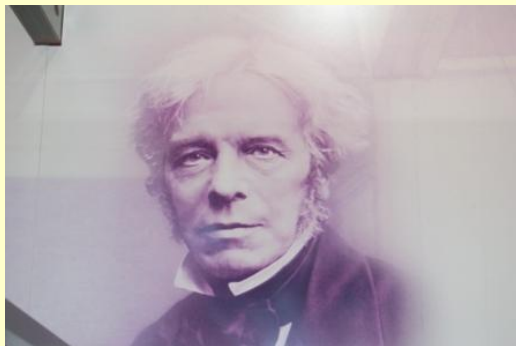


Prerrequisitos para magnetismo

- Antes de comenzar el estudio del electromagnetismo, debes revisar tus conocimientos sobre:
 - Producto vectorial de dos vectores: módulo y dirección (regla de la mano derecha y regla del tornillo).
 - Momento ó par de un vector (fuerza).
 - Vector superficie de una superficie plana.

Lección 6: Fuerzas magnéticas

- Introducción. Campo Magnético.
- Fuerzas ejercidas por un campo magnético:
 - Fuerza sobre una carga eléctrica en movimiento.
 - Aplicación: Efecto Hall.
 - Fuerza sobre un conductor con corriente.
 - Efecto de un campo magnético uniforme sobre una espira plana con corriente. Momento magnético. Motor eléctrico.



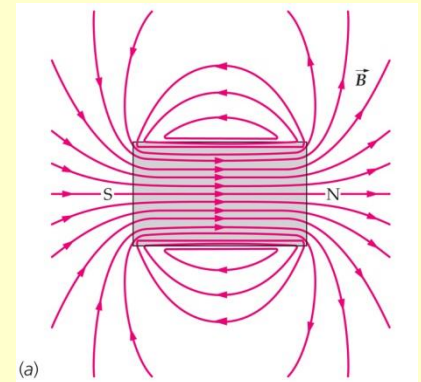
Introducción. Campo magnético

- Imanes: Sus polos **se atraen** o se **repelen** igual que las cargas eléctricas.
- Polos de un imán: *polo norte* y *polo sur* (similar a cargas + y -).

Diferencias Polos Magnéticos – eléctricos:

- Los polos magnéticos no pueden aislarse. Los **monopolos** magnéticos no existen.
- Si rompes un imán en dos trozos, **los dos trozos tienen sus polos norte y sur**.

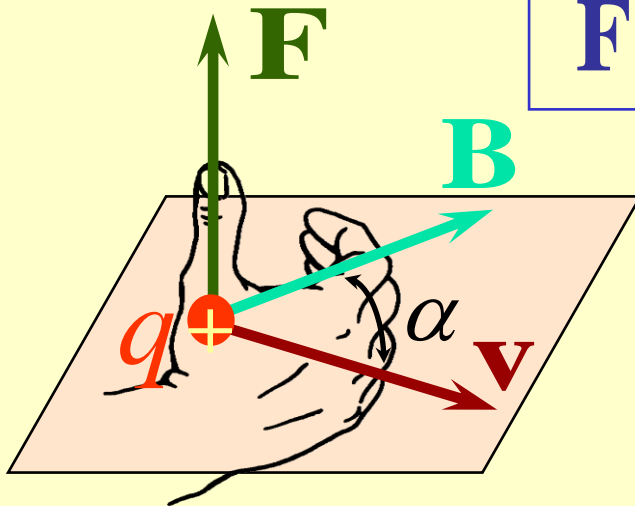
Donde se manifiestan los efectos de un imán, se dice que hay un **campo magnético (B)**. Un campo magnético puede representarse por un vector \vec{B} en cada punto del campo. Las líneas de campo son líneas tangentes a \vec{B} , como en un campo eléctrico.



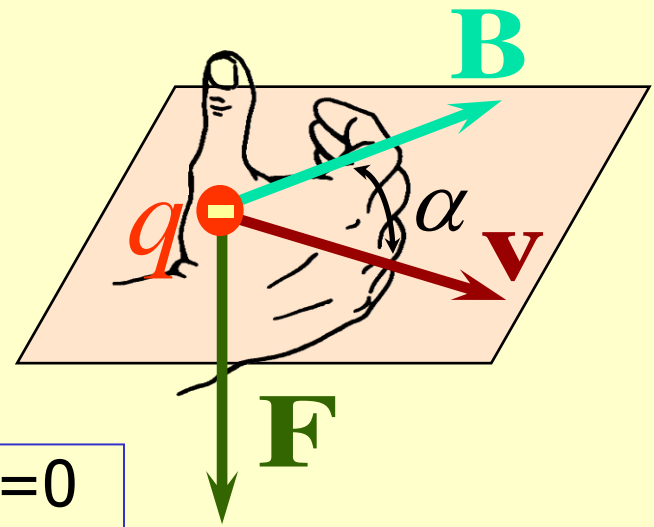
Fuerza sobre una carga en movimiento en un campo magnético

- Cuando una carga eléctrica q se mueve con velocidad \vec{v} dentro de un campo magnético \vec{B} , una fuerza \vec{F} aparece sobre la carga, dada por (**resultado experimental**) :

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



Regla de la mano derecha o regla del tornillo



Si v y B son paralelos $\rightarrow F=0$

$$[\mathbf{B}] = \frac{[\mathbf{F}]}{[q][\mathbf{v}]} = MT^{-2}I^{-1}$$

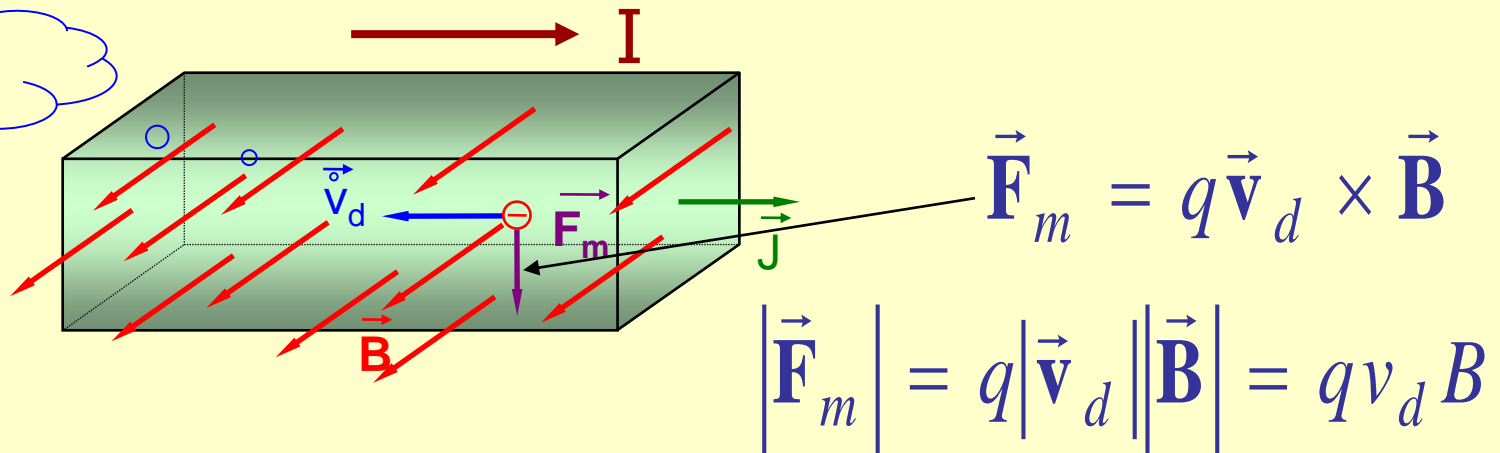
- Unidad S.I: *Tesla*.
- Otra unidad: *Gauss* $1 G=10^4 T$.
- Campo terrestre: $0,5 \times 10^4 T$.
- Resonancia magnética: $2 \sim 5 T$.

Aplicación: Efecto Hall

Ocurre cuando una **corriente I** circula por un conductor **dentro de un campo magnético perpendicular a I**.

Entonces, una fuerza magnética (\vec{F}_m) aparece sobre las cargas. Supongamos que las **cargas son electrones (-)**.

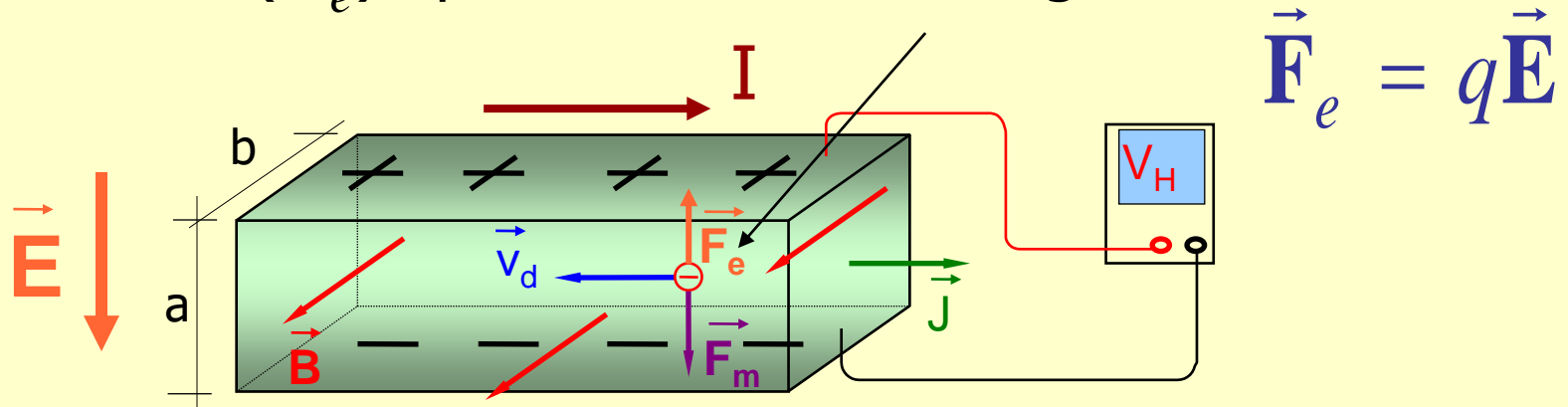
v_d es la velocidad de arrastre



La fuerza magnética separa las cargas positivas y negativas, perpendicularmente a la corriente eléctrica y al campo magnético.

Aplicación: Efecto Hall

Cuando las cargas se separan, aparece un campo eléctrico (y por tanto una diferencia de potencial), lo que provoca una fuerza eléctrica (\vec{F}_e) opuesta a la fuerza magnética:



En el equilibrio, las fuerzas magnética y eléctrica se equilibran:

$$F_m = F_e \Rightarrow qv_d B = qE \Rightarrow E = v_d B$$

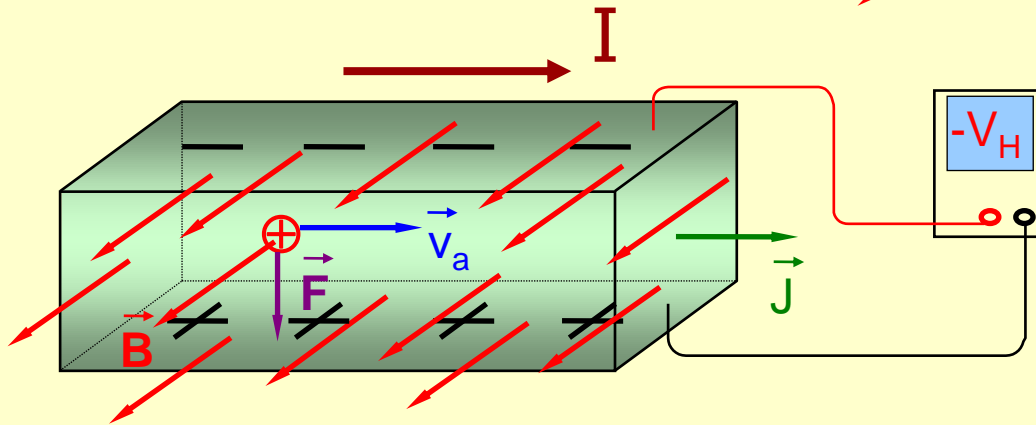
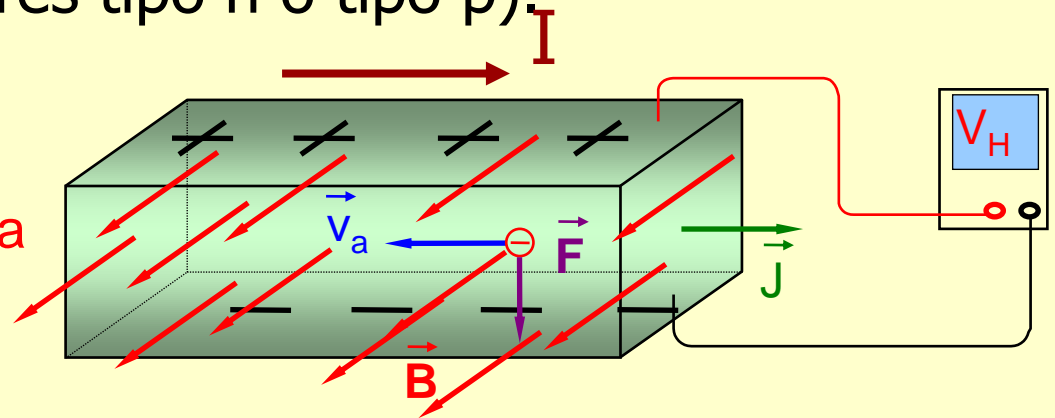
La d.d.p. V_H es el voltaje de Hall (del orden de μV):

$$V_H = Ea = v_d Ba = \frac{I}{nqS} Ba = \frac{IB}{nqb}$$

Aplicación: Efecto Hall

El signo de las cargas determina la polaridad de V_H (útil para distinguir semiconductores tipo n o tipo p).

Portadores de carga **Negativa**

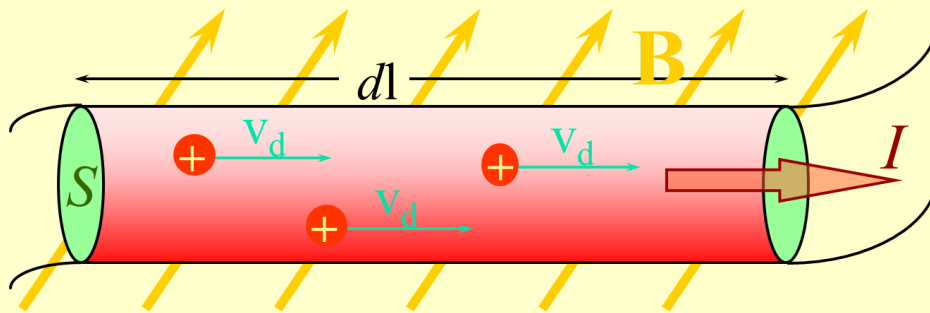


Portadores de carga **Positiva**

También es útil para construir **selectores de velocidad**. Sólo las cargas con la velocidad en la que se igualan las fuerzas eléctrica y magnética cruzan el conductor sin desviarse.

Fuerza en un conductor con corriente dentro de un B

- Cuando un **conductor con corriente** se encuentra en un **campo magnético**, la **fuerza** sobre el conductor es la suma de las fuerzas que actúan sobre **todas y cada una de las cargas** del conductor:
- Tomando un trozo de conductor infinitesimal (longitud **dl**), el **número total de portadores de carga** en dl es: **$nSdl$** .



n = densidad de portadores de carga

$$I = JS = nqv_d S$$

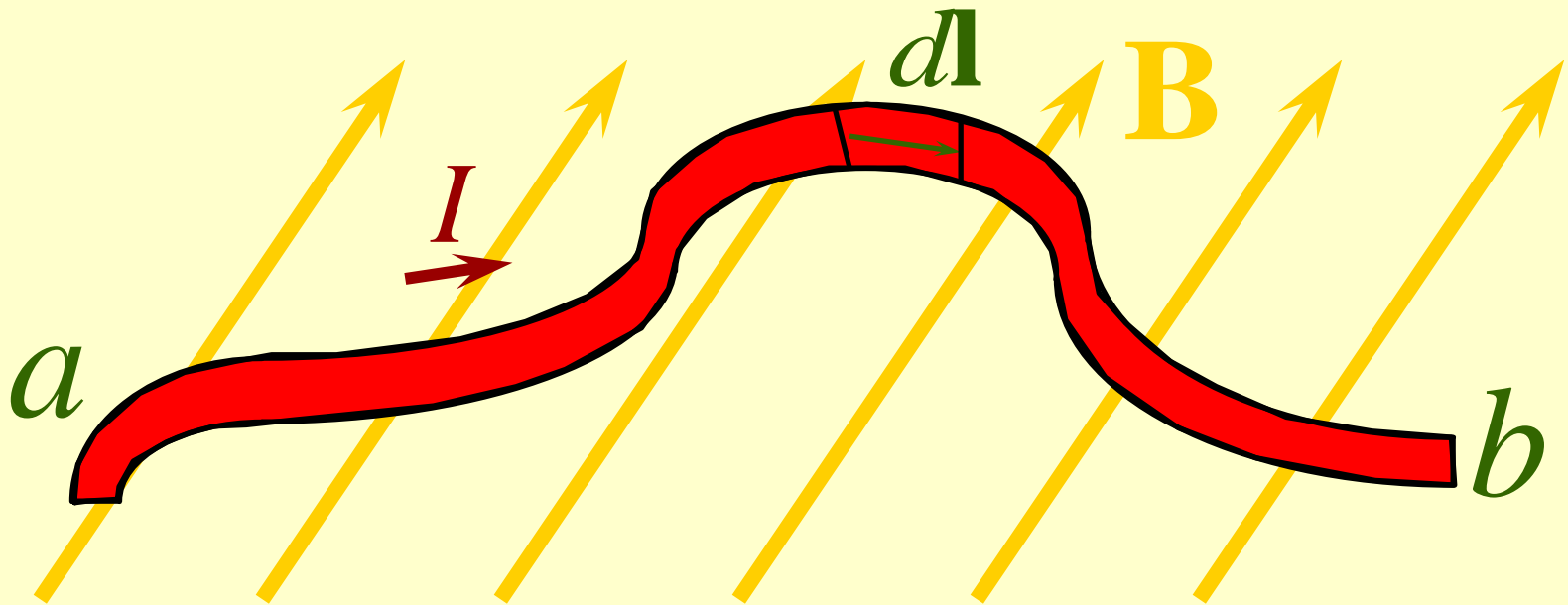
Y la fuerza sobre dl:
$$d\vec{F} = (q\vec{v}_d \times \vec{B})nSdl = Id\vec{l} \times \vec{B}$$

CUIDADO: \vec{dl} es un vector en el mismo sentido que v_d e I

$Id\vec{l}$ se llama **elemento de corriente**

Fuerza en un conductor con corriente

- Si consideramos un conductor de una **forma cualquiera**, la fuerza total sobre el conductor será la suma (integral) de todas las fuerzas sobre él:

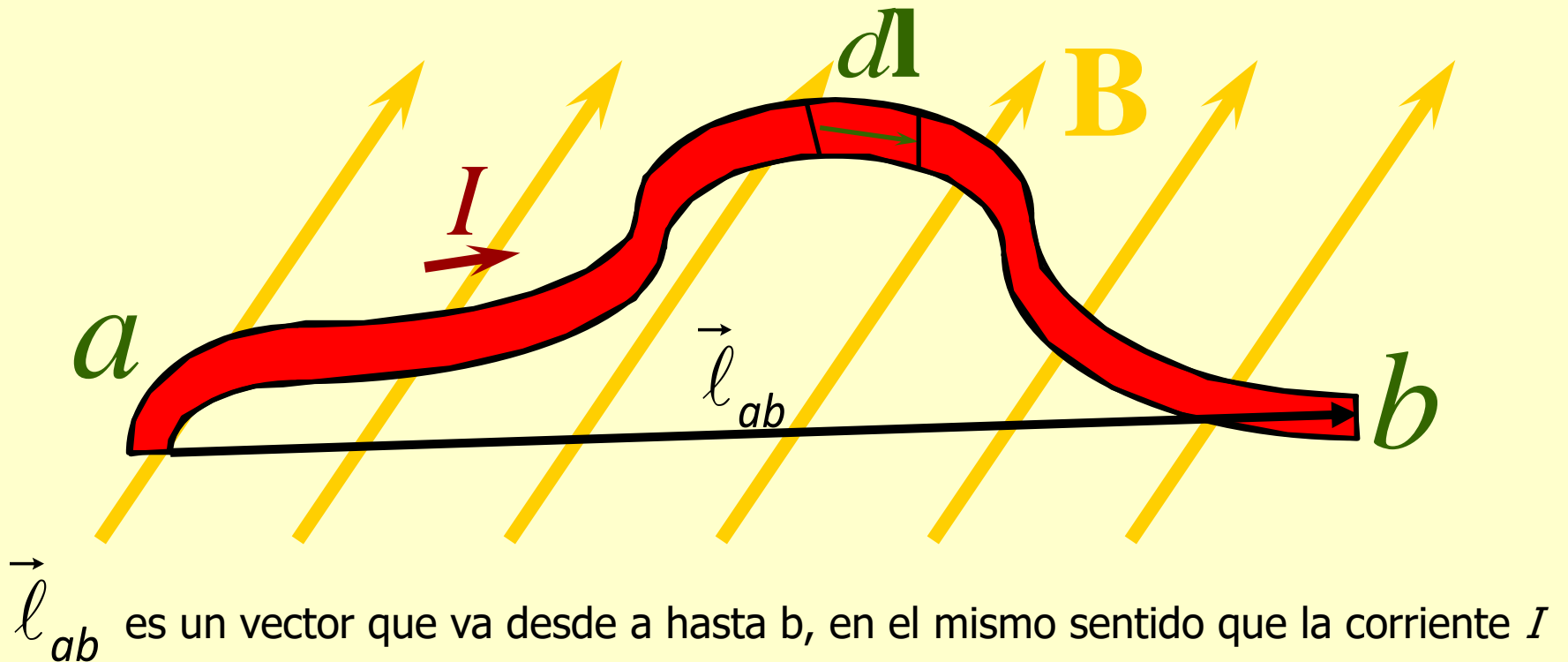


$$\vec{\mathbf{F}} = \int_a^b (I d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{B}}) = I \int_a^b d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{B}}$$

Fuerza en un conductor con corriente en un B uniforme

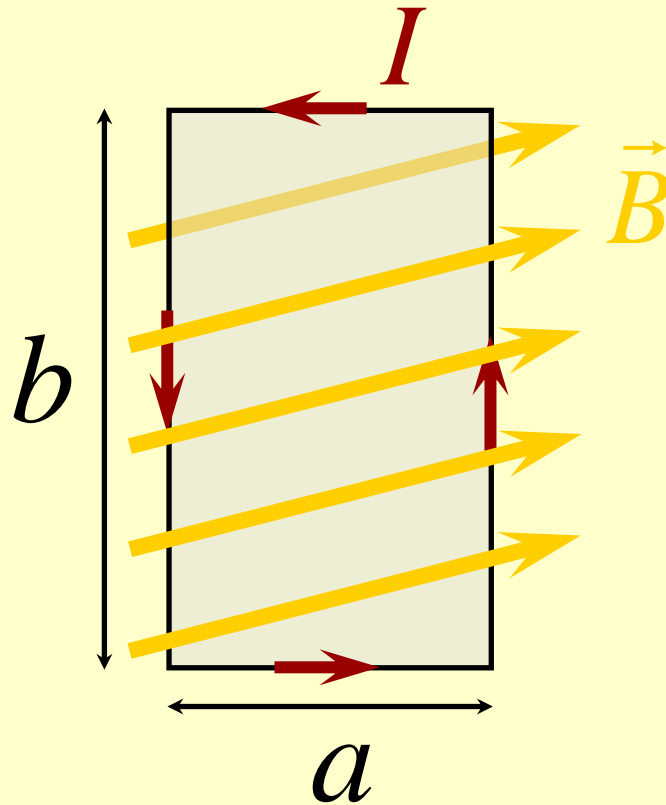
- Si el **campo magnético B es uniforme**:

$$\vec{F} = I \int_a^b d\vec{l} \times \vec{B} = I \left(\int_a^b d\vec{l} \right) \times \vec{B} = I \vec{\ell}_{ab} \times \vec{B}$$



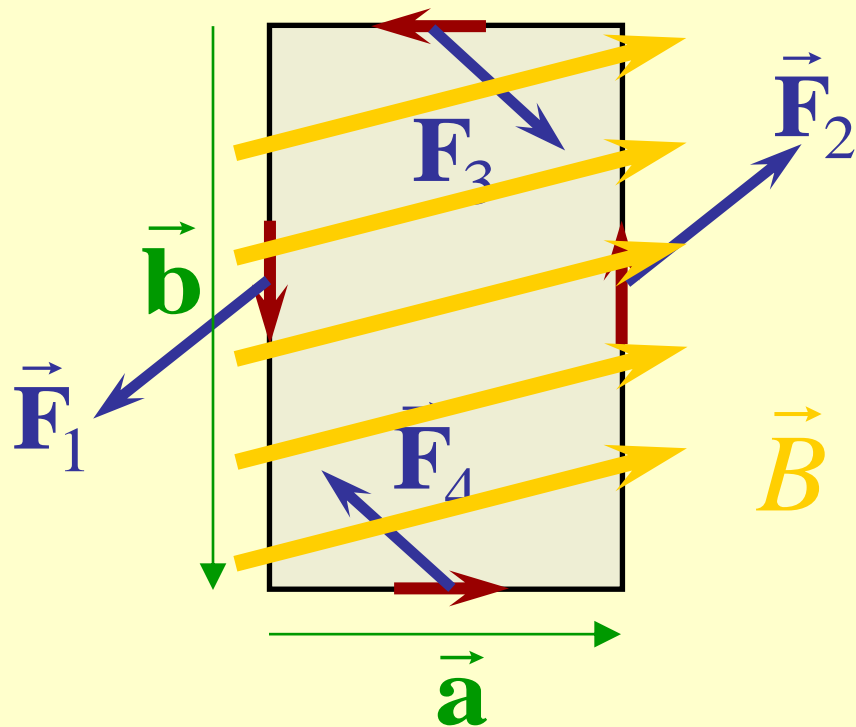
Efecto de un campo magnético uniforme sobre una espira plana con corriente. Momento magnético.

- Sea una espira plana dentro de un B uniforme, con una corriente I :



Efecto de un campo magnético uniforme sobre una espira plana con corriente. Momento magnético.

- En cada lado de la espira **actúa una fuerza**:



$$\vec{F}_1 = I\vec{b} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_2 = I(-\vec{b}) \times \vec{B} = -\vec{F}_1$$

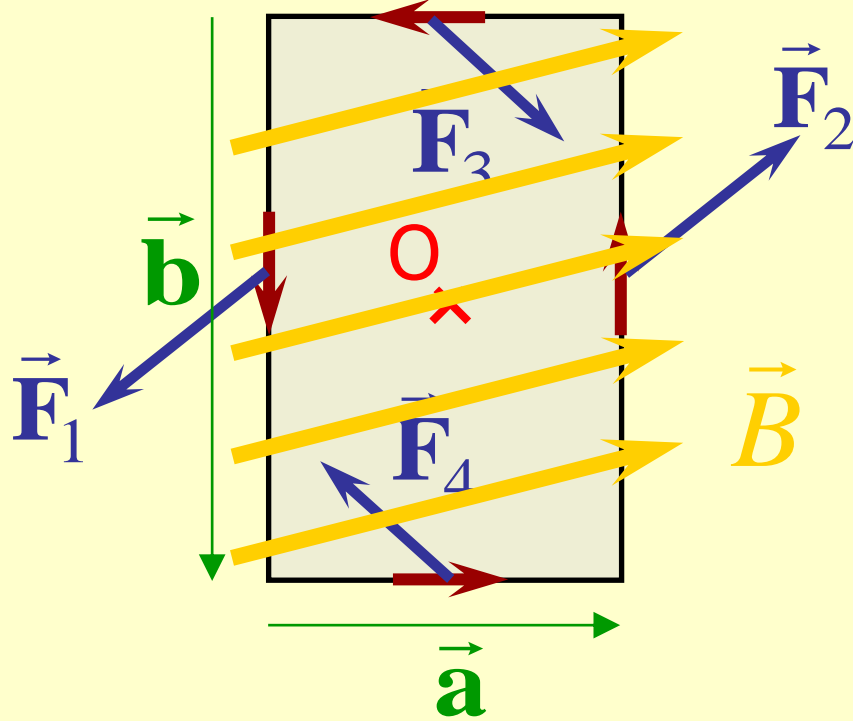
$$\vec{F}_3 = I(-\vec{a}) \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_4 = I\vec{a} \times \vec{B} = -\vec{F}_3$$

- La **fuerza resultante** en la espira es **cero**:
$$\vec{F} = \sum_{i=1}^4 \vec{F}_i = 0$$

Efecto de un campo magnético uniforme sobre una espira plana con corriente. Momento magnético.

- **Momento** de cada fuerza **con respecto al punto O** (centro de la espira):



$$\vec{\tau}_1 = -\frac{\vec{a}}{2} \times \vec{F}_1$$

$$\vec{\tau}_2 = \frac{\vec{a}}{2} \times \vec{F}_2$$

$$\vec{\tau}_3 = -\frac{\vec{b}}{2} \times \vec{F}_3$$

$$\vec{\tau}_4 = \frac{\vec{b}}{2} \times \vec{F}_4$$

Efecto de un **campo magnético uniforme** sobre una espira plana con corriente. Momento magnético.

- **Momento resultante** respecto de O es:

$$\vec{\tau} = \sum_{i=1}^4 \vec{\tau}_i = I(\vec{\mathbf{b}} \times \vec{\mathbf{a}}) \times \vec{\mathbf{B}}$$

$\vec{\mathbf{S}} = \vec{\mathbf{b}} \times \vec{\mathbf{a}}$ **vector superficie** de la espira (dirección dada por la corriente de la espira según la regla de la mano derecha)

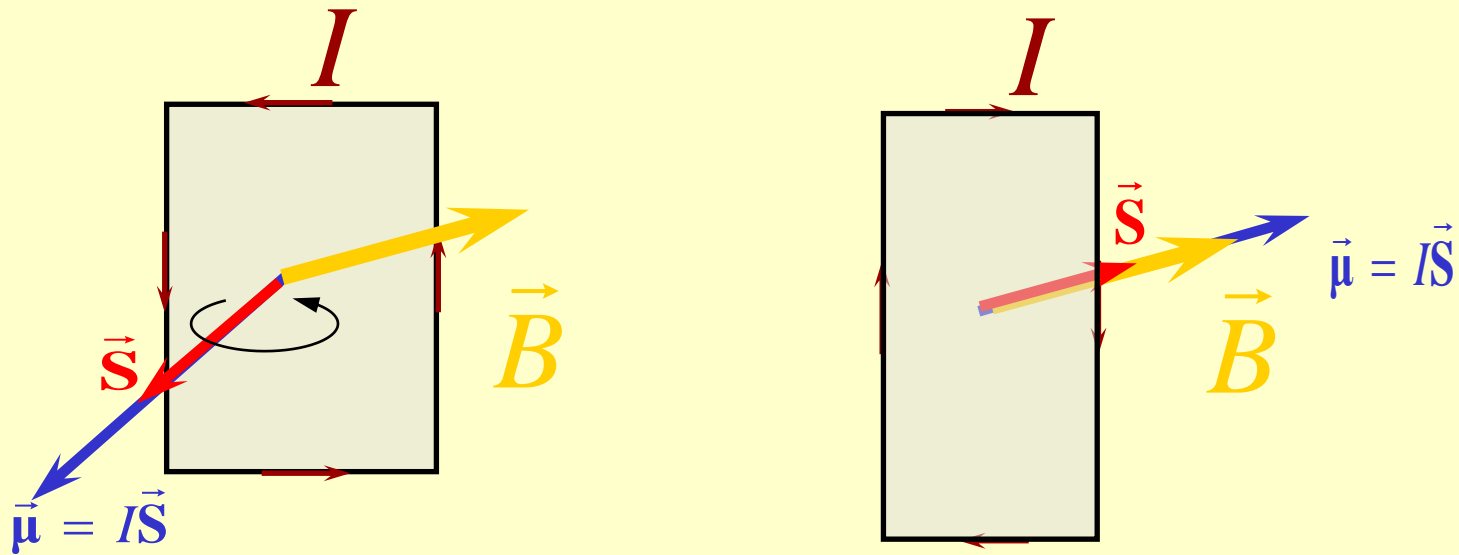
$\vec{\mu} = I\vec{\mathbf{S}}$ **momento magnético** de la espira $[\mu] = IL^2$

- Y el momento resultante sobre la espira puede escribirse:

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

Efecto de un campo magnético uniforme sobre una espira plana con corriente. Momento magnético.

- Al aplicar una I a una espira plana en un B uniforme, la espira gira hasta que el momento magnético μ queda alineado con B ($\tau=0$), quedando la espira en equilibrio.

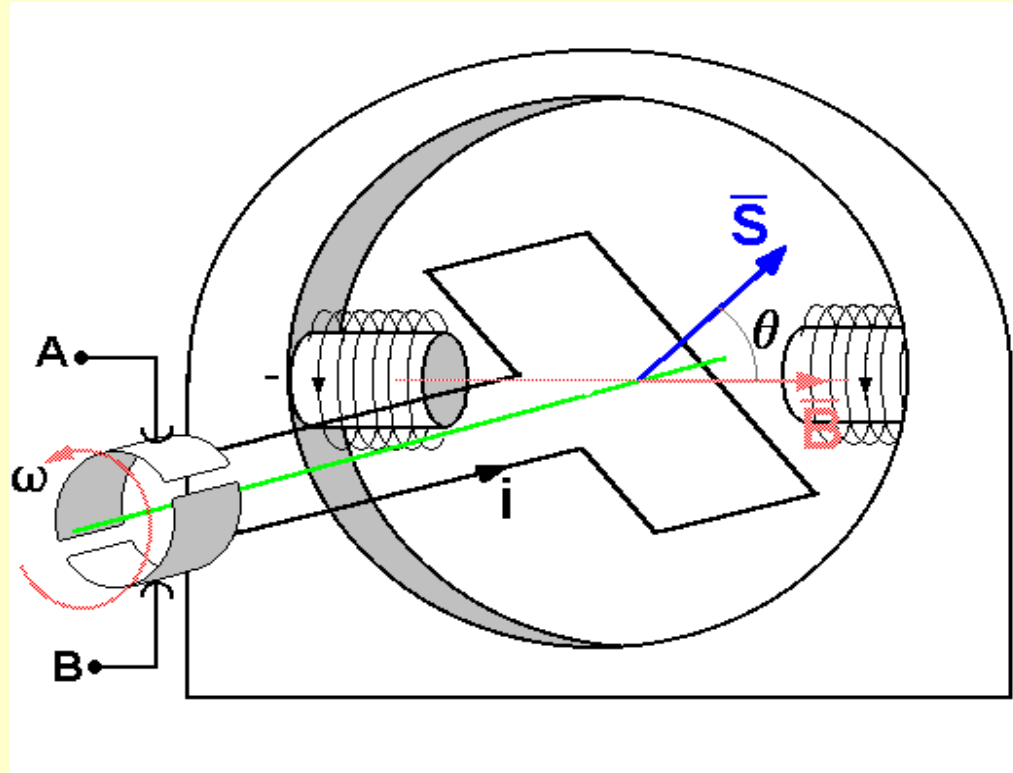


- Si no hay sólo una espira, sino varias (N) (una bobina):

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

Aplicación: motor eléctrico

Un motor eléctrico consiste en un conjunto de espiras con corriente dentro de un campo magnético. Su comportamiento es el de un receptor. Características: ε' and r'



$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \wedge \vec{B} = iNS \wedge \vec{B}$$

ε' y ω están
relacionadas
directamente

$$P = \tau_m \omega = \varepsilon' i \Rightarrow iNSB\omega = \varepsilon' i \Rightarrow \varepsilon' = k\omega$$

siendo $k = NSB$ un parámetro característico del motor