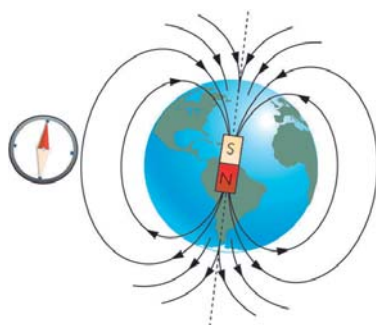


Tema 04

El campo magnético



IES Padre Manjón
Prof: Eduardo Eisman

04. El campo magnético: Índice

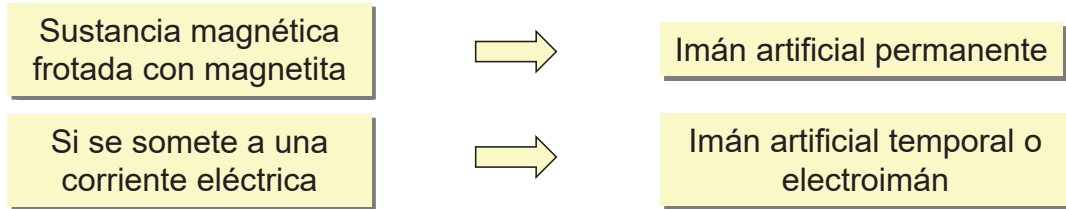
CONTENIDOS	
1. De la magnetita al electromagnetismo · 2. Estudio del campo magnético · 3. Movimientos de cargas en campos magnéticos · 4. Campos magnéticos producidos por corrientes · Teorema de Ampère. 5. Magnetismo natural. 6. Analogías y diferencias entre el campo eléctrico y magnético.	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
8. Conocer el movimiento de una partícula cargada en el seno de un campo magnético.	8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.
9. Comprender y comprobar que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos.	9.1. Relaciona las cargas en movimiento con la creación de campos magnéticos y describe las líneas del campo magnético que crea una corriente eléctrica rectilínea.
10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.	10.1. Calcula el radio de la órbita que describe una partícula cargada cuando penetra con una velocidad determinada en un campo magnético conocido aplicando la fuerza de Lorentz. 10.2. Utiliza aplicaciones virtuales para comprender el funcionamiento de un ciclotrón.
10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.	10.3. Establece la relación entre el campo magnético y el eléctrico para que una partícula cargada se mueva con MRU aplicando la ley fundamental de la dinámica y la ley de Lorentz.

04. El campo magnético: Índice

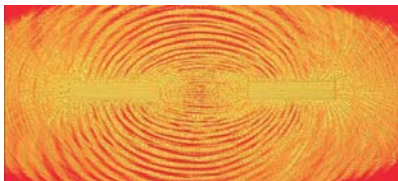
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.	11.1. Analiza el campo eléctrico y el campo magnético desde el punto de vista energético teniendo en cuenta los conceptos de fuerza central y campo conservativo.
12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.	12.1. Establece, en un punto dado del espacio, el campo magnético resultante debido a dos o más conductores rectilíneos por los que circulan corrientes eléctricas. 12.2. Caracteriza el campo magnético creado por una espira y por un conjunto de espiras.
13. Identificar y justificar la fuerza de interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos.	13.1. Analiza y calcula la fuerza que se establece entre dos conductores paralelos, según el sentido de la corriente que los recorra, realizando el diagrama correspondiente.
14. Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema Internacional.	14.1. Justifica la definición de amperio a partir de la fuerza que se establece entre dos conductores rectilíneos y paralelos.
15. Valorar la ley de Ampère como método de cálculo de campos magnéticos.	15.1. Determina el campo que crea una corriente rectilínea de carga aplicando la ley de Ampère y lo expresa en unidades del Sistema Internacional.

1.1 De la magnetita al electromagnetismo

- **El magnetismo** es una de las interacciones fundamentales de la naturaleza.
- **La magnetita**, conocida desde la antigüedad, atrae el hierro: **es un imán natural**.
- **Una sustancia magnética (acero, hierro, cobalto, níquel)** es aquella que al frotarla con magnetita, se convierte en un imán artificial permanente.
- Si sólo se comporta cómo un imán cuando pasa por ella la corriente eléctrica, se la llama imán temporal o **electroimán**.



- **Todo cuerpo magnetizado es un imán.** Todo imán tiene dos polos: norte y sur.
- Polos del mismo nombre se repelen y polos de distinto nombre se atraen.
- **Es imposible separar los polos de un imán.**

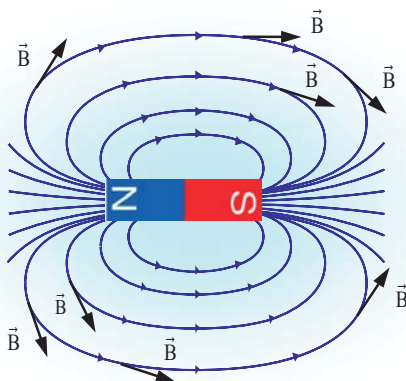


- Líneas de fuerza magnética

- Se pueden visualizar las **líneas magnéticas** de un imán, espolvoreando limaduras de hierro sobre una cartulina situada sobre él.

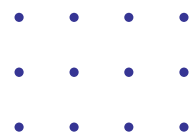
1.2 El campo magnético

- Los imanes actúan a distancia, es decir, crean **Campos Magnéticos**.
- Se dice que en una región del espacio existe un campo magnético, cuando en ella se ponen de manifiesto **Fuerzas Magnéticas**.
- Un imán produce un campo magnético en el espacio que lo rodea. Si colocamos pequeños trozos de hierro próximos a él, los atrae.
- **Los campos magnéticos se representan por líneas de fuerza o de campo.**
- **Las líneas salen del polo norte del imán y entran en el polo sur.**
- **Son líneas cerradas.**
- La línea de campo magnético es el camino que seguiría un polo norte (**no existen polos aislados**) dejado libremente dentro del campo.



Representación de un campo magnético

Perpendicular al plano de la presentación y hacia afuera



Perpendicular al plano de la presentación y hacia dentro

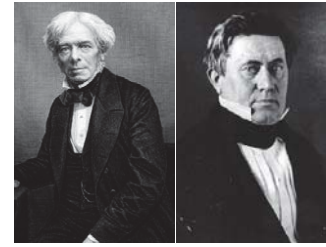


- **El vector Inducción Magnética es en cada punto tangente a las líneas de campo.**

1.3 De la magnetita al electromagnetismo

- **Invierno de 1820:** Oersted observa una relación entre electricidad y magnetismo. Cuando colocaba la aguja de una brújula cerca de un alambre por el que circulaba corriente, ésta experimentaba una desviación: nace el **electromagnetismo**.

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



- Meses después, André M. Ampère comprobó la **interacción entre conductores** cercanos por los que circulan corrientes.
- Michael Faraday y Joseph Henry demostraron que **un campo magnético variable produce una corriente eléctrica**.
- Por esas fechas, Jean-Baptiste Biot y Felix Savart formulan el **campo producido por una corriente cualquiera**.

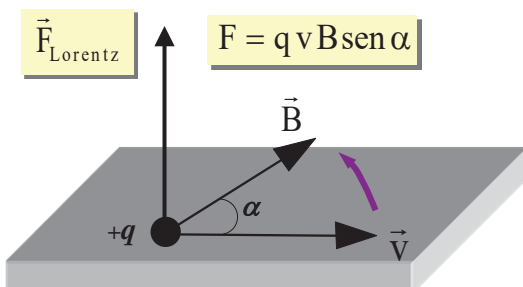
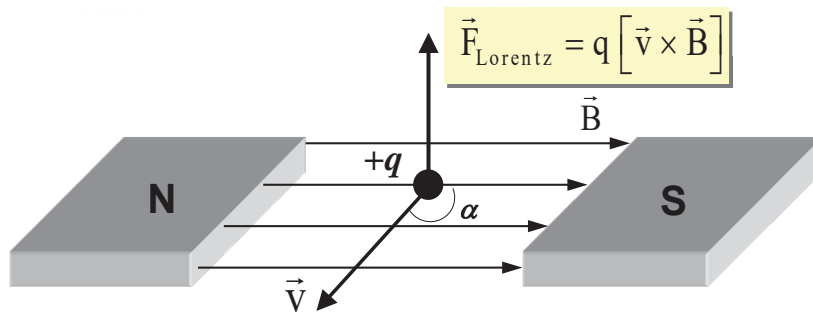


- Algo más tarde, James Clerk Maxwell constató el efecto contrario: **un campo eléctrico variable genera un campo magnético**.

- **En resumen:**
- **Los imanes y las corrientes eléctricas crean campos magnéticos.**
- **Los campos magnéticos variables producen corrientes eléctricas.**

2.1 Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento

- **Ley de Lorentz y campo magnético**
- Si una carga eléctrica (+q) penetra en un campo magnético con una determinada velocidad, sufre una interacción, es decir, se verá sometida a una fuerza, que viene dada por la **ley de Lorentz**.
- Una carga eléctrica en movimiento se convierte en un imán



La Fuerza de Lorentz (fuerza magnética) tiene por:

Módulo: $q v B \sin \alpha$

Dirección: perpendicular al plano que definen los vectores

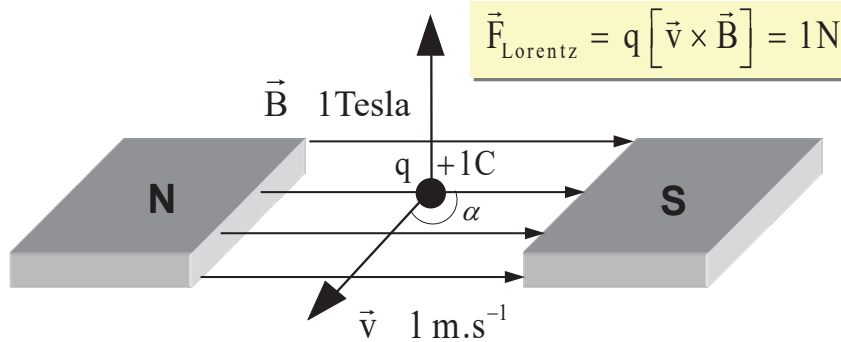
Sentido: regla de Maxwell o regla del tornillo

- **La FUERZA TIENE SENTIDO CONTRARIO, si la CARGA que penetra en el campo es NEGATIVA (-q)**

2.2 Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento

- **Ley de Lorentz y campo magnético**

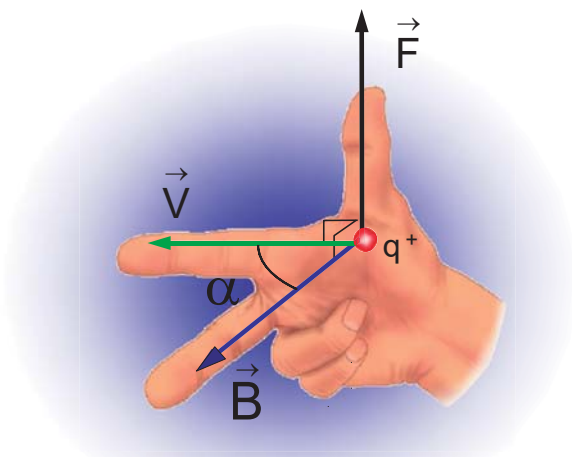
- **La ley de Lorentz**, nos permite definir el campo magnético en un punto, a partir de la fuerza que ejerce el campo sobre la unidad de carga (+1C) que se mueve con una velocidad de 1 m/s en dirección perpendicular al campo.



- El vector que define el campo magnético se llama **inducción magnética: \vec{B}**
- Su módulo se calcula a partir de la ley de Lorentz:

$$B = \frac{F}{q v \sin \alpha} \quad \text{Unidad en el SI: } 1 \text{ Tesla} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C} \cdot 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

2.3 Unidades de medida del campo magnético o inducción magnética



- La unidad de inducción magnética en el S.I. es el **Tesla (T)**
- **Un Tesla** es el valor de la inducción magnética de un campo que ejerce una fuerza de **1 N** sobre una carga eléctrica de **1 C** que se mueve con una velocidad de **1m/s perpendicular al campo**

- Fuerza sobre una carga eléctrica positiva en un campo magnético: **regla de la mano derecha.**

$$\vec{F}_{\text{Lorentz}} = q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

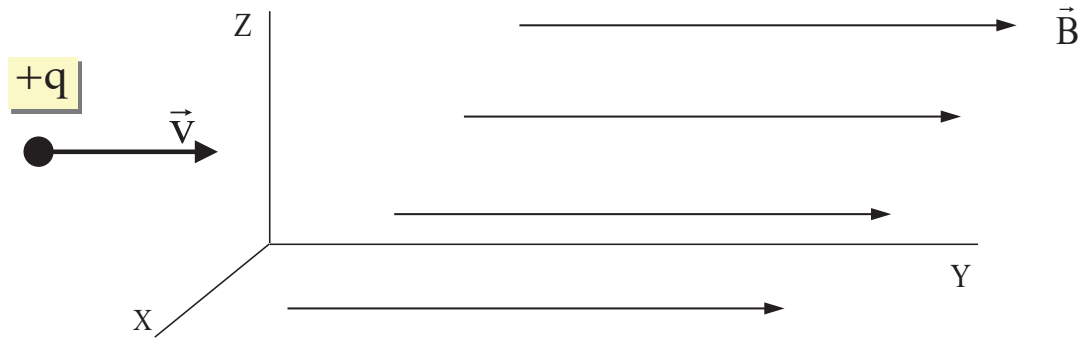
$$1 \text{ Tesla} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}} = \frac{1 \text{ N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

- Otras Unidades de Inducción magnética: $1 \text{ Tesla} = 1 \frac{\text{weber}}{\text{m}^2} = 10^4 \text{ Gauss}$

3.1 Movimiento de cargas en un campo magnético

- La partícula cargada (q) entra en el campo en su misma dirección.
- Los vectores velocidad e inducción magnética son paralelos.

$$\vec{F}_{\text{Lorentz}} = q [\vec{v} \times \vec{B}] = q v B \text{ sen } 0 = 0$$

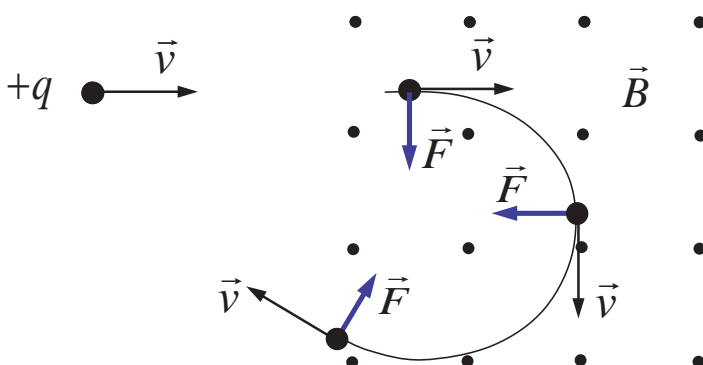


- La partícula con carga q seguirá moviéndose con velocidad constante en módulo y dirección: movimiento rectilíneo y uniforme.
- La partícula no interacciona con el campo.

3.2 Movimiento de cargas en un campo magnético

- La partícula cargada (q) entra perpendicularmente al campo magnético.

$$|\vec{F}_{\text{Lorentz}}| = q [\vec{v} \times \vec{B}] = q v B \text{ sen } 90 = q v B$$



- La fuerza es perpendicular a la velocidad: **la partícula describe una circunferencia de radio r (MCU).**
- **Es una fuerza normal, radial o centrípeta, no realiza trabajo, luego la energía cinética de la partícula no se modifica.**

$$F = q v B = m a_c = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m v}{q B}$$

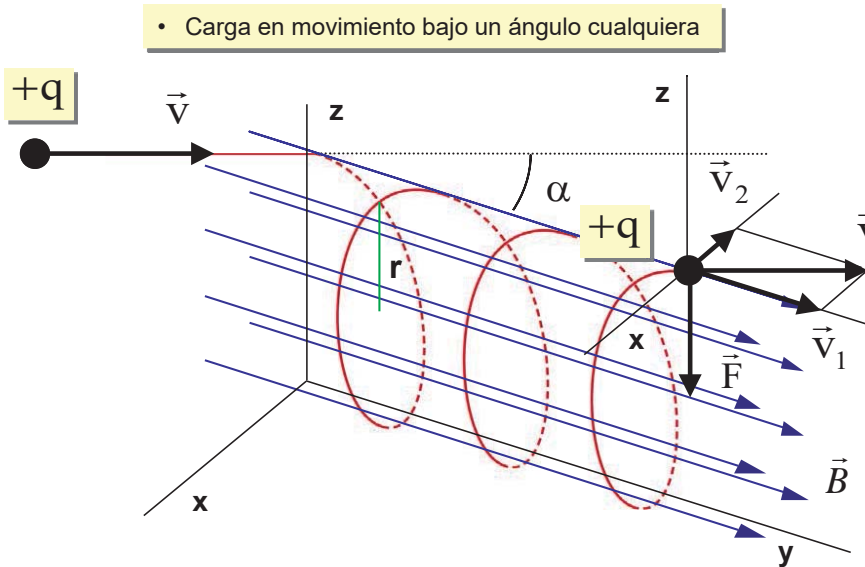
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T}$$

- Estas ecuaciones nos permiten calcular el radio r de la circunferencia que describe la partícula cargada que penetra en el campo magnético, así como su velocidad angular ω y su período T .

3.3 Movimiento de cargas en un campo magnético

- La partícula cargada (q) entra en cualquier dirección con respecto al campo magnético.

$$|\vec{F}_{\text{Lorentz}}| = q [\vec{v} \times \vec{B}] = q v B \text{ sen } \alpha$$



Carga en movimiento bajo un ángulo cualquiera

- El vector velocidad se descompone:
 - Una componente en la dirección del campo que permanece constante.
 - Otra componente perpendicular al campo, que varía de dirección, aunque no de módulo.
- El movimiento resultante es uniforme en la dirección del campo y circular alrededor de él, dando lugar a una **trayectoria helicoidal**.

- La partícula sigue una trayectoria helicoidal:

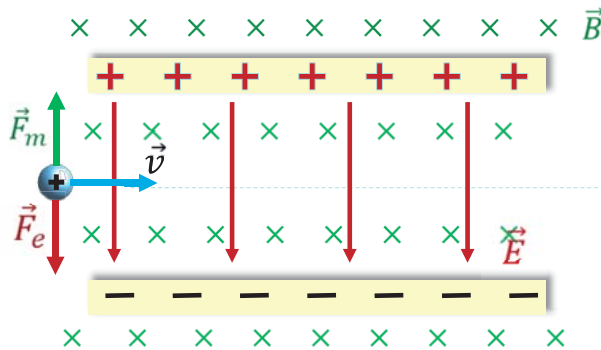
$$F = q v B \text{ sen } \alpha = m a_c = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m v}{q B \text{ sen } \alpha}$$

3.4 Movimiento de cargas en un campo magnético y eléctrico

- Si una carga eléctrica $+q$ se encuentra en una región del espacio en la que coexisten un campo eléctrico y un campo magnético actuará sobre la carga la suma vectorial de las fuerzas eléctrica y magnética.

$$\vec{F}_{\text{Eléctrica}} = q \vec{E}$$

$$\vec{F}_{\text{Magnética}} = q [\vec{v} \times \vec{B}]$$



$$\vec{F}_{\text{Lorentz}} = q \vec{E} + q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

- Fuerza que actúa sobre una carga eléctrica en un espacio donde coexisten un campo eléctrico y un campo magnético

- En el caso de la figura las fuerzas eléctrica y magnética se compensan:

$$q E = q v B$$

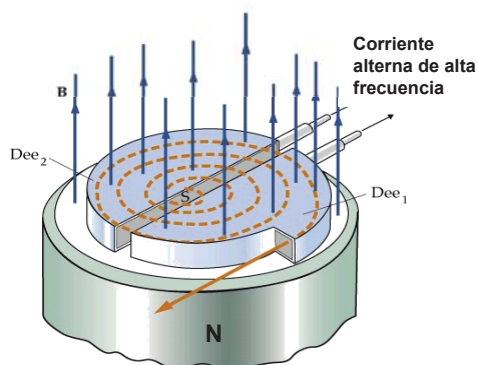
- Al fijar unos valores de E y B , se determinan las partículas que lleven una cierta velocidad:

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

- La ley de Lorentz tiene aplicaciones en los **aceleradores de partículas** y en el **espectrógrafo de masas**.

3.5 Movimiento de cargas en campos magnéticos

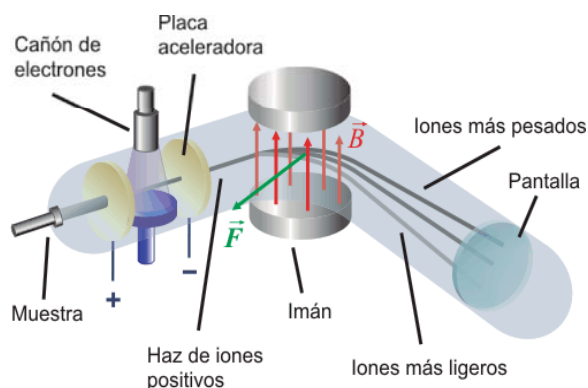
• Ciclotón



- Las partículas cargadas 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.

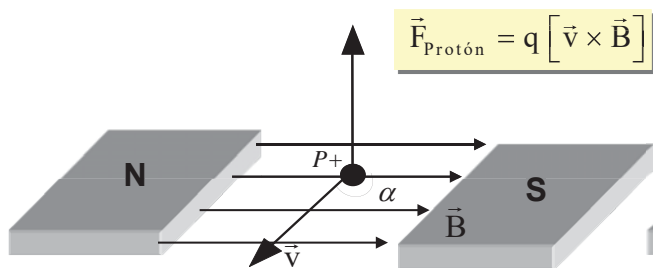
$$v = \frac{qBr}{m} \Rightarrow E_{c\text{máx}} = \frac{q^2 B^2 r^2}{2m}$$

• Espectrógrafo de masas



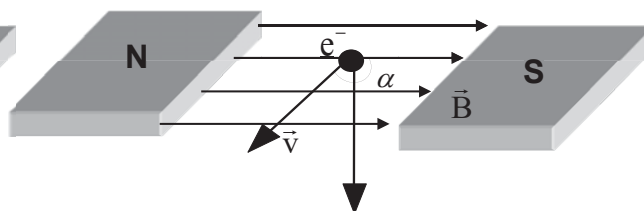
3.6 Fuerza magnética sobre un protón, electrón y neutrón: ley de Lorentz

• Protón



$$\vec{F}_{\text{Protón}} = q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

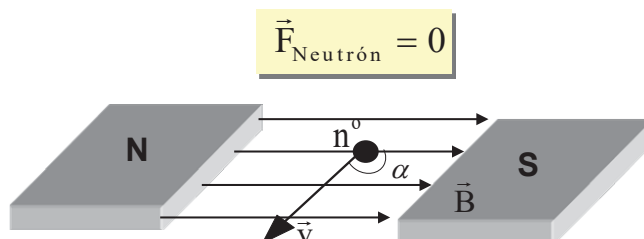
• Electrón



$$\vec{F}_{\text{Electrón}} = q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

- Protón y electrón interactúan con el campo magnético
- En este campo magnético poseen un movimiento circular uniforme.

• Neutrón

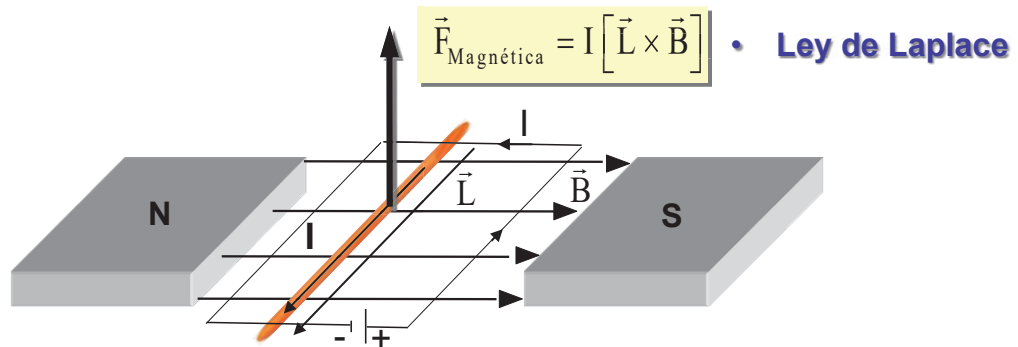


$$\vec{F}_{\text{Neutrón}} = 0$$

- Neutrón no interactúa con el campo magnético
- En un campo magnético posee un movimiento rectilíneo uniforme.

3.7 Acción de un campo magnético sobre una corriente rectilínea

- Sobre un conductor por el que no circula una corriente eléctrica, situado en un campo magnético, no actúa fuerza alguna.
- **Una corriente eléctrica (flujo de electrones moviéndose) en un campo magnético, se ve sometida a una fuerza:**



- **La fuerza magnética** sobre un conductor rectilíneo de longitud L por el que circula una corriente I situado en un campo magnético, tiene por:

$$\vec{F}_{\text{Magnética}} = I [\vec{L} \times \vec{B}]$$

Módulo: $I L B \sin \alpha$

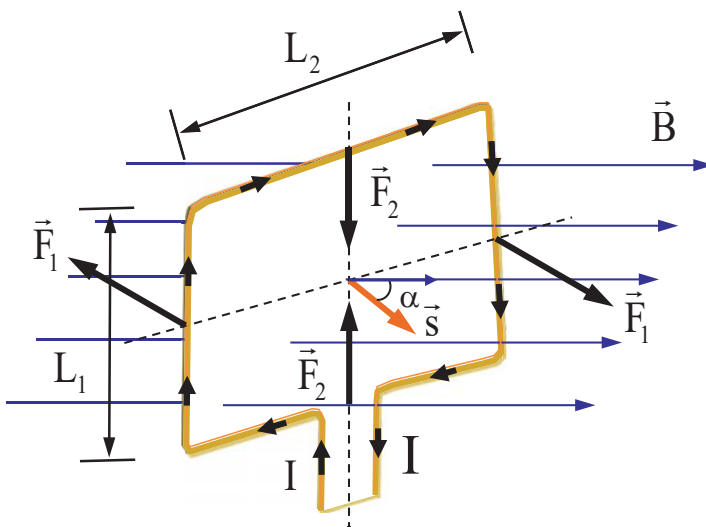
Dirección: perpendicular al plano que definen los vectores

Sentido: regla de Maxwell o regla del tornillo

- La fuerza magnética se deduce a partir de la ley de Lorentz: $F = q v B = q L B / t = I L B$

3.8 Acción de un campo magnético sobre una espira rectangular

- Si en un campo magnético introducimos una **espira rectangular**, que está formada por cuatro conductores, y hacemos que por ella circule una corriente eléctrica, aparecerá una fuerza sobre cada una de los lados que forman la espira.



- Las fuerzas magnéticas sobre los lados L_2 de la espira $\vec{F}_2 = I [\vec{L}_2 \times \vec{B}]$ son iguales en módulo, y de sentidos opuestos, y **se anulan entre sí.**

- Lo mismo ocurre sobre los lados L_1 de la espira, $\vec{F}_1 = I [\vec{L}_1 \times \vec{B}]$ pero su línea de acción es distinta, formando un **par de fuerzas que produce un giro.**

- **Momento del par de fuerzas que hace girar la espira:**

$$\vec{M}_{\text{Par Fuerzas}} = \vec{F}_1 \times \vec{d}$$

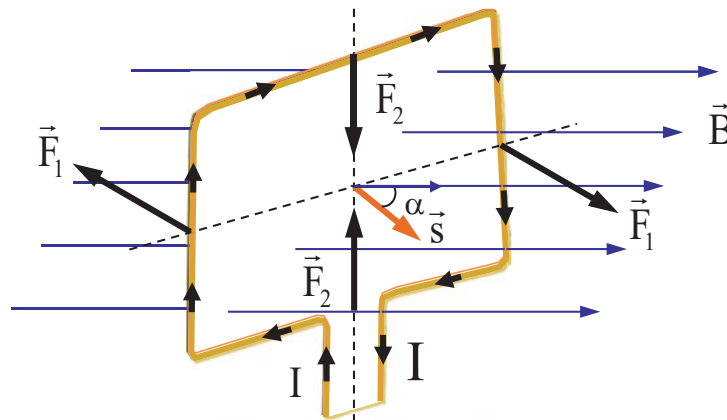
$$I L_1 B L_2 \sin \alpha = I s B \sin \alpha = I [\vec{s} \times \vec{B}] = \vec{m} \times \vec{B}$$

- A la expresión $\vec{m} = I \cdot \vec{s}$ se le llama **momento magnético de la espira**, es una magnitud característica de la espira.

3.9 Acción de un campo magnético sobre una espira rectangular

- El momento se anula cuando el plano de la espira es perpendicular al campo:

$$\vec{s} \parallel \vec{B} \Rightarrow \text{sen } \alpha = 0 \Rightarrow \vec{M} = 0$$



- El momento es máximo cuando el plano de la espira es paralelo al campo:

$$\vec{s} \perp \vec{B} \Rightarrow \text{sen } \alpha = 1 \Rightarrow \vec{M}_{\text{Máx}} \Rightarrow |\vec{M}| = I s B$$

- Si se trata de una bobina o un solenoide, su momento se multiplica por el número de espiras o vueltas:

$$\vec{M}_{\text{Par Fuerzas}} = n I [\vec{s} \times \vec{B}] = n [\vec{m} \times \vec{B}]$$

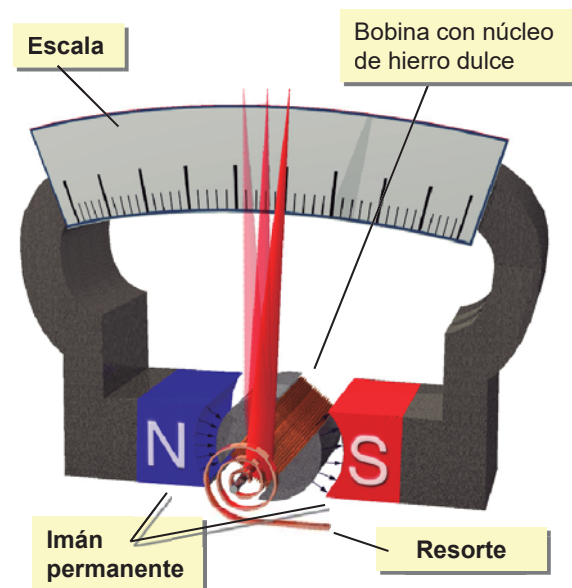
- En esto se fundamentan los **motores eléctricos y los galvanómetros**

3.10 Galvanómetro de cuadro móvil

- Galvanómetro:** instrumento que mide la intensidad y/o el voltaje de una corriente eléctrica.
- Por tanto es el fundamento de los **amperímetros y voltímetros**.

- Consta de una bobina situada en un campo magnético radial formando siempre entre ambos un ángulo recto.
- Al circular la corriente por la bobina se genera un par de fuerzas que la hace girar, siendo proporcional al ángulo girado.
- La bobina se detiene cuando el par de fuerzas magnético se iguala al par de fuerzas mecánico que ejerce el resorte:

$$\vec{M}_{\text{Magnético}} = n I [\vec{s} \times \vec{B}] = \vec{M}_{\text{Mecánico}}$$



- Galvanómetro**

4.1 Campos magnéticos producidos por corrientes

• El experimento de Oersted

- En 1820 **Hans Christian Oersted** demostró experimentalmente los efectos de una corriente eléctrica sobre una aguja imantada.

CIRCUITO CERRADO



- Situó la aguja paralela un conductor rectilíneo.
- Observó que giraba hasta quedar perpendicular al conductor cuando circulaba por él una corriente eléctrica

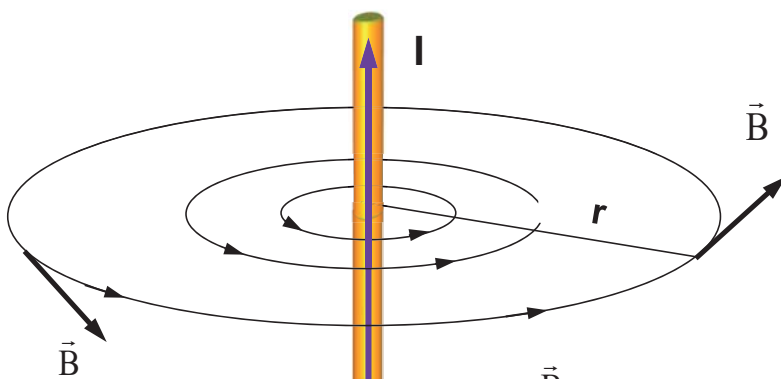
CIRCUITO ABIERTO



- La aguja volvía a su posición inicial al cesar la corriente eléctrica.
- El paso de la corriente ejercía sobre la aguja imantada los mismos efectos que un imán

4.2 Campo magnético producido por una corriente rectilínea

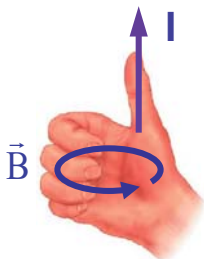
- **Biot y Savart** midieron el valor de la inducción magnética \vec{B} , debida a un conductor rectilíneo largo por el que circula una corriente I en un punto situado a una distancia r :



- **Ley de Biot y Savart:** el campo magnético creado por un conductor rectilíneo, en sus proximidades, depende directamente de la intensidad de corriente que circula por él, e inversamente de la distancia al conductor:

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

El vector \vec{B} es tangente a las líneas de campo, que son circunferencias concéntricas, con centro en el conductor.



- La constante de proporcionalidad $\frac{\mu_0}{2\pi}$ depende del medio.
- La permeabilidad magnética del vacío : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$

- **Regla de la mano derecha: campo magnético creado por un conductor rectilíneo.**

4.3 Ley de Ampere

El campo magnético, en el vacío, creado por un conductor rectilíneo, puede escribirse de la forma: $B 2 \pi r = \mu_0 I$

En su forma diferencial : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$

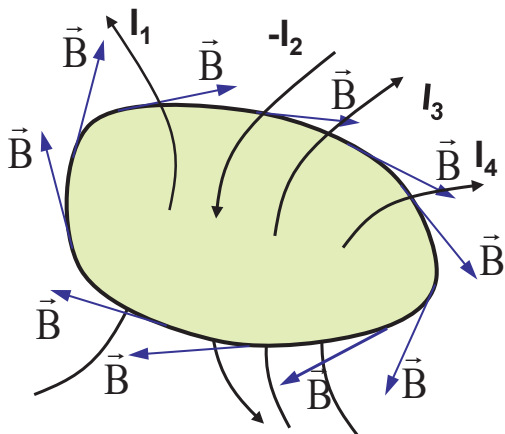
El primer miembro se denomina **circulación del vector \vec{B}** a lo largo de una circunferencia.

Ampère demostró que esta expresión es válida para cualquier línea cerrada que englobe una o más corrientes, y enunció que:

Ley de Ampère: la circulación del vector \vec{B} a lo largo de cualquier línea cerrada es igual a μ_0 veces la intensidad neta de corriente encerrada por la curva:



André Marie Ampère
Físico y Matemático francés
Lyon 1775 – Marsella 1833



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I = \mu_0 [I_1 - I_2 + I_3 + I_4]$$

El Campo Magnético no es conservativo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \neq 0$$

El Campo Eléctrico si es conservativo:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

4.4 Campo magnético producido por una espira circular

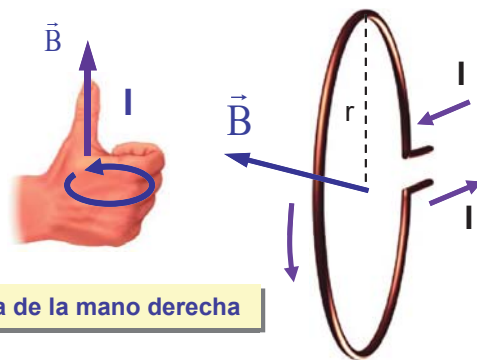
La ley de Biot y Savart permite calcular el **campo magnético en el centro de una espira** circular de radio r por la que circula una corriente eléctrica de intensidad I .

El campo es perpendicular a todos los elementos de corriente en que podemos descomponer la espira. Por lo tanto perpendicular al plano de la espira.

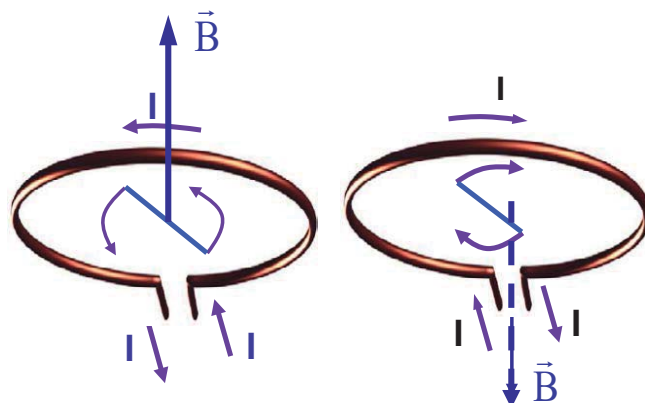
El módulo del vector inducción magnética en el centro de la espira es:

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

Una espira por la que circula una corriente eléctrica se convierte en un imán, con sus dos polos (caras) norte y sur.



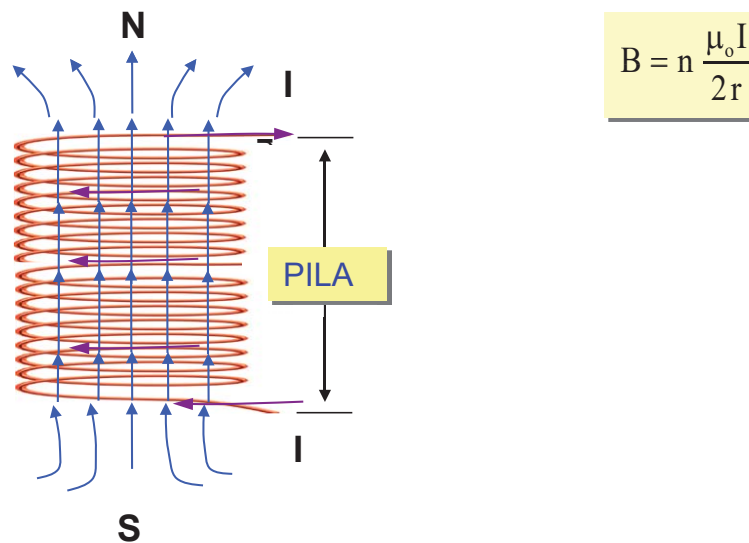
Regla de la mano derecha



El sentido de la corriente en la espira, determina la polaridad del campo magnético.

4.5 Campo magnético en el interior de una bobina

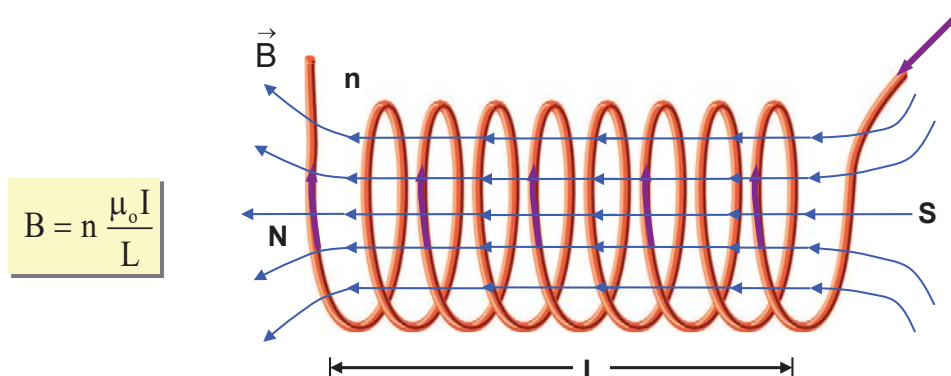
- Una **BOBINA** es un conjunto de n espiras muy juntas.
- Cuando por una bobina, de radio r , circula una corriente eléctrica continua I , se crea en su interior un campo magnético que vale:



- Una **BOBINA** por la que circula una corriente eléctrica se comporta como un **IMÁN**: una cara de la bobina hace de **POLO NORTE** y la otra cara de **POLO SUR**.

4.6 Campo magnético en el interior de un solenoide

- Un **solenoides** está formado por n espiras circulares que forman un cilindro de longitud L , cuyo radio r es significativamente menor que su longitud.
- Cuando por un solenoide de longitud L , formado por n espiras, circula una corriente I se crea un campo magnético en su interior.

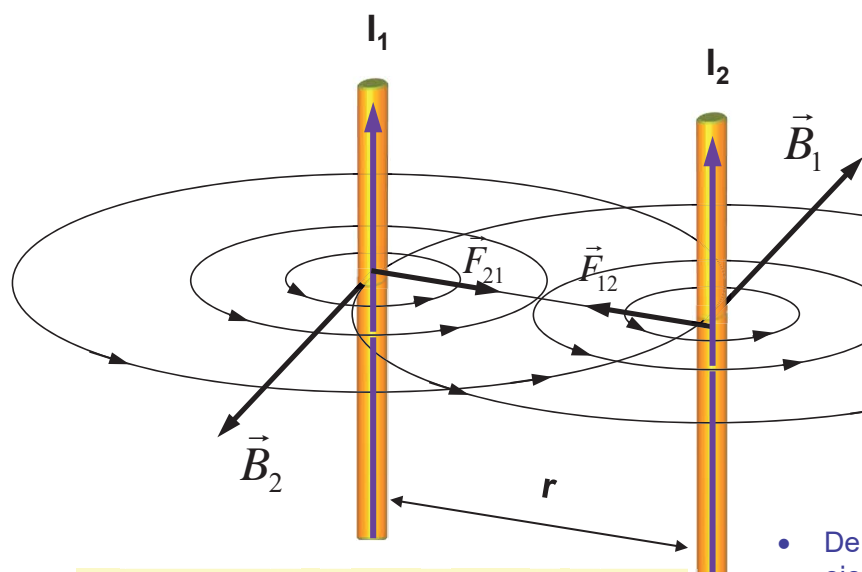


- Un **solenoides** por la que circula una corriente eléctrica se comporta como un **imán**: una cara del solenoide es el **polo norte** y la otra cara el **polo sur**.

- Si introducimos una barra de **hierro** en el solenoide construimos un **electroimán**. Se aumenta el campo magnético, puesto que el coeficiente de permeabilidad magnética del Fe es mayor que el del aire / vacío.

4.7 Fuerza magnética entre corrientes paralelas

- Se trata de calcular la **interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos** por los que circulan corrientes eléctricas de intensidades I_1 e I_2
- Según la ley de Biot y Savart el primer conductor recorrido por I_1 genera un campo magnético \vec{B}_1 que ejerce una fuerza magnética \vec{F}_2 sobre el segundo conductor por el que circula corriente I_2 , y viceversa.



- B_1 es perpendicular al segundo conductor y al plano que definen los conductores:

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

- La fuerza que ejerce sobre el segundo conductor vale:

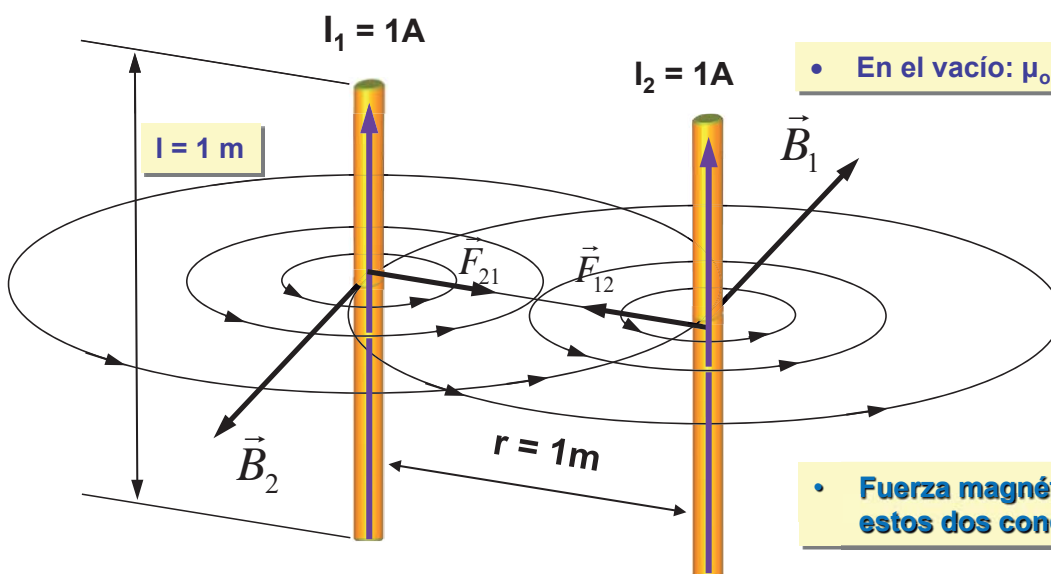
$$F_{12} = I_2 l B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

- Corrientes del mismo sentido se atraen y de sentido contrario se repelen.**

- De igual forma se calcula la fuerza que ejerce el segundo conductor sobre el primero: $F_{1-2} = F_{2-1}$: son fuerzas acción – reacción.

4.8 Definición de Amperio

- Un Amperio (1A)** se define como la intensidad de corriente que circula por dos hilos conductores, paralelos, separados un metro, situados en el vacío, cuando sobre cada metro de longitud de conductor se ejerce una fuerza de $2 \cdot 10^{-7}$ N.



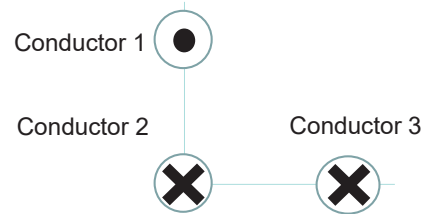
- En el vacío: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (S.I.)

- Fuerza magnética entre estos dos conductores vale:**

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

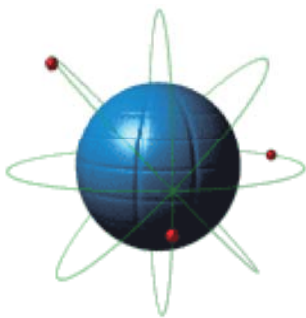
4.9 Ejercicios campo magnético

- 1.- Un protón se mueve con una velocidad de $3 \cdot 10^7$ m/s a través de un campo magnético de 1,2 T. Si la fuerza que experimenta es de $2 \cdot 10^{-12}$ N, ¿qué ángulo formaba su velocidad con el campo cuando entró en él?
- 2.- Un hilo conductor de 10 g de masa y 20 cm de longitud conectado a un generador de corriente continua mediante hilos flexibles se encuentra inmerso en un campo magnético de 0,04 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?
- 3.- Un electrón incide en un campo magnético de 12 i T, con una velocidad de $1,6 \cdot 10^7$ m/s, formando un ángulo de 30° con las líneas de dicho campo. a) ¿Cuál es el radio de la órbita descrita por el electrón? b) ¿Cuál es la velocidad de avance en el campo?
- 4.- 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 periodos de revolución.
- 5.- Tres hilos conductores largos, rectilíneos y paralelos entre sí están situados en tres vértices de un cuadrado de 10 cm de lado. Por los tres circula una intensidad de 20 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.
- 6.- Halla el campo magnético en el centro de una espira circular de 80 cm^2 de superficie por la que circula una corriente de 2 A.
- 7.- ¿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?



5.1 El magnetismo natural

- Un imán natural, como cualquier otra sustancia, está formado por una gran cantidad de átomos, formados por electrones que giran alrededor del núcleo.



- A los imanes atómicos se le denomina **dipolos magnéticos**.
- Estos dipolos pueden surgir tanto del **movimiento orbital de los electrones** como del **movimiento de rotación de los mismos**

- **Un electrón es el imán más pequeño que existe, con sus polos norte y sur, inseparables.**

- **En los átomos, los electrones en su movimiento alrededor del núcleo y en su giro sobre sí mismos, constituyen pequeñas espiras de corriente que generan un campo magnético, comportándose como pequeños imanes o dipolos magnéticos.**
- Según esta teoría, todas las sustancias deberían tener propiedades magnéticas. No es así.
- **La mayor parte de las sustancias tiene sus dipolos magnéticos orientados al azar, anulándose los unos con los otros.**

5.2 El magnetismo natural

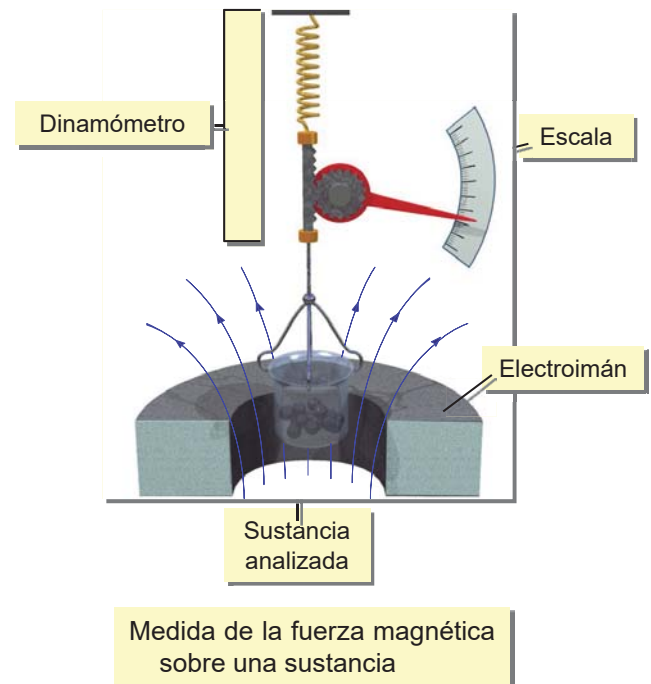
- No todas las sustancias se comportan del mismo modo en presencia de un campo magnético.

- Se comprueba, introduciendo la sustancia por uno de los extremos de un electroimán y midiendo la fuerza que ejerce el campo magnético sobre ella.
- Según su comportamiento, ante la presencia de un campo magnético, las sustancias se clasifican:

- sustancias ferromagnéticas

- sustancias paramagnéticas

- sustancias diamagnéticas



5.3 Sustancias ferromagnéticas

- Son fácilmente imantables y fuertemente atraídas por un imán.
- Están formadas por pequeñas regiones en las cuales todos los átomos tiene la misma dirección: son los **dominios magnéticos**.

- dominios magnéticos

- campo magnético externo



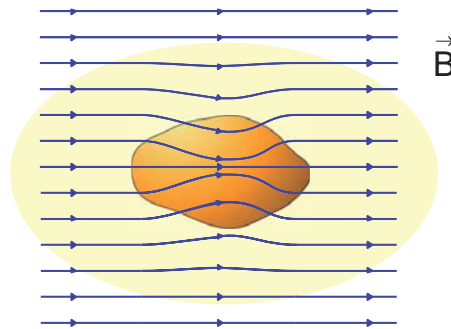
HIERRO los dominios se orientan con facilidad, pero la orientación de desaparece cuando cesa el campo exterior

ACERO los dominios ofrecen resistencia a orientarse, una vez orientados permanecen en esa posición

- En un **material ferromagnético no imantado** los dominios están orientados al azar, pero en presencia de un **campo magnético externo**, estos dominios se orientan en la misma dirección y sentido, convirtiéndose en un **imán**.
- Sustancias ferromagnéticas: hierro, cobalto, acero, níquel y aleaciones de esos metales.
- La permeabilidad magnética de estas sustancias es muy superior a la del vacío.

5.4 Sustancias paramagnéticas

- Son atraídas débilmente por un imán y prácticamente no se imantan.

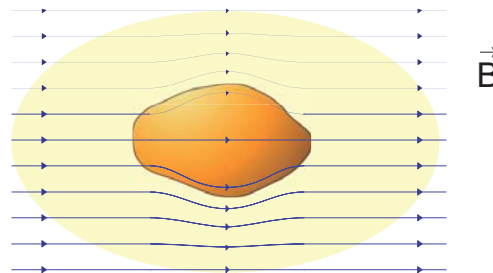


Comportamiento de una sustancia paramagnética

- El **paramagnetismo aumenta al disminuir la temperatura**, puesto que disminuye la agitación térmica de modo que, los mayores efectos paramagnéticos se observan cerca del cero absoluto.
- El estaño, platino, oxígeno y aluminio, **son sustancias paramagnéticas**, ya que son atraídas débilmente por los imanes.
- Su permeabilidad magnética de estas sustancias es **superior a la permeabilidad magnética del vacío μ_0** .

5.5 Sustancias diamagnéticas

- Son débilmente repelidas por un imán. Esto es debido a que algunos dipolos atómicos se orientan en sentido contrario al campo magnético exterior.



Comportamiento de una sustancia diamagnética

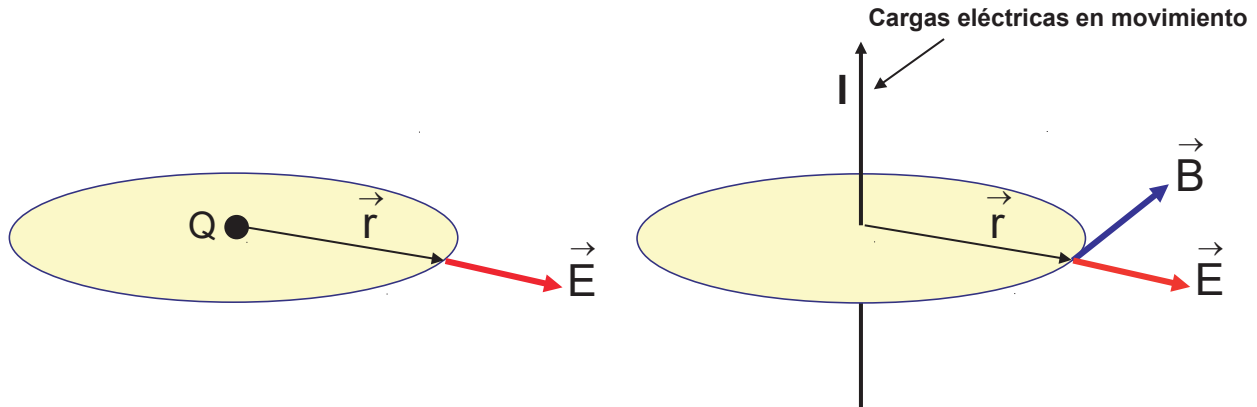
- Al situar la sustancia en un campo externo, se induce un campo magnético muy débil de sentido opuesto al externo que **tiende a alejar la sustancia del imán**.
- El agua, el cloruro de sodio, el alcohol, el oro, la plata, el cobre o el plomo **son sustancias diamagnéticas**.
- Su permeabilidad magnética siempre **es inferior a la permeabilidad magnética del vacío μ_0** .

6.1 Principales analogías y diferencias entre los campos eléctrico y magnético

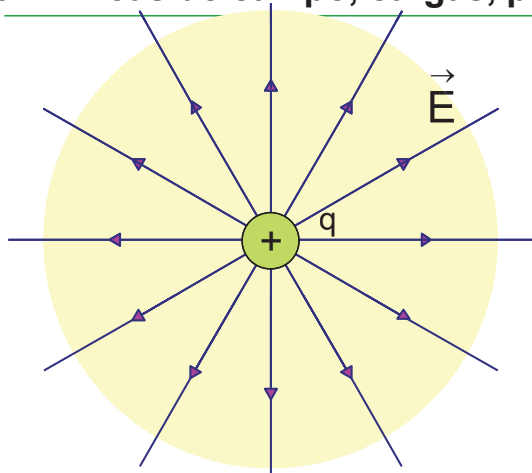
• Ambos campos tienen su origen en las cargas eléctricas

• Una carga en reposo genera solo un campo eléctrico

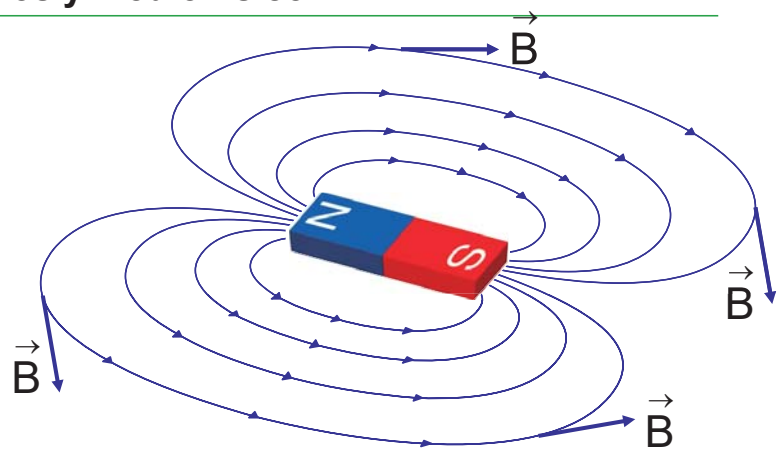
• Una carga en movimiento genera un campo eléctrico y un campo magnético



6.2 Líneas de campo, cargas, polos y medio físico



Líneas de campo eléctrico



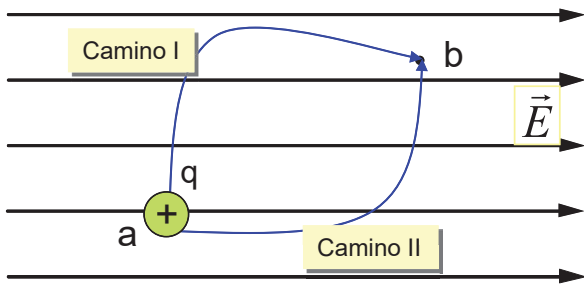
Líneas de campo magnético

- Las líneas de fuerza del campo eléctrico son líneas abiertas: comienzan o terminan en una carga, pero pueden extenderse al infinito
- Pueden encontrarse cargas eléctricas aisladas, positivas y negativas

- Las líneas de fuerza del campo magnético son líneas cerradas: nacen en un polo magnético y finalizan en el otro de distinta polaridad
- Los polos magnéticos se presentan siempre por parejas. No hay polos magnéticos aislados

La constante dieléctrica ϵ y la permeabilidad magnética μ dependen del medio

6.3 Trabajo eléctrico y magnético



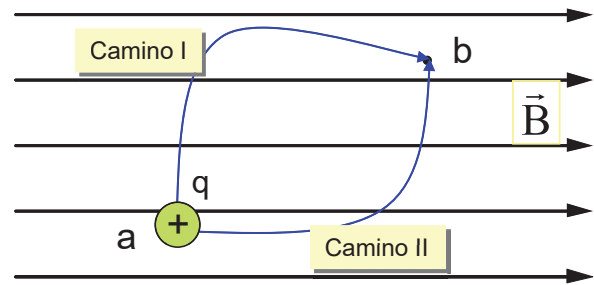
$$W_{\text{Camino I}} = W_{\text{Camino II}}$$

- El campo eléctrico es un campo conservativo: el trabajo necesario para mover una carga entre dos puntos del campo no depende del camino seguido

- Campo Eléctrico si es conservativo:**

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

- Es posible asignar a cada punto del campo un valor de una magnitud escalar: **Energía Potencial** para describir el campo



$$W_{\text{Camino I}} \neq W_{\text{Camino II}}$$

- El campo magnético es un campo no conservativo: el trabajo necesario para mover una carga entre dos puntos del campo depende de la trayectoria seguida.

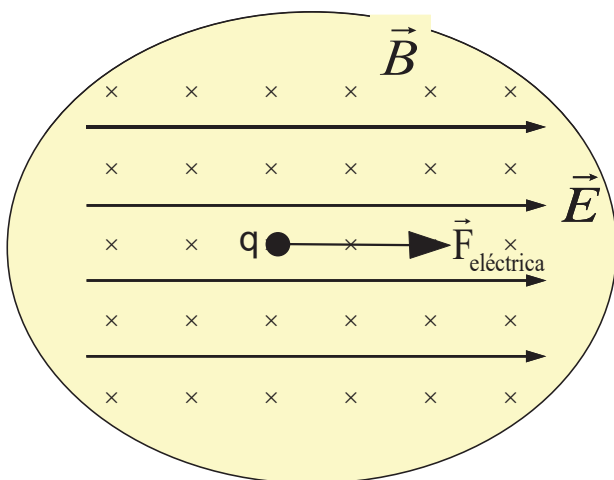
- Campo Magnético no es conservativo:**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \neq 0$$

- No es posible asignar a cada punto del campo un valor de una magnitud escalar: **Energía Potencial** para describir el campo

6.4 Fuerza sobre una carga eléctrica

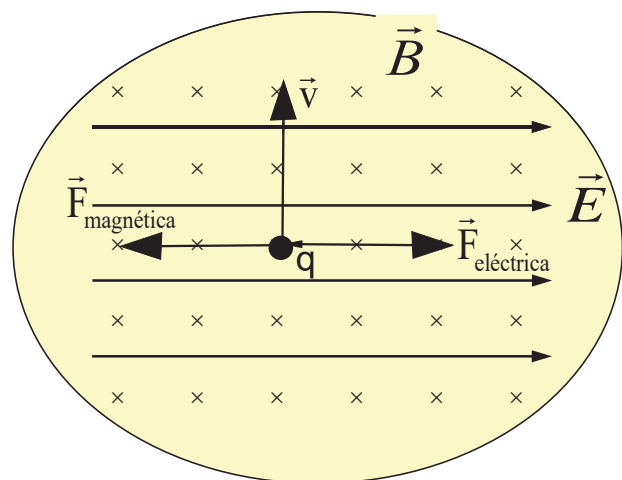
- Fuerza sobre una carga en reposo**



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

- Sólo el campo eléctrico ejerce fuerza sobre una carga en reposo

- Fuerza sobre una carga en movimiento**



$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v} \times \vec{B}]$$

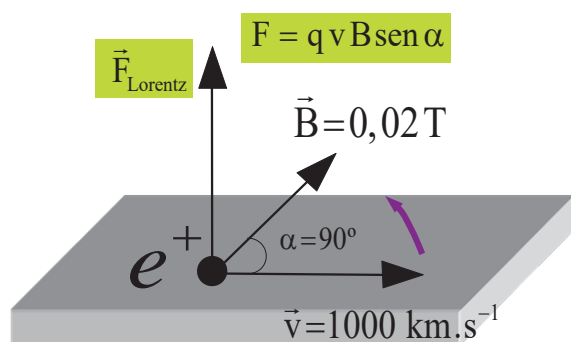
- El campo eléctrico y el campo magnético ejercen fuerzas sobre una carga en movimiento (Ley de Lorentz)

7.1 Problemas de campo magnético

1. Un positrón penetra perpendicularmente en un campo magnético de 0,02 T a 1000 Km/s. Determinar: a) la fuerza que actúa sobre el positrón; b) el radio y el sentido de la órbita descrita y el tiempo que tarda en recorrer esa órbita. Datos: carga del positrón = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C; masa del positrón $9,1 \cdot 10^{-28}$ g. Sol: $3,2 \cdot 10^{-15}$ N; $2,84 \cdot 10^{-4}$ m; $1,79 \cdot 10^{-9}$ s.

- La fuerza es perpendicular al campo magnético y a la velocidad, tiene por módulo, aplicando la:

$$\text{ley de Lorentz: } \vec{F} = q [\vec{v} \times \vec{B}] \Rightarrow F = qvB \text{ sen } 90^\circ = \\ = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,02 \text{ T} = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$



- La fuerza obliga a la partícula a describir una circunferencia de radio r:

$$F = qvB = ma_c = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow \\ r = \frac{mv}{qB} = 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad \cdot \quad \text{El sentido el de la velocidad.}$$

- El período T, del movimiento: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \cdot 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 17,84 \cdot 10^{-10} \text{ s}$

7.2 Problemas de campo magnético

2. Dentro de un campo magnético de intensidad 1 Wb/m² se desplaza perpendicularmente un protón de 10 Mev de energía. Indicar módulo, dirección y sentido de la fuerza que actúa sobre él. Datos: q-protón = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C; m-protón = $1,7 \cdot 10^{-24}$ g. Sol: $6,94 \cdot 10^{-12}$ N.

- A partir de la energía del protón calculamos su velocidad:

$$E = 10 \text{ MeV} = 10 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} (J) =$$

$$\frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = 43,38 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Aplicando la ley de Lorentz:

$$F = qvB = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 43,38 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1 \text{ wb} \cdot \text{m}^{-2} = 6,94 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

- La dirección y el sentido se determina por el producto vectorial de \vec{v} por \vec{B}
- Ver figura del ejercicio anterior.

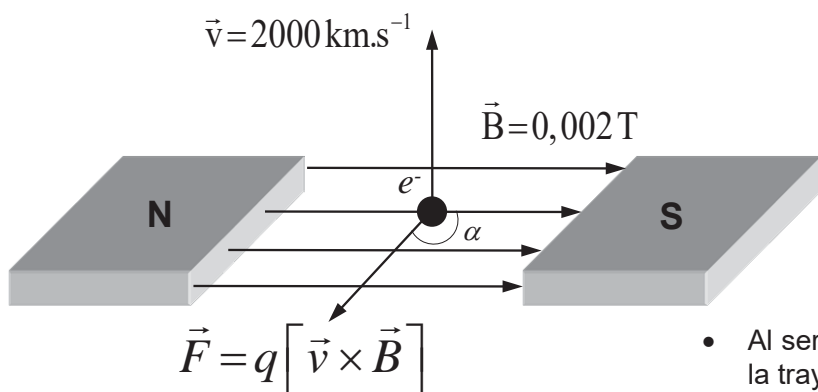
7.3 Problemas de campo magnético

3. Un electrón penetra en una región donde existe un campo magnético uniforme normal de 0,002 T a una velocidad de 2000 Km/s. Determinar: a) la fuerza que actúa sobre el electrón; b) el tipo de trayectoria y el parámetro, si existe, que la describe.

Datos: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$. sol: $6,4 \cdot 10^{-16} \text{ N}$; $5,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

- A partir de la ley de Lorentz se calcula la fuerza que actúa sobre el electrón:

$$\text{ley de Lorentz: } \vec{F} = q [\vec{v} \times \vec{B}] \Rightarrow F = q v B \text{ sen } 90^\circ = \\ \Rightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,002 \text{ T} = 6,4 \cdot 10^{-16} \text{ N}$$



- Puesto que la fuerza se ejerce sobre una carga negativa tiene sentido contrario al que se determina a partir del producto vectorial de la ley de Lorentz.

- Al ser los vectores \vec{v} y \vec{B} perpendiculares, la trayectoria es circular, de radio r :

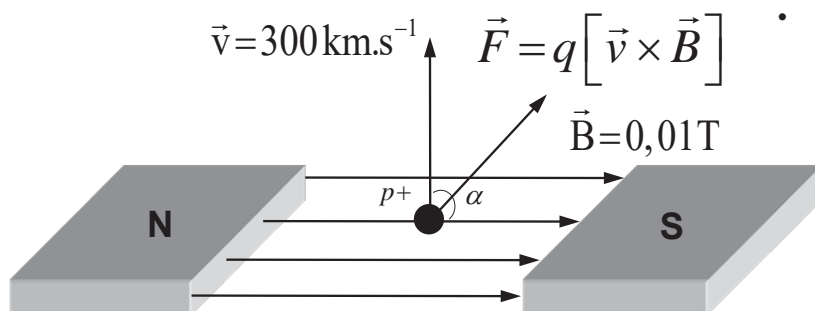
$$F = qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{qB} = 5,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

7.4 Problemas de campo magnético

4. Un protón incide normalmente en un campo magnético uniforme de 0,01 T a 300 km/s. Determinar: a) la fuerza que actúa sobre él; b) el trabajo cuando el protón se desplaza a lo largo de su trayectoria 1 km; c) El tiempo que tarda en recorrer esa distancia. Datos: Carga protón = $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; masa protón = $1,7 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. Sol: $4,8 \cdot 10^{-16} \text{ N}$; 0 Julios; $1/3 \cdot 10^{-2} \text{ s}$.

- La ley de Lorentz calcula el módulo de la fuerza que actúa sobre el protón:

$$F = q v B \text{ sen } 90^\circ = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,01 \text{ T} = 4,8 \cdot 10^{-16} \text{ N}$$



- Trabajo realizado por la fuerza magnética:

$$w = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos 90^\circ = 0$$

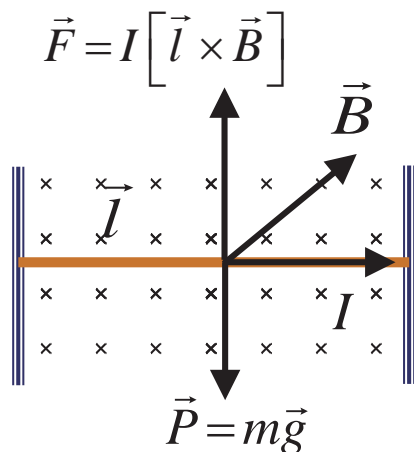
- La fuerza y la velocidad son perpendiculares, no se realiza trabajo, y por lo tanto, la energía cinética no varía.

- El movimiento es circular uniforme, el tiempo:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{10^3 \text{ m}}{3 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

7.5 Problemas de campo magnético

5. Un hilo recto conductor por el que circula una corriente eléctrica está situado normalmente a un campo magnético de 1000 Gauss y desliza, sin rozamiento, entre dos guías verticales que distan 20 cm. Calcúlese la corriente eléctrica que circula por el mismo para que no caiga bajo la acción de su peso, si su masa es de 10 g. ¿Es indiferente el sentido de la corriente?. Sol: 4,9 A; no.



- La fuerza magnética que actúa sobre el hilo, al circular por él la corriente eléctrica, tiene que equilibrar a la fuerza peso:

$$\vec{F} + \vec{P} = 0 \Rightarrow IlB = mg$$

- Despejamos la intensidad de corriente que tiene que circular por el hilo:

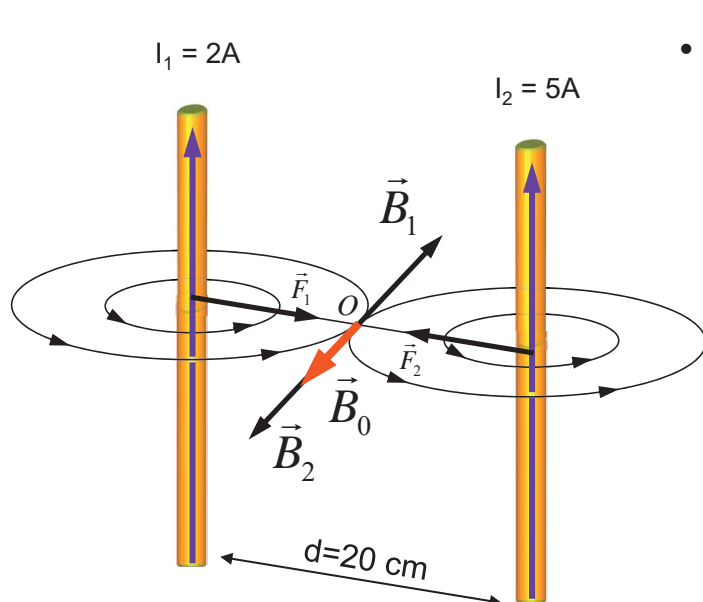
$$I = \frac{mg}{lB} = \frac{10^{-2} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{0,2 \text{ m} \cdot 10^3 \text{ gauss} \cdot 10^{-4} \text{ T} \cdot \text{gauss}^{-1}} = 4,9 \text{ A}$$

- No es indiferente el sentido de la corriente eléctrica.
- Si la corriente circula en sentido contrario se invierte el sentido de la fuerza; ya no podría compensar el peso del hilo conductor.

7.6 Problemas de campo magnético

6. Por dos conductores rectilíneos, separados 20 cm, paralelos y de gran longitud circulan corrientes de 2 A y 5 A en el mismo sentido. Calcular: a) el campo magnético creado por ellos en el punto medio de la recta normal que los une; b) la fuerza por unidad de longitud con que se atraen. Sol: $6 \cdot 10^{-6} \text{ T}$; 10^{-5} N/m .

- El campo magnético en el punto 0, es la suma vectorial de los campos magnéticos que crean en ese punto cada uno de los conductores por los que circulan las corrientes eléctricas.



- Los vectores \vec{B}_1 y \vec{B}_2 tienen igual dirección y sentido contrario y están en un plano perpendicular a los hilos conductores. Sus módulos valen:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} (\text{SI}) \cdot 2 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,1 \text{ m}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} (\text{SI}) \cdot 5 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,1 \text{ m}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

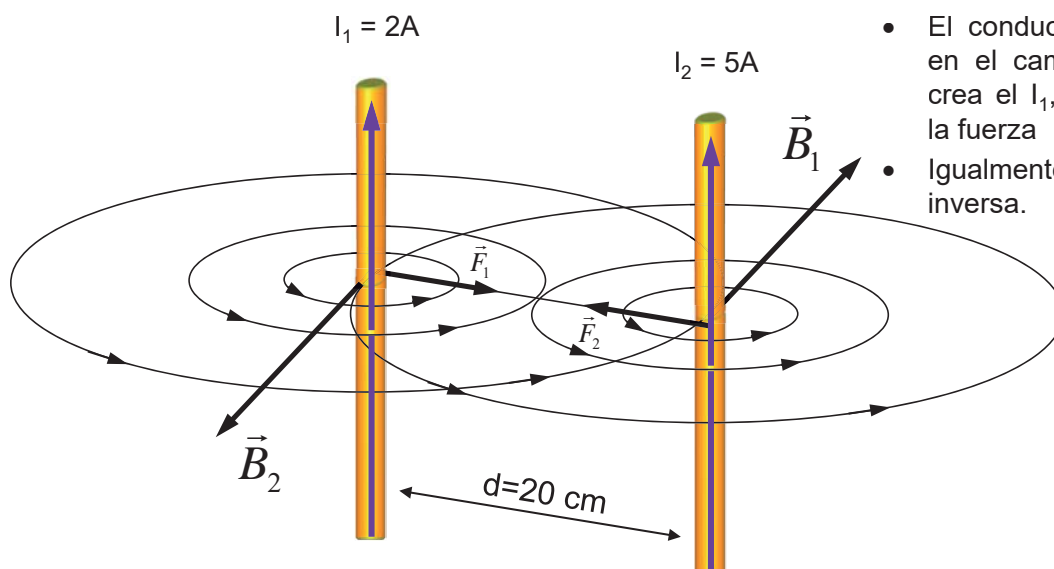
- El vector buscado está en la dirección y sentido de \vec{B}_2 y tiene por valor:

$$\vec{B}_0 = \vec{B}_2 - \vec{B}_1 = 6 \cdot 10^{-6} \vec{u}_{B_2} (\text{T})$$

7.7 Problemas de campo magnético

Continuación ejercicio nº 6: Por dos conductores rectilíneos, ...

- Fuerza, por unidad de longitud, con que se atraen ambos conductores:



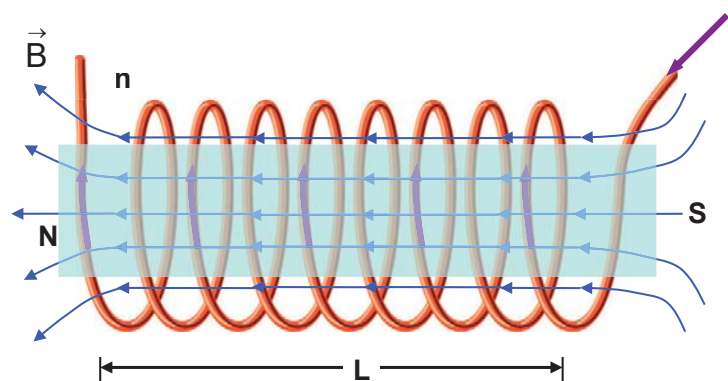
- El conductor I_2 se encuentra en el campo magnético que crea el I_1 , sobre él se ejerce la fuerza \vec{F}_2
- Igualmente ocurre a la inversa.

- El módulo, por unidad de longitud, de cada una de estas fuerzas \vec{F}_2 , \vec{F}_1 vale:

$$\vec{F}_2 = I_2 [\vec{l}_2 \times \vec{B}_1] \Rightarrow \frac{F_2}{l_2} = \frac{F_1}{l_1} = B_1 I_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} (SI)}{2\pi} \frac{2A}{0,2m} 5A = 10^{-5} N.m^{-1}$$

7.8 Problemas de campo magnético

7. Un solenoide está formado por 400 espiras devanadas sobre un núcleo de hierro de 20 cm de longitud. La permeabilidad relativa del hierro es 1300. ¿Qué corriente es necesaria para producir un campo magnético de 0,5 T?. Sol: 0,15 A.

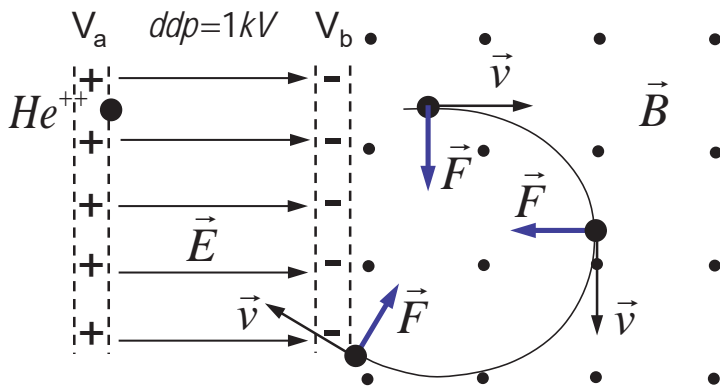


- El campo magnético en el interior del solenoide se calcula a partir de la ecuación:

$$B = n \frac{\mu_{Fe} I}{L} = n \frac{\mu_{rFe} \mu_0 I}{L} \Rightarrow I = \frac{BL}{n \mu_{rFe} \mu_0} = \frac{0,5T \cdot 0,2m}{400 \cdot 1300 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} (SI)} = 0,15 A$$

7.9 Problemas de campo magnético

8. Una partícula alfa de masa $6,68 \cdot 10^{-27}$ kg y carga dos electrones se acelera desde el reposo a través de una ddp de 1 kV. Después esta partícula entra en un campo magnético de 0,2 T perpendicular a la dirección del movimiento. a) ¿Qué velocidad adquirirá una vez acelerada?; b) ¿cuál será el radio de la trayectoria en el campo magnético?. Sol: 309.529 m/s; 0,032 m.



- Entre las placas que poseen distinto potencial existe un campo eléctrico.
- Este campo eléctrico ejerce una fuerza eléctrica, cuyo trabajo acelera la partícula desde el reposo hasta que adquiera una determinada velocidad.
- Mediante un balance de energía se calcula esa velocidad:

$$W_{eléc} = \Delta E_c \Rightarrow q_{++} \Delta V = \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2q_{++} \Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^3 \text{ V}}{6,68 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 309,529 \text{ ms}^{-1}$$

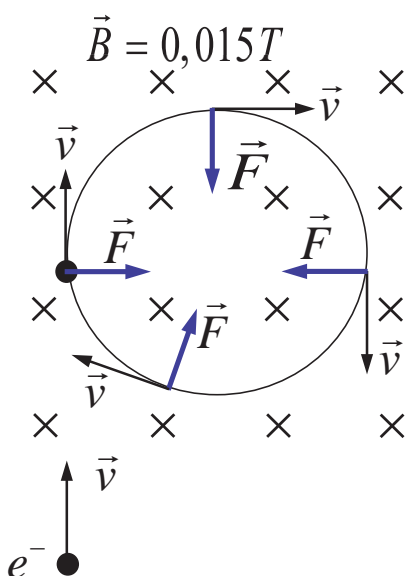
$$F = qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow$$

$$r = \frac{mv}{qB} = 0,032 \text{ m}$$

- Cuando la partícula entra en el campo magnético, la fuerza magnética (ley de Lorentz) le obliga a describir una circunferencia, cuyo radio:

7.10 Problemas de campo magnético

10. Un electrón penetra perpendicularmente en un campo magnético de 0,015 T, con velocidad de $5,6 \cdot 10^7$ m/s. a) Dibuja un esquema representando el campo, la fuerza magnética y la trayectoria seguida por el electrón y calcula el radio de la misma. b) Calcula la energía cinética del electrón en el instante en que ha penetrado en el campo y después de haber dado 125 vueltas. Sol: 0,021 m; $1,4 \cdot 10^{-15}$ J; la misma.



- El radio se calcula a partir de la fuerza que actúa sobre la partícula, según la ley de Lorentz:

$$F = q_e v B = m_e a_c = \frac{m_e v^2}{r}$$

$$r = \frac{m_e v}{q_e B} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 5,6 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,015 \text{ T}} = 0,021 \text{ m}$$

- Energía cinética cuando el electrón penetra en el campo:

$$E_c = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} [5,6 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}]^2}{2} = 1,42 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

- El electrón penetra en el campo sin incrementar su energía cinética.
- Los vectores \vec{r} , \vec{v} son perpendiculares. Sólo existe una aceleración centrípeta,

8.1 Cuestiones de campo magnético

1. a) Fuerza magnética sobre una carga en movimiento. b) ¿En qué dirección se debe mover una carga en un campo magnético para que no se ejerza fuerza sobre ella?
2. Un electrón, un protón y un átomo de helio penetran en una zona del espacio en la que existe un campo magnético uniforme en dirección perpendicular a la velocidad de las partículas. a) Dibujar la trayectoria de cada una de las partículas e indicar sobre cuál de ellas se ejerce una fuerza mayor. b) Comparar las aceleraciones de las tres partículas. ¿Cómo varía su energía cinética?
3. Por dos conductores rectilíneos e indefinidos, dispuestos paralelamente, circulan corrientes eléctricas de la misma intensidad y sentido. a) Dibujar un esquema, indicando la dirección y el sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio del segmento que une a los dos conductores. b) ¿Cómo cambiaría la situación al duplicar una de las intensidades?
4. a) ¿Cuál es la condición para que una partícula cargada, que se mueve en línea recta, siga en su trayectoria rectilínea cuando se somete simultáneamente a un campo eléctrico y a otro campo magnético, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la velocidad de la carga?. b) Dibujar las trayectorias de la partícula cargada del apartado anterior si sólo existiera el campo eléctrico o el campo magnético y explicar, en cada caso, si varía la velocidad.
5. Una partícula con carga q , penetra en una región en la que existe un campo. a) Explicar cómo podríamos determinar, al observar la trayectoria de la partícula, si se trata de un campo eléctrico o de un campo magnético. ¿Hay algún caso en que no sería posible determinar el tipo de campo?. b) Hacer un análisis energético del movimiento de la partícula para un campo eléctrico y para un campo magnético, ambos perpendiculares a la velocidad con la que la partícula penetra en el campo.

8.2 Cuestiones de campo magnético

6. Dos partículas cargadas se mueven con la misma velocidad y, al aplicarles un campo magnético perpendicular a dicha velocidad, se desvían en sentidos contrarios y describen trayectorias circulares de distintos radios. a) ¿Qué puede decirse de las características de estas partículas? b) Si en vez de aplicarles un campo magnético se les aplica un campo eléctrico paralelo a su trayectoria, indicar razonadamente cómo se mueven las partículas.
7. Contestar razonadamente a las siguientes cuestiones: a) ¿Se conserva la energía mecánica de una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético uniforme? b) ¿Es conservativa la fuerza que ejerce dicho campo sobre la carga?
8. a) Explicar razonadamente la acción de un campo magnético sobre un conductor rectilíneo, perpendicular al campo, por el que circula una corriente eléctrica y dibujar en un esquema la dirección y sentido de todas las magnitudes vectoriales que intervienen. b) Explicar qué modificaciones se producirían, respecto del apartado anterior, en los siguientes casos: i) si el conductor forma un ángulo de 45° con el campo; ii) si el conductor es paralelo al campo.
9. Justifique razonadamente, con la ayuda de un esquema, qué tipo de movimiento efectúan un protón y un neutrón, si penetran con una velocidad v_0 en: a) una región en la que existe un campo eléctrico uniforme de la misma dirección y sentido contrario que la velocidad v_0 ; b) una región en la que existe un campo magnético uniforme perpendicular a la velocidad v_0 .
10. a) Fuerza magnética sobre una carga en movimiento: ley de Lorente. b) Un electrón, un protón y un neutrón penetran con igual velocidad en una región en la que existe un campo magnético uniforme perpendicular a dicha velocidad. Explique cuál de las partículas experimenta una aceleración mayor y cuál aumenta más su energía cinética.

8.3 Problemas de campo magnético

11. Un electrón con 1 eV de energía cinética describe un movimiento circular uniforme en un plano perpendicular a un campo magnético de 10^{-4} T. a) Explicar con ayuda de esquemas, las posibles direcciones y sentidos de la fuerza, velocidad y campo magnético implicados y calcular el radio de la trayectoria. b) Repetir el apartado anterior para otro electrón que sigue una trayectoria rectilínea. $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

12. Un protón, tras ser acelerado mediante una diferencia de potencial de 10^5 V, entra en una región en la que existe un campo magnético de dirección perpendicular a su velocidad, describiendo una trayectoria circular de 30 cm de radio. a) Realizar un análisis energético de todo el proceso, y con ayuda de esquemas, explicar las posibles direcciones y sentidos de la fuerza, velocidad, campo eléctrico y campo magnético implicados. b) Calcular la intensidad del campo magnético. ¿Cómo varía la trayectoria si se duplicase el campo magnético?. $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg ; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

14. Un electrón penetra en una región en la que existe un campo magnético, de intensidad 0,1 T, con una velocidad de $6 \cdot 10^6$ m/s perpendicular al campo. a) Dibujar un esquema representando el campo, la fuerza magnética y la trayectoria seguida por el electrón y calcular el radio. ¿Cómo cambiaría la trayectoria si se tratara de un protón? b) Determinar las características del campo eléctrico que, superpuesto al magnético, haría que el electrón siguiera un movimiento rectilíneo uniforme. Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.

15. Por un conductor rectilíneo indefinido, apoyado sobre un plano horizontal, circula una corriente de 20 A. a) Dibujar las líneas del campo magnético producido por la corriente y calcular el valor de dicho campo en un punto situado en la vertical del conductor y a 2 cm de él. b) ¿Qué corriente tendría que circular por un conductor, paralelo al anterior y situado a 2 cm por encima de él, para que no cayera, si la masa por unidad de longitud de dicho conductor es de 0,1 kg?. ; $g = 10$ m.s⁻² ; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N.m².A⁻² .

8.4 Problemas de campo magnético

16. Un protón, acelerado por una diferencia de potencial de 10^5 V, penetra en una región en la que existe un campo magnético uniforme de 2 T perpendicular a su velocidad. a) Dibujar la trayectoria seguida por la partícula y analizar las variaciones de energía del protón desde su situación inicial de reposo hasta encontrarse en el campo magnético. b) Calcular el radio de la trayectoria del protón y su periodo y explicar las diferencias encontradas si se tratara de un electrón que penetrase con la misma velocidad en el campo magnético. $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.

17. Dos hilos metálicos largos y paralelos, por los que circulan corrientes de 10 A, pasan por dos vértices opuestos de un cuadrado de 1 m de lado situado en un plano horizontal. Ambas corrientes discurren perpendicularmente a dicho plano y hacia arriba. a) Dibujar un esquema en el que figuren las interacciones mutuas y el campo magnético resultante en uno de los otros dos vértices del cuadrado. b) Calcular los valores numéricos del campo magnético en dicho vértice y de la fuerza por unidad de longitud ejercida sobre uno de los dos hilos. .

18. En una región en la que existe un campo eléctrico de 100 N/C y un campo magnético de 10^{-3} T, perpendiculares entre sí, penetran un protón y un electrón con velocidades perpendiculares a ambos campos. a) Dibujar en un esquema los vectores velocidad, campo eléctrico y campo magnético en el caso de que las partículas no se desvíen. b) ¿Qué energía cinética debería tener el protón y el electrón en esas condiciones?. $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.

20. Un protón penetra en un campo eléctrico uniforme de 200 N/C, con una velocidad de 10^6 m/s perpendicular a dicho campo. a) Explicar con ayuda de un esquema, las características del campo magnético que habría que aplicar, superpuesto al eléctrico, para que no se modificase la dirección y sentido de la velocidad inicial del protón. b) Calcula el valor de dicho campo magnético. ¿Se modificaría el resultado si en vez de un protón penetrase, en las mismas condiciones un electrón? $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

