

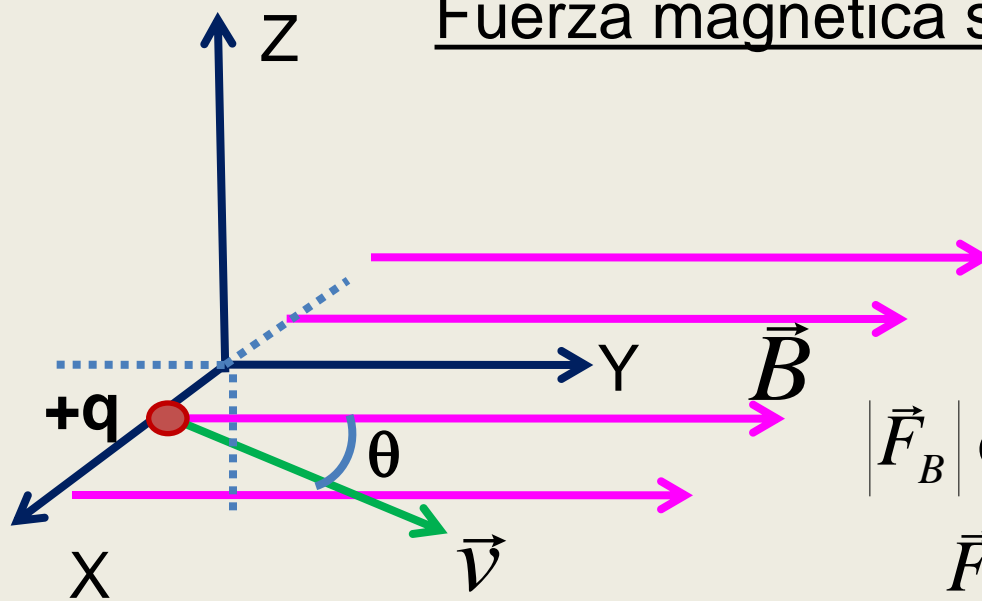
Movimiento de cargas en campos magnéticos.

Aplicaciones

Así como el **campo eléctrico** interactúa (**ejerce fuerzas**) sobre sus propias fuentes (**cargas eléctricas en reposo**), el **campo magnético** también **interactúa** con sus fuentes (**cargas en movimiento**) a través de la **fuerza magnética**.

Como las **cargas en movimiento** generan **corrientes eléctricas**, es de esperar que el campo magnético ejerza fuerzas sobre conductores que transportan corrientes estacionarias (experiencia de Oersted-Ampere)

Fuerza magnética sobre una carga en movimiento



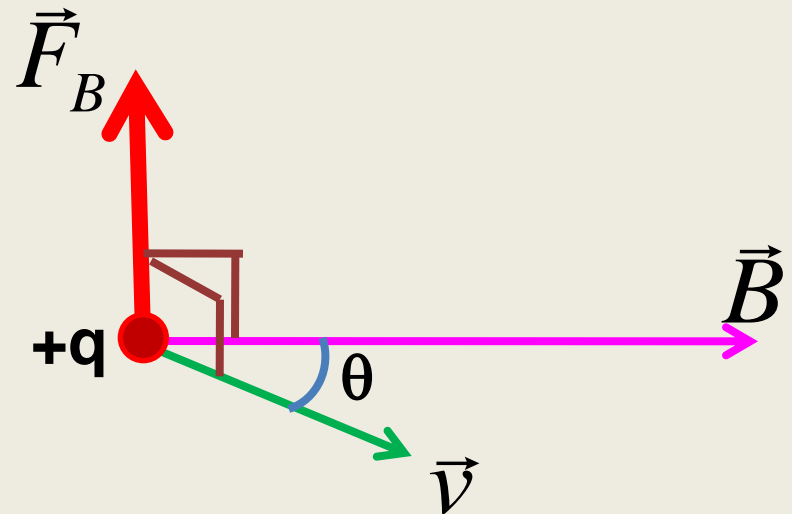
$$|\vec{F}_B| \propto q, v, B$$

$|\vec{F}_B|$ depende del ángulo $\theta \propto \text{sen}(\theta)$

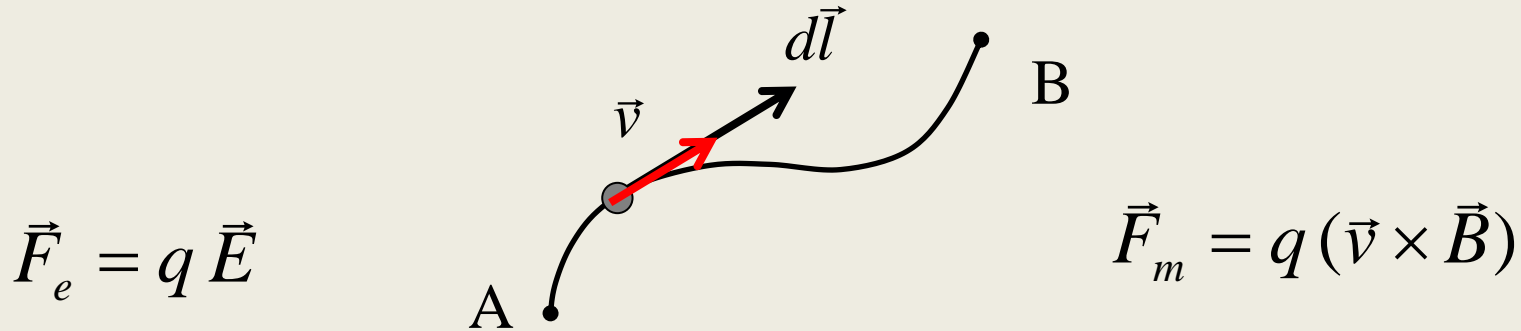
\vec{F}_B es perpendicular a \vec{v} y a \vec{B}

La expresión vectorial para la fuerza magnética es:

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



Diferencias entre fuerza eléctrica y magnética



$$\vec{F}_e // \vec{E}$$

Fuerza eléctrica **independiente** de la velocidad

El **trabajo** de una fuerza eléctrica es **no nulo**

$$W_e = \int_A^B \vec{F}_e \cdot d\vec{l} = \int_{t_A}^{t_B} \vec{F}_e \cdot \vec{v} dt \neq 0$$

$d\vec{l} = \vec{v} dt$

La **energía cinética** de la carga **puede cambiar**

$$\vec{F}_m \perp \vec{B}$$

Fuerza magnética actúa **sólo cuando** una carga se mueve

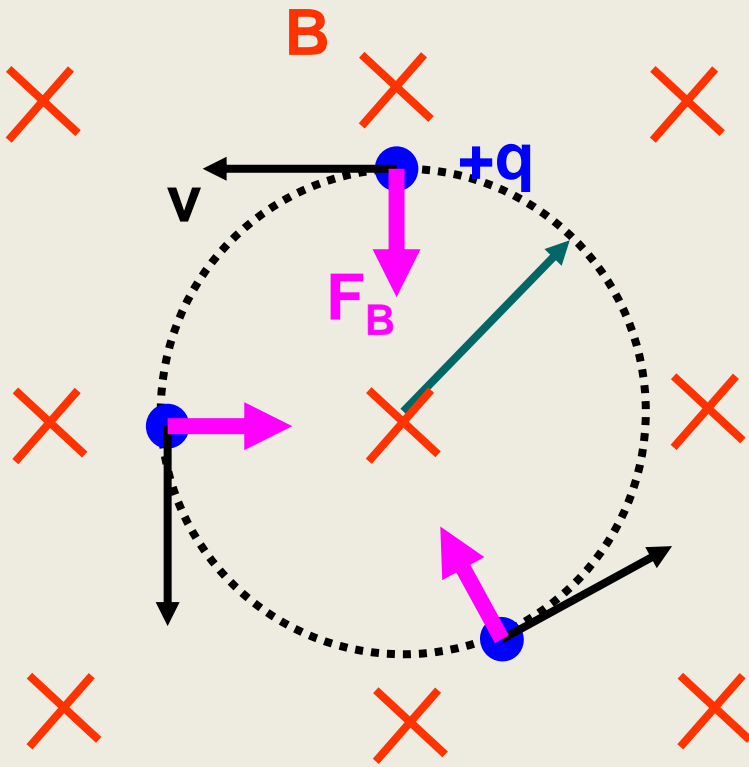
El **trabajo** de una fuerza magnética es **nulo**

$$W_m = \int_A^B \vec{F}_m \cdot d\vec{l} = \int_{t_A}^{t_B} \vec{F}_m \cdot \vec{v} dt = 0$$

$d\vec{l} = \vec{v} dt$

La **energía cinética** de la carga **NO** puede cambiar

Carga con velocidad constante en campo magnético uniforme

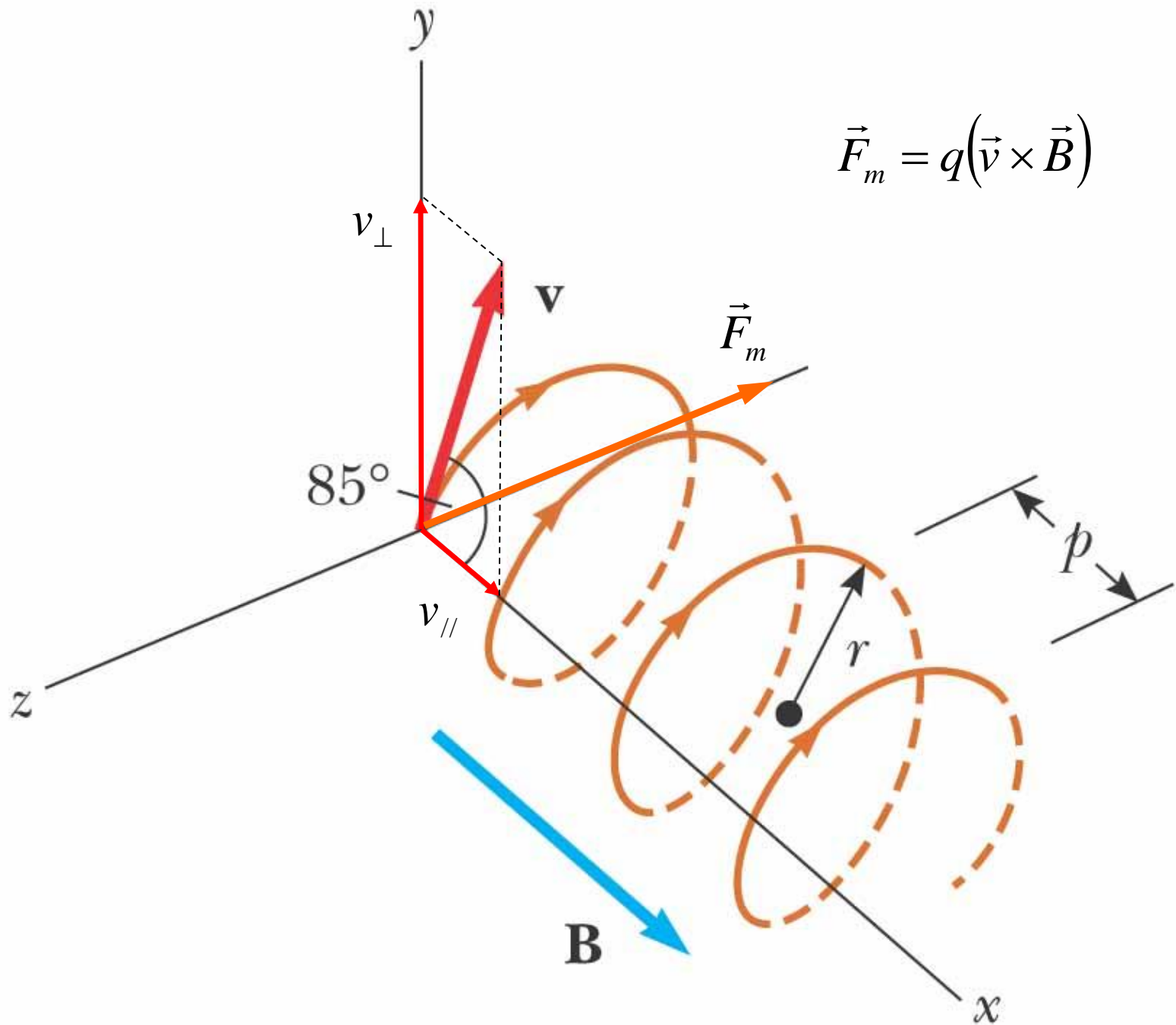


$|\vec{F}_B| = q v B = \frac{m v^2}{r}$ fuerza centrípeta
en trayectoria circular

$$r = \frac{m v}{q B}; \quad \omega = \frac{v}{r} = \frac{q B}{m} \quad (\text{frecuencia de ciclotrón})$$

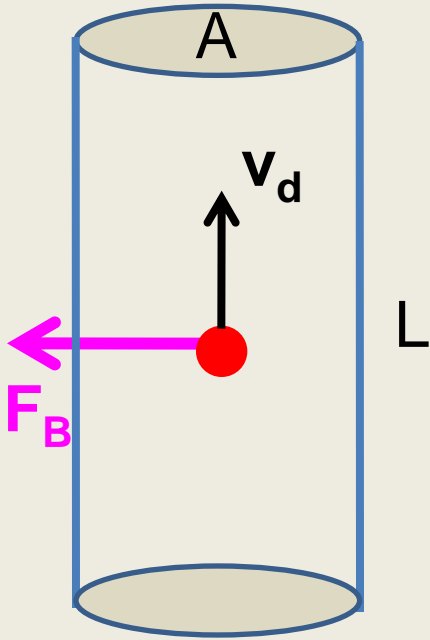
$$T = \frac{2 \pi}{\omega} = \frac{2 \pi m}{q B} \quad (\text{período de ciclotrón})$$

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



Fuerza magnética sobre un conductor que transporta una corriente estacionaria

B **X**



sobre una carga : $\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$

en un conductor: $\vec{v} = \vec{v}_d$

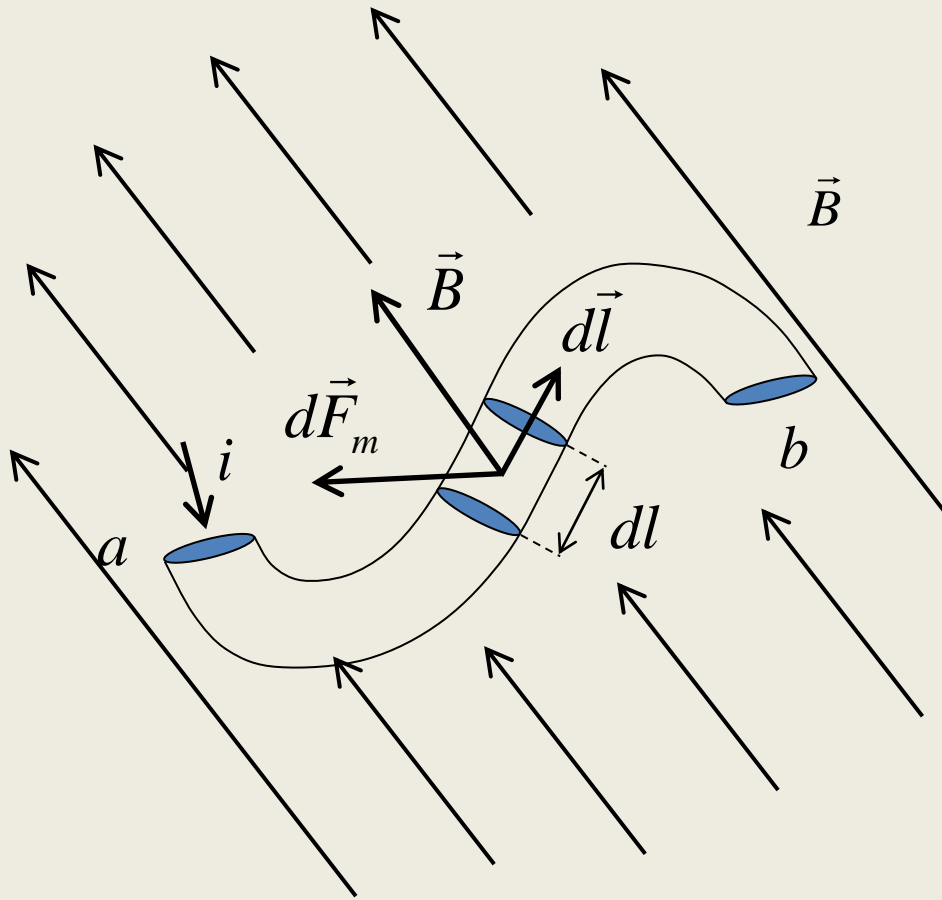
$n = \text{N}^\circ$ de portadores por unidad de volumen

\therefore la fuerza total sobre el conductor será:

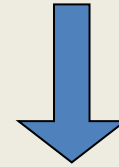
$$\vec{F}_B = (n A L) q \vec{v}_d \times \vec{B}; \text{ pero: } n q A v_d = I$$

$$\therefore \vec{F}_B = I \vec{L} \times \vec{B}$$

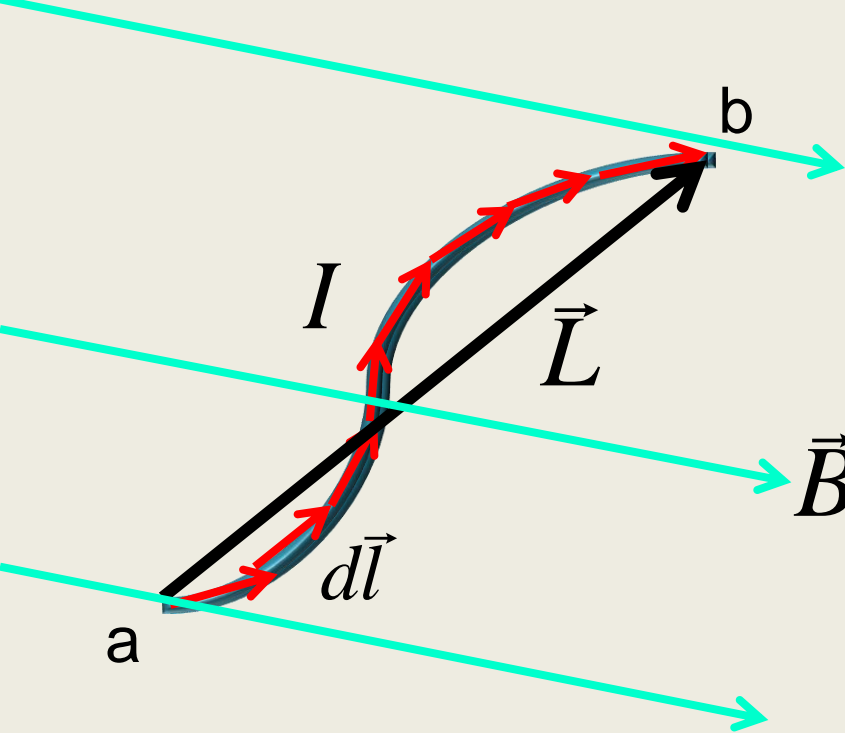
Fuerza magnética sobre un conductor con corriente



$$d\vec{F}_m = i(d\vec{l} \times \vec{B})$$



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



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

$$\vec{F}_B = I \int_a^b d\vec{l} \times \vec{B} ; \text{ si } \vec{B} \text{ es uniforme}$$

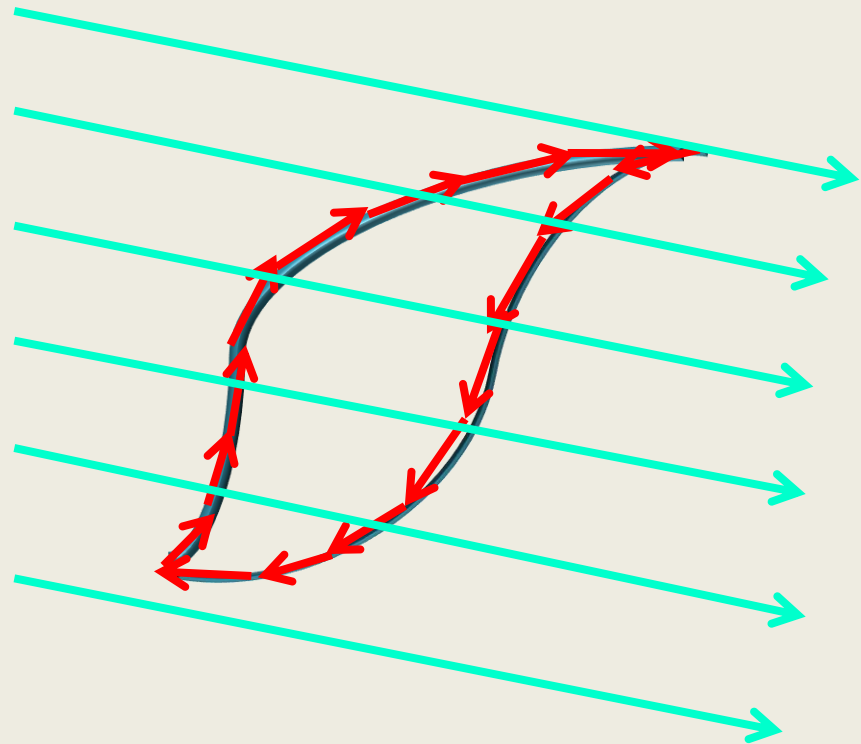
$$\vec{F}_B = I \left(\int_a^b d\vec{l} \right) \times \vec{B} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

Si el lazo de corrientes es cerrado

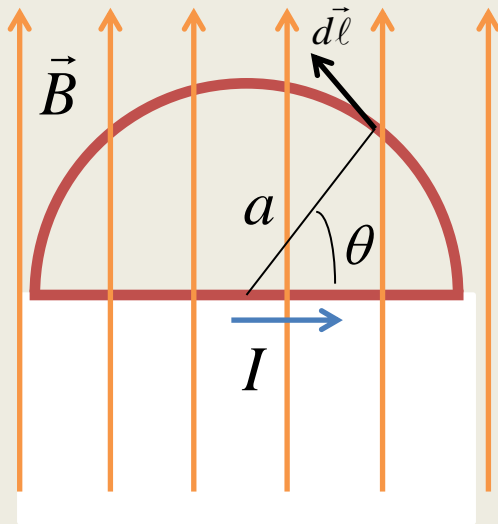
$$\vec{F}_B = I \left(\oint_{\text{lazo}} d\vec{l} \right) \times \vec{B} = 0$$



¡ suma vectorial !



Ejemplo: calcular la fuerza magnética sobre el conductor en presencia de un campo magnético



Sobre la parte recta la fuerza es saliente $\vec{F}_1 = i(\vec{l} \times \vec{B}) \quad |\vec{F}_1| = 2aI |\vec{B}|$

Sobre la parte curva la fuerza es entrante

$$d\vec{F}_2 = I(d\vec{l} \times \vec{B}) \quad |d\vec{F}_2| = I |d\vec{l}| |\vec{B}| \sin \theta$$

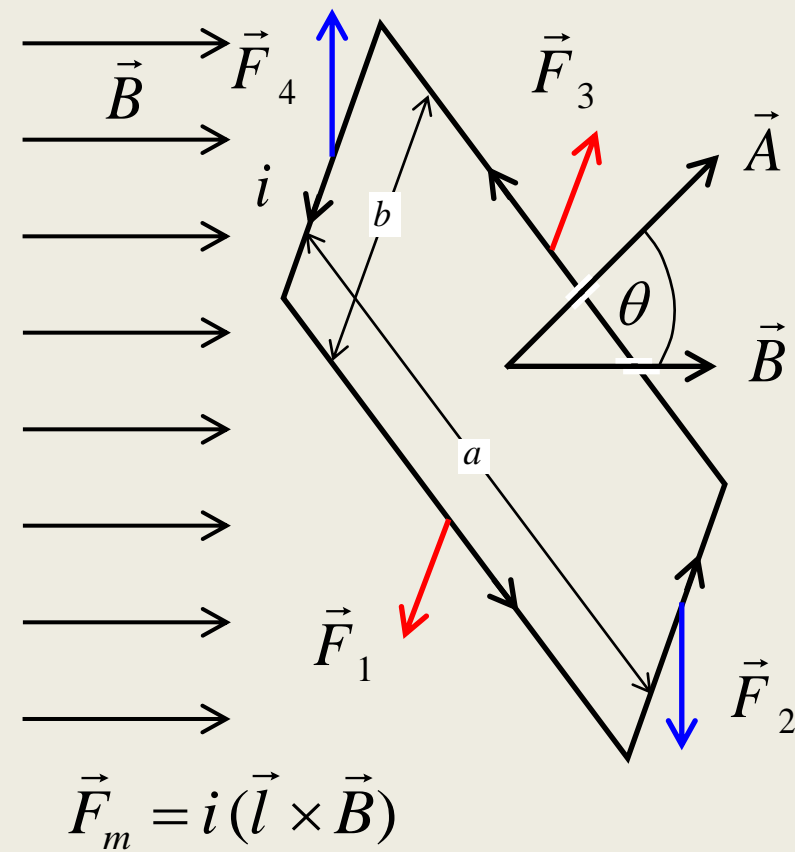
$$|\vec{F}_2| = \int I |\vec{B}| \sin \theta \, dl = \int_0^\pi aI |\vec{B}| \sin \theta \, d\theta$$

$$= 2aI |\vec{B}|$$

Sobre todo el conductor

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

Fuerzas sobre una espira de corriente



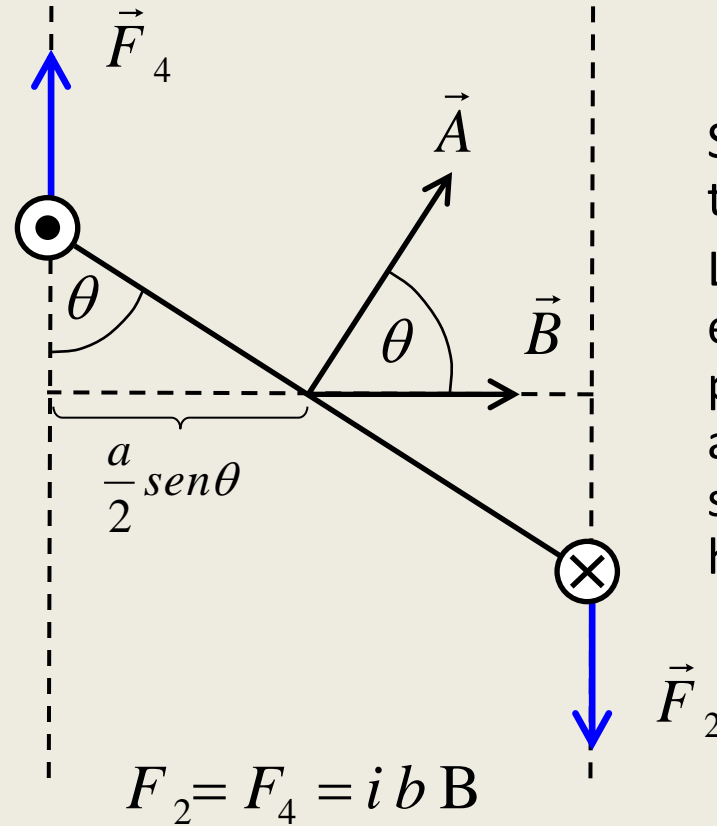
$$\begin{cases} \vec{F}_1 - \vec{F}_3 = 0 \\ \vec{F}_2 - \vec{F}_4 = 0 \end{cases}$$

$$\tau = iBA \sin\theta \Rightarrow \vec{\tau} = i(\vec{A} \times \vec{B})$$

$$\vec{\mu} = i\vec{A}$$

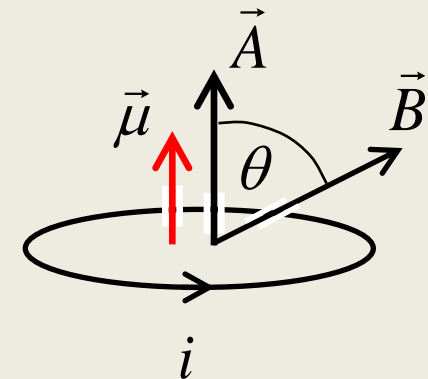
$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Momento magnético dipolar

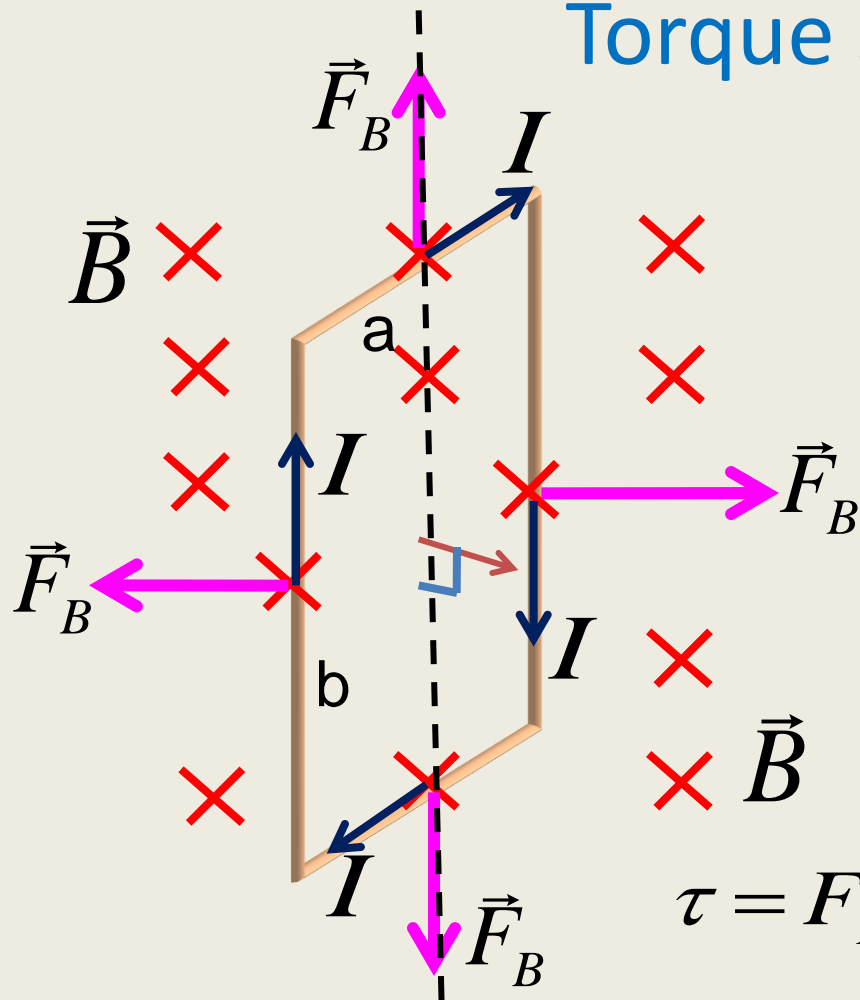


Se genera un torque

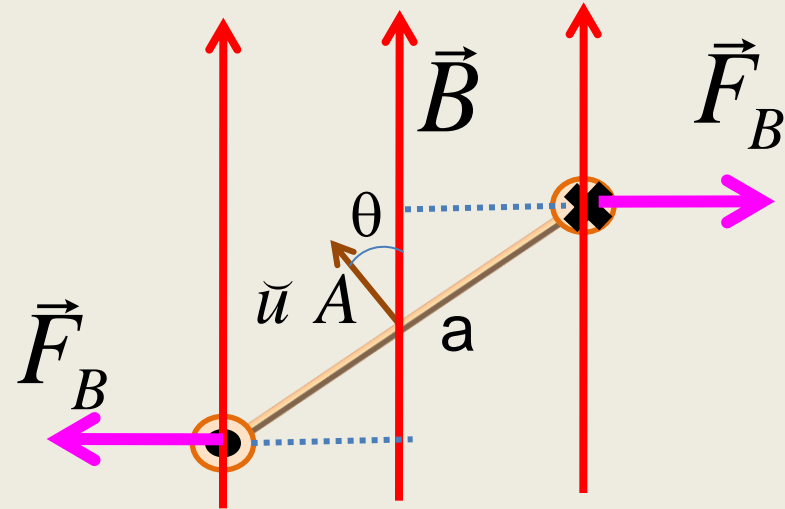
La espira rota en un eje perpendicular a la hoja en sentido horario



Torque sobre una espira



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



$$\tau = F_B \frac{a}{2} \text{sen}(\theta) + F_B \frac{a}{2} \text{sen}(\theta)$$

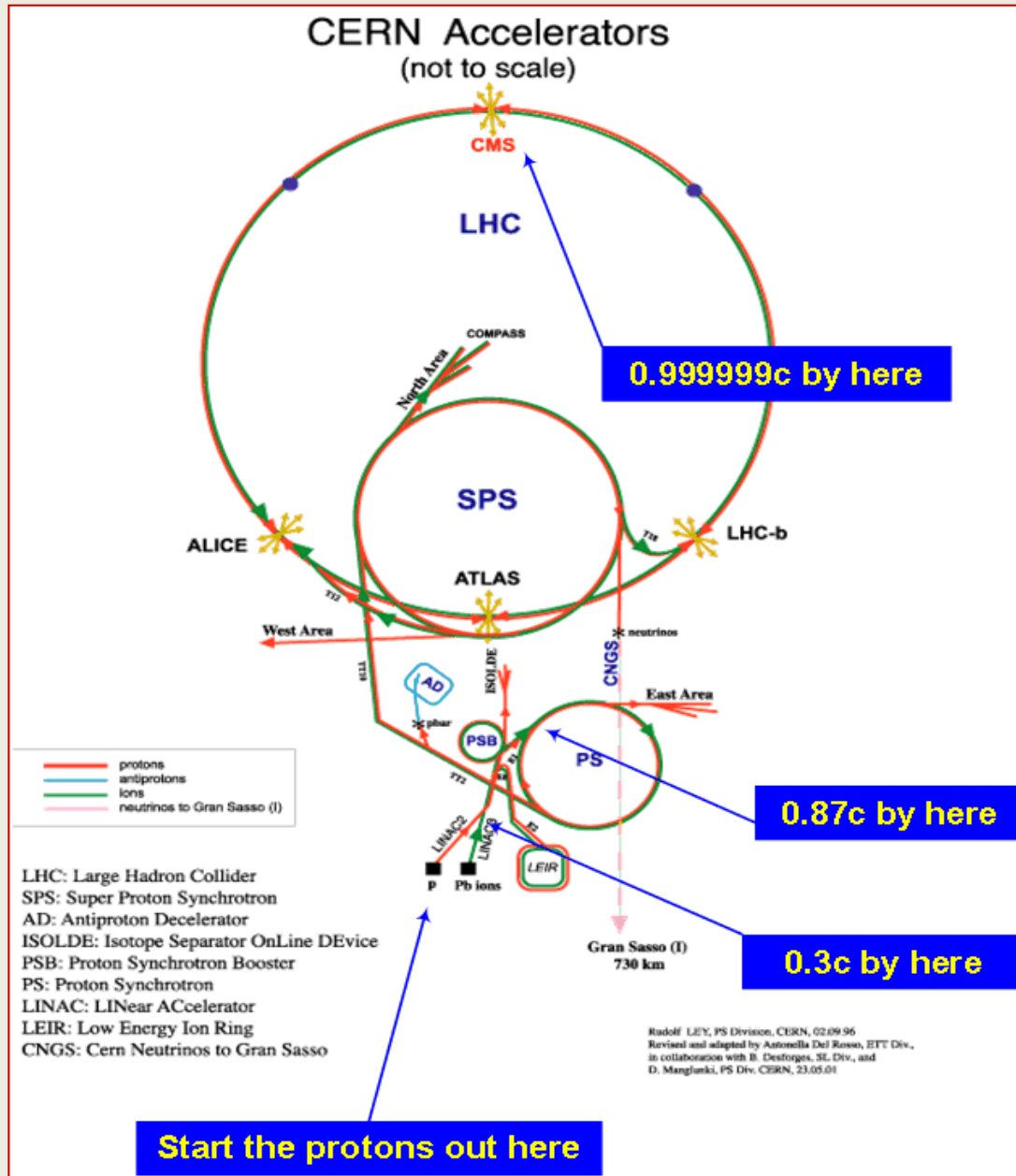
$$\tau = I b B a \text{sen}(\theta) = I A B \text{sen}(\theta)$$

$$\vec{\tau} = I \vec{A} \times \vec{B} \quad \text{Definimos: } \vec{\mu} = I \vec{A}$$

$\vec{\mu}$ Momento dipolar
magnético

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

Aplicaciones

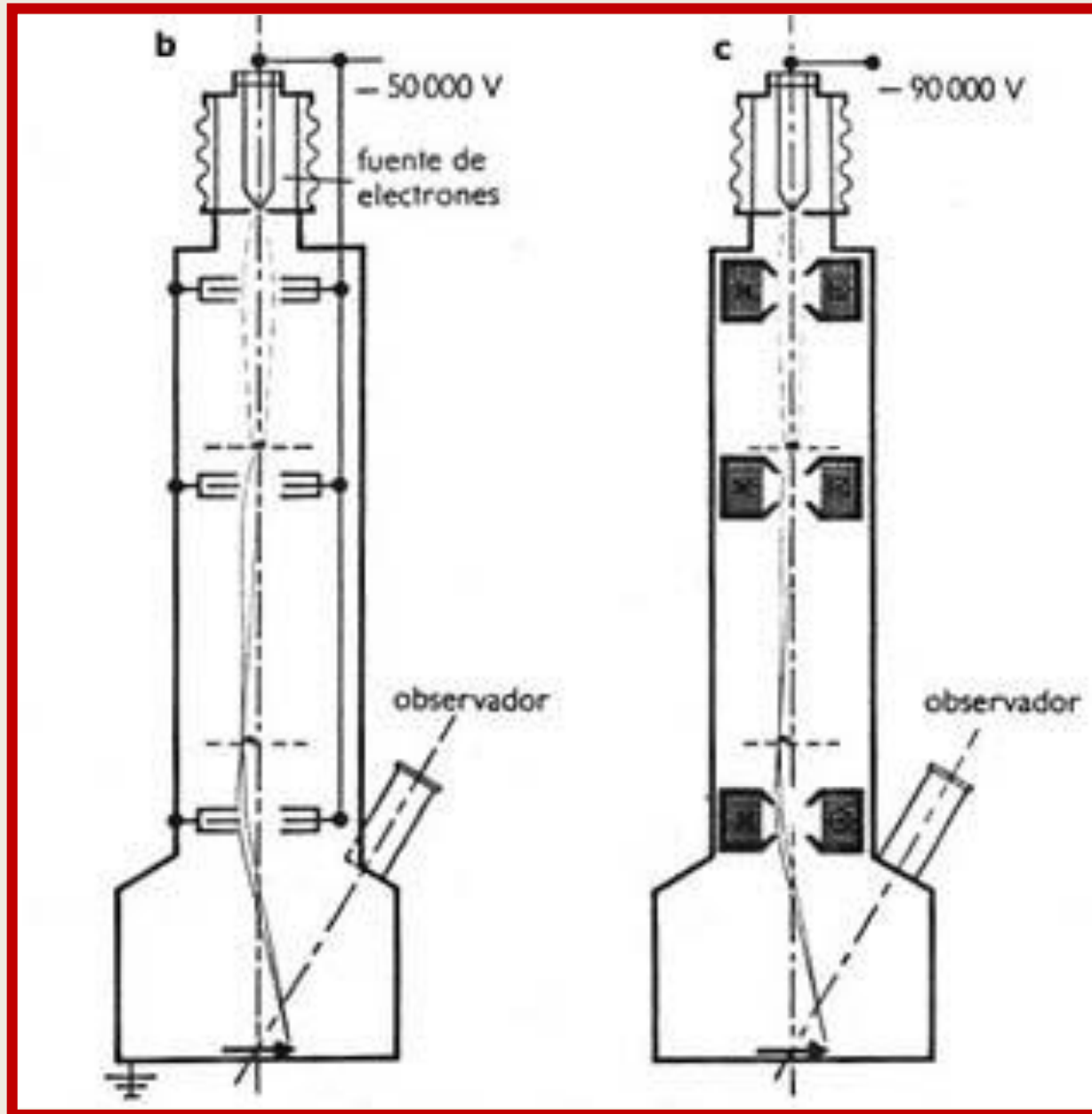


Aplicación más conocida: “**L**arge **H**adron **C**ollider”

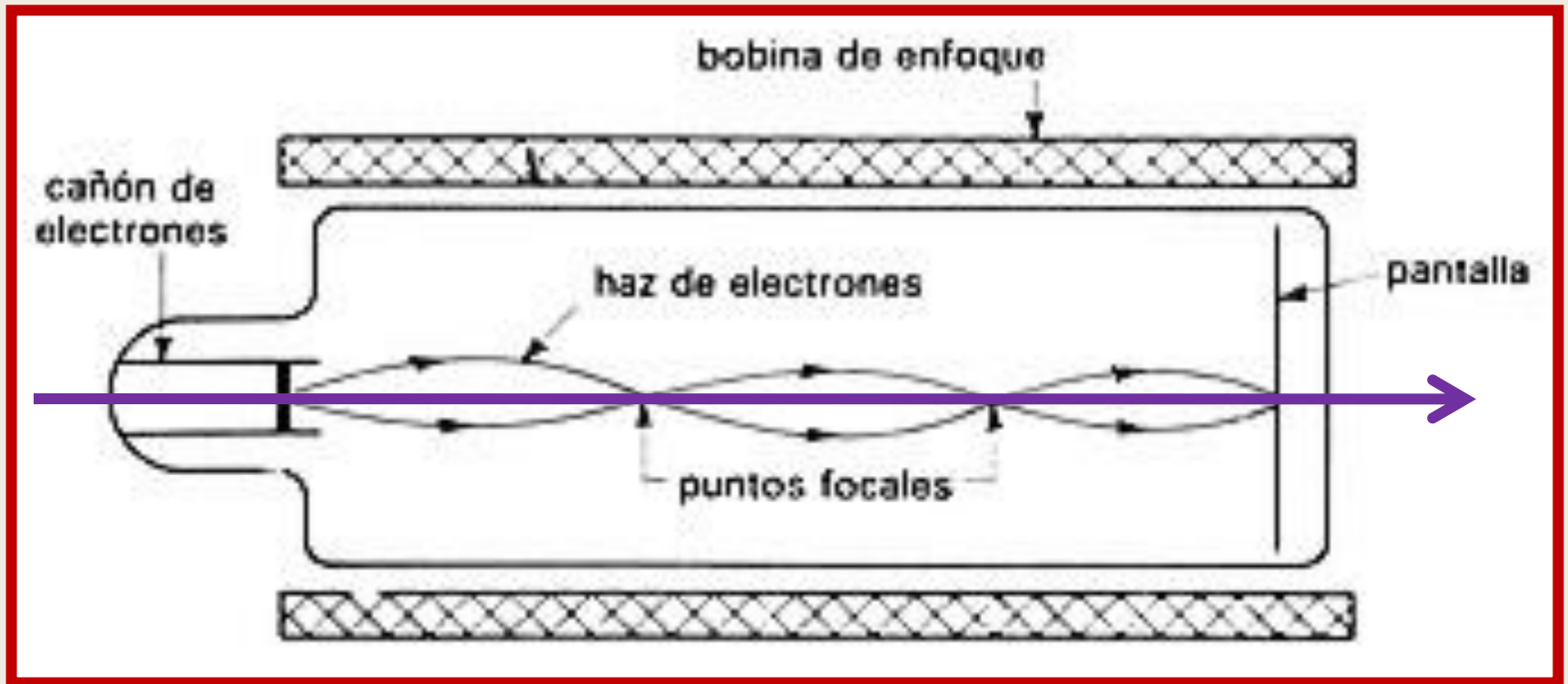
La circunferencia mayor tiene 27 km de longitud.

Las otras etapas elevan la velocidad de la partículas cargadas hasta llegar a 0,999999 de la velocidad de la luz

Corte esquemático de un microscopio electrónico



Lente Magnética



La bobina de enfoque produce un campo magnético uniforme en la dirección del eje de la lente. Los electrones que se desvían de la trayectoria rectilínea sufren una fuerza de Lorentz que los devuelve hacia el eje.

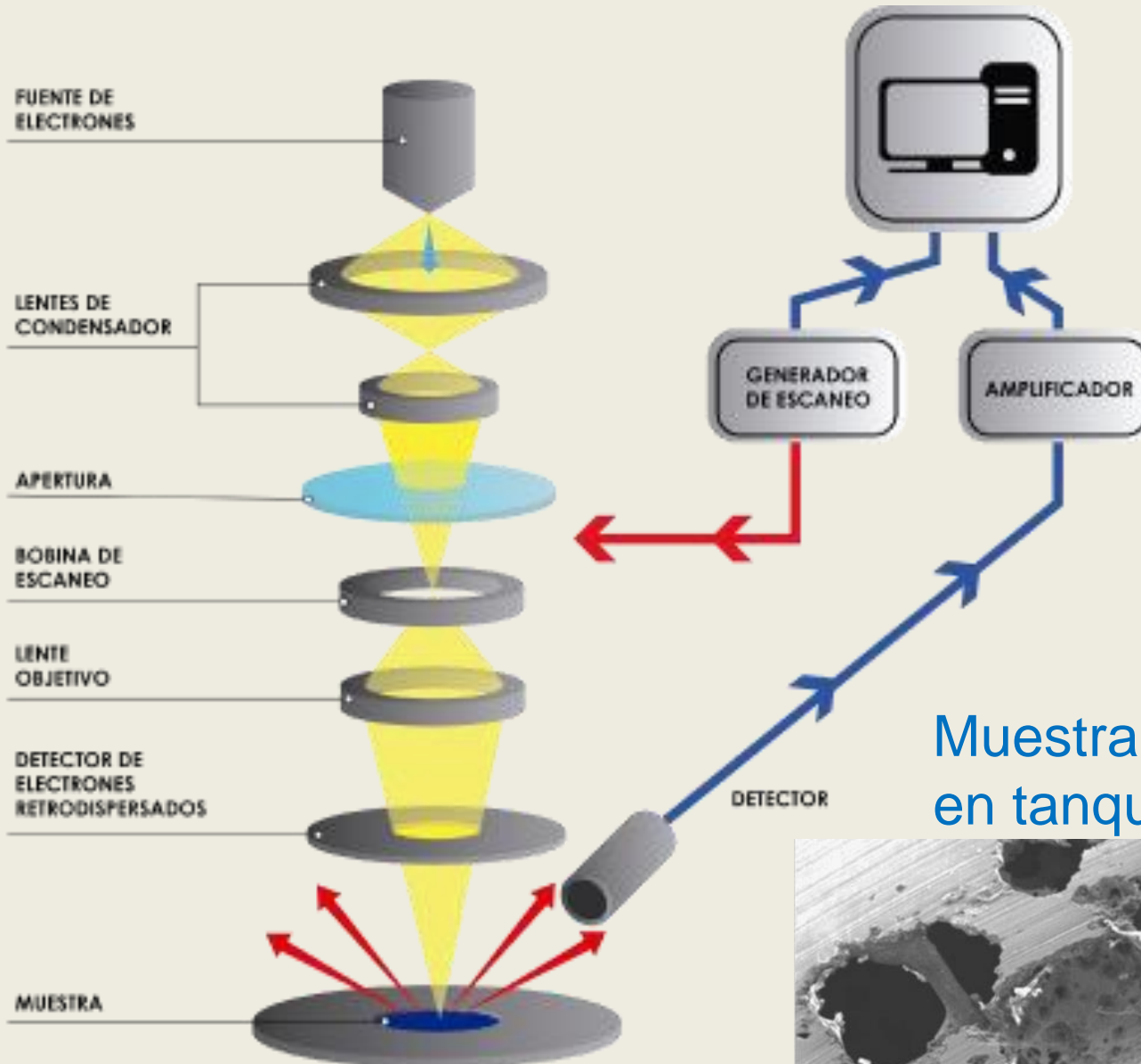
Microscopio electrónico
de barrido (SEM)



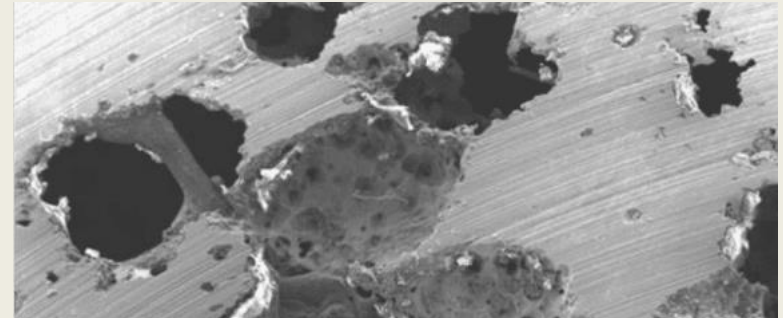
Microscopio electrónico de
transmisión (TEM)



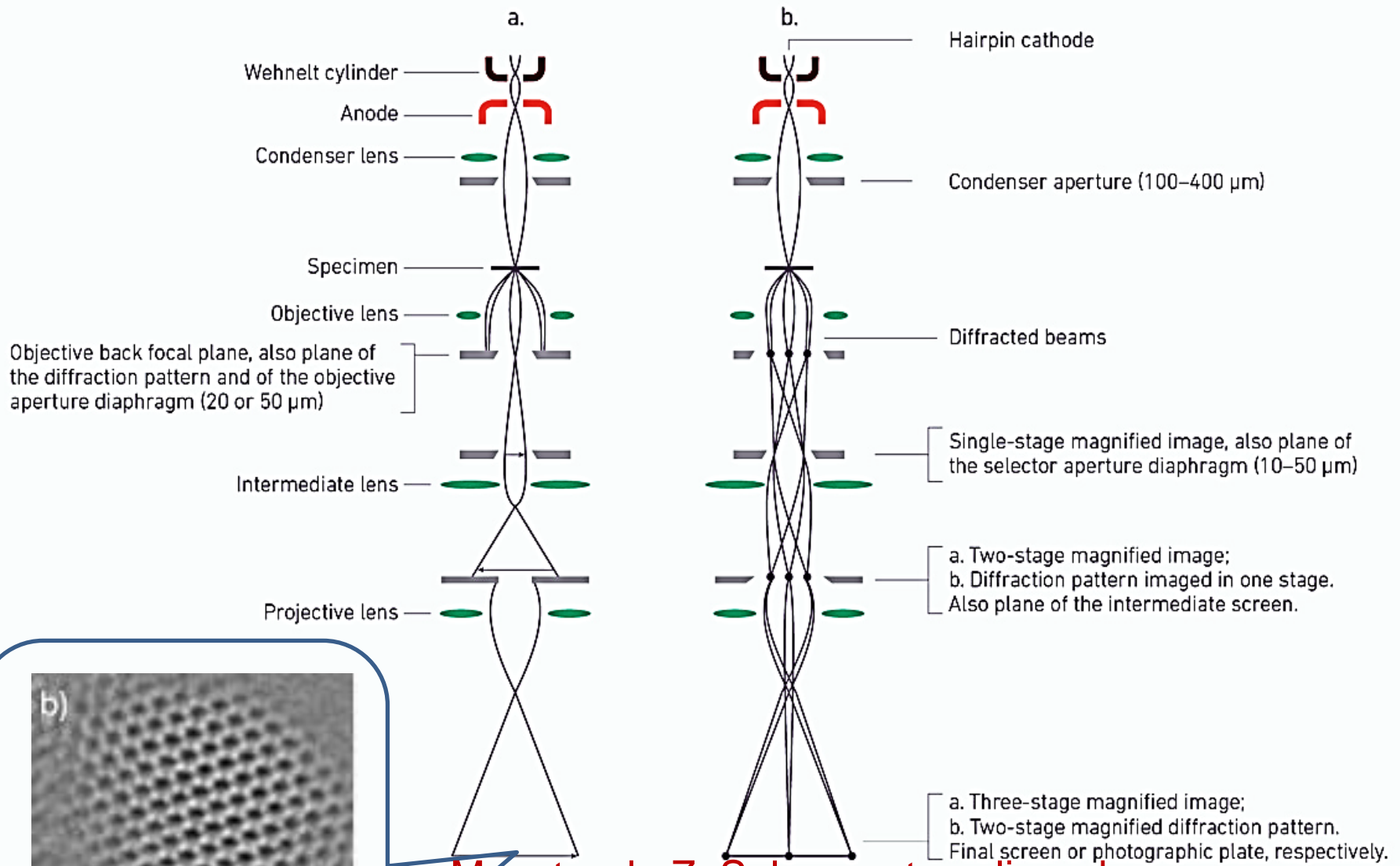
Microscopio Electrónico de barrido (SEM)



Muestra de corrosión
en tanque



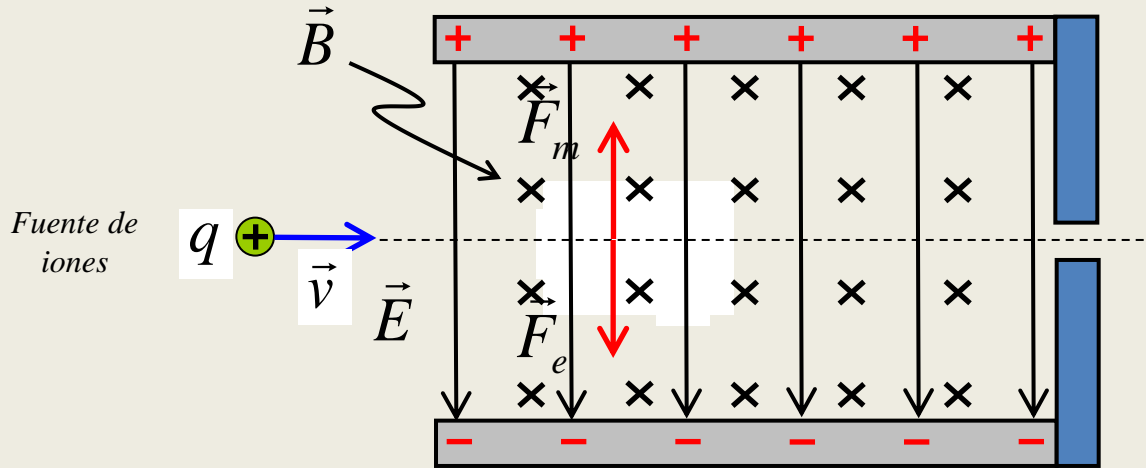
Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM)



Muestra de ZnS: los puntos alineados negros corresponden a la red cristalina de átomos de la muestra

Selector de velocidades

En muchos experimentos con partículas cargadas es importante que todas posean la misma velocidad



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

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

$$\vec{F}_e + \vec{F}_m = 0$$

$$\vec{F}_e = -\vec{F}_m$$

$$F_e = F_m$$

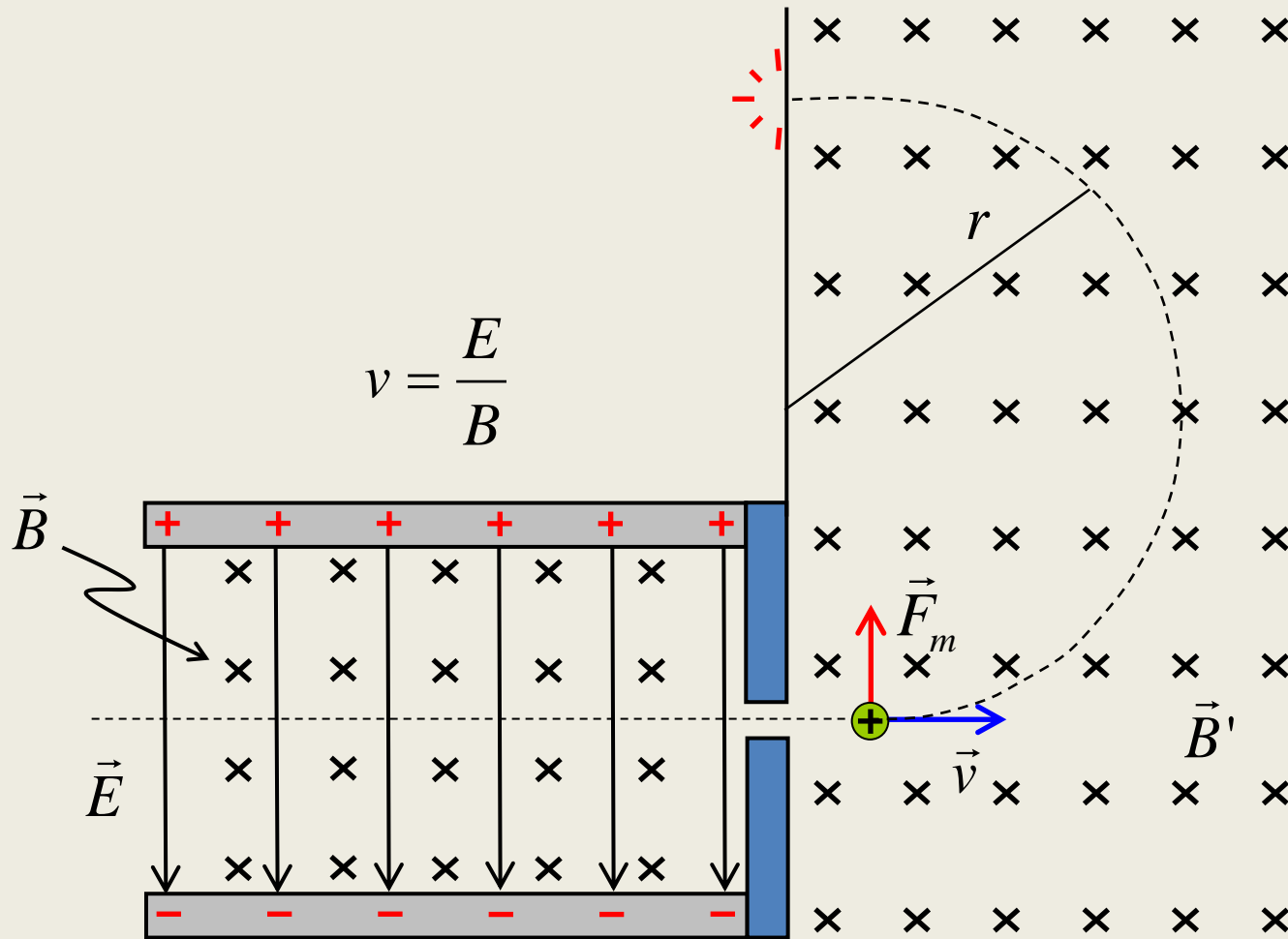


$$qE = qvB$$



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

Espectrómetro de masas



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

$$q v B' = m a$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

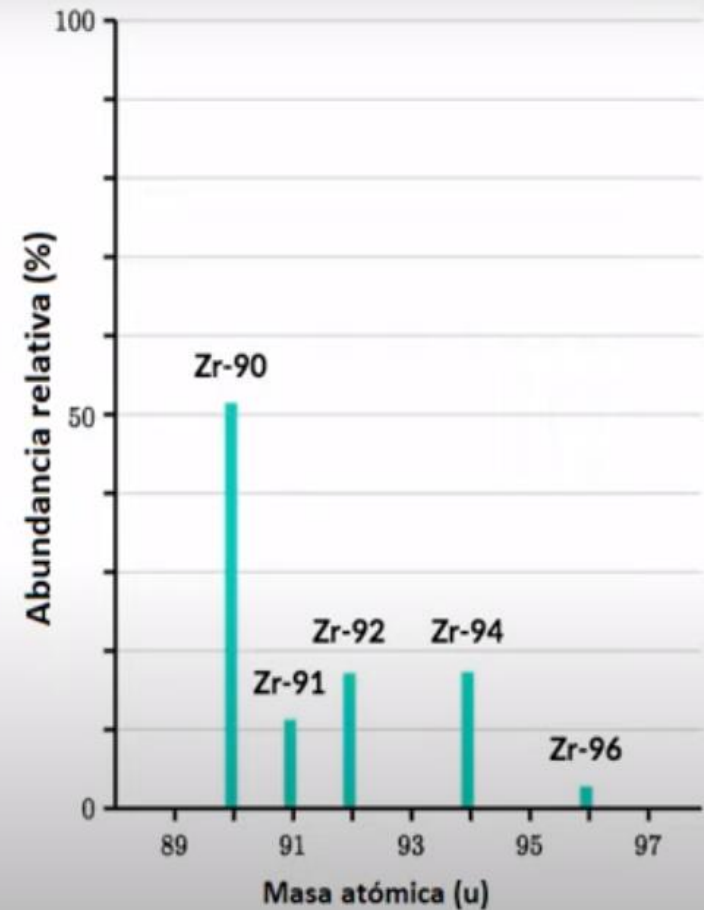
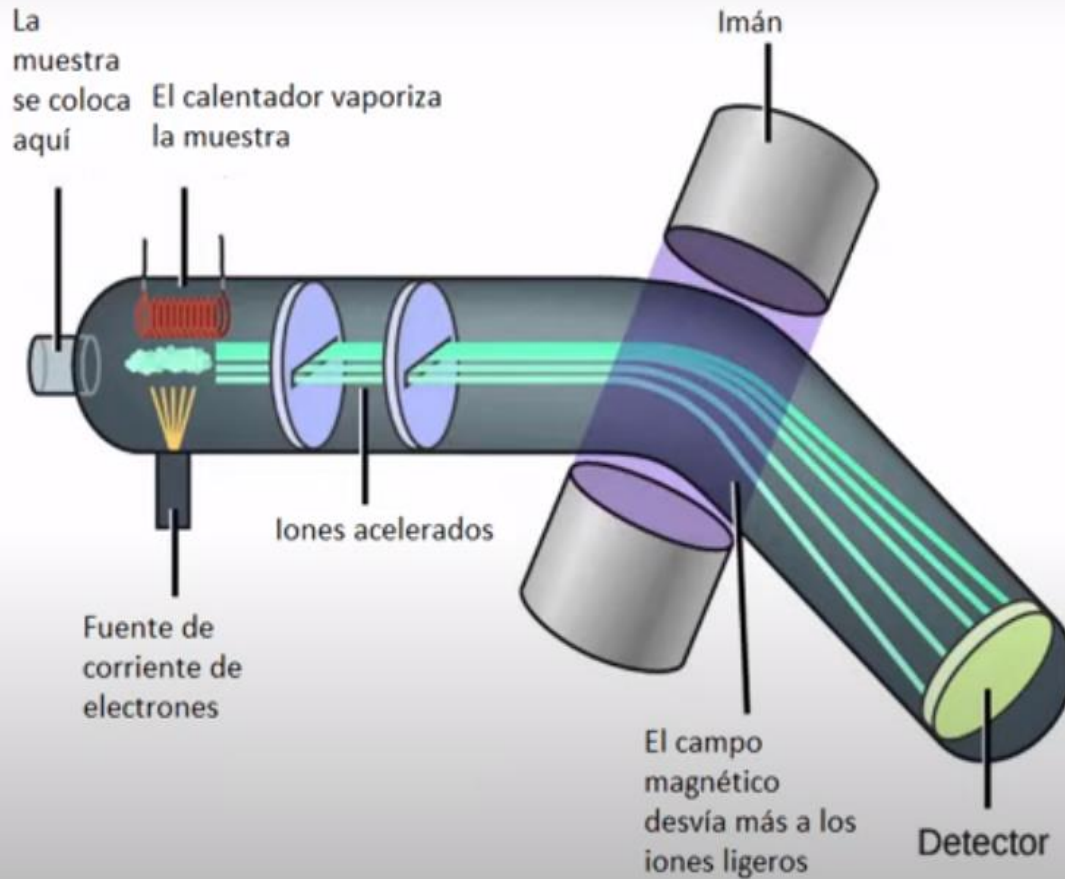
$$r = \frac{m v}{q B'}$$



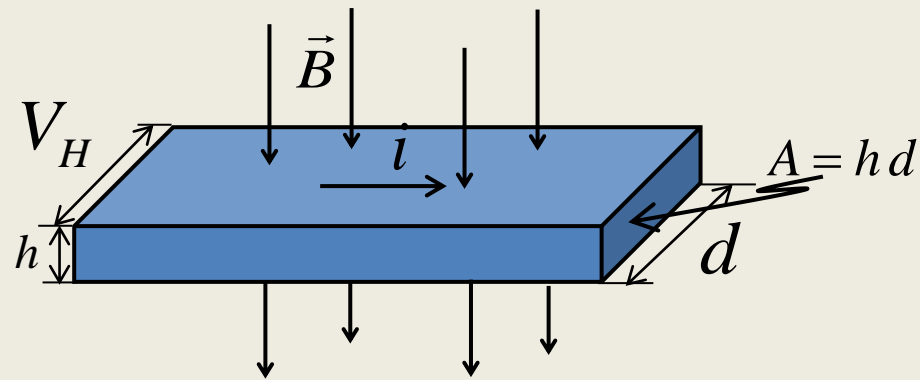
$$\frac{m}{q} = \left(\frac{B B'}{E} \right) r$$

Espectrómetro de masas

Espectrometría de masas



Efecto Hall

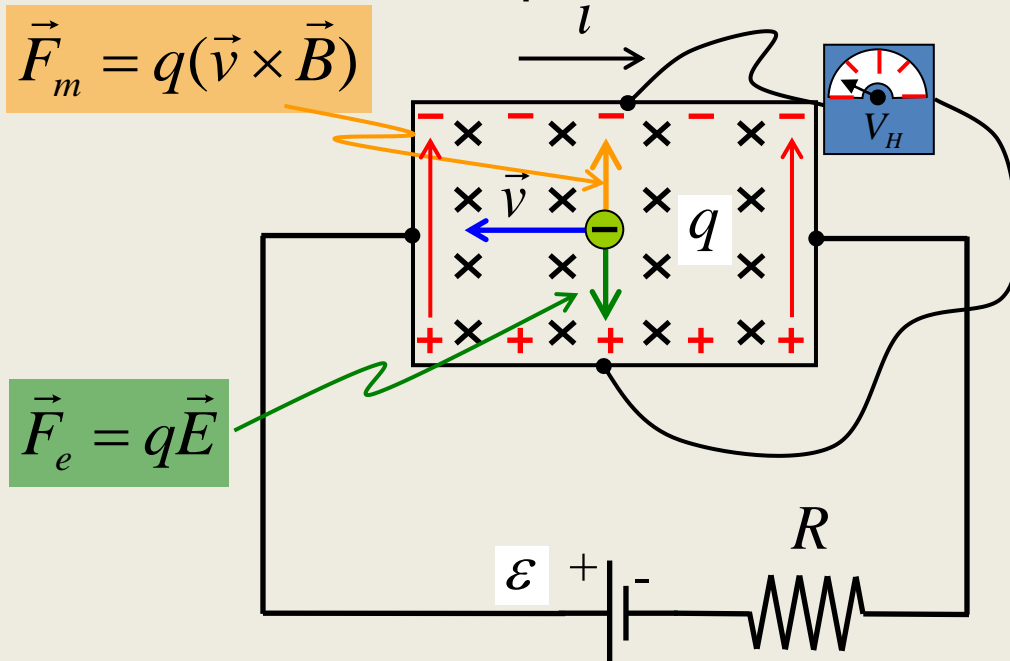
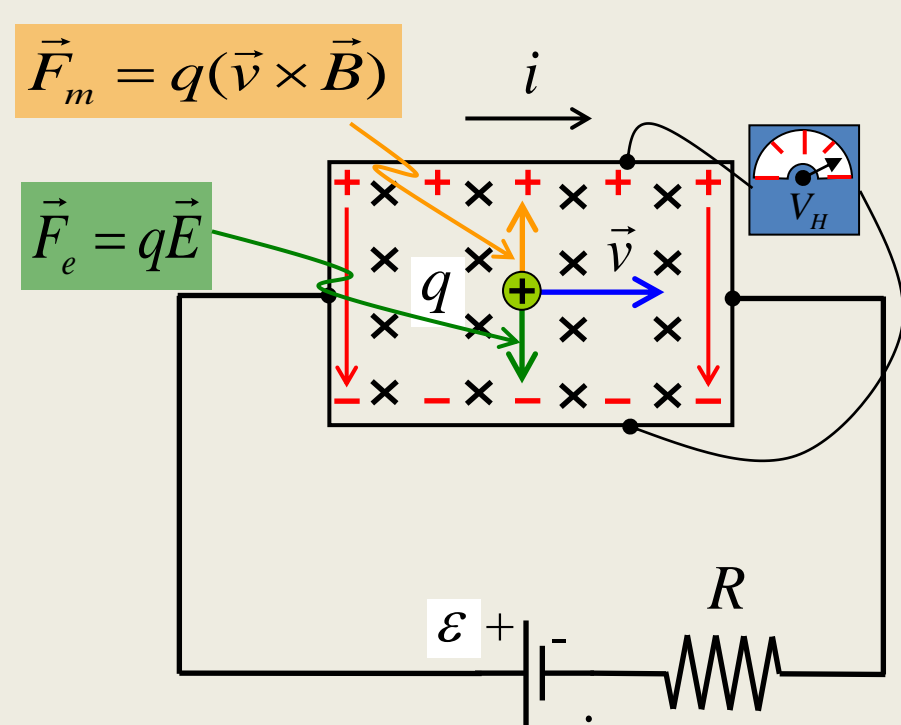


$$F_e = F_m \rightarrow qE = qvB \rightarrow E = vB$$

$$V_H = Ed = vdB$$

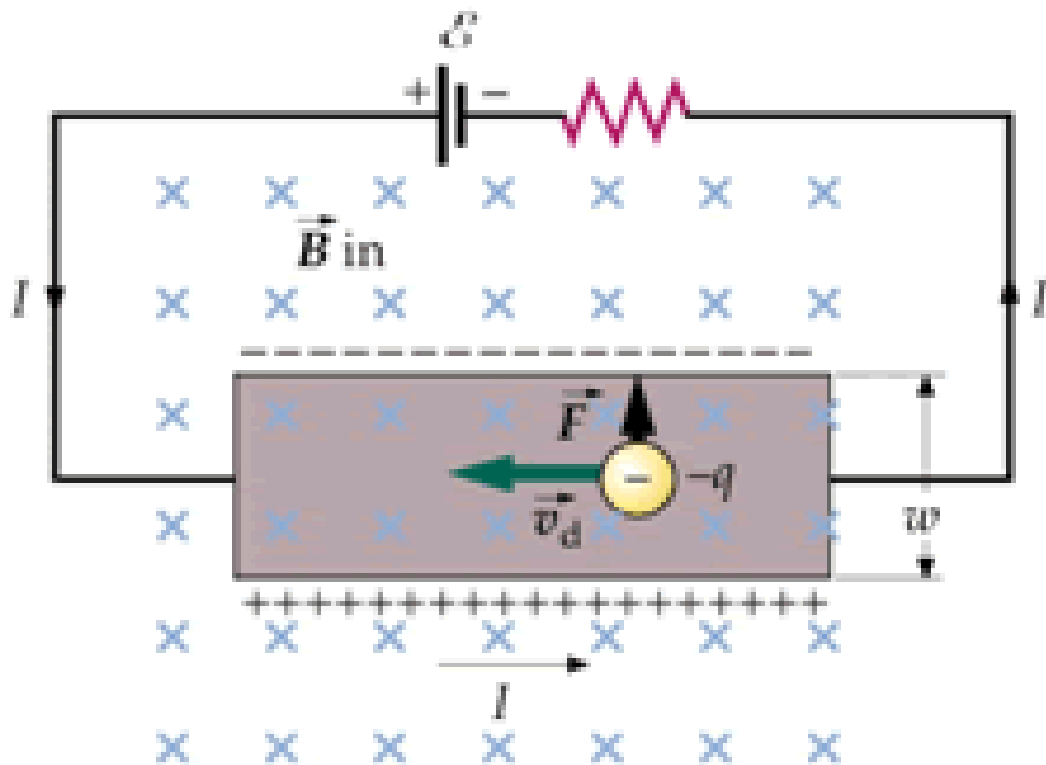
Medir el signo del potencial de Hall da el signo de los portadores de carga

En un conductor metálico la parte superior está a menor potencial que la inferior, los portadores llevan cargas **negativas**



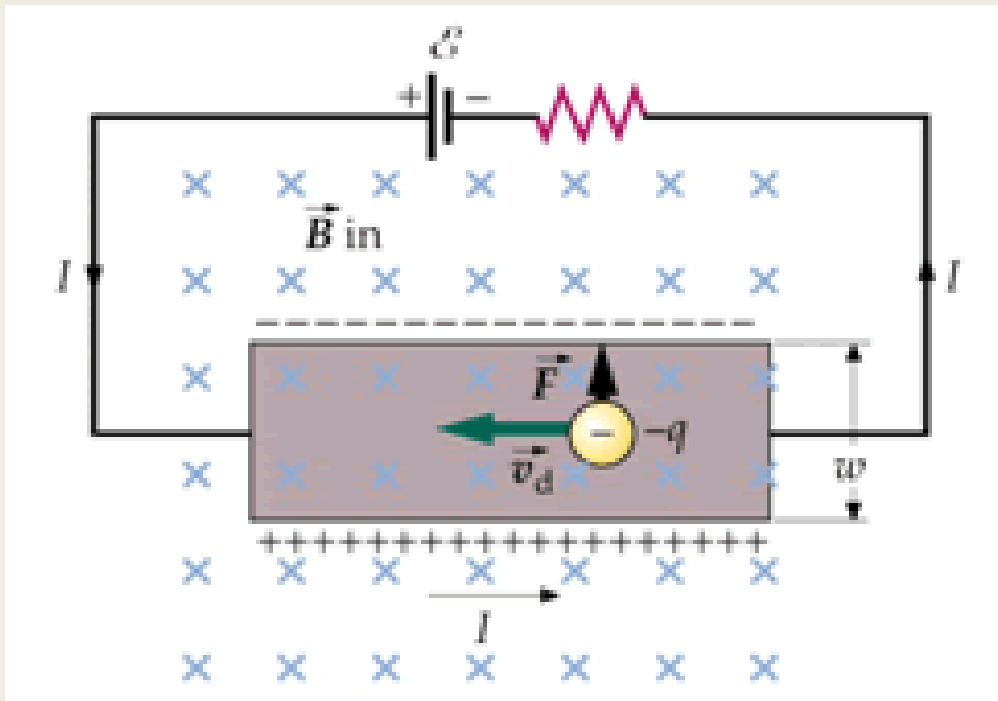
Efecto Hall

Cuando las cargas se mueven en un campo magnético experimentan una fuerza perpendicular a su velocidad. Por tanto, si se desplazan en un conductor, serán impulsadas hacia un lado del mismo. Esta separación de cargas se denomina **efecto Hall**.



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

Esta separación de carga produce un campo electrostático en la cinta que se opone a la fuerza magnética sobre los portadores de carga. Cuando las fuerzas magnética y electrostática se equilibran, la parte superior de la cinta está negativamente cargada, de modo que está a menor potencial que la parte inferior positivamente cargada.



La diferencia de potencial entre la parte superior e inferior de la cinta se llama **voltaje Hall (V_H)**

$$q E = q v_d B$$

$$\therefore E = v_d B;$$

$$V_H = E w = v_d B w$$

A partir de medidas del valor del voltaje de Hall para una cinta de un tamaño determinado por la que circula una corriente conocida en el interior de un campo magnético de valor dado, podemos determinar el número de portadores de carga por unidad de volumen de la cinta. La intensidad de corriente es

$$I = n q v_d A$$

en donde **A** es la sección transversal de la cinta. Para una cinta de ancho **w** y espesor **t**, el área transversal es **A = w t**. Como los portadores de carga son electrones, la magnitud **q** es la carga de un electrón, **e**. Así, la densidad de portadores de carga, **n**, viene dada por

$$n = \frac{I}{q v_d A} = \frac{I}{e v_d w t} \quad v_d w = \frac{V_H}{B}; \therefore n = \frac{I B}{e V_H t}$$

Si la corriente consta de partículas positivamente cargadas, los portadores de carga se moverán hacia la derecha. La fuerza magnética se dirige de nuevo hacia arriba. De nuevo los portadores son desplazados hacia la parte superior de la cinta, pero como estos son positivos, la parte positiva se acumula arriba y la parte negativa en la parte inferior.

Una medida del signo de la diferencia de potencial entre la parte superior e inferior de la cinta nos dirá el signo de los portadores de carga. Para un conductor metálico normal resulta que la parte superior de la cinta está a menor potencial que la parte inferior, lo cual significa que la parte superior es portadora de una carga negativa. Por tanto la figura es la ilustración correcta de la corriente en un conductor normal.

**Todos los problemas
de la Práctica 8**