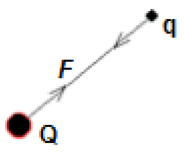
Campo eléctrico

La ley de Coulomb nos describe la interacción entre dos cargas eléctricas del mismo o de distinto signo.



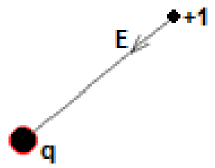
La fuerza que ejerce la carga *Q* sobre otra carga *q* situada a una distancia *r* es.

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

La fuerza **F** es repulsiva si las cargas son del mismo signo y es atractiva si las cargas son de signo contrario.

Concepto de campo

Es más útil, imaginar que cada uno de los cuerpos cargados modifica las propiedades del espacio que lo rodea con su sola presencia. Supongamos, que solamente está presente la carga *Q*, después de haber retirado la carga *q* del punto P. Se dice que la carga *Q* crea un campo eléctrico en el punto P. Al volver a poner la carga *q* en el punto P, cabe imaginar que la fuerza sobre esta carga la ejerce el campo eléctrico creado por la carga *Q*.



Cada punto P del espacio que rodea a la carga *Q* tiene una nueva propiedad, que se denomina campo eléctrico **E** que describiremos mediante una magnitud vectorial, que se define como la fuerza sobre la unidad de carga positiva imaginariamente situada en el punto P.

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

La unidad de medida del campo en el S.I. de Unidades es el N/C

Trabajo y energía potencial

La fuerza de atracción entre dos masas es conservativa, del mismo modo se puede demostrar que la fuerza de interacción entre cargas es conservativa.

El trabajo de una fuerza conservativa, es igual a la diferencia entre el valor inicial y el valor final de una función que solamente depende de las coordenadas que denominamos energía potencial.

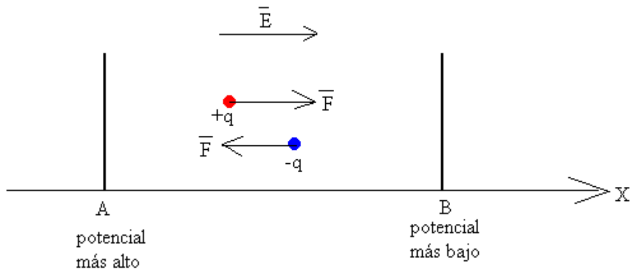
$$\int_A^B \mathbf{F}\cdot d\mathbf{l} = E_{pA} - E_{pB}$$

El trabajo infinitesimal es el producto escalar del vector fuerza **F** por el vector desplazamiento **dl**, tangente a la trayectoria. $dW = \mathbf{F}\cdot\mathbf{dl} = F\cdot dl\cdot\cos\vartheta = F\cdot dr$ -> $W = \int_A^B \mathbf{F}\cdot d\mathbf{l} = E_{pA} - E_{pB} = q(V_A - V_B)$

donde *dr* es el desplazamiento infinitesimal de la partícula cargada *q* en la dirección radial.

Para calcular el trabajo total, integramos entre la posición inicial A, distante r_A del centro de fuerzas y la posición final B, distante r_B del centro fijo de fuerzas.

El trabajo *W* no depende del camino seguido por la partícula para ir desde la posición A a la posición B.



- El campo eléctrico realiza un trabajo W cuando una carga positiva q se mueve desde un lugar A en el que el potencial es alto a otro B en el que el potencial es más bajo. Siq>0 y VA>VB entonces W>0.
- El campo eléctrico realiza un trabajo cuando una carga negativa *q* se mueve desde un lugar B en el que el potencial es más bajo a otro A en el que el potencial es más alto.
- Una fuerza externa tendrá que realizar un trabajo para trasladar una carga negativa q desde un lugar A en el que el potencial es más alto hacia otro lugar B en el que el potencial más bajo.

Energía potencial:

La fórmula de la energía potencial es: $E_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r}$

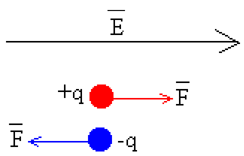
El nivel cero de energía potencial se ha establecido en el infinito, para r=∞, E_p=0

El hecho de que la fuerza de atracción sea conservativa, implica que la energía total (cinética más potencial) de la partícula es constante, en cualquier punto de la trayectoria. $E = \frac{1}{2}mv^2 + E_p = \text{cte}$

Concepto de potencial

Del mismo modo que hemos definido el campo eléctrico, el potencial es una propiedad del punto P del espacio que rodea la carga Q. Definimos potencial V como la energía potencial de la unidad de carga positiva imaginariamente situada en P, $V=E_p/q$. El potencial es una magnitud escalar. La unidad de medida del potencial en el S.I. de unidades es el volt (V). $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$

Relaciones entre fuerzas y campos



Una carga en el seno de un campo eléctrico **E** experimenta una fuerza proporcional al campo cuyo módulo es ***F = q·E*** cuya dirección es la misma, pero el sentido puede ser el mismo o el contrario dependiendo de que la carga sea positiva o negativa.

Relaciones entre campo y diferencia de potencial

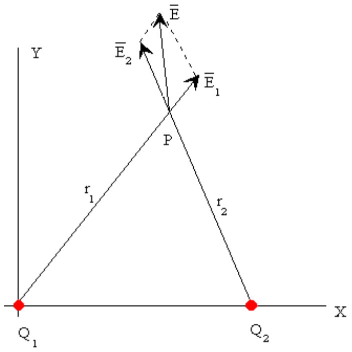
La relación entre campo eléctrico y el potencial es.

El campo eléctrico **E** es conservativo lo que quiere decir $\int_A^B \mathbf{E}\cdot d\mathbf{l} = V_A - V_B$ que en un camino cerrado se cumple: $\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{l} = 0$

$$\mathbf{E} = -\nabla V = -\frac{\partial V}{\partial x}\hat{\mathbf{i}} - \frac{\partial V}{\partial y}\hat{\mathbf{j}} - \frac{\partial V}{\partial z}\hat{\mathbf{k}}$$

Dado el potencial V podemos calcular el vector campo eléctrico **E**, mediante el operador gradiente.

Campo eléctrico de un sistema de dos cargas eléctricas



Cuando varias cargas están presentes el campo eléctrico resultante es la suma vectorial de los campos.

El módulo del campo eléctrico producido por cada una de las cargas es

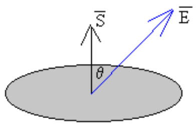
$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \qquad E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2}$$

Y las componentes del campo total son:

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} = E_1\cos\theta_1 + E_2\cos\theta_2$$
$$E_y = E_{1y} + E_{2y} = E_1\,\text{sen}\,\theta_1 + E_2\,\text{sen}\,\theta_2$$

Campo producido por un <u>conjunto de cargas</u> iguales e igualmente espaciadas es la suma vectorial de los campos producidos por cada una de las cargas individuales en el punto P $\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i = \sum_i \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i}{r_i^2}\hat{\mathbf{r}}_i$

Flujo del campo eléctrico



Φ =E·S producto escalar del vector campo por el vector superficie

La dirección es perpendicular al plano que la contiene.

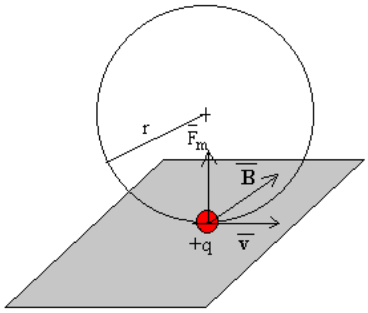
Si el vector campo E y el vector superficie S son perpendiculares el flujo es cero

<u>Teorema de Gauss</u>: flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual al cociente entre la carga que hay en el interior de dicha superficie dividido entre e0 $\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$

CAMPO MAGNÉTICO E INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Movimiento en un campo magnético

Una partícula que se mueve en un campo magnético experimenta una fuerza dada por el producto vectorial: ***Fm = q · v x B*** de dirección perpendicular sentido según regla del sacacorchos.



<u>Ley de Lorentz</u>: Como la fuerza eléctrica es: **F = q·E**

podemos usar el principio de superposición: $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$.

Partícula sometida a un campo magnético constante y uniforme

La carga describirá una circunferencia, ya que estará sometida a una fuerza que creará una aceleración normal constante y una aceleración tangencial nula. Podemos por tanto igualar la fuerza centrípeta de este movimiento con la fuerza magnética y tener así que, si tomamos los módulos, $qvB = m\frac{v^2}{R}$

de donde se puede deducir que el radio de la trayectoria será: $R = \frac{mv}{qB}$.

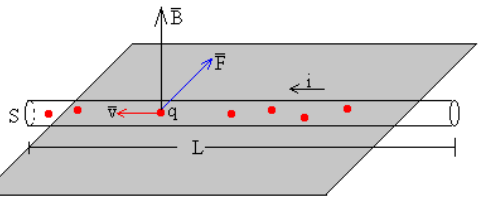
$$F_m = m\frac{v^2}{r} \qquad qvB = m\frac{v^2}{r} \qquad r = \frac{mv}{qB}$$

Fuerza sobre un conductor rectilíneo

Si una carga positiva q se mueve con velocidad v recibe una fuerza del campo magnético B: $\mathbf{f}_m = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

En un elemento de longitud dl la fuerza será: $\mathbf{dF} = i\mathbf{u}_t \times \mathbf{B} \cdot dl$

Si el conductor es rectilíneo: **F = i ut x B L**

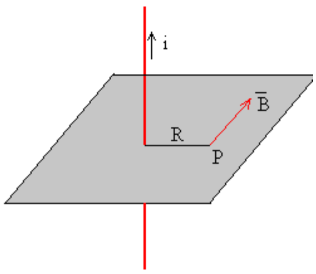


Campo magnético producido por un circuito cerrado. Ley de Biot-Savart

$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\oint \frac{\mathbf{u}_t \times \mathbf{u}_r}{r^2} dl$ Campo magnético B creado por un circuito cerrado recorrido por una corriente i

Campo magnético producido por una corriente rectilínea

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\text{sen}\,\theta}{r^2} dx = \frac{\mu_0 i}{4\pi R}\int_0^{\pi} \text{sen}\,\theta d\theta = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$



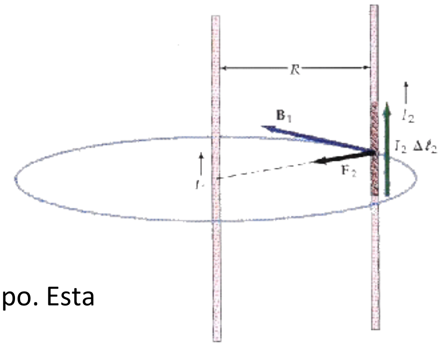
Ley de Ampère

$$\oint \mathbf{B} \cdot \mathbf{dl} = \oint B \cdot dl \cos 0° = B\oint dl = B \cdot 2\pi R \ \text{->}$$

$$B \cdot 2\pi R = \mu_0 i \qquad B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \ \text{->} \ \oint \mathbf{B} \cdot \mathbf{dl} = \mu_0 i$$

En un solenoide con N espiras: $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I$ -> $Bx = \mu_0 \frac{Nx}{L} I$ $\qquad B = \frac{\mu_0 NI}{L}$

Fuerzas entre corrientes paralelas:



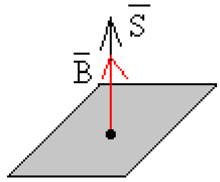
El campo que se crea será: $B = \dfrac{\mu_0 I_1}{2\pi d},$

y claro está, este hilo segundo por el cual circula una corriente I_2 experimentará una fuerza por estar sometido a este campo. Esta fuerza es: $F = I_2 L B.$

Por unidad de longitud L, : $\dfrac{F}{l} = I_2 B = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\dfrac{I_1 I_2}{d}.$

Flujo del campo magnético

$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = BS\cos\theta$



El campo magnético cuya dirección es perpendicular al plano de la espira, varía con el tiempo de la forma: B = Bo · sen(w t)
El flujo F del campo magnético a través de las N espiras iguales es, el producto del flujo a través de una espira por el número N de espiras

Inducción electromagnética. Ley de Faraday

$\Phi = N\mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = NBS\,\mathrm{sen}(\omega t)$ -> $V_\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt}$

La fem inducida en las espiras es $V_\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt} = -SNB_0\,\omega\cos(\omega t)$