

# 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

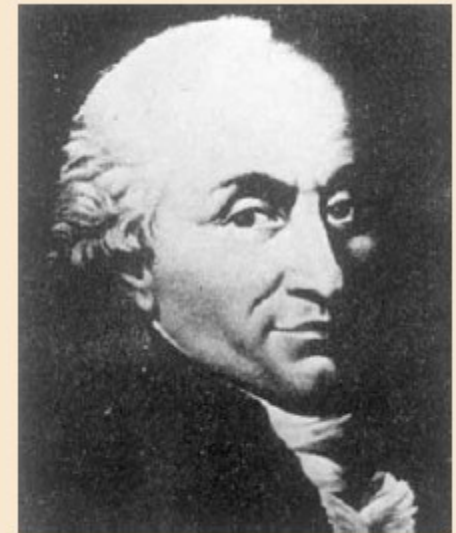
# Campos Eléctricos

*Cargas Eléctricas, Aisladores y conductores, **Ley de Coulomb**, 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

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

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

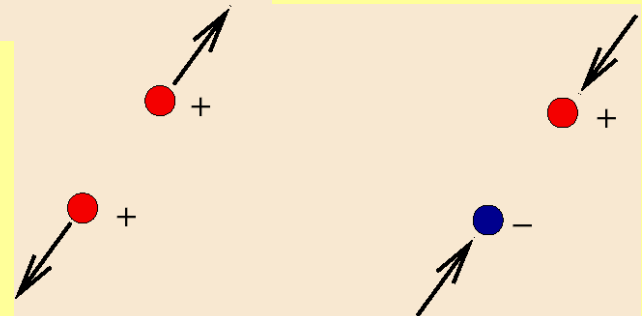
En el sistema MKS las cargas se miden en unidades llamadas coulomb (C) y la constante vale:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9874 \times 10^9 \simeq 9.0 \times 10^9 \quad [\text{Nm}^2/\text{C}^2]$$

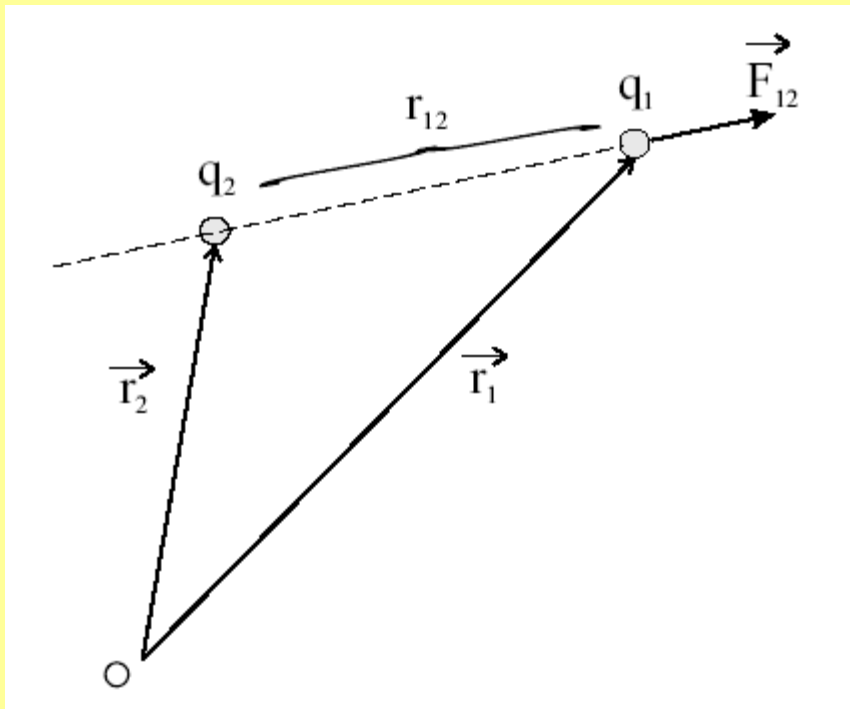
La constante  $\epsilon_0$  se llama la permitividad del vacío.

Dirección y sentido

La dirección 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  $q_1$ :



$$\vec{F}_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

Notemos que la fuerza que siente  $q_2$  debido a la presencia de  $q_1$  es:

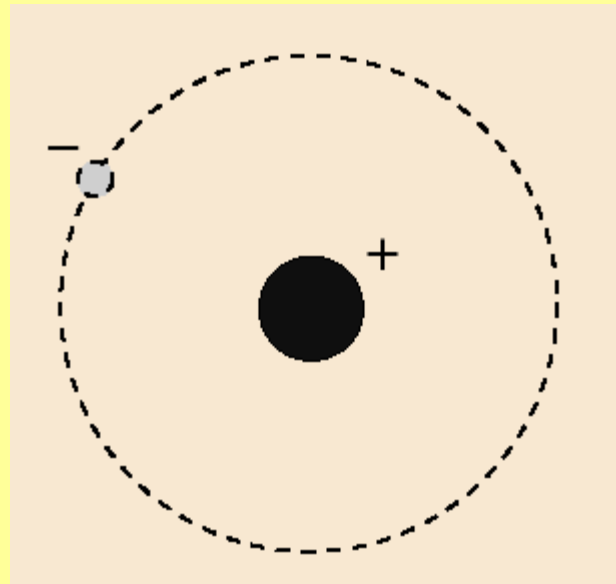
$$\vec{F}_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

## 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,  $m_{\text{proton}} = 1.67 \times 10^{-27}$  Kg,  $G = 6.67 \times 10^{-11}$   
[MKS]



Modelo simple del atomo de hidrogeno

La fuerza electrostática vale:

Magnitud

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1.609 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.28 \times 10^{-8} \text{N}$$

La fuerza gravitacional vale:

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

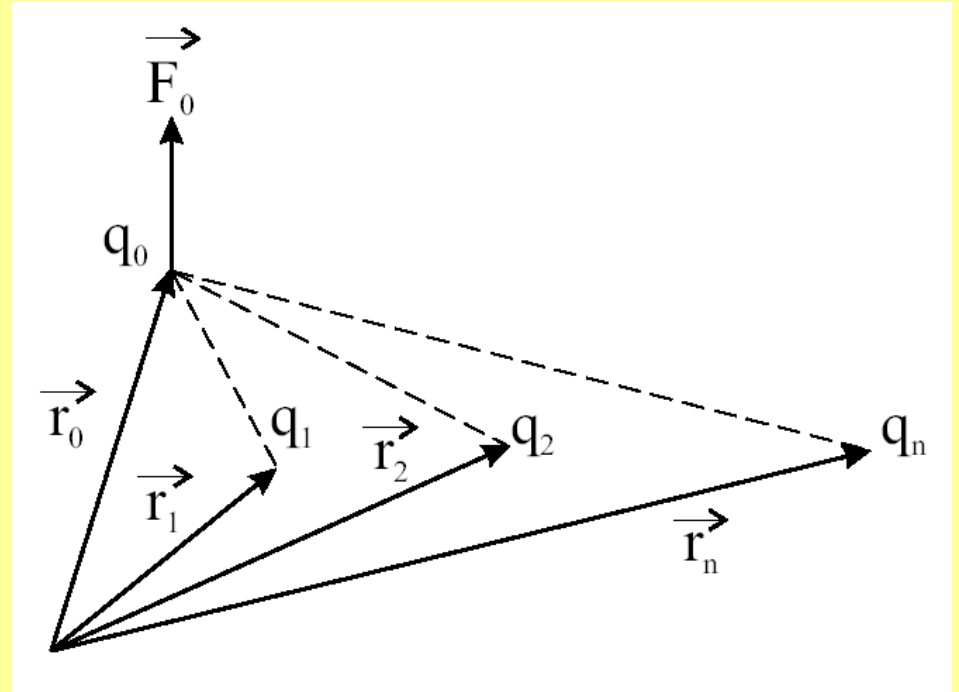
Luego la razón entre estas dos fuersas es:

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

## El principio de superposición

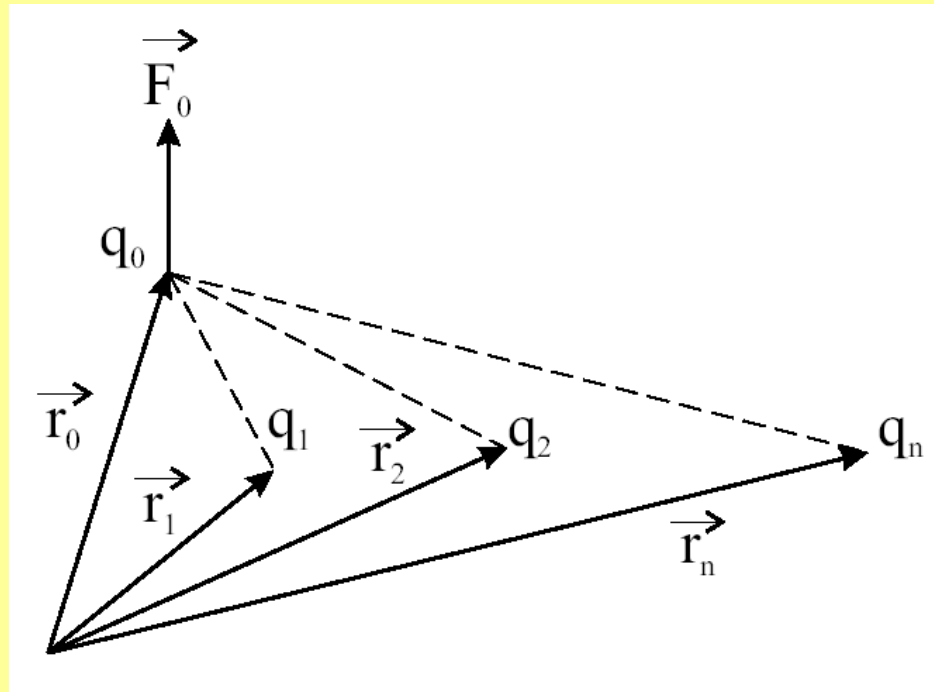
Como vimos en el curso de Mecánica de la partícula (*Física I*) cuando hay muchas fuerzas actuando sobre una partícula la acción neta sobre la partícula (fuerza neta) se reduce a la suma vectorial de cada una de las fuerzas que actúan sobre ella. De acuerdo a esto, en el caso de un sistema de cargas  $q_1, q_2, \dots, q_N$  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  $q_0$ .

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



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

$$\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^N \frac{Kq_0q_i (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)}{\|\vec{r}_0 - \vec{r}_i\|^3}$$



8-Dos cargas puntuales están 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 punto 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  $q_0 \rightarrow 0$ .

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  $q_1, \dots, q_i, \dots, q_N$  en un punto  $P$  con posición  $\vec{r} = \vec{r}_P$

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

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

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