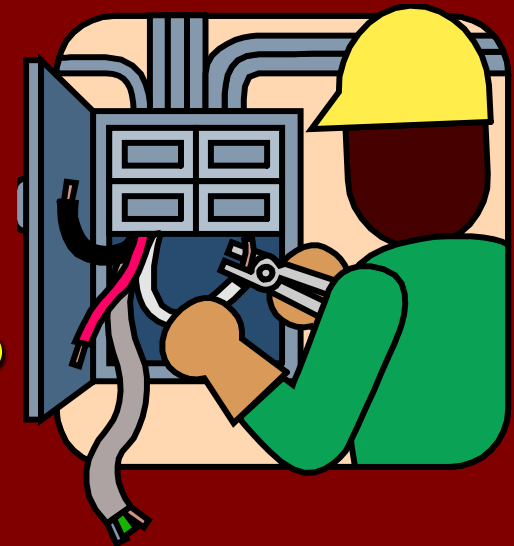


Unidad 1_a: Fuerza eléctrica

Materia: Física II

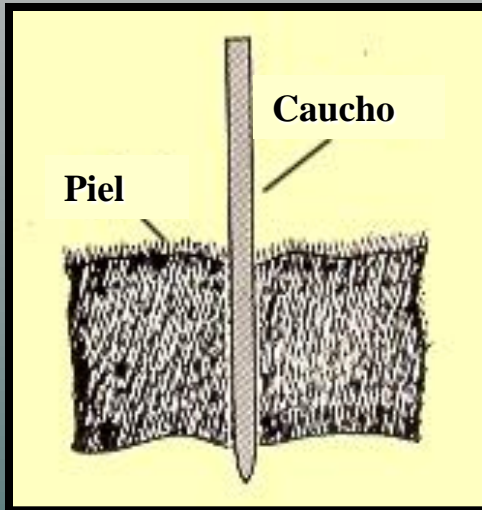
Objetivos:

- Explicar la ley de la electrostática y discutir la carga por inducción.
- Aplicar la ley de Coulomb y aplicarla a problemas que involucren fuerzas eléctricas.
- Definir el electrón, el coulomb y el microcoulomb como unidades de carga eléctrica.

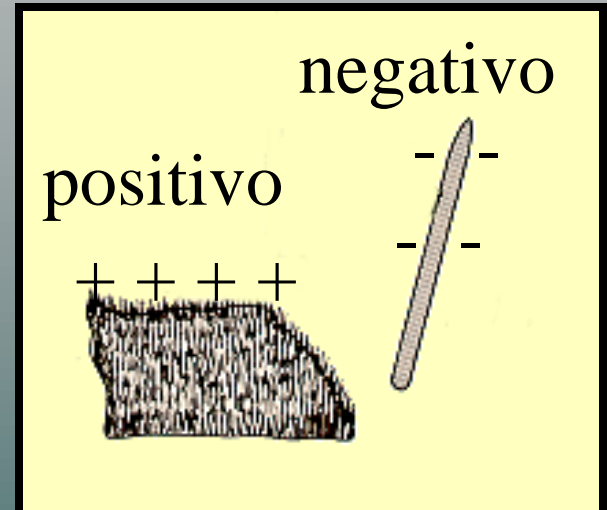


Carga eléctrica

Cuando una barra de caucho se frota con piel, se remueven electrones de la piel y se depositan en la barra.



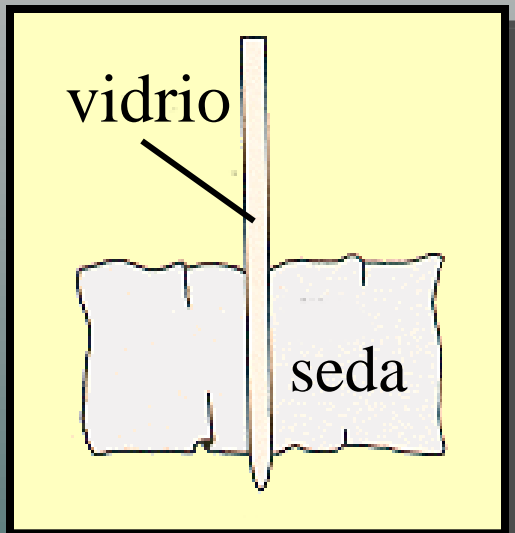
Los electrones se mueven de la piel a la barra de caucho.



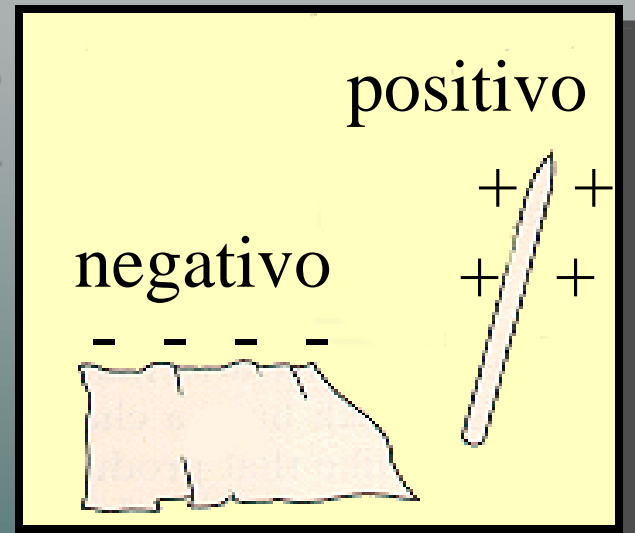
Se dice que la barra se **cargó negativamente** debido a un **exceso** de electrones. Se dice que la piel se **cargó positivamente** debido a una **deficiencia** de electrones.

Vidrio y seda

Cuando una barra de vidrio se frota con seda, se remueven electrones del vidrio y se depositan en la seda.



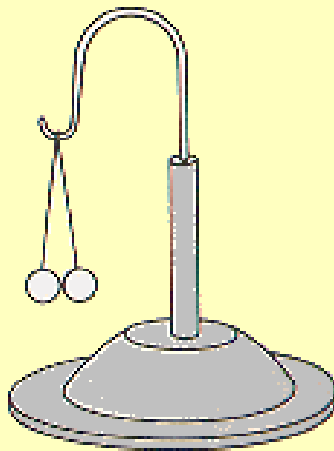
Los electrones se mueven del vidrio a la seda.



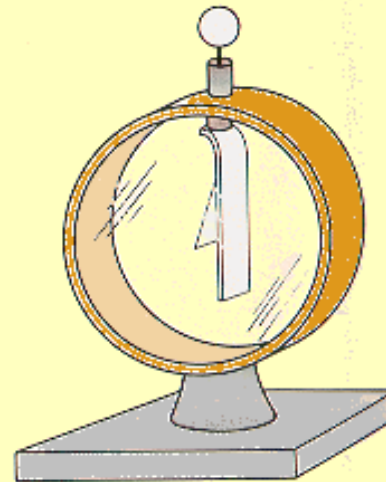
Se dice que el vidrio está **cargado positivamente** debido a una **deficiencia** de electrones. Se dice que la seda está **cargada negativamente** debido a un **exceso** de electrones.

El electroscope

Aparatos de laboratorio que se usan para estudiar la existencia de dos tipos de carga eléctrica.



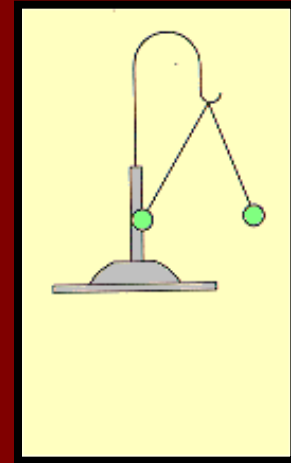
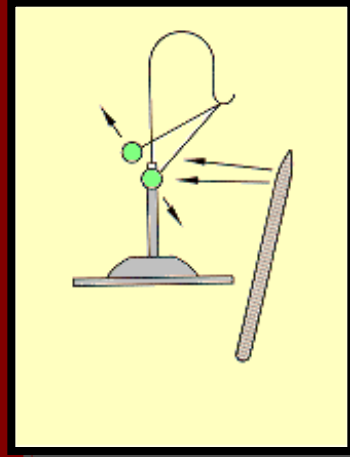
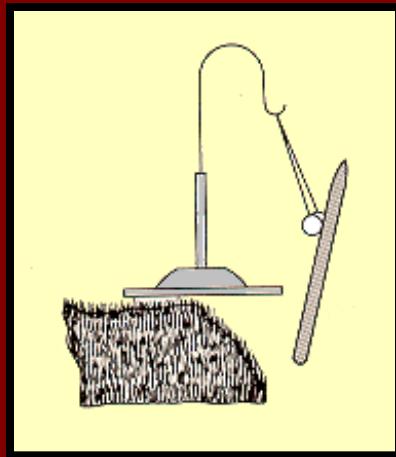
Electroscopio de
esferas de médula
de saúco



Electroscopio de
hoja de oro

Dos cargas negativas se repelen

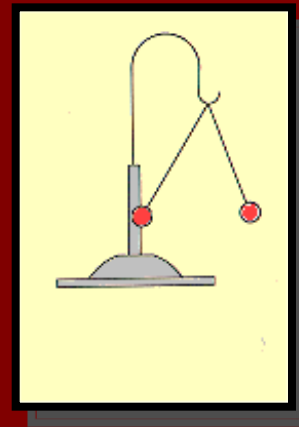
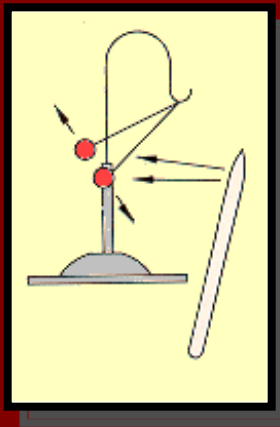
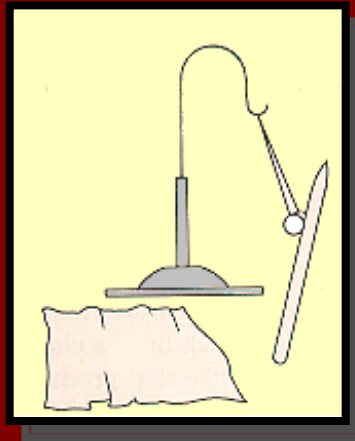
1. Cargue la barra de ambar al frotarla con piel.
2. Transfiera electrones de la barra a cada esfera.



Dos cargas negativas se repelen mutuamente.

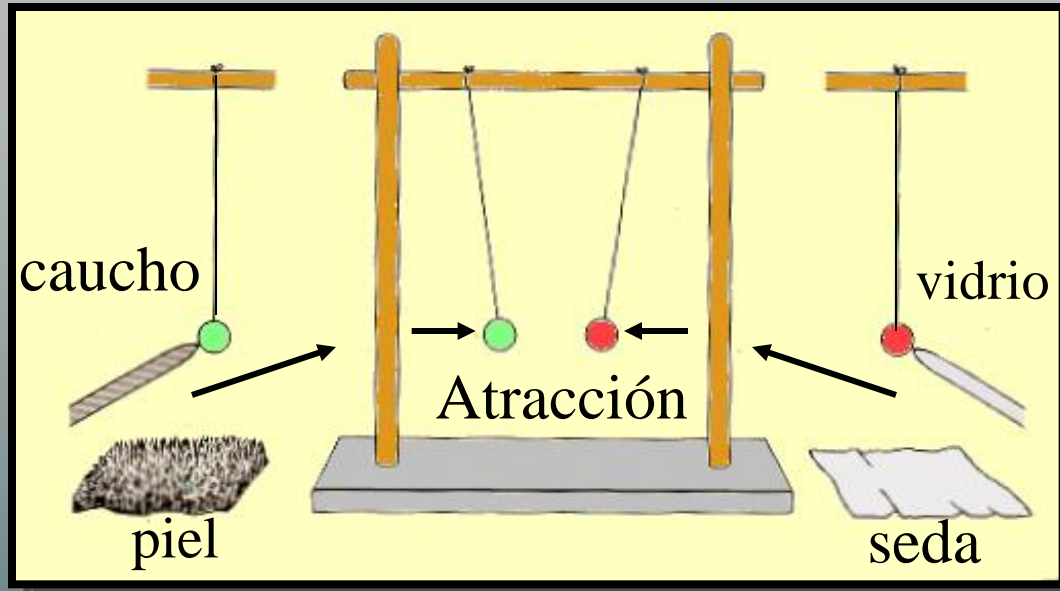
Dos cargas positivas se repelen

1. Cargue la barra de vidrio al frotarla con seda.
2. Toque las esferas con la barra. Los electrones libres en las esferas se mueven para llenar los vacíos en la seda, lo que deja a cada esfera con deficiencia. (Se cargan positivamente.)



Las dos cargas positivas se repelen mutuamente.

Los dos tipos de carga

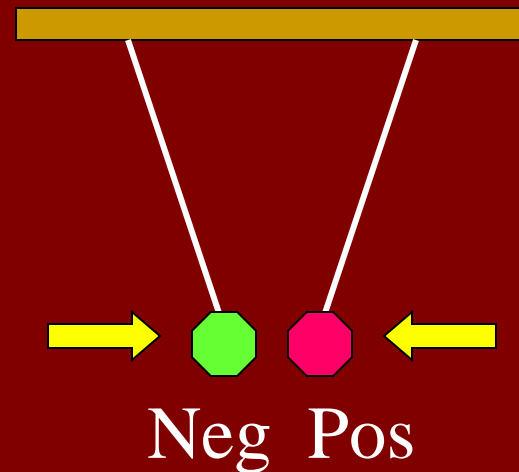
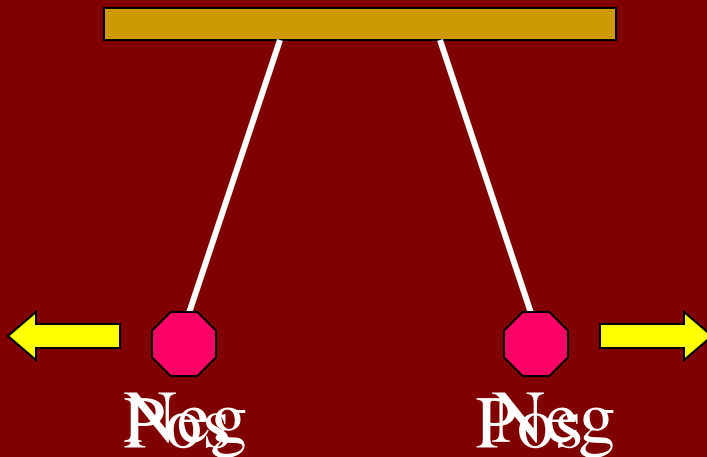


Note que la esfera cargada negativamente (**verde**) es **atraída** por la esfera cargada positivamente (**roja**).

¡Cargas opuestas se atraen!

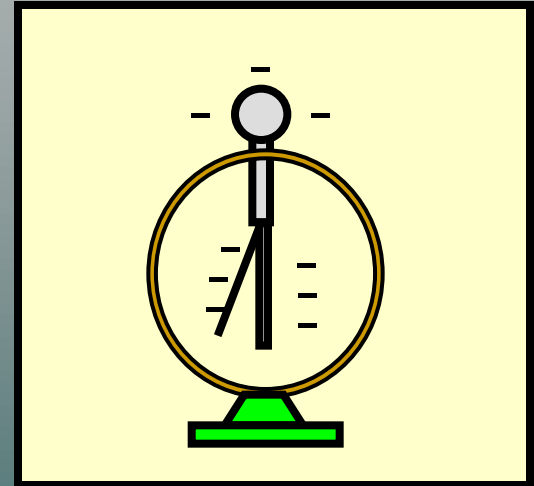
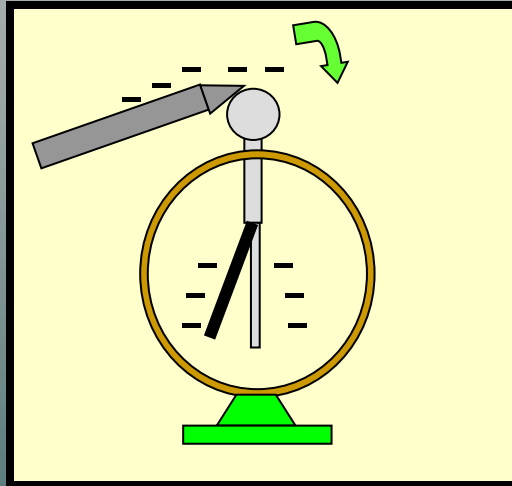
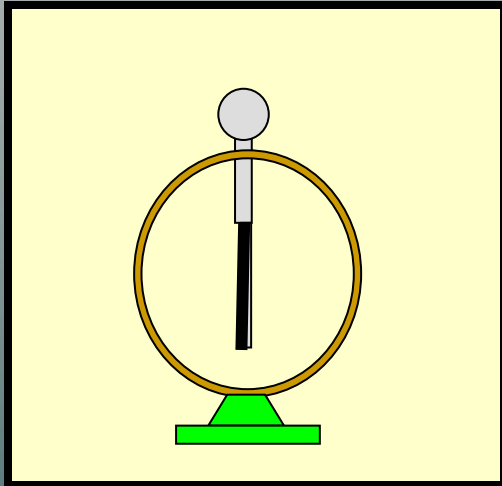
Primera ley de la electrostática

Cargas iguales se repelen;
cargas opuestas se atraen.



Carga por contacto

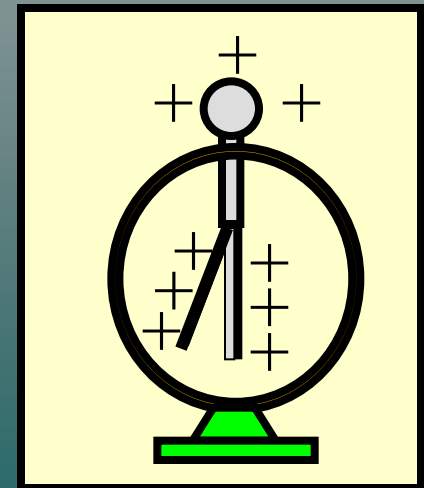
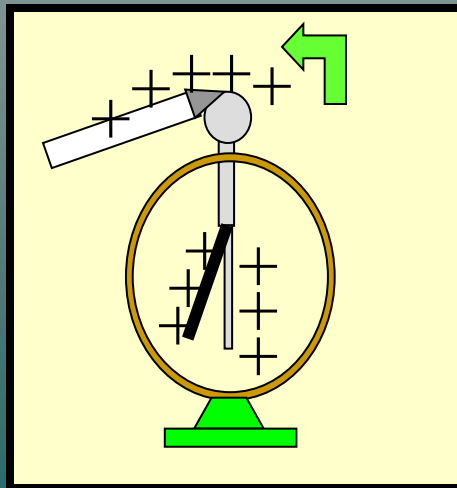
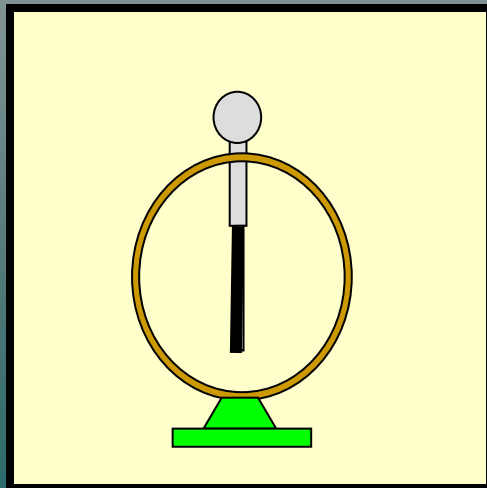
1. Tome un electroscope descargado, como se muestra abajo.
2. Ponga una barra cargada negativamente en contacto con la perilla.



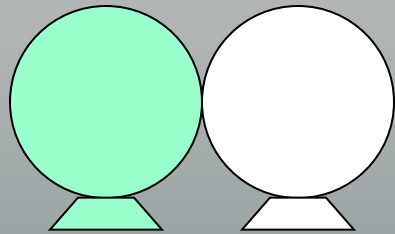
3. Los electrones se mueven **por** la hoja y el eje, lo que hace que se separen. Cuando la barra se retira, el electroscope permanece cargado **negativamente**.

Cargue el electroscope positivamente mediante contacto con una barra de vidrio:

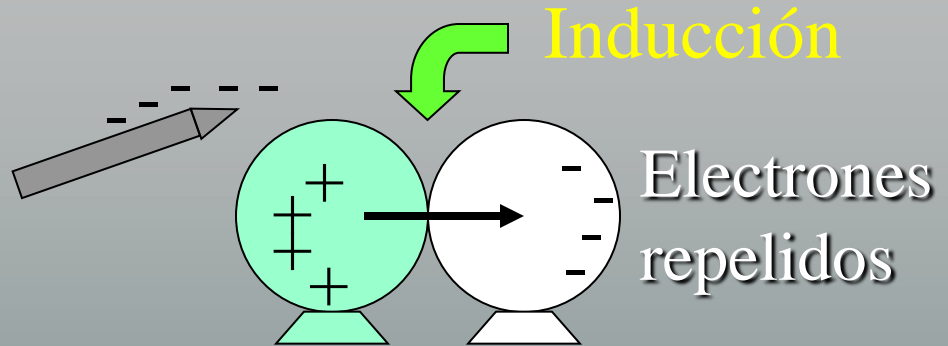
Repita los procedimientos usando una barra de vidrio cargada **positivamente**. Los electrones se mueven **desde** la esfera para llenar la deficiencia en el vidrio, lo que deja el electroscope con una carga neta positiva cuando se retira el vidrio.



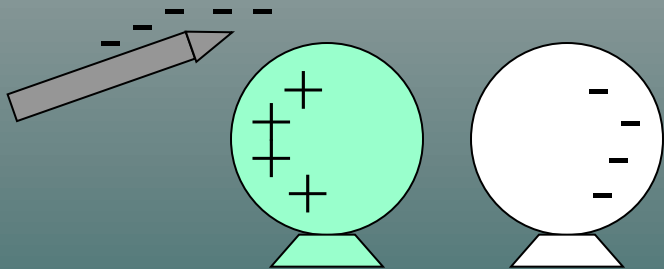
Carga de esferas por inducción



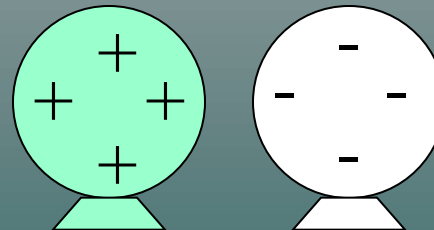
Esferas no cargadas



Separación de carga

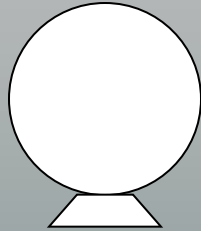


Aislamiento de
esferas

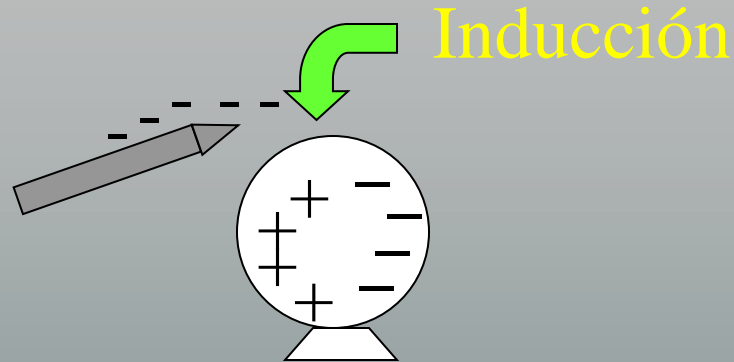


Cargadas por inducción

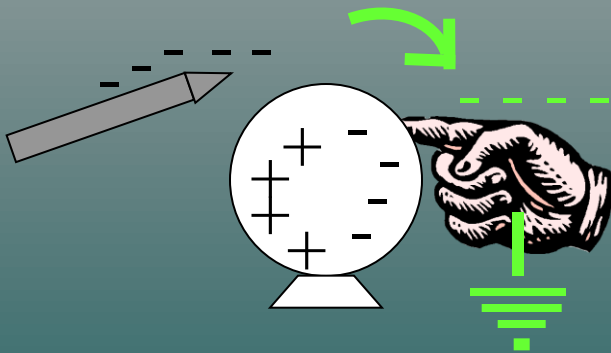
Inducción para una sola esfera



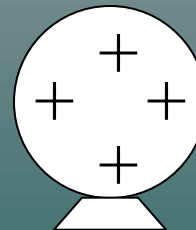
Esfera no cargada



Separación de carga



Los electrones se mueven a tierra



Cargada por inducción

La cantidad de carga

La **cantidad de carga** (q) se puede definir en términos del número de electrones, pero el **Coulomb** (**C**) es una mejor unidad para trabajo posterior. La siguiente puede ser una definición **temporal**:

Coulomb: $1 \text{ C} = 6.25 \times 10^{18} \text{ electrones}$

Esto significa que la carga en un solo electrón es:

1 electrón: $e^- = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Unidades de carga

El **coulomb** (que se selecciona para usar con corrientes eléctricas) en realidad es una **unidad muy grande** para electricidad estática. Por ende, con frecuencia es necesario usar los prefijos métricos.

$$1 \mu\text{C} = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

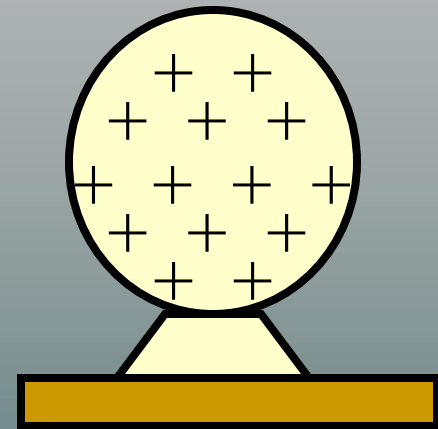
$$1 \text{ pC} = 1 \times 10^{-12} \text{ C}$$

Ejemplo 1. Si **16 millones** de electrones se remueven de una esfera neutral, ¿cuál es la carga en coulombs sobre la esfera?

1 electrón: $e^- = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$q = (16 \times 10^6 e^-) \left(\frac{-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}{1 e^-} \right)$$

$$q = -2.56 \times 10^{-12} \text{ C}$$



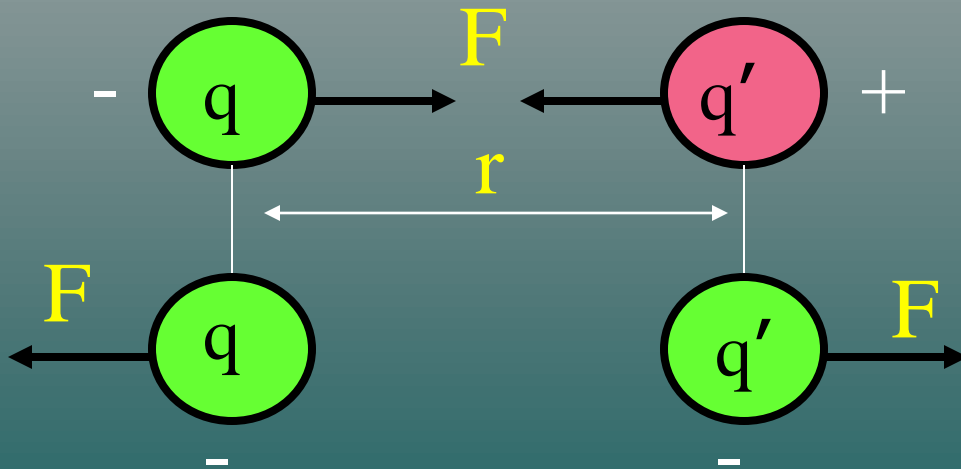
Dado que se **remueven** electrones, la carga que permanece sobre la esfera será **positiva**.

Carga final sobre la esfera:

$$q = +2.56 \text{ pC}$$

Ley de Coulomb

La fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las dos cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.



$$F \propto \frac{qq'}{r^2}$$

Cálculo de fuerza eléctrica

La constante de proporcionalidad **k** para la **ley de Coulomb** depende de la elección de las unidades para carga.

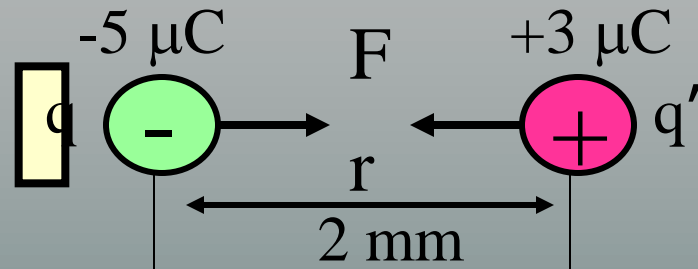
$$F = \frac{kqq'}{r^2} \quad \text{donde} \quad k = \frac{Fr^2}{qq'}$$

Cuando la carga **q** está en **coulombs**, la distancia **r** en **metros** y la fuerza **F** en **newtons**, se tiene:

$$k = \frac{Fr^2}{qq'} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Ejemplo 2. Una carga de $-5 \mu\text{C}$ se coloca a 2 de una carga de $+3 \mu\text{C}$. Encuentre la fuerza entre las dos cargas.

Dibuje y marque lo dado en la figura:



$$F = \frac{kqq'}{r^2} = \frac{(9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2})(-5 \times 10^{-6}\text{C})(3 \times 10^{-6}\text{C})}{(2 \times 10^{-3}\text{m})^2}$$

$$F = 3.38 \times 10^4 \text{ N}; \quad \text{atracción}$$

Nota: Los signos se usan SÓLO para determinar la dirección de la fuerza.

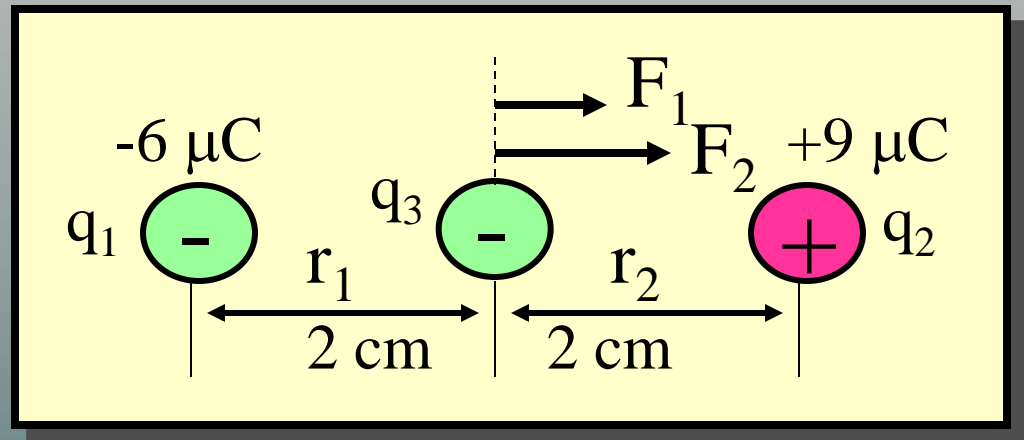
Estrategias para resolución de problemas

1. Lea, dibuje y etiquete un bosquejo que muestre toda la información en **unidades SI** apropiadas.
2. No confunda el signo de la carga con el signo de las fuerzas. **Atracción/repulsión** determina la dirección (o signo) de la fuerza.
3. La **fuerza resultante** se encuentra al considerar la fuerza debida a cada carga **independientemente**.
Revise el módulo acerca de *vectores*, de ser necesario.
4. Para fuerzas en equilibrio: $\Sigma F_x = 0 = \Sigma F_y = 0$.

Ejemplo 3. Una carga de $-6 \mu\text{C}$ se coloca a 4 cm de una carga de $+9 \mu\text{C}$. ¿Cuál es la fuerza resultante sobre una carga de $-5 \mu\text{C}$ que se ubica a medio camino entre las primeras cargas?

$$1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

1. Dibuje y etiquete.
2. Dibuje fuerzas.
3. Encuentre resultante; derecha es positivo.



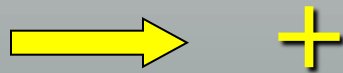
$$F_1 = \frac{kq_1q_3}{r_1^2} = \frac{(9 \times 10^9)(6 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(0.02 \text{ m})^2};$$

$$F_1 = 675 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{kq_2q_3}{r_1^2} = \frac{(9 \times 10^9)(9 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(0.02 \text{ m})^2};$$

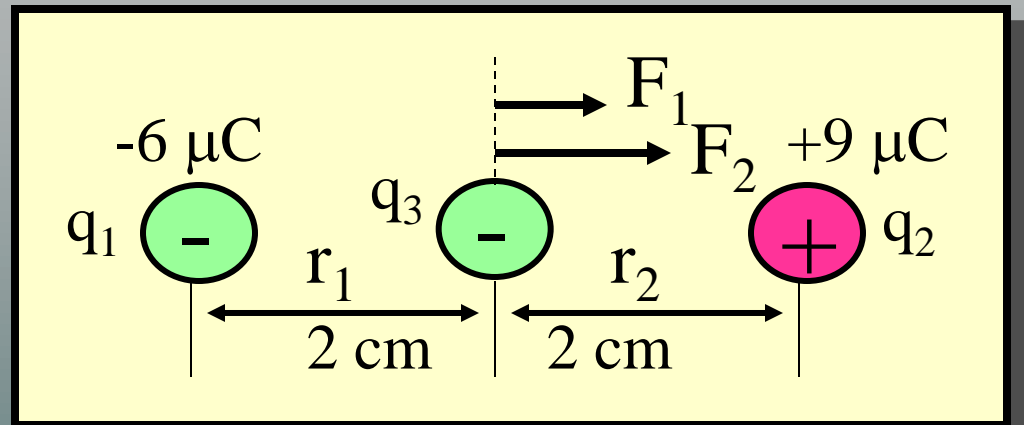
$$F_2 = 1013 \text{ N}$$

Ejemplo 3. (Cont.) Note que la dirección (signo) de las fuerzas se encuentra de **atracción-repulsión**, no de + o - de la carga



$$F_1 = 675 \text{ N}$$

$$F_2 = 1013 \text{ N}$$

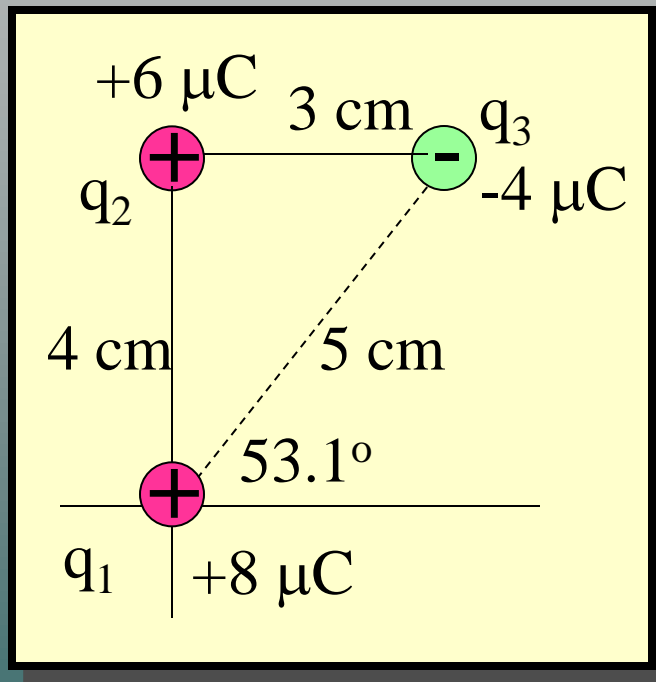


La fuerza resultante es la suma de cada fuerza independiente:

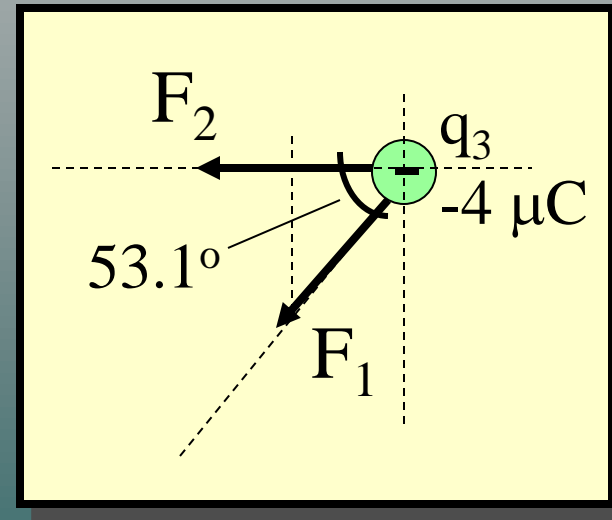
$$F_R = F_1 + F_2 = 675 \text{ N} + 1013 \text{ N};$$

$$F_R = +1690 \text{ N}$$

Ejemplo 4. Tres cargas, $q_1 = +8 \mu\text{C}$, $q_2 = +6 \mu\text{C}$ y $q_3 = -4 \mu\text{C}$ se ordenan como se muestra abajo. Encuentre la fuerza resultante sobre la carga de $-4 \mu\text{C}$ debida a las otras.



Dibuje **diagrama de cuerpo libre**.



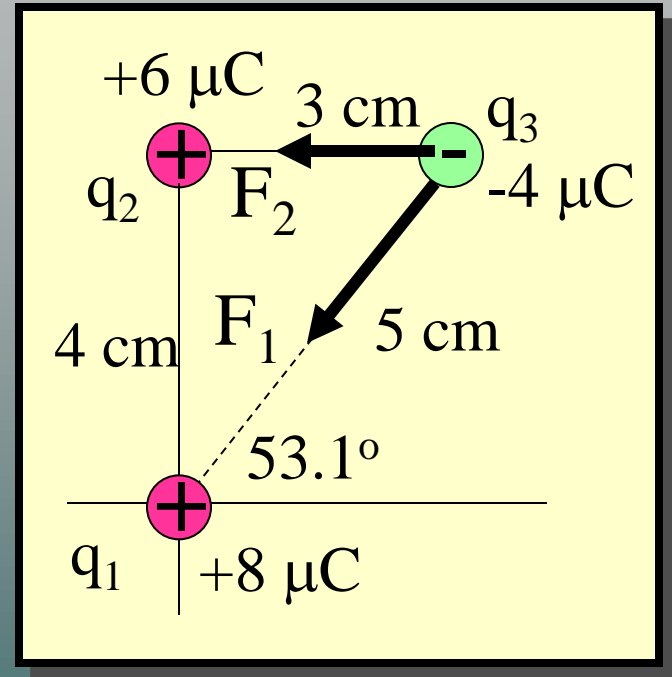
Note que las **direcciones** de las fuerzas F_1 y F_2 **sobre q_3** se basan en atracción/repulsión de q_1 y q_2 .

Ejemplo 4 (Cont.) A continuación encuentre las fuerzas F_1 y F_2 a partir de la ley de Coulomb. Tome los datos de la figura y use unidades SI.

$$F_1 = \frac{kq_1q_3}{r_1^2}; \quad F_2 = \frac{kq_2q_3}{r_2^2}$$

$$F_1 = \frac{(9 \times 10^9)(8 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.05 \text{ m})^2}$$

$$F_2 = \frac{(9 \times 10^9)(6 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.03 \text{ m})^2}$$



Por tanto, se necesita encontrar la **resultante** de dos fuerzas:

$$F_1 = 115 \text{ N}, 53.1^\circ \text{ S del O}$$

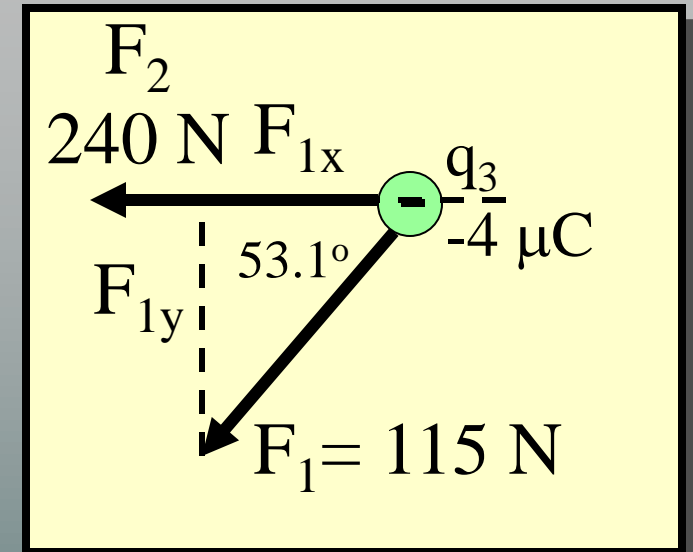
$$F_2 = 240 \text{ N}, \text{ oeste}$$

Ejemplo 4 (Cont.) Encuentre los componentes de las fuerzas F_1 y F_2 (revise vectores).

$$F_{1x} = -(115 \text{ N}) \cos 53.1^\circ = -69.2 \text{ N}$$

$$F_{1y} = -(115 \text{ N}) \sin 53.1^\circ = -92.1 \text{ N}$$

Ahora observe la fuerza F_2 :



$$F_{2x} = -240 \text{ N}; \quad F_{2y} = 0$$

$$R_x = \Sigma F_x; \quad R_y = \Sigma F_y$$

$$R_x = -69.2 \text{ N} - 240 \text{ N} = -309 \text{ N}$$

$$R_x = -92.1 \text{ N}$$

$$R_y = -69.2 \text{ N} - 0 = -69.2 \text{ N}$$

$$R_y = -240 \text{ N}$$

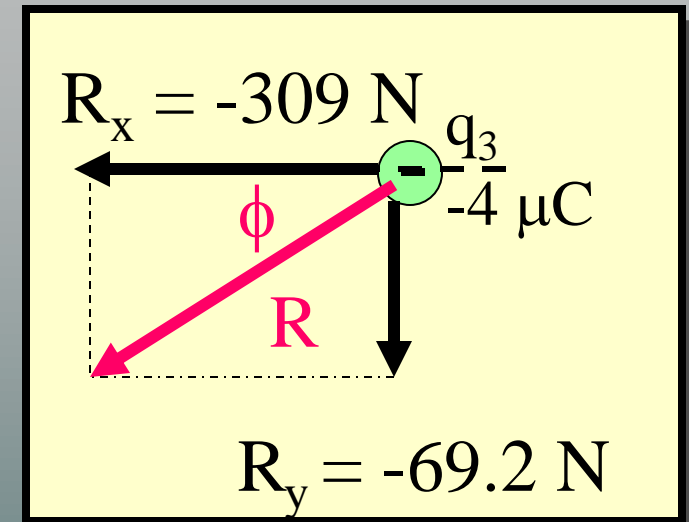
Ejemplo 4 (Cont.) Ahora encuentre la resultante R de los componentes F_x y F_y . (revise vectores).

$$R_x = -309 \text{ N}$$

$$R_y = -69.2 \text{ N}$$

Ahora se encuentra la resultante R, θ :

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \quad \tan \phi = \frac{R_y}{R_x}$$



$$R = \sqrt{(309 \text{ N})^2 + (69.2 \text{ N})^2} = 317 \text{ N}$$

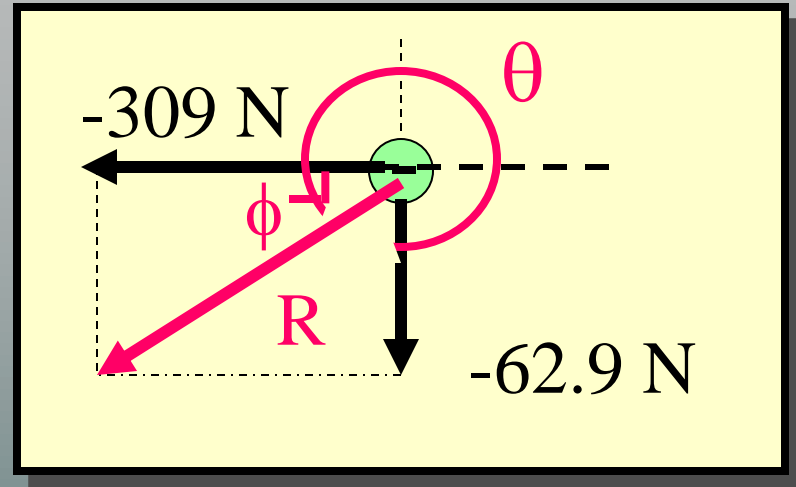
Por tanto, la magnitud de la fuerza eléctrica es:

$$R = 317 \text{ N}$$

Ejemplo 4 (Cont.) La fuerza resultante es **317 N**. Ahora es necesario determinar el ángulo o **dirección** de esta fuerza.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 317 \text{ N}$$

$$\tan \phi = \frac{R_y}{R_x} = \frac{-309 \text{ N}}{-69.2 \text{ N}}$$



El ángulo de referencia es: $\phi = 77.4^\circ \text{ S del O}$

O, el ángulo polar θ es: $\theta = 180^\circ + 77.4^\circ = 257.4^\circ$

Fuerza resultante: $R = 317 \text{ N}, \theta = 257.4^\circ$

Resumen de fórmulas:

Cargas iguales se repelen; cargas iguales se atraen.

$$F = \frac{kqq'}{r^2}$$

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$1 \mu\text{C} = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$1 \text{ pC} = 1 \times 10^{-12} \text{ C}$$

$$1 \text{ electrón: } e^- = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$