

Electricidad

Benjamin Franklin (1706-1790)

- Cargas positivas y negativas

Robert Millikan (1868-1953)

- Carga es múltiplo de

e = carga del electrón

Electricidad

TABLE 23.1 Charge and Mass of the Electron, Proton, and Neutron

Particle	Charge (C)	Mass (kg)
Electron (e)	$-1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$9.109\,5 \times 10^{-31}$
Proton (p)	$+1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$1.672\,61 \times 10^{-27}$
Neutron (n)	0	$1.674\,92 \times 10^{-27}$

Propiedades de la carga eléctrica

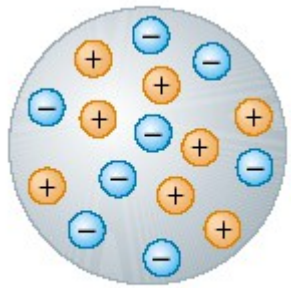
- Cargas diferentes se atraen, e iguales se repelen.
- La fuerza entre las cargas varía con el inverso al cuadrado de la distancia que las separa.
- La carga se conserva.
- La carga está cuantizada.

Conductores y No-Conductores

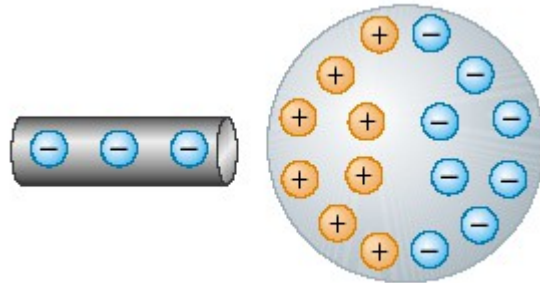
- Los conductores son materiales en que las cargas eléctricas tienen libertad de movimiento.
- En los no-conductores (aisladores), las cargas tienen mucha dificultad para moverse (*)

(*) Depende del potencial aplicado.

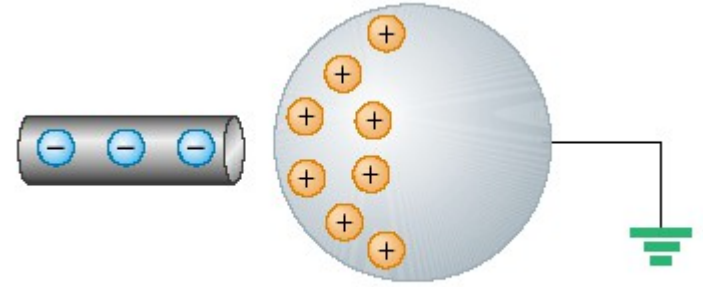
Carga por inducción



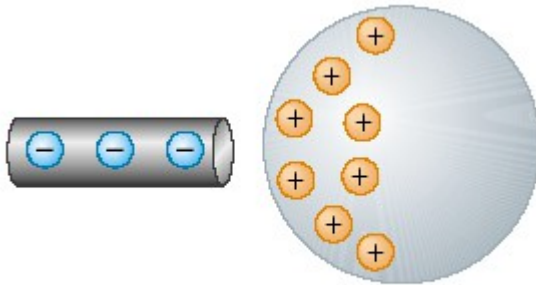
(a)



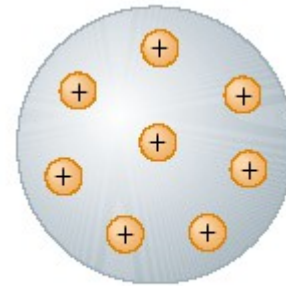
(b)



(c)



(d)



(e)

Ley de Coulomb (1875)

- Fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación.
- Fuerza proporcional al producto de las cargas q_1 y q_2 .
- Fuerza atractiva si las cargas son distintas y repulsiva si son iguales.

Ley de Coulomb (forma escalar)

$$F_e = k_e \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$k_e = 8.987\,5 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

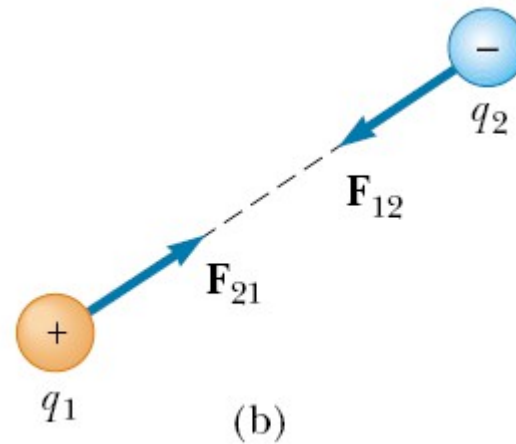
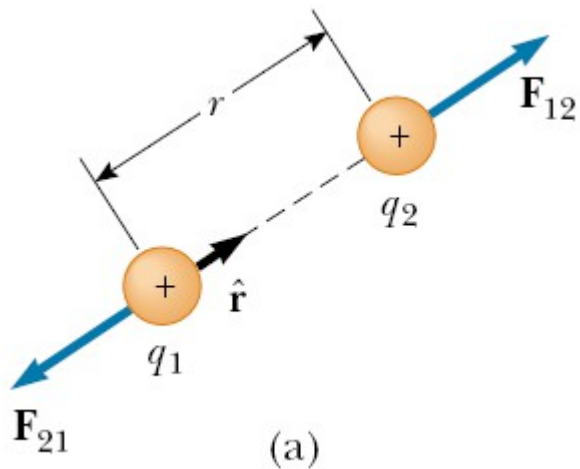
$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \epsilon_0 = 8.854\,2 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

q carga en [C] Coulomb

r distancia en [m] Metros

Ley de Coulomb (forma vectorial)

$$\mathbf{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$



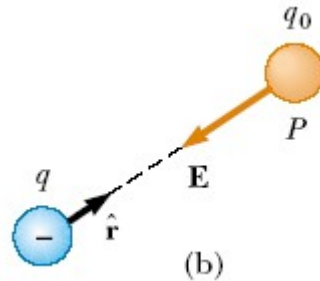
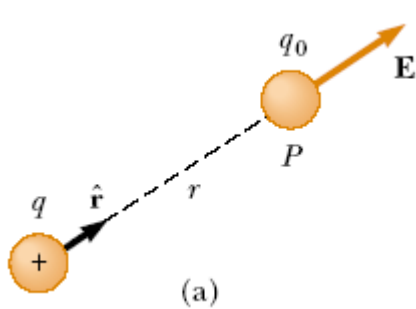
Campo Eléctrico

- Gravitacional: $\mathbf{g} \equiv \mathbf{F}_g / m$
- El vector campo eléctrico \mathbf{E} en un punto del espacio se define como la fuerza \mathbf{F}_e que actúa sobre una carga de prueba positiva situada en ese punto dividida por la magnitud de la carga de prueba q_0

Ecuación vectorial

$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}_e}{q_0}$$

Campo Eléctrico



$$\mathbf{F}_e = k_e \frac{qq_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Pero por definición $\mathbf{E} = \mathbf{F} / q_0$

$$\mathbf{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

El campo eléctrico total debido a un grupo de cargas es igual al vector suma de los campos eléctricos de todas las cargas.

Esto es lo que se llama Principio de superposición, y permite expresar el campo eléctrico como:

$$\mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

L

Problema ejemplo:

Los electrones y protones de un átomo de Hidrógeno, están separados por aproximadamente $5,3 \times 10^{-11} [\text{m}]$. Encuentre la magnitud de la Fuerza eléctrica y de la Fuerza gravitacional entre ambas partículas.

Usando la Ley de Gravitación de Newton:

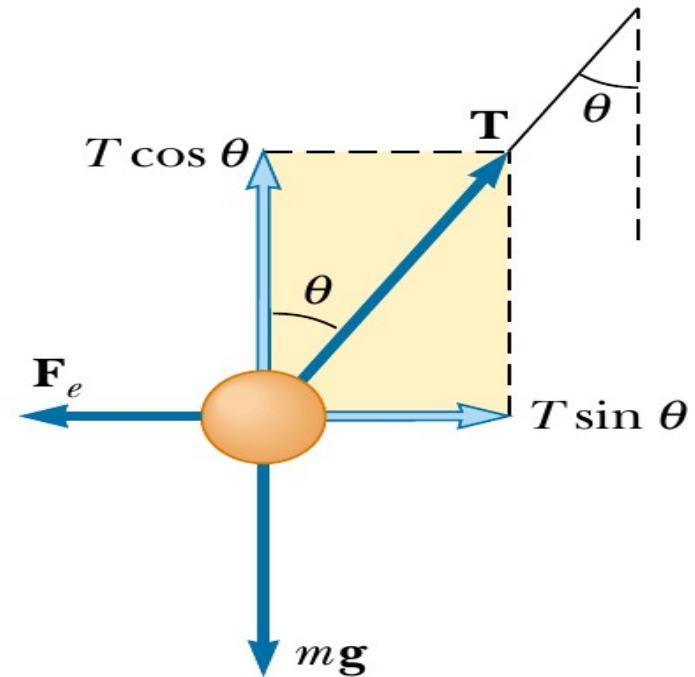
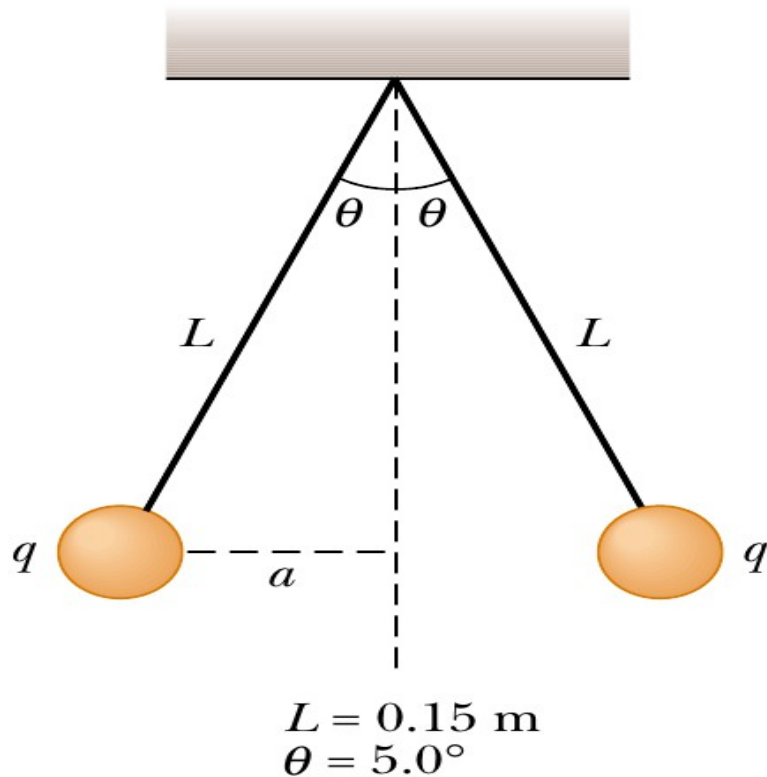
$$\begin{aligned} F_g &= G \frac{m_e m_p}{r^2} \\ &= \left(6.7 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \right) \\ &= \times \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} \\ &= 3.6 \times 10^{-47} \text{ N} \end{aligned}$$

Usando la Ley de Coulomb:

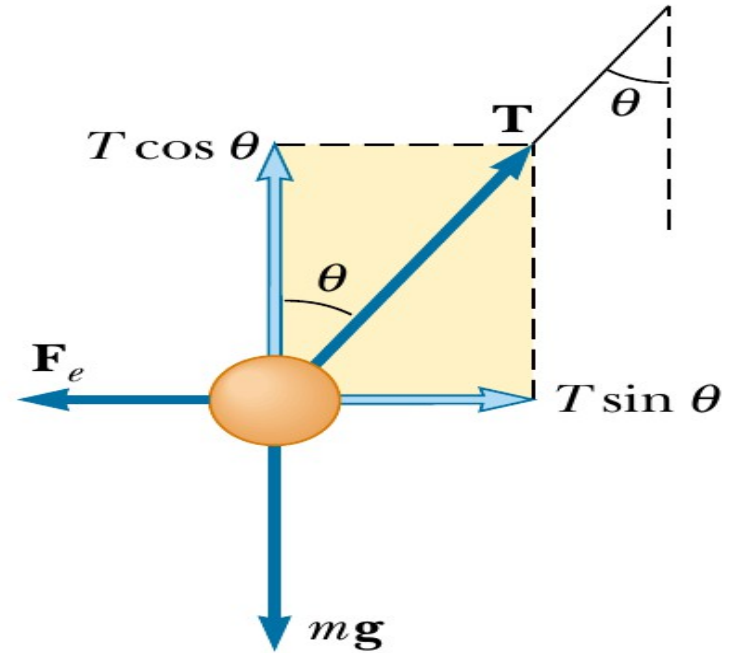
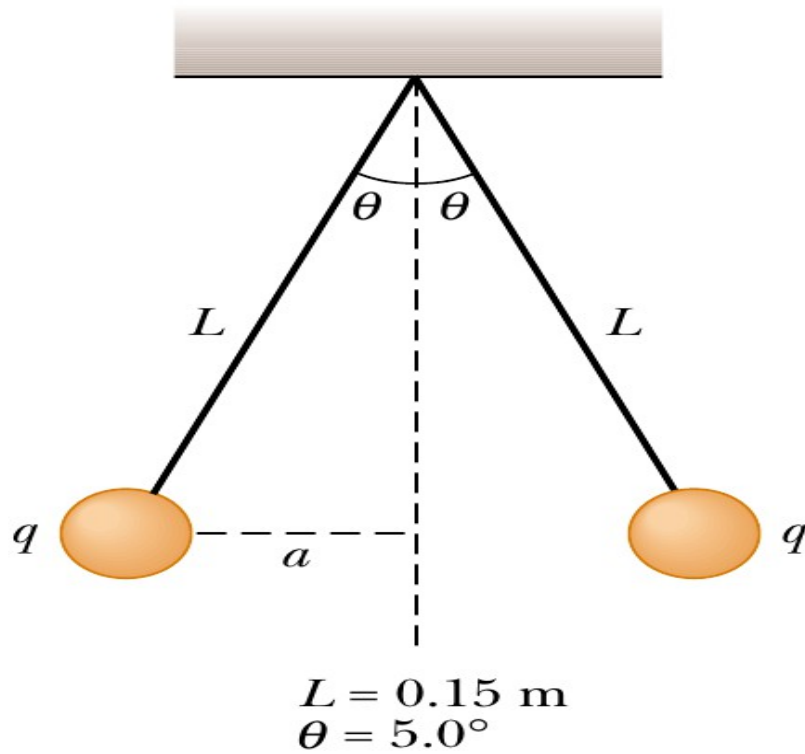
$$F_e = k_e \frac{|e|^2}{r^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$
$$= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$F_e / F_g \approx 2 \times 10^{39}$$

Dos esferas cargadas idénticas, cada una con masa 3×10^{-2} [Kg], están en equilibrio, como muestra la figura:



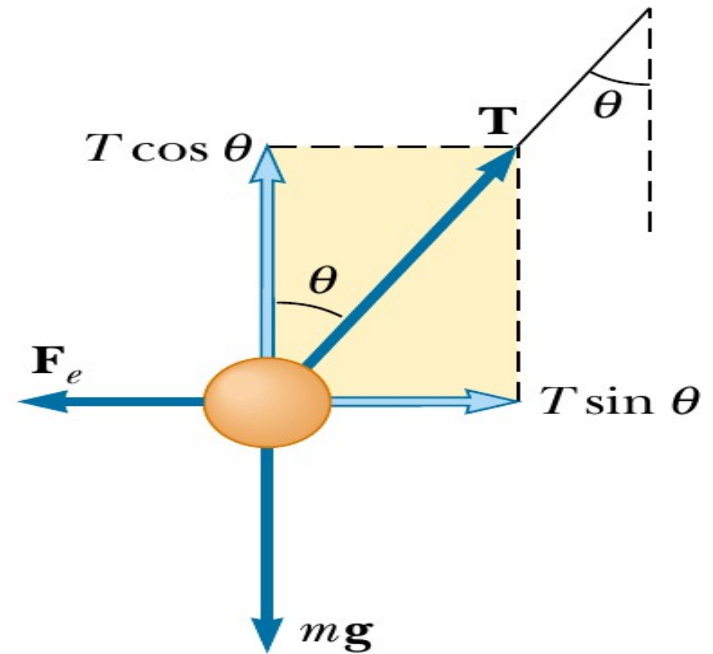
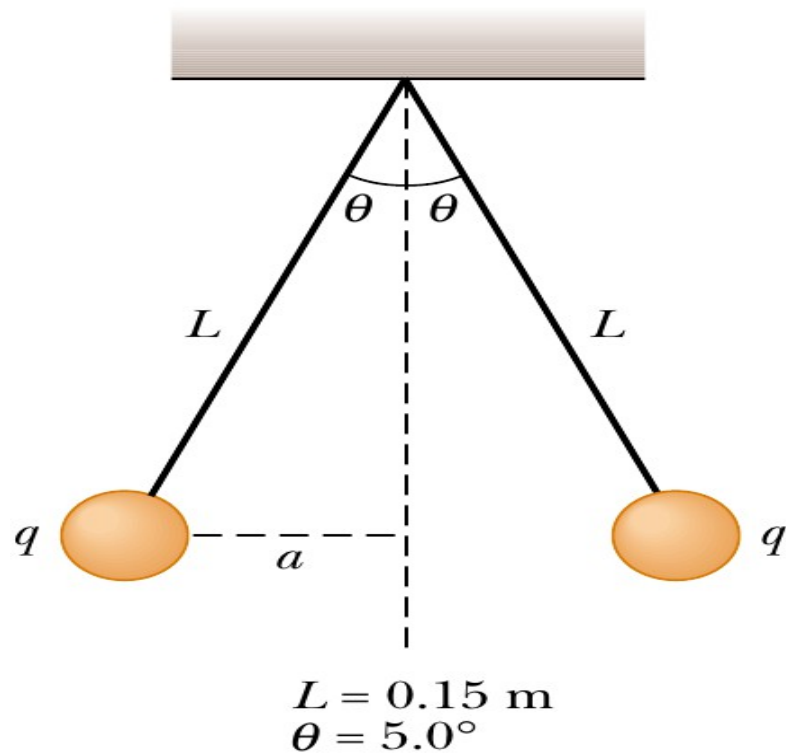
Se pide calcular la fuerza de eléctrica y la carga.



$$\sin \theta = a/L$$

Separación entre esferas:

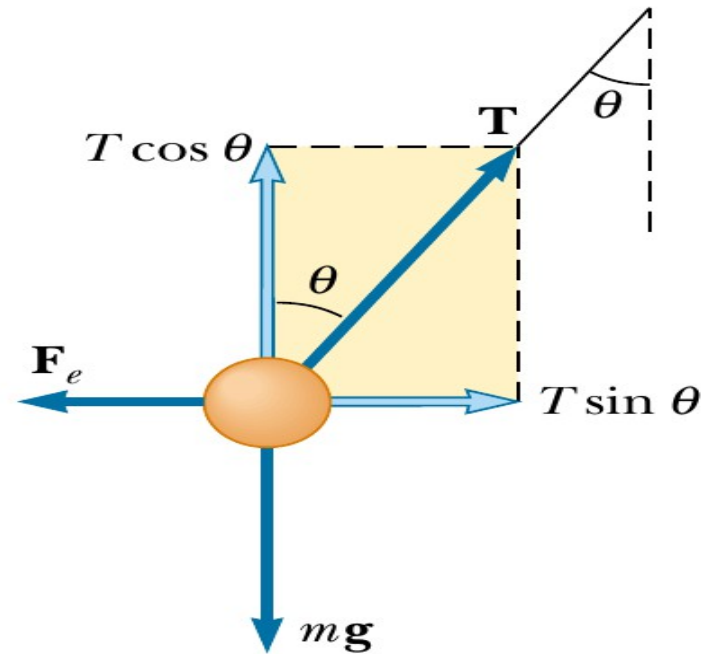
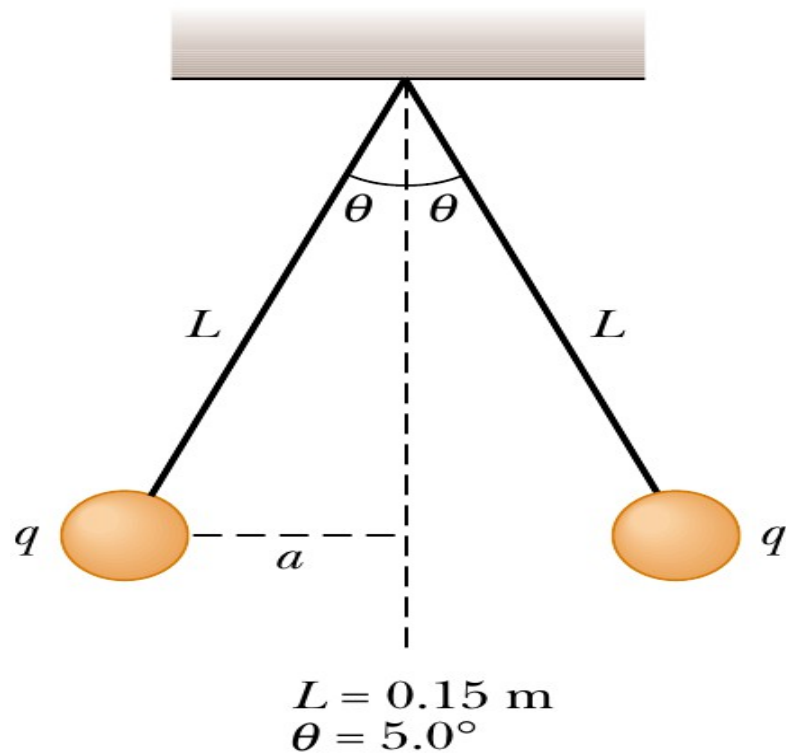
$$a = L \sin \theta = (0.15 \text{ m}) \sin 5.0^\circ = 0.013 \text{ m}$$



$$(1) \quad \sum F_x = T \sin \theta - F_e = 0$$

$$(2) \quad \sum F_y = T \cos \theta - mg = 0$$

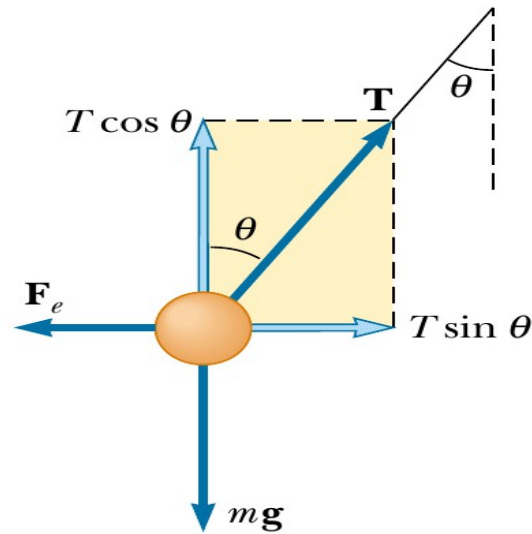
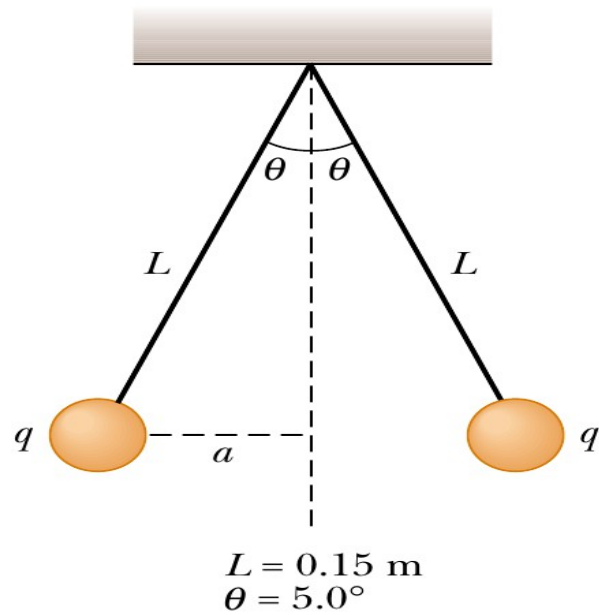
$$T = mg / \cos \theta$$



$$F_e = mg \tan \theta$$

$$= (3.0 \times 10^{-2} \text{ kg}) (9.80 \text{ m/s}^2) \tan 5.0^\circ$$

$$= 2.6 \times 10^{-2} \text{ N}$$

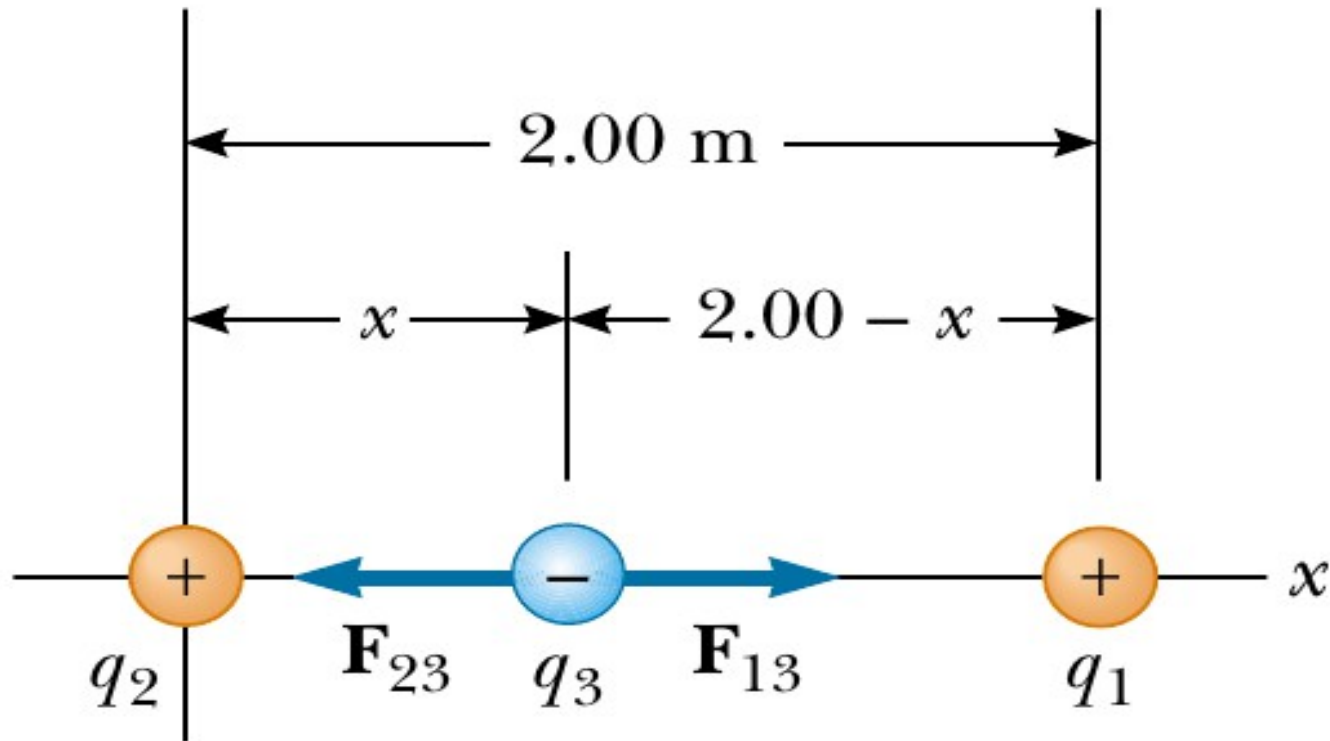


$$F_e = k_e \frac{|q|^2}{r^2}$$

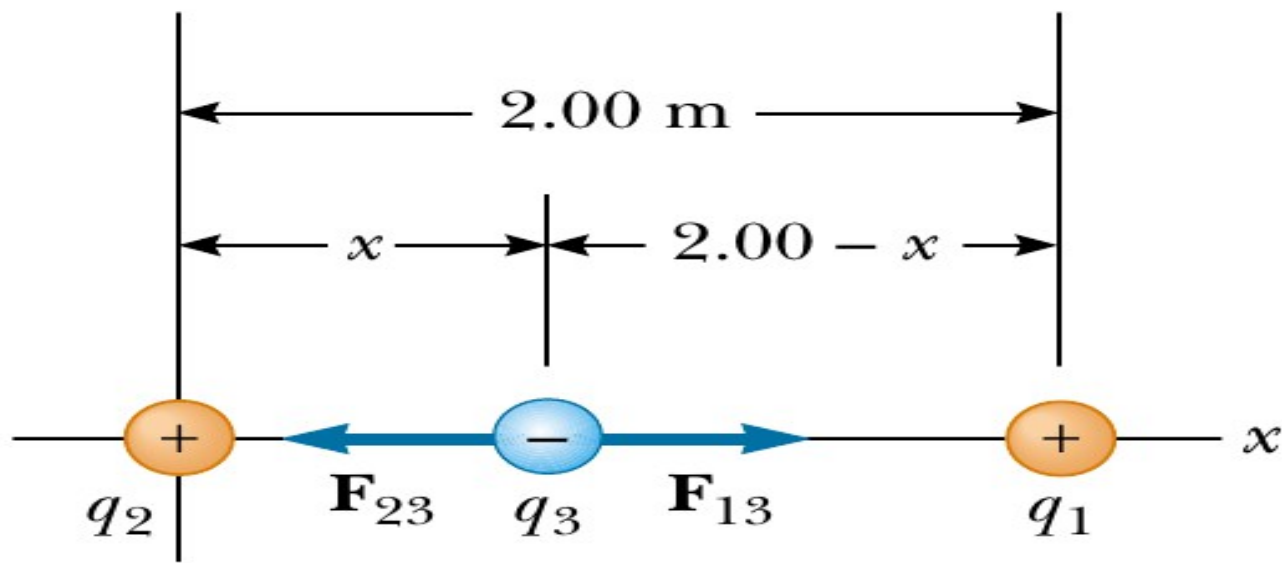
$$|q|^2 = \frac{F_e r^2}{k_e} = \frac{(2.6 \times 10^{-2} \text{ N})(0.026 \text{ m})^2}{8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2}$$

$$|q| = 4.4 \times 10^{-8} \text{ C}$$

Tres cargas puntuales se encuentran a lo largo del eje x . La carga $q_1=15[\mu\text{C}]$ está en $x=2[\text{m}]$, la carga $q_2=6[\mu\text{C}]$ está en el origen, y la fuerza resultante sobre q_3 es cero.



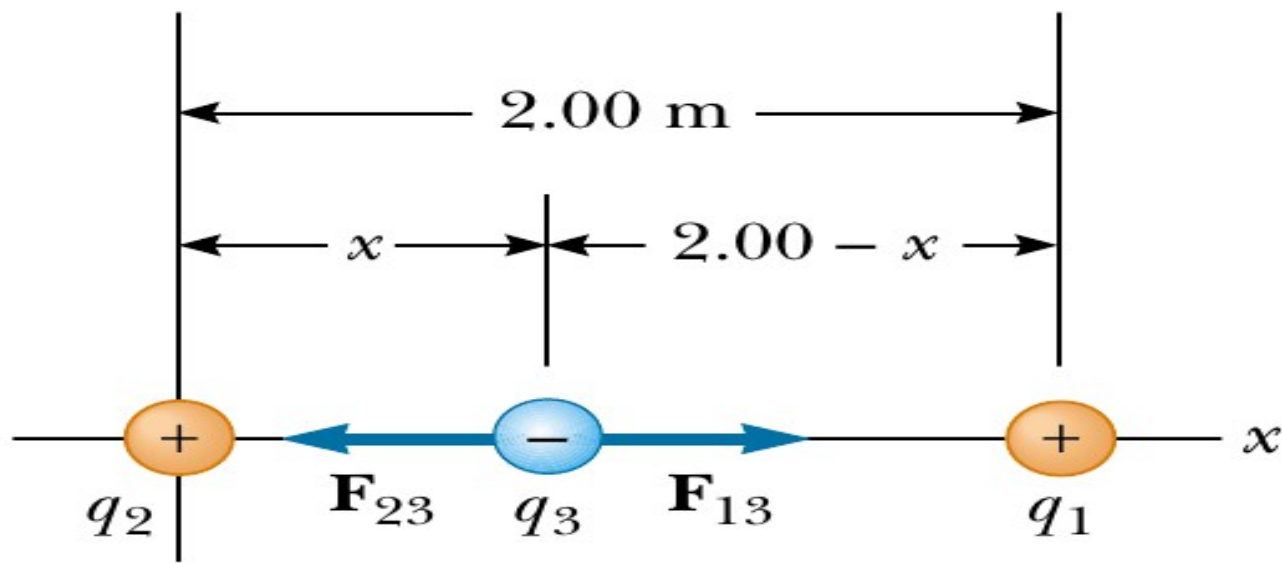
Cuál es la coordenada de q_3 ?



Como q_3 es negativa, y q_1 , q_2 son positivas, las fuerzas que se ejercen son atractivas:

$$F_{13} = k_e \frac{|q_1| |q_3|}{(2.00 - x)^2}$$

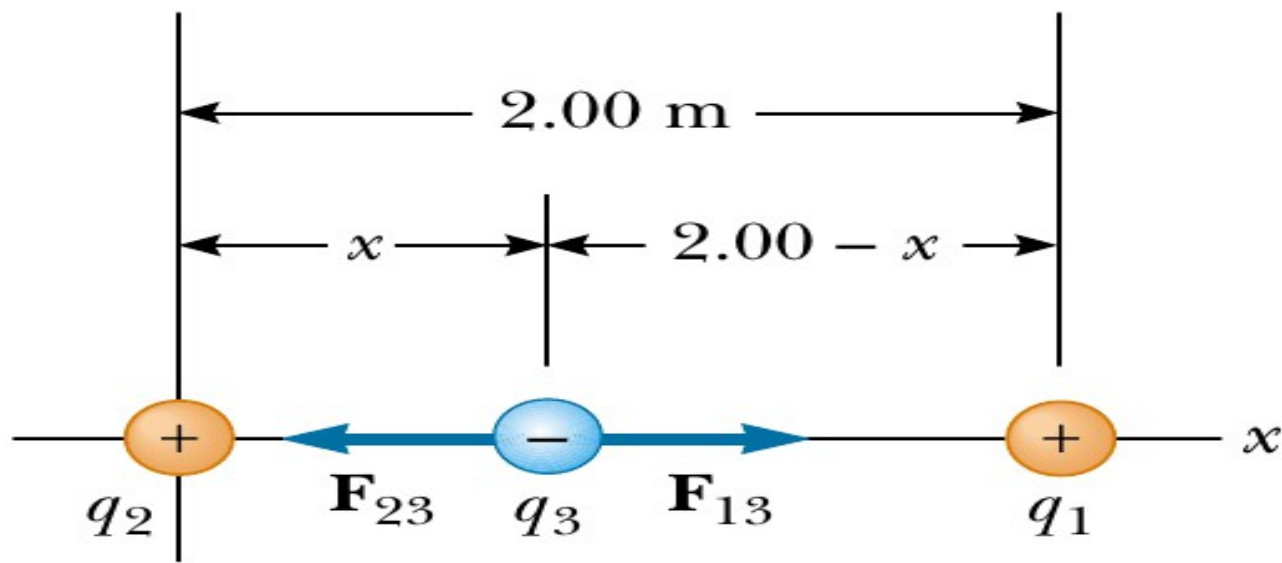
$$F_{23} = k_e \frac{|q_2| |q_3|}{x^2}$$



La fuerza sobre q_3 es cero:

$$k_e \frac{|q_2| |q_3|}{x^2} = k_e \frac{|q_1| |q_3|}{(2.00 - x)^2}$$

Notar que no se necesita el valor de q_3 .



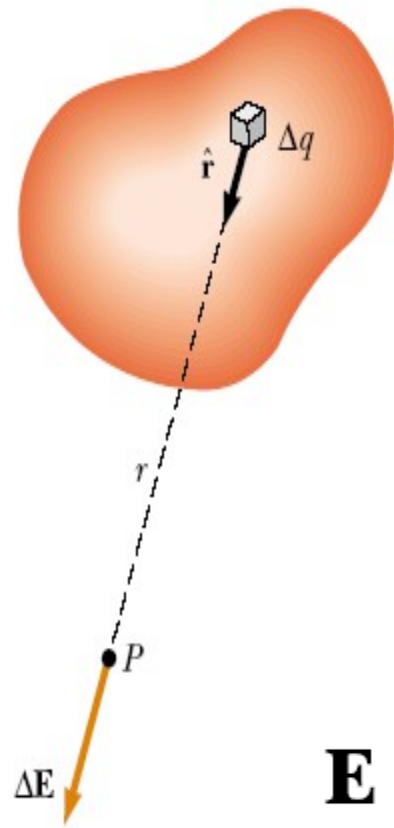
La fuerza sobre q_3 es cero:

$$(2.00 - x)^2 |q_2| = x^2 |q_1|$$

$$x = 0.775 \text{ m.}$$

Notar que no se necesita el valor de q_3 .

Distribución de carga continua



$$\Delta \mathbf{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\mathbf{E} \approx k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

$$\mathbf{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Densidad de carga

- Volumetrica

$$\rho \equiv \frac{Q}{V}$$

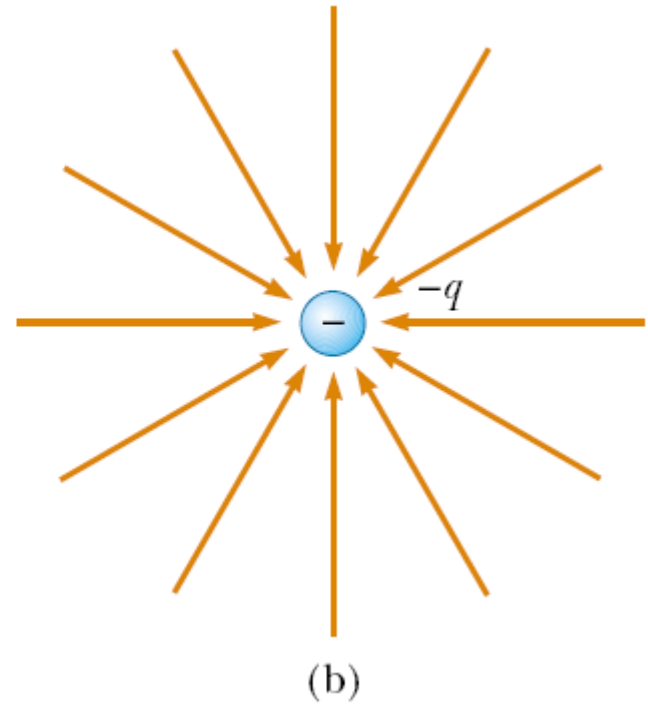
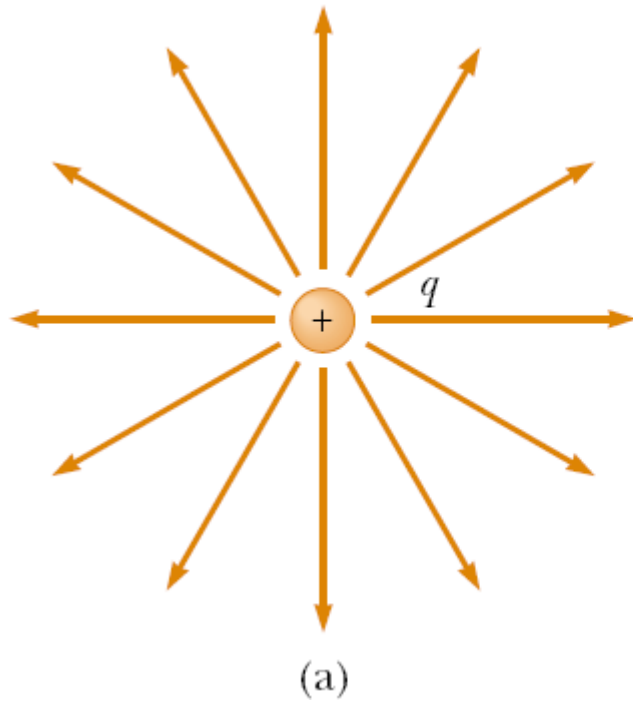
- Superficial

$$\sigma \equiv \frac{Q}{A}$$

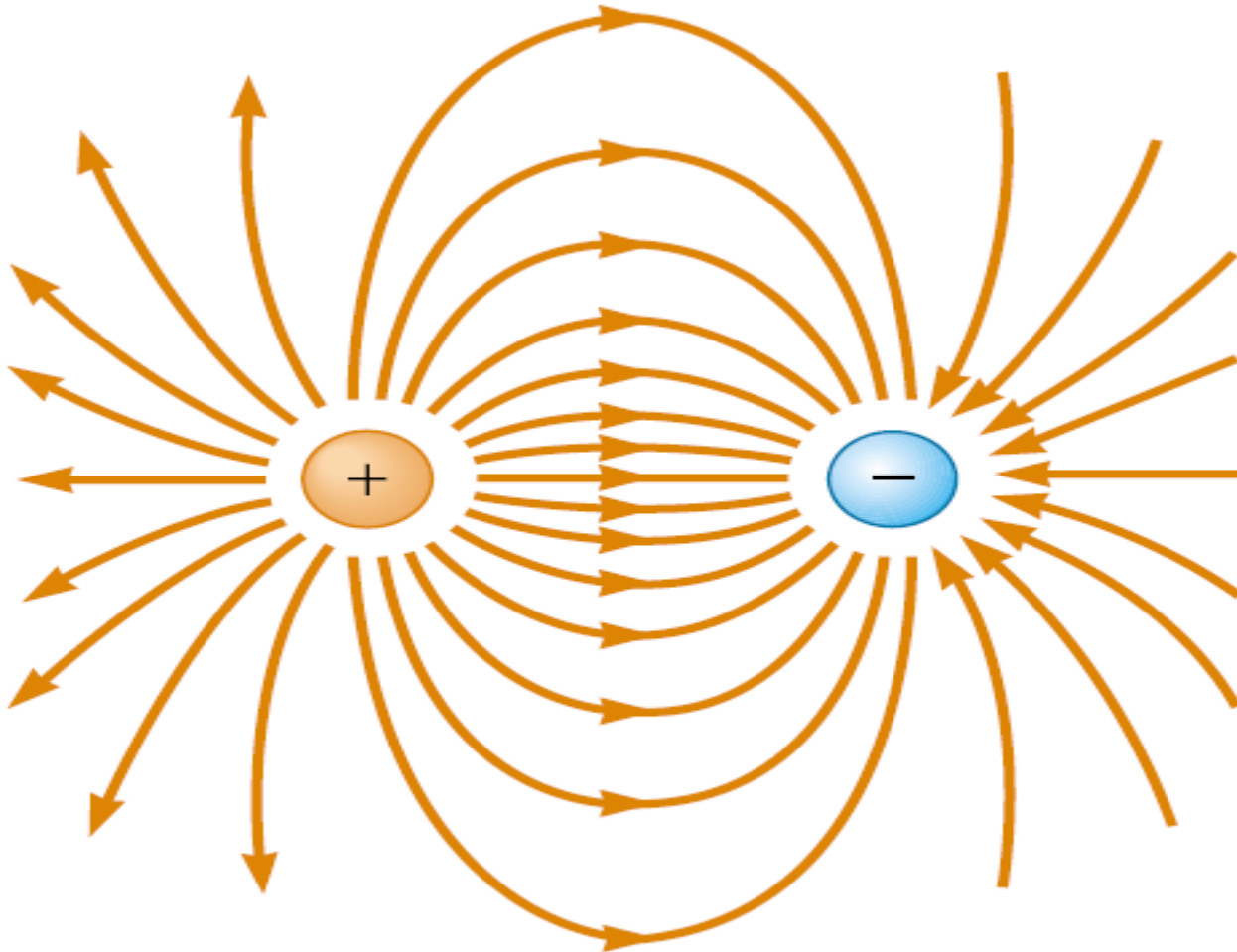
- Lineal

$$\lambda \equiv \frac{Q}{\ell}$$

Líneas de Campo Eléctrico

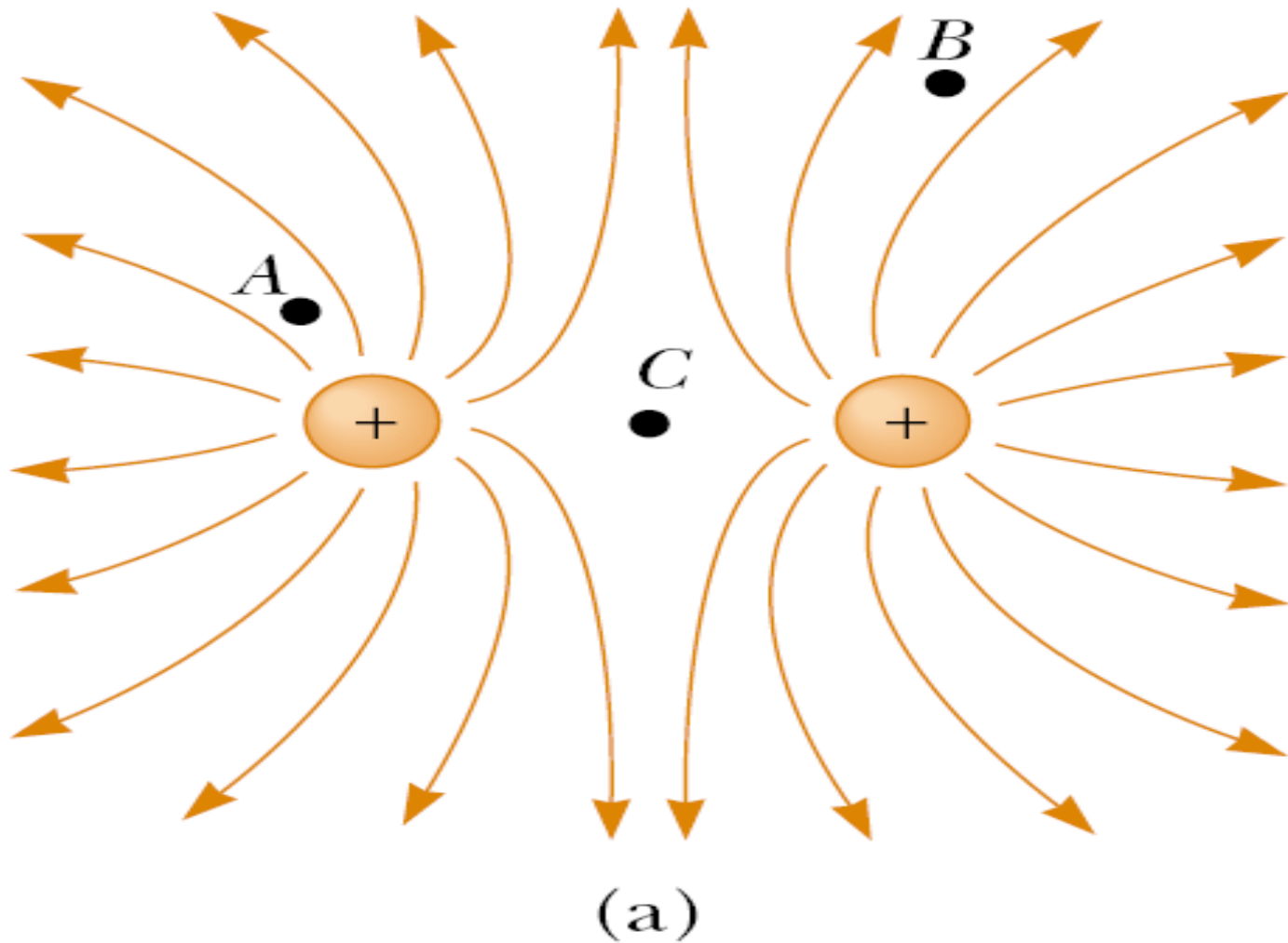


Líneas de Campo Eléctrico

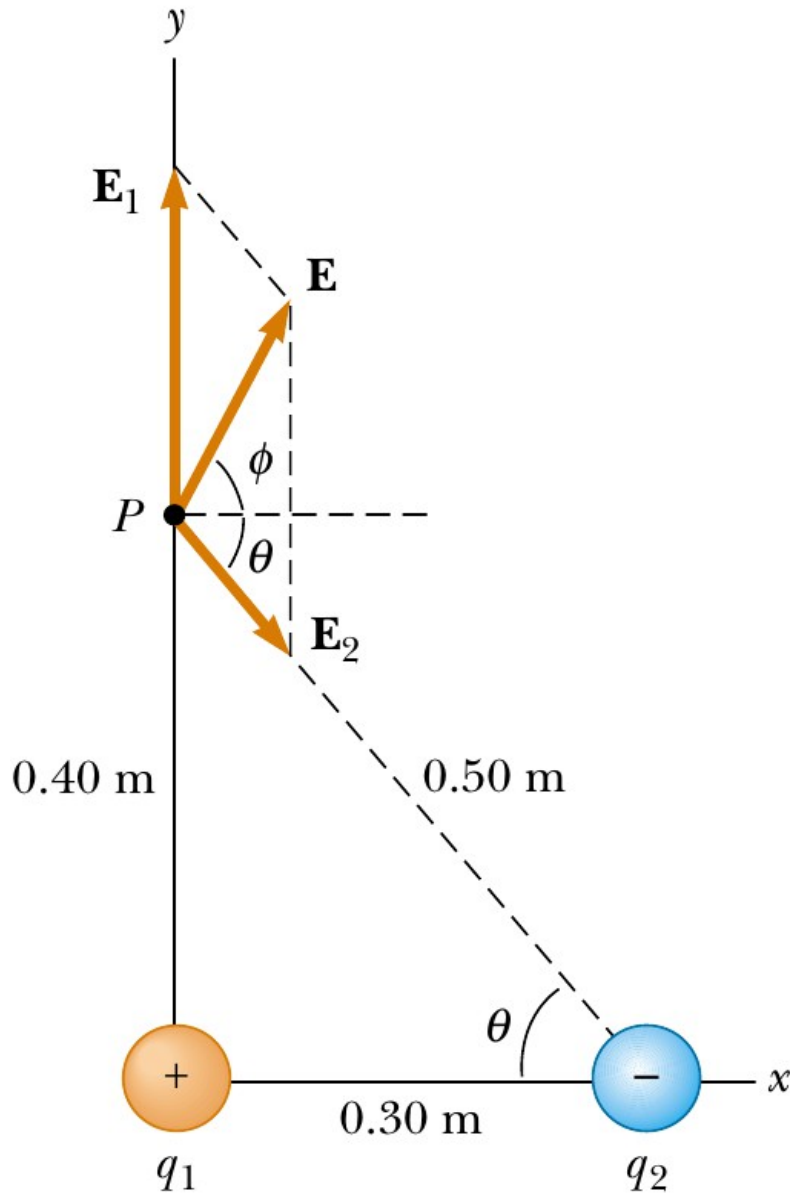


(a)

Líneas de Campo Eléctrico



Campo Eléctrico



Una carga $q_1=7[\mu\text{C}]$ está localizada en el origen, y una segunda carga $q_2=-5[\mu\text{C}]$ está en la posición $x=0,3[\text{m}]$

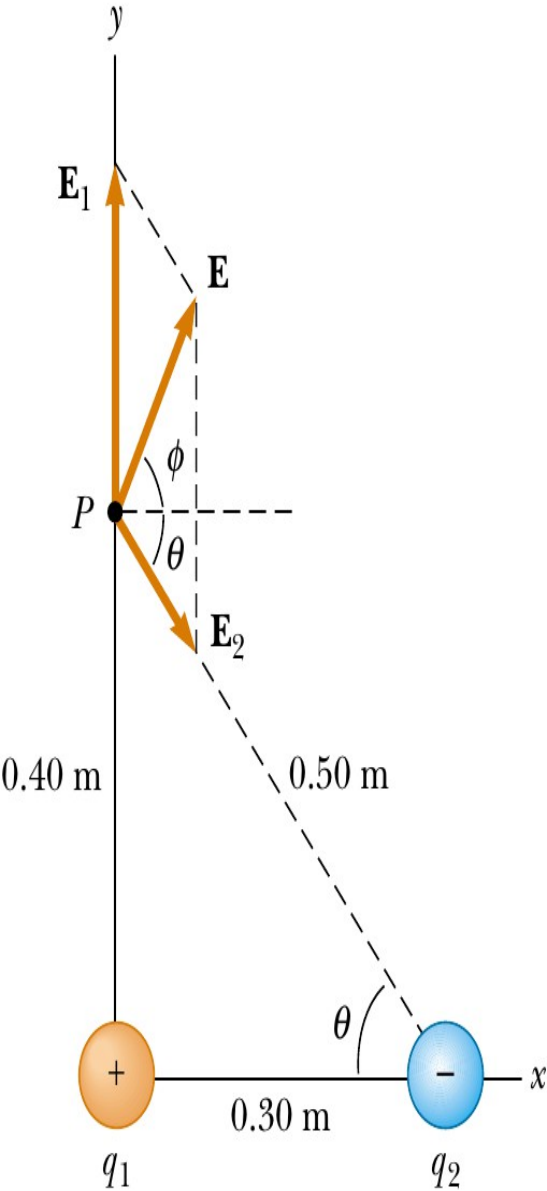
Encuentre el campo eléctrico en el punto P, en la posición $y=0,4[\text{m}]$.

Campo Eléctrico

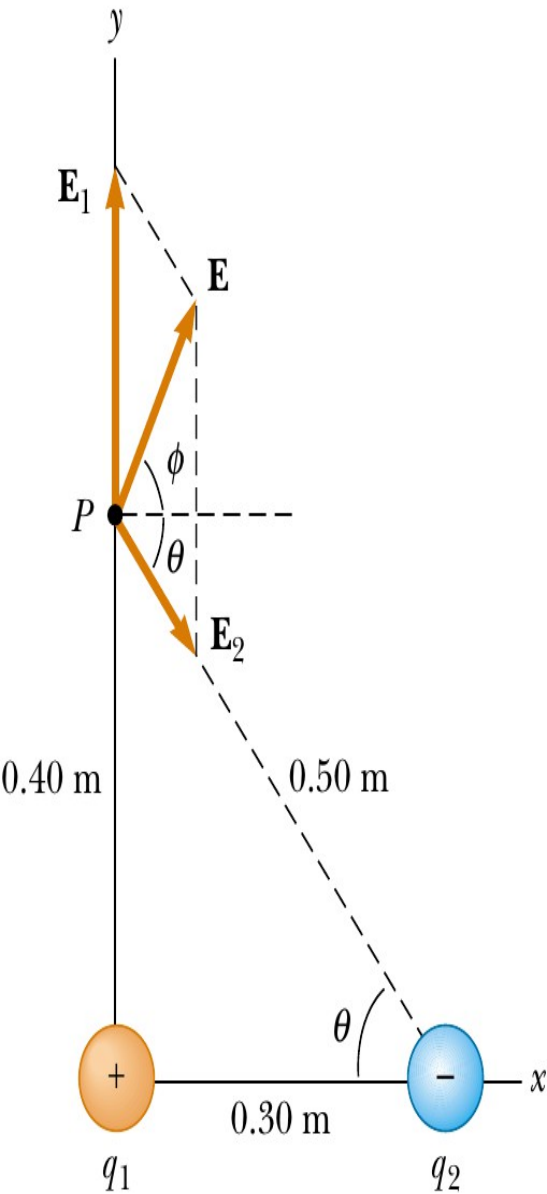
Sean E_1 y E_2 los campos producidos por las cargas q_1 y q_2 respectivamente, entonces:

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(7.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.40 \text{ m})^2}$$
$$= 3.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.50 \text{ m})^2}$$
$$= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$



Campo Eléctrico



$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(7.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.40 \text{ m})^2}$$

$$= 3.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.50 \text{ m})^2}$$

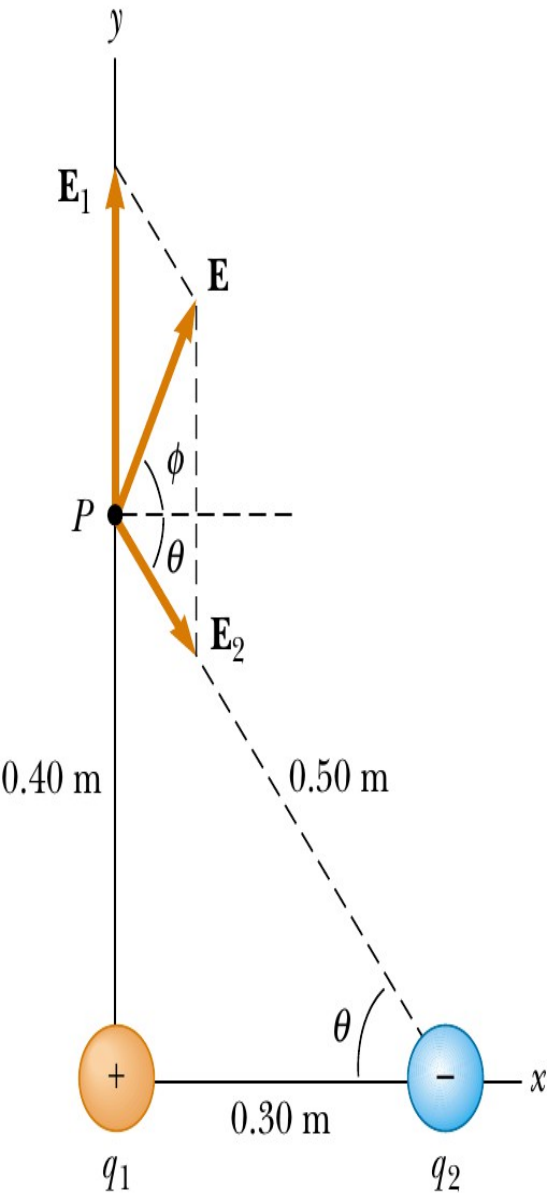
$$= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

Notar que E_1 sólo tiene componente “y”, en cambio E_2 tiene componentes “x” e “y”:

$$E_2 \cos \theta = \frac{3}{5} E_2 \quad - E_2 \sin \theta = -\frac{4}{5} E_2$$

respectivamente.

Campo Eléctrico



$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(7.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.40 \text{ m})^2}$$

$$= 3.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.50 \text{ m})^2}$$

$$= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

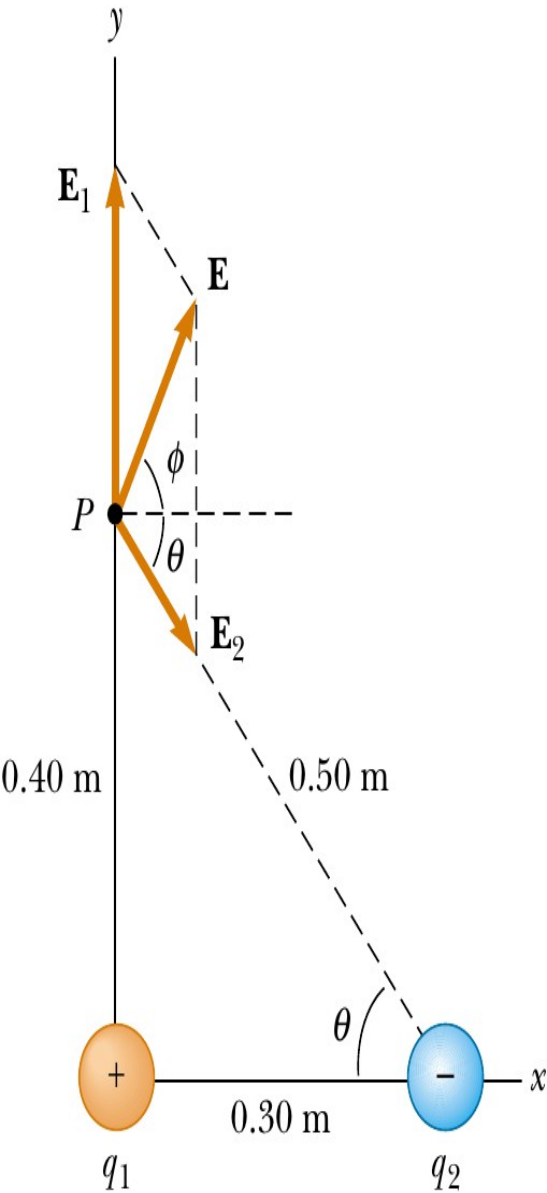
$$E_2 \cos \theta = \frac{3}{5} E_2 \quad - E_2 \sin \theta = -\frac{4}{5} E_2$$

De modo que vectorialmente escribimos:

$$\mathbf{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \mathbf{j} \text{ N/C}$$

$$\mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \mathbf{i} - 1.4 \times 10^5 \mathbf{j}) \text{ N/C}$$

Campo Eléctrico



$$\mathbf{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \mathbf{j} \text{ N/C}$$

$$\mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \mathbf{i} - 1.4 \times 10^5 \mathbf{j}) \text{ N/C}$$

Así entonces, el campo eléctrico total resultante en el punto P, está dado por:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \mathbf{i} + 2.5 \times 10^5 \mathbf{j}) \text{ N/C}$$

Que es la superposición de \mathbf{E}_1 y \mathbf{E}_2 .

Campo Eléctrico

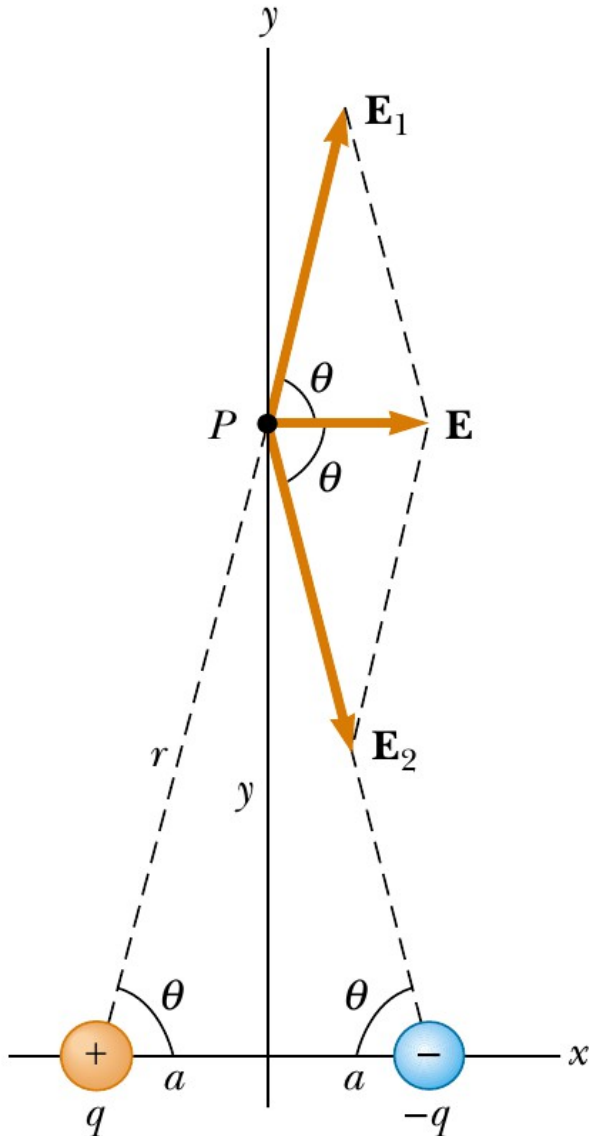
Dipolo eléctrico (ejemplo: molécula de HCl)

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

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

Las componentes “y” de ambos campos se anulan, y las componentes “x” se suman. Por lo tanto \mathbf{E} es paralelo al eje “x” y tiene magnitud:

$$2E_1 \cos \theta$$



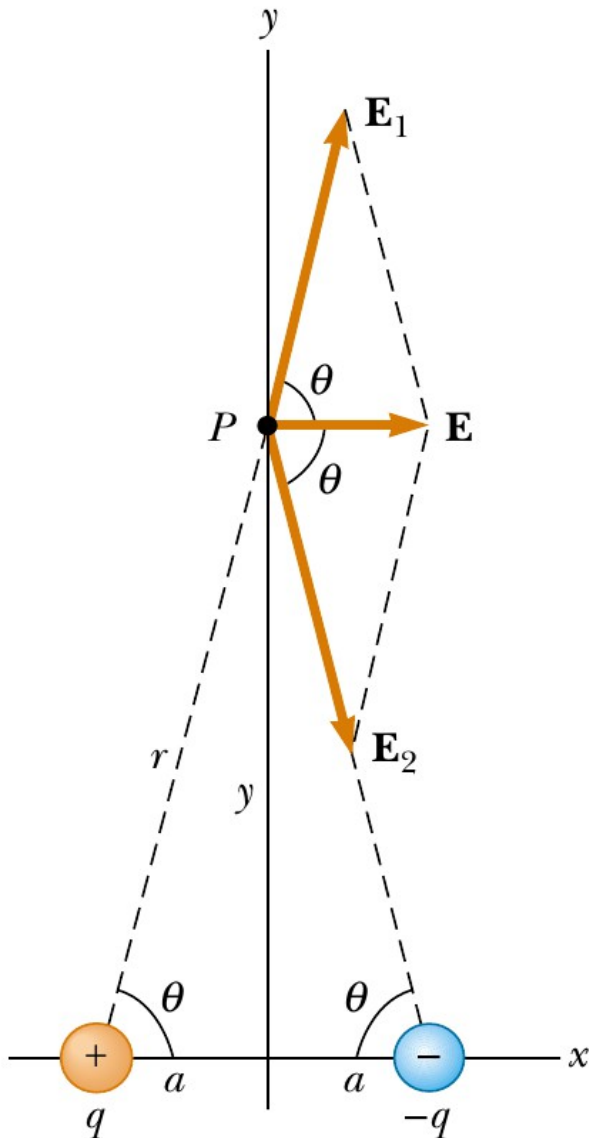
Campo Eléctrico

$$2E_1 \cos \theta$$

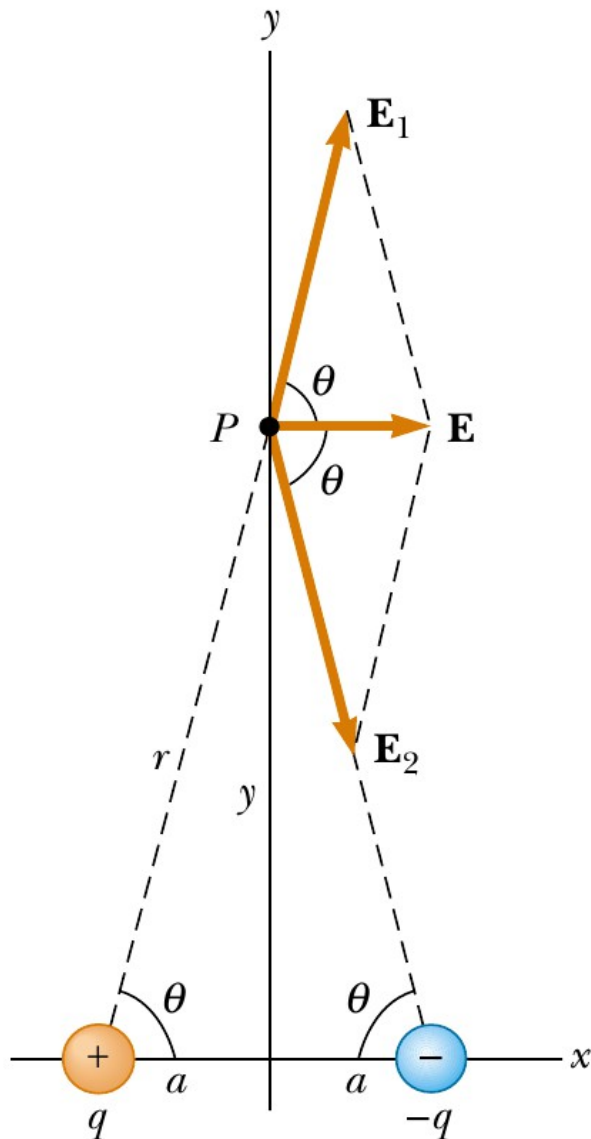
$$E_1 = E_2 = k_e \frac{q}{r^2} = k_e \frac{q}{y^2 + a^2}$$

De la figura, podemos ver que:

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



Campo Eléctrico



$$2E_1 \cos \theta$$

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

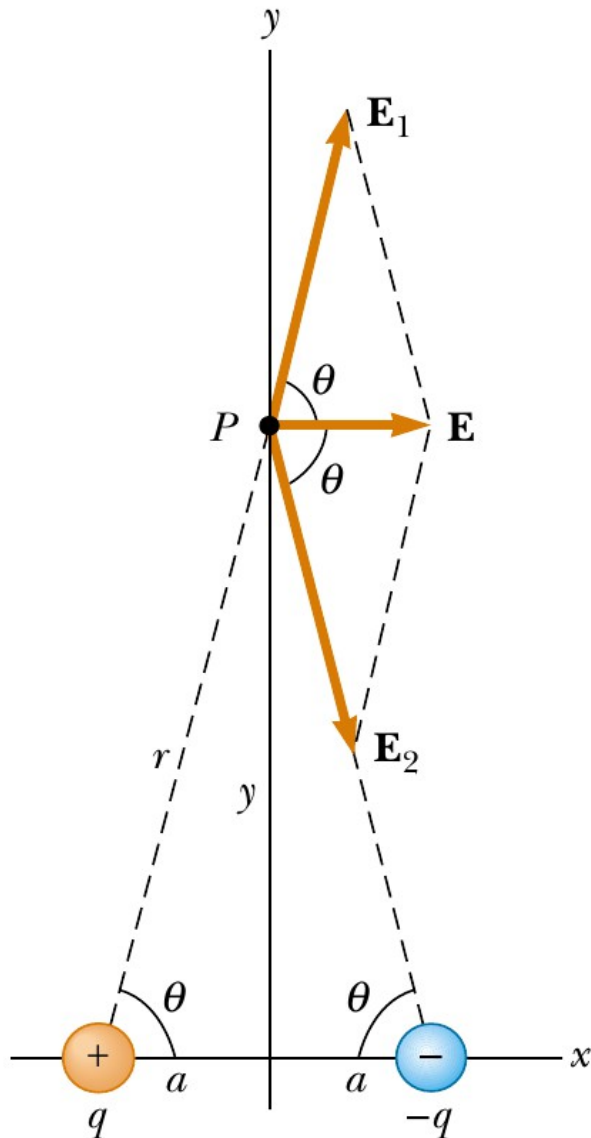
$$\cos \theta = a/r = a/(y^2 + a^2)^{1/2}$$

Podemos entonces escribir:

$$E = 2E_1 \cos \theta = 2k_e \frac{q}{(y^2 + a^2)} \frac{a}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

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

Campo Eléctrico



$$E = 2E_1 \cos \theta = 2k_e \frac{q}{(y^2 + a^2)} \frac{a}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$
$$= k_e \frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

Usando la aproximación:

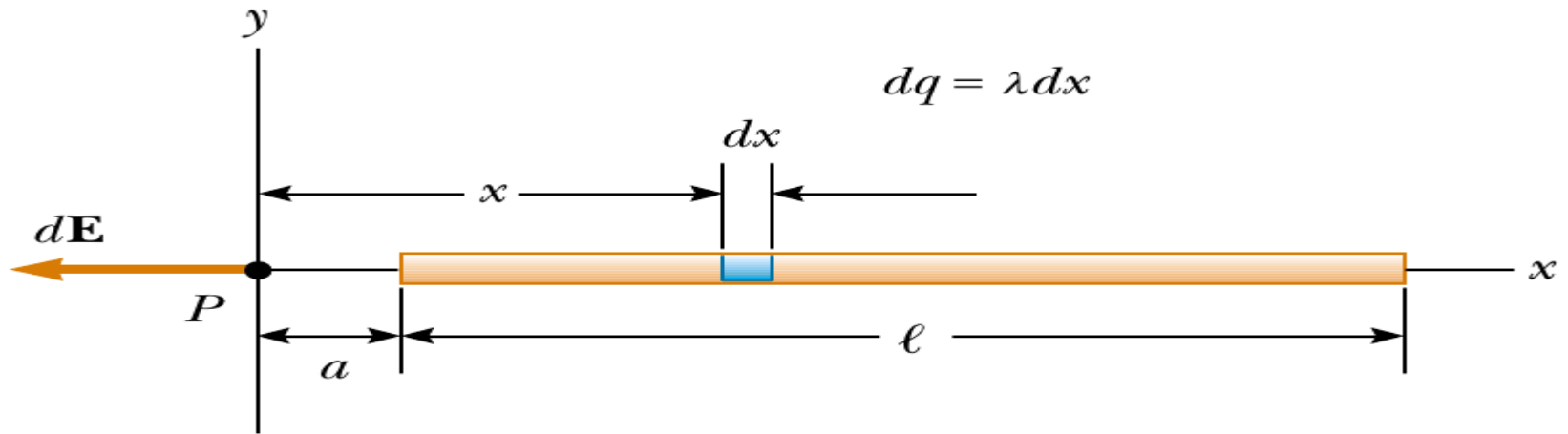
$$y \gg a$$

Podemos escribir:
(dimensionalmente
correcto)

$$E \approx k_e \frac{2qa}{y^3}$$

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:

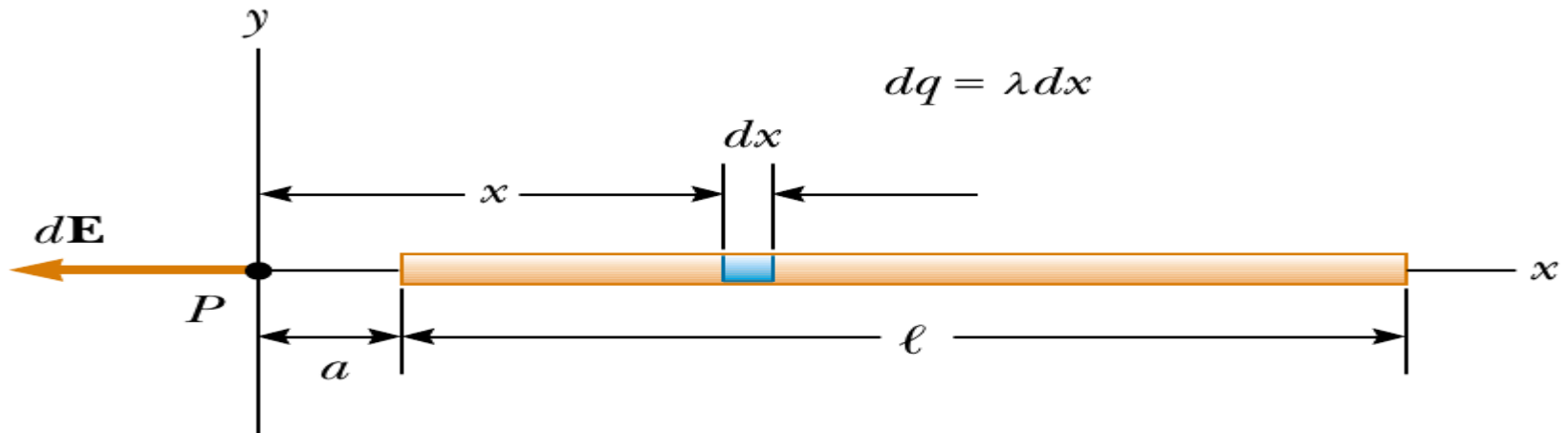


La barra de largo “ ℓ ” tiene densidad lineal de carga “ λ ”, y carga total Q .

Se pide calcular el campo eléctrico en el punto P , a una distancia “ a ” del extremo izquierdo de la barra.

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:

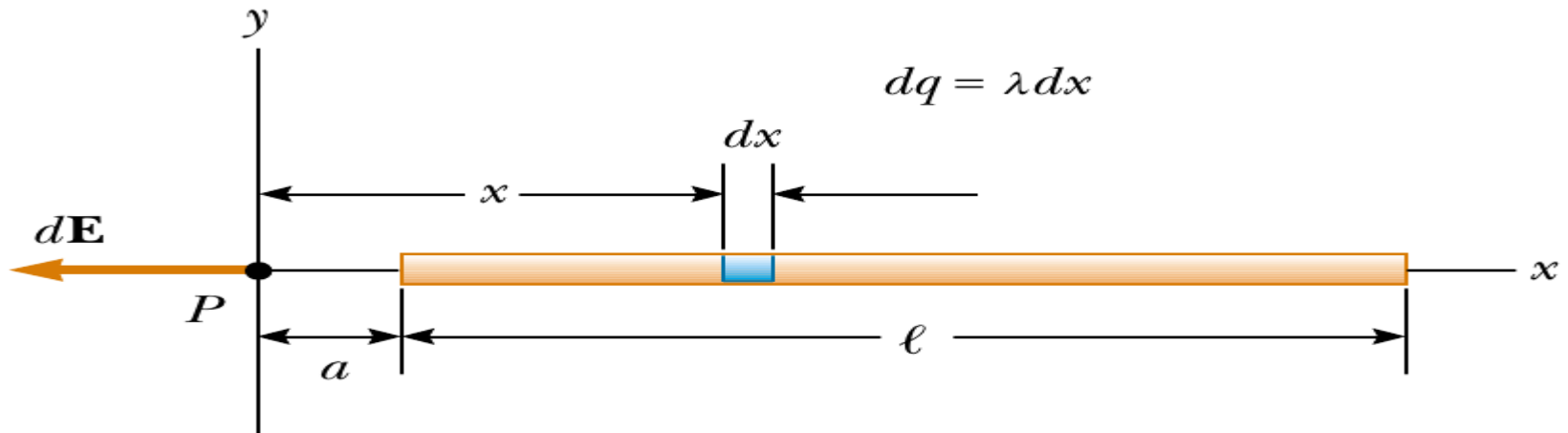


El elemento “dx” de la barra aporta al campo con:

$$dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \lambda \frac{dx}{x^2}$$

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:

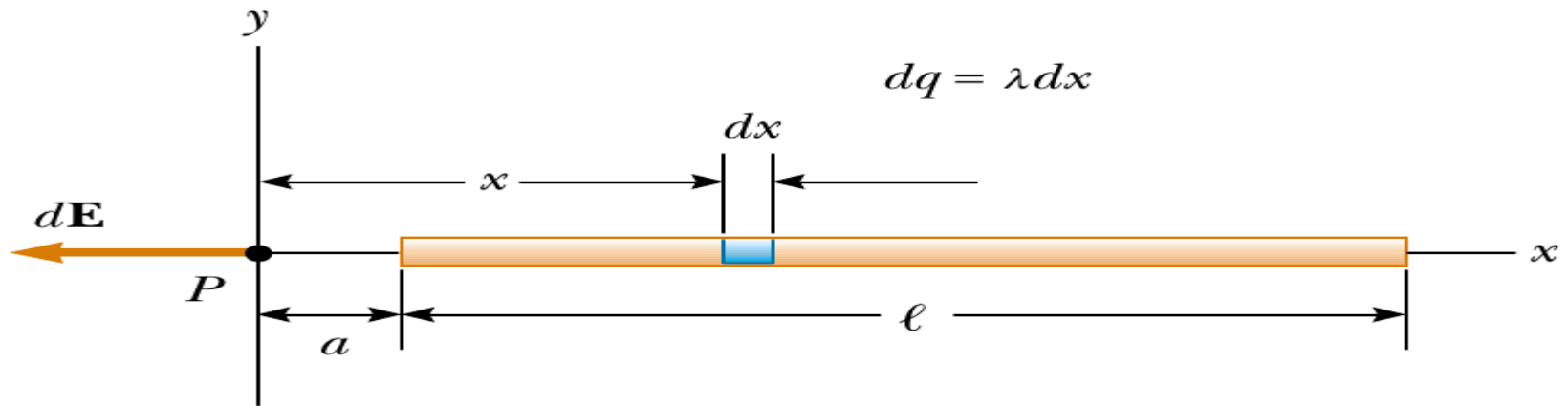


Para considerar la barra completa, debemos “sumar” a lo largo de la barra:

$$dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \lambda \frac{dx}{x^2} \quad E = \int_a^{\ell + a} k_e \lambda \frac{dx}{x^2}$$

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:

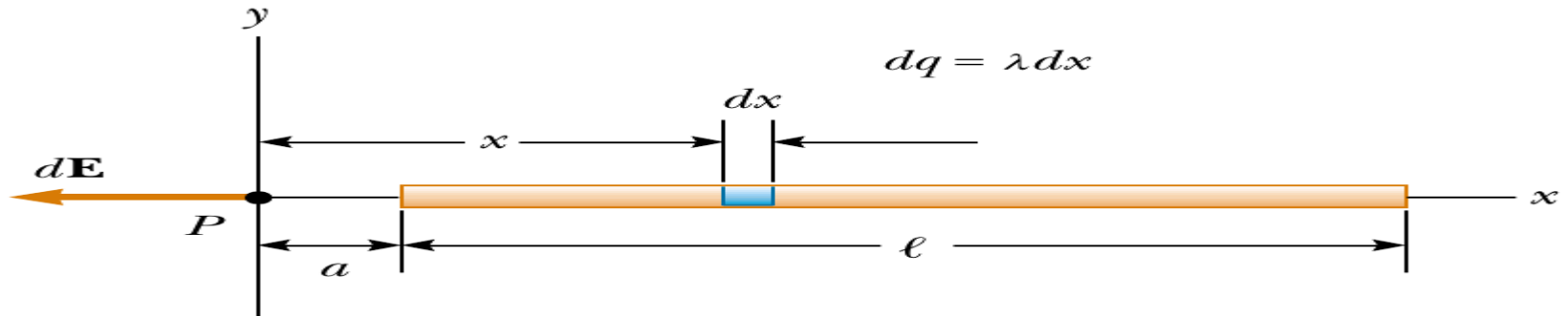


Los límites de la “suma”, corresponden al principio y fin de la barra:

$$E = k_e \lambda \int_a^{\ell+a} \frac{dx}{x^2} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{\ell+a}$$

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:



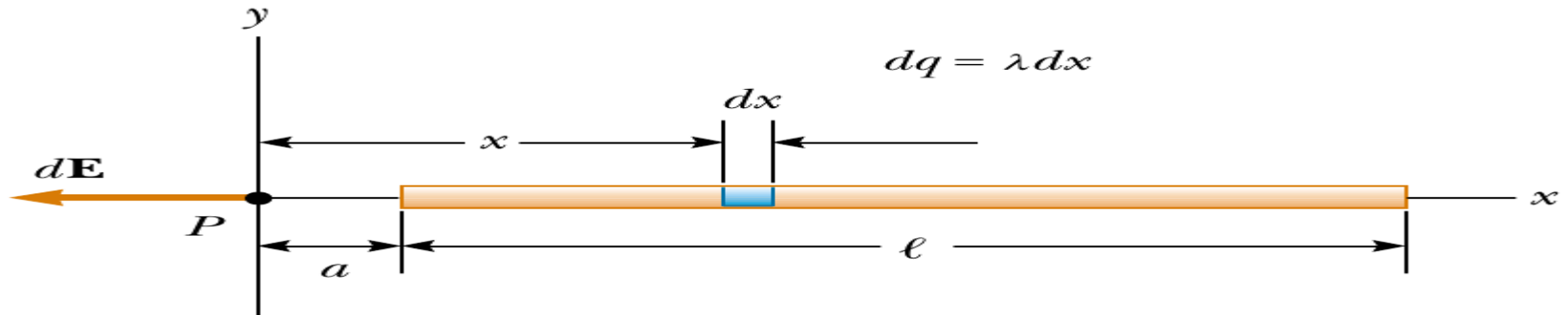
Los límites de la “suma”, corresponden al principio y fin de la barra:

$$E = k_e \lambda \int_a^{\ell+a} \frac{dx}{x^2} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{\ell+a}$$

$$\mathbf{E} = k_e \lambda \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\ell + a} \right) = \frac{k_e Q}{a(\ell + a)}$$

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:



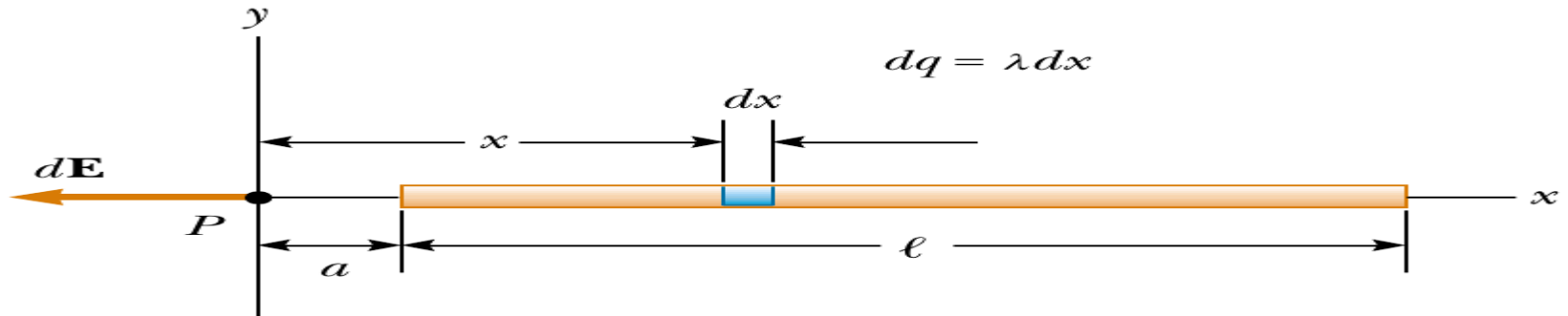
$$E = k_e \lambda \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\ell + a} \right) = \frac{k_e Q}{a(\ell + a)}$$

Donde se ha reemplazado:

$$Q = \lambda \ell$$

Campo Eléctrico

Debido a una distribución de carga:



$$E = k_e \lambda \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\ell + a} \right) = \frac{k_e Q}{a(\ell + a)}$$

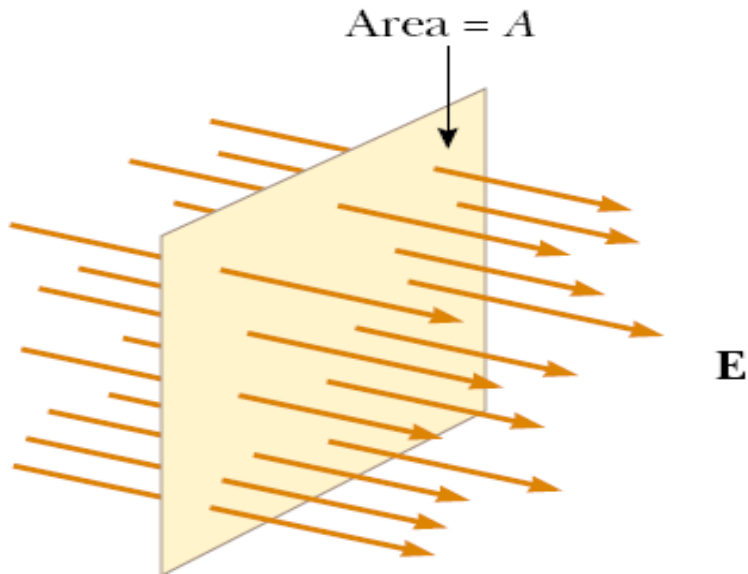
$$a \gg \ell$$

Si el punto P está muy lejos de la barra
Se puede aproximar a:

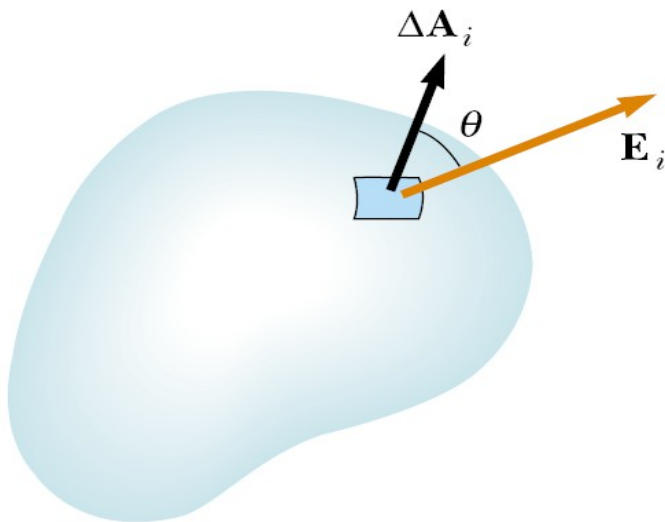
Que corresponde al campo de una
carga puntual.

$$E \approx k_e Q / a^2$$

Flujo Eléctrico



$$\Phi_E = EA$$

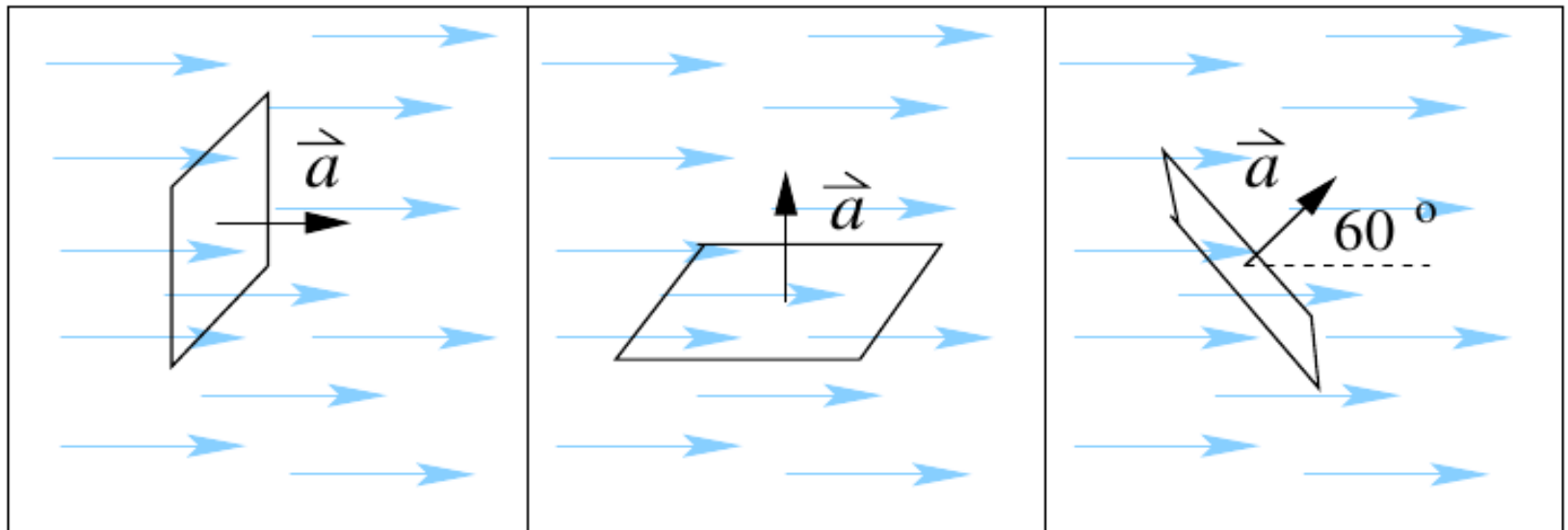


$$\Phi_E = \lim_{\Delta A_i \rightarrow 0} \sum \mathbf{E}_i \cdot \Delta \mathbf{A}_i = \int_{\text{surface}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

Flujo Eléctrico

1.7.2. Analogía con un fluido.

Sea v el campo de velocidades del fluido



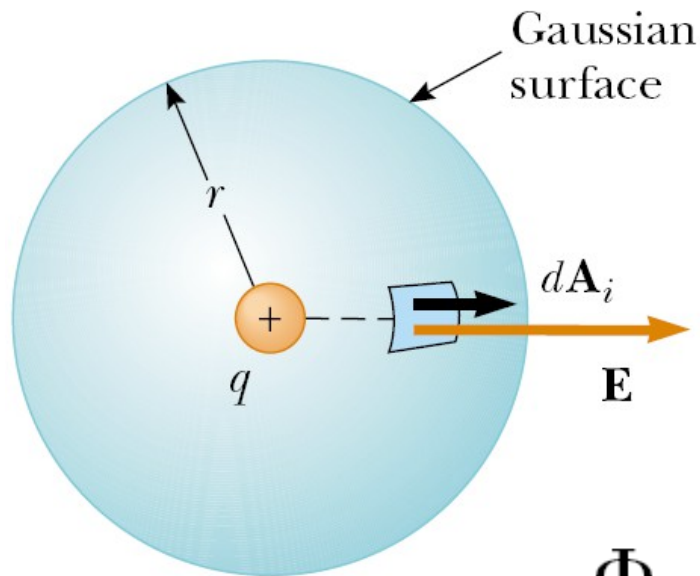
Flujo: va

Flujo: 0

Flujo: $va \cos 60^\circ$

El flujo es el volumen del fluido que atraviesa la superficie por unidad de tiempo.

Ley de Gauss



$$E = k_e q / r^2$$

$$\Phi_E = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \oint E dA = E \oint dA$$

$$E = k_e q / r^2 \quad \oint dA = A = 4\pi r^2$$

Ley de Gauss

$$\Phi_E = \frac{k_e q}{r^2} (4\pi r^2) = 4\pi k_e q$$

$$k_e = 1/(4\pi\epsilon_0)$$

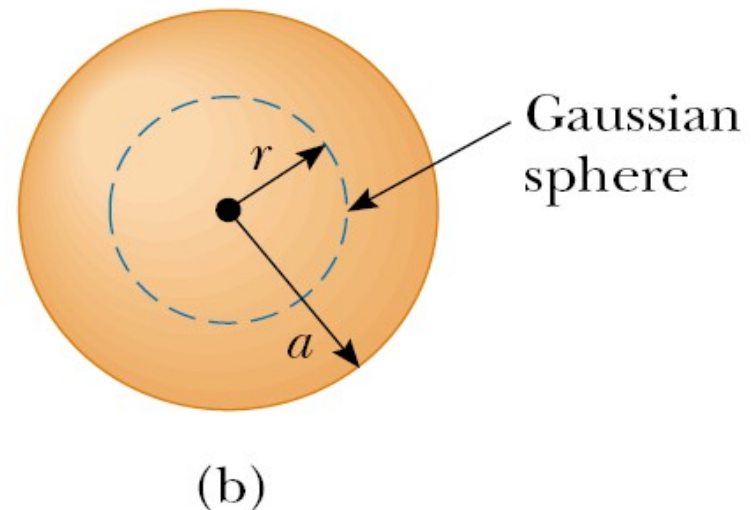
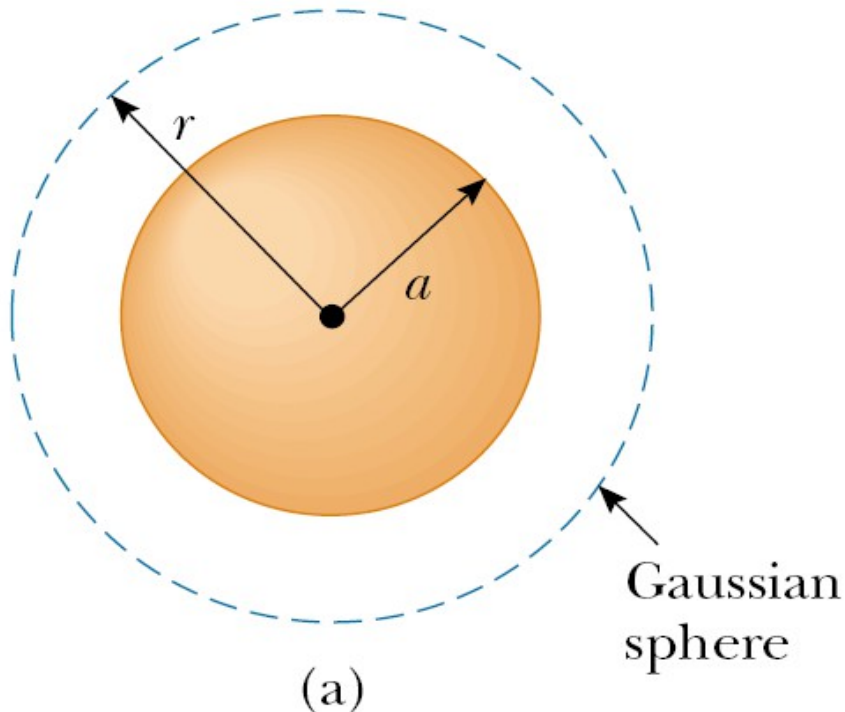
$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

El flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta dentro de la superficie dividida por ϵ_0

Ley de Gauss

Una esfera aislante de radio a , tiene una densidad de carga ρ y una carga positiva total Q .

- Calcule el campo electrico fuera de la esfera.
- Calcule el campo electrico al interior de la esfera.

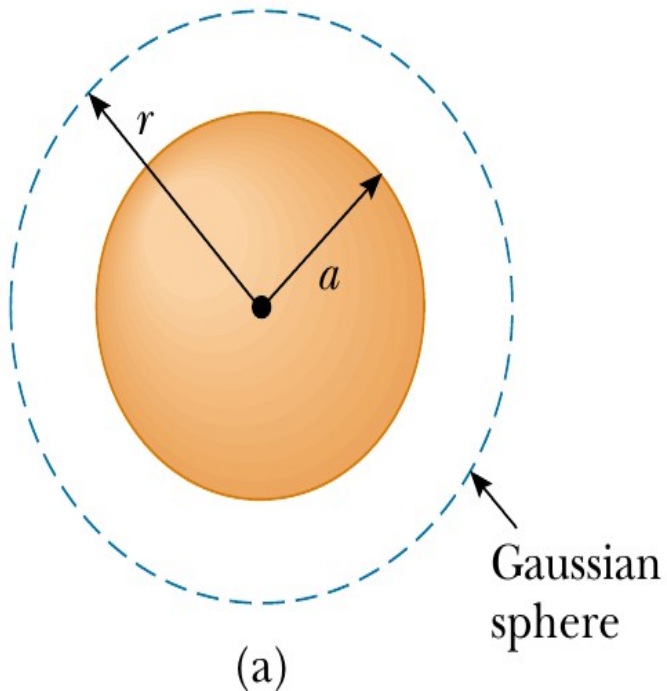


Ley de Gauss

Una esfera aislante de radio a , tiene una densidad de carga ρ y una carga positiva total Q .

- Calcule el campo electrico fuera de la esfera.
- Calcule el campo electrico al interior de la esfera.

Caso $r > a$:



$$E = k_e \frac{Q}{r^2} \quad (\text{for } r > a)$$

Como si fuera una carga puntual.

Ley de Gauss

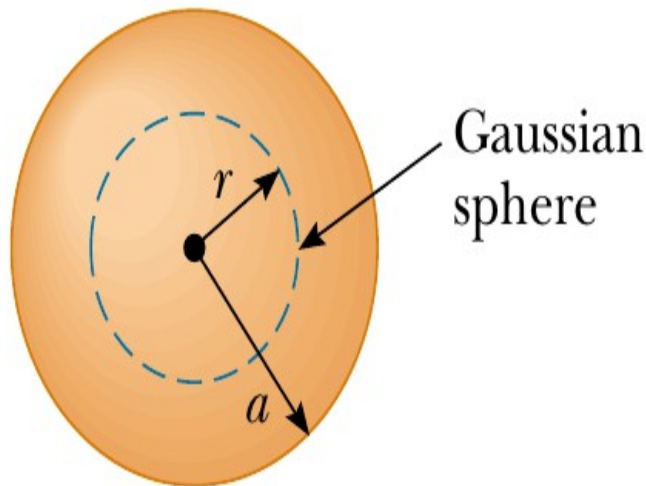
Una esfera aislante de radio a , tiene una densidad de carga ρ y una carga positiva total Q .

- Calcule el campo electrico fuera de la esfera.
- Calcule el campo electrico al interior de la esfera.

Caso $r < a$:

La carga encerrada es:

$$q_{\text{in}} = \rho V' = \rho \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$



(b)

Aplicando Gauss a la

$$\oint E dA = E \oint dA = E(4\pi r^2) = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0}$$

Ley de Gauss

Una esfera aislante de radio a , tiene una densidad de carga ρ y una carga positiva total Q .

- Calcule el campo electrico fuera de la esfera.
- Calcule el campo electrico al interior de la esfera.

$$q_{\text{in}} = \rho V' = \rho \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$

Caso $r < a$:

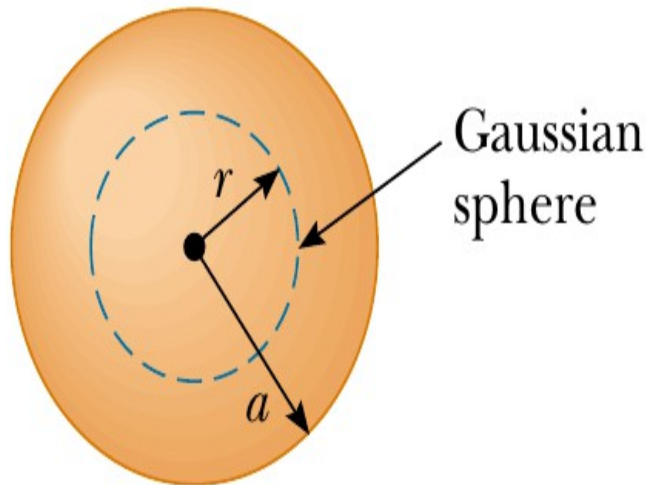
$$\oint E dA = E \oint dA = E(4\pi r^2) = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0}$$

Despejando E (últimos 2 términos):

$$E = \frac{q_{\text{in}}}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho \frac{4}{3} \pi r^3}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} r$$

pero la densidad

$$\epsilon k_e = 1 / (4\pi\epsilon_0), \therefore \rho = Q / \frac{4}{3} \pi a^3$$



(b)

Ley de Gauss

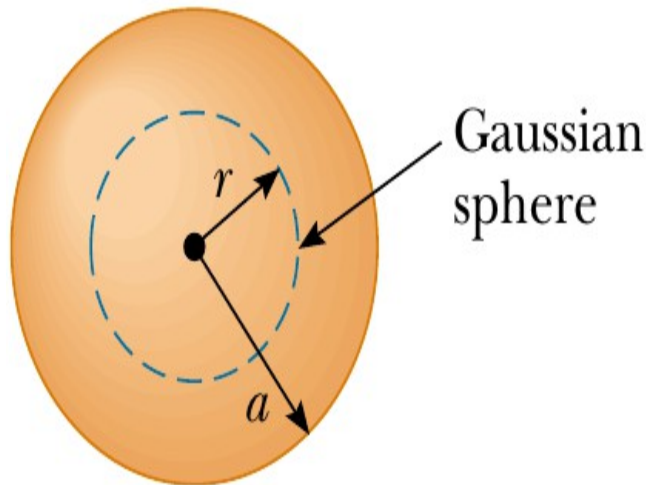
Una esfera aislante de radio a , tiene una densidad de carga ρ y una carga positiva total Q .

- Calcule el campo electrico fuera de la esfera.
- Calcule el campo electrico al interior de la esfera.

$$k_e = 1/(4\pi\epsilon_0), \quad \rho = Q/\frac{4}{3}\pi a^3$$

Caso $r < a$:

$$E = \frac{q_{\text{in}}}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho \frac{4}{3}\pi r^3}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} r$$



(b)

Reemplazando la densidad y la constante:

$$E = \frac{Qr}{4\pi\epsilon_0 a^3} = \frac{k_e Q}{a^3} r \quad (\text{for } r < a)$$

Diferencia de Potencial y Potencial Eléctrico

Si se coloca una carga q_0 en un campo eléctrico E , la fuerza eléctrica sobre la carga de prueba es $F = q_0 E$

Si un agente externo mueve la carga una pequeña distancia ds , el trabajo hecho por este agente externo es $F ds = q_0 E ds$.

El campo entonces hace un trabajo negativo $-q_0 E ds$

Para un desplazamiento de la carga entre los puntos A y B, el cambio de energía potencial es $\Delta U = U_B - U_A$

$$\Delta U = -q_0 \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

Energía Potencial por unidad de carga

Definición

Potencial Eléctrico: Energía por unidad de carga, es decir:

$$V = \frac{U}{q_0}$$

Caso gravitacional $E_p = mgh$, el potencial por unidad de masa es entonces $E_p/m = gh$

Diferencia de Potencial

Recordando que:

$$\Delta U = -q_0 \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \qquad V = \frac{U}{q_0}$$

Se define la diferencia de potencial entre los puntos A y B como el cambio de energía potencial dividida por la Carga de prueba q_0 , $\Delta V = V_B - V_A$

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

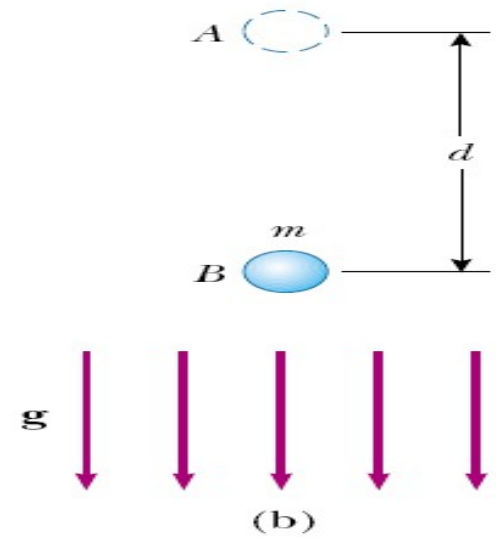
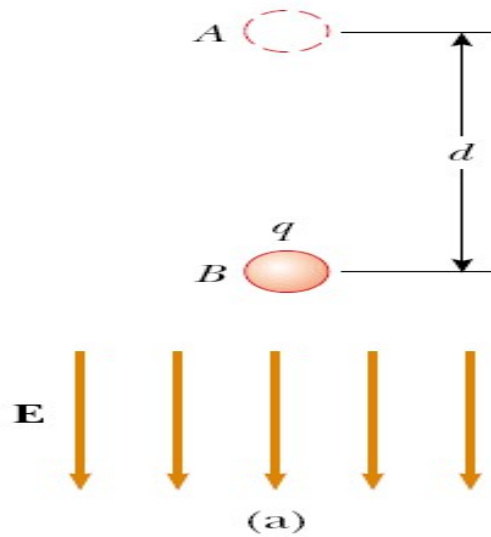
No confundir diferencia de potencial con diferencia de energía.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0}$$

$$1 \text{ V} \equiv 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

$$1 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

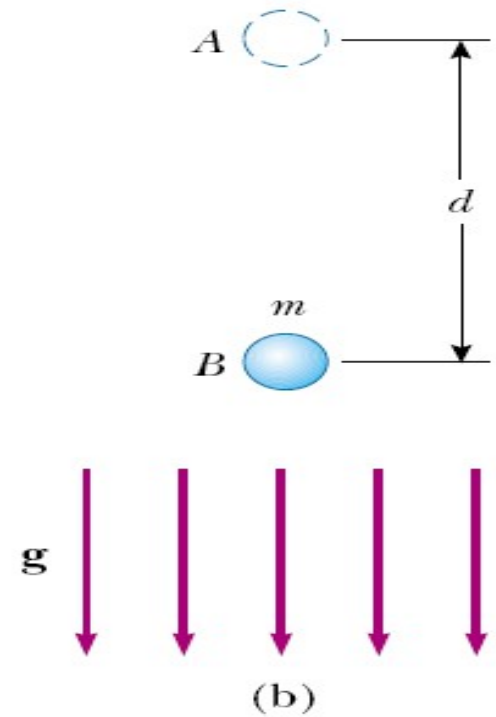
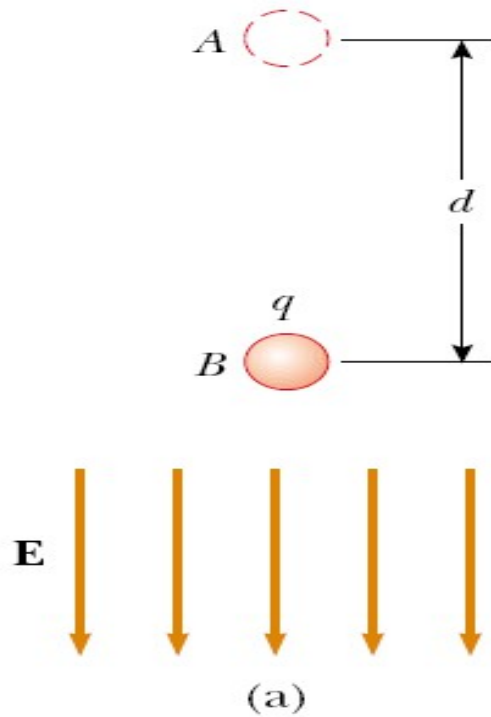


Cálculo de la diferencia de potencial entre A y B

$$V_B - V_A = \Delta V = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \int_A^B E \cos 0^\circ ds = - \int_A^B E ds$$

El signo menos significa que el punto B está a menor potencial. Las líneas de campo eléctrico apuntan al menor potencial (análogo mecánico).

$$\Delta V = -E \int_A^B ds = -Ed$$



Si una carga de prueba q_0 se mueve
Desde A hacia B , el cambio en su
Energía potencial es :

$$\Delta V = -E \int_A^B ds = -Ed$$

→
$$\Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 Ed$$

Definición: Potencial de una carga puntual a una distancia r

$$V = k_e \frac{q}{r}$$

Notar que con esta definición, el potencial en el infinito es cero

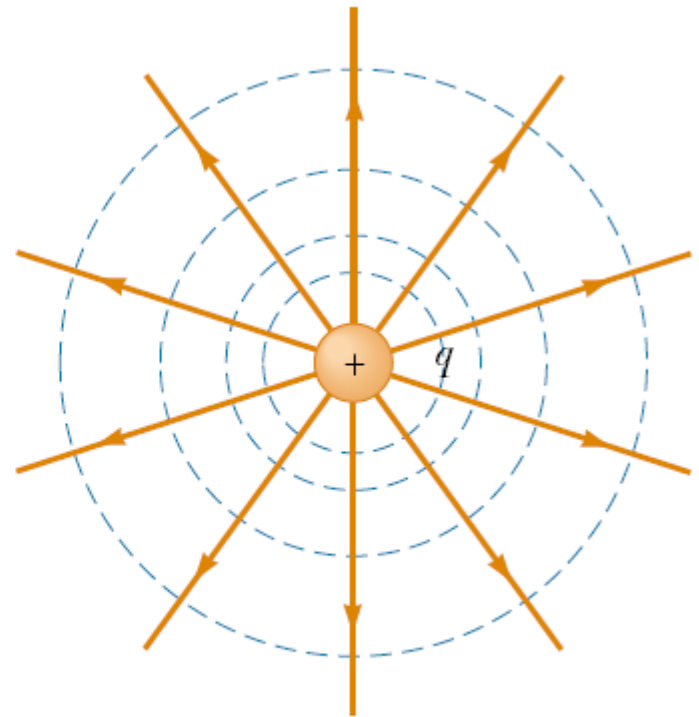
Si tengo varias cargas, aplico principio de superposición:

$$V = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Líneas de Campo Eléctrico y Líneas Equipotenciales

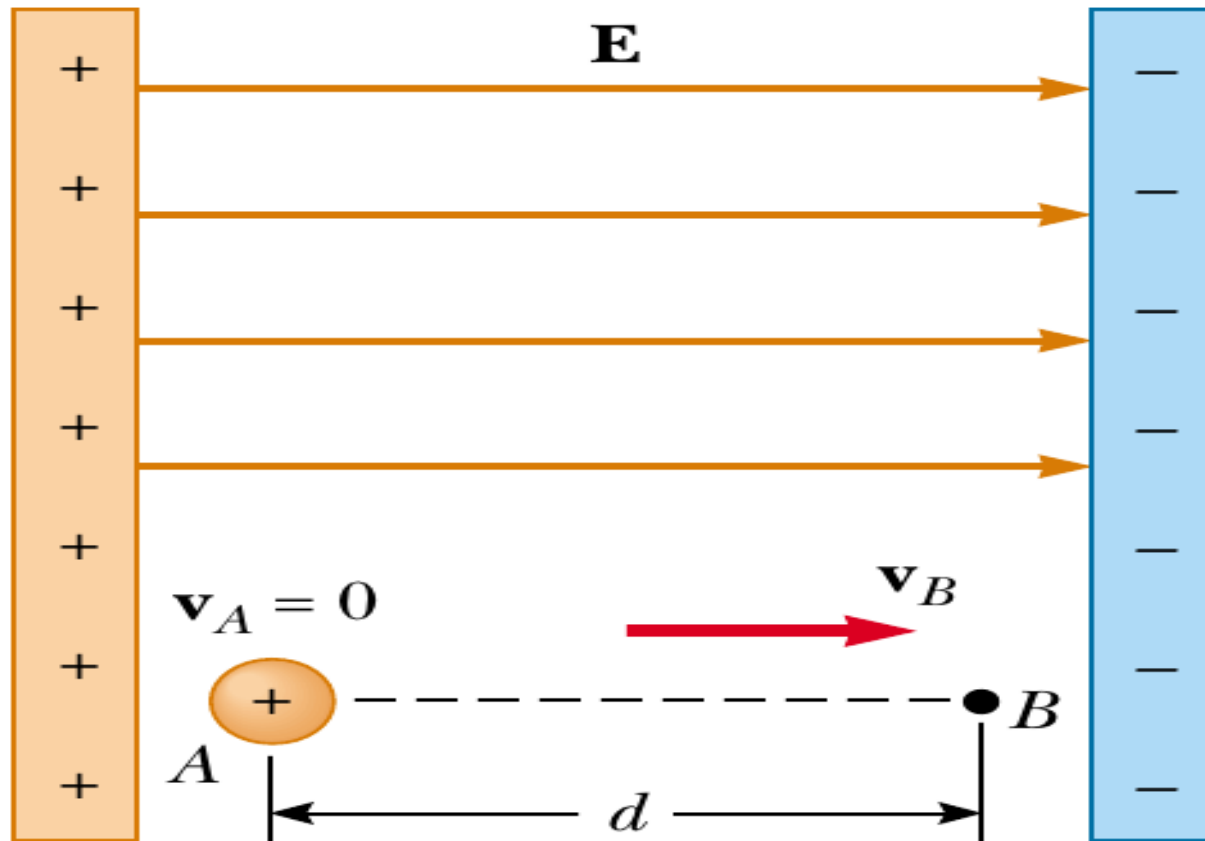


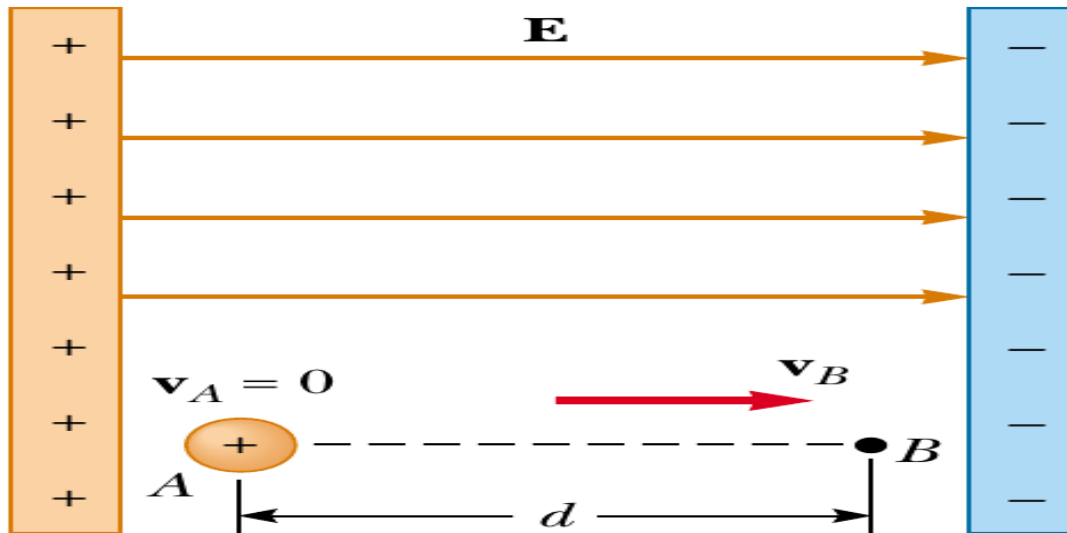
(a)



(b)

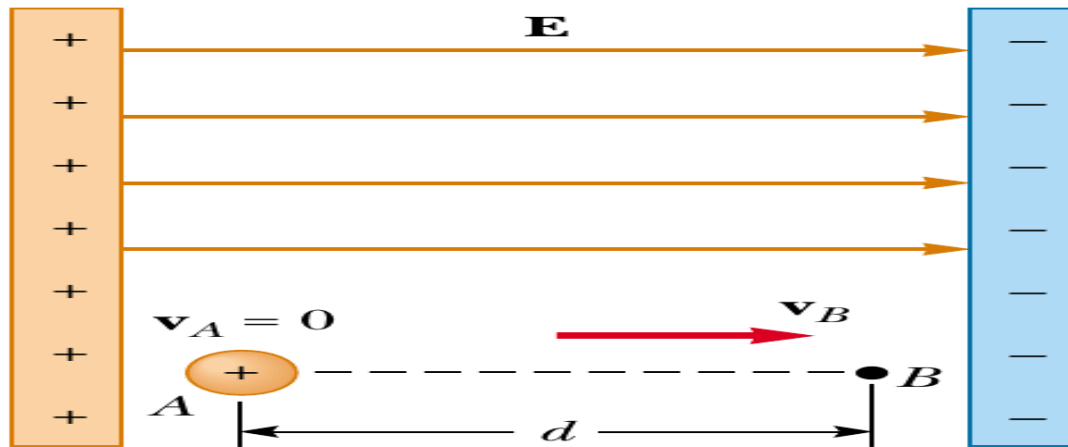
Un protón se libera en un campo eléctrico uniforme de 8×10^4 [V/m], y se desplaza 0,5[m] en la dirección del campo. Calcule la diferencia de potencial eléctrico entre A y B. Encuentre el cambio de energía potencial del protón.





El protón se mueve en la dirección del campo, a una región de menor potencial eléctrico.

$$\begin{aligned}\Delta V &= -Ed = -(8.0 \times 10^4 \text{ V/m})(0.50 \text{ m}) \\ &= -4.0 \times 10^4 \text{ V}\end{aligned}$$



$$\Delta V_{AB} = V_A - V_B$$

$$\begin{aligned}\Delta U &= q_0 \Delta V = e \Delta V \\ &= (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) (-4.0 \times 10^4 \text{ V}) \\ &= -6.4 \times 10^{-15} \text{ J}\end{aligned}$$

El signo menos significa que la energía potencial del protón decrece en la medida que se mueve en la dirección del campo. Como el protón acelera en la dirección del campo, gana energía cinética y pierde energía potencial (Conservación de la energía).