

INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA ELECTROSTÁTICA

**IES La Magdalena.
Avilés. Asturias**

Cualquier partícula material, además de tener masa (y ser sensible, por tanto, a la interacción gravitatoria) contiene cargas eléctricas positivas y negativas (denominación atribuida a Benjamín Franklin) que como es sabido son portadas por los protones y electrones.

La existencia de la carga eléctrica da lugar a una nueva interacción fundamental en la naturaleza ya que existe una fuerza de atracción entre cargas de distinto signo, mientras que la interacción se vuelve repulsiva si las cargas tienen signo idéntico.

La materia es eléctricamente neutra, de lo que podemos deducir algunas cosas:

- **Debe de existir una carga eléctrica elemental** (la carga eléctrica del electrón). En consecuencia, la carga eléctrica perdida o adquirida en los procesos de transferencia de carga debe ser siempre un múltiplo entero de la carga eléctrica elemental. Se dice que la carga eléctrica está "**cuantizada**".
- El valor de la carga eléctrica elemental es $1,60 \cdot 10^{-19}$ C.
- La neutralidad eléctrica de la materia se explica por la existencia de un número idéntico de cargas positivas y negativas.
- El mecanismo por el cual un cuerpo adquiere carga eléctrica (sea positiva o negativa) implica la transferencia de electrones débilmente ligados al núcleo atómico (los que ocupan las capas más externas). Si un cuerpo pierde electrones quedará cargado positivamente debido al exceso de carga positiva y si los gana adquirirá la correspondiente carga negativa.

La interacción entre dos cargas (supuestas puntuales) viene descrita por la **Ley de Coulomb** (1785) que establece que **la fuerza con que dos cargas se atraen o se repelen es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.**

Fuerza de atracción o repulsión: apunta siempre hacia el centro de los cuerpos cargados.

Carga de los cuerpos en culombios (C)

Vector unitario.
Dirección: la de la recta que une las cargas
Sentido: saliendo de la carga que se considera que atrae o repele.

$$\vec{F} = K \frac{q Q}{r^2} \vec{u}_r$$

Distancia entre las cargas en metros. Si son cargas grandes, la distancia se toma entre los centros.

El valor de K puede expresarse en función de una nueva constante, característica de cada medio, ϵ , llamada **constante dieléctrica del medio o permitividad:**

$$K = \frac{1}{4 \pi \epsilon}$$

(En física los medios aislantes reciben el nombre de *dieléctricos* de ahí el nombre de constante dieléctrica)

Constante de proporcionalidad. Su valor depende del medio en el que se encuentren las cargas (vacío, aire, agua...). Para el vacío o el aire su valor es el mismo

Para el S.I:

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

Para el S.I. y para el vacío o el aire la constante dieléctrica (ϵ_0) vale:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

Por tanto el valor de K para el vacío o el aire será :

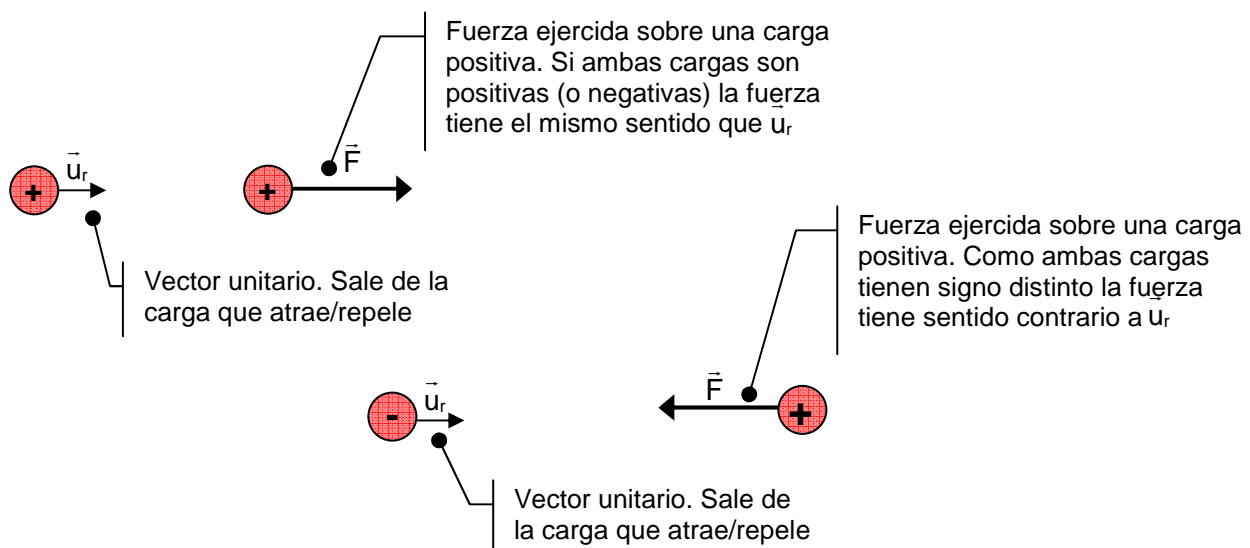
$$K = \frac{1}{\cancel{4\pi} \frac{1}{\cancel{4\pi} 9 \cdot 10^9} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

En otras ocasiones se emplea la **constante dieléctrica relativa** (un número sin dimensiones) definida como el cociente entre la constante dieléctrica del medio considerado y la del vacío:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}; \quad \epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

La constante dieléctrica está relacionada con la capacidad del medio para transmitir la interacción eléctrica.

En un medio con un constante dieléctrica alta (K, pequeña) la fuerza entre dos cargas será más pequeña que en otro en el que la constante dieléctrica sea baja (K, grande). El primer medio es mejor aislante y, por tanto, "transmite" peor la interacción entre cargas (recordar que en física los medios aislantes reciben el nombre de *dieléctricos*)



En la práctica la unidad S.I (el culombio) resulta excesivamente grande por lo que se utilizan submúltiplos de la misma:

Microculombio (μC). $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{C}$
 Nanoculombio (nC). $1 \text{nC} = 10^{-9} \text{C}$
 Picoculombio (pC). $1 \text{pC} = 10^{-12} \text{C}$

- Un aspecto importante de la carga eléctrica es que siempre aparece asociada a partículas con masa, las **partículas elementales**.
- Se ha encontrado que en todos los procesos observados la carga neta de un sistema aislado permanece invariable, lo que constituye el enunciado del **Principio de Conservación de la Carga**.
- Para calcular la fuerza total ejercida por varias cargas sobre otra es preciso calcular la fuerza ejercida por cada una de ellas y, al final, sumar (vectorialmente) todas las fuerzas (**Principio de Superposición**).
- La interacción eléctrica juega un papel fundamental en la estructura de la materia ya que es esta interacción la que mantiene unidos los electrones a los núcleos. También es la responsable de las fuerzas que actúan entre las moléculas (fuerzas intermoleculares) las cuales determinan algunas importantes propiedades de las sustancias.

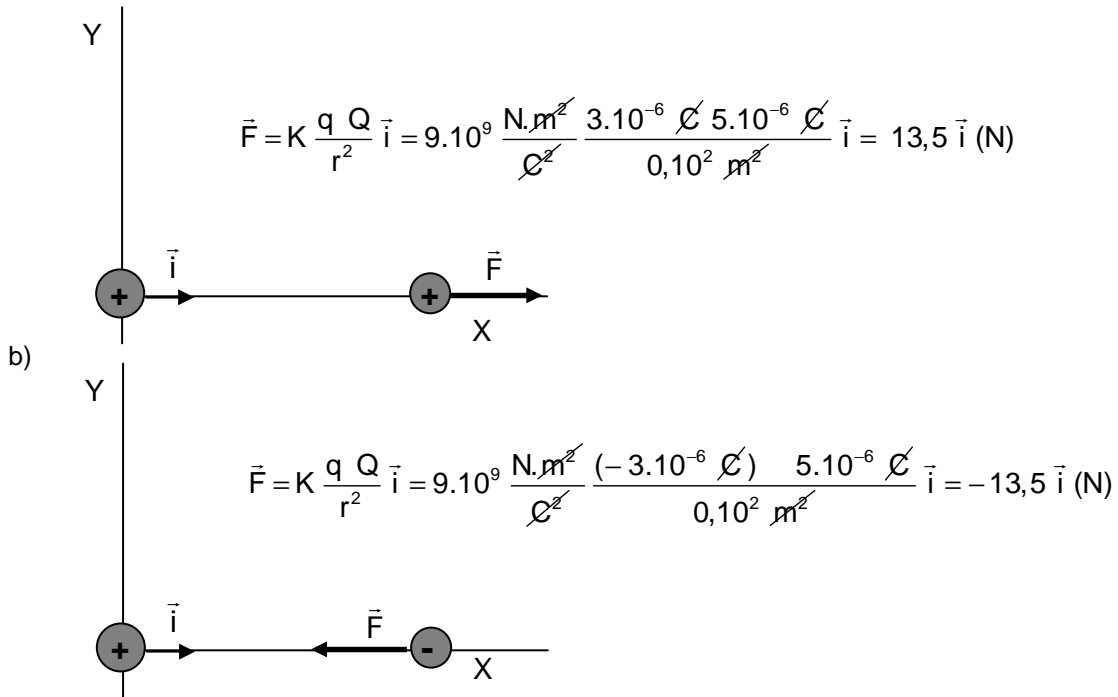
Ejemplo 1

Calcular la fuerza entre dos cargas:

- a) De + 5 μ C y +3 μ C situadas a 10 cm.
- b) De + 5 μ C y -3 μ C situadas a idéntica distancia.

Solución:

- a) Si suponemos que una de las cargas está situada en el origen de coordenadas podremos identificar el vector unitario definido en la expresión de la ley de Coulomb con el vector \vec{i}

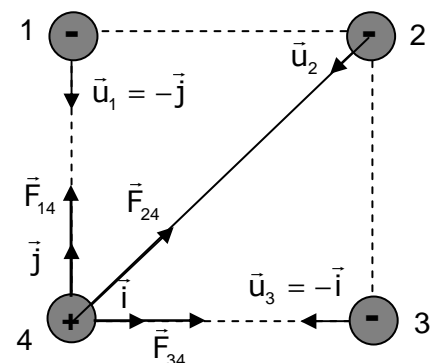


En el primer caso el signo es positivo, indicando que el vector fuerza va en el mismo sentido que \vec{i} . En el segundo caso la fuerza lleva sentido apuesto a \vec{i} .

Ejemplo 2

Cuatro cargas de 4 μ C se encuentran dispuestas en los vértices de un cuadrado de 40 cm de lado (ver figura). Tres de ellas son negativas y la cuarta, situada en el origen de coordenadas, positiva. Calcular la fuerza ejercida por las tres cargas negativas sobre la positiva.

Solución:



En la figura se han pintado las fuerzas ejercidas sobre la carga situada en el origen de coordenadas.

Con el fin de distinguir las cargas se han numerado del 1 al 4. De esta manera F_{14} indica, por ejemplo, la fuerza ejercida por la carga 1 sobre la 4.

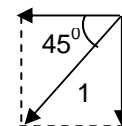
Para definir la dirección y sentido de las fuerzas se toman como referencia los vectores unitarios según los ejes X e Y.

Vectores unitarios (ver figura):

$$\vec{u}_1 = -\vec{j}$$

$$\vec{u}_2 = -1 \cdot \cos(45^\circ) \vec{i} - 1 \cdot \sin(45^\circ) \vec{j} = -0,707 \vec{i} - 0,707 \vec{j}$$

$$\vec{u}_3 = -\vec{i}$$



La carga 2 está situada a una distancia (no extraemos la raíz): $r_{24}^2 = 0,4^2 + 0,4^2 = 2 \cdot 0,4^2 \text{ m}^2$

Por tanto las fuerzas ejercidas sobre 4 serán:

$$\vec{F}_{14} = K \frac{q_1 q_4}{r_{14}^2} (-\vec{j}) = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}) 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{0,40^2 \text{ m}^2} (-\vec{j}) = 0,9 \vec{j} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_{24} = K \frac{q_2 q_4}{r_{24}^2} \vec{u}_{24} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}) 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{2 \cdot 0,40^2 \text{ m}^2} (-0,707 \vec{i} - 0,707 \vec{j}) = 0,32 \vec{i} + 0,32 \vec{j} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_{34} = K \frac{q_3 q_4}{r_{34}^2} (-\vec{i}) = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}) 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{0,40^2 \text{ m}^2} (-\vec{i}) = 0,9 \vec{i} \text{ (N)}$$

Obtendremos la fuerza total sumando (vectorialmente) las tres fuerzas:

$$\vec{F}_{\text{RES}} = \vec{F}_{34} + \vec{F}_{14} + \vec{F}_{24} = (0,9 \vec{i}) + (0,9 \vec{j}) + (0,32 \vec{i} + 0,32 \vec{j}) = 1,22 \vec{i} + 1,22 \vec{j} \text{ (N)}$$

$$\boxed{\vec{F}_{\text{RES}} = 1,22 \vec{i} + 1,22 \vec{j} \text{ (N)}}$$

Módulo de la fuerza resultante:

$$F = \sqrt{1,22^2 + 1,22^2} \text{ N} = 1,73 \text{ N}$$

La fuerza resultante forma un ángulo de 45° con el eje X, ya que ambas componentes son idénticas.

La fuerza eléctrica como fuerza conservativa

Imaginemos ahora la siguiente situación:

Si en las proximidades de una carga positiva (Q) se introduce otra carga positiva de prueba (q), aplicando para ello una fuerza contraria a la ejercida por el campo, y la soltamos, será repelida y se moverá alejándose de la carga.

Tenemos una situación idéntica a la descrita cuando elevamos un objeto (situado en un campo gravitatorio) o cuando comprimimos un muelle. La energía comunicada al cuerpo se acumula como energía potencial que es liberada como energía cinética si se deja actuar a la fuerza.

La energía necesaria para traer una carga de prueba hasta un punto en el que siente la fuerza ejercida por la carga considerada, se acumula como energía potencial.

El valor de la energía potencial en un punto (igual al trabajo realizado contra la fuerza eléctrica para traer la carga hasta el punto) se puede calcular usando la siguiente expresión:

$$\boxed{E_p = K \frac{q Q}{r}}$$

La fuerza eléctrica, al igual que la gravitatoria, es una fuerza conservativa y, como tal, cuando realiza trabajo se produce una transferencia de energía cinética a potencial o viceversa (dependiendo del signo del trabajo). Se cumplirá por tanto:

$$\boxed{E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = \text{cte.} ; E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}}$$

La suma de la energía cinética y potencial (energía mecánica) permanece constante (se conserva). La energía mecánica se conserva.

La energía potencial tendrá valor nulo a distancia infinita de la carga y puede tomar valores positivos o negativos en función del signo de las cargas consideradas.

A efectos prácticos lo realmente importante son las variaciones de energía potencial. **Una carga siempre se mueve espontáneamente en el sentido en el que la energía potencial disminuye.** Para conseguir que se mueva en el sentido según el cual la energía potencial aumenta es necesario comunicarle energía externamente. Esta energía aportada se acumula en la carga como energía potencial eléctrica.

$$E_p = -K \frac{q Q}{r}$$

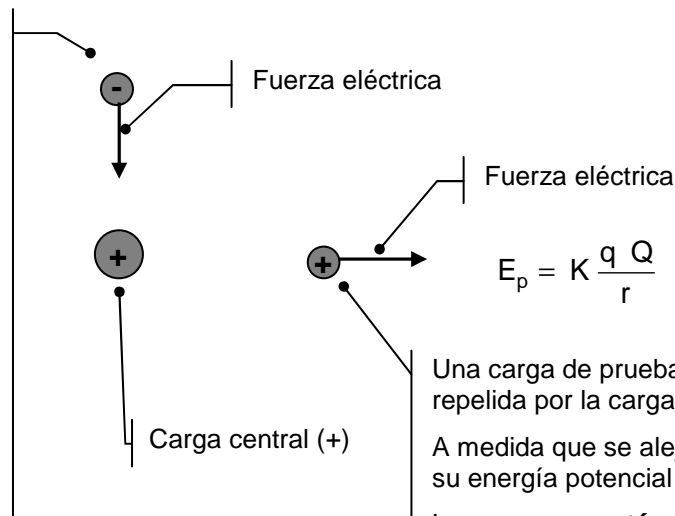
Una carga de prueba negativa es atraída hacia la carga central (+).

A medida que se acerca a la carga su energía potencial disminuye .

La carga **espontáneamente** se mueve disminuyendo su energía potencial.

Para alejarla de la carga central **es necesario aplicar una fuerza externa** (realizar trabajo). La energía suministrada se acumulará como energía potencial.

Al alejarse su energía potencial aumenta.



Una carga de prueba positiva es repelida por la carga central (+).

A medida que se aleja de la carga su energía potencial disminuye .

La carga **espontáneamente** se mueve disminuyendo su energía potencial.

Para acercarla a la carga central **es necesario aplicar una fuerza externa** (realizar trabajo). La energía suministrada se acumulará como energía potencial.

Al acercarse su energía potencial aumenta.

La interacción gravitatoria y eléctrica presentan analogías evidentes, y algunas diferencias, que se comentan a continuación:

Ley de Gravitación Universal

$$\vec{F} = - G \frac{m M}{r^2} \vec{u}_r$$

Ley de Coulomb

$$\vec{F} = K \frac{q Q}{r^2} \vec{u}_r$$

- **Tanto la interacción gravitatoria como la eléctrica son consecuencia de la existencia de propiedades inherentes a la materia: la masa y la carga.**

Todo cuerpo que posea masa será sensible a la interacción gravitatoria. Todo objeto que posea carga neta será sensible a la interacción eléctrica. Cuanto mayor es la masa o la carga de dos cuerpos mayor es su interacción gravitatoria o eléctrica.

- **Ambas interacciones decrecen muy rápidamente a medida que nos alejamos de la masa o de la carga.**
- **La interacción gravitatoria es siempre atractiva, mientras que la interacción eléctrica puede ser atractiva o repulsiva en función del signo de las cargas.**
- **El pequeño valor de la constante de gravitación universal (G) hace que la fuerza de atracción gravitatoria sea despreciable** a no ser que las masa implicadas sean elevadas (astros). La fuerza de gravedad es la interacción que domina a nivel cosmológico.
- **El valor de la constante que aparece en la Ley de Coulomb (K) hace que la fuerza eléctrica sea apreciable incluso cuando consideramos cargas eléctricas muy pequeñas.** La interacción eléctrica es la dominante a nivel de átomos y moléculas, haciendo posible la existencia de las unidades estructurales básicas que forman la materia (los átomos).
- **La interacción gravitatoria no depende del medio en el que se encuentren las masas (aire, vacío, agua...), mientras que la naturaleza del medio sí influye en el valor de la interacción eléctrica.** Unos medios transmiten mejor la interacción eléctrica que otros.
- **La fuerza eléctrica y la gravitatoria son fuerzas conservativas.**