CAMPO MAGNÉTICO I

ÍNDICE

1. Introducción.
2. Fuerza de Lorentz.
3. Trayectoria de partículas cargadas en presencia de campos magnéticos.
4. Momentos de fuerza sobre espiras de corriente e imanes. Momento magnético.

BIBLIOGRAFÍA:

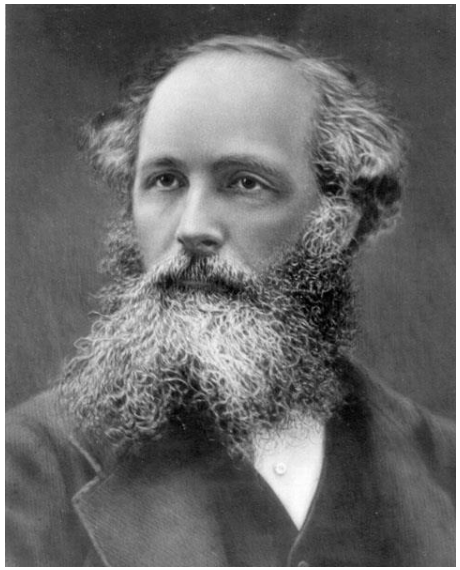
Cap. 26 del Tipler–Mosca, vol. 2, 5ª ed.
Cap. 29 del Serway–Jewett, vol. 2, 7ª ed.

1. INTRODUCCIÓN

- Los griegos conocían la magnetita y su propiedad de atraer piezas de hierro. Aristóteles atribuye a Thales una conversación sobre magnetismo realizada en torno al 547 a.c.
- Alexander Neckham en 1187 describe por primera vez la brújula en Europa para la navegación.
- En 1269 Peter Peregrinus de Maricourt descubre que una aguja en libertad en 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 la electricidad y el magnetismo. Observa que cuando la aguja de una brújula se sitúa cerca de un alambre por el que circula una corriente, ésta experimenta una desviación. Nace el **electromagnetismo**.

1. INTRODUCCIÓN

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



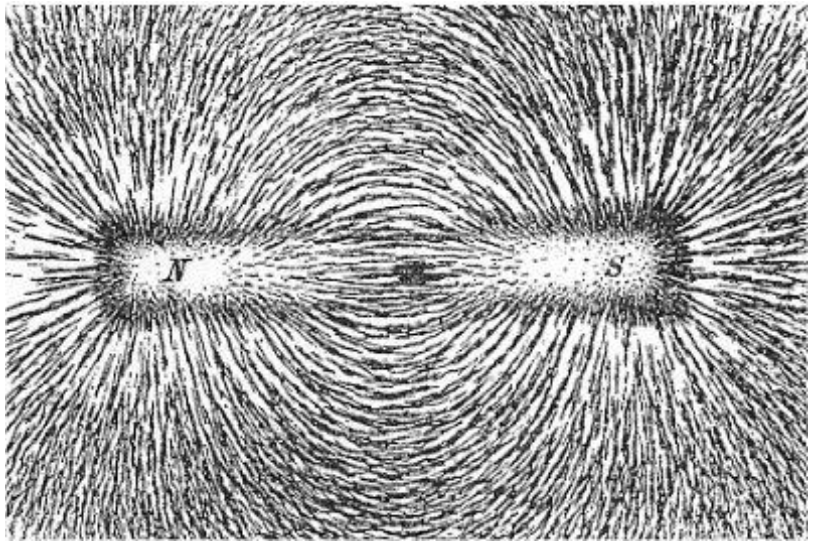
- En 1860 James Clerk Maxwell establece las **Leyes del Electromagnetismo** que explican todos los fenómenos electromagnéticos de la Física Clásica.

1. INTRODUCCIÓN

Los imanes se atraen o repelen entre sí, de manera similar a las cargas eléctricas.

Los polos de un imán se denominan *polo norte* y *polo sur*, presentan analogía con las cargas + y -.

Una diferencia fundamental con la electricidad es que es imposible aislar un polo magnético.



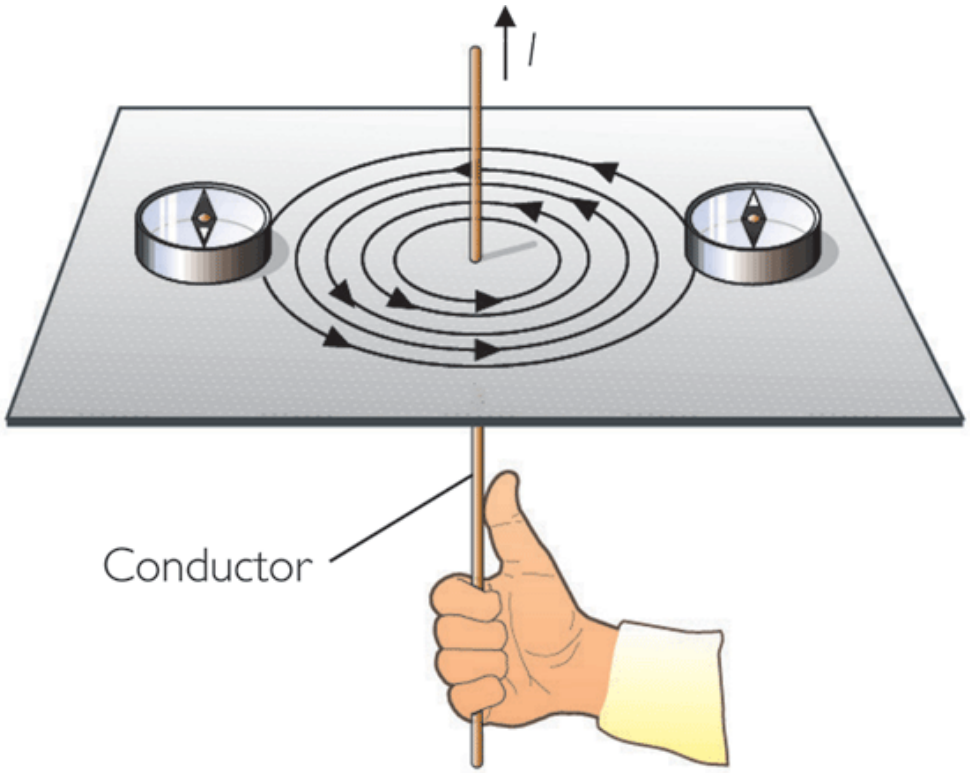
En la región del espacio donde se observan las fuerzas magnéticas se dice que hay un campo magnético **B**.

1. INTRODUCCIÓN

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

Las líneas de campo eléctrico tienen la misma dirección que la fuerza eléctrica sobre una carga positiva, mientras que las líneas de campo magnético son perpendiculares a la fuerza magnética sobre la carga móvil.

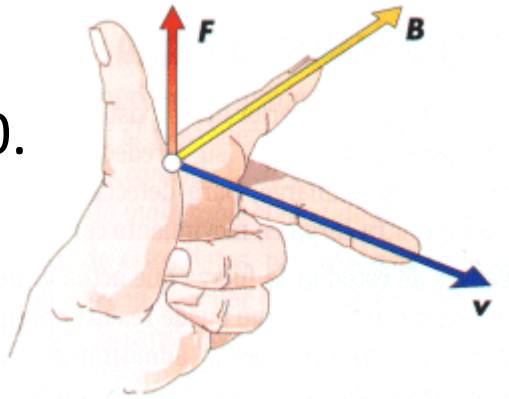
Las líneas de campo eléctrico empiezan en las cargas positivas y acaban en las negativas, mientras que las del campo magnético son líneas cerradas.



2. FUERZA DE LORENTZ

Cuando una carga eléctrica q se mueve con velocidad **v**, dentro de un campo magnético **B**, sobre ella aparece una fuerza **F** tal que:

1) Si **v**=0 entonces **F**=0. No pasa nada.
2) Si **v** es paralelo a **B**, la partícula no se desvía, **F**=0.
3) F es normal a v y a B.
4) La |**F**| es proporcional a |**B**|, |**v**|, q y senθ



Estas propiedades se resumen en la ley de Loretnz:

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

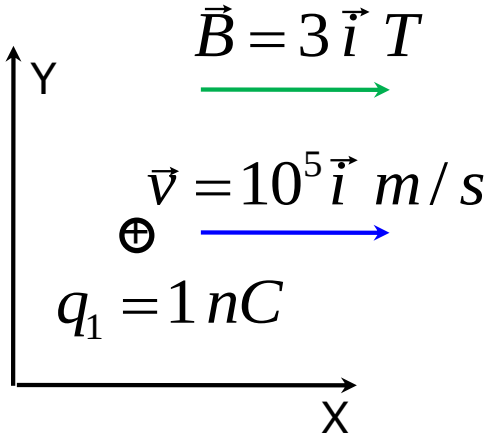
La unidad de campo magnético en el sistema internacional es el Tesla (T). También se suele utilizar el Gauss (G), que es la unidad en el sistema c.g.s.

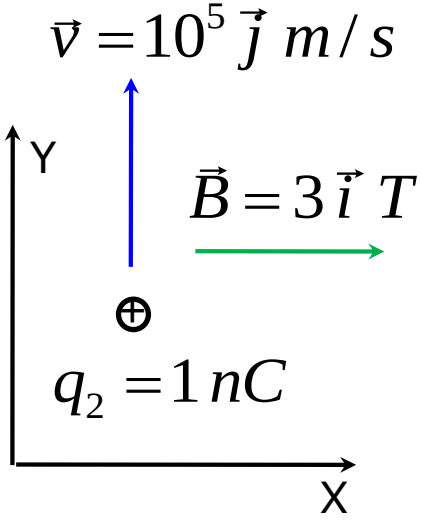
$$[B] = \frac{[F]}{[q][v]} = MT^{-1}C^{-1} = \text{Tesla (SI)} \qquad 1\,T = 10^4\,G$$

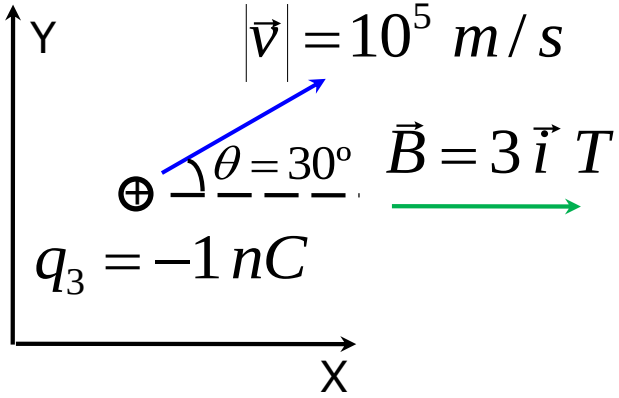
2. FUERZA DE LORENTZ

Ejercicio

Calcular la fuerza que experimenta la carga en las tres situaciones siguientes:







2. FUERZA DE LORENTZ

Supongamos un conductor por el que pasa cierta corriente I en una región del espacio donde existe un campo magnético $\vec{B}$ homogéneo. Los portadores de carga se desplazan con una velocidad efectiva $\vec{v}_d$.

El campo magnético interacciona con cada una de las partículas cargadas cuyo movimiento produce la corriente:

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

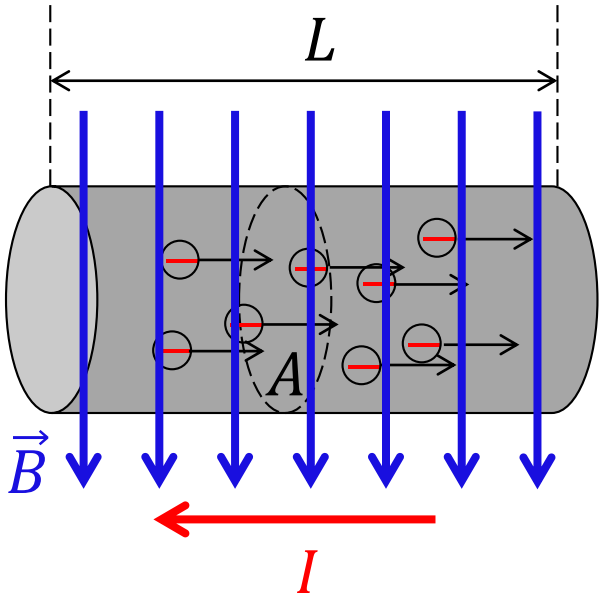
Y la fuerza sobre todo el elemento de corriente será:

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

Como $I = nqA\vec{v}_d$, la fuerza neta será:

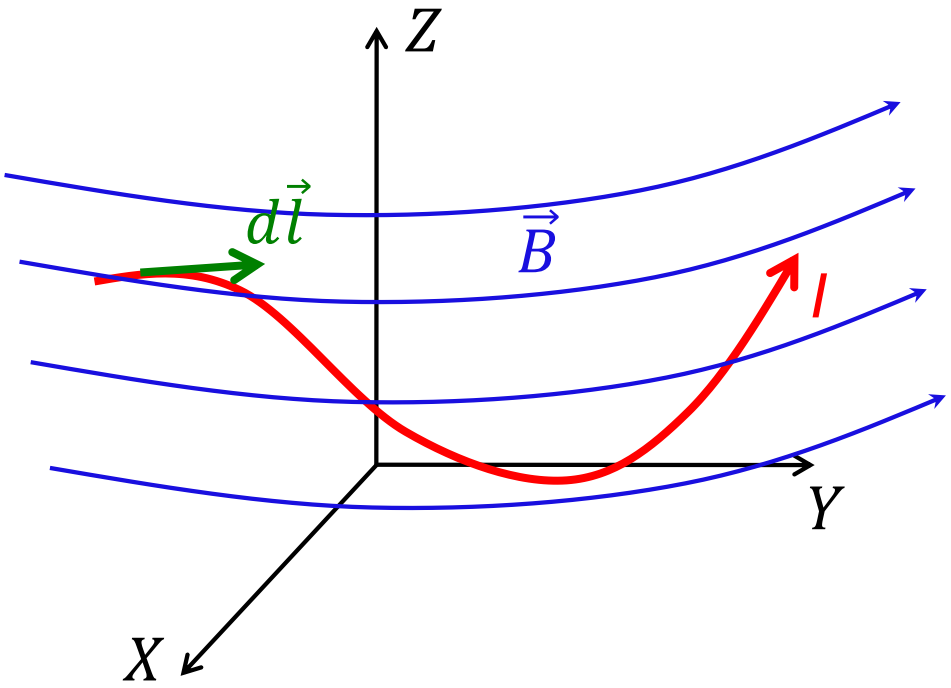
$$\boxed{\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B})}$$

Siendo $\vec{L}$ un vector de módulo igual a la longitud del conductor, cuya dirección coincide con la de la corriente.



2. FUERZA DE LORENTZ

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



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

Si integramos a lo largo del cable:

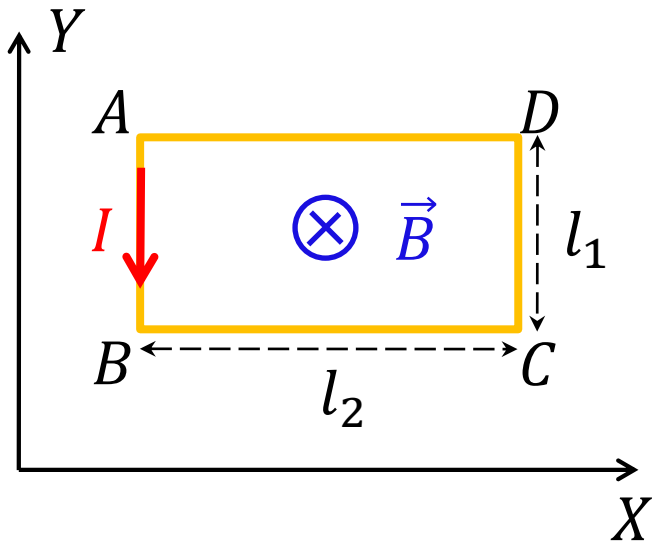
$$\vec{F} = \int_{l_i}^{l_f} I\left(d\vec{l} \times \vec{B}\right)$$

Al producto Idl se le llama *elemento de corriente.*

2. FUERZA DE LORENTZ

Caso de circuitos cerrados: Para circuitos cerrados se cumple que la fuerza neta siempre es cero, independientemente de la forma o intensidad del campo magnético.

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



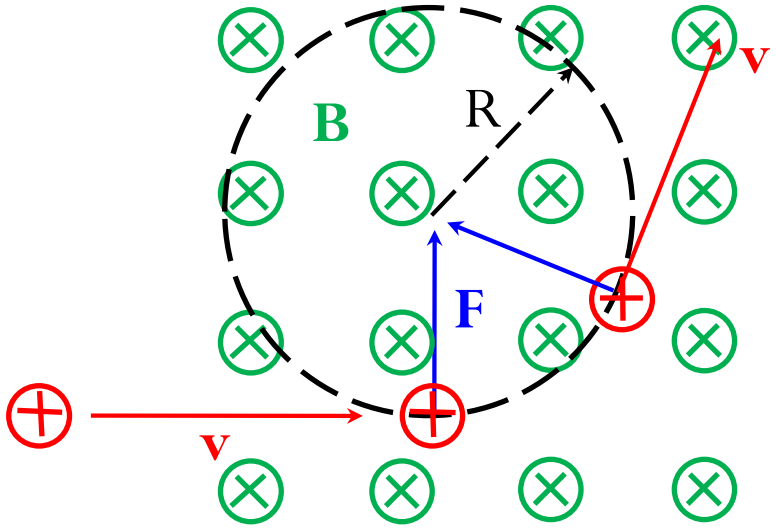
$\vec{B}$ uniforme y ⊥ al plano que contiene la espira:

$$\left.\begin{aligned}\vec{F}_{AB} &= I\vec{l}_{AB}\times\vec{B} = Il_1B\vec{i}\\ \vec{F}_{BC} &= I\vec{l}_{BC}\times\vec{B} = Il_2B\vec{j}\\ \vec{F}_{CD} &= I\vec{l}_{CD}\times\vec{B} = -Il_1B\vec{i}\\ \vec{F}_{DA} &= I\vec{l}_{DA}\times\vec{B} = -Il_2B\vec{j}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \sum \vec{F}_i = 0$$

3. TRAYECTORIA DE PARTÍCULAS CARGADAS EN PRESENCIA DE CAMPOS MAGNÉTICOS

La trayectoria de una carga puntual de carga q y masa m que se mueve perpendicularmente a las líneas de un campo magnético es la resultante de la fuerza de Lorentz y la fuerza centrífuga:

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



Se define la frecuencia angular ciclotrón como:

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

El periodo será:

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

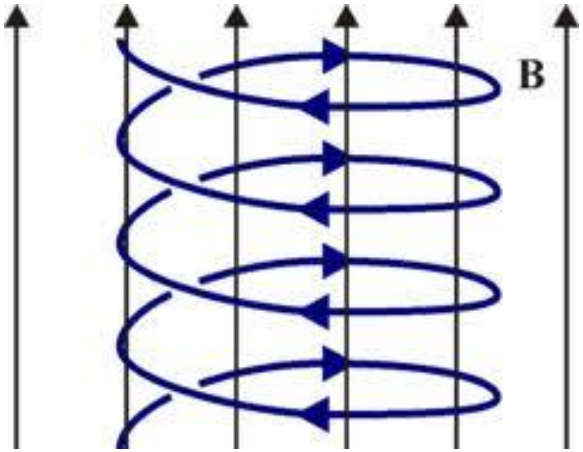
Ni el periodo ni la velocidad angular dependen de la velocidad de la carga

3. TRAYECTORIA DE PARTÍCULAS CARGADAS EN PRESENCIA DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Movimiento helicoidal: La trayectoria de una carga puntual en caso de que su velocidad no sea perpendicular al campo magnético es una hélice.

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

$$\left.\begin{array}{c}\vec{F} = q(v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}) \times (B\vec{k}) = qv_yB\vec{i} - qv_xB\vec{j} \\ \vec{F} = m\vec{a}\end{array}\right\}$$



- La fuerza sólo actúa en el plano XY y es ⊥ a $v_{\perp}$
- $v_z \neq 0 \Rightarrow$ La trayectoria no es plana.

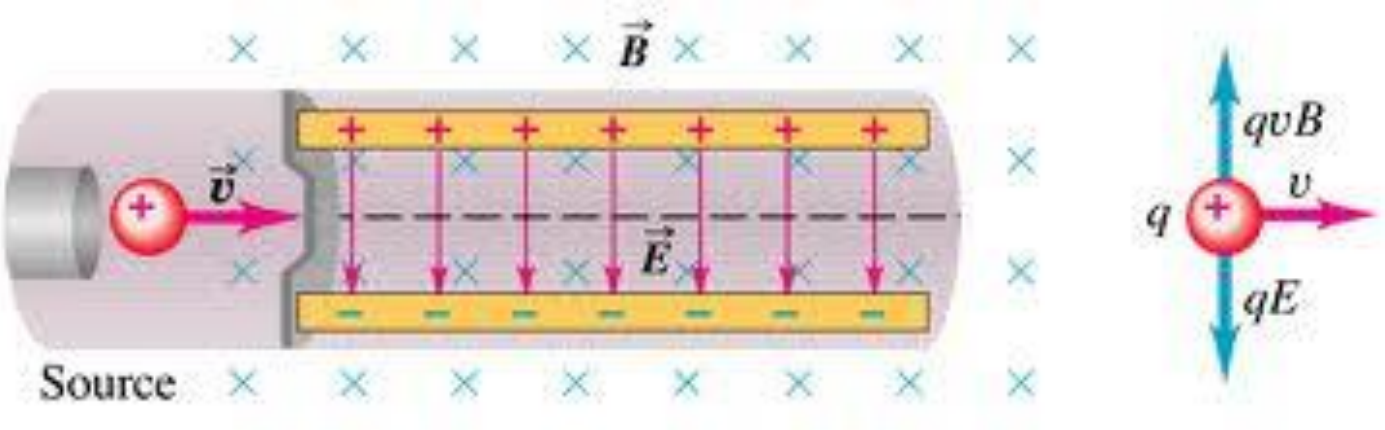
Trayectoria helicoidal con eje || a ***B*** y radio:

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

3. TRAYECTORIA DE PARTÍCULAS CARGADAS EN PRESENCIA DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Aplicación: selector de velocidades

Consta de un campo eléctrico y un campo magnético cruzado. La velocidad de las partículas a la salida es siempre la misma:

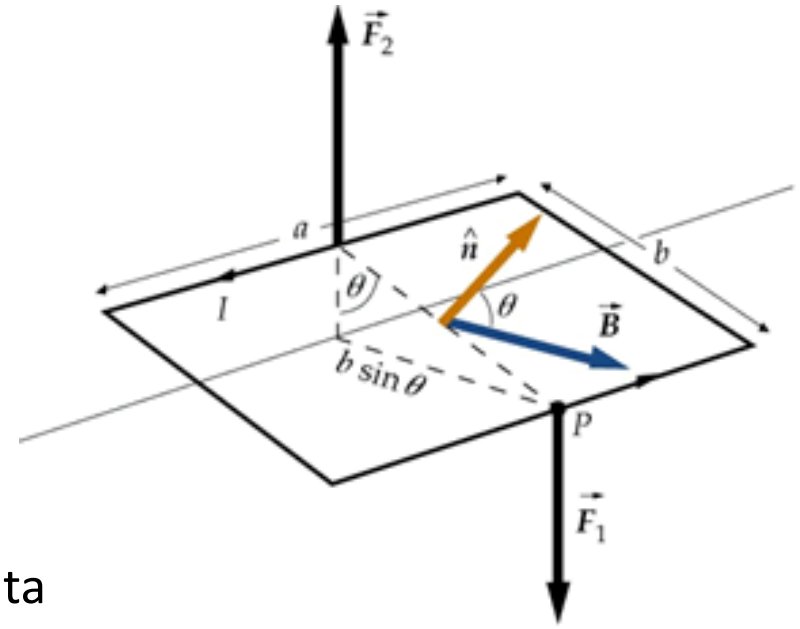


Si $\vec{E} \perp \vec{B}$, cuando $qvB = qE \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

Sólo pasan cargas eléctricas cuya velocidad sea $v = \frac{E}{B}$

4. MOMENTOS DE FUERZA SOBRE ESPIRAS DE CORRIENTE E IMANES. MOMENTO MAGNÉTICO

El momento de las fuerzas que ejerce un campo magnético sobre una espira plana por la que circula una corriente I, cuyo vector unitario perpendicular al plano que la contiene $(\hat{n})$, forma un ángulo θ con el campo, es tal que tiende a girar la espira de modo que el vector $\hat{n}$ tenga la misma dirección que $\vec{B}$.



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

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

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

$$\vec{\mu} = I\vec{A}, \quad \text{siendo } \vec{A} \text{ el vector superficie.}$$