

Unidad N° 3: Electrostática y campos eléctricos

La carga eléctrica. Ley de Coulomb, Unidades. Campo eléctrico: definición y representación. Campo de una carga puntual y varias cargas puntuales.

La carga eléctrica

Benjamín Franklin (1706-1790) determinó que existen dos tipos de cargas eléctricas, a las que dio el nombre de **positiva y negativa**.

Reglas: **cargas de un mismo signo se repelen y cargas de signos opuestos se atraen**.

Aspectos importantes:

- La carga eléctrica siempre se conserva en un sistema eléctricamente aislado.
- La carga eléctrica está cuantizada.
- El proceso de adquisición de carga debe entenderse como el de la transferencia de carga de un cuerpo a otro.

Ley de Coulomb

Charles A. Coulomb (1736-1806)

- Midió la magnitud de la fuerza eléctrica entre un par de esferas pequeñas cargadas.
- El encontró que la fuerza dependía del valor de la carga y de la distancia entre ellas.
- La fuerza es proporcional al producto de las cargas, q_1 y q_2 , de las partículas.
- La fuerza es además inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.



El término **carga puntual** hace referencia a una partícula de tamaño despreciable (cero) que es portadora de una carga eléctrica.

El comportamiento eléctrico de protones y electrones está bien descrito si uno las modela como cargas puntuales.

Matemáticamente:

$$\text{Ley de Coulomb} \quad F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

La unidad de carga del SI es el coulomb (**C**)

k_e es la constante de Coulomb

$$k_e = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

ϵ_0 es la permitividad del espacio libre

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

Es recomendable trabajar siempre con cargas en coulomb (**C**).

La unidad de carga más pequeña (excepto los quarks) conocida en la naturaleza es la carga de un electrón $-e$ o de un protón $+e$ con una magnitud de $e = 1,6 \times 10^{-19} C$.

De esta forma para "hacer" 1 C se necesitan 6.24×10^{18} electrones o protones

Las cargas típicas que se presentan se dan en el intervalo de μC (microcoulomb) ($1 \mu C = 1 \times 10^{-6} C$)

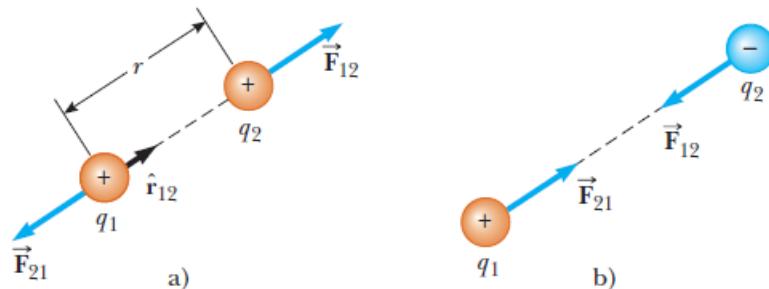
Hay que recordar que la fuerza es una cantidad vectorial.

NATURALEZA VECTORIAL DE LAS FUERZAS ELÉCTRICAS

En forma vectorial, la fuerza que q_1 ejerce sobre q_2 es:

$$\text{Forma vectorial de la ley de Coulomb} \quad \vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

donde \hat{r}_{12} es un vector unitario dirigido de q_1 a q_2



La fuerza eléctrica obedece a la **tercera ley de Newton** $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$

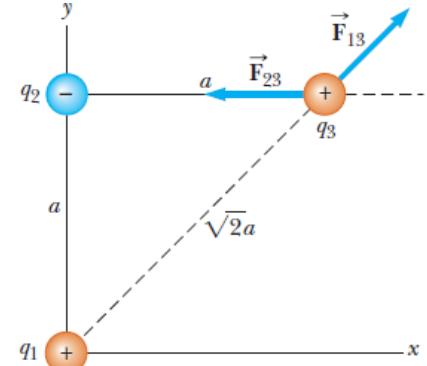
Principio de superposición

La fuerza resultante sobre una carga cualquiera es la suma vectorial de las fuerzas ejercidas por las otras cargas que están presentes. Y al considerar cada una de estas fuerzas, no se toma en cuenta, sino la de aquélla carga en cuestión.

Tenga presente que la fuerza es un vector

Tome el caso de 3 cargas; usted desea encontrar la fuerza resultante sobre q_3 :

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} \quad (\text{Suma vectorial})$$



Campo eléctrico

Se dice que existe un campo eléctrico en una región alrededor de un objeto cargado.

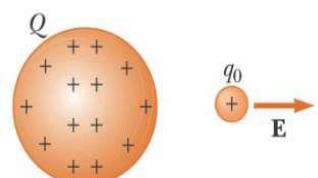
-Este objeto cargado es la fuente de carga.

-Cuando otro objeto, también cargado y llamado carga de prueba, entra en esta región de campo eléctrico, una fuerza actúa sobre él.

Definición

El campo eléctrico se define como el cociente de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga de prueba, entre el valor de su carga (de prueba).

- El vector campo eléctrico, \vec{E} , en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica, \vec{F}_e , que actúa sobre una carga positiva, q_0 colocada en ese punto y dividida por el valor de la carga de prueba:



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

-La carga de prueba es una especie de detector del campo eléctrico y no lo perturba.

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E} \quad (\text{Vale sólo para una carga puntual})$$

Para objetos mayores, el campo puede variar en función del tamaño del objeto.

Notas

La dirección de \vec{E} es la de la fuerza sobre una carga de prueba positiva.

El vector \vec{E} está en unidades del SI, newton por cada coulomb ($\frac{N}{C}$)

También podemos decir que un campo eléctrico existe en un punto, si colocando una carga de prueba ahí, ésta manifiesta una fuerza eléctrica.

Forma vectorial de un campo eléctrico

- La fuerza eléctrica entre una fuente de carga y la carga de prueba es:

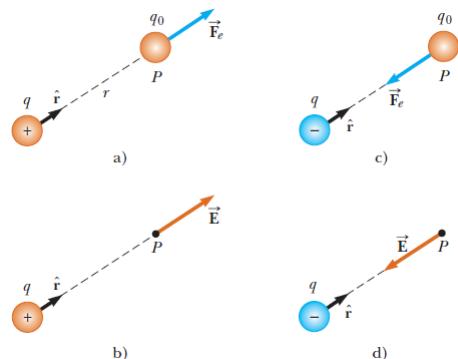
$$\vec{F}_e = k_e \frac{q q_0}{r^2} \hat{r}$$

-Entonces, el campo en P será:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Sobre la dirección de \vec{F}_e y \vec{E}

- a) Si q es positiva, \vec{F}_e se dirige desde q
- b) La dirección de \vec{E} es también a partir de la fuente de carga positiva
- c) Si q es negativa, \vec{F}_e se dirige hacia q
- d) La dirección de \vec{E} es también hacia la fuente de carga negativa



Principio de superposición de \vec{E}

Para un punto P, el campo eléctrico total es la suma vectorial de todos los campos eléctricos que producen cada una de las cargas.

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Ejemplo de superposición de efectos

Encontrar el campo eléctrico debido a q_1 , \vec{E}_1

Encontrar el campo eléctrico debido a q_2 , \vec{E}_2

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (\text{Suma vectorial})$$

Hay que recordar que los campos se suman como vectores

La dirección de los campos individuales es la dirección de la fuerza sobre una carga de prueba positiva.

Campo eléctrico de una distribución de carga continua

-En un grupo de cargas la distancia entre ellas es mucho más reducida que la distancia entre el grupo de cargas y un punto donde se desea calcular el campo eléctrico.

-En esta situación, el sistema de cargas puede ser modelado como un continuo.

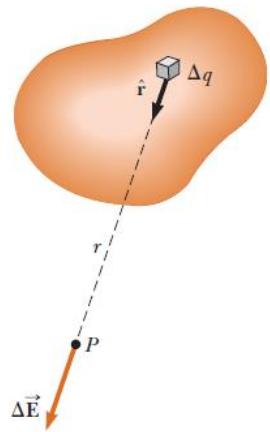
-El sistema de cargas espaciadas es equivalente a que la carga total sea continuamente distribuida a lo largo de una línea, una superficie o a través de un volumen.

Procedimiento:

-Divida la distribución de cargas en elementos pequeños, cada uno de los cuales contiene Δq

-Calcule el campo eléctrico debido a uno de estos elementos en el punto P

-Evalúe el campo total, asumiendo las contribuciones de todos los elementos de carga.



Ecuaciones para distribuciones de carga.

a. El campo eléctrico en P debido a un elemento de carga

$$\Delta \vec{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{r}$$

b. El campo eléctrico total en P debido a todos los elementos

$$\vec{E} \approx k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

c. Campo eléctrico debido a una distribución de carga continua

$$\vec{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

Densidades de carga

- *Densidad volumétrica de carga*: cuando una carga total Q está distribuida homogéneamente a través de un volumen V

$$\rho = \frac{Q}{V} \quad \left(\frac{C}{m^3} \right)$$

- *Densidad superficial de carga* : Cuando una carga total Q está distribuida homogéneamente sobre una superficie de área A

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad \left(\frac{C}{m^2} \right)$$

- *Densidad lineal de carga*: cuando una carga total Q se encuentra distribuida homogéneamente a lo largo de una línea de longitud l

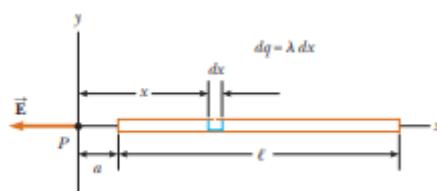
$$\lambda = \frac{Q}{l} \quad \left(\frac{C}{m} \right)$$

Elementos de carga de estas distribuciones

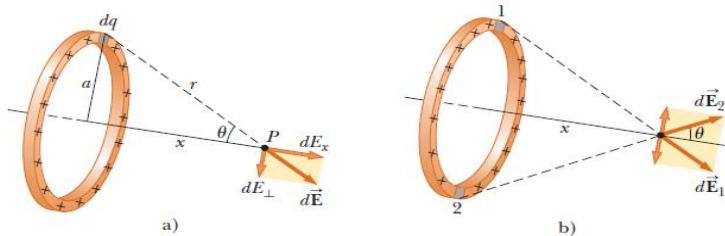
- Para un elemento de volumen: $dq = \rho dV$
- Para un elemento de superficie: $dq = \sigma dA$
- Para un elemento de longitud: $dq = \lambda d\ell$

Ejemplo:

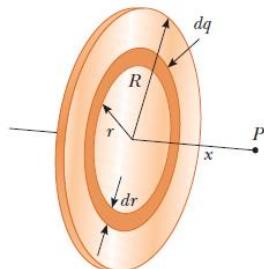
a- Campo eléctrico debido a una barra con carga



b- Campo eléctrico de un anillo de carga uniforme



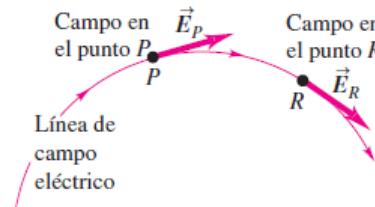
c- Campo eléctrico de un disco con carga uniforme



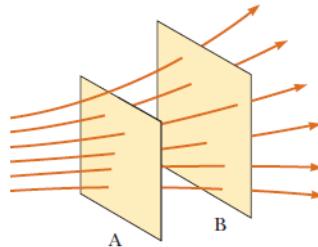
Líneas de campo eléctrico

Las líneas de campo nos proporcionan gráficamente la existencia de un campo eléctrico con algunas de sus propiedades:

- El vector campo eléctrico \vec{E} es tangente a la línea de campo eléctrico en cada punto. La línea de campo tiene una dirección que es la misma que la del vector campo eléctrico.



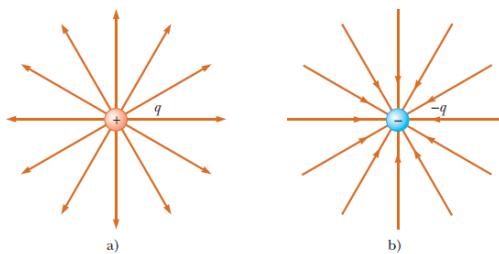
- El número de líneas por unidad de área a través de una superficie perpendicular a las líneas de campo es proporcional a la magnitud del campo eléctrico en esa región



La densidad de líneas de campo de la superficie A es mayor que la de la superficie B

- La magnitud del campo eléctrico es mayor sobre la superficie A que sobre la superficie B
- El campo eléctrico no es uniforme ya que las líneas apuntan en diferente dirección en cada punto.

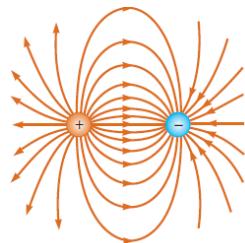
Líneas de campo de una carga positiva



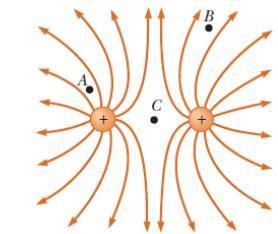
Notar que la dirección de las líneas de campos es la misma que la de una fuerza que experimentaría una carga de prueba (positiva).

Líneas de campo para un dipolo

- Las cargas son iguales y opuestas
- El número de líneas de campo que parten de la carga positiva es igual al de aquellas que llegan a la carga negativa.



A una gran distancia el campo es aproximadamente igual al campo de un arreglo de 2 cargas positivas.



Reglas para dibujar líneas de campo eléctrico

- a. Las líneas deben partir de una carga positiva y terminar sobre una carga negativa.
- b. En el caso de un exceso de un tipo de carga, algunas líneas comenzarán o terminarán en el infinito.
- c. El número de líneas que parten de la carga positiva a que llegan a la negativa es proporcional a la magnitud de la carga eléctrica.
- d. Dos líneas de campo nunca se cruzan.

Caso de cargas desiguales

- La carga positiva tiene el doble que la negativa.
- Solo la mitad de las líneas que dejan la carga positiva termina en la carga negativa.
- A una gran distancia el campo sería aproximadamente el mismo que el debido a una sola carga positiva $+q$.

