

FÍSICA - 2° BACHILLERATO  
**CAMPO MAGNÉTICO**  
RESUMEN

**EVIDENCIA EXPERIMENTAL ACERCA DEL MAGNETISMO**

- Existen ciertos cuerpos llamados **imanes** (naturales y artificiales) con las siguientes propiedades:
  - Atraen objetos de hierro, cobalto y níquel.
  - Se atraen o repelen mutuamente según su orientación relativa.
  - Poseen dos puntos opuestos donde la atracción o repulsión es máxima: **polos** norte y sur
  - Polos del mismo signo se repelen y polos de distinto signo se atraen.
- Experimento de Oersted.** Una aguja imantada se encuentra en reposo junto a un hilo conductor. Cuando la corriente eléctrica pasa por el hilo, la aguja se mueve girando sobre sí misma hasta quedar en posición perpendicular al hilo. Cuando cesa la corriente, la aguja vuelve a su posición inicial.
- Experimento de Faraday.** Al mover un imán en presencia de un conductor, se observa la aparición de una corriente eléctrica en el mismo. La corriente desaparece cuando cesa el movimiento del imán.

**CAMPO MAGNÉTICO**

- Un imán genera un **campo magnético** a su alrededor. Dicho campo puede detectarse, por ejemplo, por la fuerza que actúa sobre cualquier otro imán que se sitúe dentro de dicho campo.
- El campo magnético se representa por el vector  $\vec{B}$ , que recibe el nombre de **inducción del campo magnético**. Su unidad en el SI es el **Tesla (T)**.
- Las **líneas del campo magnético** creado por un imán son **cerradas**, yendo del polo norte al polo sur.
- Las **cargas eléctricas en movimiento generan campos magnéticos**.
- Las **cargas eléctricas en movimiento** se ven afectadas por la presencia de los **campos magnéticos**. Si una carga se mueve en el seno de un campo magnético, experimentará la acción de una fuerza magnética debida al mismo.
- De acuerdo con lo anterior, las **corrientes eléctricas generan** campos magnéticos y se ven afectadas, a su vez, por la presencia de otros **campos magnéticos**.
- Un **campo magnético que varía** en el tiempo genera un **campo eléctrico**.
- Las **fuerzas eléctricas y magnéticas** están **interrelacionadas**. Ambas constituyen la manifestación de una interacción más general a la que llamamos **interacción electromagnética**.

**EXPLICACIÓN MICROSCÓPICA DEL MAGNETISMO NATURAL**

1. Las **propiedades magnéticas** de un imán tienen su origen en el **movimiento** de los **electrones** alrededor del núcleo atómico. Debido a este movimiento, cada átomo se comporta como un imán elemental llamado **dipolo magnético**. En una sustancia cualquiera, los dipolos están orientados al azar, de modo que sus campos magnéticos se cancelan mutuamente. En un imán, estos dipolos magnéticos están orientados en la misma dirección y sentido, de modo que sus campos se superponen dando lugar a un campo magnético apreciable a escala macroscópica.

**FUERZA DE LORENTZ**

1. Cuando una carga eléctrica se mueve en el seno de un campo magnético, actúa sobre ella una fuerza magnética llamada **fuerza de Lorentz**:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

donde el símbolo  $\times$  indica producto vectorial. En esta expresión es preciso tener en cuenta el **signo** de la carga para determinar correctamente el **sentido** de la fuerza.

2. El **módulo** de la fuerza de Lorentz es:

$$F = |q|vB \operatorname{sen} \alpha$$

donde  $\alpha$  es el ángulo que forman los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ .

3. Observaciones sobre la fuerza de Lorentz:

- a) El ángulo  $\alpha$  entre  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$  puede tomar cualquier valor entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  ( $0$  rad y  $\pi$  rad).
- b) La fuerza  $\vec{F}$  es siempre **perpendicular** a la velocidad  $\vec{v}$  y al campo magnético  $\vec{B}$ .
- c) Como  $\vec{F}$  es perpendicular a  $\vec{v}$ , la carga experimenta una **aceleración centrípeta** que cambia la dirección de su velocidad, pero mantiene invariante el módulo de  $\vec{v}$ .
- d) Si la partícula se mueve paralelamente al campo,  $\alpha = 0^\circ$ . Como  $\operatorname{sen} 0^\circ = 0$ , la fuerza tiene un valor nulo. Es decir, si la carga se mueve en la dirección del campo, no se ve afectada por éste.
- e) La fuerza de Lorentz alcanza su **valor máximo** cuando la carga se mueve en dirección **perpendicular al campo**, ya que en ese caso  $\alpha = 90^\circ$  y  $\operatorname{sen} 90^\circ = 1$ .

### CARGA PUNTUAL EN UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

1. Supongamos que una carga puntual  $q$  se mueve en el seno de un campo magnético **uniforme**. Supongamos, además, que la carga se mueve en dirección **perpendicular** a dicho campo. Entonces, la fuerza de Lorentz se dirige siempre al mismo punto, dando lugar a un movimiento circular uniforme de radio  $R$ . En ese caso, se cumple:

$$F = m a_c$$

$$|q| v B = \frac{m v^2}{R}$$

$$R = \frac{m v}{|q| B}$$

### CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CORRIENTE

1. Una **corriente eléctrica** está formada por un gran número de cargas eléctricas en movimiento, por tanto, una corriente eléctrica **genera un campo magnético**.
2. El **campo magnético** creado por un **elemento de corriente**  $d\vec{l}$  viene dado por la **ley de Biot y Savart**:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} (d\vec{l} \times \vec{u}_r)$$

donde

$I$  : **intensidad de corriente** eléctrica (medida en amperios, A)

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$  : **permeabilidad magnética** del vacío

$r$  : distancia desde el elemento de corriente al punto en el que queremos calcular el campo

**Integrando** la ley de Biot a todo el circuito obtendremos el **campo magnético total** creado por la corriente  $I$ .

3. La **permeabilidad magnética** indica la capacidad que tiene una sustancia de transmitir las líneas del campo magnético.

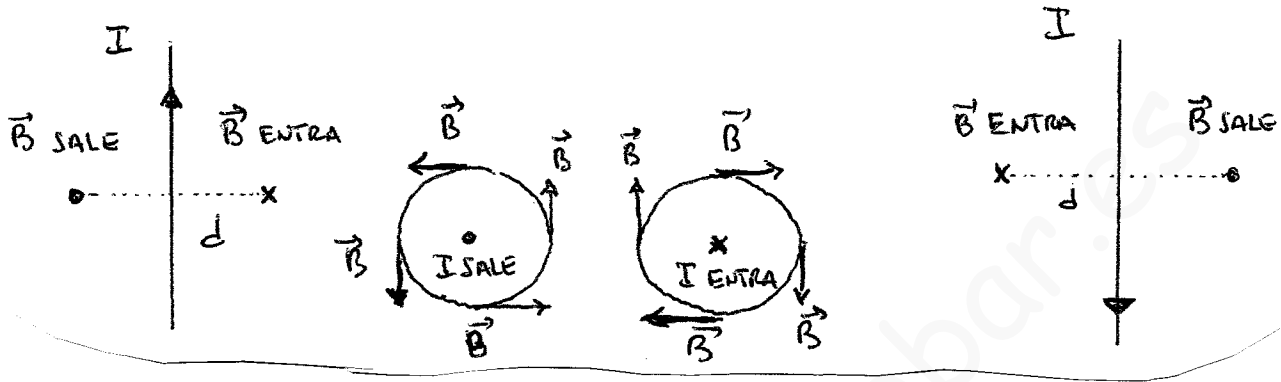
Para cualquier sustancia se cumple que:

$$\mu = \kappa \mu_0$$

donde  $\kappa$  es la **permeabilidad magnética** relativa de dicha sustancia.

4. Una **corriente rectilínea e indefinida** genera un campo cuyo valor a una distancia **d** de la corriente es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$



5. Una **corriente circular (espira)** de radio R genera un campo cuyo valor **en el centro** de la espira es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



## CORRIENTE RECTILÍNEA EN UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

1. Si tenemos un conductor rectilíneo de longitud  $l$  por el que circula una corriente de intensidad  $I$  en el seno de un campo magnético uniforme, la fuerza ejercida por el campo sobre el conductor es:

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

donde  $\vec{l}$  es un vector que tiene como módulo la longitud del conductor y el sentido de la corriente.

El módulo de dicha fuerza es:

$$F = IlB \operatorname{sen} \alpha$$

donde  $\alpha$  es el ángulo que forma el campo magnético con el hilo conductor.

## FUERZAS ENTRE CORRIENTES PARALELAS

1. Supongamos que tenemos **dos conductores rectilíneos paralelos** de longitudes  $l_1$  y  $l_2$  por los que circulan respectivamente unas corrientes de intensidad  $I_1$  e  $I_2$ . Ambos conductores están separados por una distancia  $d$ . La corriente que circula por cada uno de los conductores va a crear un campo magnético  $\vec{B}_1$  y  $\vec{B}_2$ , respectivamente. El campo magnético creado por el primer conductor ejercerá una fuerza sobre el segundo y viceversa.
2. La **fuerza** que el campo creado por el conductor 1 ejerce sobre el conductor 2 es:

$$\vec{F}_2 = I_2(\vec{l}_2 \times \vec{B}_1)$$

El **módulo** de dicha fuerza es:

$$F_2 = I_2 l_2 B_1 \operatorname{sen} \alpha$$

Como los vectores  $\vec{l}_2$  y  $\vec{B}_1$  son perpendiculares,  $\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{sen} 90^\circ = 1$ , por lo que

$$F_2 = I_2 l_2 B_1$$

El **campo** creado por el conductor 1 es:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

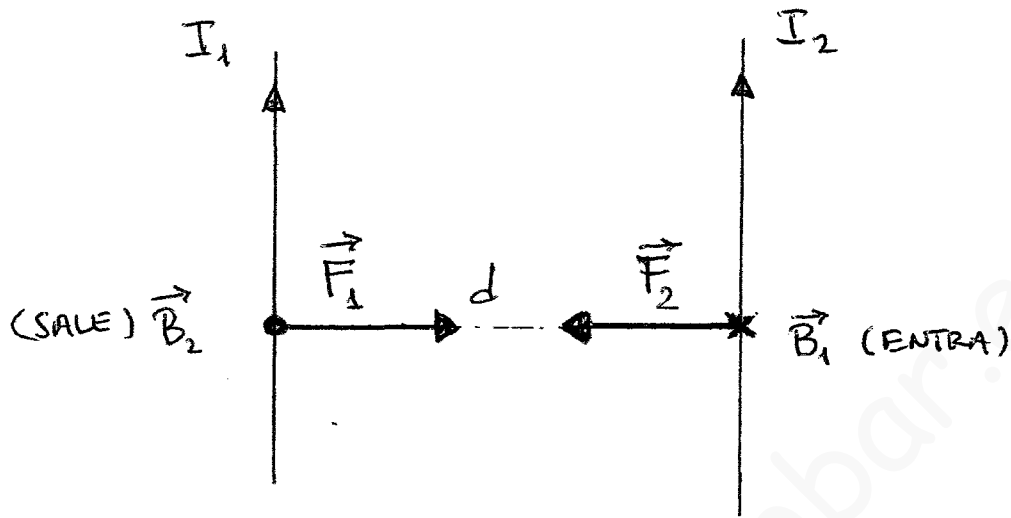
Sustituyendo en la expresión de la fuerza, queda definitivamente:

$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l_2}{2\pi d}$$

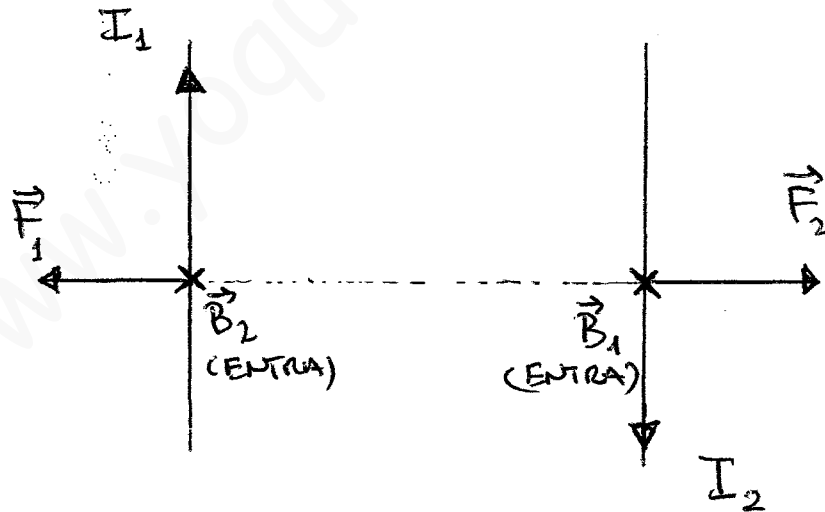
Un razonamiento análogo nos lleva a la expresión para la fuerza que el campo creado por el conductor 2 ejerce sobre el conductor 1:

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l_1}{2\pi d}$$

3. Si las **corrientes** tienen el **mismo sentido**, las fuerzas tienen la orientación que se indica en la figura siguiente:



4. Si las **corrientes** tienen **sentidos opuestos**, las fuerzas tienen la orientación que se indica en la figura siguiente:



5. Se puede afirmar que dos corrientes paralelas del mismo sentido se atraen, mientras que dos corrientes paralelas de sentidos opuestos se repelen.

## INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

1. Tenemos una **espira** que delimita una superficie S en el seno de un campo magnético **uniforme**. Definimos el **flujo magnético** a través de S como:

$$\phi = B S \cos \alpha$$

donde  $\alpha$  es el ángulo que forma el campo magnético con la normal a la superficie S.

El flujo magnético también se puede representar en forma de producto escalar de vectores:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

donde  $\vec{S}$  es un vector perpendicular a la superficie S y tiene como módulo el área de dicha superficie.

2. **Ley de Faraday-Lenz:** Si el flujo magnético a través de la superficie delimitada por un conductor varía con el tiempo, entonces se **induce** en dicho conductor una **fuerza electromotriz** que produce una **corriente** inducida. El **sentido** de dicha corriente es tal que se opone a la variación de flujo magnético que la originó.
3. La expresión matemática de la **fuerza electromotriz (fem)** inducida en una bobina de N espiras, de acuerdo con la Ley de Faraday-Lenz, es la siguiente:

$$\varepsilon = - N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

donde  $\varepsilon$  es la **fem media** inducida en la bobina cuando el flujo experimenta una variación en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

4. Si conocemos la **dependencia de  $\phi$  con respecto al tiempo**, podemos hallar la **fem instantánea**:

$$\varepsilon = - N \frac{d\phi}{dt}$$

## AUTOINDUCCIÓN

1. Cuando una **corriente eléctrica** de intensidad I recorre un circuito, genera un **campo magnético**. Este campo no sólo afecta al espacio que rodea el circuito, sino que atraviesa el propio circuito que lo ha generado, produciendo un flujo magnético a través de él.

Si la corriente varía, también lo hace el campo magnético, por lo tanto, el flujo magnético a través del circuito también será variable. Entonces, de acuerdo con la Ley de Faraday-Lenz, en el circuito aparecerá una **fem inducida** que generará una **corriente** que tiende a contrarrestar la variación del flujo magnético. Como esta corriente es debida a la variación de la I que recorre el propio circuito, se le llama **corriente autoinducida**, y hablamos de **autoinducción magnética**.

2. La **ley de Faraday** para **corrientes autoinducidas** adopta la siguiente expresión:

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

donde **L** se denomina **coeficiente de autoinducción**. En el S.I., L se mide en **henrios (H)**

3. Se puede demostrar que:

$$L = \frac{N\phi}{I}$$

donde  $\phi$  es el flujo magnético, N el número de espiras de la bobina e I la intensidad de corriente.

## INDUCCIÓN MUTUA

1. Si tenemos **dos circuitos** próximos entre sí, **la variación de I** en uno de ellos provocará una variación del flujo magnético que atraviesa el otro, dando lugar a la aparición de una corriente inducida, de acuerdo con la Ley de Faraday-Lenz. A este fenómeno le llamamos **inducción mutua**.
2. La inducción mutua es la base de los **transformadores**, que son dispositivos que permiten cambiar la tensión de una corriente alterna.
3. Un **transformador** básico está formado por dos bobinas enrolladas por separado en un núcleo de hierro. La primera bobina recibe el nombre de **primario** y tiene  $N_p$  espiras. La segunda bobina, el **secundario**, tiene  $N_s$  espiras. El núcleo de hierro permite que el flujo magnético que atraviesa el primario sea conducido casi sin pérdidas hasta el secundario.
4. Si por el primario circula una corriente  $I_p$  con un voltaje  $\varepsilon_p$  y la corriente es variable (por ejemplo, corriente alterna) entonces se produce una variación de flujo magnético que se transmite hasta el secundario creando en éste una corriente inducida  $I_s$  con una tensión  $\varepsilon_s$ . Entre estas magnitudes existen las relaciones siguientes:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\varepsilon_s I_s = \varepsilon_p I_p$$