

Campo eléctrico

Hemos visto hasta ahora un tipo de interacción, la **gravitatoria**, siendo siempre una **fuerza atractiva**. En la materia, además de esta, nos encontramos con: interacción eléctrica, interacción débil,... En este capítulo vamos a considerar la **interacción eléctrica**. Las cargas eléctricas pueden originar tres tipos de fenómenos físicos:

- Los fenómenos **electrostáticos**, cuando están en reposo.
- Las **corrientes eléctricas**.
- Los fenómenos **electromagnéticos**, cuando están en movimiento.

Ley de Coulomb

La electrostática estudia la interacción entre cargas eléctricas inmóviles: hablaremos de **cargas negativas** (-), o de los electrones; y **cargas positivas** (+), o de los protones. Tanto el electrón como el protón poseen carga unidad (en unidades atómicas). Cargas del mismo signo se **repelen**, y de distintos signos se **atraen**.

En el sistema internacional se toma como unidad de carga el culombio, nombre que le viene del descubridor de la ley que liga la interacción entre cargas, la llamada **Ley de Coulomb**:

$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

"La fuerza mutua que ejercen entre sí dos cargas es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa."

Siendo k una constante de proporcionalidad, cuyo valor en el vacío es $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$.

De esta forma podemos definir "la unidad de carga eléctrica, o culombio, como aquella carga que puesta en presencia de otra igual a ella, a una distancia de 1 metro, ejerce una fuerza de $9 \cdot 10^9 \text{ N}$ (en el vacío)".

Campo eléctrico

Una vez vista la unidad de carga eléctrica y la fuerza con que dos cargas se atraen o repelen (interacción electrostática) vamos a ver las expresiones que toman las magnitudes que caracterizan el campo eléctrico: la intensidad de campo y el potencial en un punto del campo.

La **intensidad de campo** en un punto de un campo eléctrico es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga situada en dicho punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{Qq}{r^2 q} \vec{u}_r \implies \vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r \quad [E] = \text{N} / \text{C}$$

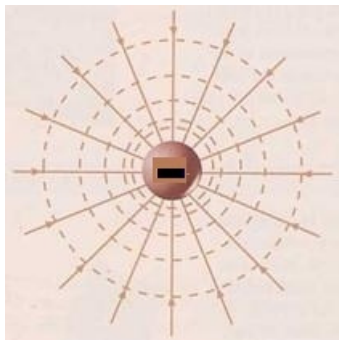
El **potencial** en un punto de un campo de fuerzas eléctrico es la energía potencial que poseería la unidad de carga situada en dicho punto:

$$V = \frac{U}{q} = k \frac{Q}{r} \quad [V] = \frac{\text{Joules}}{\text{C}} = \text{VOLTIO}$$

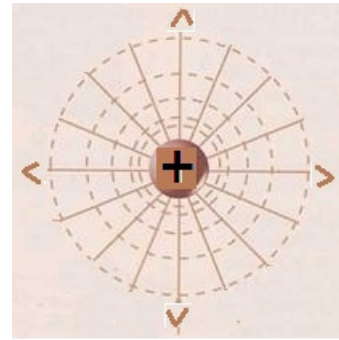
¿Cómo es la representación gráfica del campo eléctrico?

Forma gráfica de representar un campo de fuerzas

Los campos de fuerzas se representan mediante las **líneas de fuerzas** (representan el campo \vec{E}) y las llamadas **superficies equipotenciales** (representan el valor del potencial en cada punto):



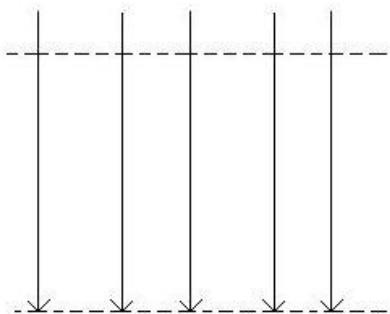
atractivo



repulsivo

Líneas de fuerza (líneas continuas). Líneas tangentes en todos sus puntos a los vectores fuerza del campo en dichos puntos. No pueden cortarse, porque si lo hacen, en el punto de corte habría dos valores distintos de las fuerzas (en contra de la definición de campo).

Superficies equipotenciales (líneas discontinuas, en realidad son superficies esféricas). Son superficies formadas por puntos con igual valor del potencial.



Las líneas de fuerza y las superficies equipotenciales son perpendiculares entre sí.

El vector gradiente de V es paralelo y de sentido contrario al campo \vec{E} , por lo que en el caso de cargas negativas (atractivo) el sentido de $\vec{\nabla}V$ es de menos a más potencial. Lo contrario ocurre con las cargas positivas (repulsivo), siendo el sentido de $\vec{\nabla}V$ es de más a menos potencial.

Tanto las líneas de fuerza como las superficies equipotenciales nos dan una idea de la intensidad del campo, así, el campo es más intenso en aquellas zonas en las que las líneas de fuerza y superficies equipotenciales estén más próximas:

$$\vec{E} < \vec{E}' \quad V < V'$$

¿Qué ocurre si el campo eléctrico es creado por más de una carga?

En este caso, la intensidad del campo eléctrico en un punto del campo es la suma de las intensidades creadas por cada carga en dicho punto, pero **!!!cuidado!!!**, el campo eléctrico es una magnitud vectorial:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots \Rightarrow \vec{E} = k \sum \frac{Q_i}{r_i^2} \vec{u}_{\vec{r}_i}$$

En cuanto al potencial en un punto del campo eléctrico, es la suma de los potenciales de cada carga en dicho punto:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \Rightarrow V = k \sum \frac{Q_i}{r_i}$$

La intensidad de campo \vec{E} es una magnitud vectorial, el potencial V es una magnitud escalar. ¿Existe alguna relación entre ambas magnitudes?

$$W_A^B = U_A - U_B = m \cdot V_A - m \cdot V_B = m \cdot (V_A - V_B) = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$$

$$V_B - V_A = -\frac{\vec{F}}{m} \cdot \Delta \vec{r} = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r} \Rightarrow \Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r}$$

Si despejamos \vec{E} en la expresión anterior, obtenemos:

$$\vec{E} = -\frac{\Delta V}{\Delta \vec{r}} \Rightarrow \vec{E} = -\frac{dV}{d\vec{r}} = -\overrightarrow{\text{grad}V} = -\vec{\nabla}V \Rightarrow \vec{E} = -\left(\frac{dV}{dx} \cdot \vec{i} + \frac{dV}{dy} \cdot \vec{j} + \frac{dV}{dz} \cdot \vec{k}\right)$$

Cuando nos encontramos con un campo conservativo, como es el caso del campo eléctrico, existe necesariamente una relación tipo **gradiente** entre el potencial (V) y el campo (\vec{E}).

La misma relación existe entre la fuerza (\vec{F}) que ejerce el campo sobre un cuerpo en un punto del mismo y la energía potencial (U) que posee el cuerpo en dicho punto:

$$\Delta U = -\vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$$

¿Qué ocurre si el campo gravitatorio (eléctrico...) es creado por más de una masa (carga)?

En este caso, la intensidad del campo gravitatorio (eléctrico...) en un punto del campo es la suma de las intensidades creadas por cada masa (carga) en dicho punto, pero **!!!cuidado!!!** la intensidad de campo es una magnitud vectorial:

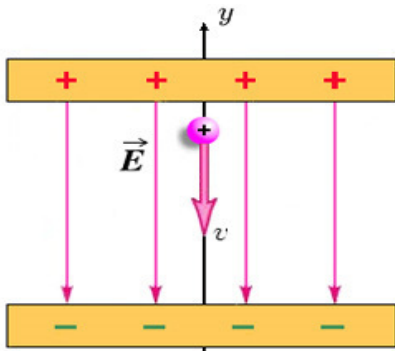
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

En cuanto al potencial en un punto del campo eléctrico, también es la suma de los potenciales de cada carga en dicho punto:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

Movimiento de cargas en campos electrostáticos uniformes

1) Partículas que inciden en la dirección del campo.



Considera una partícula de masa m y carga q que incide en una región en la que existe un campo uniforme \vec{E} , con una velocidad \vec{v}_0 en la misma dirección y sentido del campo. La partícula se encuentra sometida a una aceleración de módulo $\frac{q \cdot E}{m}$ en la dirección del campo \vec{E} y del mismo sentido si la carga q es positiva y de sentido contrario si es negativa. El campo se obtiene a partir del gradiente:

$$E = -\frac{\Delta V}{d}$$

Como consecuencia de lo anterior el movimiento de la partícula es rectilíneo uniformemente acelerado.

Si recuerdas las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado serán:

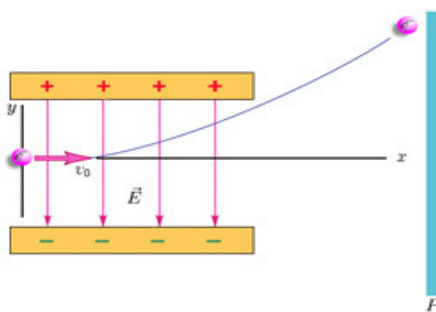
$$v = v_0 + a \cdot t = v_0 + \frac{q \cdot E}{m} \cdot t$$

$$y = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot E}{m} \cdot t^2$$

Problema: Un electrón se encuentra en reposo en un campo eléctrico uniforme de intensidad de campo $2 \cdot 10^4$ N/C, creado por dos planos paralelos con cargas opuestas, situados a 3 cm de distancia. Inicialmente el electrón se encuentra en el plano negativo, ¿con qué velocidad llega al plano positivo?

Dato: carga del electrón = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C; masa del electrón = $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg

2) Partículas que inciden perpendicularmente al campo.



Considera una partícula de masa m y carga q que incide en una región en la que existe un campo uniforme \vec{E} , con una velocidad \vec{v}_0 en una dirección perpendicular a la del campo. La partícula se encuentra sometida a una aceleración de módulo $\frac{q \cdot E}{m}$ en la dirección del campo \vec{E} y del mismo sentido si la carga q es positiva y de sentido contrario si es negativa.

El movimiento de la partícula se obtiene como la composición de dos movimientos:

- Uno rectilíneo y uniforme con velocidad v_0 en la dirección de la velocidad perpendicular al campo. La ecuación de x es: $x = v_0 \cdot t$
- Otro uniformemente acelerado, con aceleración $\frac{q \cdot E}{m}$ en la dirección del campo. La ecuación en la dirección del campo, el eje y , es:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot E}{m} \cdot t^2$$

La ecuación de la trayectoria la puedes calcular eliminando el tiempo entre las dos ecuaciones anteriores:

$$y = \frac{1}{2} \frac{g \cdot E}{m \cdot v_0^2} x^2$$

que es la ecuación de una parábola.

Flujo eléctrico

Supongamos una carga positiva (Q^+) centrada en el centro de una esfera. Se define el flujo eléctrico creado por dicha carga como:

$$\phi_E = \oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = K \frac{Q}{r^2} \oiint dS = K \frac{Q}{r^2} 4\pi r^2 = 4\pi K Q = Q/\epsilon_0$$

El flujo se caracteriza por:

- 1) Es una magnitud escalar.
- 2) Es independiente del radio de la esfera que contiene la carga.
- 3) Es proporcional a la carga que contiene la esfera, teniendo el mismo signo que esta.