



Electricidad y Magnetismo para Ingeniería Química

Carga Eléctrica y Campo Eléctrico

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Escuela de Física

Departamento de Materia Condensada

Carga Eléctrica

Ley de Coulomb

Campo Eléctrico

Distribuciones Continuas de Carga



Carga Eléctrica

Dentro de las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales se encuentran las electromagnéticas, estas interacciones involucran partículas que tienen una propiedad llamada carga eléctrica. Podemos definir la carga eléctrica de la siguiente forma:

La carga eléctrica es una propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiestan mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas a través de campos electromagnéticos.



Existen dos tipos de cargas, las cargas positivas y negativas. Usualmente los objetos son electricamente neutros, esto significa que la cantidad de carga negativa y positiva son iguales.

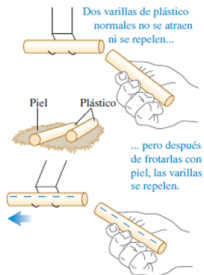
Es posible generar un desbalance en la cantidad de carga en un objeto, esto se aprecia cuando se frotan los zapatos con una alfombra o un lápiz contra el cabello y se dice que estos objetos han adquirido carga.



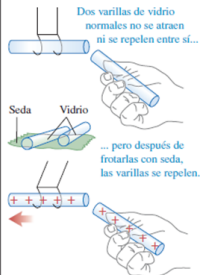
Debido a la existencia de dos tipos de carga es necesario establecer la relación entre ellas, experimentalmente se sabe que las cargas de signo contrario se atraen entre si y las que tienen mismo signo se repelen. Esto se puede ejemplificar con la siguiente ilustración.

21.1 Experimentos de electrostática. a) Los objetos cargados negativamente se repelen entre sí. b) Los objetos cargados positivamente se repelen entre sí. c) Los objetos con carga positiva se atraen con los objetos que tienen carga negativa.

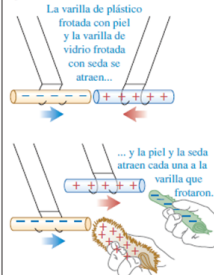
a) Interacción entre varillas de plástico cuando se frotan con piel



b) Interacción entre varillas de vidrio cuando se frotan con seda



c) Interacción entre objetos con cargas opuestas



Para comprender mejor la carga eléctrica es necesario comprender el origen de esta.

Como se mencionó en la primera dispositiva la carga es una propiedad intrínseca de las partículas subatómicas, más específicamente del electrón y el protón.

- Protón → Tiene carga positiva
- Electrón → Tiene carga negativa
- Neutrón → Es neutro o sin carga.

Los objetos formados por átomos son electricamente neutros ya que estos átomos tienen balance en la cantidad de protones y neutrones lo que hace que la carga neta sea igual a cero.



Podemos establecer dos principios relacionados a la carga eléctrica:

- Conservación de la carga: La carga neta o suma algebraica de todas las cargas en un sistema cerrado permanece constante
- La magnitud de la carga del protón o electrón es la unidad fundamental de carga.

Por último es necesario establecer las unidades con las que se puede cuantificar la carga eléctrica. En el SI la unidad es llamada *Coulomb* y su símbolo es *C*.

$$1C = 6.242 \times 10^{18} \text{ Electrones libres}$$

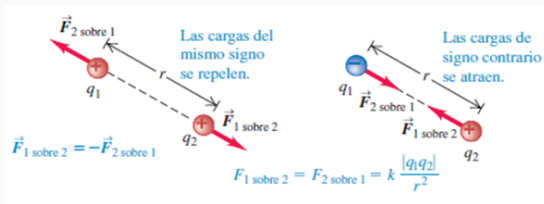


Ley de Coulomb

Ley de Coulomb

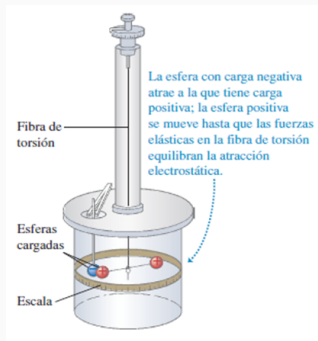
Anteriormente se mencionaron las interacciones electromagnéticas, un caso de este tipo de interacciones son de tipo electrostática. Fueron descritas formalmente mediante la *Ley de Coulomb*, esta ley indica que la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Matemáticamente se describe como:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1)$$



Ley de Coulomb

La proporcionalidad de la Ley de Coulomb se ha logrado demostrar de forma experimental con una Balanza de Torsión que permite medir con alta precisión las interacciones electrostáticas. De esta forma se ha demostrado la proporcionalidad al factor $1/r^2$ en la expresión matemática de la Ley de Coulomb.



Dentro de la expresión matemática para esta ley se encontraba un término ϵ_0 , a este se le conoce como permitividad eléctrica del vacío, esta describe como un campo eléctrico (definición que veremos más adelante) afecta y es afectado por un medio. El valor de la permitividad del vacío es:

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$$

Para efectos de comodidad usualmente se utiliza la *constante de Coulomb* llamada k_e que es igual al término $1/4\pi\epsilon_0$.

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 Nm^2 C^{-2}$$



La forma expresada en la ecuación 1 describe solamente la interacción entre dos cargas. Pero es posible describir la interacción de dos o más cargas sobre otra utilizando el *principio de superposición*, este indica que la fuerza total sobre una carga es la suma *vectorial* de las interacciones individuales de las otras cargas.

Matemáticamente se expresa:

$$\vec{F}_{net} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i q_0}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (2)$$



Campo Eléctrico

Hemos estudiado las interacciones entre objetos cargados, pero es necesario poder cuantificar el efecto de un cuerpo cargado en el espacio. Esto para poder facilitar el estudio de las cargas eléctricas sin la necesidad de que exista otra carga con la cual interactuar. Para ello introducimos el término de *campo eléctrico*.

Cualitativamente podemos tomar el campo eléctrico como la cantidad de fuerza posible por unidad de carga en el espacio, matemáticamente como sigue:

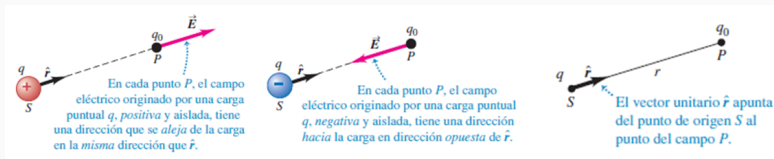
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q} \quad (3)$$

De la expresión anterior es posible observar las unidades que tendrá esta cantidad, las cuales serán N/C o unidades de fuerza entre unidades de carga.



Conociendo la existencia del campo eléctrico es posible determinar que una fuerza eléctrica es producida sobre una carga si esta se encuentra bajo la influencia de un campo eléctrico. Para una carga puntual el campo eléctrico se expresa de la siguiente forma:

$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (4)$$



Hasta ahora se ha tomado el campo eléctrico en algún lugar específico del espacio, pero en realidad el campo eléctrico debido a un cuerpo cargado no se limita a un punto. En las ilustraciones se observa como se comporta el campo eléctrico de distintos tipos de carga.



Para la carga positiva podemos observar que las líneas de campo eléctrico salen de la carga alejándose de ella, por el contrario para las cargas negativas las líneas de campo eléctrico se dirigen hacia la carga como si fuera un desagüe o sumidero de campo

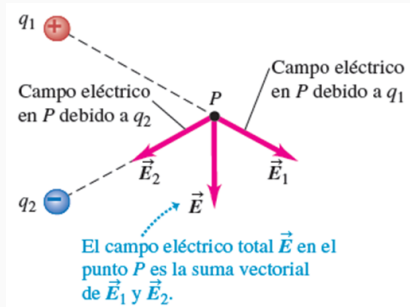


eléctrico.

De forma similar a la fuerza eléctrica neta para varias cargas es posible utilizar el principio de superposición y considerar el campo resultante como la suma vectorial del campo producido por cada carga. Es posible expresarlo como sigue:

$$\vec{E}_{net} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (5)$$

Se puede comprender con mayor facilidad con la siguiente ilustración:



Distribuciones Continuas de Carga

Hasta el momento solo se han trabajado sistemas con cargas puntuales, pero en la realidad es posible que las cargas sean distribuidas en un objeto continuo como ser una varilla, una superficie o un volumen. Para ello definimos densidades de carga como sigue:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{Q}{L} && \text{Densidad lineal de carga} \\ \sigma &= \frac{Q}{A} && \text{Densidad superficial de carga} \\ \rho &= \frac{Q}{V} && \text{Densidad volumetrica de carga}\end{aligned}$$

Para estos nuevos términos se aprecia que las unidades correspondientes son C/m , C/m^2 , C/m^3 respectivamente.



De forma análoga estableceremos las expresiones que permiten calcular el campo eléctrico para distribuciones continuas de carga.

$$\vec{E} = k_e \int \frac{dQ}{r^2} \hat{r} \quad (6)$$

Donde el diferencial de carga depende de como se distribuya la carga, de esta forma sería necesario utilizar un diferencial de línea, de superficie o volumen. El vector \hat{r} mantiene la forma descrita anteriormente en la dirección del punto de fuente hacia el punto donde se calcula el campo eléctrico.





Roald K. Wangsness, Campos Electromagnéticos, Limusa, 2001.



Serway, Raymond A and Jewett, John W, Physics for scientists and engineers with modern physics, 2018, Vol. 2. Cenage Learning



Young, Hugh D and Freedman, Roger A and Ford, Lewis, Sears and Zemansky's university physics, 2006. Vol. 2, Pearson Education

