



Universidad Nacional de San Luis  
Fac. Cs. Físico-Matemáticas y Naturales  
Departamento de Física

# **APUNTES DE FISICA**

**Para Alumnos de las Carreras:**

**Tecnicatura en Obras Viales**

**Tecnicatura en Explotación Minera**

**Tecnicatura en Procesamiento de Minerales**

# Capítulo 6

## Electrostática

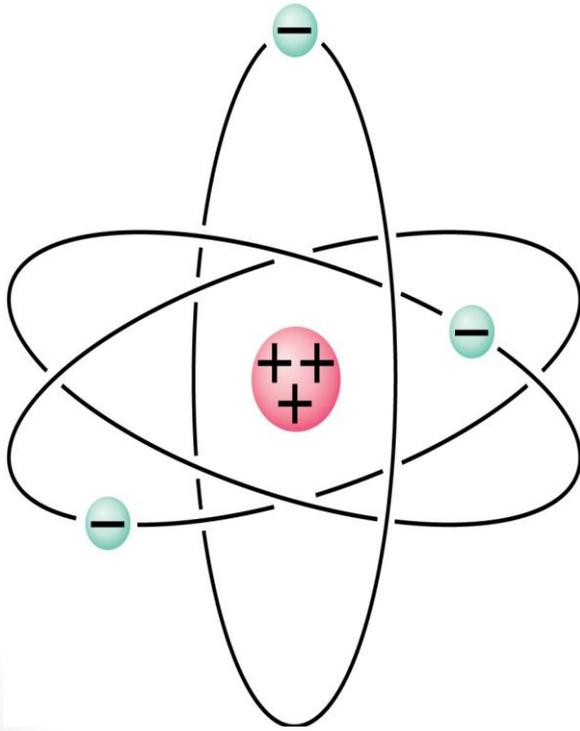
La **electrostática** es la rama de la Física que estudia las interacciones entre cuerpos, como consecuencia de sus cargas eléctricas.

Estudiaremos fenómenos asociados con cargas eléctricas en reposo.



# Carga Eléctrica en el Átomo

- Las fuerzas eléctricas entre átomos y moléculas son las responsables de mantenerlos unidos para formar líquidos y sólidos.
- Al igual que la masa, la **carga eléctrica** es una propiedad fundamental de la materia.
- La materia está compuesta por átomos.



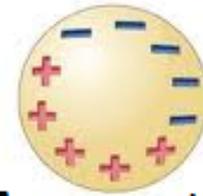
Un modelo simplificado del átomo lo representa compuesto por un núcleo cargado positivamente, pequeño pero pesado, rodeado por uno o más electrones con carga negativa.

Los electrones se consideran como partículas en órbita alrededor de un **núcleo**, que contiene la mayoría de la masa del átomo en la forma de **protones** y partículas eléctricamente neutras llamadas **neutrones**.

✓ La carga neta del átomo es **CERO**.

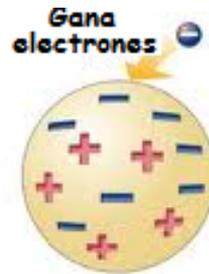
# Carga Eléctrica en el Átomo

¿Cuándo tenemos carga eléctrica?



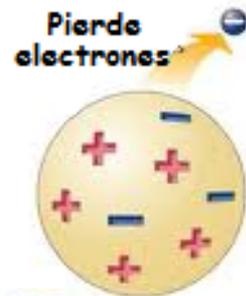
**Cuerpo neutro**

Cuando exista un exceso de electrones (Carga negativa)



**Cuerpo cargado  
negativamente**

Cuando exista un déficit de electrones (Carga positiva)



**Cuerpo cargado  
positivamente**

# Carga Eléctrica en el Átomo

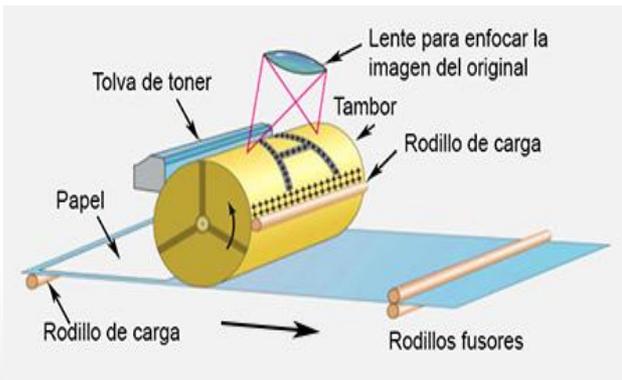
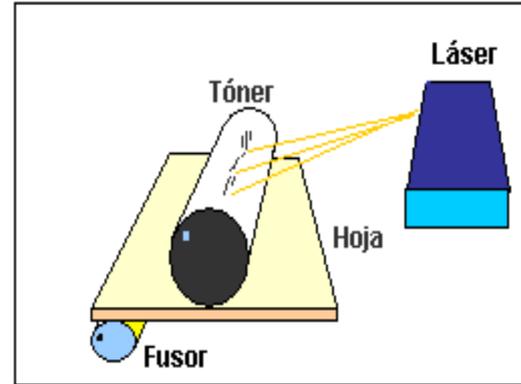
## *Propiedades fundamentales de las cargas eléctricas :*

- ✓ La carga eléctrica esta cuantizada, ésto significa que cualquier valor de carga es un múltiplo de la carga fundamental (carga del electrón).  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
- ✓ La carga eléctrica **se conserva**. En cualquier proceso físico la carga eléctrica total permanece constante.

Siempre que se genera cierta cantidad de carga en un cuerpo debido a un proceso, se produce una cantidad de carga igual pero del tipo opuesto en otro cuerpo.

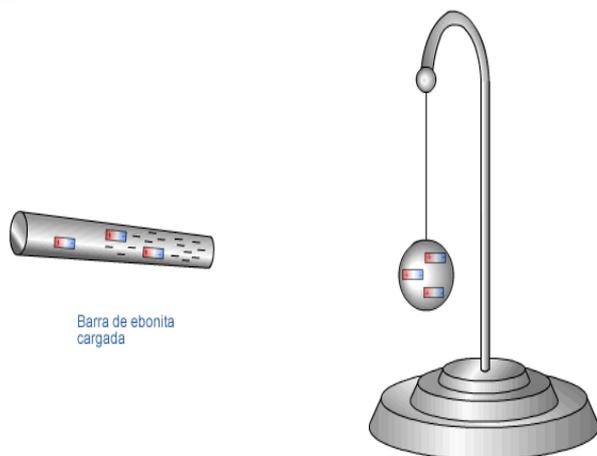


# Electrostática



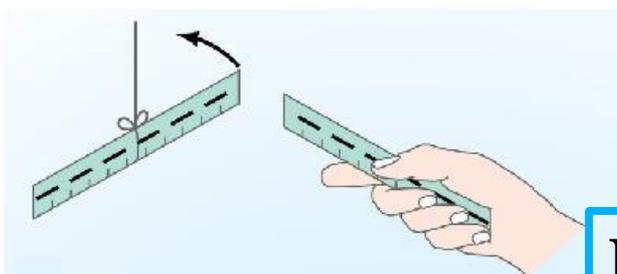
El corazón de una impresora láser es un pequeño tambor rodante con un revestimiento que le permite mantener una **carga electrostática**. Un láser recorre la superficie del tambor, colocando selectivamente puntos de carga positiva, que representarán la imagen de salida. En el momento apropiado, el papel es pasado a través de un cable cargado eléctricamente que deposita una carga negativa en él.

# Carga Eléctrica

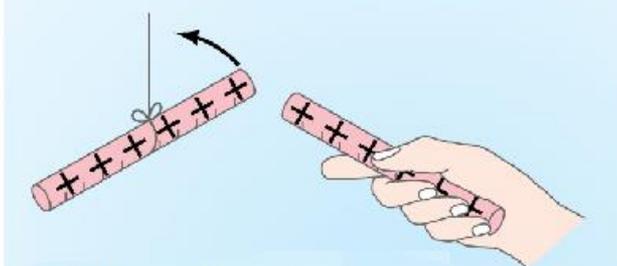


Experimentalmente se puede observar que los objetos cargados ejercen fuerzas entre sí.

Las direcciones de las fuerzas eléctricas cuando las cargas interactúan entre si están dadas por el siguiente principio, llamado:



(a) Dos reglas de plástico se repelen



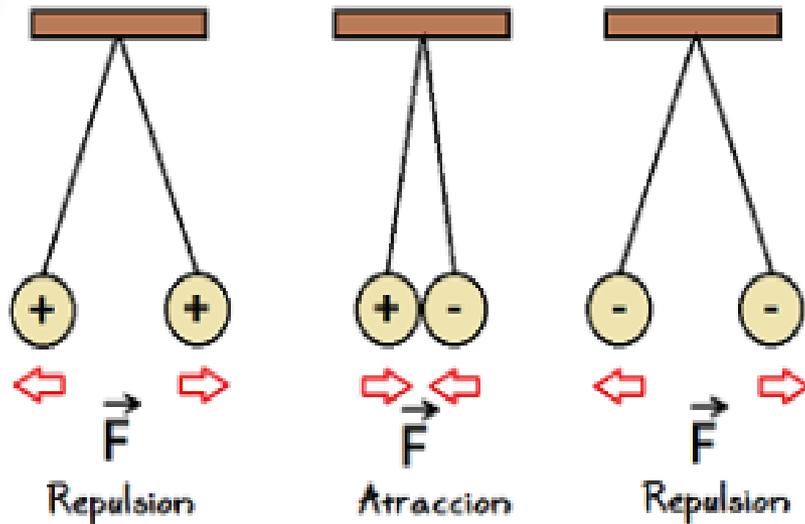
(b) Dos varillas de vidrio se repelen

**Ley de las cargas o ley de carga-fuerza:**



**“Cargas iguales se repelen y cargas desiguales se atraen”.**

# Carga Eléctrica



Dos partículas cargadas negativamente o dos partículas cargadas positivamente se repelen entre si, mientras que partículas con cargas contrarias se atraen entre si.

- Las fuerzas repulsiva y atractiva son iguales y opuestas, y actúan sobre objetos diferentes, de acuerdo con **la tercera ley de Newton (acción-reacción)**.
- Puesto que la carga eléctrica (neta) sobre un objeto es el resultado de una deficiencia o de un exceso de electrones, siempre debe ser un múltiplo entero de la carga sobre un electrón. Un signo mas o un signo menos indicará si el objeto tiene una deficiencia o un exceso de electrones.

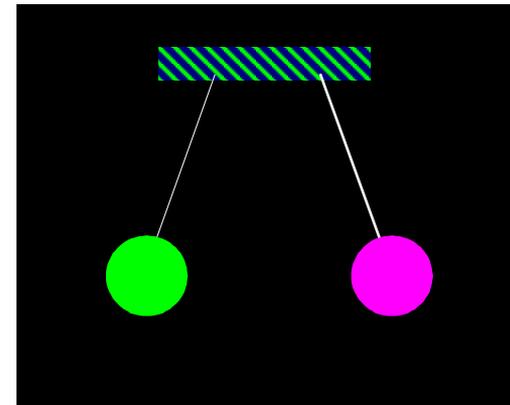
# Carga Eléctrica

Ejemplo:

Dos esferas cargadas cuelgas de hilos delgados y se apartan como se muestra en la figura. ¿Qué puede decir de sus cargas?

- ① Una es positiva y la otra negativa
- ② Las dos son positivas
- ③ Las dos son negativas
- ④ Las dos son positivas o las dos son negativas

Puesto que las cargas se repelen deben tener la misma carga.



# Conductores y Aislantes

Podemos distinguir a las sustancias o materiales por su capacidad para conducir, o transmitir, cargas eléctricas.

## Conductores

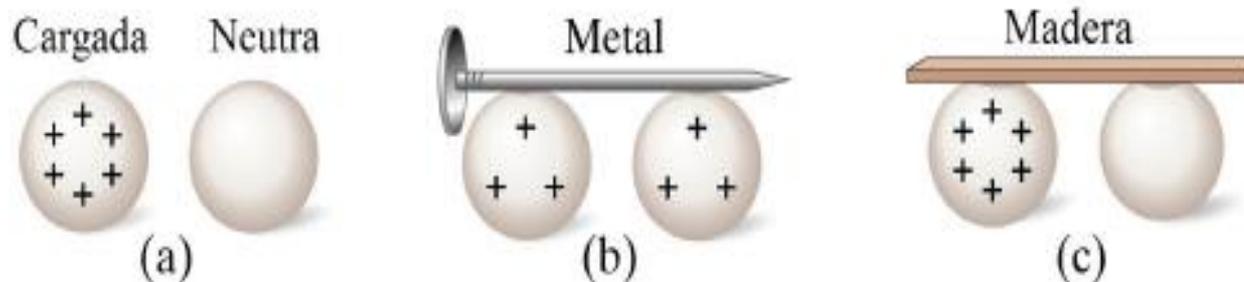
- ✓ Las cargas se mueven libremente
- ✓ Metales

## Aisladores

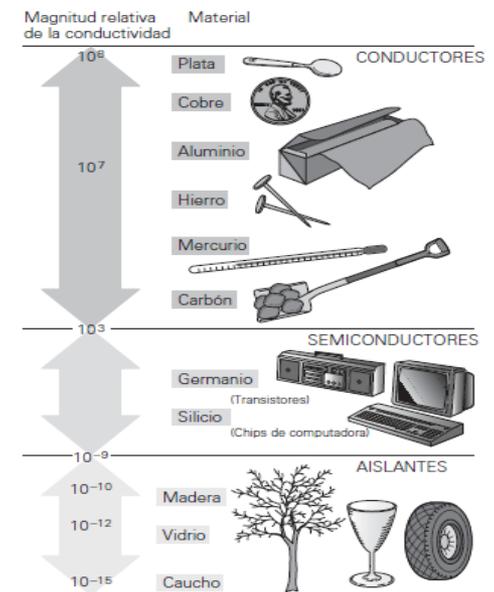
- ✓ Prácticamente no hay flujo de carga
- ✓ La mayoría de los otros materiales

## Semiconductores

- ✓ Según las condiciones es conductor o no
- ✓ Silicio, Germanio

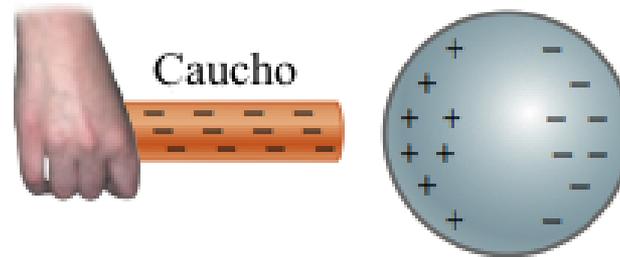


Algunos materiales, particularmente los metales, son buenos conductores de carga eléctrica. Otros, como el vidrio, el caucho y la mayoría de los plásticos, son aislantes, o malos conductores eléctricos.

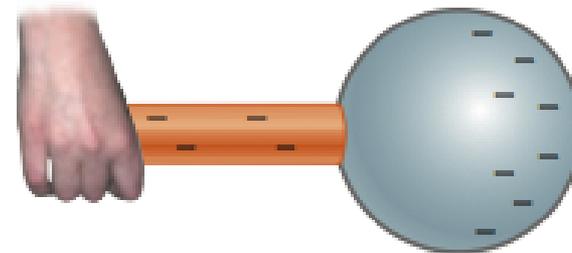


# Carga por Conducción o contacto

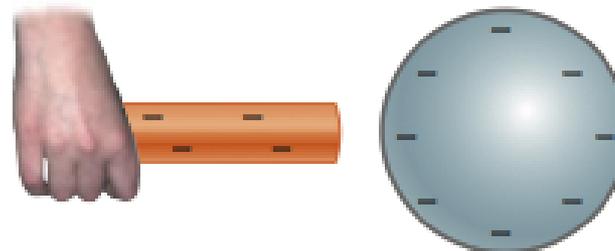
Los metales se cargan por **conducción**. Se conduce carga de un objeto a otro.



(a) Antes



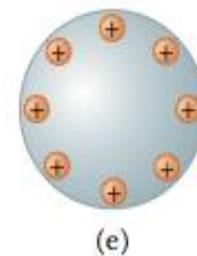
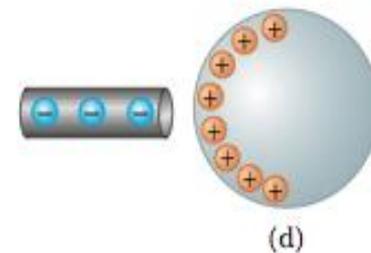
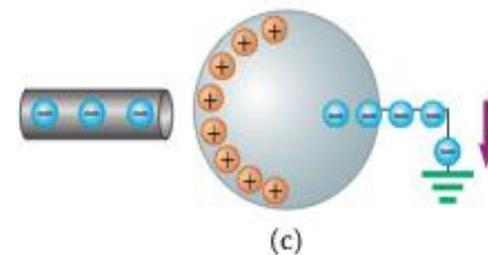
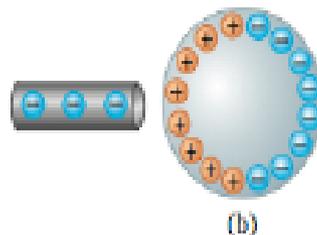
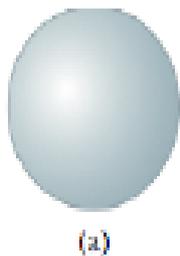
(b) Contacto



(c) Después del contacto

# Carga por inducción

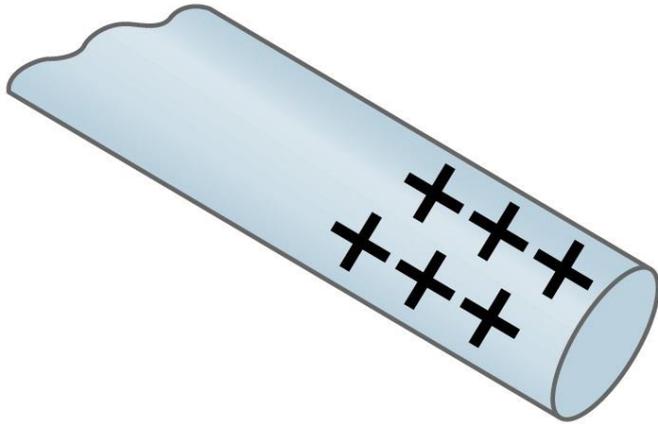
Inducción de cargas: no hay transporte de carga entre objetos. La carga neta sigue siendo cero.



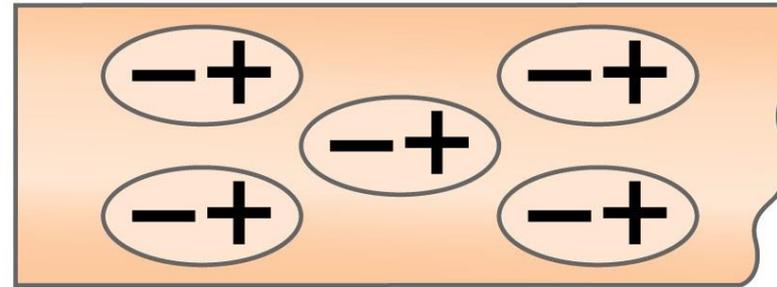
La **inducción** es un proceso de carga de un objeto sin contacto directo. Cuando permitimos que las cargas salgan de un conductor por contacto, decimos que lo estamos *poniendo a tierra*. Durante las tormentas eléctricas se llevan a cabo procesos de carga por *inducción*. La parte inferior de las nubes, de carga negativa, induce una carga positiva en la superficie terrestre.

## Separación de Cargas por Polarización

Los materiales no conductores (aisladores) no se pueden cargar por inducción o conducción; pero experimentan una separación de cargas.

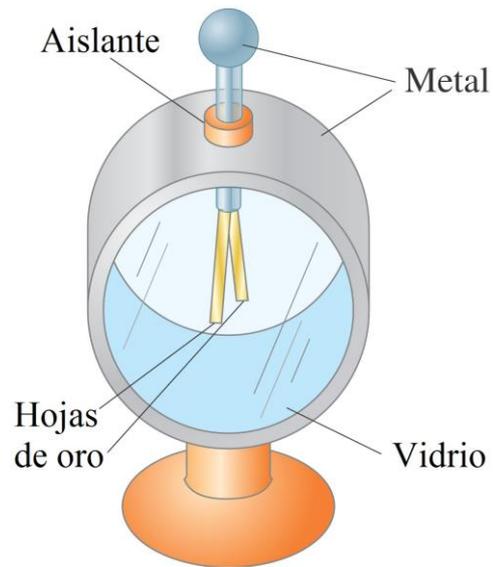


Un objeto cargado que se acerca a un material aislante produce una separación de cargas dentro de las moléculas del aislante.



No conductor

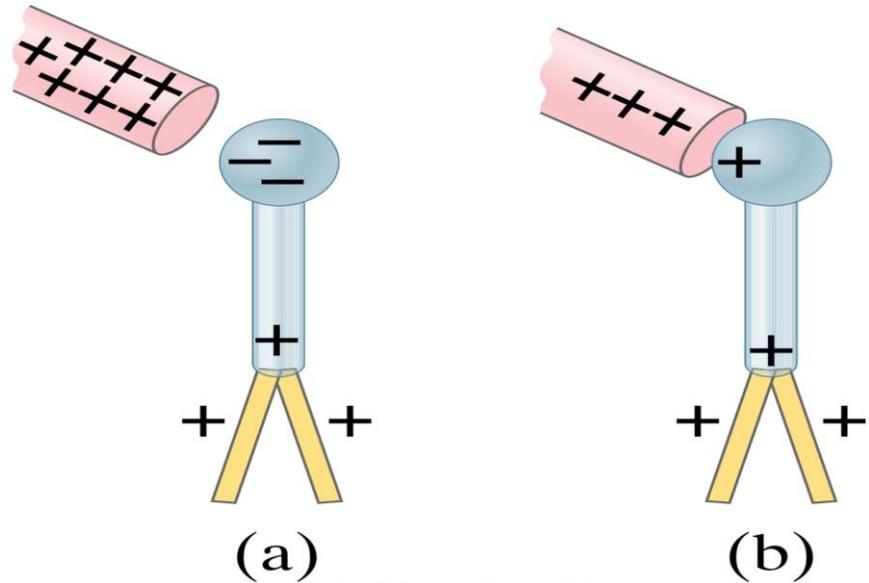
# Electroscopio



El electroscopio se utiliza para detectar carga.

El electroscopio se puede cargar por:

- (a) Inducción
- (b) Conducción.

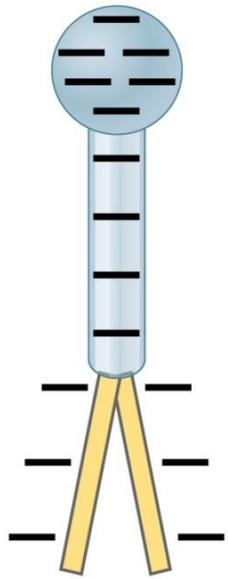


Las dos hojas se repelen entre sí, cuanto mayor sea la cantidad de carga, mayor será la separación entre las hojas.



# Electroscopio

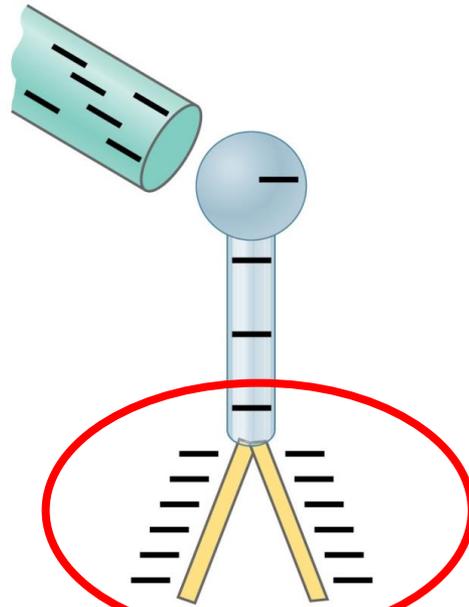
El electroscopio se puede utilizar para determinar el signo de una carga desconocida si primero se carga por conducción.



(a)

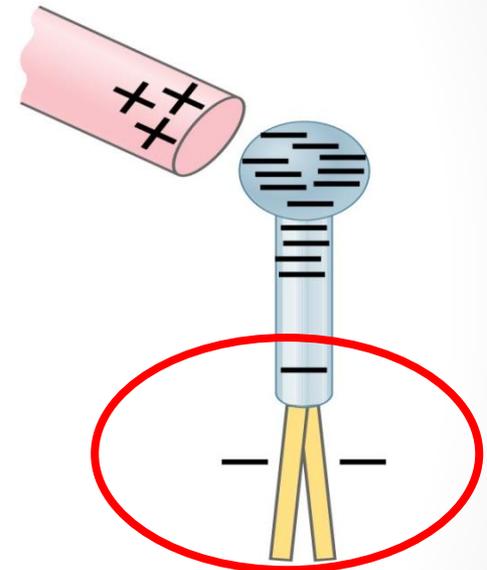
Por ejemplo, se carga negativamente

Acercamos el objeto de carga desconocida



(b)

Se inducen más electrones a moverse hacia las hojas y éstas se separarán aún más.



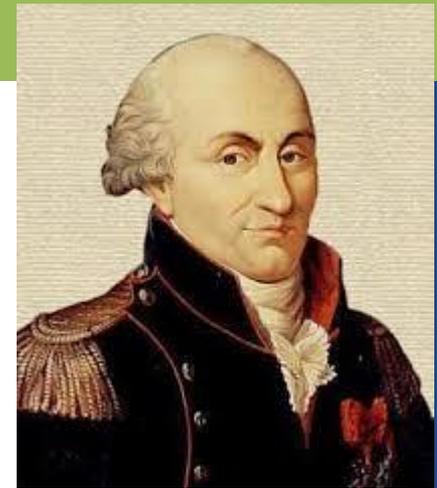
(c)

Los electrones inducidos fluirán hacia la perilla, dejando las hojas con menos carga negativa, por lo que su separación se reduce.

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

Coulomb encontró que La fuerza eléctrica entre dos cargas es:

- Directamente proporcional al producto de las cargas.
- Inversamente proporcional al cuadrado de la distancias que las separa.
- Está dirigida a lo largo de la recta que une las dos cargas y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación,  $r$



Charles-Augustin de **Coulomb**

1736 - 1806

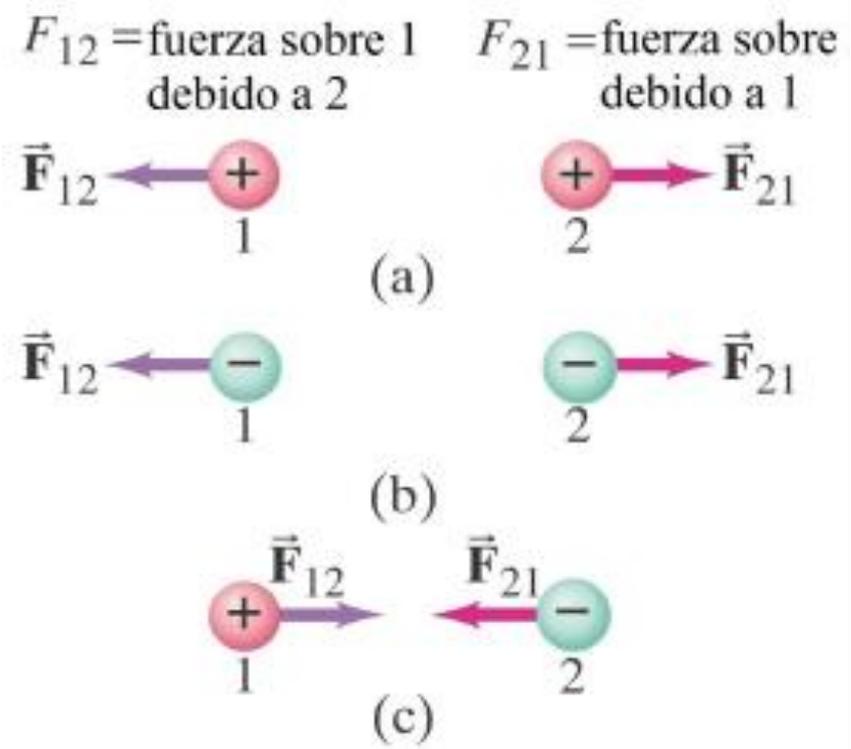
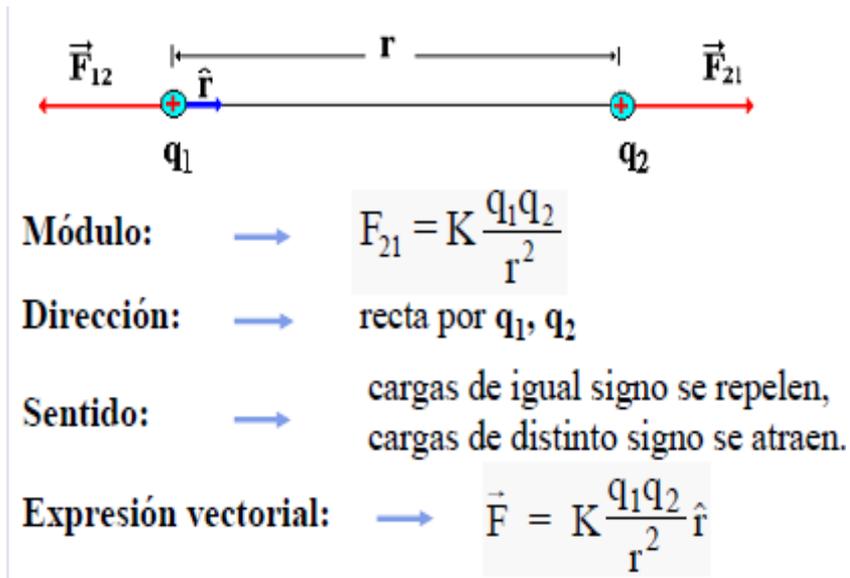
El módulo de la fuerza eléctrica es:

$$F = k \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

donde  $k$  es una constante llamada constante de Coulomb y en el vacío es igual a  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  La constante  $k$  se escribe en términos de otra constante,  $\epsilon_0$ , llamada permitividad del vacío.  $k=1/4\pi\epsilon_0$

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

- La ley de Coulomb es estrictamente válida para cargas puntuales.



## Principio de Superposición:

En el caso de varias cargas puntuales, la fuerza neta en cualquier carga es la suma vectorial de las fuerzas que producen las demás cargas.

$$\vec{F}_{\text{net}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

## Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

¿Cuál es la magnitud de la fuerza  $F_2$ ?

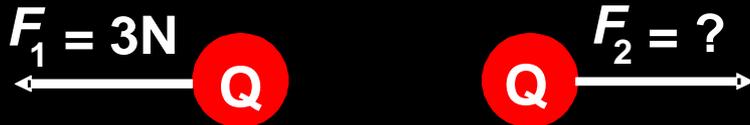
① 1,0 N

② 1,5 N

③ 2,0 N

④ 3,0 N

⑤ 6,0 N



De acuerdo con la ley de Coulomb los módulos de las fuerzas son iguales.

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

## ¿Qué carga ejerce una fuerza mayor?

Dos cargas puntuales positivas,  $Q_1 = 50 \mu\text{C}$  y  $Q_2 = 1 \mu\text{C}$ , están separadas por una distancia  $l$ . ¿Cuál es mayor en magnitud, la fuerza que ejerce  $Q_1$  sobre  $Q_2$  o la fuerza que ejerce  $Q_2$  sobre  $Q_1$ ?



De acuerdo con la ley de Coulomb, la fuerza que  $Q_2$  ejerce sobre  $Q_1$  es:

$$F_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{\ell^2}.$$

La fuerza que  $Q_1$  ejerce sobre  $Q_2$  es:

$$F_{21} = k \frac{Q_2 Q_1}{\ell^2}$$

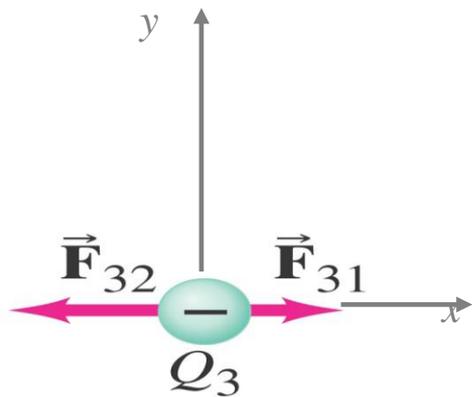
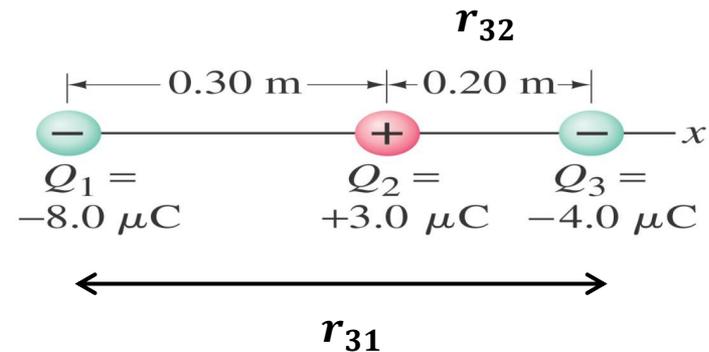
**Las dos fuerzas tienen la misma magnitud**

**La ecuación es simétrica con respecto a las dos cargas, así que  $F_{21} = F_{12}$**

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

Tres cargas en una línea. Tres partículas cargadas están colocadas en una línea como se muestra en la figura. Calcular la fuerza electrostática neta que ejercen las cargas puntuales 1 y 2 sobre la carga puntual 3.

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$$



$$\vec{F}_{31} = +k \frac{Q_3 Q_1}{r_{31}^2} \hat{i}$$

$$\vec{F}_{32} = -k \frac{Q_3 Q_2}{r_{32}^2} \hat{i}$$

# Fuerzas eléctricas: Ley de Coulomb

$$\vec{F}_{31} = +k \frac{Q_3 Q_1}{r_{31}^2} \hat{i} = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \frac{(4.0 \times 10^{-6}C)(8.0 \times 10^{-6}C)}{(0.50m)^2} \hat{i}$$

$$\vec{F}_{31} = \frac{288 \times 10^{-3} Nm^2}{0.25m^2} \hat{i} = 1152 \times 10^{-3} N \hat{i}$$

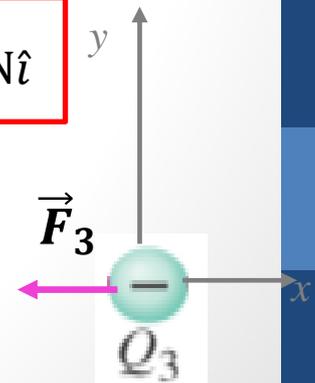
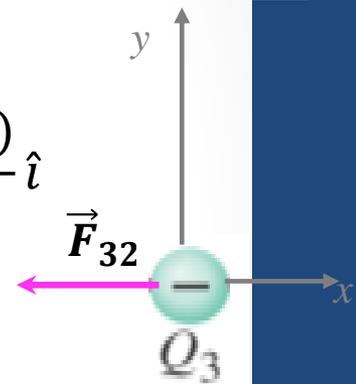
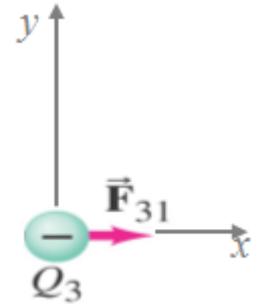
$$\vec{F}_{32} = -k \frac{Q_3 Q_2}{r_{32}^2} \hat{i} = -9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \frac{(4.0 \times 10^{-6}C)(3.0 \times 10^{-6}C)}{(0.20m)^2} \hat{i}$$

$$\vec{F}_{32} = -\frac{108 \times 10^{-3} Nm^2}{0.04m^2} \hat{i} = -2700 \times 10^{-3} N \hat{i}$$

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$$

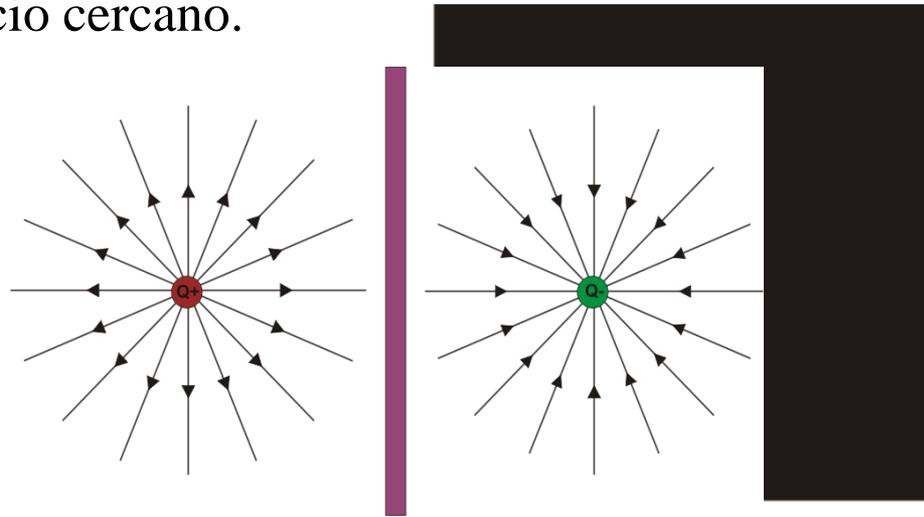
$$\vec{F}_3 = 1152 \times 10^{-3} N \hat{i} + (-2700 \times 10^{-3} N \hat{i}) = -1548 \times 10^{-3} N \hat{i}$$

$$\vec{F}_3 = -1.55 N \hat{i}$$



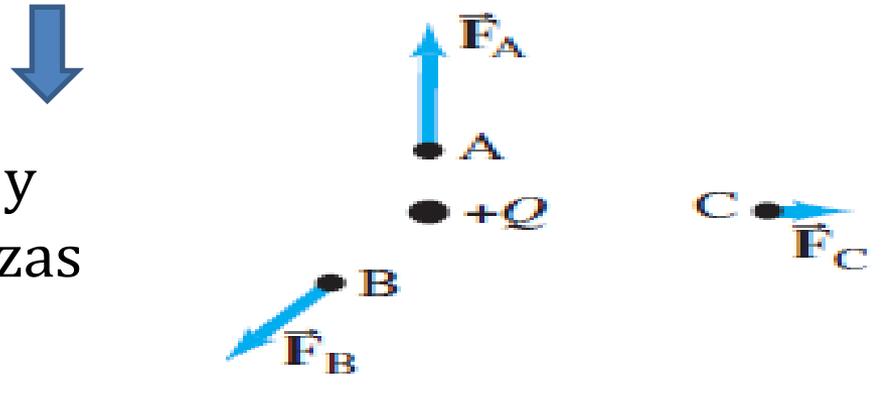
# Campo Eléctrico

El campo eléctrico representa el *efecto físico* de una configuración particular de cargas sobre el espacio cercano.



La idea central del concepto del campo eléctrico es la siguiente: “una configuración de cargas crea un campo eléctrico en el espacio cercano. Si en este campo eléctrico se coloca otra carga, el campo ejercerá una fuerza eléctrica sobre ella”.

Las cargas crean campos, y éstos, a su vez, ejercen fuerzas sobre otras cargas.



# Campo Eléctrico

El campo eléctrico,  $\vec{E}$ , se define como la fuerza,  $\vec{F}$ , que actúa sobre una pequeña carga de pruebas positiva dividida por el valor de  $q$ :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{en\ q}}{q}$$

Si el campo eléctrico es generado por una carga  $Q$ , utilizando la Ley de Coulomb concluimos que a una distancia  $r$  de la carga, el campo eléctrico es:

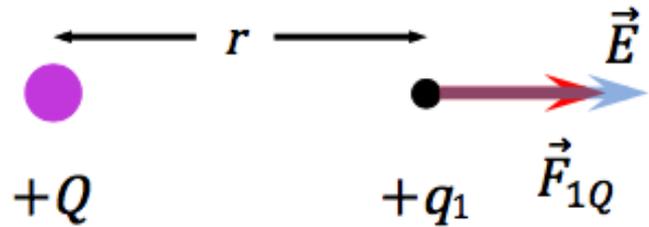
$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

Unidad en SI

$$[E] = \frac{N}{C}$$

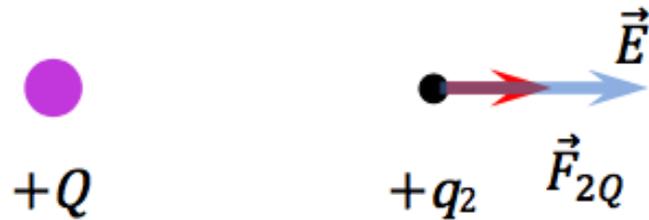
# Campo Eléctrico

Se tiene que  $q_3 > q_1 > q_2$ . Además  $Q$  y  $r$  es igual para los tres sistemas.



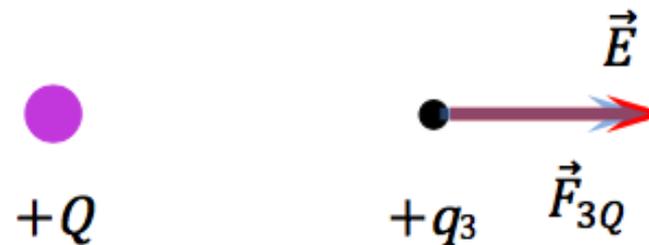
$$F_{1Q} = k \frac{Qq_1}{r^2}$$

$$E = \frac{F_{1Q}}{q_1} = k \frac{Q}{r^2}$$



$$F_{2Q} = k \frac{Qq_2}{r^2}$$

$$E = \frac{F_{2Q}}{q_2} = k \frac{Q}{r^2}$$



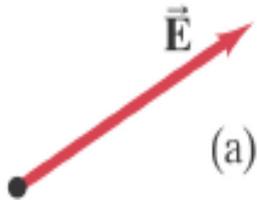
$$F_{3Q} = k \frac{Qq_3}{r^2}$$

$$E = \frac{F_{3Q}}{q_3} = k \frac{Q}{r^2}$$

# Campo Eléctrico

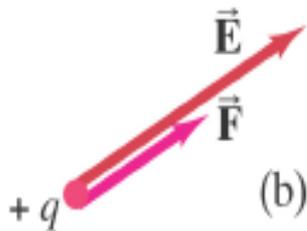
Conocido el campo eléctrico en una punto, la fuerza eléctrica sobre una carga  $q$  colocada en este punto es:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$



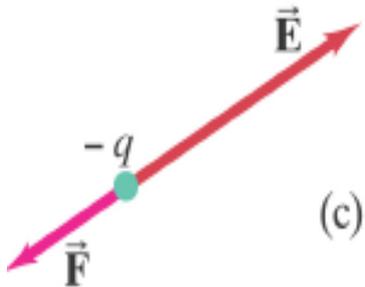
(a)

Si  $q > 0$ ,  $\vec{F}$  y  $\vec{E}$  apuntan en el mismo sentido



(b)

Si  $q < 0$ ,  $\vec{F}$  y  $\vec{E}$  apuntan sentidos opuestos



(c)

# Campo Eléctrico

Para un sistema de cargas, se cumple el principio de superposición para el campo eléctrico:

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

## Resolución de problemas en electrostática:

fuerzas eléctricas y campo eléctrico.

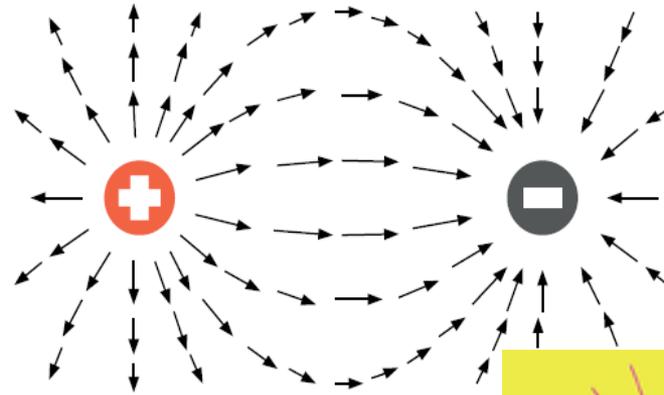
1. Dibujar un esquema; considerando todas las cargas, con sus respectivos signos, y el campo eléctrico y las fuerzas (recordar que son vectores).
2. Calcular la fuerza usando la ley de Coulomb.
3. Sumar las fuerzas vectorialmente para obtener el resultado.

# Campo Eléctrico

## Líneas de Campo Eléctrico

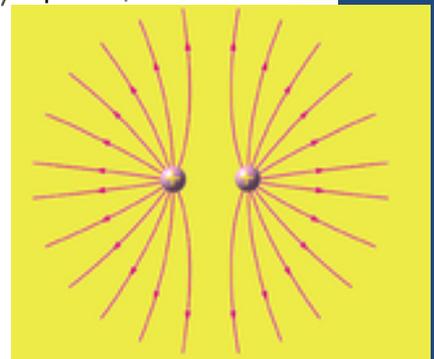
Las **líneas de campo eléctrico** (o líneas de fuerza), son líneas imaginarias que tienen como objetivo generar una representación visual del campo eléctrico en una región del espacio.

- La densidad de líneas de fuerza es proporcional a la intensidad del campo eléctrico

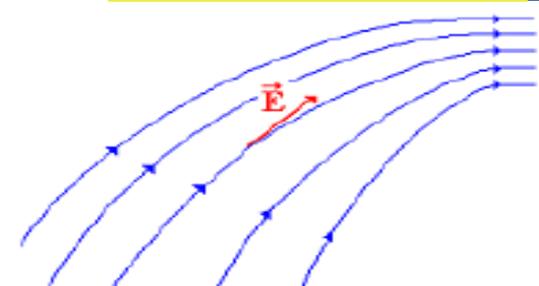


- El sentido de la línea, determina el sentido del campo eléctrico

Las líneas parten de las cargas positivas y arriban a las cargas negativas.



- En un punto de una línea, **la tangente** coincide con la dirección del campo eléctrico en este punto.



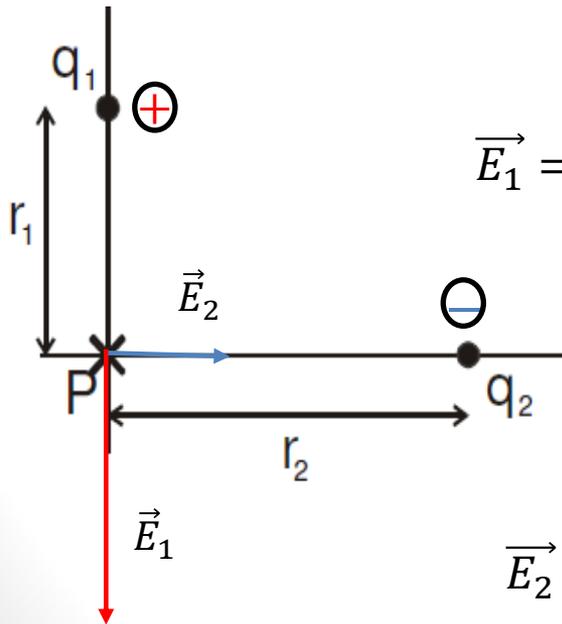
# Campo Eléctrico

En la Figura, se tiene una configuración de dos cargas,  $q_1 = 4 \times 10^{-5} \text{ C}$ ,  $q_2 = -2 \times 10^{-4} \text{ C}$ ,  $r_1 = 2 \text{ cm}$ ,  $r_2 = 4 \text{ cm}$ , calcule:

- módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en **P**;
- Se coloca una carga  $q_0 = -5 \times 10^{-5} \text{ C}$  en el punto P. Calcule el módulo, dirección y sentido de la fuerza resultante sobre la carga  $q_0$ .
- Represente en el esquema todas las cantidades vectoriales calculadas.

(a) módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en **P**;

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$\vec{E}_1 = -k \frac{q_1}{r_1^2} \hat{j} = -9 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{4 \times 10^{-5} \text{ C}}{(2 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \hat{j} = -9 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{j}$$

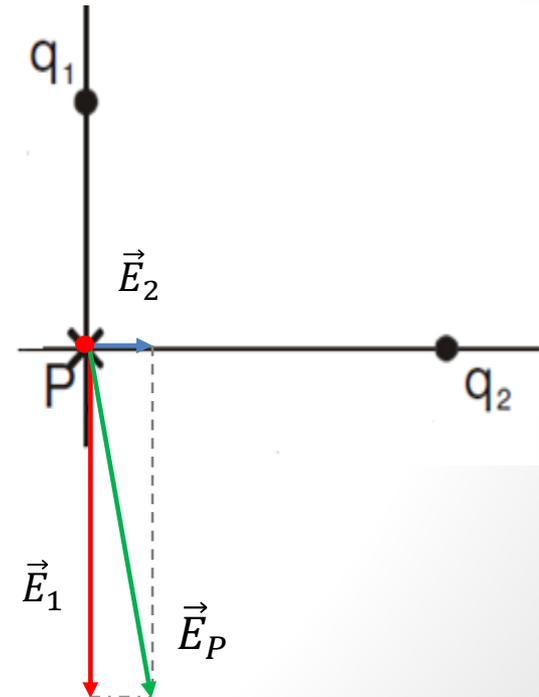
$$\vec{E}_2 = k \frac{q_2}{r_2^2} \hat{i} = 9 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{2 \times 10^{-5} \text{ C}}{(4 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \hat{i} = 1.12 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{i}$$

# Campo Eléctrico

$$\vec{E}_P = 1.12 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{i} - 9 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{j}$$

$$|\vec{E}_P| = \sqrt{\left(1.12 \times 10^8 \frac{N}{C}\right)^2 + \left(-9 \times 10^8 \frac{N}{C}\right)^2} = 9.1 \times 10^8 \frac{N}{C}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-9 \times 10^8 \frac{N}{C}}{1.12 \times 10^8 \frac{N}{C}}\right) = -83^\circ = 277^\circ$$



# Campo Eléctrico

(b) módulo, dirección y sentido de la fuerza resultante sobre la carga  $q_0$ , agregada en P.

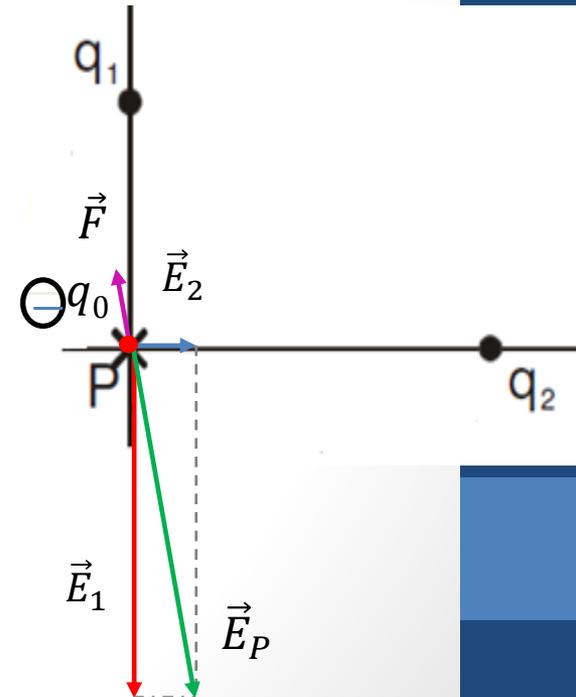
$$\vec{F} = q_0 \vec{E}_P \quad \longrightarrow \quad \vec{F} = q_0 \left( 1.12 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{i} - 9 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{j} \right)$$

$$\vec{F} = -5 \times 10^{-5} C \left( 1.12 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{i} - 9 \times 10^8 \frac{N}{C} \hat{j} \right)$$

$$\vec{F} = -5.6 \times 10^3 N \hat{i} + 45 \times 10^3 N \hat{j}$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{\left( -5.6 \times 10^3 \frac{N}{C} \right)^2 + \left( 45 \times 10^3 \frac{N}{C} \right)^2} = 45 \times 10^3 N$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{45 \times 10^3 \frac{N}{C}}{-5.6 \times 10^3 \frac{N}{C}} \right) = -83^\circ = 97^\circ$$

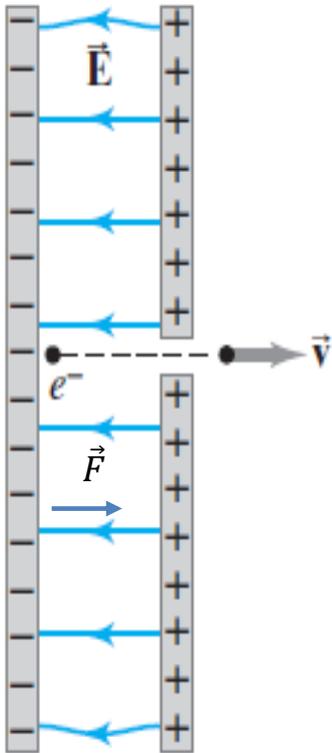


# Movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico

Si un objeto con carga eléctrica  $q$  está en un punto del espacio donde el campo eléctrico es  $\vec{E}$ , la fuerza sobre el objeto está dada por:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

## Electrón acelerado por un campo eléctrico



Un electrón (masa  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg) es acelerado en el campo eléctrico uniforme ( $E = 2.0 \times 10^4$  N/C) entre dos placas cargadas paralelas. La separación entre las placas es de 1.5 cm. El electrón es acelerado a partir del reposo cerca de la placa negativa y pasa a través de un pequeño agujero en la placa positiva

**¿Con qué velocidad deja el agujero?**

# Movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico

Podemos obtener la velocidad de electrón usando las ecuaciones cinemáticas, luego de encontrar su aceleración a partir de la segunda ley de Newton,  $F = ma$ .



La magnitud de la fuerza sobre el electrón  $F = qE = ma \rightarrow a = \frac{qE}{m}$

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{C})(2.0 \times 10^4 \text{N/C})}{9.1 \times 10^{-31} \text{kg}} = 0.35 \times 10^{16} \text{m/s}^2$$

Viaja una distancia  $x = 1.5 \times 10^{-2} \text{m}$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \rightarrow v = \sqrt{2ax} = \sqrt{2(0.35 \times 10^{16} \text{m/s}^2)(1.5 \times 10^{-2} \text{m})}$$

$$v = 1 \times 10^7 \text{m/s}$$

# Potencial Eléctrico

La fuerza eléctrica, del mismo modo que la fuerza gravitatoria, es una fuerza conservativa. Siguiendo el análisis del problema gravitacional, podemos definir la **Energía Potencial Eléctrica** de un sistema de cargas.

La Energía Potencial Eléctrica en el caso de dos cargas puntuales separadas una distancia  $r$  es:

$$U_E = k \frac{qQ}{r}$$

Unidad: *Joule*

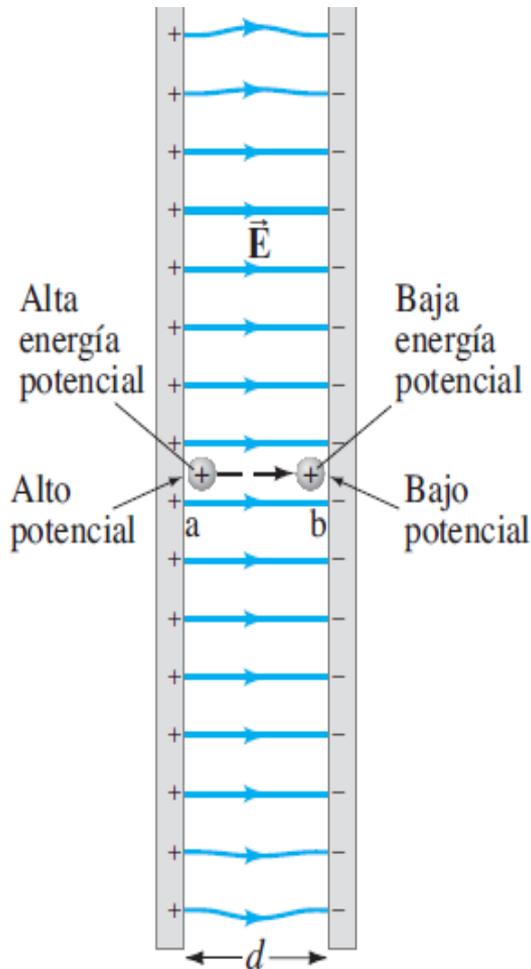
Se define **Potencial Eléctrico (V)** debido a la carga  $Q$  en el punto  $P$  (donde se encuentra la carga de prueba  $q$ ) a la **Energía Potencia Eléctrica** por unidad de carga:

$$V = \frac{U_E}{q} = k \frac{Q}{r}$$

Unidad: **Volt** =  $\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$

# Potencial Eléctrico

Al igual que el caso del potencial gravitatorio, sólo interesan los cambios en el potencial eléctrico (V). Sólo la diferencia en el potencial, entre dos puntos a y b, es susceptible de ser medida.



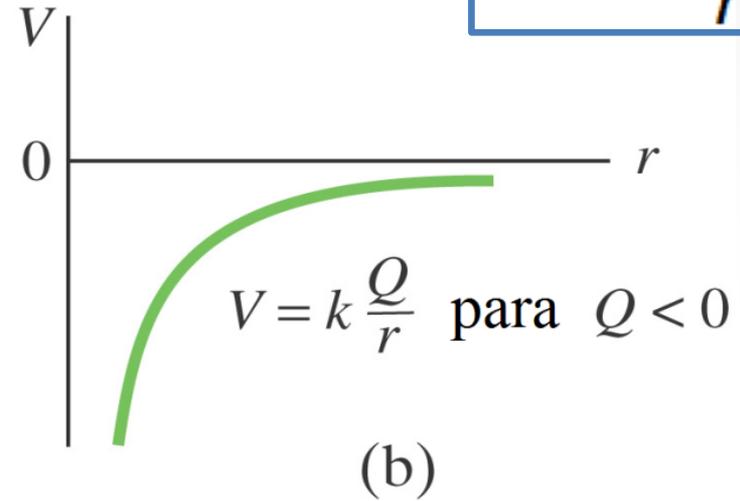
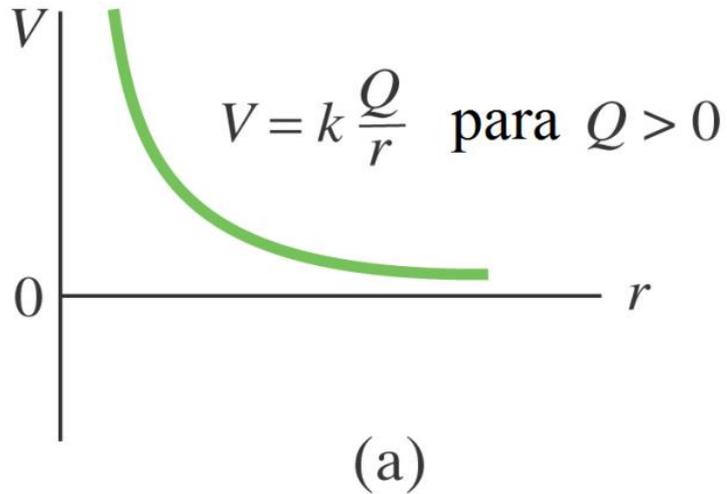
Cuando la fuerza eléctrica efectúa trabajo positivo sobre la carga, la energía cinética aumenta y la energía potencial disminuye. **La diferencia en energía potencial,  $U_b - U_a$ , es igual al negativo del trabajo,  $W_{ba}$ , que realiza el campo eléctrico para mover la carga desde  $a$  hasta  $b$** ; por lo mismo, la diferencia de potencial  $V_{ba}$  es

$$V_{ba} = \Delta V = V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q} = \frac{-W_{ba}}{q}$$

# Potencial Eléctrico

El potencial eléctrico debido a una carga puntual:

$$V = k \frac{Q}{r}$$



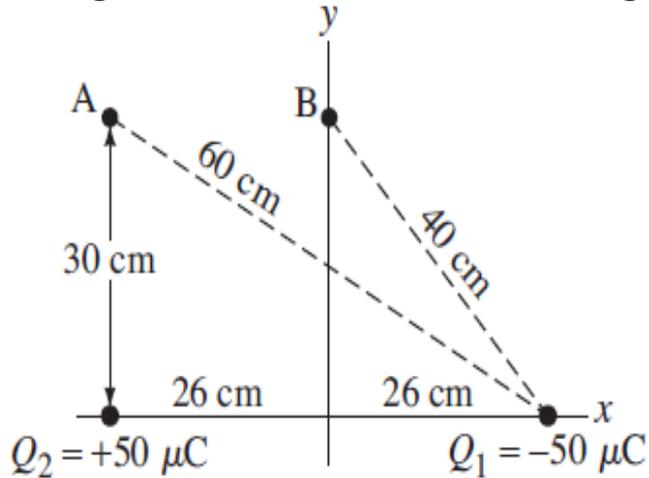
El potencial en un punto debido a un conjunto  $n$  de cargas puntuales es:

$$V = \sum_i V_i = \sum_i k \frac{Q_i}{r_i}$$

donde  $r_i$  es la distancia entre la carga  $Q_i$  y el punto donde se calcula el potencial.

# Potencial Eléctrico

**Potencial cerca de dos cargas.** Calcule el potencial eléctrico a) en el punto A de la figura debido a las dos cargas que se muestran y b) en el punto B.



El potencial total en el punto A (o en el punto B) es la suma de los potenciales en ese punto, debido a cada una de las cargas  $Q_1$  y  $Q_2$ .

No tenemos que preocuparnos por la dirección, pues el potencial eléctrico es *una cantidad escalar*. Habrá que tener cuidado con los signos de las cargas.

a) Sumamos los potenciales en A debidos a cada una de las cargas  $Q_1$  y  $Q_2$ .

$$V_A = V_{A2} + V_{A1} = k \frac{Q_2}{r_{A2}} + k \frac{Q_1}{r_{A1}}$$

$$V_A = 9 \times 10^9 \text{N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{50 \times 10^{-6} \text{C}}{30 \times 10^{-2} \text{m}} + 9 \times 10^9 \text{N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-50 \times 10^{-6} \text{C})}{60 \times 10^{-2} \text{m}} = 15 \times 10^5 \text{V} - 7.5 \times 10^5 \text{V}$$

$$V_A = 7.5 \times 10^5 \text{V}$$

b) En el punto B,  $r_{1B} = r_{2B} = 40 \text{ cm}$  y  $Q_2 = -Q_1$

$$V_B = V_{B2} + V_{B1} = k \frac{Q_2}{r_{B2}} + k \frac{Q_1}{r_{B1}} = k \frac{Q_1}{r_{B1}} - k \frac{Q_1}{r_{B1}} = 0$$

# Resumen

- ✓ Existen dos tipos de cargas: positivas y negativas.
- ✓ La carga se conserva.
- ✓ Ley de cargas: Cargas de igual signo se Repelen.  
Cargas de distinto signo de Atraen
- ✓ Conductores: los electrones se mueven libremente.
- ✓ Aisladores: los electrones prácticamente no se mueven.
- ✓ Los conductores se pueden cargar por conducción o inducción

# Resumen

- ✓ Ley de Coulomb para cargas puntuales:

$$F = k \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

- ✓ Módulo del campo Eléctrico para cargas puntuales

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

- ✓ El campo eléctrico se puede representar por líneas.
- ✓ Potencial Eléctrico: es energía por unidad de carga
- ✓ Potencial eléctrico de una carga puntual

$$V = k \frac{Q}{r}$$