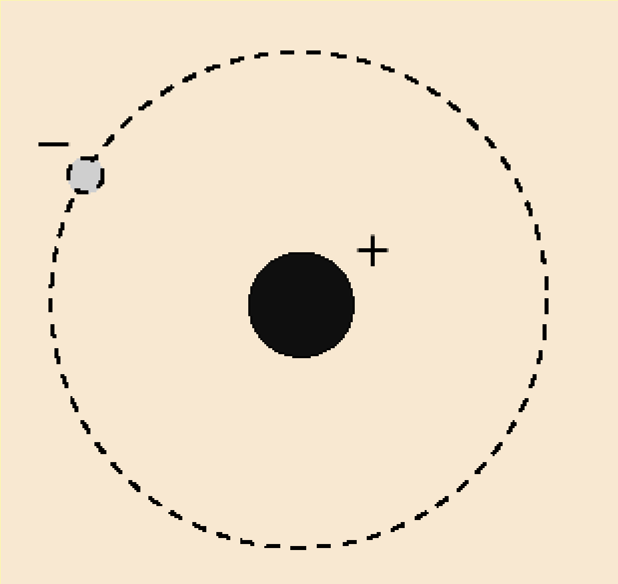
$$\vec{F}_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_o} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

Veamos algunos ejemplos

Ejemplo. 1

La distancia entre el proton y el electron en el átomo de hidrogeno es de $5.3\times\ 10^{-11}$ m. Calcule las magnitudes de las fuerzas eléctrica y gravitacional y encuentre su razón.

$m_{\text{electron}} = 9.11 \times 10^{-31}$ Kg, $m_{\text{protron}} = 1.67 \times 10^{-27}$ Kg, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ [MKS]



Modelo simple del atomo de hidrogeno

La fuerza electrostática vale:

Magnitud

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{e^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1.609 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.28 \times 10^{-8}\mathrm{N}$$

La fuerza gravitacional vale:

$$\begin{aligned} F_g &= \frac{Gm_{\mathrm{electron}}m_{\mathrm{protron}}}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11}\frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ &= 3.612 \times 10^{-47}\mathrm{N} \end{aligned}$$

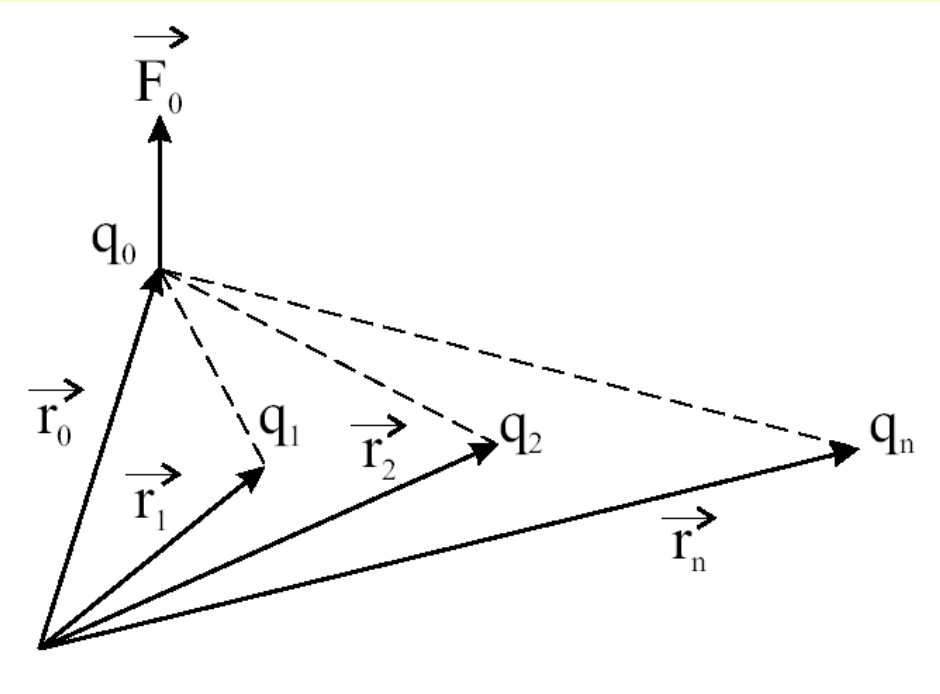
Luego la razón entre estas dos fuerzas es:

$$\frac{F_e}{F_G} = 2.3 \times 10^{39}$$

El principio de superposición

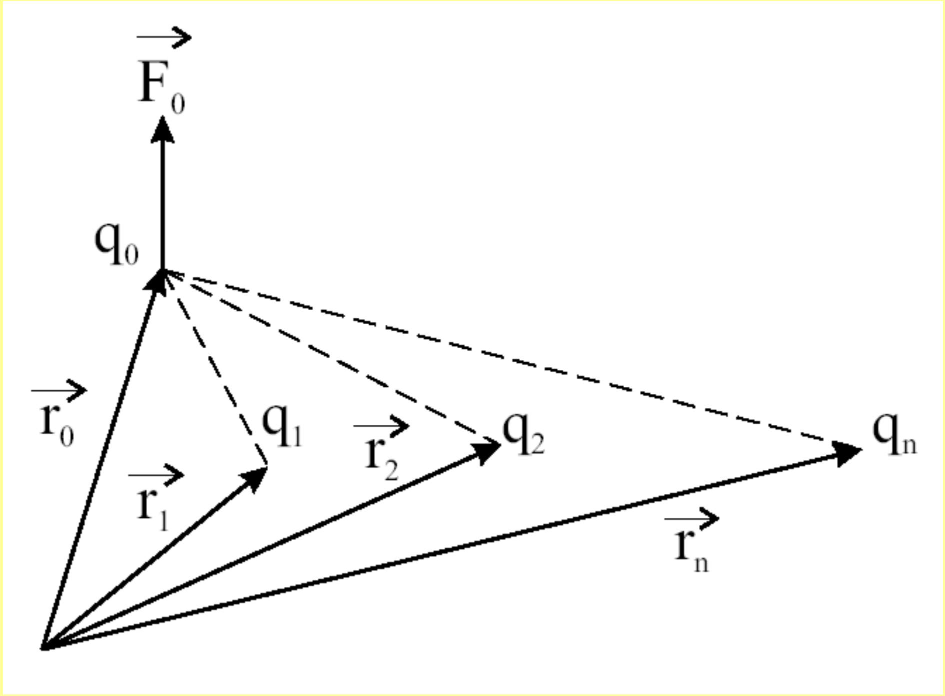
Como vimos en el curso de Mecánica de la partícula (*Fisica I*) cuando hay muchas fuerzas actúando sobre una partícula la acción neta sobre la partícula (fuerza neta) se reduce a la suma vectorial de cada una de las fuerzas que actúan sobre ella. De acuerdo a esto, en el caso de un sistema de cargas $q_1, q_2, ..., q_N$ que interactúan con otra carga q_0, la fuerza eléctrica neta es igual a la suma vectorial de las fuerzas que cada carga ejerce individualmente sobre q_0.

$$\vec{F}_0^{\text{elec}} = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} + \ldots + \vec{F}_{0N}$$



Si llamamos $\vec{r}_0$ al vector de posición de la carga q_0 y $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \ldots, \vec{r}_N$ a los vectores de posición de las demás cargas, la fuerza sobre q_0 se obtiene a partir de las suma vectorial

$$\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^{N} \frac{K q_0 q_i \left(\vec{r}_0 - \vec{r}_i\right)}{\left\|\vec{r}_0 - \vec{r}_i\right\|^3}$$



8-Dos cargas puntuales estan colocadas sobre el eje x. $Q_1 = q$ en $x = a$ y $Q_2 = -4q$ en $x = -a$.

a) Encuentre una expresión vectorial en coordenadas cartesianas para la fuerza que actúa sobre una carga de prueba Q, ubicada en un puto arbitrario en el plano xy.

b) Encuentre las coordenadas (x,y) de todos los puntos donde la carga de prueba está en equilibrio.

Ver pizarra

El Campo Eléctrico

Se define el Campo Eléctrico $\vec{E}$ creado por una distribución de cargas en un punto arbitrario P (posición $\vec{r}$ en que se encuentra una carga de prueba q_0) como

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

En estricto rigor la carga q_0 debe ser tan débil que, al introducirla en un sistema de cargas, ella produzca fuerzas muy pequeñas sobre las otras partículas del sistema y por ese motivo no se altere las configuración de posiciones de ellas. A una carga con estas características se la llama *carga de prueba*. Matemáticamente esto se expresa indicando que la medición se hace en el límite $q_0 \to 0$.

Utilizando la Ley de Coulomb, la definición de campo eléctrico que acabamos de dar, y el Principio de Superposición, es posible escribir una expresión para el campo eléctrico creado por un conjunto discreto de cargas $q_1, \ldots q_i, \ldots q_N$ en un punto P con posición $\vec{r} = \vec{r}_P$

$$\vec{E}(\vec{r}) \equiv \lim_{q_0 \to 0} \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = K \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i(\vec{r} - \vec{r}_i)}{\|\vec{r} - \vec{r}_i\|^3}$$

Por último las unidades de campo eléctrico son *Newtons/Coulomb*: [N/C].

La fuerza electrostática en función del Campo Eléctrico

Si conocemos el valor del campo eléctrico para todo punto del espacio $\vec{E}(\vec{r})$. Entonces la fuerza que siente una carga q ubicada en $\vec{r}$ está dada por la siguiente expresión:

$$\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$$

Una observación importante es que si $q > 0$ tanto $\vec{F}$ como $\vec{E}$ apuntan en la misma dirección, mientras que si $q < 0$ entonces $\vec{F}$ apunta en dirección contraria a $\vec{E}$. Pero esto no tiene ninguna incidencia en la forma de calcular el campo eléctrico.

Fin