

INTERACCIÓN MAGNÉTICA

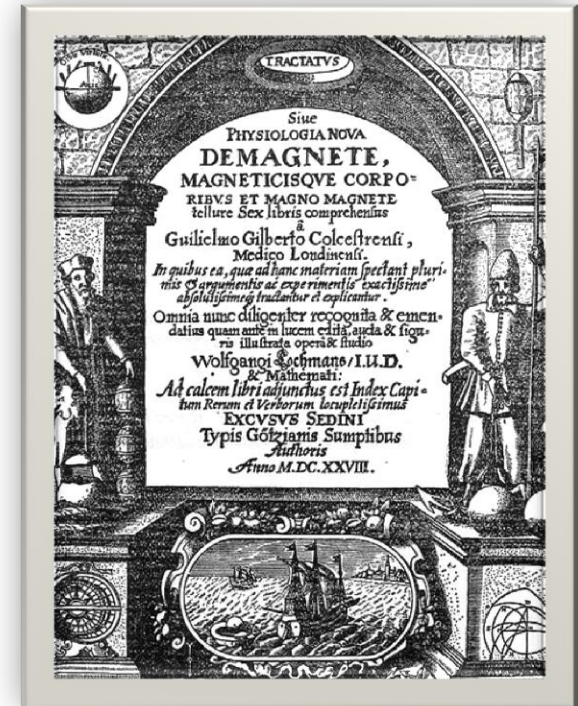
1. Introducción.
2. Definición de campo magnético. Fuerza de Lorentz sobre una partícula cargada.
3. Movimiento de una partícula cargada en un campo magnético. Aplicaciones.
4. Elemento de corriente. Fuerza magnética sobre corrientes. Momentos de fuerza sobre espiras de corriente e imanes. Momento magnético.
5. Líneas del campo magnético.

BIBLIOGRAFÍA:

- Tipler-Mosca. "Física". Cap. 26-27, vol 2 5ª ed. -Serway-Jewett.
- Serway. "Física". Cap.29 . Vol 2. 3ª ed.

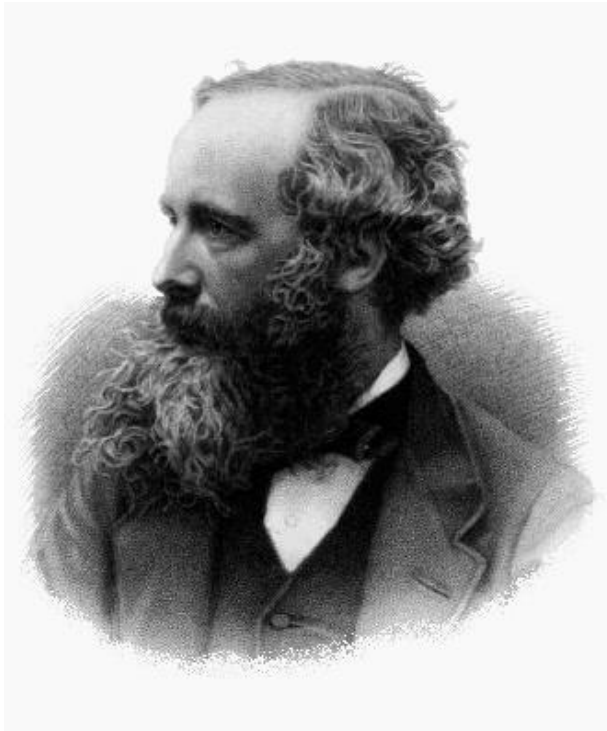
Introducción

- Los griegos conocía la magnetita y su propiedad de atraer piezas de hierro. Aristóteles atribuye a Tales una conversación sobre magnetismo realizada en torno al 547 a.c.
- Alexander Neckham en 1187 describe por primera vez la brújula en Europa para su uso en la navegación.
- En 1269 Peter Peregrinus de Maricourt descubre que una aguja en libertad sobre un imán esférico se orienta a lo largo de líneas que pasan por puntos extremos (**polos del imán**).
- En 1600 William Gilbert descubre que la Tierra es un imán natural.
- En 1820 Oersted observa experimentalmente la relación entre electricidad y magnetismo mediante un experimento consistente en el que cuando colocaba la aguja de una brújula cerca de un alambre por el que circulaba corriente, ésta experimentaba una desviación. Nace el **Electromagnetismo**.

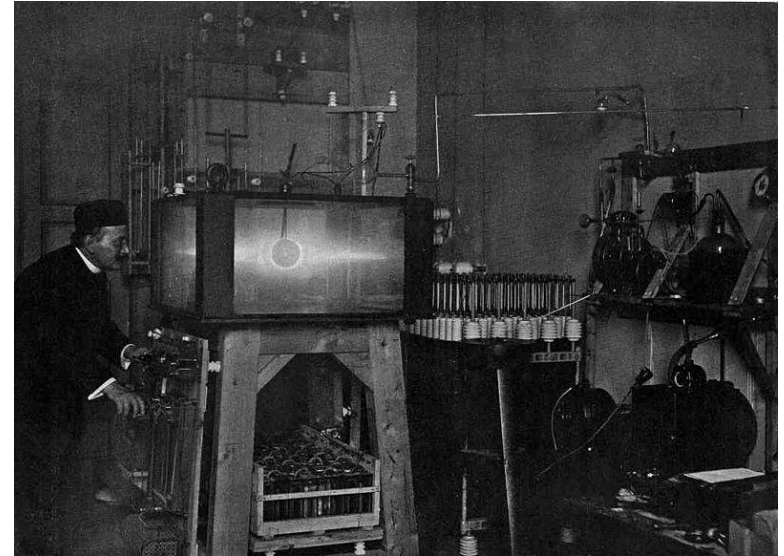


Introducción

- En el siglo XIX Ampère propone un modelo teórico del magnetismo y se realizan numerosos trabajos para comprender la naturaleza del magnetismo.



Miguel Ángel Monge / Begoña Savoini



Kristian Birkeland realizando experimentos para comprender la naturaleza de las Auroras Boreales.

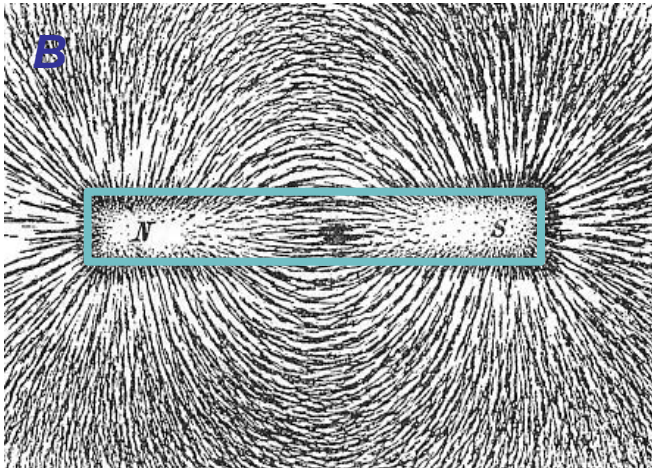
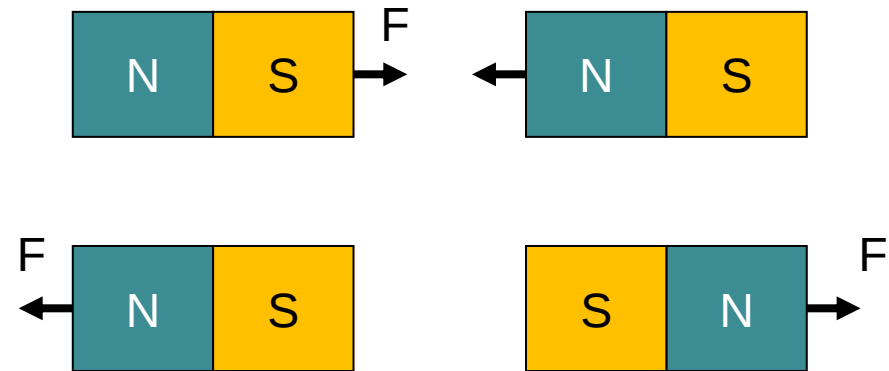
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Birkeland-terrella.jpg>

- En 1860 James Clerk Maxwell establece las **Leyes del Electromagnetismo** que explican todos los fenómenos electromagnéticos de la Física clásica

Campo magnético

Los imanes se atraen entre sí de forma similar a como se observa en los cuerpos cargados eléctricamente. Los polos de un imán se denominan polo norte y polo sur, presentan analogía con las cargas + y -, como se muestra en la figura. Los imanes se **atraen** o **repelen** entre sí dependiendo de sus polos.

Una diferencia fundamental con la electricidad es que es imposible aislar un polo magnético, i.e. **NO existen** las cargas magnéticas.



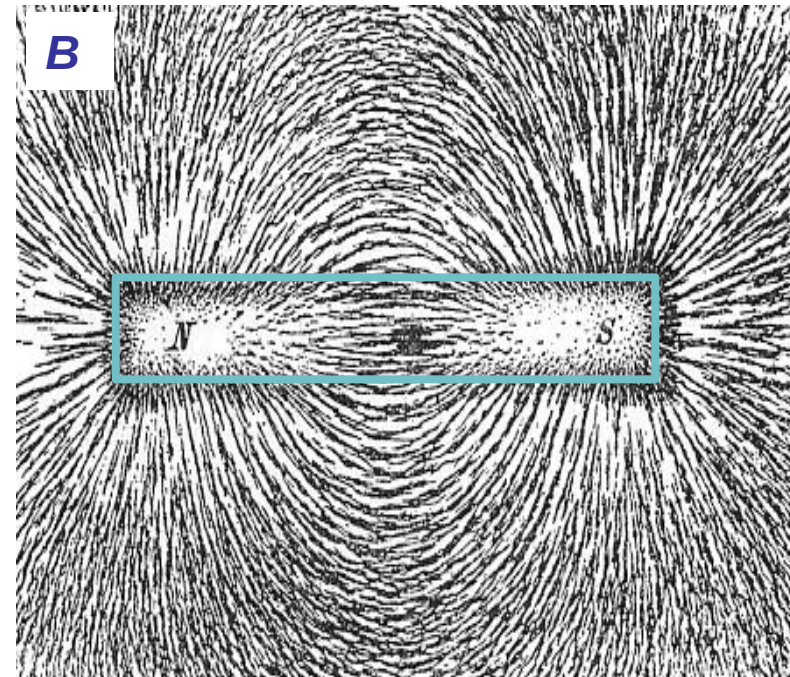
En la región del espacio donde se observan las fuerzas magnéticas se dice que hay un campo magnético ***B***.

Las interacciones magnéticas pueden llegar a ser muy complicadas en presencia de medios materiales.

Definición de campo magnético

- **Diferencia** esencial Magnetismo-Electricidad: Es imposible aislar un polo magnético (**monopolo**).
- En la zona del espacio donde se pueden manifestar las fuerzas magnéticas se dice que hay un **Campo Magnético**.
- Los efectos de un campo magnético creado por un único imán son distintos según se consideren distintas direcciones en el espacio: **El Campo Magnético es anisótropo**.
- El nombre de campo magnético es equivalente a inducción magnética, representados por la letra **B** . A un nivel básico, cuando se estudia el magnetismo en el vacío se usan ambos nombres indistintamente.

Líneas de campo magnético producidas por un imán.



Fuerzas sobre una carga en movimiento: Ley de Lorentz

Ley de Lorentz: Cuando una carga eléctrica q se mueve, con velocidad $\mathbf{v}$, dentro de un campo magnético $\mathbf{B}$, sobre ella aparece una fuerza $\mathbf{F}$ que:

- 1) $\mathbf{F}$ es perpendicular a $\mathbf{v}$ y $\mathbf{B}$
- 2) La $|\mathbf{F}|$ es proporcional a $|\mathbf{B}|$, $|\mathbf{v}|$, q y $\sin(\theta)$

Estas propiedades se resumen en la **Ley de Lorentz**:

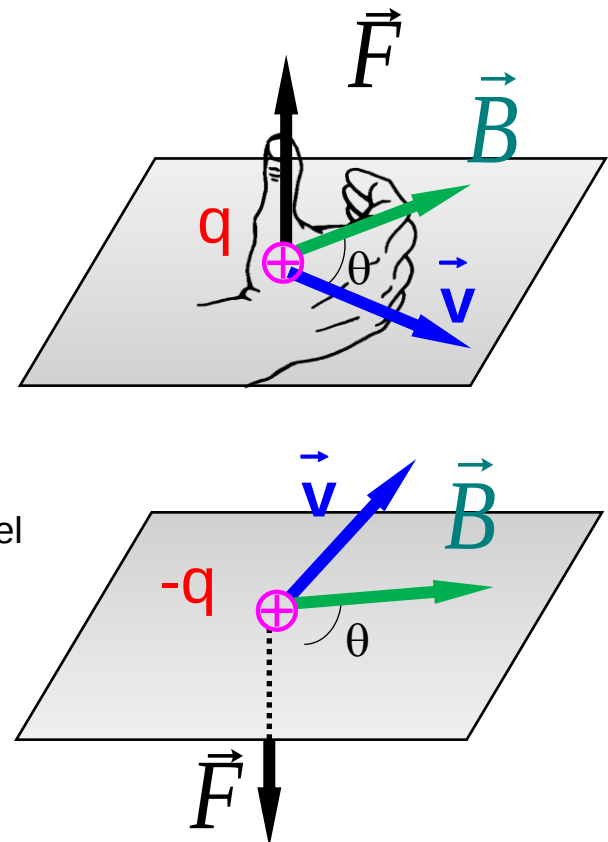
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

La unidades del campo magnético en el sistema internacional son el Tesla, T. Pero en muchas ocasiones su usa el Gauss.

$$[B] \leftrightarrow \frac{\text{N s}}{\text{C m}} \equiv \frac{\text{N}}{\text{Am}} \equiv \text{T (Tesla)}$$

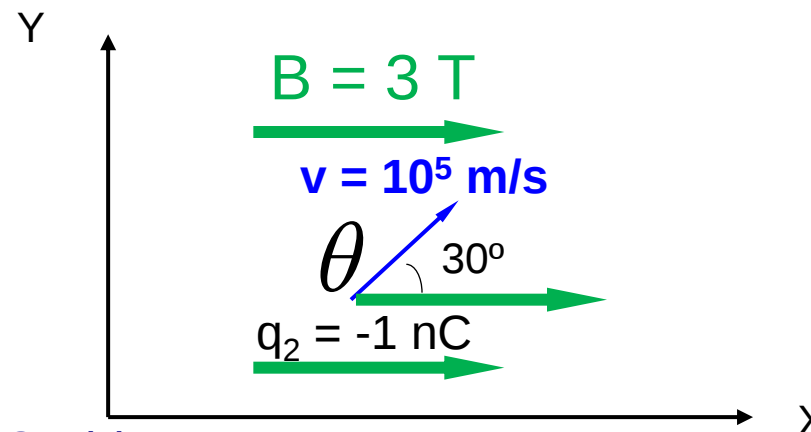
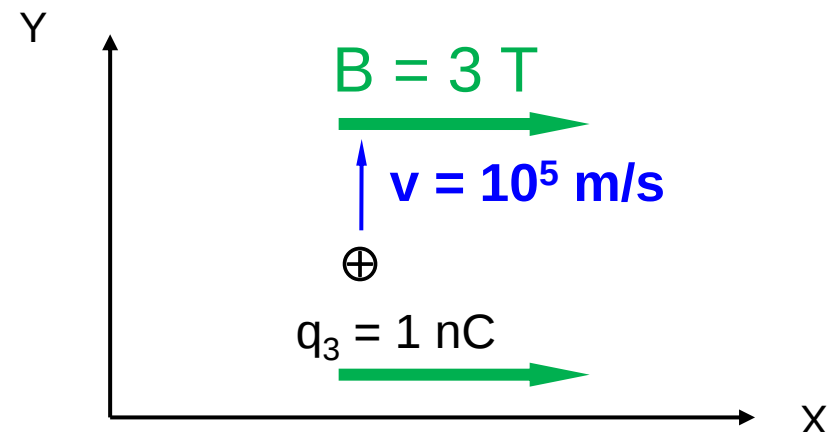
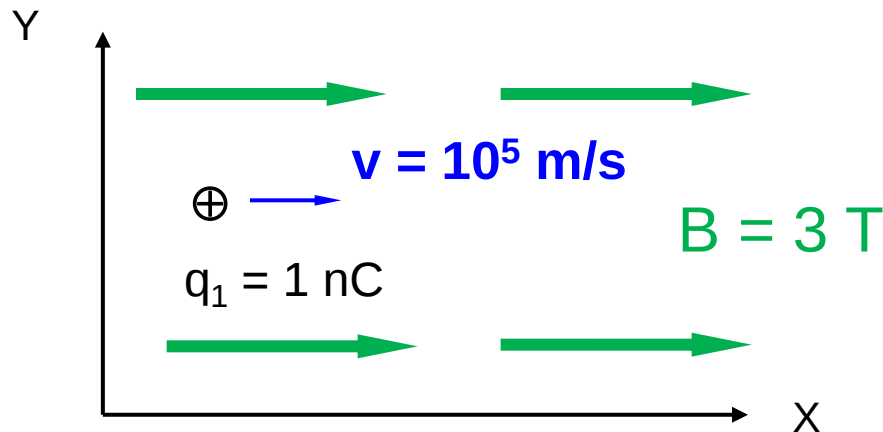
Unidad cgs es el gauss (G); $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$

Si $\mathbf{v}=0$ entonces $\mathbf{F}=0$ y si $\mathbf{v}$ es paralelo a la carga entonces $\mathbf{F}=0$. Por tanto, una carga eléctrica NO experimenta siempre una fuerza en un campo magnético.



Fuerzas sobre una carga en movimiento: Ley de Lorentz

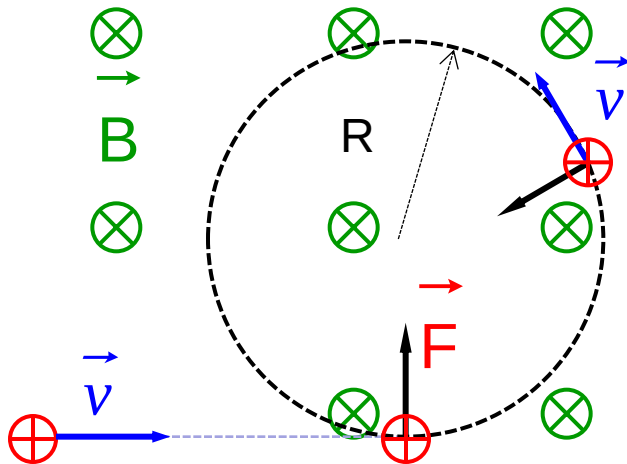
Ejemplo: Calcule la fuerza que experimenta la carga en las tres situaciones siguientes



Solución en los problemas.
Intenta solucionarlo sin mirar el resultado

Movimiento de una carga en un campo magnético.

La trayectoria de una carga puntual q y de masa m que se mueve con velocidad $\mathbf{v}$ perpendicularmente a un campo magnético $\mathbf{B}$ está determinada por la fuerza de Lorentz y se calcula aplicando la segunda ley de Newton.



$$F_C = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R = qvB \Rightarrow m \frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB} = \frac{mv_0}{qB}$$

Se define la frecuencia angular o ciclotrón como la frecuencia de una órbita:

$$\left. \begin{array}{l} v = \omega R \\ R = \frac{mv}{qB} \end{array} \right\} \Rightarrow \omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m}$$

El periodo (tiempo en realizar una órbita) es:
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Ni el periodo ni la frecuencia angular dependen de la velocidad de la carga.

Movimiento de una carga en un campo magnético.

Movimiento helicoidal: La trayectoria de una carga puntual en caso de que su velocidad no sea perpendicular a la trayectoria es un movimiento helicoidal. Supongamos un campo magnético $\mathbf{B}$ constante en la dirección del eje Z y una carga moviéndose con velocidad cualquiera:

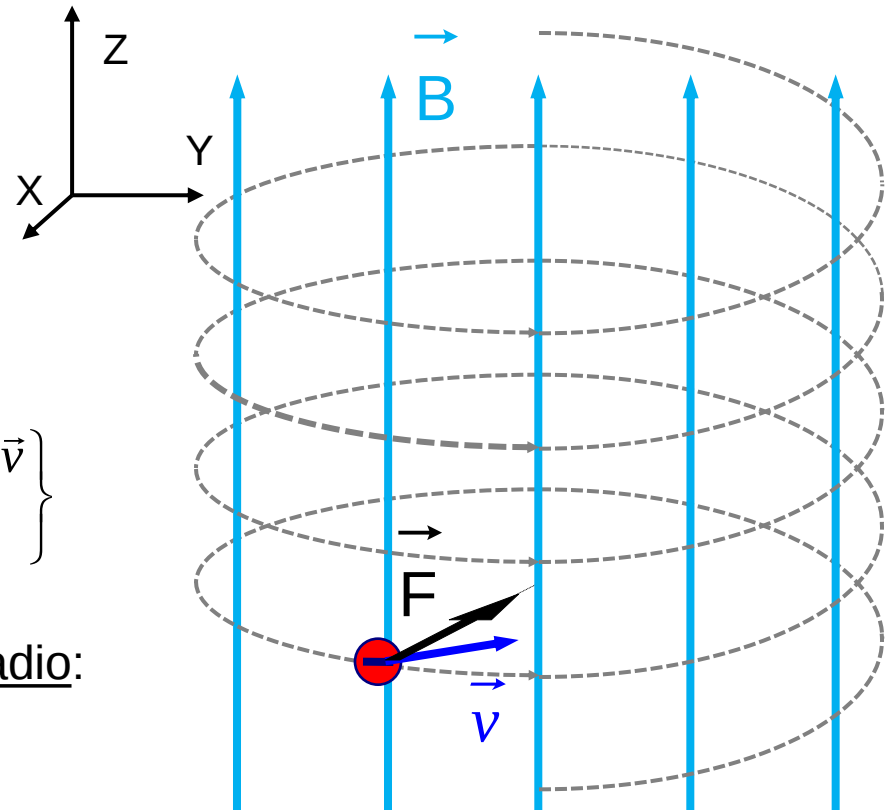
$$\left. \begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}_{\perp} + v_z \vec{k} \\ \vec{B} &= B \vec{k} \end{aligned} \right\}$$

Aplicamos la segunda ley de Newton:

La fuerza actúa en el plano XY y es $\perp \vec{v}$ }
 $v_z \neq 0 \rightarrow$ La trayectoria no es plana }

Trayectoria helicoidal con eje // a $\mathbf{B}$ y radio:

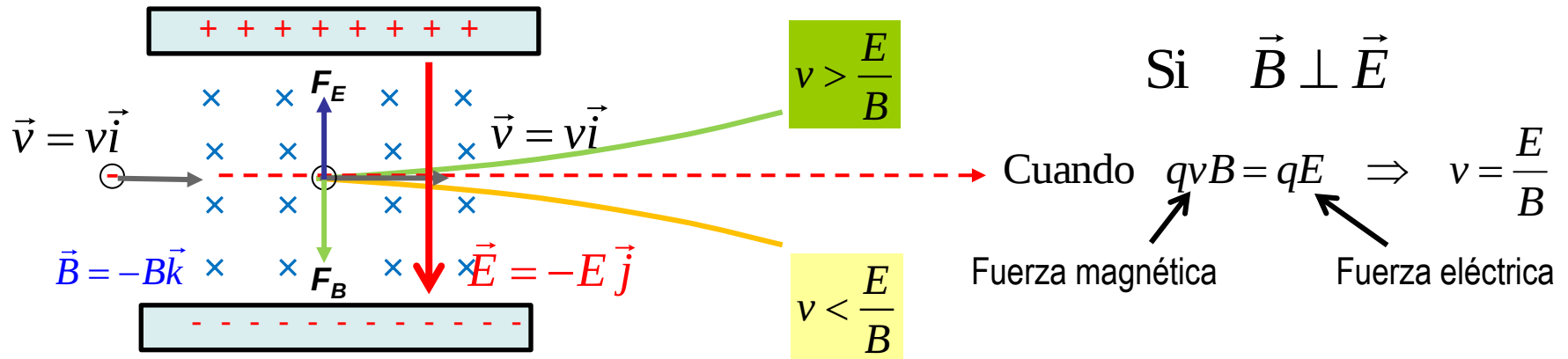
$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB}$$



Movimiento de una carga en un campo magnético.

Aplicación: Selector de velocidades: El selector de velocidades tiene un campo eléctrico y un campo magnético cruzados. La velocidad de las cargas eléctricas a la salida es siempre la misma ya que solo pueden pasar sin ser desviadas las cargas de una única velocidad v :

La fuerza eléctrica y magnética que actúan sobre la carga en sentidos opuestos.



Solo pasan las cargas eléctricas cuya velocidad es:

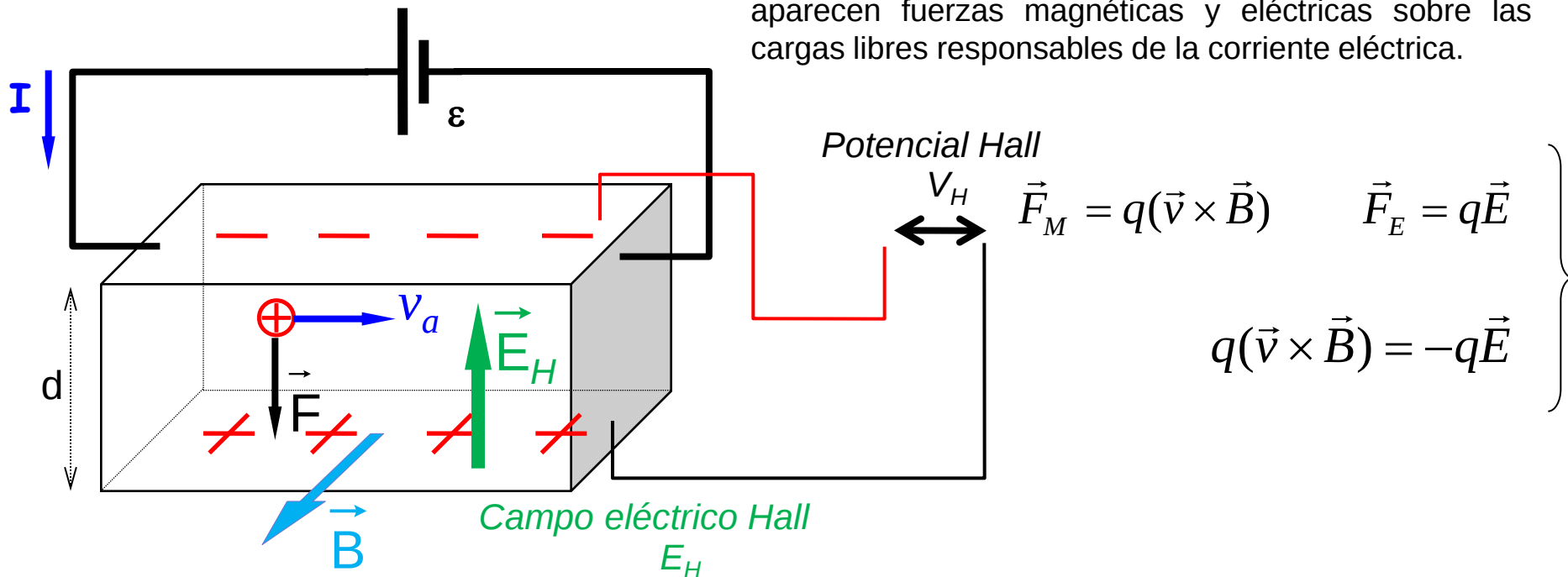
$$v = \frac{E}{B}$$

Efecto Hall

El efecto Hall aparece en las corrientes eléctricas en medios materiales cuando están sometidas a campos magnéticos.

Si los portadores de carga son positivos (Semiconductores tipo-p) y aplicamos un campo $\mathbf{B}$

aparecen fuerzas magnéticas y eléctricas sobre las cargas libres responsables de la corriente eléctrica.



Se definen el **campo eléctrico Hall** y el **potencial Hall** como el que se alcanza en el equilibrio:

$$\vec{E}_H = -\vec{v} \times \vec{B} \quad V_H = E_H d = v B d$$

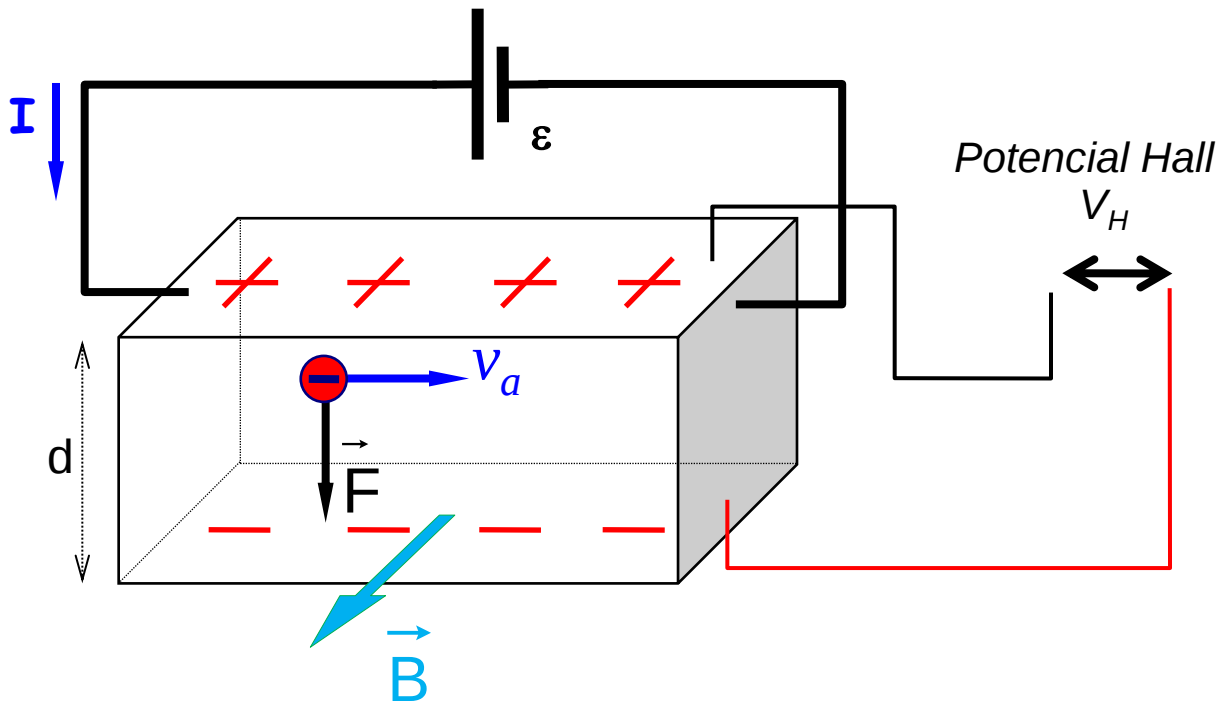
Efecto Hall

Si la densidad de carga es homogénea y solo hay un tipo de portadores, la densidad de portadores de carga se puede determinar a partir del potencial Hall medido experimentalmente

$$I = n|q|S v_a$$

$$V_H = v_a B d$$

$$n = \frac{IBd}{|q|S V_H}$$



Si los portadores de carga son negativos: metales y semiconductores tipo-n cambia la polaridad del potencial Hall.

Fuerza sobre una corriente

Estudiamos primero el caso de una corriente rectilínea.

Supongamos un conductor por el que pasa cierta corriente I en una región del espacio donde existe un campo $\mathbf{B}$ homogéneo. Los portadores de carga se desplazan con una velocidad efectiva $\mathbf{v}_d$ a lo largo de un cable de sección A y longitud L .

El campo magnético interacciona con cada una de las partículas cargadas cuyo movimiento produce la corriente. La fuerza resultante de sumar las fuerzas sobre cada una de las cargas es:

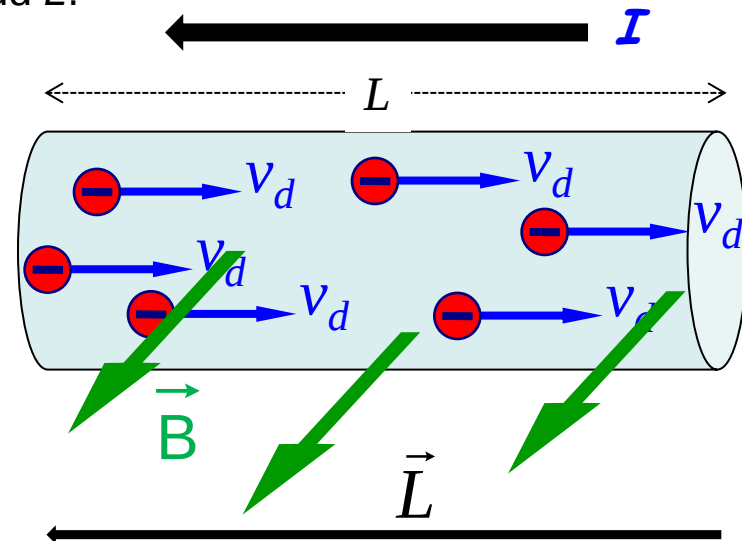
$$\vec{F} = \left(q \vec{v}_d \times \vec{B} \right) n A L$$

Como $I = n q v_d A$, la fuerza neta será:

$$\boxed{\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}}$$

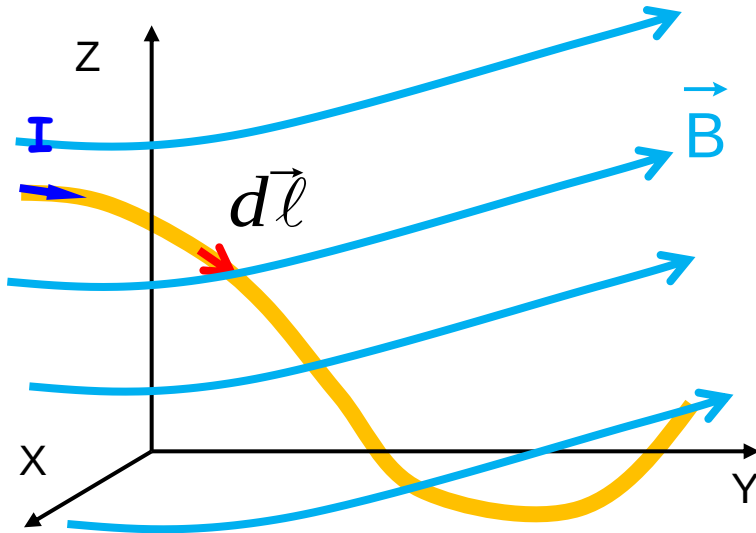
Siendo L es un vector:

- De módulo igual a la longitud del hilo.
- Su dirección coincide con la de la corriente.



Fuerza sobre una corriente

CASO GENERAL: Si tenemos una I corriente que circular por un cable cualquiera en el seno de un campo $\vec{B}$, para calcular la fuerza total dividimos el cable en segmentos diferenciales de longitud $d\vec{\ell}$ y calculamos la fuerza total como la suma de las fuerzas sobre cada uno de los segmentos suponiendo que son rectilíneos:



$$d\vec{F} = Idt \left(\frac{d\vec{\ell}}{dt} \times \vec{B} \right) = I (d\vec{\ell} \times \vec{B})$$

Si integramos a lo largo del cable.

$$\vec{F} = \int_{l_{\text{inicial}}}^{l_{\text{final}}} I (d\vec{\ell} \times \vec{B})$$

Al producto de $I d\vec{\ell}$ se le denomina elemento de corriente. Esta ecuación se conoce como **ley de Laplace**.

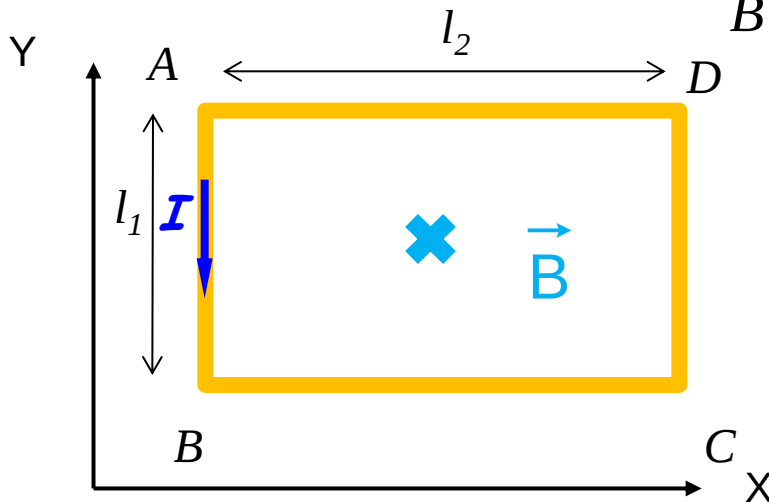
Fuerza sobre una corriente

Caso de circuitos cerrados: Para circuitos cerrados en un campo magnético $\vec{B}$ isótropo y homogéneo se cumple que la fuerza neta siempre es cero, independientemente de la forma o intensidad del campo magnético si la corriente es constante.

$$\vec{F} = \oint I d\vec{l} \times \vec{B} = 0$$

Por ejemplo, en una espira rectangular por la que circula una corriente I , siendo los lados de la espira l_1 y l_2 . Si el campo B es perpendicular a la espira.

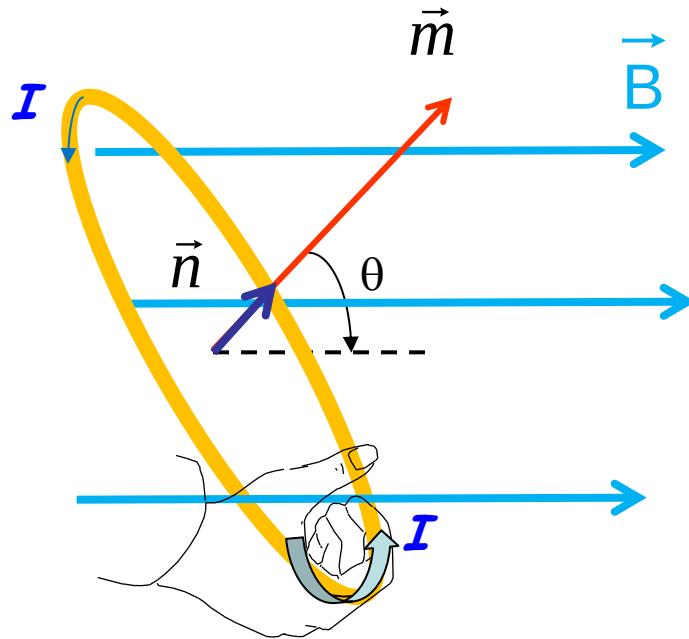
$\vec{B}$ uniforme y $\perp$ al plano que contiene la espira



$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_{AB} &= IB l_1 \vec{i} \\ \vec{F}_{BC} &= -IB l_2 \vec{j} \\ \vec{F}_{CD} &= -IB l_1 \vec{i} \\ \vec{F}_{DA} &= IB l_2 \vec{j} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sum \vec{F}_i = 0$$

Momentos de fuerza sobre espiras: Momento magnético

El momento de fuerzas que ejerce un campo magnético sobre una espira plana por la que circula una corriente I , cuyo vector unitario forma un ángulo θ con un campo magnético isótropo y homogéneo es sencillo de determinar.



Una espira, o circuito, en un campo $\mathbf{B}$ experimenta un par de rotación:

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

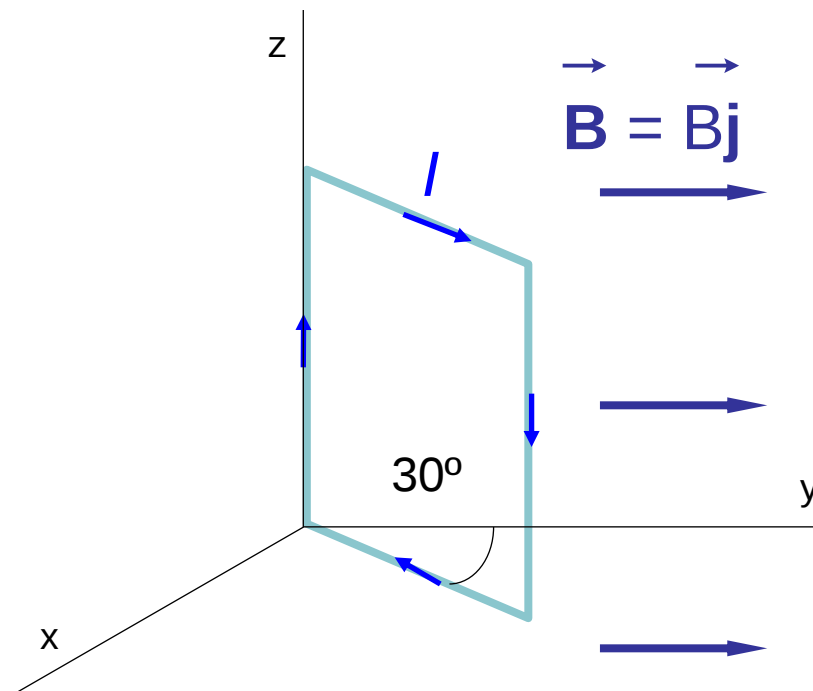
Donde $\mathbf{m}$ es el denominado momento magnético y depende de la geometría y corriente que circula por el circuito. Si la espira es plana:

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

Donde $\mathbf{n}$ es la normal unitaria a la espira aplicando la regla de la mano derecha en el sentido de la corriente, I la corriente que circula por la espira y S su superficie.

Momentos de fuerza sobre espiras: Momento magnético

Ejemplo: Sea una espira rectangular de lados a , b está formando un ángulo de 30° con el eje Y , tal y como indica la figura. Si se encuentra en el seno de un campo magnético constante paralelo al eje Y , calcule el momento que experimenta dicha espira.



Solución en los problemas. Intenta solucionarlo sin mirar el resultado

Líneas del campo magnético

Las líneas del campo magnético son las líneas imaginarias que son tangentes a los vectores campo magnético $\mathbf{B}$ en cada punto del espacio (es el mismo concepto que las líneas del campo eléctrico). Dos líneas de campo magnético no se pueden cruzar y siempre son líneas cerradas.

Como se comprenderá claramente en la siguiente sección las líneas del campo magnético siguen la regla de la mano derecha aplicada a las corrientes eléctricas I .

Diferencias entre las líneas de campo eléctrico y las líneas de campo magnético:

- Las líneas de campo eléctrico tienen la misma dirección que la fuerza eléctrica sobre una carga positiva, mientras que las del campo magnético son perpendiculares a la fuerza magnética sobre una carga móvil.
- Las líneas de campo eléctrico empiezan en las cargas positivas y acaban en las negativas, mientras que las del campo magnético son líneas cerradas.

