

## CAMPO MAGNÉTICO

### Campo magnético

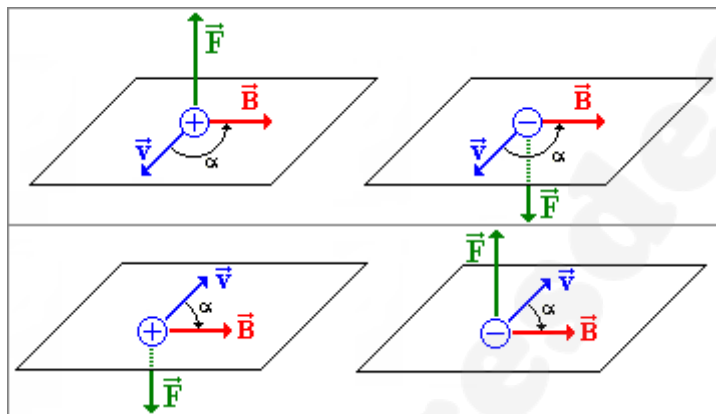
Se dice que existe un campo magnético  $\vec{B}$  en un punto, si una carga de prueba que se mueve con una velocidad  $\vec{v}$  por ese punto es desviada por la acción de una fuerza que se denomina magnética.

La fuerza magnética que ejerce un campo sobre una carga móvil depende tres factores:

1. Del valor de la carga  $q$  y de la velocidad  $v$  con que se mueve
2. De la inducción (intensidad)  $\vec{B}$  del campo magnético
3. Del ángulo que forman los vectores  $\vec{B}$  (inducción del campo magnético) y  $\vec{v}$  (vector velocidad de la carga que se desplaza), siendo la fuerza máxima cuando ambos vectores son perpendiculares y mínima (nula) cuando son paralelos.

La fuerza producida por un campo magnético sobre una carga en movimiento cumple las siguientes condiciones:

1. Es perpendicular a  $\vec{v}$  y a  $\vec{B}$ , y por tanto es perpendicular al plano determinado por  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ .
2. La fuerza magnética sobre una carga positiva tiene sentido opuesto al de la fuerza que actúa sobre una carga negativa que se desplazará por el mismo campo magnético y con idéntica velocidad.



*Para conocer la dirección y sentido del vector fuerza nos podemos ayudar de la regla del sacacorchos, teniendo en cuenta que para cargas positivas la fuerza tendrá el mismo sentido que el sacacorchos en el giro de  $\vec{v}$  a  $\vec{B}$ , y para cargas negativas, sentido opuesto, tal como se puede observar en la figura.*

Todos estos factores permiten definir la fuerza a la que se ve sometida una carga en movimiento dentro de un campo magnético mediante la expresión:

$$\vec{F} = q \cdot |\vec{v} \times \vec{B}| = q \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

En módulo:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Esta expresión permite dar una definición de inducción magnética. La inducción de campo magnético en un punto es la fuerza que ejerce el campo sobre una unidad de carga que se mueve con una velocidad en dirección perpendicular al campo

$$B = \frac{F}{q \cdot v}$$

También permite definir la unidad de inducción de campo magnético **TESLA (T)**

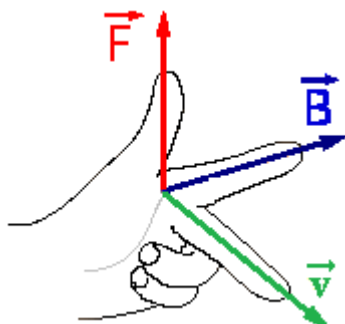
**TESLA**  $\equiv$  es la inducción de un campo magnético que ejerce una fuerza de un newton sobre una carga de un culombio cuando se mueve con la velocidad de un metro por segundo, en el interior del campo, y perpendicular a las líneas de inducción.

$$1\text{T} = \frac{1\text{N}}{1\text{C} \cdot 1\text{m/s}}$$

La dirección y sentido de la fuerza también se puede obtener con la regla de la mano derecha o de la mano izquierda.

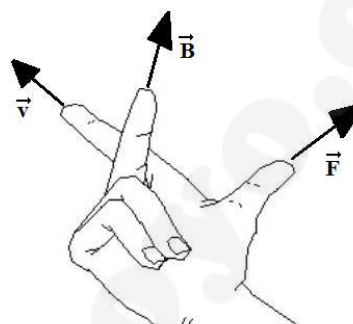
#### Mano IZQUIERDA.

Si el índice señala  $\vec{B}$ , el corazón  $\vec{v}$ , el pulgar nos indicará la dirección y el sentido de la fuerza para cargas positivas, si la carga es negativa, el sentido será contrario



#### Mano DERECHA

Si el índice señala  $\vec{v}$ , el corazón  $\vec{B}$ , el pulgar nos indicará la dirección y el sentido de la fuerza para cargas positivas, si la carga es negativa, el sentido será contrario

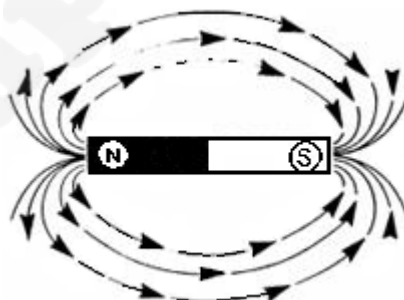


#### Líneas de inducción

El campo magnético se puede representar gráficamente por líneas de fuerza o líneas de campo que se denominan líneas de inducción magnética. La dirección del campo magnético es tangente en cada punto a las líneas de inducción.

Las líneas de inducción salen del polo Norte y entran por el polo Sur.

Las líneas de campo magnético son cerradas, por dentro del imán van de Sur a Norte.



#### Ley de Biot y Savart

Se denomina elemento de corriente ( $d\vec{l}$ ) a una porción de un conductor por el que circula una corriente  $I$ .  $d\vec{l}$  es un vector elemental que tiene la dirección del conductor y el sentido de la corriente.

La Ley de Biot y Savart establece que si un hilo conduce una corriente  $I$ , el campo magnético  $d\vec{B}$  en un punto  $P$  debido a un elemento  $d\vec{l}$  cumple las siguientes condiciones:

1.  $d\vec{B}$  es perpendicular tanto a  $d\vec{l}$  como al vector unitario  $\vec{u}_r$  que une el elemento de corriente con el punto  $P$
2. El módulo de  $d\vec{B}$  es inversamente proporcional a  $r^2$ , siendo  $r$  la distancia del elemento de corriente al punto.
3. El módulo de  $d\vec{B}$  es proporcional a la intensidad de la corriente y a  $d\vec{l}$ .
4. El módulo de  $d\vec{B}$  es proporcional al seno del ángulo formado por  $d\vec{l}$  y  $\vec{u}_r$ .

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

La dirección de  $d\vec{B}$  viene dada por el producto vectorial  $d\vec{l} \times \vec{u}_r$ , siendo por tanto perpendicular a  $d\vec{l}$  y  $\vec{u}_r$ , su sentido se obtiene con la regla del sacacorchos

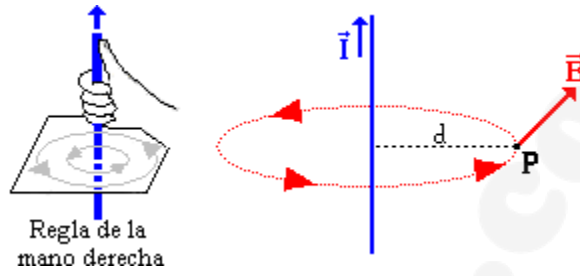
$\mu_0 \equiv$  permeabilidad magnética en el vacío  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$

Aplicaciones de la Ley de Biot y Savart

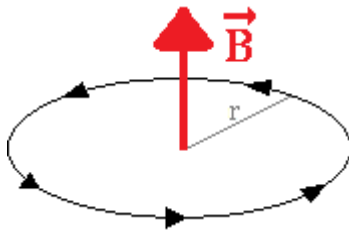
**Campo magnético producido por un conductor rectilíneo e indefinido.**

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

El campo es tangente a las líneas de fuerza. Las líneas de fuerza son concéntricas con el hilo. Si tomamos el hilo con la mano derecha de forma que el pulgar indique el sentido de la corriente, el resto de los dedos nos el sentido de las líneas de campo, tal como indica la figura.



**Campo magnético creado por una espira circular en su centro.**



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

La dirección del campo magnético coincide con el eje de la espira, y el sentido viene dado por el avance del sacacorchos que gira en el mismo sentido que la corriente.

**Fuerzas sobre cargas en movimiento. Ley de Lorentz**

Cuando una carga se desplaza en el seno de un campo magnético, se ve sometida a una fuerza que viene dada por la expresión:

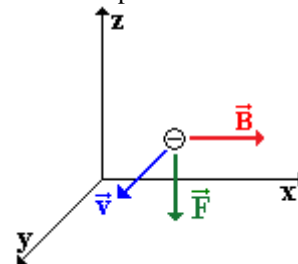
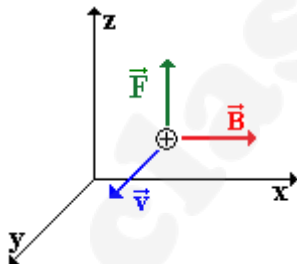
$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

O en módulo

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \alpha$$

La dirección y el sentido de  $\vec{F}$  vienen dados por la regla del producto vectorial

- Si la carga es positiva ( $q^+$ ) tendrá el sentido del vector  $\vec{v} \times \vec{B}$ .
- Si la carga es negativa ( $q^-$ ) tendrá sentido opuesto al vector  $\vec{v} \times \vec{B}$ .



La dirección y el sentido de la fuerza, también se puede obtener por las reglas de las manos, o por la del giro del sacacorchos.

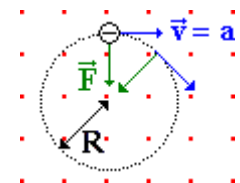
Si la partícula eléctrica se desplaza perpendicularmente a las líneas de fuerza de un campo magnético uniforme, la partícula describe un movimiento circular uniforme. El campo magnético no realiza ningún trabajo sobre la carga, pero le imprime una aceleración constante, perpendicular a la dirección de la velocidad, es decir, una aceleración centrípeta.

La partícula describe una circunferencia en la que F es la fuerza centrípeta.

$$F_B = F_c \quad q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

El radio de la circunferencia descrita es:

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



La velocidad angular con la que la partícula describe la órbita es:

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

La frecuencia del movimiento es:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{q}{m} \frac{B}{2\pi}$$

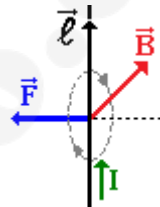
### Fuerza magnética sobre un conductor recorrido por una corriente

Si introducimos un conductor rectilíneo recorrido por una corriente  $I$  en un campo magnético de intensidad  $B$ , el hilo se verá sometido a una fuerza que está expresada por:

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

En módulo:

$$F = I \cdot \ell \cdot B \cdot \sin \alpha$$



Si en lugar de un conductor rectilíneo se coloca una espira rectangular dentro del campo magnético, se produce un par de fuerzas que tiende a producir una rotación en la espira.

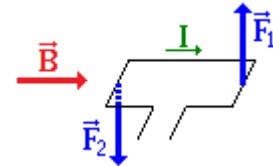
El módulo de las fuerzas al que se ve sometida la espira se:

$$F_1 = F_2 = I \cdot \ell \cdot B$$

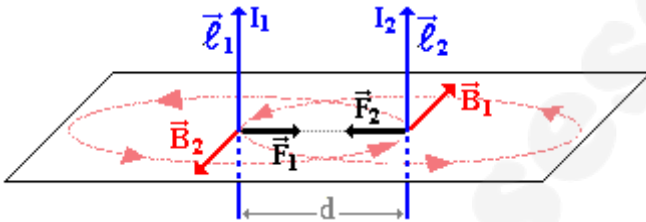
El momento de torsión máximo del par de fuerzas es:

$$M = F \cdot d = I \cdot \ell \cdot B \cdot d = I \cdot B \cdot S$$

Siendo  $S = \ell \cdot d$  la superficie de la espira.



### Fuerza entre corrientes paralelas



Si dos conductores rectilíneos y paralelos por los que circulan intensidades de corriente  $I_1$  e  $I_2$  en el mismo sentido están separados una distancia  $d$ , cada uno de ellos se encontrará inmerso en el campo magnético creado por el otro, y por lo tanto, estarán sometidos a una fuerza magnética.

$$F_1 = I_1 \cdot \ell_1 \cdot B_2$$

$B_2 \equiv$  Campo magnético creado por el conductor 2 en el punto donde está situado el conductor 1.

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

Sustituyendo en la expresión de  $F_1$ :

$$F_1 = I_1 \ell_1 \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = \frac{\mu_0}{2\pi d} I_1 I_2 \ell_1$$

De manera análoga, el conductor 2 estará sometido a la fuerza:

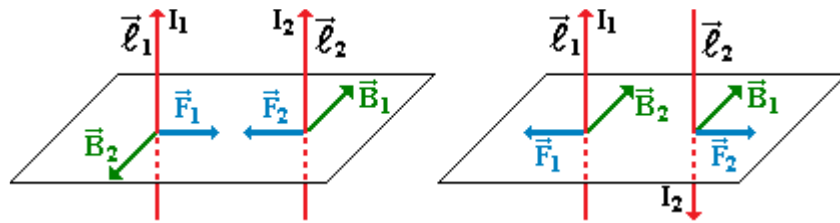
$$F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi d} I_1 I_2 \ell_1$$

$F_1$  y  $F_2$  tienen la misma dirección, pero sentido opuesto, son fuerzas de acción y reacción.

La fuerza por unidad de longitud a la que se verá sometido un conductor rectilíneo por la presencia de otro paralelo a él es:

$$F/\ell = \frac{\mu_0}{2\pi d} I_1 I_2$$

**CONCLUSIÓN:** Dos conductores paralelos e indefinidos por los que circulan corrientes del mismo sentido se atraen. Dos conductores por los que circulan corrientes en sentido contrario se repelen.



La fuerza entre corrientes paralelas se ha tomado como criterio para definir el amperio (unidad de intensidad de corriente)

**Amperio** es la corriente que, circulando por dos conductores paralelos e indefinidos separados una distancia de un metro en el vacío, produce sobre cada conductor una fuerza de  $2 \times 10^{-7}$  N por metro de longitud de conductor.

### Ley de Ampere

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I$$

$\sum I$   $\equiv$  Suma escalar de todas las corrientes que atraviesan la superficie cerrada.

### Campo magnético en el interior de un solenoide.

El campo magnético en el interior de un solenoide es uniforme, mientras que en el exterior es nulo.

$$B = \frac{\mu_0 N I}{\ell}$$

$N$   $\equiv$  Número de espira del solenoide

$I$   $\equiv$  Intensidad de la corriente en amperio

$\ell$   $\equiv$  Longitud del solenoide en metros