

Campo eléctrico 1: Distribuciones **discretas de carga**

Introducción

Carga eléctrica

Conductores y aislantes y carga por inducción

Ley de Coulomb

El campo eléctrico

Líneas de campo eléctrico

Movimiento de cargas puntuales en campos eléctricos

Dipolos eléctricos en campos eléctricos

Introducción

En este capítulo comenzaremos el estudio de la electricidad con una pequeña discusión sobre el concepto de carga eléctrica, seguida de una breve introducción al concepto de conductores y aislantes y al modo en que un conductor toma una carga. A continuación estudiaremos la ley de Coulomb que describe la fuerza ejercida por una carga eléctrica sobre otra. Posteriormente introduciremos el campo eléctrico y veremos cómo puede describirse mediante las líneas de campo, las cuales indican la magnitud y dirección del campo. Por último, discutiremos el comportamiento de las cargas puntuales y los dipolos en campos eléctricos.

Carga eléctrica

- Carga por frotamiento:
Al frotar el plástico con piel o el vidrio con seda, estas sustancias se «electrifican» o «cargan».

El plástico frotado con una piel adquiere una carga negativa y la piel adquiere una carga positiva de igual magnitud.

El vidrio frotado con un paño de seda adquiere una carga positiva y la piel una carga negativa de igual magnitud.

- Constitución de la materia:
Átomos

Núcleo: Protones y neutrones

Corteza: Electrones

- La carga está *cuantizada*: Todas las cargas se presentan en cantidades enteras de la unidad fundamental de carga e ,
 $Q = \pm Ne$.

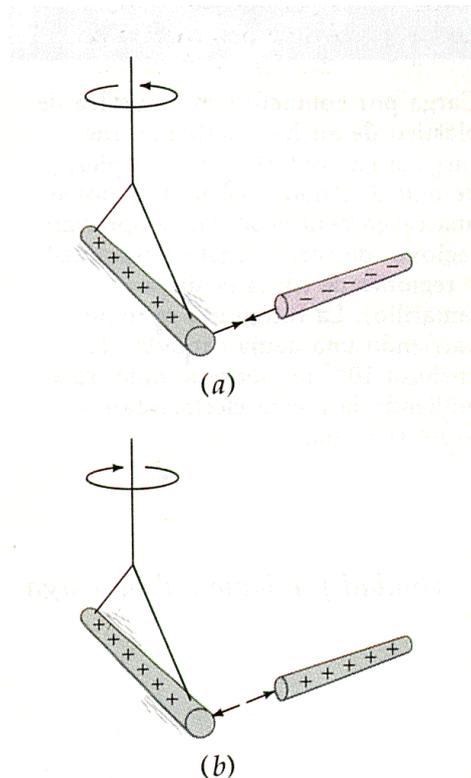


Figura 18-2 (a) Los objetos portadores de cargas de signo opuesto se atraen entre sí. (b) Los objetos portadores de cargas de igual signo se repelen entre sí.

Cuando el vidrio se frota con un paño de seda, se transfieren electrones del vidrio a la seda y por tanto, ésta adquiere un número en exceso de electrones y el vidrio queda con un déficit de estas partículas, la seda se carga negativamente.

- La carga *se conserva*: Cuando los objetos están en íntimo contacto, como ocurre al frotarles entre sí, los electrones se transfieren de un objeto al otro. Un objeto queda con un número en exceso de electrones y se carga, por tanto, negativamente y el otro queda con un déficit de electrones y su carga es positiva. En este proceso la carga no se crea, sino simplemente se transfiere. La carga neta de los dos objetos considerada globalmente no cambia.
- La unidad **SI** de carga es el **culombio**.

Conductores y aislantes. Carga por inducción

Conductores y aislantes

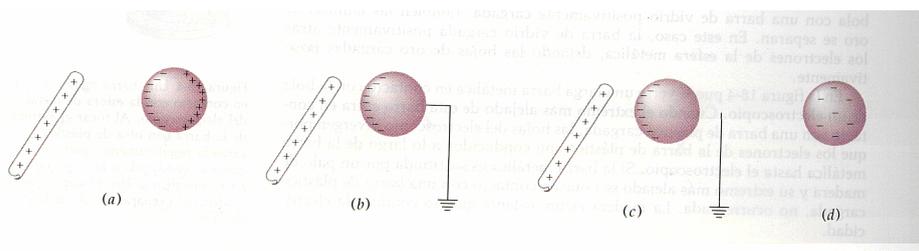
- Conductores: Los electrones pueden moverse libremente en el seno del material.

- **Aislantes :** Los electrones están ligados a los átomos próximos y ninguno puede moverse libremente.

Electroscopio: Dispositivo para la detección de carga eléctrica.

Inducción electrostática o carga por inducción:

- Los electrones libres son atraídos al lado próximo de la barra positiva, dejando el extremo opuesto con carga positiva.
- Se conecta a tierra la esfera con la barra cargada presente, aquélla adquiere una carga opuesta a la de la barra.
- La conexión a tierra se interrumpe antes de retirar la barra para completar la carga por inducción
- Se retira entonces la barra, la esfera queda con carga negativa y uniformemente distribuida como indica la figura.



Ley de Coulomb

La fuerza ejercida por una carga sobre otra fue estudiada por Charles Coulomb (1736-1806) mediante una balanza de torsión similar a la balanza de Cavendish. Como las esferas cargadas eran mucho menores que la distancia entre ellas, las cargas podían considerarse como puntuales.

Los resultados de los experimentos sobre las fuerzas ejercidas por una carga puntual sobre otra, se resumen en la

La fuerza de atracción o repulsión entre cargas tiene la dirección de la recta que las une y es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional a la distancia que las separa.

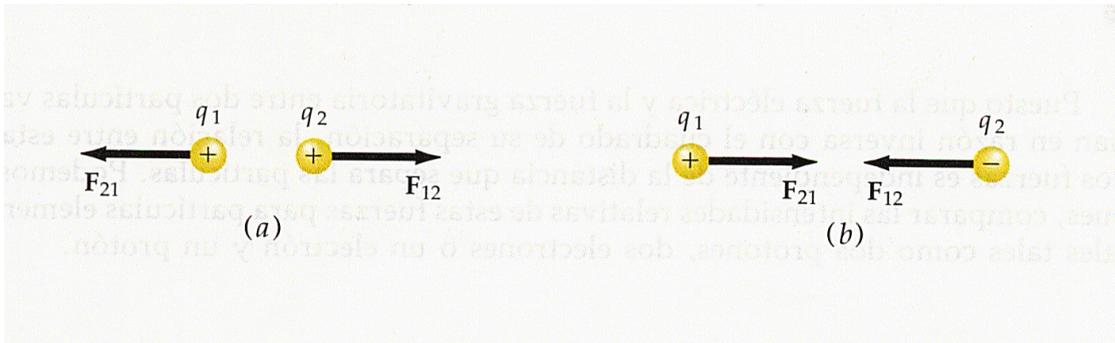
La ley de Coulomb puede establecerse más simplemente utilizando una expresión matemática. Sean q_1 y q_2 , las dos cargas puntuales separadas una distancia r_{12} , que es el

módulo del vector \vec{u}_{12} que señala desde la carga q_1 , a la carga q_2 , la fuerza ejercida F_{12} por la carga q_1 , sobre la carga q_2 , viene dada entonces por:

$$\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{12}$$

→

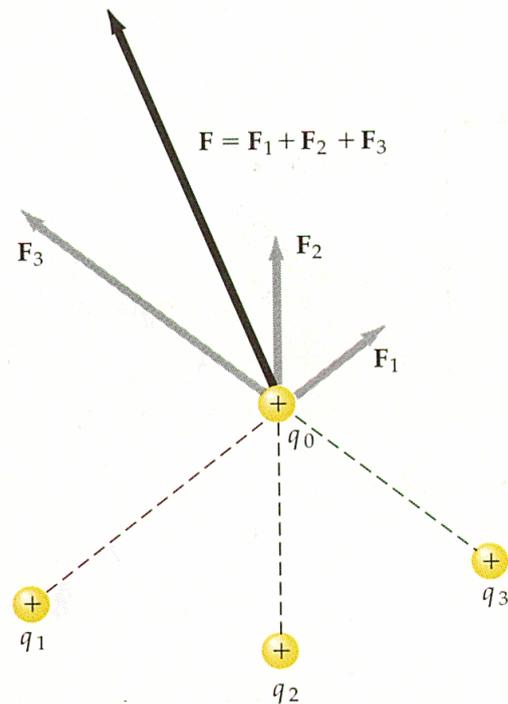
en donde \vec{u}_{12} es el vector unidad que señala desde q_1 , hacia q_2 y k es la **constante de Coulomb** de valor $k=8,99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.



El campo eléctrico

Para evitar el problema de la acción a distancia se introduce el concepto de **campo eléctrico E** : una carga crea un campo eléctrico E en todo el espacio y este campo ejerce una fuerza sobre la otra carga. La fuerza es así ejercida *por el campo* .

La figura muestra una serie de cargas puntuales, q_1 , q_2 y q_3 dispuestas arbitrariamente en el espacio. Si situamos una carga q (**carga de ensayo o testigo**), en algún punto próximo a este sistema de cargas, sobre ella se ejercerá una fuerza. La fuerza neta ejercida sobre q , es la suma vectorial de las fuerzas individuales ejercidas sobre q , por cada una de las otras



cargas del sistema. Según la ley de Coulomb, cada una de estas fuerzas es proporcional a q , y por tanto, la fuerza resultante será proporcional a q .

El campo eléctrico \mathbf{E} en un punto se define como la fuerza resultante sobre una carga de ensayo positiva q_0 , dividida por q_0 :

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{F}}}{q_0}$$

La unidad SI del campo eléctrico es el newton por culombio (N/C).

El campo eléctrico es un vector que obedece al principio de superposición: *El campo eléctrico resultante producido por un sistema de cargas se determina calculando el campo eléctrico debido a cada carga del sistema por separado y después sumando.*

El campo eléctrico \mathbf{E} es, por tanto, una función vectorial de la posición.

La fuerza ejercida sobre una carga ensayo q , en cualquier punto está relacionada con el campo eléctrico en dicho

punto por $\vec{F} = q_o \vec{E}$

El campo eléctrico debido a una sola carga puntual q_i en la posición r_i puede calcularse a partir de la ley de Coulomb. Si situamos una pequeña carga testigo positiva q_o en algún punto P a la distancia r_{io} , la fuerza que actúa sobre ella es

$$\vec{F}_{io} = K \frac{q_i q_o}{r_{io}^2} \vec{u}_{io}$$

en donde \vec{u}_{io} , es el vector unitario que apunta de q_i a q_o .

El campo eléctrico en el punto P debido a la carga q_i es, por tanto,

$$\vec{E}_{io} = K \frac{q_i}{r_{io}^2} \vec{u}_{io}$$

en donde r_{io} , es la distancia de la carga al punto P llamado **punto del campo** y \vec{u}_{io} , es un vector unitario que apunta desde la carga hasta P.

El campo eléctrico resultante debido a una distribución de cargas puntuales se determina sumando los campos originados por cada carga separadamente:

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i = \sum K \frac{q_i}{r_{i0}^2} \vec{u}_{i0}$$

Un sistema de dos cargas iguales y opuestas q separadas por una pequeña distancia L se denomina **dipolo eléctrico**. Su característica fundamental es el **momento dipolar eléctrico \vec{p}** , o vector que apunta de la carga negativa a la positiva y cuya magnitud es el producto de la carga q por la separación L .

Si \vec{L} es el vector desplazamiento de la carga positiva contado desde la carga negativa, el momento dipolar es

$$\vec{p} = q\vec{L}$$

Líneas de campo eléctrico

Las líneas del campo eléctrico (se llaman también líneas de fuerza) indican la dirección del campo en cualquier punto. El vector campo E es tangente a la línea en cada punto.

En todo punto próximo a una carga positiva, el campo eléctrico apunta radialmente alejándose de la carga. Las líneas de campo eléctrico, por tanto, divergen desde un punto ocupado por una carga positiva. Igualmente, el campo eléctrico próximo a una carga puntual negativa apunta radialmente hacia esta carga y, por tanto, las líneas de campo eléctrico están dirigidas siempre hacia una carga negativa.

Reglas para dibujar las líneas de campo eléctrico:

1. Las líneas de campo eléctrico comienzan en las cargas positivas y terminan en las negativas (o en el infinito).
2. Las líneas se dibujan simétricamente saliendo o entrando en la carga.
3. El número de líneas que abandonan una carga positiva o entran en una carga negativa, es proporcional a la carga.
4. La densidad de líneas (número de ellas por unidad de área perpendicular a las mismas) en un punto es proporcional al valor del campo en dicho punto.
5. A grandes distancias de un sistema de cargas, las líneas de campo están igualmente espaciadas y son radiales como si procediesen de una sola carga puntual igual a la carga neta del sistema.
6. No pueden cortarse nunca dos líneas de campo.

Movimiento de cargas puntuales en campos eléctricos

Cuando una partícula con carga q se coloca en un campo eléctrico E , experimenta la acción de una fuerza qE .

Si la fuerza eléctrica es la única fuerza significativa que actúa sobre la partícula, ésta adquiere una aceleración

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E} \quad \text{siendo } m \text{ la masa de la partícula.}$$

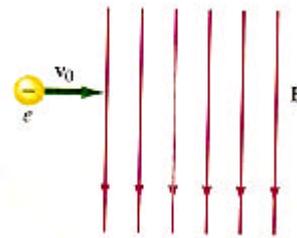
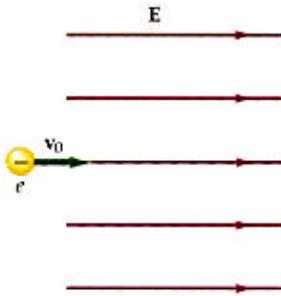
La medida de la desviación de los electrones en un campo eléctrico uniforme fue utilizada por J.J. Thomson en 1897 para demostrar la existencia de los electrones y para medir su relación carga a masa.

El osciloscopio y el tubo de imágenes de un televisor son ejemplos de aparatos basados en el movimiento de los electrones en campos eléctricos.

Ejemplos:

Un electrón se introduce en un campo uniforme $\vec{E} = 1000 \vec{i}$ (N/C) con una velocidad inicial $\vec{v}_0 = 2 \times 10^6 \vec{i}$ (m/s). ¿Qué distancia recorrerá hasta

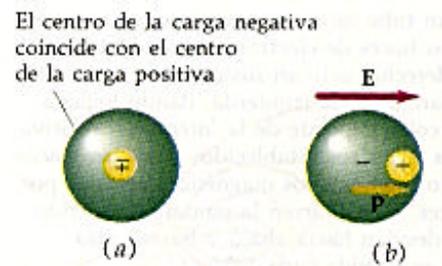
Un electrón se introduce en un campo uniforme $\vec{E} = -2000 \vec{j}$ (N/C) con una velocidad inicial $\vec{v}_0 = 10^6 \vec{i}$ (m/s). ¿Cuánto se habrá desviado si ha recorrido 1 cm en la dirección X?



Dipolos eléctricos en campos eléctricos

En algunos átomos y moléculas, la nube electrónica es esféricamente simétrica, un átomo o molécula de este tipo se

dice que es **no polar**. Sin embargo, en presencia de un campo eléctrico externo, las cargas positivas y negativas se separan y se comporta como un dipolo eléctrico, y presenta **momento dipolar inducido**.



En algunas moléculas, el centro de la carga positiva no coincide con el centro de la carga negativa, incluso en ausencia de un campo eléctrico externo. Estas **moléculas polares** se dice que tienen un **momento dipolar permanente**.

Cuando se coloca una molécula de este tipo dentro de un campo eléctrico uniforme, no existe sobre ella fuerza neta, pero sí un par que tiende a hacer girar la

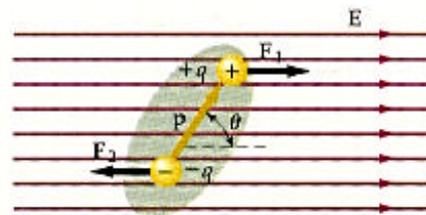


Figura 18-24 Un dipolo en un campo eléctrico uniforme experimenta fuerzas iguales y opuestas que tienden a girar el dipolo, de modo que su momento dipolar tiende a alinearse con el campo eléctrico.

molécula, de modo que el dipolo se alinea con el campo. En la figura vemos que el momento alrededor de la carga negativa tiene la magnitud $FL \text{ sen } \mathbf{q} = qEL \text{ sen } \mathbf{q} = pE \text{ sen } \mathbf{q}$. El vector momento está dirigido normalmente al papel, hacia dentro, de tal modo que tiende a situar el momento dipolar \mathbf{p} en la dirección del campo eléctrico \mathbf{E} . El momento del par puede escribirse convenientemente como el producto vectorial del momento dipolar \mathbf{p} y el campo eléctrico \mathbf{E} :

$$\vec{t} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Cuando el dipolo gira un ángulo $d\theta$ el campo eléctrico realiza un trabajo

$$dW = -\vec{t}d\mathbf{q} = -pE \operatorname{sen}\mathbf{q} d\mathbf{q}$$

El signo menos es debido a que el momento tiende a disminuir θ .

Igualando este trabajo con la disminución de energía potencial, resulta $dU = -dW = +pE \operatorname{sen}\mathbf{q} d\mathbf{q}$

e integrando

$$U = -pE \cos\mathbf{q} + U_0$$

Es costumbre elegir como energía potencial cero la energía potencial correspondiente a una situación en la que el dipolo es perpendicular al campo eléctrico, es decir, cuando $\theta = 90^\circ$. Entonces $U_0 = 0$, y la energía potencial del dipolo es

$$U = -pE \cos\mathbf{q} = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$