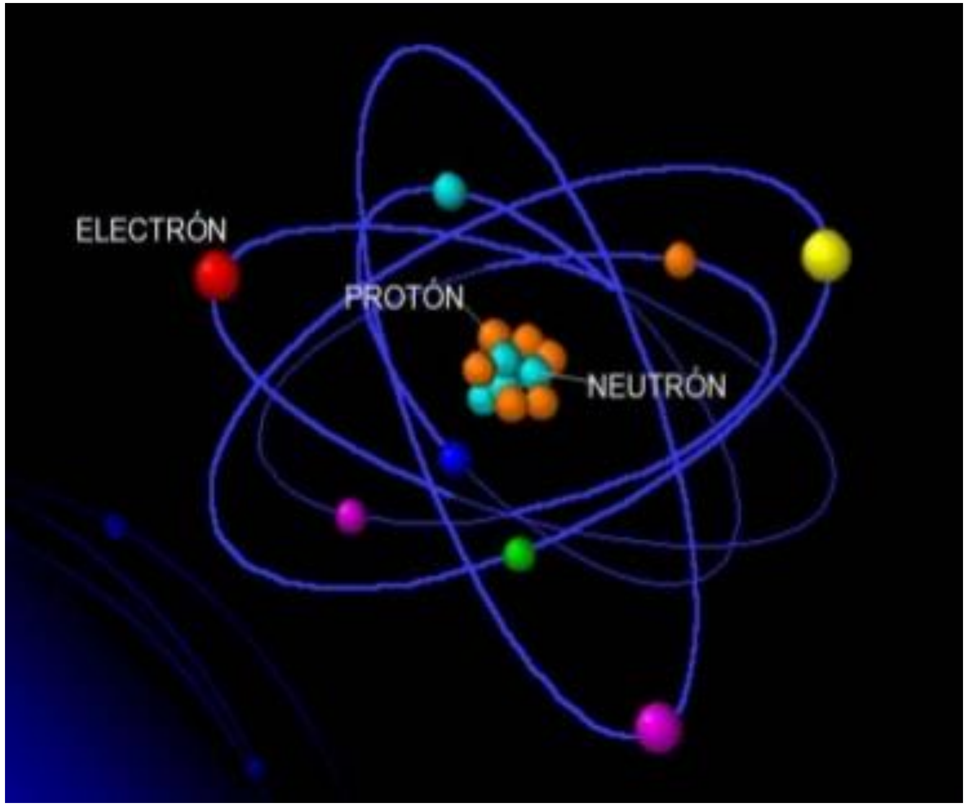
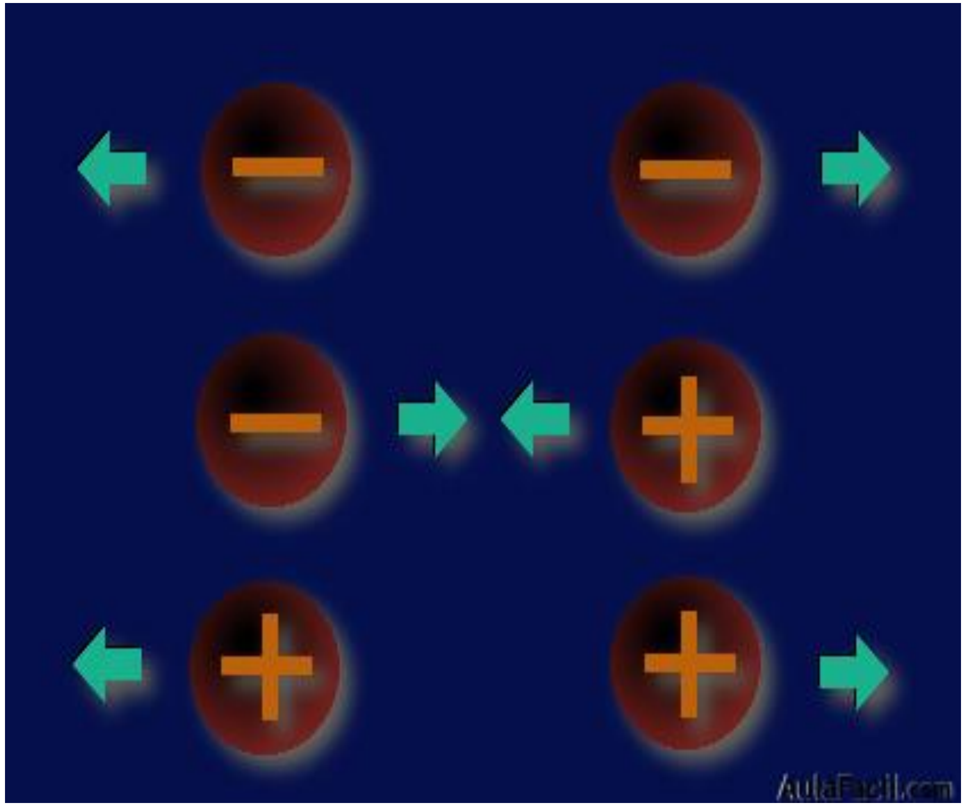
# Electrostática

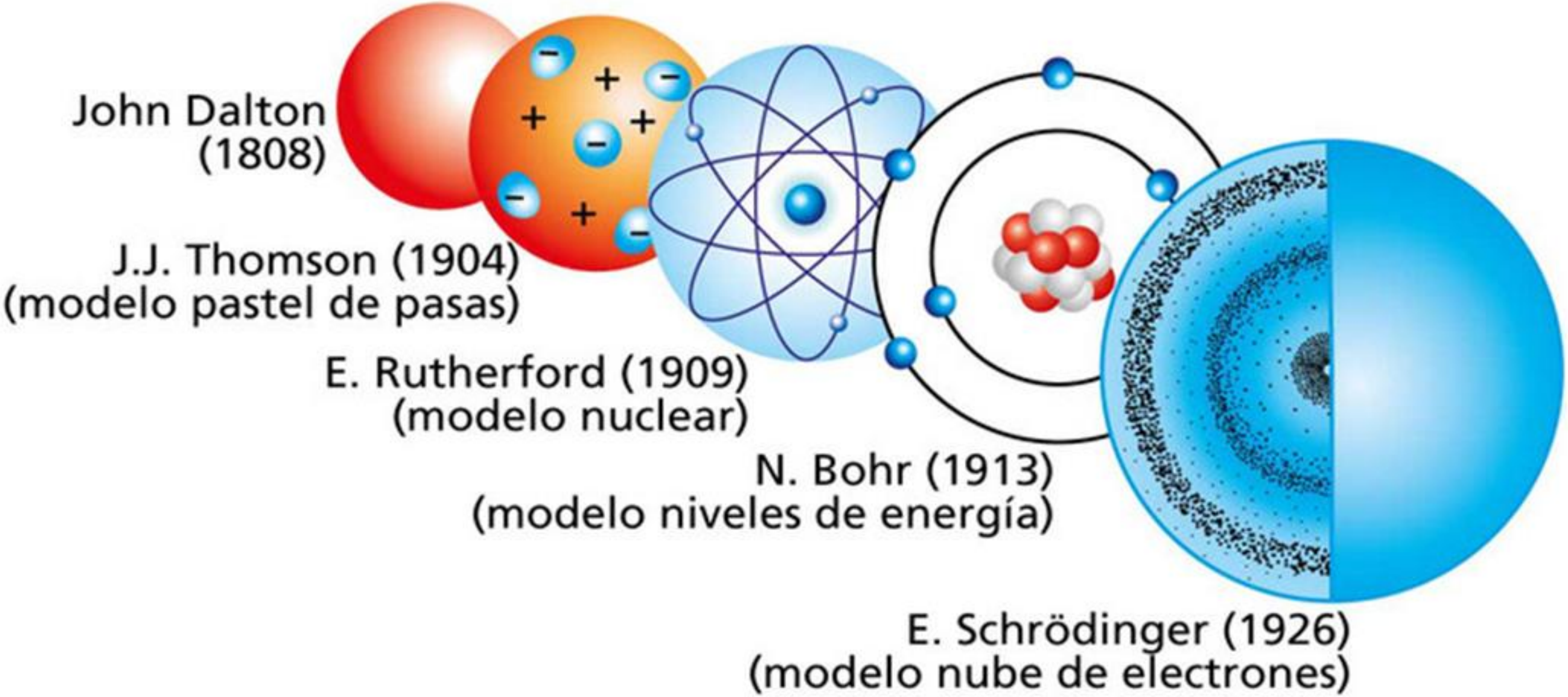
# CONCEPTO

La electrostática es parte de la física que es estudia el comportamiento de las cargas eléctricas en reposo.



**MODELOS ATÓMICOS**



## LA MATERIA SEGÚN SU COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO SE CLASIFICA EN:

- Conductores
- Aislantes o dieléctricos
- Semiconductores
- Superconductores

Los antiguos griegos descubrieron , 600 A.C. que frotando , ámbar con lana, el ámbar atraía otros objetos. Hoy gracias al conocimiento que poseemos sobre la estructura de la materia y los modelos atómicos, decimos que el ámbar ha adquirido una carga eléctrica neta, esto es ha sido cargado.

Los protones y neutrones se encuentran en un centro pequeño llamado núcleo con dimensiones del orden de $10^{-15}$ m. En la corteza, es decir alrededor del núcleo están orbitando los electrones. Quienes se despliegan hasta distancias de $10^{-10}$ m. Las masas respectivas de las partículas atómicas son:

Masa del electrón = $m_e$ = 9,109x $10^{-31}$ Kg.

Masa del protón = $m_p$ = 1,67x$10^{-27}$ Kg.

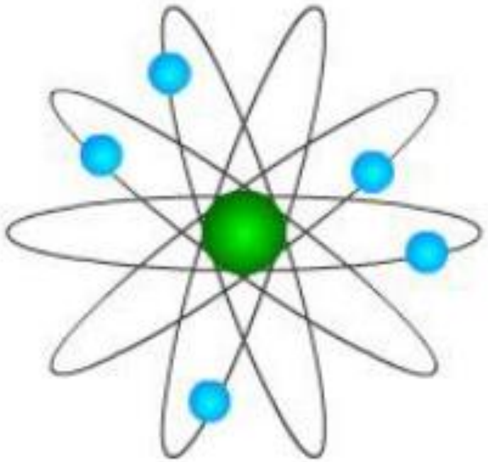
Masa del neutrón = $m_n$= 1,67x$10^{-27}$ Kg.

La carga eléctrica del protón y del electrón = 1,602x$10^{-19}$ C. Como el número total de electrones y protones es igual, la carga total es cero y el cuerpo es eléctricamente neutro

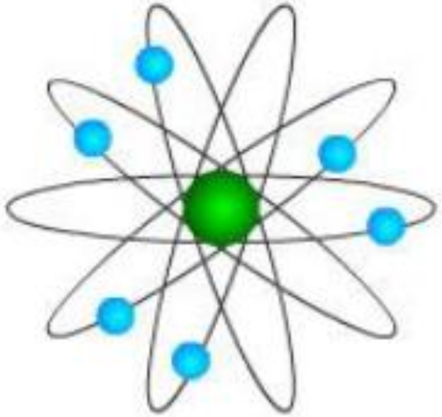
Un electrón es la unidad elemental de carga pero en el sistema MKS se asume como unidad fundamental de carga al Coulomb (C), que tiene un orden de magnitud de $10^{18}$ cargas elementales.

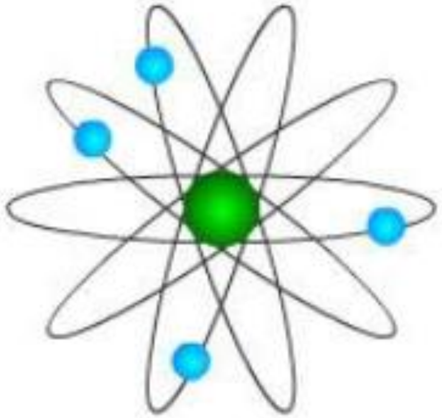
**Principio de conservación de la carga**: La carga de un cuerpo en sistema aislado siempre es la misma

El átomo…



Cuando el átomo gana o pierde un electrón se le denomina ion negativo o positivo, respectivamente.





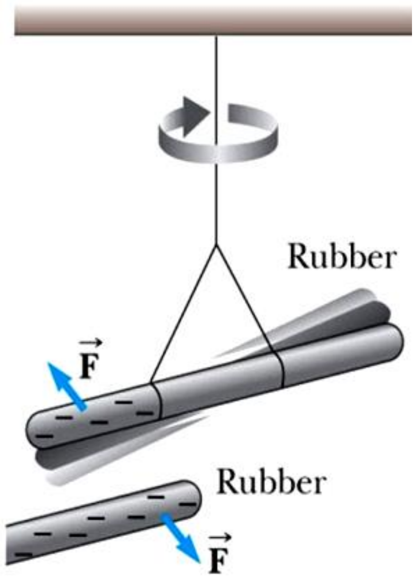
# MÉTODOS DE ELECTRIZACIÓN

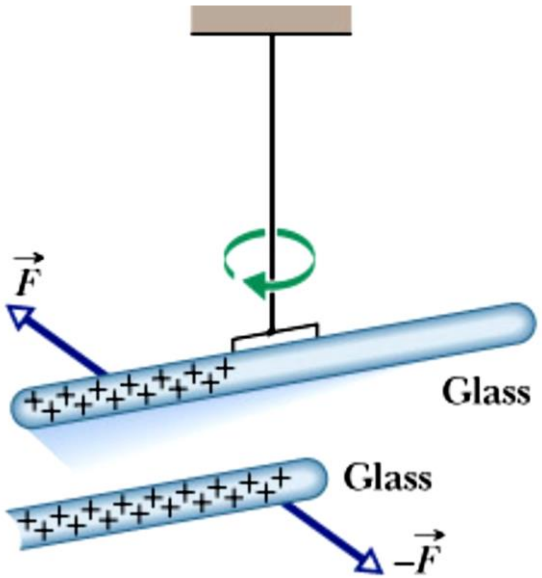
## MÉTODOS DE ELECTRIZACIÓN ELECTROTÁTICOS

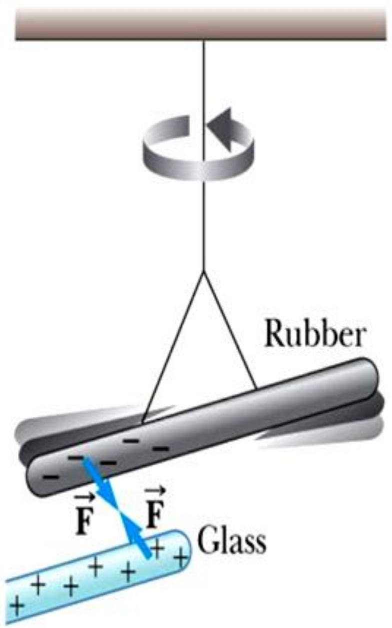
- Frotamiento
- Inducción
- Polarización
- Contacto

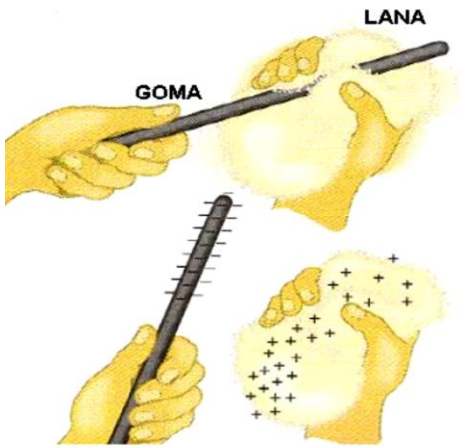
## MÉTODOS DE ELECTRIZACIÓN NO ELECTROTÁTICOS

- Efecto Fotoeléctrico
- Efecto termoeléctrico (efecto Seebeck)
- Por Electrólisis




En la naturaleza, la carga de cualquier cuerpo se presenta en forma de paquetes discretos o cuantos, es decir la carga siempre es igual a un múltiplo entero de la carga del electrón.

$$q = \pm Ne$$

# MÉTODOS DE ELECTRIZACIÓN

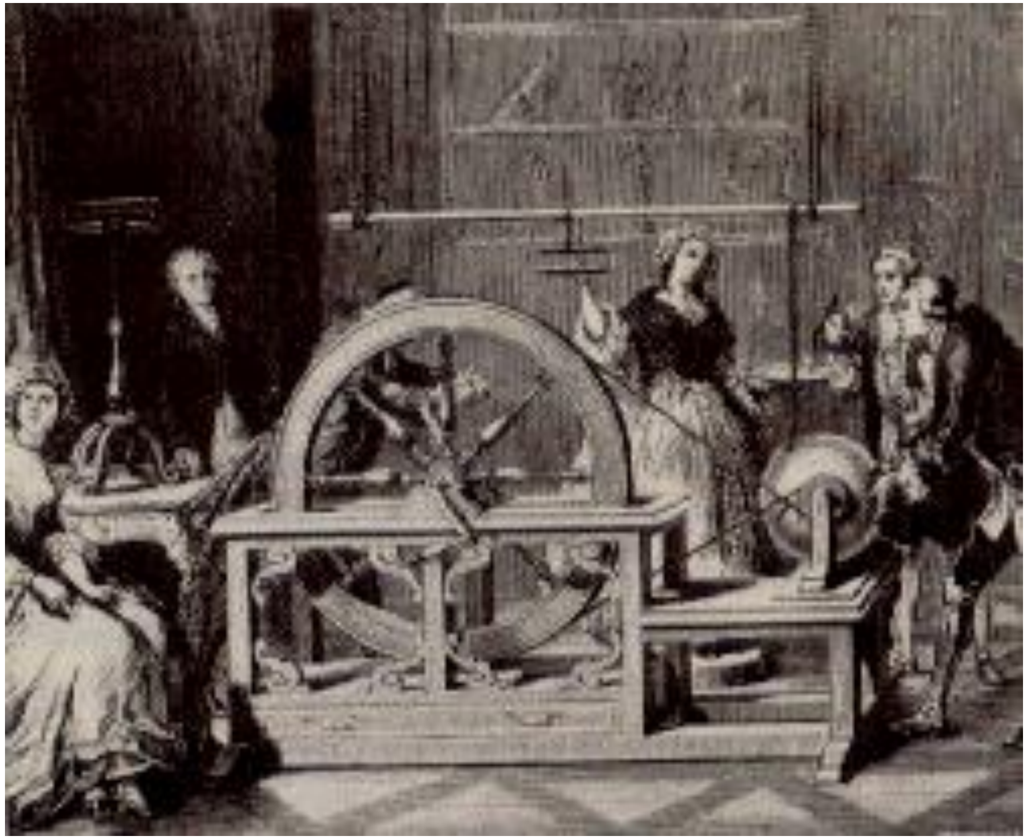
| METODO | REQUISITOS | CARACTERISTICAS | MATERIAL |
|---|---|---|---|
| **FROTAMIENTO** | Movimiento relativo entre los cuerpos<br>Los cuerpos neutros | Hay transferencia de carga<br>Un cuerpo queda con carga negativa y el otro con carga positiva<br>Cada cuerpo queda con carga neta diferente de cero | Aislantes<br>Conductores siempre y cuando se aísle previamente |
| **INDUCCIÓN** | Un cuerpo previamente cargado<br>Separados pero cerca | No hay transferencia de carga<br>No siempre la carga neta del conductor es cero | Metales |
| **POLARIZACIÓN** | Un cuerpo previamente cargado<br>Separados pero cerca | No hay transferencia de carga<br>Siempre la carga neta del material aislante es cero | Aislantes |
| **CONTACTO** | Un cuerpo previamente cargado<br>Se requiere contacto físico entre los dos cuerpos | Hay transferencia de carga<br>El proceso de transferencia se da hasta que se logra el equilibrio electrostático (**OJO NO ES IGUAL CARGA**)= los dos cuerpos quedan con el mismo potencial eléctrico | Aislantes y conductores |

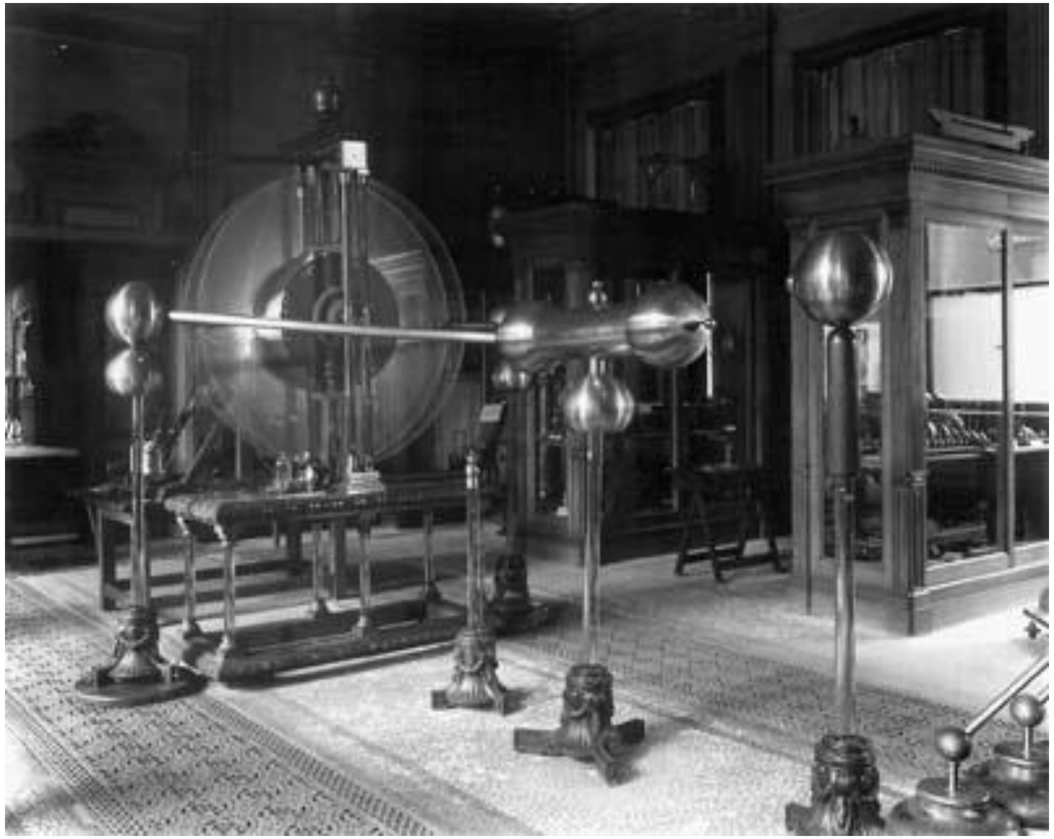
ELECTRIZACIÓN

**EVIDENCIAS DE CUERPOS CARGADOS**

- Electroscopio
- Rayo
- Los pelos de punta

# Máquinas Electrostáticas

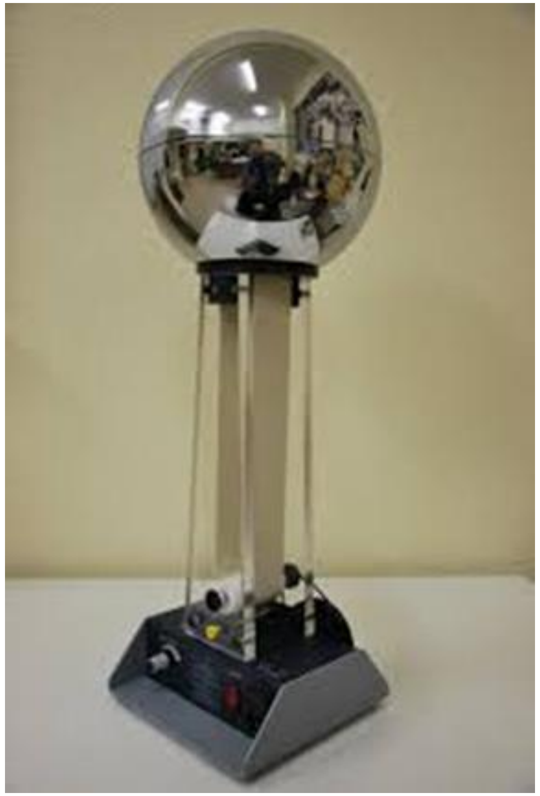




1.663  Maquinas Electrostáticas de Von Guericke

1.785 LA MÁQUINA DE VAN MARUM

# Máquinas Electrostáticas

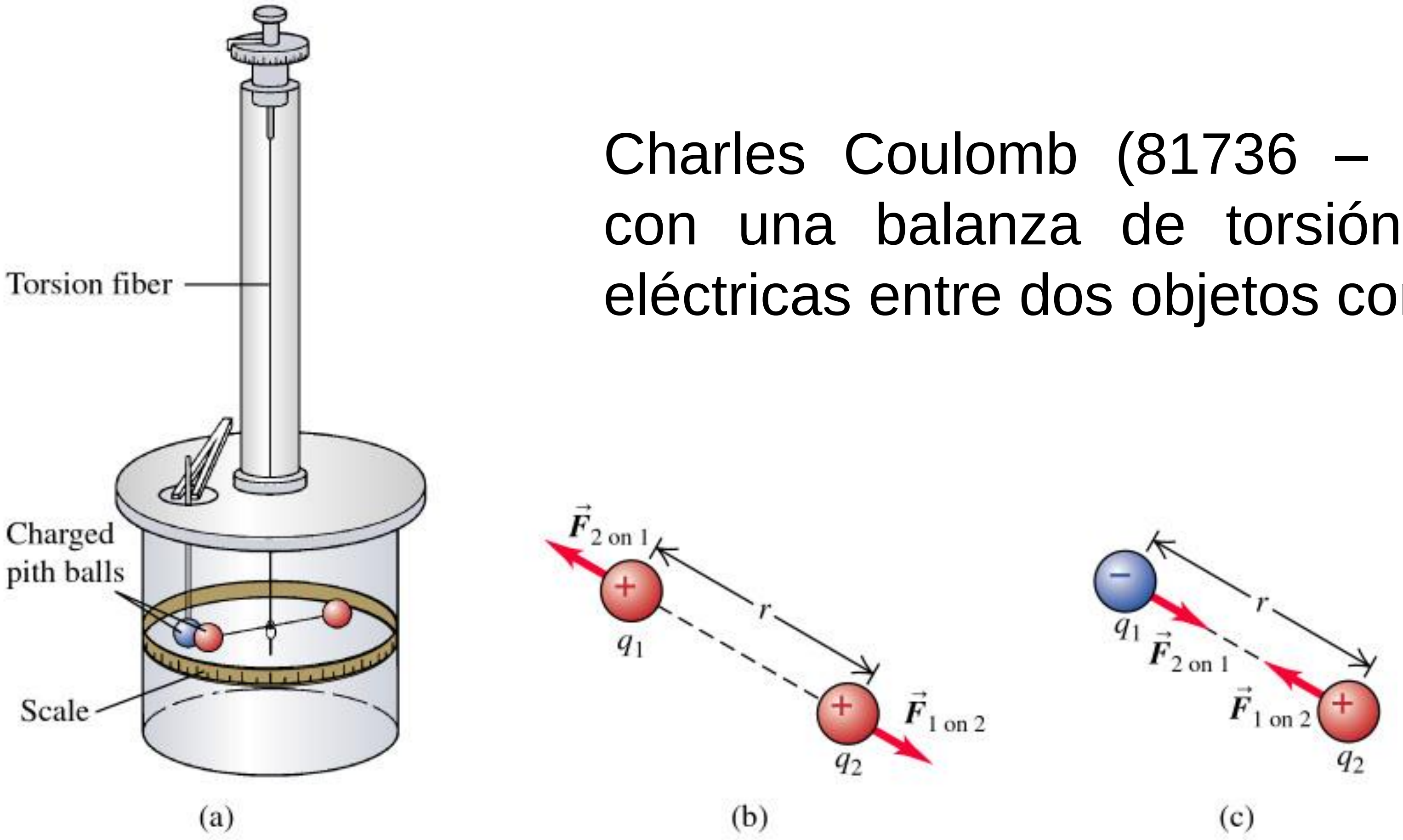


- **1883 MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE WIMSHURST**
- **1929 GENERADOR VAN DER GRAFFf**

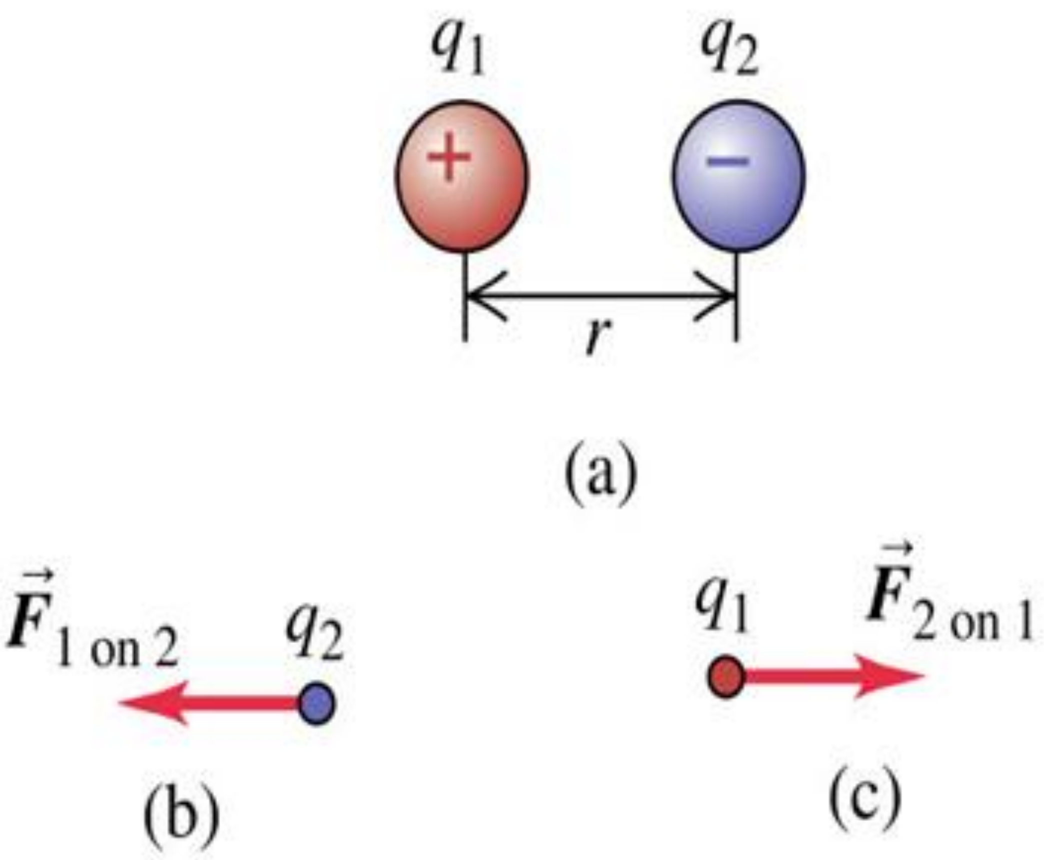
# ELECTROSTÁTICA EN SISTEMAS DISCRETOS DE CARGA: Cargas puntuales

# FUERZAS ELECTROSTÁTICAS  INTERACCIONES ENTRE CUERPOS CARGADOS

Charles Coulomb (81736 – 1806), midió con una balanza de torsión las fuerzas eléctricas entre dos objetos con carga



# LEY DE COULOMB




$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

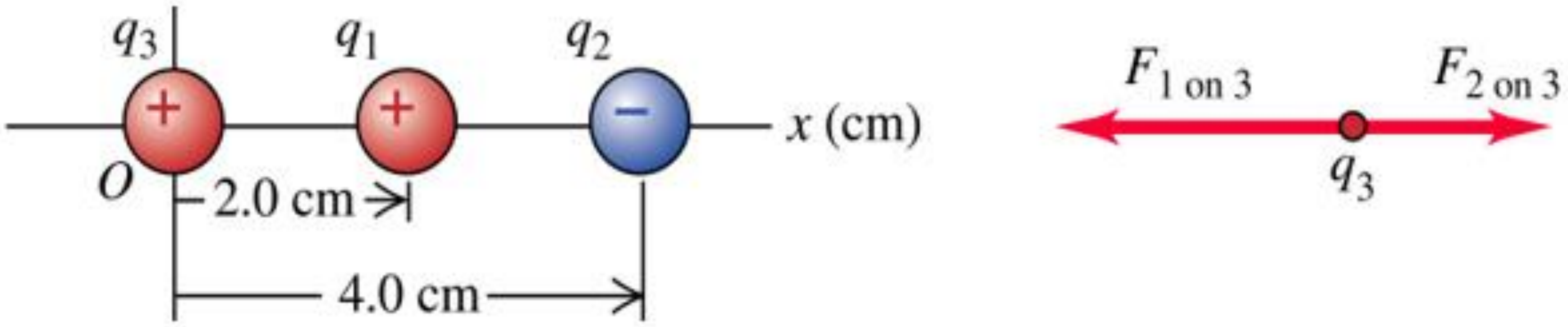
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}\overrightarrow{\mu_r}$$

$$\varepsilon_o = 8{,}85x10^{-12}\ \frac{c^2}{Nm^2}$$

- Válida para objetos modelados como partículas con cargas (cargas puntuales)

# FUERZAS ELECTROSTÁTICAS

Dos cargas eléctricas están situadas sobre el eje positivo de las X. La carga $q_1$= 10nC está a 2cm del origen y la carga $q_2$= - 3nC, está a 4 cm. del origen. ¿Cuál es la fuerza total que ejercen estas dos cargas sobre una tercera $q_3$ = 5 nC situada en el origen?

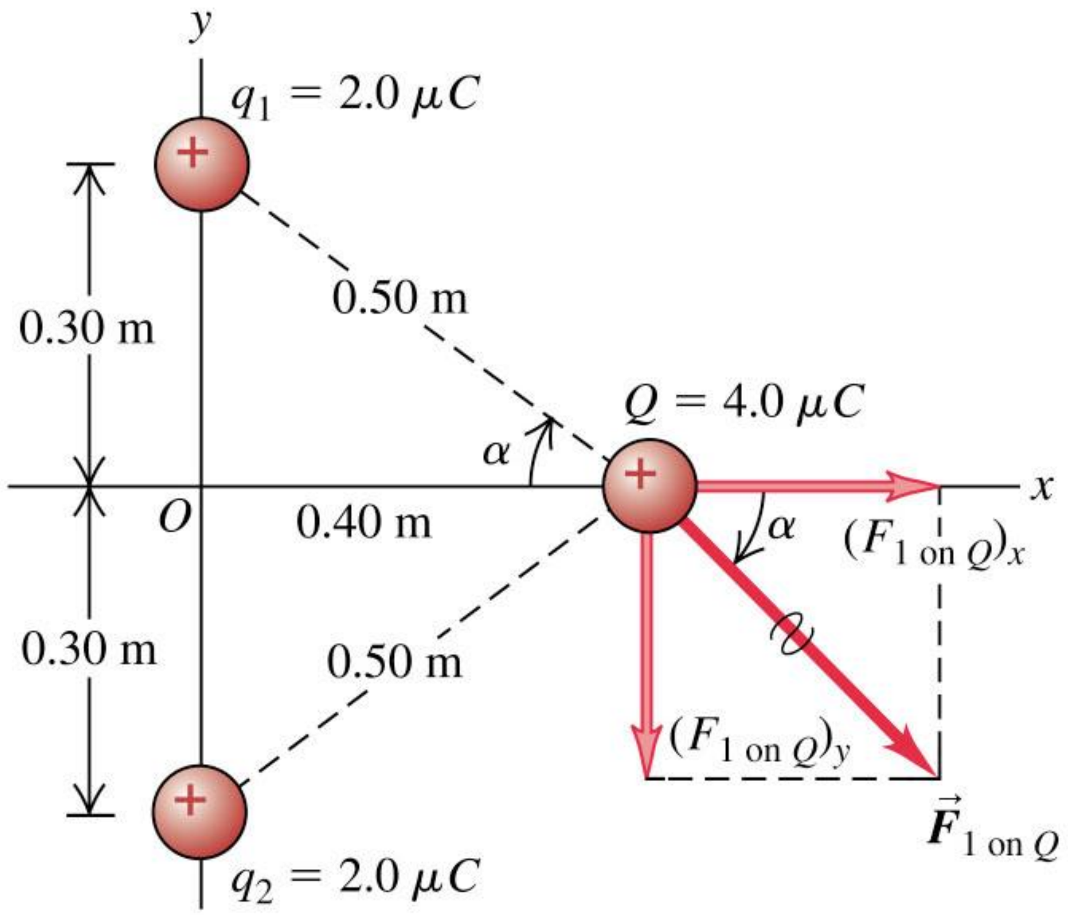



(a)

(b)

# FUERZAS ELECTROSTÁTICAS

Dos cargas puntuales iguales de 2 µC interactúan con una tercera carga de 4 µC. Encuentre la fuerza neta sobre la carga 3 (Q)



**Ejemplo.** Dos pequeñas esferas cargadas positivamente tienen una carga combinadas de *5x10⁻⁵ C*. si cada una de las esferas son repelidas por una fuerza electrostática de *1 N* cuando las esferas están separadas 2 m. ¿Cuál será la carga de cada una de las esferas.

**Solución.** Debido a que en el enunciado no se dan las cargas individuales, asumimos que ellas son $q_1$ y $q_2$. La condición sobre la carga combinada de las esferas es:

$$q_1 + q_2 = 5\times10^{-5} C \qquad \text{(a)}$$

$$q_1 q_2 = \frac{r^2 F}{k} = \frac{4m^2(1,0N)}{9\times10^9 Nm^2/C^2}$$

**Solución**

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \text{(b)}$$

$$q_1 q_2 = 4,444\times10^{-10} C^2 \qquad \text{(c)}$$

Despejando $q_2$ de la ecuación (a) se tiene

$$q_2 = 5\times10^{-5}C - q_1 \qquad \text{(d)}$$

Sustituyendo la ecuación (d) en (c) se tiene

$$q_1(5\times10^{-5}C - q_1) = 4,444\times10^{-10}C^2$$

$$q_1^2 - 5\times10^{-5}q_1 + 4,444\times10^{-10} = 0$$

$$q_1 = \frac{5.10^{-5} \pm \sqrt{\left(-5.10^2\right) - 4\left(4,444.10^{-10}\right)}}{2}$$

$$q_1 = \begin{cases} 3,84\times10^{-5}C \\ 1,16\times10^{-5}C \end{cases}$$

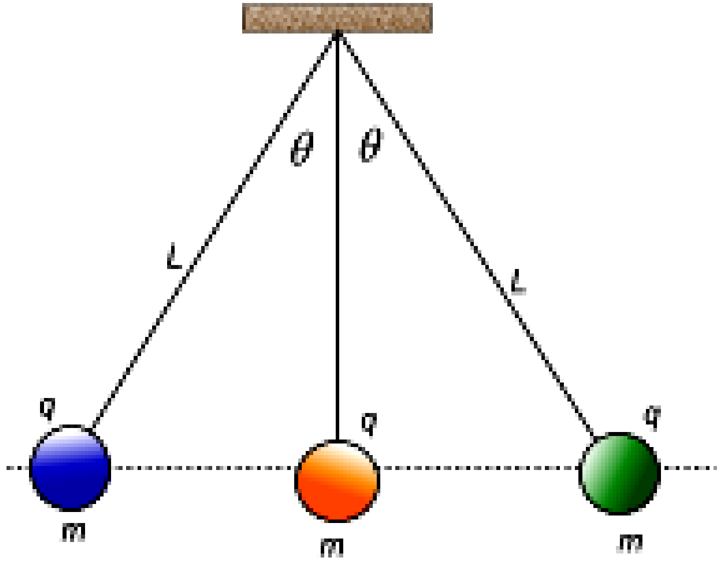
Remplazando estos posibles valores en la ecuación (d) se tiene

$$q_1 = 3,84\times10^{-5}C \Rightarrow q_2 = 5\times10^{-5}C - q_1 = 1,16\times10^{-5}C$$

$$q_1 = 1,16\times10^{-5}C \Rightarrow q_2 = 5\times10^{-5}C - q_1 = 3,84\times10^{-5}C$$

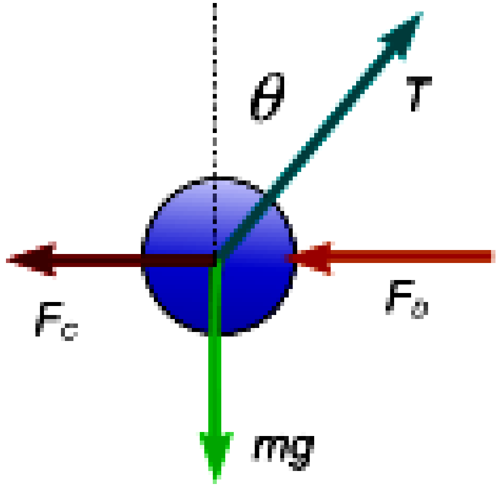
**Ejemplo**

Tres cargas puntuales idénticas, cada una de masa $m$ = 100 g se encuentran suspendidas de hilos, como se ve en la figura. Si la longitud de cada hilo de las cargas en el extremo es $L$ = 30 cm y el ángulo θ = 45°. Determine el valor de la carga $q$.




**Solución**

En primer lugar se traza el diagrama de cuerpo libre de la esfera izquierda, en el se observa que actúa el peso (mg), la tensión en el hilo ($T$) y las fuerzas electrostáticas que ejerce la carga ubicada en medio ($F_m$) y la ejercida por la esfera situada a la derecha ($F_D$)



$$r_1 = Lsen\theta = 0,3sen45^\circ = 0,212m$$

$$r_2 = 2r_1 = 2(0,212m) = 0,424m$$

$$F_C = k\frac{q^2}{r_1^2} = k\frac{q^2}{0,212^2}$$

$$F_D = k\frac{q^2}{r_2^2} = k\frac{q^2}{0,424^2}$$

Aplicando las ecuaciones de equilibrio en dirección vertical se tiene

$$T\cos 45^\circ - mg = 0 \Rightarrow T = mg / \cos 45$$

$$T = 0,1(9,8) / \cos 45^\circ$$

$$T = 1,39N$$

$$\sum F_x = 0$$

$$Tsen45^\circ - F_C - F_D = 0$$

$$F_C + F_D = Tsen45^\circ$$

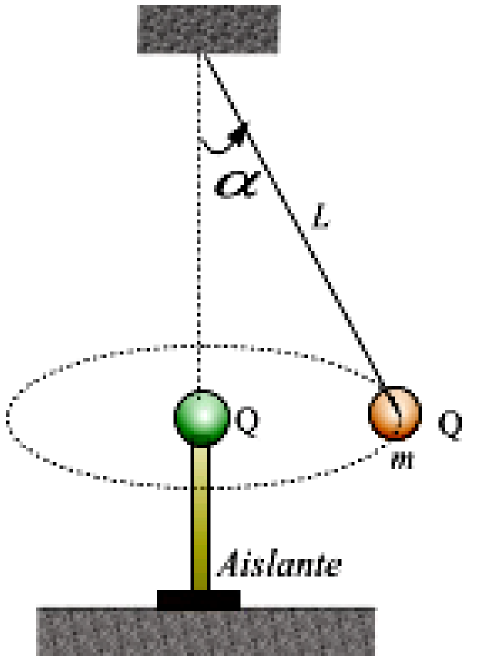
$$k\frac{q^2}{0,212^2} + k\frac{q^2}{0,424^2} = 1,39sen45^\circ$$

$$kq^2\left(\frac{1}{0,212^2} + \frac{1}{0,424^2}\right) = 1,39sen45^\circ$$

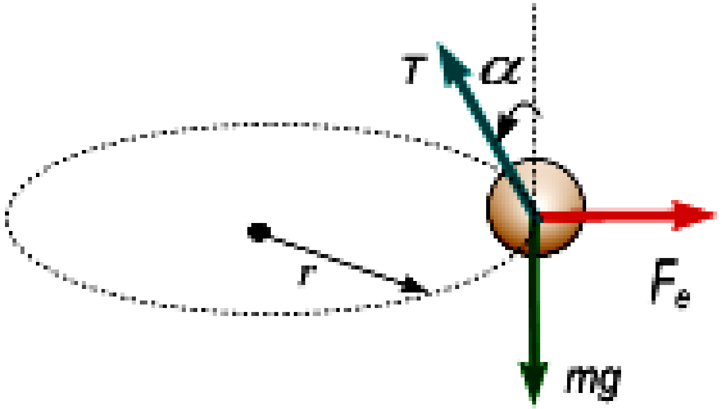
$$q^2 = 3.93.10^{-12}C^2$$

$$q = 1,98\mu C$$

**Ejemplo.** Una esferita de masa m y carga Q que está suspendida de un hilo de longitud L, gira alrededor de una carga inmóvil como se muestra en la figura. Si α es el ángulo que forma la dirección del hilo con la vertical. Determine la velocidad angular ω con la cual la esfera gira uniformemente y la tensión en el hilo.




**Solución**




$$\sum F_z = 0$$

$$T\cos\alpha - mg = 0$$

$$T = mg/\cos\alpha$$

$$\sum F_n = ma_n$$

$$Tsen\alpha - F_e = m\omega^2 r$$

$$(mg/\cos\alpha)sen\alpha - k\frac{Q^2}{r^2} = m\omega^2 r$$

$$(mg/\cos\alpha)sen\alpha - k\frac{Q^2}{(Lsen\alpha)^2} = m\omega^2(Lsen\alpha)$$

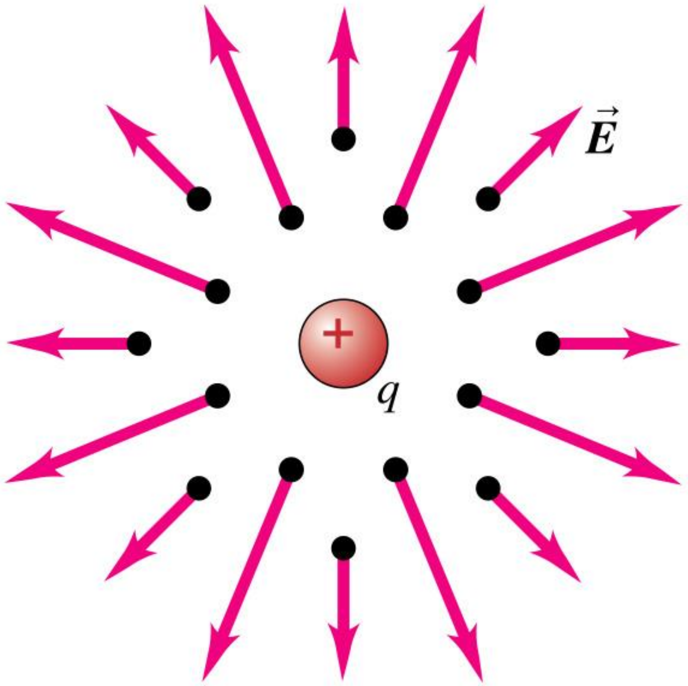
Despejando la velocidad angular se tiene

$$\omega = \sqrt{\frac{gtg\alpha}{Lsen\alpha} - \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 mL^3 sen^3\alpha}}$$

# CAMPO ELÉCTRICO DE UNA CARGA PUNTUAL

Toda carga puntual o cuerpo cargado modelado como carga puntual produce a su alrededor una alteración en el espacio que se denomina campo eléctrico (E) y sus características se representan en la siguiente ecuación:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$



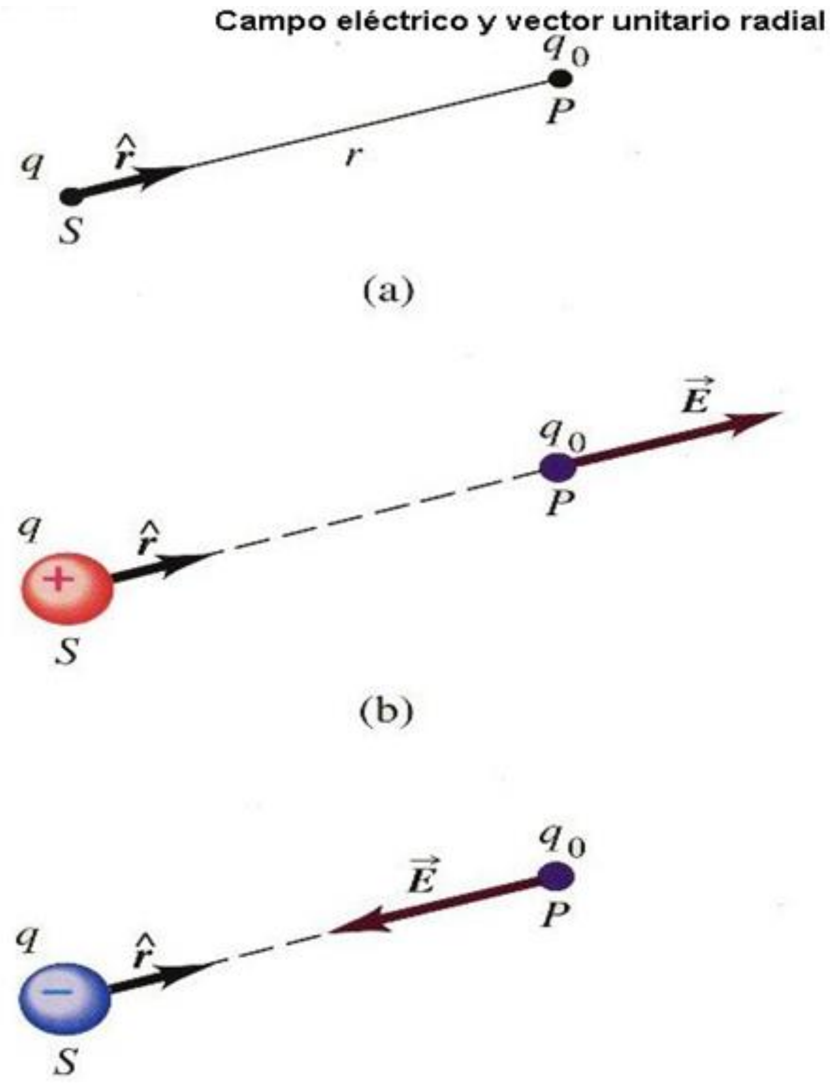


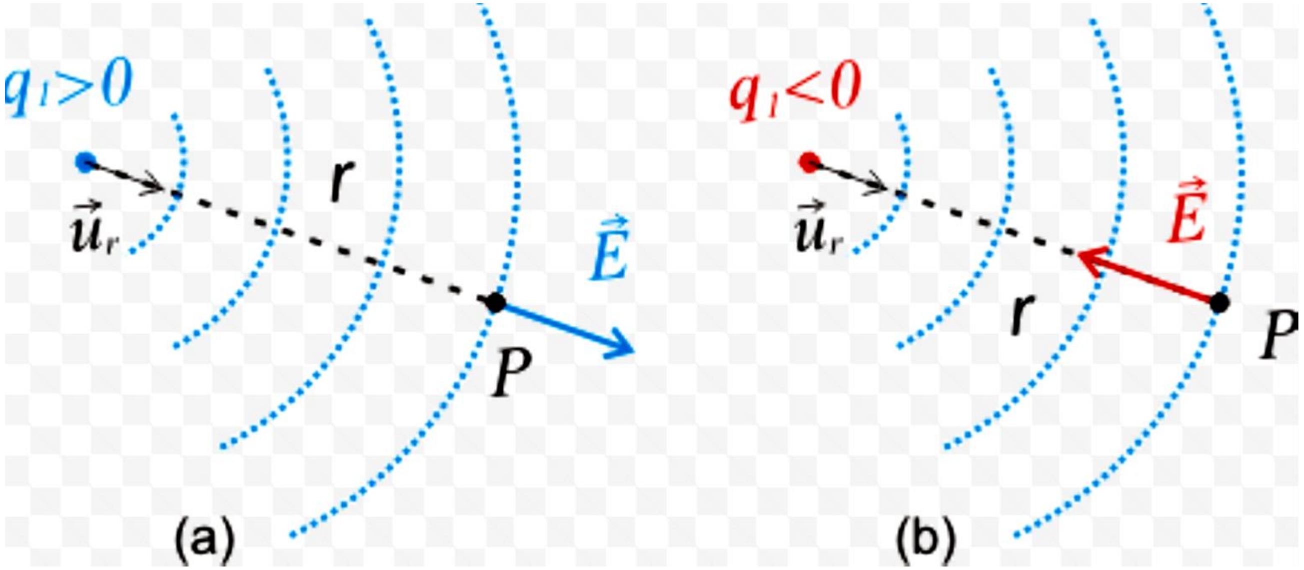
- El tamaño y signo de la carga (q)
- El cuadrado del inverso de la distancia (1 / $r^2$ )
- El medio con su permitividad eléctrica

$$\varepsilon_o = 8{,}85x10^{-12}\,\frac{c^2}{Nm^2}$$

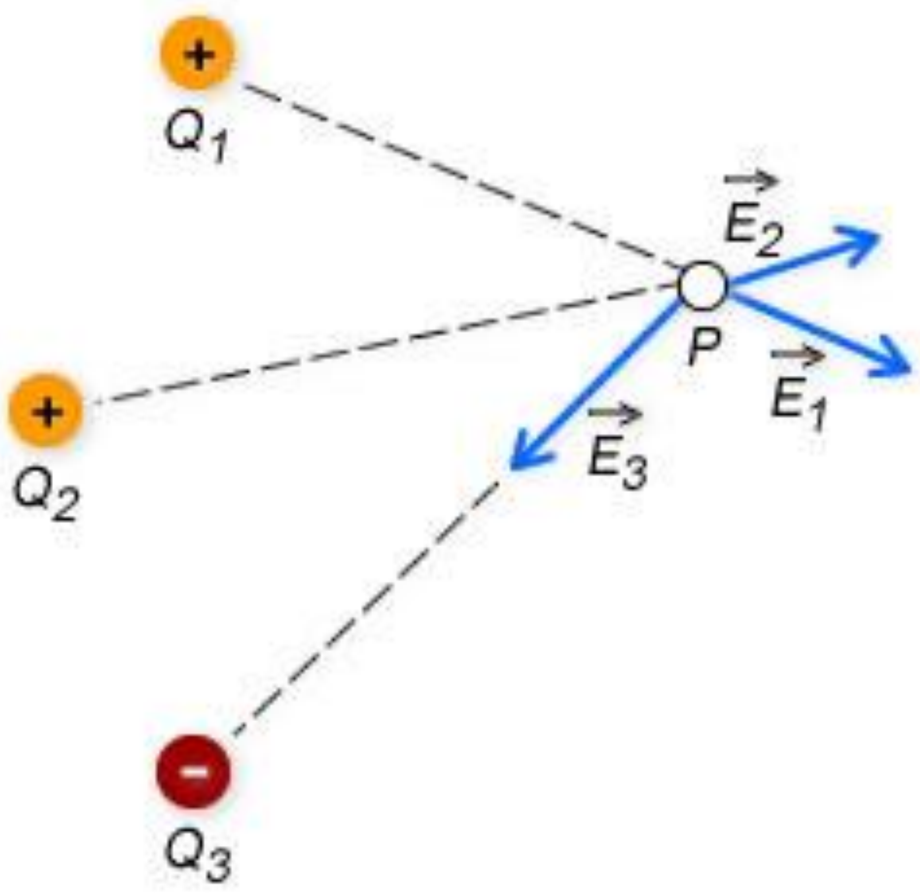
Las unidades del campo eléctrico en el MKS son N/C

# CAMPO ELÉCTRICO Y VECTOR UNITARIO



# CAMPO ELÉCTRICO Y PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN




$$\overrightarrow{E_R} = \sum_{i=1}^{n} \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2} + \cdots .. \overrightarrow{E_N} = \sum_{i=1}^{N} \vec{E}_i$$

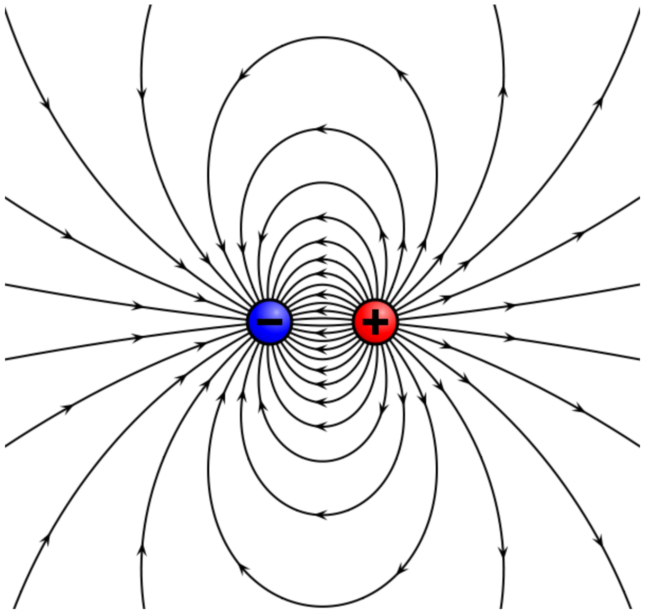
## REPRESENTACIÓN POR MEDIO DE LINEAS DE CAMPO

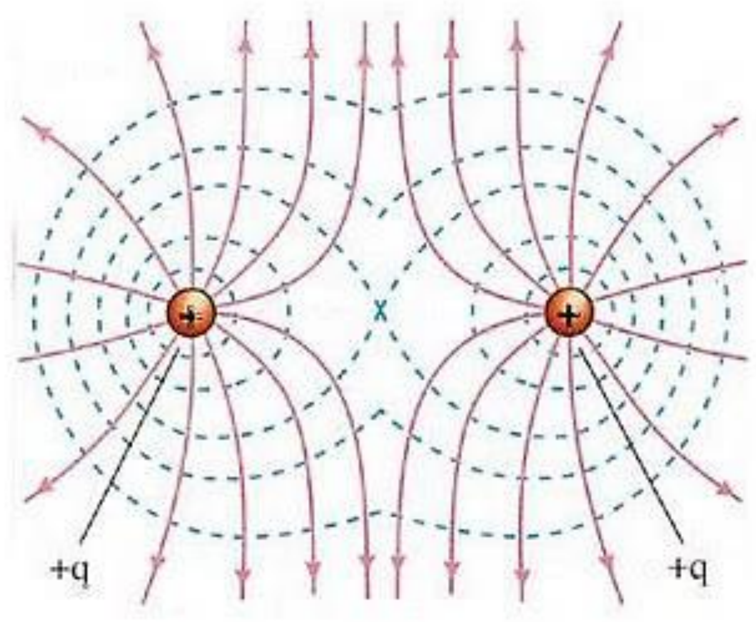
1. Las líneas se originan en las cargas positivas, y terminan en las cargas negativas.

2. El número de líneas es proporcional al valor de la carga.

3. La densidad de líneas es proporcional al valor del campo.

4. El campo eléctrico es tangente a la línea de campo.





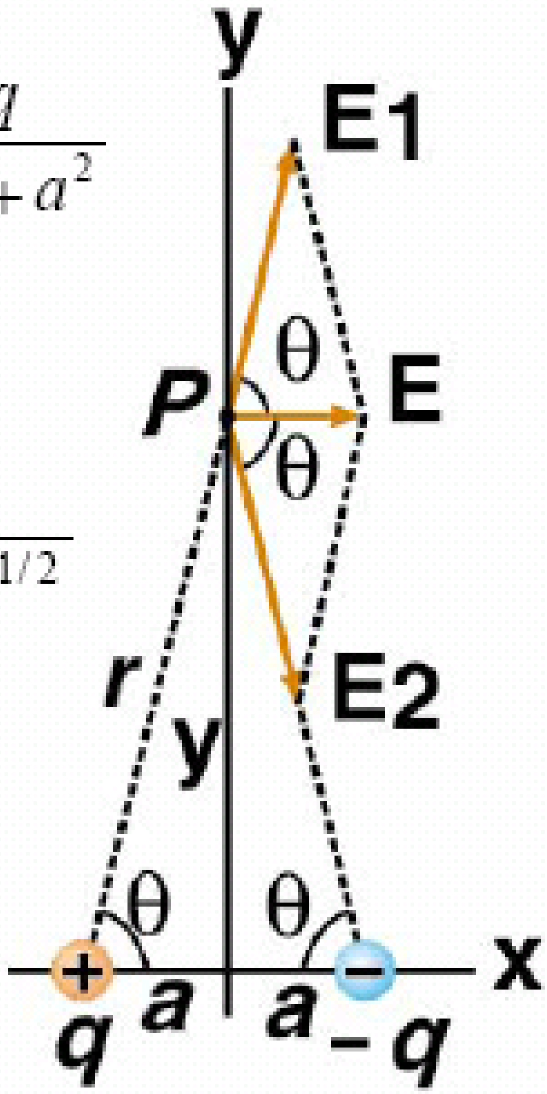
# Campo Eléctrico de un Dipolo

$$E_1 = E_2 = k\frac{q}{r^2} = k\frac{q}{y^2 + a^2}$$

$$E = E_x = 2E_1 \cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

$$E = k\frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$




$$y >> a$$

$$E = k\frac{2qa}{y^3}$$

## FUERZAS ELECTROSTÁTICAS  INTERACCIONES ENTRE CUERPOS CARGADOS

- Cuando dos cuerpos cargados están cerca, se determina su interacción electrostática como la fuerza de atracción o repulsión que se ejercen entre sí cumpliendo la ley de acción reacción de Newton.
- Se cumple la ley de cargas. “Cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario de atraen.
- Para calcular la fuerza que el cuerpo 1 le hace al cuerpo 2. se usa:

$$\vec{F}_{12} = q_1\vec{E}_2$$

## FUERZAS ELECTROSTÁTICAS: INTERACCIONES ENTRE CUERPOS CARGADOS

- Cuando los cuerpos cargados se pueden modelar como cargas puntuales, para calcular la fuerza que la carga 1 le hace a la carga 2 es:

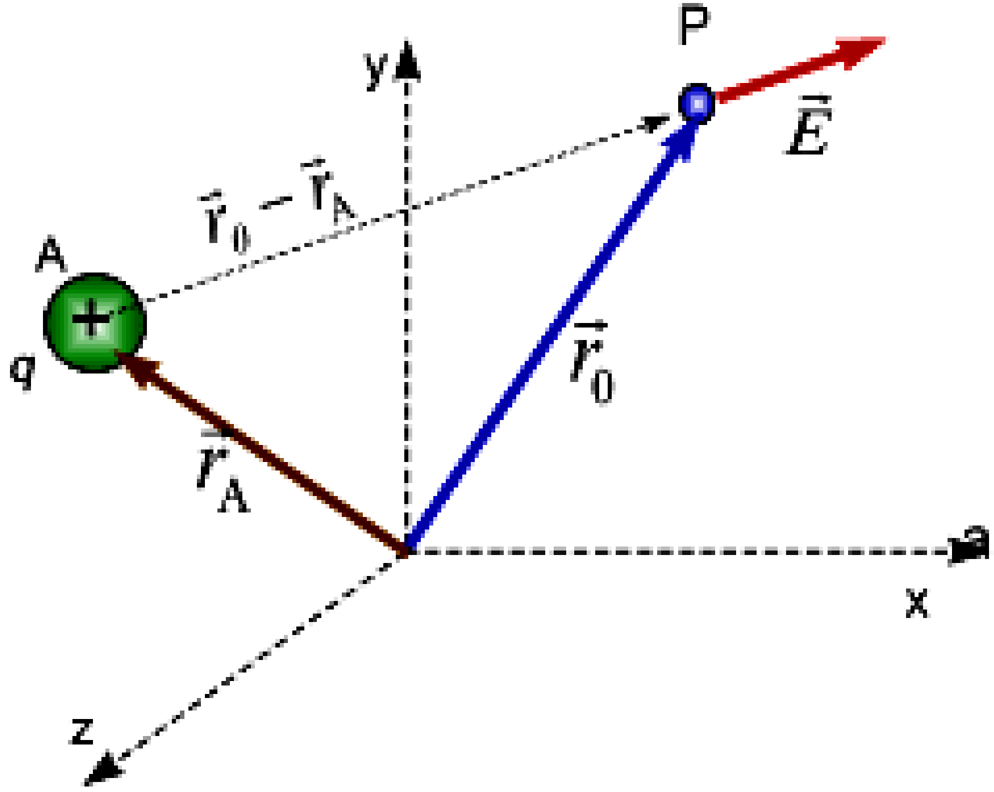
- Como $\vec{F}_{12} = q_1 \vec{E}_2$ ; $\overrightarrow{E_2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} q_2 \hat{r}$

- Quedando : $\overrightarrow{F_{12}} = q_1 \left( \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} q_2 \hat{r} \right)$

$$\overrightarrow{F_{12}} = \left( \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} q_1 q_2 \right) \hat{r}$$

Si la carga que genera el campo no está en el origen de coordenadas, es decir está ubicada por ejemplo en el punto $A(x, y, z)$, tal como se muestra en la figura, la intensidad de campo eléctrico en el punto $P(x, y, z)$, es

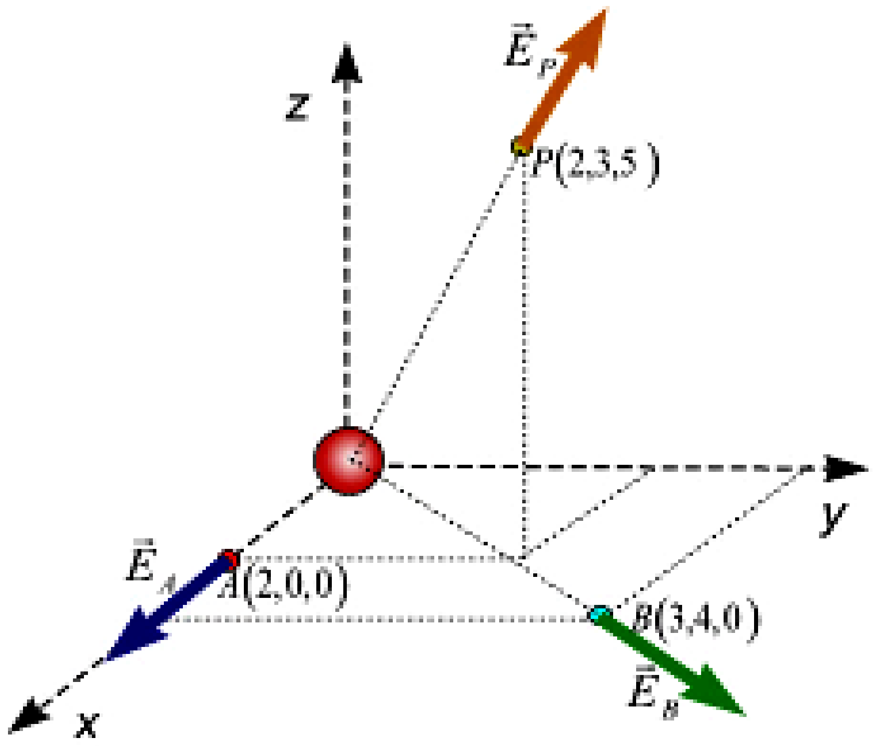
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{\left|\vec{r}_0 - \vec{r}_A\right|^3}(\vec{r}_0 - \vec{r}_A)$$




$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}(\overrightarrow{AP})$$

**Ejemplo.** Una carga de *4* μC está en el origen. Determine el valor del campo eléctrico en: (a) *A(2,0,0)* m, (b) *B(3,4,0)m* y (c) en *P(2,3,5)m.*

**Solución:** En la figura se muestra la ubicación de la carga y los puntos correspondientes




(a) El campo en el punto A esta dado por

$$\vec{E}_A = k\frac{q}{|\overrightarrow{OA}|^3}(\overrightarrow{OA}) = 9.10^9\,\frac{4.10^{-6}}{2^3}(2\vec{i}\,) = (4,5.10^3\,N/C)\vec{i}$$

(b) El campo eléctrico en B es

$$\vec{E}_B = k\frac{q}{|\overrightarrow{OB}|^3}(\overrightarrow{OB}) = 9.10^9\,\frac{4.10^{-6}}{5^3}(3\vec{i}+4\vec{j}\,) = (\frac{108}{125}.10^3\,N/C)\vec{i} + (\frac{144}{125}.10^3\,N/C)\vec{j}$$

(c) El campo eléctrico en el punto P

$$\vec{E}_P = k\frac{q}{|\overrightarrow{OP}|^3}(\overrightarrow{OP}) = 9.10^9\,\frac{4.10^{-6}}{(2^2+3^2+5^2)^{3/2}}(2\vec{i}+3\vec{j}+5\vec{k}\,)$$

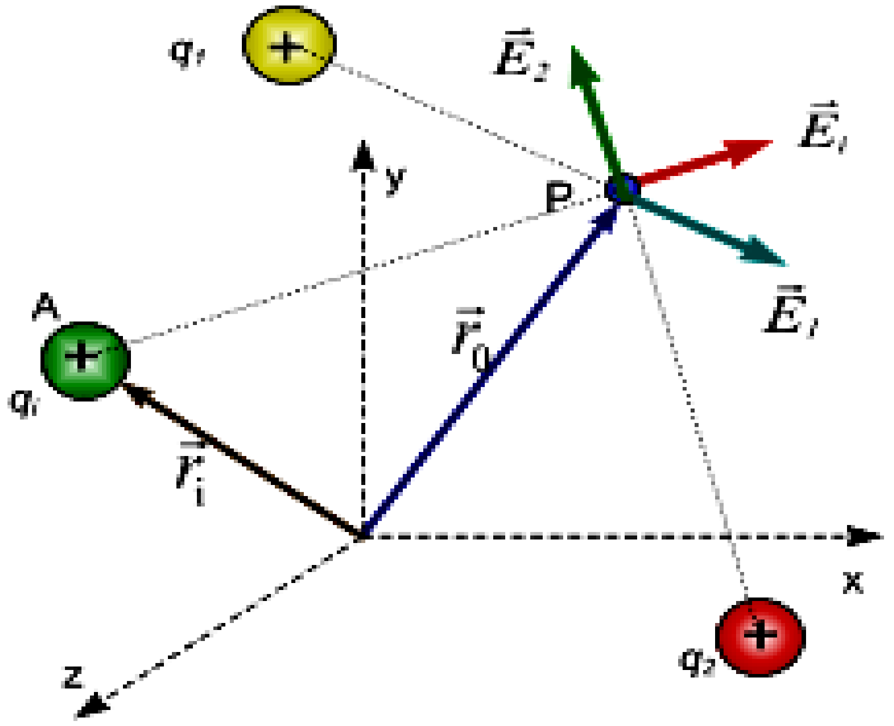
$$\vec{E}_P = (\frac{72}{\sqrt{38}}.10^3\,N/C)\vec{i} + (\frac{108}{\sqrt{38}}.10^3\,N/C)\vec{j} + (\frac{180}{\sqrt{38}}.10^3\,N/C)\vec{k}$$

## INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO DE UNA DISTRIBUCIÓN DISCRETA DE CARGA.

El campo eléctrico total debido a un sistema de cargas puntuales es igual al vector resultante de la suma de los vectores intensidad de campo eléctrico de todas las cagas. Este principio de superposición para campos eléctricos matemáticamente se escribe

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots\ldots\ldots + \vec{E}_i + \ldots. + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \sum_{i=1}^{n} \frac{q}{\left|\vec{r}_0 - \vec{r}_i\right|^3} (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)$$

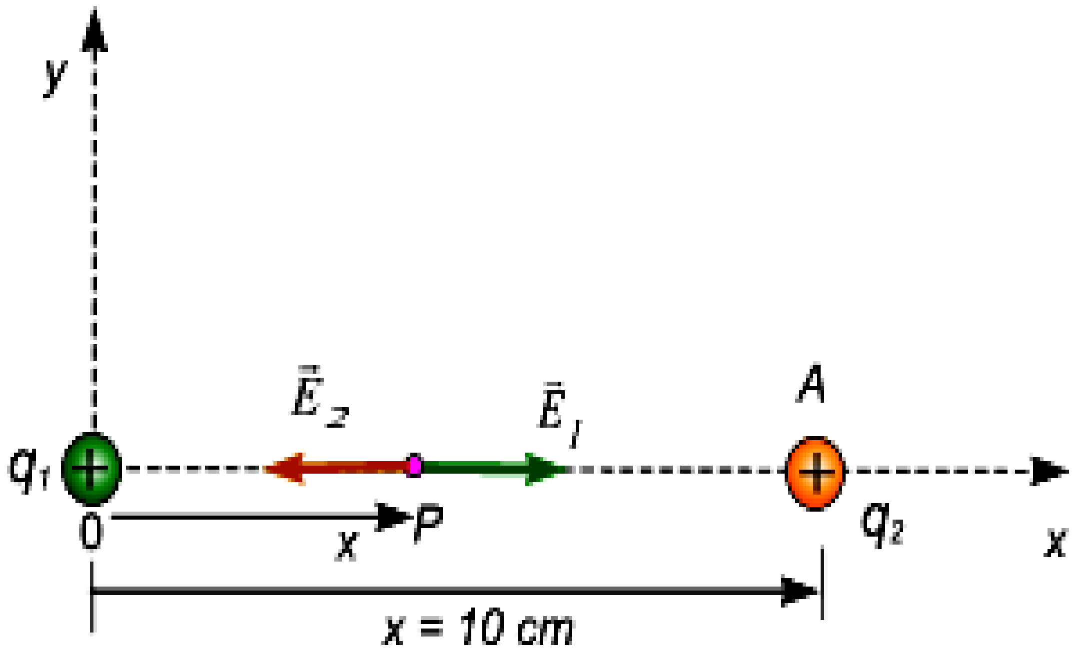


**Ejemplo** **Campo eléctrico de una carga puntual en puntos de espacio**

Una carga de *5* μC se coloca en $x = 0$ y otra de *10* μC es colocada en $x = 10\ cm$. Encuentre el punto o puntos sobre el eje $x$ donde el campo eléctrico es nulo. ¿Existen otros puntos $E = 0$?.

**Solución.**

En la figura se muestra la ubicación de las cargas en el plano xy.




Los campos eléctricos en P son

$$\vec{E}_1 = k\frac{q_1}{r_1^2}\vec{i} = 9.10^9\,\frac{5.10^{-6}}{x^2}\vec{i} = \frac{45.10^3}{x^2}\vec{i}\,(N/C)$$

$$\vec{E}_2 = k\frac{q_2}{r_2^2}(-\vec{i}) = -9.10^9\,\frac{10.10^{-6}}{(0,1-x)^2}\vec{i} = -\frac{90.10^3}{(0,1-x)^2}\vec{i}\,(N/C)$$

El campo total en el punto P será

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \left( \frac{45.10^3}{x^2} - \frac{90.10^3}{(0,1-x)^2} \right) \vec{i}$$

La condición del problema exige que el campo resultante en P deba ser nulo, entonces

$$\frac{45.10^3}{x^2} = \frac{90.10^3}{(0,1-x)^2}$$

$$x^2 + 0,2x + 0,01 = 0$$

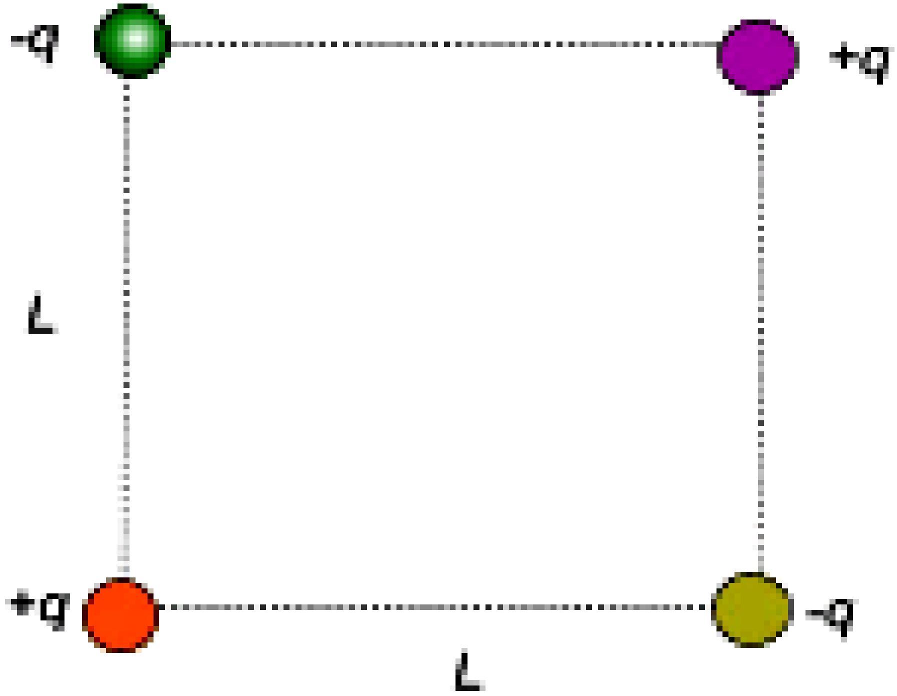
$$x = +4,14cm$$

Respecto a si existen otros puntos en los cuales el campo eléctrico puede ser cero, la respuesta es NO

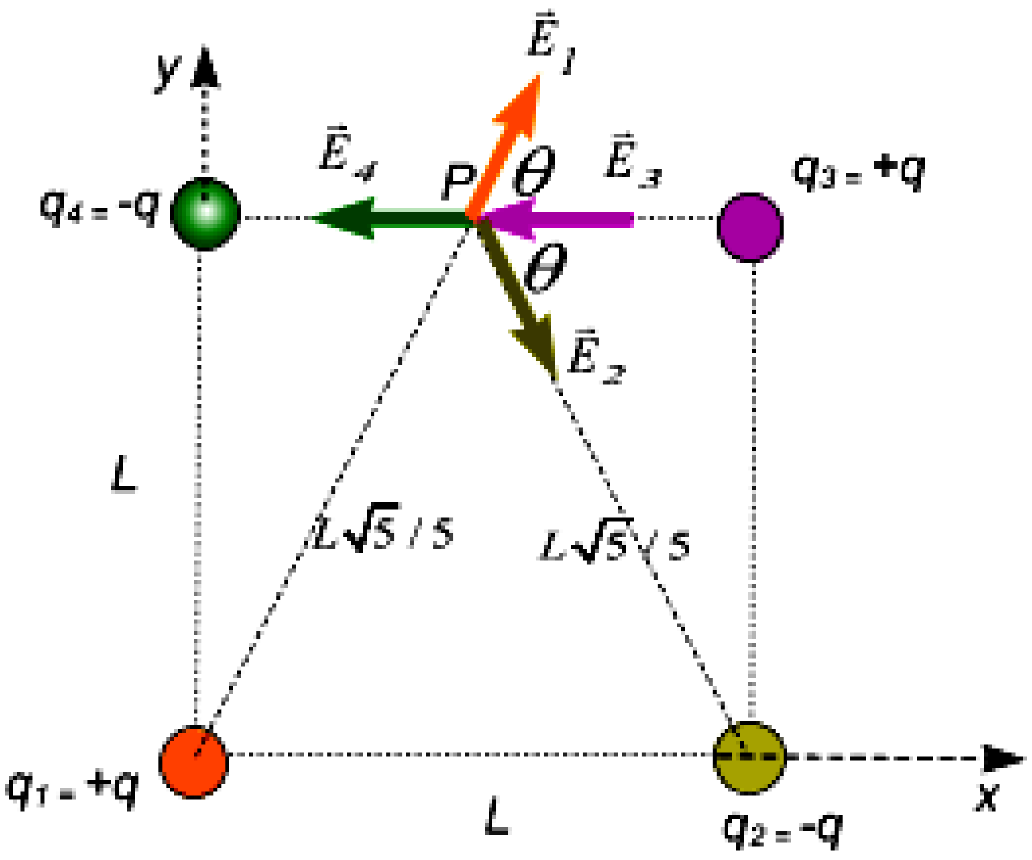
**Ejemplo. Campo eléctrico de un sistema de cargas puntuales**

Cuatro cargas del mismo valor están dispuestas en los vértices de un cuadrado de lado *L*, como se muestra en la figura. Demostrar que el campo eléctrico debido a las cuatro cargas en el punto medio de uno de los lados del cuadrado está dirigido a lo largo de dicho lado hacia la carga negativa y que su valor es.

$$E = \frac{8kq}{L^2}\left(1 - \frac{\sqrt{5}}{25}\right)$$



## Solución




Para demostrar lo solicitado, escojamos el punto P mostrado en la figura y tracemos los campos correspondientes. Los campos eléctrico en el punto P punto medio del lado son:

$$\vec{E}_1 = \frac{kq_1}{r_1^2}(\cos\theta\vec{i} + sen\theta\vec{j}) = \frac{kq}{r^2}(\cos\theta\vec{i} + sen\theta\vec{j})$$

$$\vec{E}_2 = \frac{kq_2}{r_2^2}(\cos\theta\vec{i} - sen\theta\vec{j}) = \frac{kq}{r^2}(\cos\theta\vec{i} - sen\theta\vec{j})$$

$$\vec{E}_3 = -\frac{kq_3}{r_3^2}\vec{i} = -\frac{kq}{r_3^2}\vec{i}$$

$$\vec{E}_4 = -\frac{kq_4}{r_4^2}\vec{i} = -\frac{kq}{r_4^2}\vec{i}$$

El campo resultante en el punto P será

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

$$\vec{E} = \left[ \frac{2kq}{r^2} \cos\theta - \frac{kq}{r_3^2} - \frac{kq}{r_4^2} \right] \vec{i} + 0\vec{j} = \left[ \frac{2kq}{(\frac{L\sqrt{5}}{2})^2} \frac{\frac{L}{2}}{\frac{L\sqrt{5}}{2}} - \frac{kq}{(\frac{L}{2})^2} - \frac{kq}{(\frac{L}{2})^2} \right] \vec{i}$$

$$\vec{E} = \frac{8kq}{L^2} \left( \frac{\sqrt{5}}{25} - 1 \right) \vec{i}$$

El modulo del campo será

$$\boxed{\left|\vec{E}\right| = \frac{8kq}{L^2} \left( 1 - \frac{\sqrt{5}}{25} \right)}$$