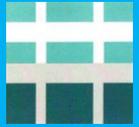


# FÍSICA

2º CURSO



## BLOQUE 2: ELECTROMAGNETISMO 04. CAMPO MAGNÉTICO



Se organiza alrededor de los conceptos de campos eléctrico y magnético, con el estudio de sus fuentes y de sus efectos, además de los fenómenos de inducción y las ecuaciones de Maxwell.

**1. De la magnetita al electromagnetismo**

1.1. Campo magnético.

1.2. Electromagnetismo

**2. Estudio del campo magnético**

2.1. Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento.

2.2. Acción de un campo magnético sobre una corriente eléctrica.

2.3. Orientación de una espira en un campo magnético.

**3. Movimiento de cargas en un campo**

3.1. Cargas que entran perpendicularmente en el campo.

3.2. Cargas que inciden oblicuamente en un campo magnético uniforme.

**4. Campos magnéticos producidos por corrientes**

4.1. Fuerzas magnéticas entre corrientes paralelas.

4.2. Campo magnético producido por una corriente eléctrica indefinida.

4.3. Ley de Biot y Savart

**5. Teorema Ampère**

## 04. CAMPO MAGNÉTICO

## 1. De la magnetita al electromagnetismo



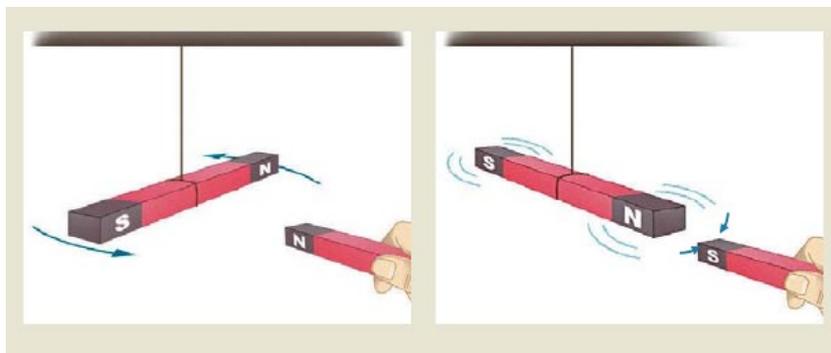
Los griegos sabían que la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) tenía la propiedad de atraer piezas de hierro.



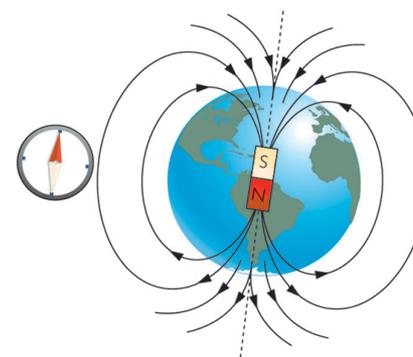
Algunas leyendas chinas hablan del uso de la brújula en el 83 a.C.



**Maricourt** (1269), comprobó como se orientaban pequeñas agujas alrededor de un imán esférico.

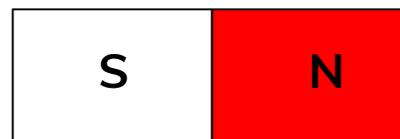
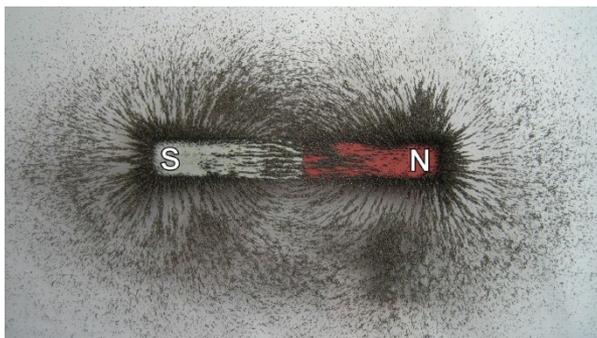


**Maricourt** también introdujo el concepto de polos y su atracción y repulsión.

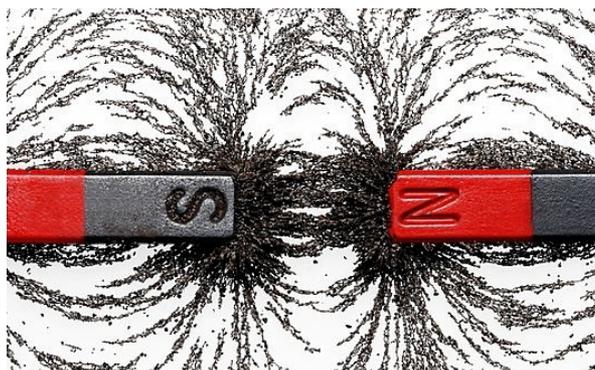


**Gilbert** (1544-1603) postuló que la Tierra actuaba como un gran imán esférico.

## 1.1. Campo magnético



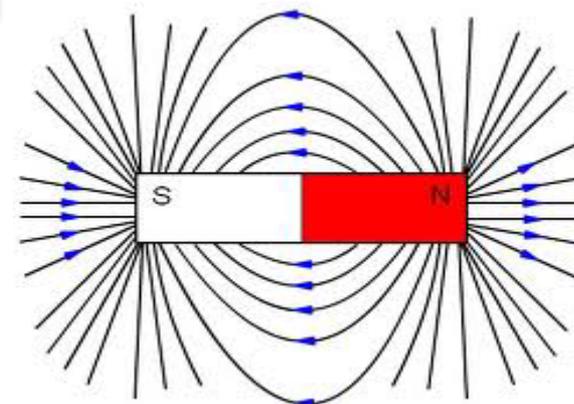
Los polos magnéticos siempre están presentes en parejas. No pueden separarse, aún cuando el imán se corte reiteradas veces, siempre aparece un polo norte y otro sur.



El campo magnético decrece con el cuadrado de la distancia.

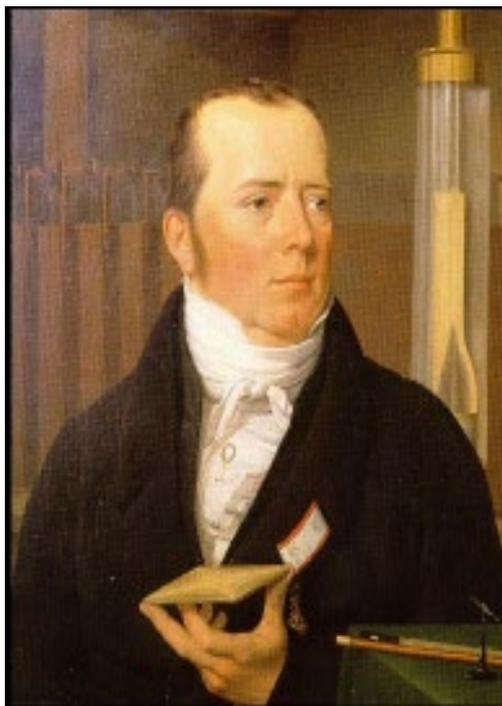
La dirección del campo magnético es la que indica el polo norte de una brújula en cualquier punto (de norte a sur por el exterior y de sur a norte por el interior)

vector inducción  
magnética  
 $\vec{B}$

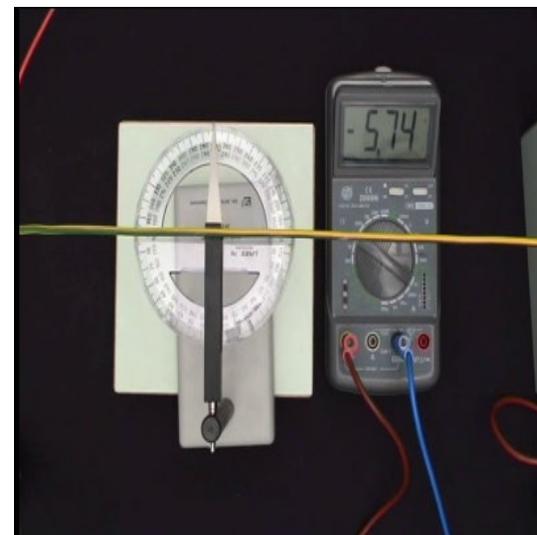
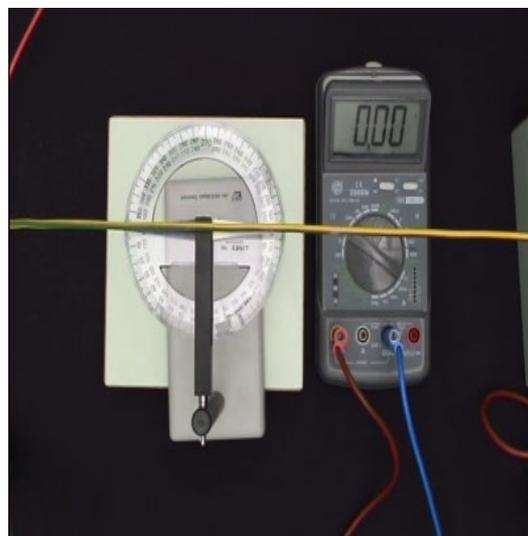


## 1.2. Electromagnetismo

**Invierno de 1820:** Oersted observa una relación entre electricidad y magnetismo consistente en que cuando colocaba la aguja de una brújula cerca de un alambre por el que circulaba corriente, ésta experimentaba una desviación. Así nació el **Electromagnetismo**.



Una **corriente eléctrica** (partículas cargadas en movimiento) produce un campo magnético.





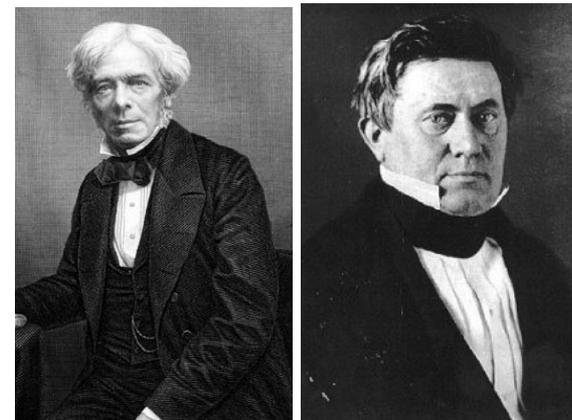
## 1.2. Electromagnetismo



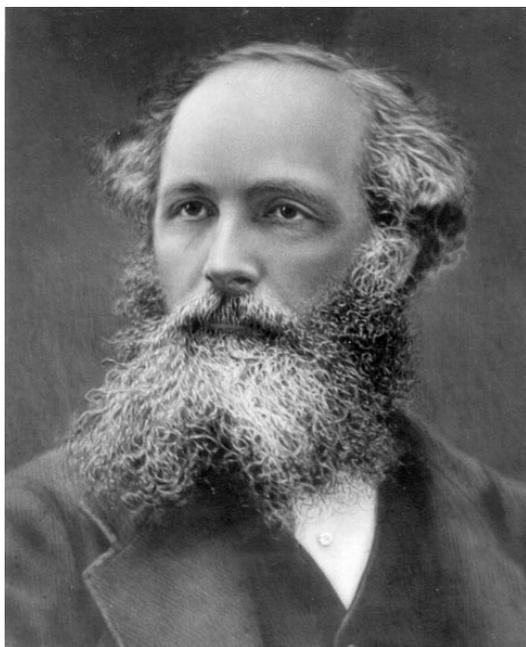
Un par de meses después, **André M. Ampère** comprobó la **interacción entre conductores** cercanos por los que circulan corrientes.



Por esas fechas, **Jean-Baptiste Biot** y **Felix Savart** formularon el campo producido por una corriente cualquiera.



**Michael Faraday** y **Joseph Henry** demostraron que un campo magnético variable produce una corriente eléctrica.

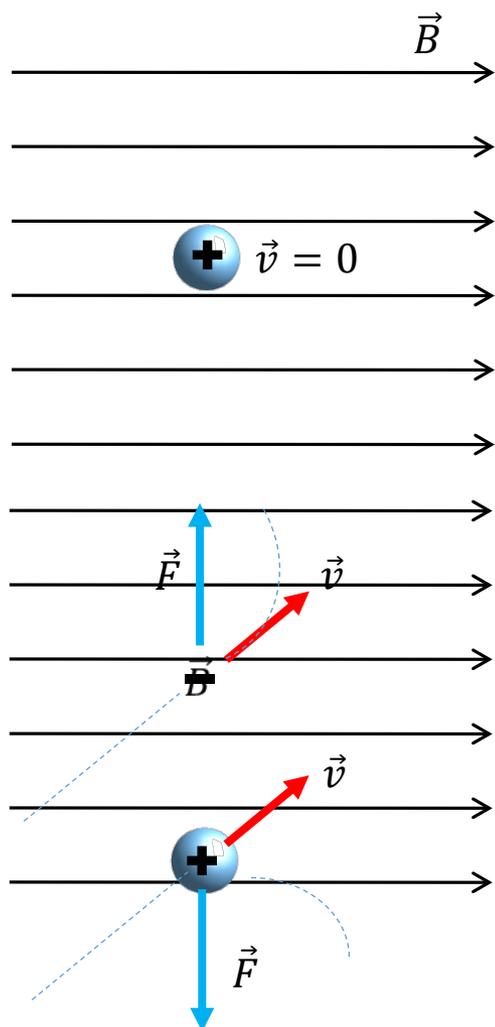


Algo más tarde, **James Clerk Maxwell** constató el efecto contrario: un campo eléctrico variable genera un campo magnético.

Se puede concluir:

- Los imanes y las corrientes eléctricas constituyen fuentes generadoras de campos magnéticos.
- Los campos magnéticos son producidos por partículas cargadas en movimiento.

## 2.1. Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento



- Cuando en una región en la que existe un campo magnético, se abandona una carga en reposo, no se observa interacción alguna.
- Cuando una carga incide en el campo magnético con una cierta velocidad, aparece una fuerza:
  - ♦ Proporcional al valor de la **carga** y al de la **velocidad**.
  - ♦ Si incide paralela al campo, no actúa fuerza alguna.
  - ♦ Si incide perpendicularmente, la fuerza adquiere su valor máximo.
  - ♦ Si incide oblicuamente, la fuerza es proporcional al seno del ángulo.
  - ♦ Cargas de distinto signo, manifiestan fuerzas de sentido contrario.

$$F = qvB\text{sen}\alpha \Rightarrow \vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (\text{Fuerza de Lorentz})$$



## 2.1. Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento

La expresión de la Fuerza de Lorentz nos permite definir la **unidad de campo magnético**:

$$B = \frac{F_{\text{máx}}}{qv}$$

Un campo magnético es de 1 T (tesla) si se ejerce una fuerza de 1 N sobre una carga de 1 C que entra en dirección perpendicular al campo con una velocidad de 1 m/s:

$$1 T = \frac{1 N}{1 C \cdot 1 m/s} \quad 1 G (\textit{gauss}) = 10^{-4} T$$

Si la partícula incide en una región en la que existen un campo eléctrico y otro magnético, estará sometida a dos fuerzas:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (\textit{Fuerza de Lorentz generalizada})$$



## ACTIVIDADES

1. Un protón se mueve con una velocidad de  $3 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$  a través de un campo magnético de  $1,2 \text{ T}$ . Si la fuerza que experimenta es de  $2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ , ¿qué ángulo formaba su velocidad con el campo cuando entró en él?

Dato:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

**Sol:**  $20,3^\circ$

2. Con una velocidad  $\vec{v} = 2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k} \text{ m s}^{-1}$ , un electrón se mueve en una región del espacio en la que el campo magnético viene dado por  $\vec{B} = 0,3\hat{i} - 0,02\hat{j} \text{ T}$ . ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre él? ¿Y su módulo?

Dato:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

**Sol:**  $\vec{F} = 9,6 \cdot 10^{-21}\hat{i} + 1,4 \cdot 10^{-19}\hat{j} + 5,4 \cdot 10^{-20}\hat{k} \text{ N}$ ;  $F = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ N}$

3. Un protón penetra en un campo eléctrico uniforme  $\vec{E}$ , de  $200 \text{ N C}^{-1}$ , con una velocidad  $\vec{v}$ , de  $10^6 \text{ m s}^{-1}$ , perpendicular al campo. Calcule el campo magnético,  $\vec{B}$ , que habría que aplicar, superpuesto al eléctrico, para que la trayectoria del protón fuera rectilínea. Ayúdese de un esquema.

**Sol:**  $B = 2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ , perpendicular a  $\vec{v}$  y a  $\vec{E}$ .



## ACTIVIDADES

4. Una partícula alfa, con una energía cinética de  $2 \text{ MeV}$ , se mueve en una región en la que existe un campo magnético uniforme de  $5 \text{ T}$ , perpendicular a su velocidad. Dibuje en un esquema los vectores velocidad de la partícula, campo magnético y fuerza magnética sobre dicha partícula y calcule el valor de la velocidad y de la fuerza magnética.

Datos:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_{\alpha} = 6,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

**Sol:**  $v = 9\,773\,555,55 \text{ m s}^{-1}$ ;  $F = 1,56 \cdot 10^{-11} \text{ N}$

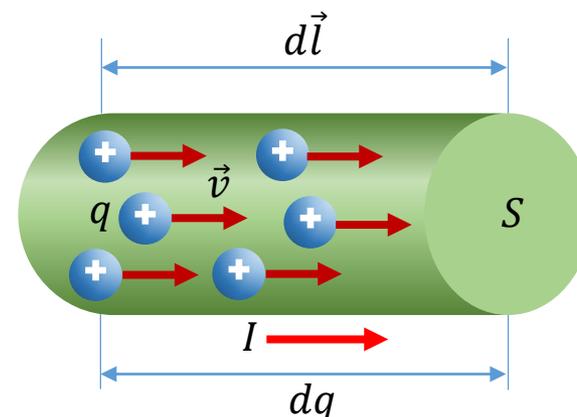
5. Un haz de partículas con carga positiva y moviéndose con velocidad  $\vec{v} = v\hat{i}$  continúa moviéndose sin cambiar de dirección al penetrar en una región en la que existen un campo eléctrico  $\vec{E} = 500 \hat{j} \text{ V m}^{-1}$  y un campo magnético de  $0,4 \text{ T}$  paralelo al eje Z. i) Dibuje en un esquema la velocidad de las partículas, el campo eléctrico y el campo magnético, razonando en qué sentido está dirigido el campo magnético, y calcule el valor  $v$  de la velocidad de las partículas. ii) Si se utilizaran los mismos campos eléctrico y magnético y se invirtiera el sentido de la velocidad de las partículas, razone con la ayuda de un esquema si el haz se desviaría o no en el instante en que penetra en la región de los campos.

**Sol:**  $v = 1250 \text{ m s}^{-1}$

## 2.2. Acción de un campo magnético sobre una corriente eléctrica

Una corriente eléctrica viene caracterizada por su intensidad

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \Rightarrow \quad dq = Idt$$



Sea un conductor que se encuentra en el **seno de un campo magnético**, consideremos un elemento de longitud  $d\mathbf{l}$ . Si la carga,  $dq$ , que constituyen la corriente se desplazan con una velocidad  $\mathbf{v}$ , la fuerza que se ejerce sobre la carga contenida en  $d\mathbf{l}$  es:

$$d\vec{F} = dq(\vec{v} \times \vec{B}) = Idt(\vec{v} \times \vec{B}) = I(\vec{v}dt \times \vec{B}) = I(d\vec{l} \times \vec{B})$$

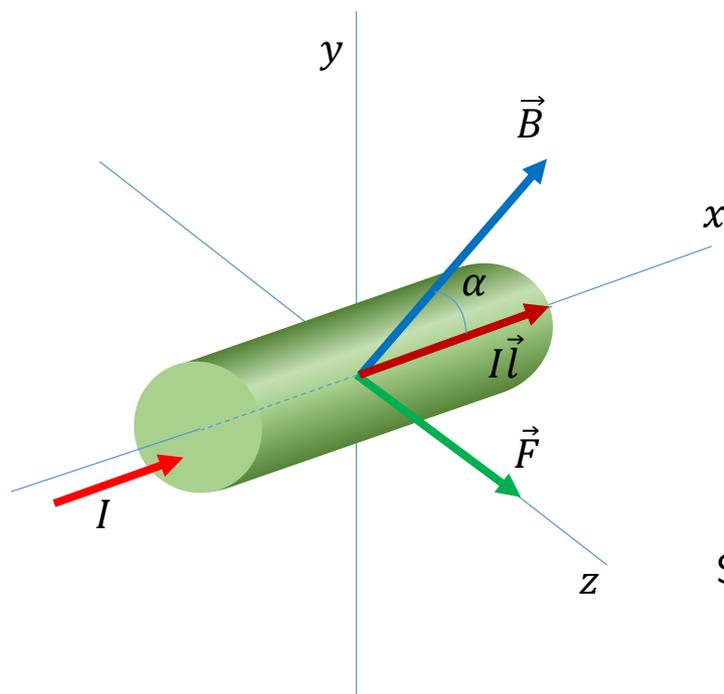
Si el **campo magnético es uniforme**:

$$\vec{F} = I \int_l (d\vec{l} \times \vec{B}) = I \left( \int_l d\vec{l} \right) \times \vec{B}$$



## 2.2. Acción de un campo magnético sobre una corriente eléctrica

## ▶ Acción de un campo magnético sobre un conductor rectilíneo



$$\vec{F} = I \left( \int_l d\vec{l} \right) \times \vec{B} = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

(Ley de Laplace)

$$F = IlB \operatorname{sena}$$

Si el conductor es **perpendicular al campo**:

$$F = IlB \Rightarrow B = \frac{F}{Il} \Rightarrow 1 T = \frac{1 N}{1 A \cdot 1 m}$$



## ACTIVIDADES

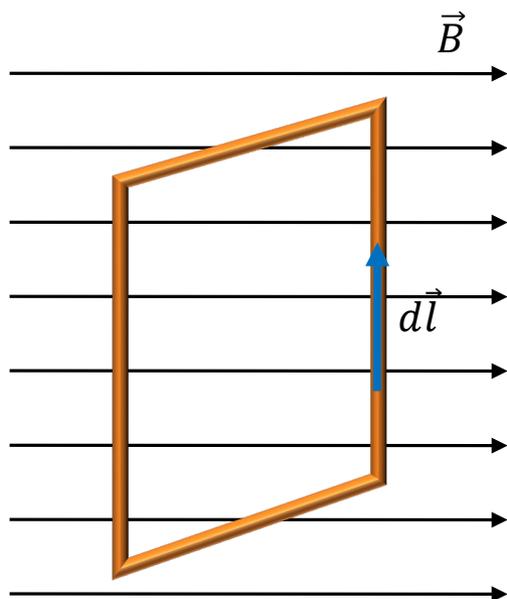
6. Un hilo conductor de  $10\text{ g}$  de masa y  $20\text{ cm}$  de longitud conectado a un generador de corriente continua mediante hilos flexibles se encuentra inmerso en un campo magnético de  $0,04\text{ T}$  que lo atraviesa perpendicularmente, paralelo al suelo. Determina qué intensidad de corriente debe hacerse circular y en qué sentido para que el conductor levite y no se caiga al suelo?

Dato:  $g = 9,8\text{ m s}^{-2}$

Sol:  $I = 12,25\text{ A}$



► Acción de un campo magnético sobre una espira

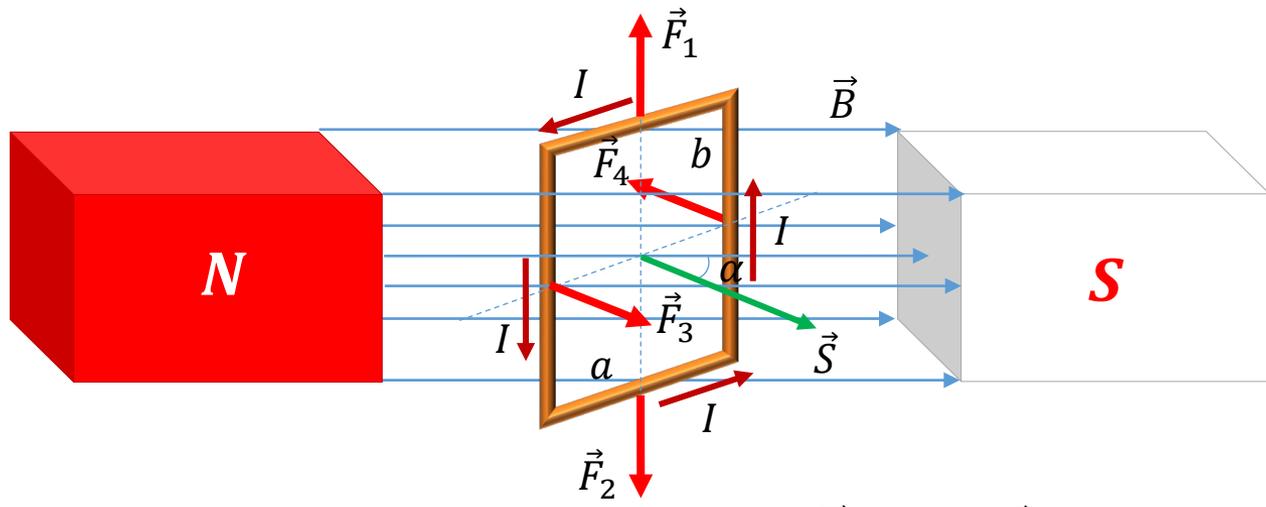


Sea un conductor plano cerrado (espira) por el que circula una corriente de intensidad  $I$  situado en el campo magnético uniforme:

$$\vec{F} = I \left( \oint d\vec{l} \right) \times \vec{B} = 0$$

Un campo magnético uniforme no ejerce fuerza neta sobre un conductor en forma de espira cerrada por el que circula una corriente.

2.3. Orientación de una espira en un campo magnético



$$F_3 = F_4 = IlB = IbB$$

$$M_T = aF \text{sen}\alpha$$

$$M_T = IabB \text{sen}\alpha$$

$$M_T = ISB \text{sen}\alpha$$

$$\vec{M}_T = I\vec{S} \times \vec{B}$$

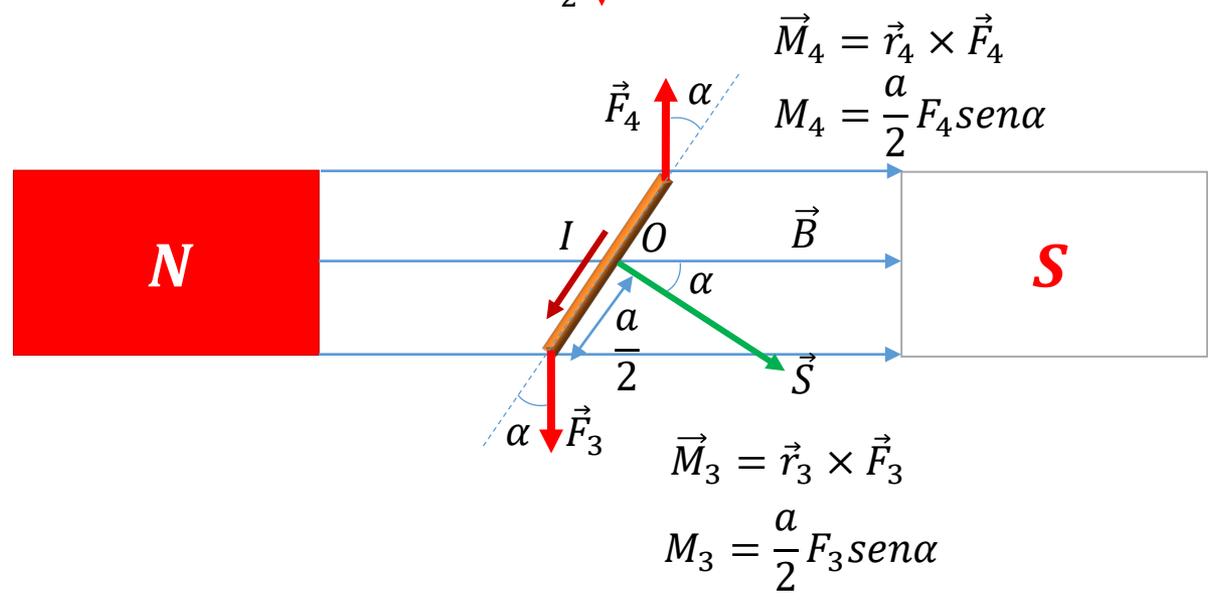
$$\vec{m} = I\vec{S}$$

(momento magnético)

$$\vec{M}_T = \vec{m} \times \vec{B}$$

Para N espiras:

$$\vec{m} = NI\vec{S}$$



$$\vec{M}_4 = \vec{r}_4 \times \vec{F}_4$$

$$M_4 = \frac{a}{2} F_4 \text{sen}\alpha$$

$$\vec{M}_3 = \vec{r}_3 \times \vec{F}_3$$

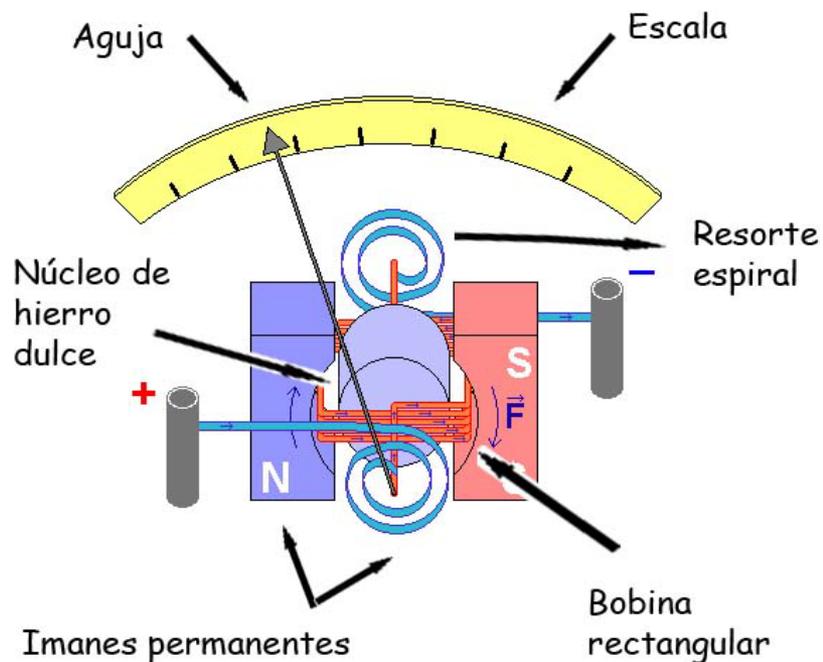
$$M_3 = \frac{a}{2} F_3 \text{sen}\alpha$$

### 2.3. Orientación de una espira en un campo magnético

#### ► Funcionamiento de un galvanómetro

Se utiliza para medir pequeñas intensidades de corriente.

Consta de:



- Aguja unida a una bobina rectangular suspendida entre los dos polos de un imán permanente en cuyo interior se coloca un núcleo de hierro dulce, con el fin de **concentrar las líneas de campo**.
- La bobina junto con su núcleo están unidos a un resorte para mantenerlos en la posición de equilibrio.
- El momento vendrá dado por:

$$\vec{M}_T = \vec{m} \times \vec{B} \quad \vec{m} = N I \vec{S}$$

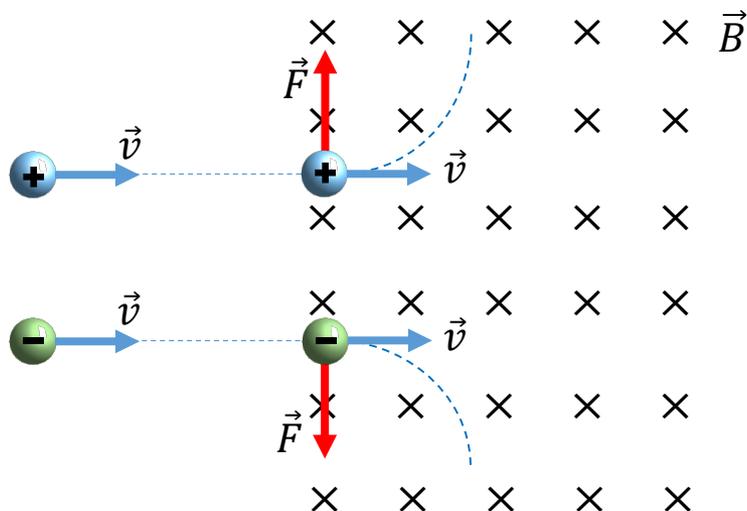


## ACTIVIDADES

7. Una bobina rectangular formada por 30 espiras de  $10\text{ cm} \times 8\text{ cm}$  conduce una corriente de  $1,5\text{ A}$ . Se introduce dicha bobina en un campo magnético uniforme de  $0,8\text{ T}$ , de modo que la normal al plano de la bobina forma  $60^\circ$  con las líneas del campo. i) ¿Cuál es valor del momento magnético de la bobina?; ii) ¿Cuánto vale el momento del par de fuerzas que actúa sobre la bobina?

**Sol:** i)  $m = 0,36\text{ A m}^2$ ; ii)  $M = 0,249\text{ N m}$

## 3.1. Cargas que entran perpendicularmente al campo



Una partícula que penetra en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme describe un movimiento circular uniforme

$$m \frac{v^2}{r} = qvB \quad \Rightarrow \quad r = \frac{mv}{qB}$$

- Velocidad angular o **frecuencia de ciclotrón**:

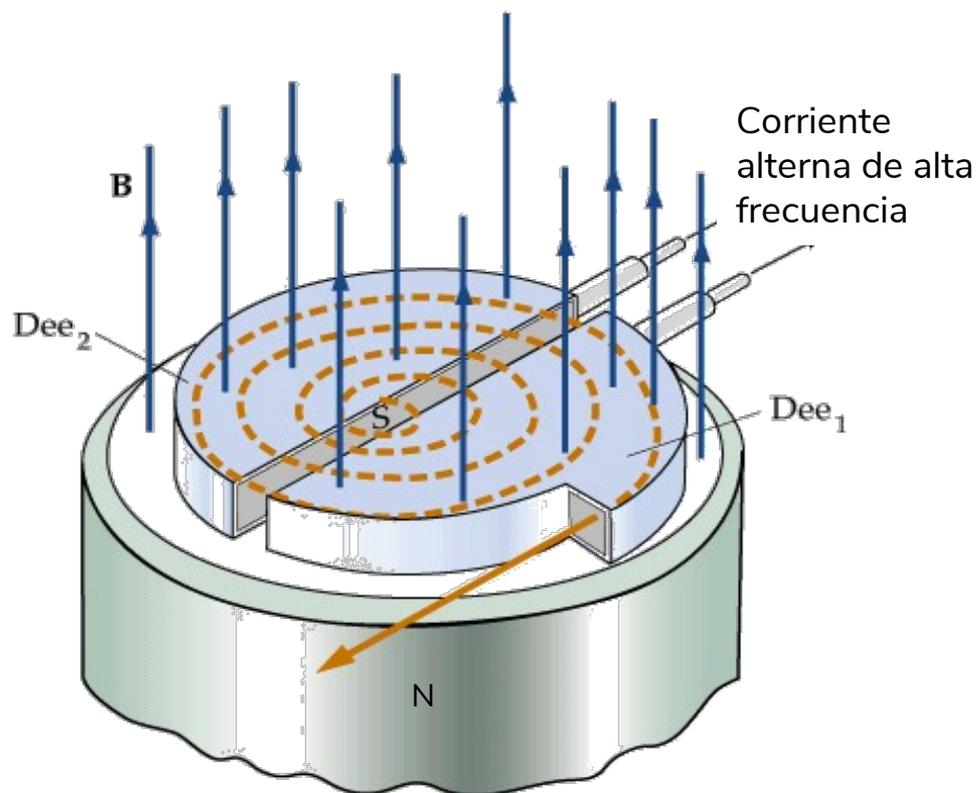
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{q}{m}B$$

- El período de revolución:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

### 3.1. Cargas que entran perpendicularmente al campo

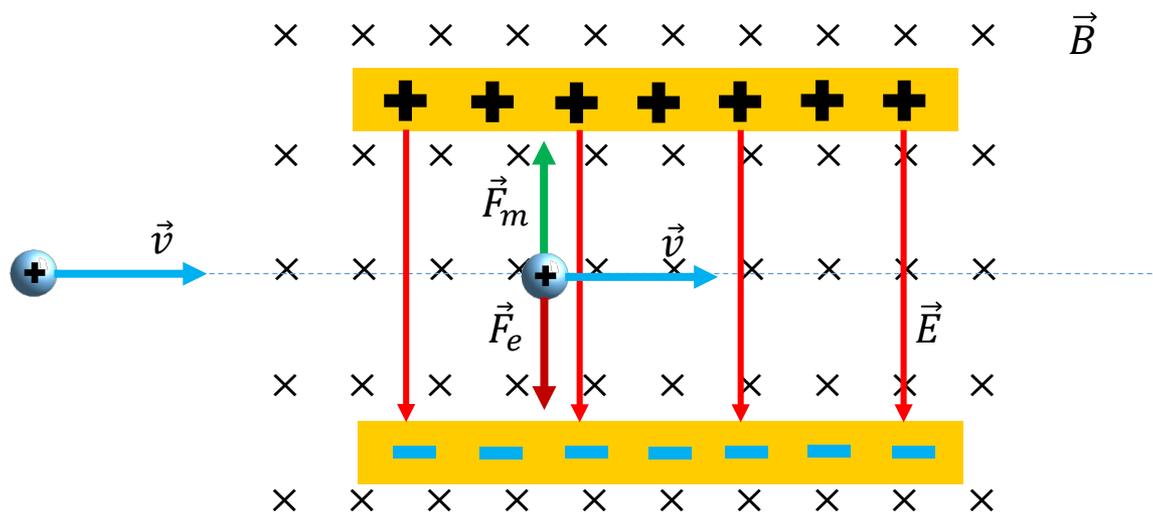
#### ► El ciclotrón



Las partículas cargadas procedentes de la fuente  $S$  son **aceleradas** por la diferencia de potencial existente entre las dos “des”. Cuando llegan de nuevo al hueco, la ddp ha cambiado de signo y vuelven a acelerarse describiendo un círculo mayor. Esta **ddp alterna su signo** con el **periodo de ciclotrón** de la partícula, que es independiente del radio de la circunferencia descrita.

$$v = \frac{qBr}{m} \quad \Rightarrow \quad E_{C \text{ máx}} = \frac{q^2 B^2 r^2}{2m}$$

### ► El selector de velocidades



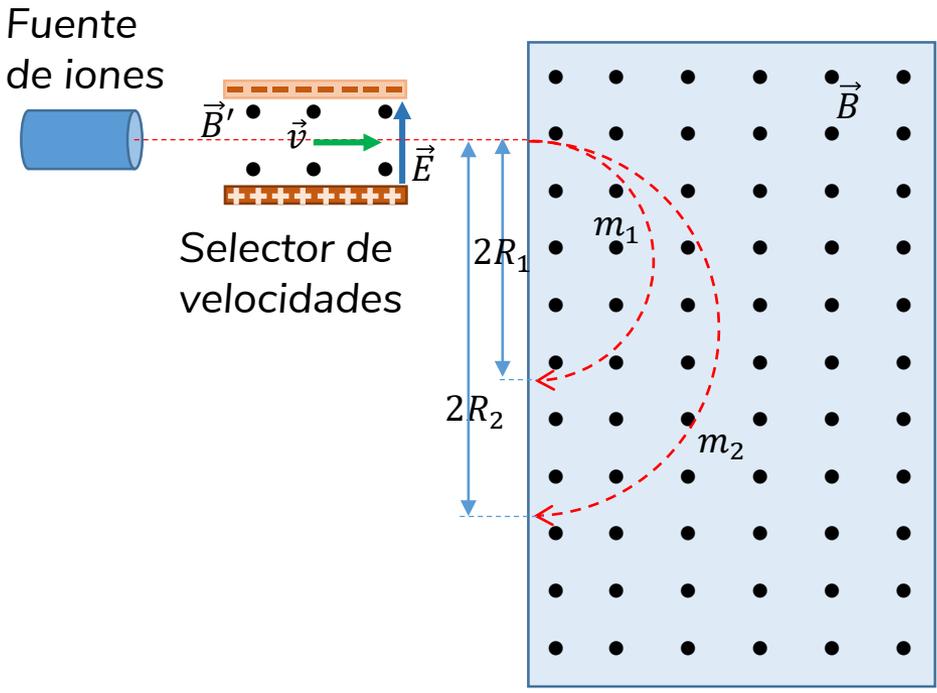
- Las fuerzas eléctrica y magnética se compensan cuando:

$$qE = qvB$$

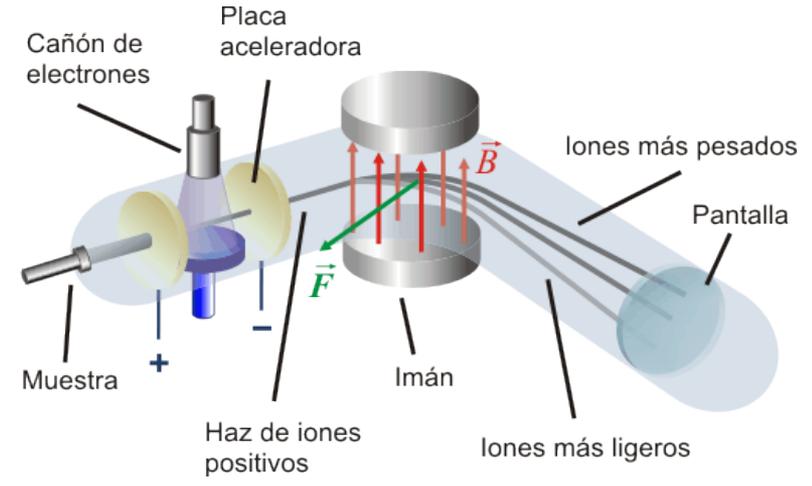
- Al fijar unos valores de  $E$  y  $B$ , se determinan las partículas que lleven una cierta velocidad:

$$v = \frac{E}{B}$$

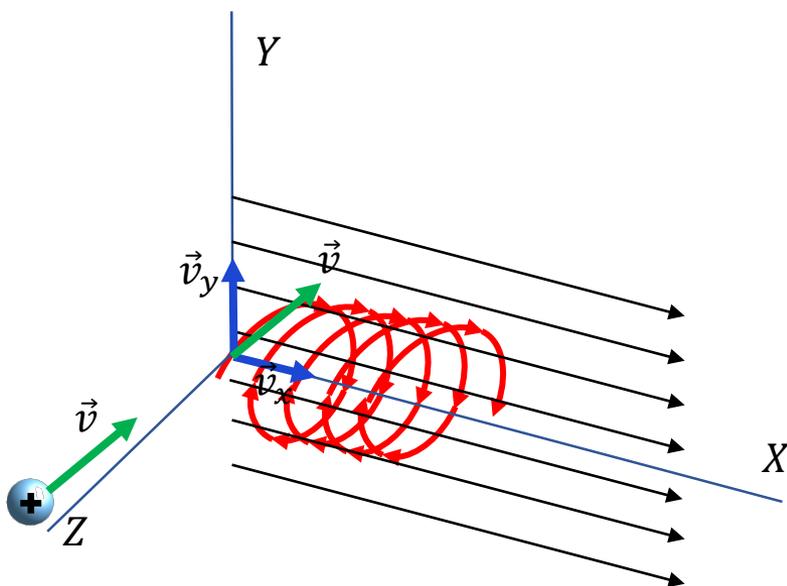
► Espectrógrafo de masas



$$qvB = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow m = \frac{qBR}{v}$$



## 3.2. Cargas que inciden oblicuamente en un campo magnético uniforme



$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) = q[(\vec{v}_x + \vec{v}_y) \times \vec{B}] =$$

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

$$m \frac{v^2}{r} = qv_y B \quad \Rightarrow \quad r = \frac{mv_y}{qB}$$

$$v_x = \text{Cte.}$$

Una partícula cargada que penetra oblicuamente en un campo magnético uniforme describe un movimiento helicoidal, resultante de la composición de un movimiento circular y otro rectilíneo uniforme.



## ACTIVIDADES

8. Un electrón incide en un campo magnético de  $12 \hat{i} T$  con una velocidad de  $1,6 \cdot 10^7 m s^{-1}$ , formando un ángulo de  $30^\circ$  con las líneas de dicho campo. ¿Cuál es el radio de la órbita descrita por el electrón? ¿Cuál es la velocidad de avance en el campo?

Datos:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ ;  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$

**Sol:**  $R = 3,79 \cdot 10^{-6} m$ ;  $v_x = 1,39 \cdot 10^7 m s^{-1}$

9. Dos partículas de masas  $m$  y  $4m$  y cargas  $Q$  y  $3Q$ , respectivamente, con la misma velocidad,  $v$ , en un campo magnético de valor  $B$ . Demuestra cómo son, en cada caso, los radios de los círculos que describen, así como sus respectivos períodos de revolución.

**Sol:**  $R_2/R_1 = 4/3$ ;  $T_2/T_1 = 4/3$

10. Un deuterón, isótopo del hidrógeno, recorre una trayectoria circular de radio  $4 cm$  en un campo magnético uniforme de  $0,2 T$ . Calcule: i) la velocidad del deuterón y la diferencia de potencial necesaria para acelerarlo desde el reposo hasta esa velocidad; ii) el tiempo en que efectúa una semirevolución.

Datos:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ ;  $m_{deuterón} = 3,34 \cdot 10^{-27} kg$

**Sol:** i)  $v = 3,83 \cdot 10^5 m s^{-1}$ ;  $\Delta V = 1,53 \cdot 10^3 V$ ; ii)  $T_{\frac{1}{2}} = 3,28 \cdot 10^{-7} s$



## ACTIVIDADES

11. Un haz de electrones con energía cinética de  $10^4 \text{ eV}$ , se mueve en un campo magnético perpendicular a su velocidad, describiendo una trayectoria circular de  $25 \text{ cm}$  de radio. i) Con ayuda de un esquema, indique la trayectoria del haz de electrones y la dirección y el sentido de la fuerza, la velocidad y el campo magnético, calculando sus valores. ii) Para ese mismo campo magnético explique, cualitativamente, cómo variarían la velocidad, la trayectoria de las partículas y su radio si, en lugar de electrones, se tratara de un haz de iones de  $\text{Ca}^{2+}$ .

Datos:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

**Sol:** i)  $v = 5,93 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$ ;  $B = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ ;  $F = 1,28 \cdot 10^{-14} \text{ N}$

12. Una partícula  $\alpha$  se acelera desde el reposo mediante una diferencia de potencial de  $5 \cdot 10^3 \text{ V}$  y, a continuación, penetra en un campo magnético de  $0,25 \text{ T}$  perpendicular a su velocidad. i) Dibuje en un esquema la trayectoria de la partícula y calcule la velocidad con que penetra en el campo magnético. ii) Calcule el radio de la circunferencia que describe tras penetrar en el campo magnético.

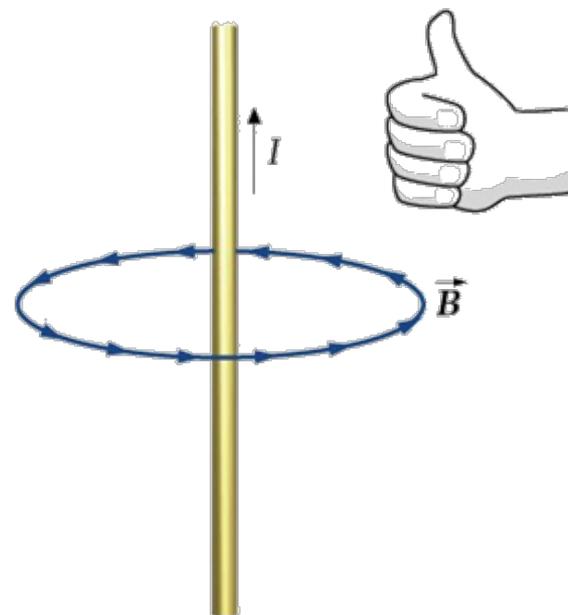
Datos:  $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_\alpha = 6,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

**Sol:** i)  $v = 6,91 \cdot 10^5 \text{ m s}^{-1}$ ; ii)  $R = 5,79 \text{ cm}$

### 4.1. Fuerzas magnéticas entre corrientes paralelas

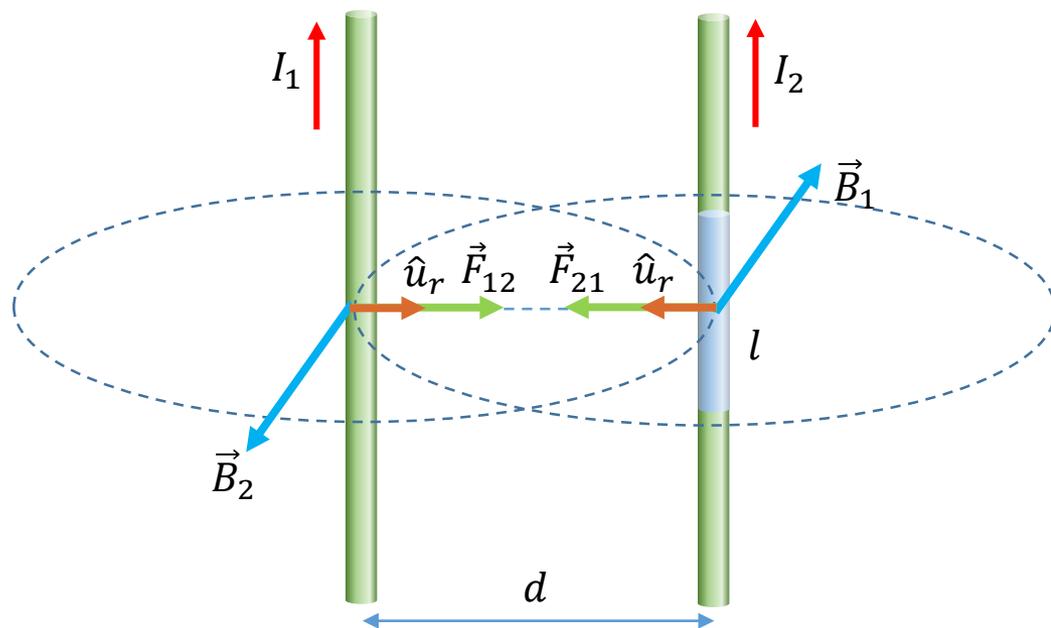


Las líneas de campo magnético que son creadas por una corriente rectilínea son circunferencias concéntricas en el plano perpendicular al conductor.



La dirección del vector  $\mathbf{B}$  es tangente en cada punto a dichas líneas, y su sentido es el que determinan los dedos de la mano derecha cuando el pulgar extendido señala en el sentido de la intensidad de corriente

### ► Experiencias de Ampère



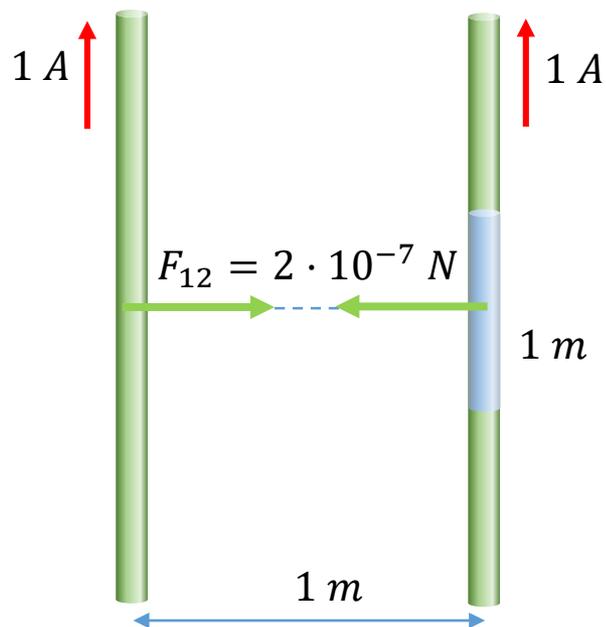
$$\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d} \hat{u}_r$$

$$\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d} \hat{u}_r$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

- Las **fuerzas** magnéticas entre dos conductores rectilíneos paralelos por los que circula corriente son **iguales y de sentidos opuestos**.
- Las fuerzas son **atractivas** si las corrientes son del mismo sentido y **repulsivas** si son de sentido contrario.

► Definición internacional de amperio (hasta 2019)



Un **amperio** es la intensidad de corriente que, circulando por dos conductores paralelos separados entre sí por 1 m de distancia, produce sobre cada uno de ellos una fuerza de  $2 \cdot 10^{-7}$  N por cada metro de conductor.

$$\frac{F_{21}}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2}{2\pi} \cdot \frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ A}}{1 \text{ m}} =$$

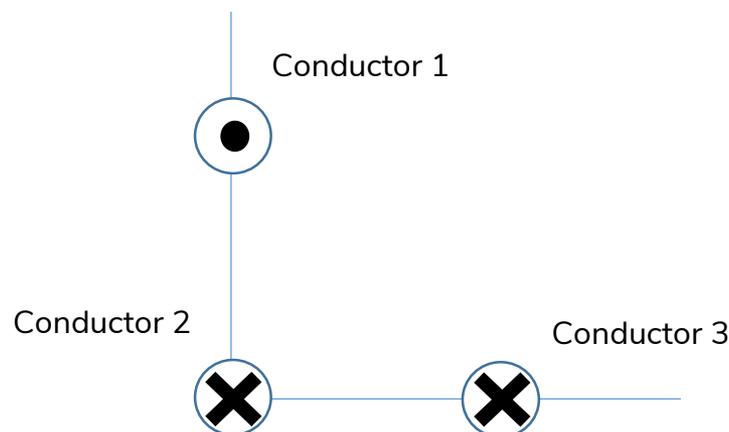
$$\frac{F_{21}}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$$



## ACTIVIDADES

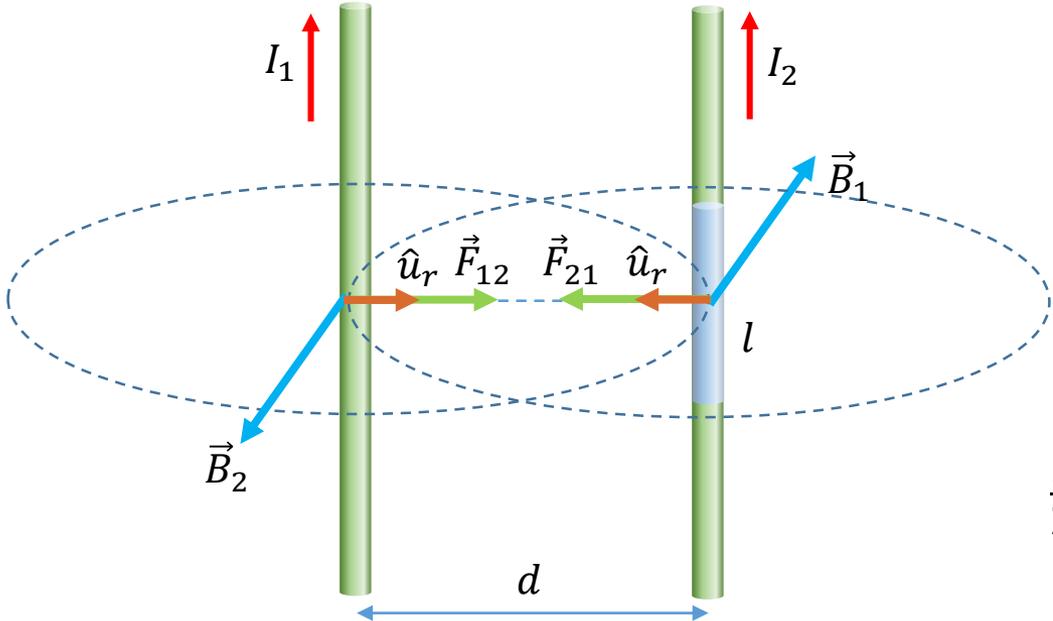
13. Tres hilos conductores largos, rectilíneos y paralelos entre sí están situados en tres vértices de un cuadrado de  $10\text{ cm}$  de lado. Por los tres circula una intensidad de  $20\text{ A}$ , dirigida hacia fuera del papel en el conductor 1, y hacia dentro en el caso de los conductores 2 y 3. Determina, usando el sistema de referencia XY centrado en el conductor 2, la fuerza por unidad de longitud que actúa sobre el conductor 1, así como su valor.

Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$



**Sol:**  $\vec{F}_1/L = -0,0004 \hat{i} + 0,0012 \hat{j}\text{ N m}^{-1}$ ;  $F_1/L = 0,001265\text{ N m}^{-1}$

4.2. Campo magnético producido por una corriente eléctrica indefinida



$$\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d} \hat{u}_r$$

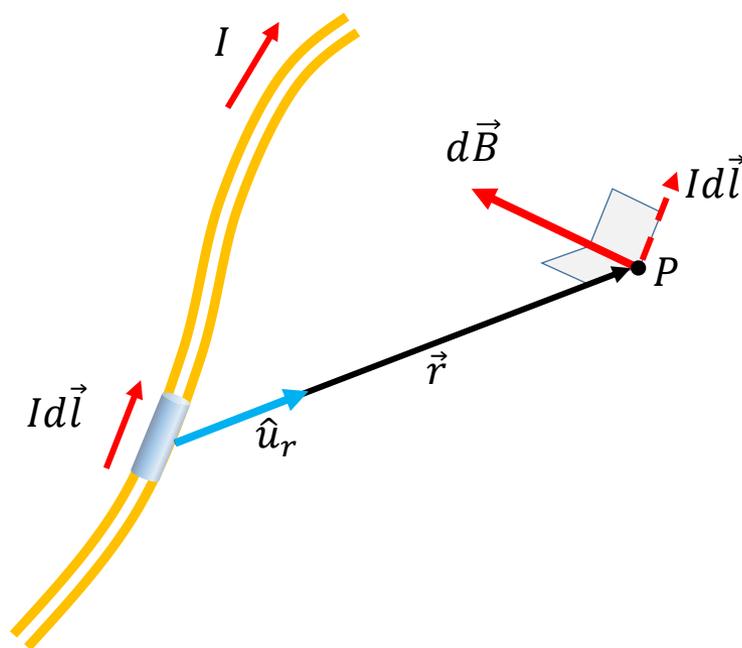
$$\vec{F}_{21} = I_2 \vec{l} \times \vec{B}_1$$

$$\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d} = I_2 l B_1 \Rightarrow B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

El **campo producido por una corriente rectilínea e indefinida** es un punto exterior P es directamente proporcional a la intensidad e inversamente proporcional a la distancia a dicho punto, y su dirección es tangente en el plano perpendicular a la corriente:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \hat{u}_T$$

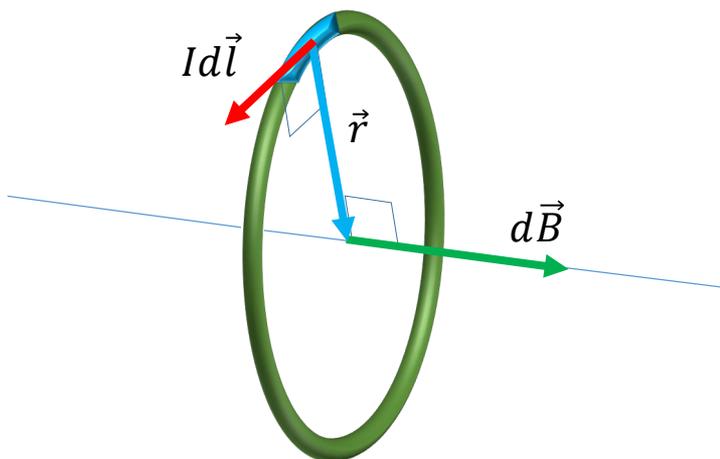
## 4.3. Ley de Biot y Savart



- El campo producido por un **elemento de corriente  $Idl$**  en un punto exterior P es directamente proporcional al elemento de corriente e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al punto.
- El vector  **$d\vec{B}$**  que lo caracteriza es perpendicular al elemento de corriente y al vector unitario  **$\hat{u}_r$**  en la dirección de la recta que une el elemento de corriente y el punto considerado

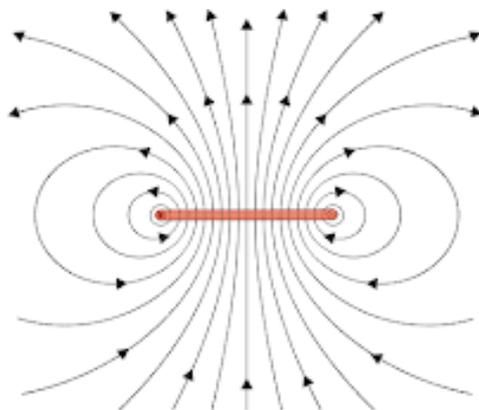
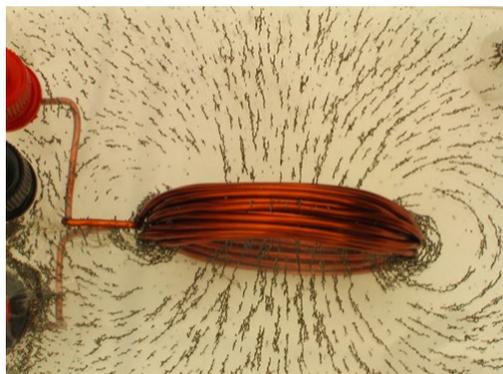
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \hat{u}_r}{r^2} \quad \Rightarrow \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_l \frac{d\vec{l} \times \hat{u}_r}{r^2} \quad \Rightarrow \quad B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_l \frac{dl \sin\theta}{r^2}$$

► Campo magnético producido por una corriente circular en su centro



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

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \oint dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \cdot 2\pi r$$



El campo magnético creado en el centro de una espira circular vale:

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



## ACTIVIDADES

14. Dos conductores rectilíneos, paralelos y verticales, distan entre sí  $20\text{ cm}$ . Por el primero de ellos circula una corriente de  $10\text{ A}$  hacia arriba. Calcule la corriente que debe circular por el segundo conductor, colocado a la derecha del primero, para que el campo magnético total creado por ambas corrientes en un punto situado a  $5\text{ cm}$  a la izquierda del segundo conductor se anule.

**Sol:**  $I_2 = 3,33\text{ A}$

15. Dos conductores rectilíneos, verticales y paralelos, distan entre sí  $10\text{ cm}$ . Por el primero de ellos circula una corriente de  $20\text{ A}$  hacia arriba. i) Calcule la corriente que debe circular por el otro conductor para que el campo magnético en un punto situado a la izquierda de ambos conductores y a  $5\text{ cm}$  de uno de ellos sea nulo. ii) Calcule, en ese caso, cuál será el valor del campo magnético en el punto medio del segmento que separa los dos conductores.

Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$

**Sol:** i)  $I_2 = 60\text{ A}$ ; ii)  $B = 0,00032\text{ T}$

## ACTIVIDADES

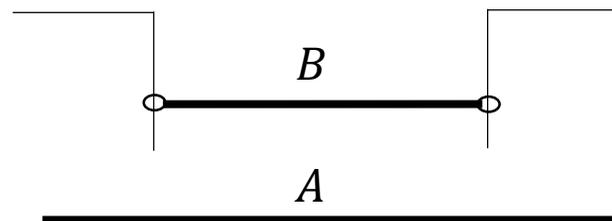
16. Por un conductor rectilíneo largo circula una corriente de  $30\text{ A}$ . Un electrón pasa con una velocidad de  $2 \cdot 10^7\text{ m s}^{-1}$  a  $2\text{ cm}$  del alambre. Indica qué fuerza actúa sobre él si se mueve: i) Hacia el conductor en dirección perpendicular a este. ii) Paralelamente al conductor. iii) En dirección perpendicular a las dos direcciones anteriores.

Datos:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$

**Sol:** i)  $F = 9,6 \cdot 10^{-16}\text{ N}$ ; ii)  $F = 9,6 \cdot 10^{-16}\text{ N}$ ; iii)  $F = 0\text{ N}$

17. Por el conductor A de la figura circula una corriente de intensidad  $200\text{ A}$ . El conductor B, de  $1\text{ m}$  de longitud y situado a  $10\text{ cm}$  del conductor A, es libre de moverse en la dirección vertical. i) Dibuje las líneas de campo magnético y calcule su valor para un punto situado en la vertical del conductor A y a  $10\text{ cm}$  de él. ii) Si la masa del conductor B es de  $10\text{ g}$ , determine el sentido de la corriente y el valor de la intensidad que debe circular por el conductor B para que permanezca suspendido en equilibrio en esa posición.

Datos:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$ ;  $g = 9,8\text{ m s}^{-2}$

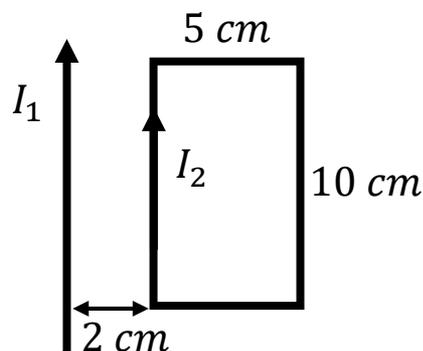


**Sol:** i)  $B = 4 \cdot 10^{-4}\text{ T}$ ; ii)  $I_B = 245\text{ A}$

## ACTIVIDADES

18. Una espira rectangular de  $10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  se sitúa paralela a un conductor rectilíneo de gran longitud a una distancia de  $2\text{ cm}$ , como se indica en la figura. Si la corriente que circula por el conductor es de  $15\text{ A}$ , y la que circula por la espira en el sentido indicado es de  $10\text{ A}$ , ¿cuál es la fuerza neta que obra sobre la espira?

Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$

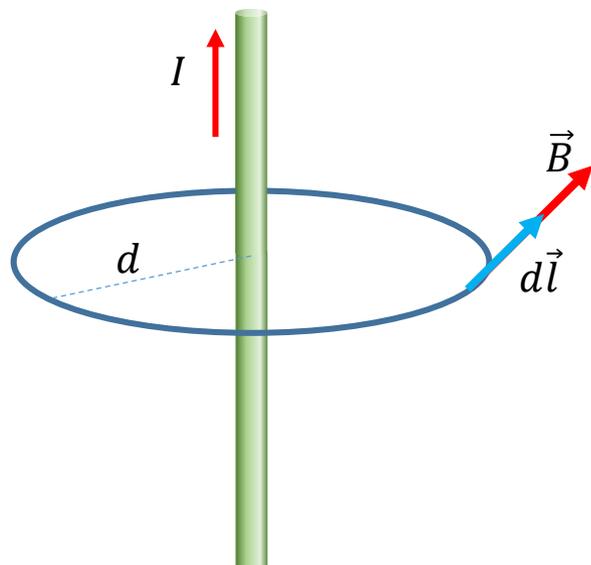


**Sol:**  $F = 1,07 \cdot 10^{-4}\text{ N}$

19. Halla el campo magnético en el centro de una espira circular de  $80\text{ cm}^2$  de superficie por la que circula una corriente de  $2\text{ A}$ .

Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$

**Sol:**  $B = 2,49 \cdot 10^{-5}\text{ T}$



La circulación del campo magnético a lo largo de una línea de campo:

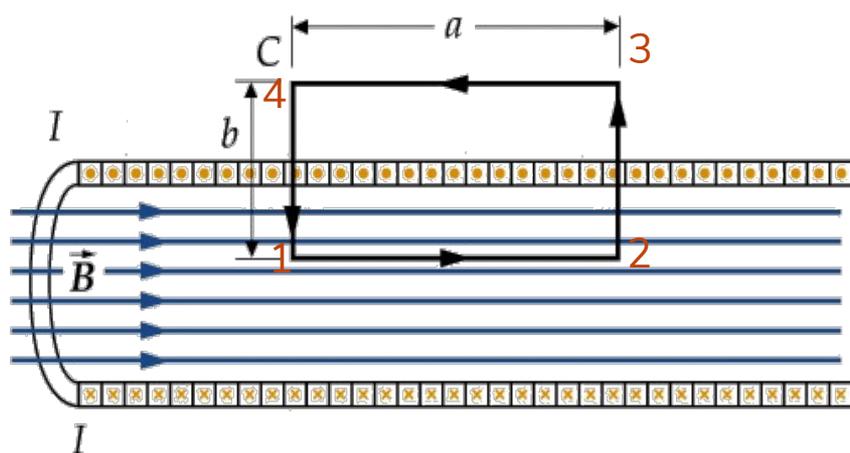
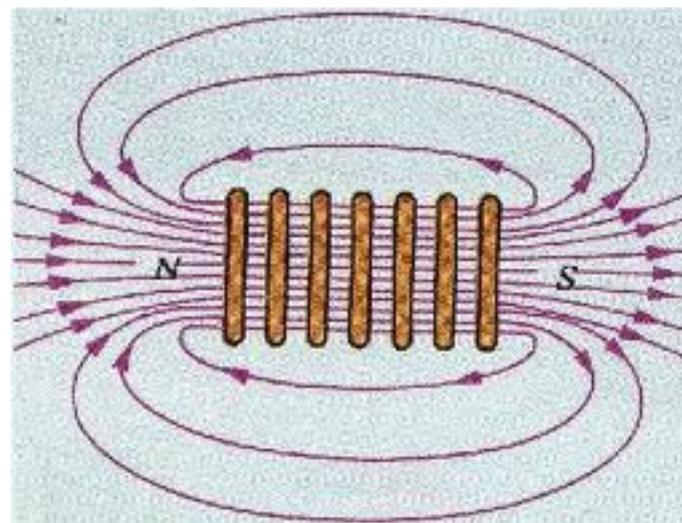
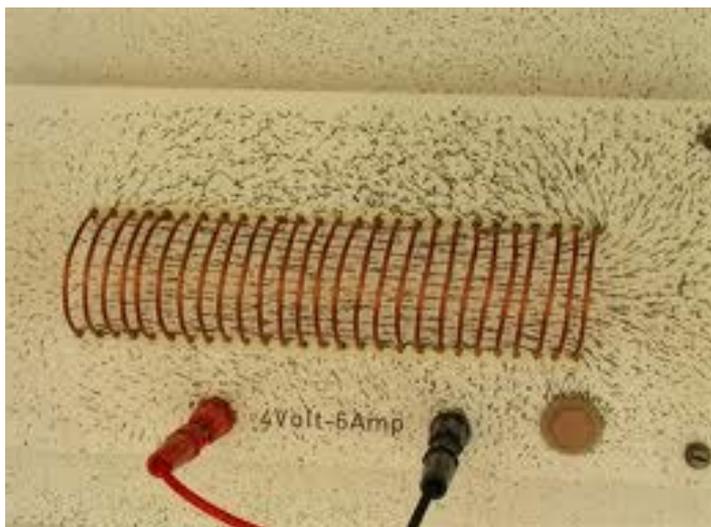
$$C = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl = B \oint dl = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \cdot 2\pi d$$

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

**Siempre y cuando la intensidad sea estacionaria**

**El campo magnético no es conservativo**

► Campo magnético en el interior de un solenoide



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_2^3 \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_3^4 \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_4^1 \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 B dl = \mu_0 NI$$

$$B = \mu_0 I \frac{N}{l} = \mu_0 I n$$



## ACTIVIDADES

20. ¿Cuánto vale el campo magnético en el centro de un solenoide de 500 espiras que tiene una longitud de 30 *cm* y por el que circula una intensidad de 2 *A*?
- Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$
- Sol:**  $B = 4,19 \cdot 10^{-3} \text{ T}$
21. ¿Cuántas espiras circulares estrechamente arrolladas deberá tener una bobina de 12,56 *mm* de radio por la que circula una intensidad de 0,25 *A*, para que el campo magnético en su centro valga  $10^{-4} \text{ T}$ ?
- Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$
- Sol:**  $N = 8$
22. Una intensidad de 4 *A* circula por un solenoide de 25 *cm* de longitud conformado por 3200 espiras de 5 *cm* de radio. Determinar: i) El campo magnético en el interior del solenoide si este está completamente vacío; ii) El campo magnético en el interior del solenoide si en el interior de este hay un material con permeabilidad magnética relativa  $\mu_r = 1150$ ; iii) La longitud del alambre que se ha utilizado para fabricarlo.
- Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$
- Sol:** i)  $B = 0,064 \text{ T}$ ; ii)  $B = 73,99 \text{ T}$ ; iii)  $L = 1005,3 \text{ m}$



# Información de Contacto

 Rafael Artacho Cañadas  
Dpto. de Física y Química  
I.E.S. Padre Manjón

 Gonzalo Gallas, s/n  
18003 · Granada

 [artacho1955@gmail.com](mailto:artacho1955@gmail.com)