

Electromagnetismo

Colaboración de Domaniom para el canal #fisica (IRC Hispano).
<http://fisica.urbenalia.com>

CAMPO ELÉCTRICO

El campo eléctrico se define como el espacio en el que colocada una partícula cargada ésta experimenta una fuerza, llamada fuerza eléctrica.

$$\vec{F}_e = k \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2} \quad \epsilon_{rela} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

El campo viene descrito por tres elementos:

- **Intensidad en cada uno de sus puntos.**
- **Líneas de campo.**
- **Potencial en cada uno de sus puntos.**

INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO:

Es la fuerza que hace el campo por unidad de carga. Se mide en N/C.

La intensidad de campo en un punto es tangente a la línea de campo que pasa por ese punto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$$

Principio de superposición:

El campo eléctrico generado en un punto por un conjunto de cargas es la suma vectorial de las intensidades que generan cada una de las cargas en ese punto.

LÍNEAS DE CAMPO:

- Las líneas de campo salen de las cargas positivas y van hacia las cargas negativas.
- Son tangentes al vector **E** en cada uno de sus puntos.
- El número de líneas que salgan de la carga positiva o entren en la negativa debe ser proporcional a dicha carga.
- Las líneas de campo no pueden cortarse, pues en ese punto se producirían dos vectores de campo distintos, lo que sería absurdo.
- Las líneas de campo son rectas paralelas si el campo es uniforme.

POTENCIAL ELÉCTRICO:

El potencial eléctrico en un punto es el trabajo que haría el campo para llevar la unidad de carga desde ∞ hasta ese punto.

$$V_A = \frac{kQ}{r_A} \quad \text{para } r_B \rightarrow \infty, V_B = 0 \quad \text{En un punto A desde fuera del campo.}$$

$$W_{campo} = -\Delta U = U_A - U_B \quad \text{Si el trabajo es ejercido sobre el campo, será } \Delta U.$$

La diferencia de potencial entre dos puntos (A y B) viene dada por:

$$\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\Delta V = V_A - V_B$$

En un campo uniforme, se llega a que: (siendo d la distancia entre estos dos puntos)

$$\Delta V = V_B - V_A = Ed$$

El potencial determinado por un campo generado por un sistema de cargas es la suma algebraica de los potenciales que generarían cada una de las cargas independientes en ese punto.

El potencial de los puntos que se encuentran a la misma distancia de la carga que genera el campo es el mismo. Las superficies que determinan se denominan **superficies equipotenciales**.

Energía: ($U \equiv E_p$)

$$E_p = K \frac{Qq}{r} \longrightarrow \Delta V = \frac{\Delta E_p}{q}$$

$$\text{Si hacemos } r_B \rightarrow \infty, V_B = 0 \longrightarrow V_A = \frac{E_{pA}}{q}$$

FLUJO:

$$\phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Teorema de Gauss para el campo eléctrico:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon}$$

- El flujo a través de una superficie cerrada es nulo (entran el mismo número de líneas de campo que el que sale), salvo que la carga esté en su interior.
- El flujo en el interior de una **esfera** en equilibrio electrostático cuya superficie está cargada es nulo; no existe campo en su interior. V es cte.
- Sin embargo, para puntos exteriores se comporta como una carga puntual.
- El campo eléctrico en las proximidades de una **lámina cargada** delgada e indefinida en equilibrio electrostático es:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

Y en un **condensador de placas plano-paralelas**:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Densidad superficial de carga:

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

CAMPO MAGNÉTICO

Se dice que existe un campo magnético en un punto del espacio cuando una carga colocada en ese punto con una velocidad distinta de cero sufre un desvío lateral debido a una fuerza magnética. La **fuerza magnética** es siempre **perpendicular** a la **velocidad**.

Según el tipo de materiales, el imán o la carga introducida en un campo magnético se comportan de una manera determinada, esto lo explica la:

Teoría de dominios magnéticos:

Se admite que las sustancias ferromagnéticas y paramagnéticas (éstas últimas en menor grado) están formadas por pequeñas regiones en las que sus átomos tienen la misma orientación, estas regiones se denominan dominios. Así, estos dipolos en presencia de un campo magnético externo se orientan en la misma dirección y sentido que el imán exterior generador del campo. Con las sustancias diamagnéticas algunos dipolos atómicos se orientan en sentido contrario al campo magnético exterior.

- **Sustancias ferromagnéticas:** Son fuertemente atraídas por un imán y fácilmente imantables. Pueden formarse imanes temporales e imanes permanentes, por ejemplo con el acero. (Fe, Co, Ni, acero...) $\mu \gg 1$
- **Sustancias paramagnéticas:** Son atraídas débilmente por un imán y apenas se imantan. La orientación de sus dipolos atómicos es débil. (Al) $\mu \geq 1$
- **Sustancias diamagnéticas:** Son repelidas débilmente por un imán (Cu, Ag, Pb...). $\mu \leq 1$

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO:

Sigue el sentido y es tangente a la línea de campo que pasa por el punto a estudiar.

• Ley de Lorentz:

$$\vec{F}_{mag} = q \vec{v} \times \vec{B} \longrightarrow F = qvB \cdot \sin \alpha$$

La dirección y sentido de la fuerza se establece con la regla de la mano dcha. o la del sacacorchos.

(Regla de la mano derecha o del pulgar): Se coloca la mano siguiendo la dirección y sentido del primer vector del producto vectorial y posteriormente se gira hacia el otro vector del producto. El pulgar extendido dará la dirección y sentido del vector resultante.

Si además de campo magnético hay uno eléctrico: $\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

• Ley de Laplace:

Para un conductor definido:

$$\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B}$$

CAMPOS CREADOS POR:

- Carga q con velocidad v en un medio de k :

$$k_o = 10^{-7} T \cdot m / A \quad k = \frac{\mu}{4\pi} \quad B = k \frac{q v \sin \alpha}{r^2}$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m / A$$

- Una corriente I indefinida:

Ley de Biot-Savart:

En general:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{r^2} d\vec{l} \times \vec{u}_r$$

Rectilínea:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

r es la distancia del conductor al punto.

Dirección y sentido por arrollamiento de la mano dcha. Las líneas de campo son circunferencias concéntricas al conductor.

Téngase en cuenta que:

$$I = \frac{Q}{t}$$

- Una corriente circular (espira). En el eje:

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{\vec{\mu}}{(R^2 + a^2)^{3/2}}$$

Dirección y sentido por arrollamiento de la mano dcha.

- Una bobina o solenoide:

$$B = \mu I \frac{N}{l} = \mu I n$$

Dirección y norte por arrollamiento de la mano siguiendo la intensidad por la bobina.

FUERZA ENTRE DOS CORRIENTES PARALELAS: (a distancia d)

Si las corrientes son del mismo sentido se crean fuerzas atractivas, si son opuestas, repulsivas. Cada conductor está dentro del campo generado por el otro, por lo que:

$$F_1 = I_1 l B_2 \quad F_2 = I_2 l B_1$$

$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi d} \quad B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = F_2 = B_1 = \frac{\mu_o l}{2\pi d} I_1 I_2$$

Amperio: Corriente que circulando por dos conductores lineales paralelos e indefinidos separados una distancia de un metro (en el vacío) produce una fuerza sobre cada uno de $2 \cdot 10^{-7}$ Newtons por metro de longitud de conductor.

FLUJO:

$$\phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Teorema de Gauss:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

El flujo magnético a través de una superficie cerrada es nulo. Aunque la fuente esté en su interior.

Ley de Ampère:

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I_{\text{int}}$$

Campo rodeado por un camino cerrado.

Válida únicamente para corrientes estacionarias. Una ley más amplia es:

Ley de Ampère-Maxwell:

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I_{\text{int}} + \underbrace{\mu\epsilon \frac{d\phi_E}{dt}}_{\text{Corriente de desplazamiento (corrientes variables)}}$$

Corriente de desplazamiento (corrientes variables)

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Definición: Un sistema induce un campo eléctrico o magnético sobre otro cuando su actividad es causante de la aparición de dicho campo.

Observaciones de Oersted, Faraday y Henry:

1. Se acerca y se aleja un imán a/de una espira. Se induce una corriente siempre que existe un **campo magnético variable**.
2. Se introduce una espira en un campo magnético perpendicularmente. La corriente inducida aparece por una **variación de la superficie que atraviesa el campo**.
3. Se hace girar un circuito dentro de un campo magnético. La corriente inducida aparece por la **variación del ángulo formado por el campo y el vector superficie**.

De donde se induce la siguiente ley:

Ley de Faraday-Henry-Lenz:

Un campo magnético variable en el tiempo induce un campo eléctrico:
(fuerza electromotriz, f.e.m inducida)

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \text{ [V]}$$

El significado del signo negativo es que la f.e.m. inducida es tal que tiende a oponerse al cambio que la produce, por lo que si se acerca el polo N de un imán al conductor se generará otro polo N en ese conductor y por lo tanto una fuerza opuesta. En cambio, si se aleja, la fuerza generará un polo S, creando también una fuerza contraria al cambio.

Autoinducción:

Los sistemas se producen un autoflujo magnético, el cual depende de la variación de la intensidad de corriente que circula por ellos, si no es nula se induce una fuerza electromotriz:

$$\phi_B = L I \quad L: \text{Coeficiente de autoinducción.} \left[\frac{Wb}{A} \equiv \frac{Tm^2}{A} \equiv H \right] \text{ H (Henrios).}$$

F.e.m. autoinducida:

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \text{ [V]}$$

L de un solenoide:

$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\mu N^2 S}{l} = \mu n^2 \text{ Volumen}$$

Inducción mutua:

Dos o más sistemas se inducen fuerzas electromotrices.

Por ejemplo, entre dos espiras cercanas con corrientes variables:

$$\begin{aligned}\phi_1 &= \phi_{\text{autoflujo}_1} + \phi_{1 \text{ debido a } 2} & \phi_{1 \text{ debido a } 2} &= M I_2 \\ \phi_2 &= \phi_{\text{autoflujo}_2} + \phi_{2 \text{ debido a } 1} & \phi_{2 \text{ debido a } 1} &= M I_1\end{aligned}$$

M: Coeficiente de inducción mutua. Depende de la disposición concreta de los sistemas. [H]

$$\varepsilon_1 = -M \frac{dI_2}{dt} \quad \text{f.e.m. inducida por 2 en 1.}$$

$$\varepsilon_2 = -M \frac{dI_1}{dt} \quad \text{f.e.m. inducida por 1 en 2.}$$

Consideración general: (autoinducción e inducción mutua)

$$\varepsilon_{T_1} = -M \frac{dI_2}{dt} - L \frac{dI_1}{dt} \quad \varepsilon_{T_2} = -M \frac{dI_1}{dt} - L \frac{dI_2}{dt}$$

Normalmente, $L \gg M$, por lo que es común que se desprecie la inducción mutua en algunos circuitos.

ECUACIONES DE MAXWELL

En conjunto, describen cualquier fenómeno electromagnético (clásico). Muestran directamente la relación entre los campos eléctricos y magnéticos.

- **Teorema de Gauss:**
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon} \quad \text{Eléctrico}$$

Nos dice que el origen de los campos eléctricos son las cargas.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \text{Magnético}$$

Explica la imposibilidad de existir monopolos magnéticos.

- **Ley de Faraday-Henry-Lenz:**
$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Un campo magnético variable (el flujo) genera un campo eléctrico.

- **Ley de Ampère-Maxwell:**
$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I_{\text{int}} + \mu\epsilon \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Un campo eléctrico variable (el flujo) genera un campo magnético.