

Clase 8

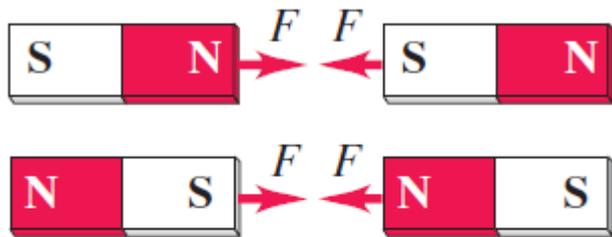
Campo y fuerza magnéticos

Cátedra: Diego Arbó

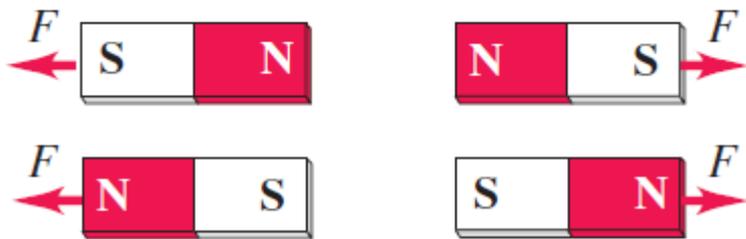
Magnetismo

Dos imanes de barra se atraen cuando sus polos opuestos (N y S, o S y N) están cerca uno del otro.

a) Los polos opuestos se atraen



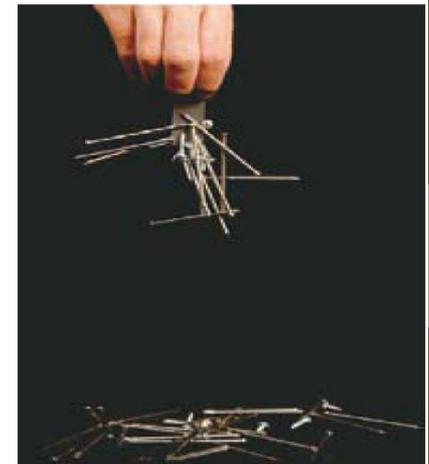
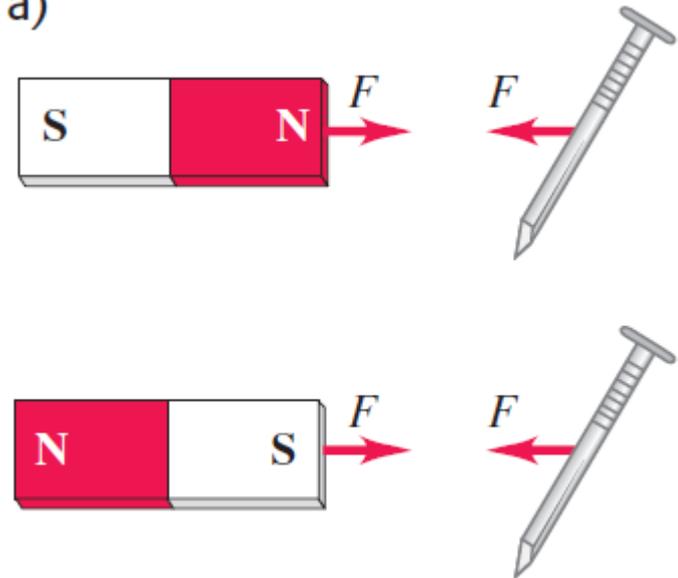
b) Los polos iguales se repelen



Los imanes de barra se repelen cuando sus polos iguales (N y N, o S y S) se aproximan entre sí.

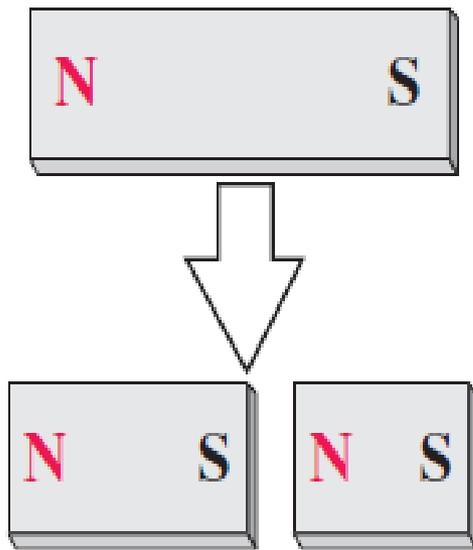
Cualquiera de los polos de un imán de barra atrae a un objeto no magnetizado que contenga hierro, como un clavo.

a)



Al contrario de lo que sucede con las cargas eléctricas, los polos magnéticos siempre ocurren en pares y no es posible aislarlos.

Al romper un imán en dos ...



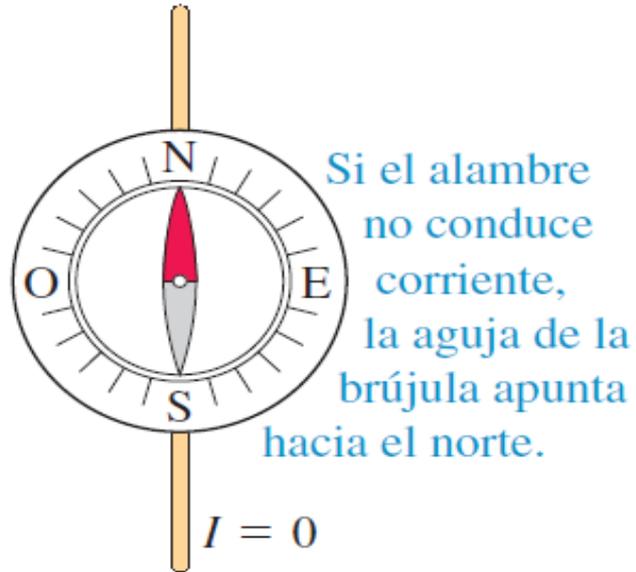
... se producen dos imanes, no dos polos aislados.

Ruptura de un imán de barra.

Cada trozo tiene un polo norte y un polo sur, aun cuando los trozos sean de distinto tamaño.

Cuanto más pequeños sean, más débil será su magnetismo.

a)

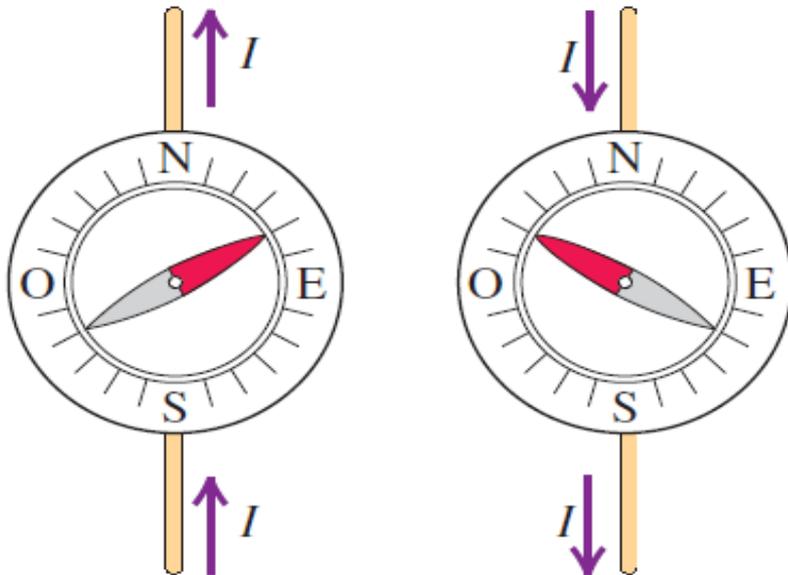


En el experimento de Oersted, se coloca una brújula directamente sobre un alambre horizontal (visto aquí desde arriba).

Cuando la brújula se coloca directamente bajo el alambre, los movimientos de la brújula se invierten.

b)

Si el alambre lleva corriente, la aguja de la brújula tiene una desviación, cuya dirección depende de la dirección de la corriente.



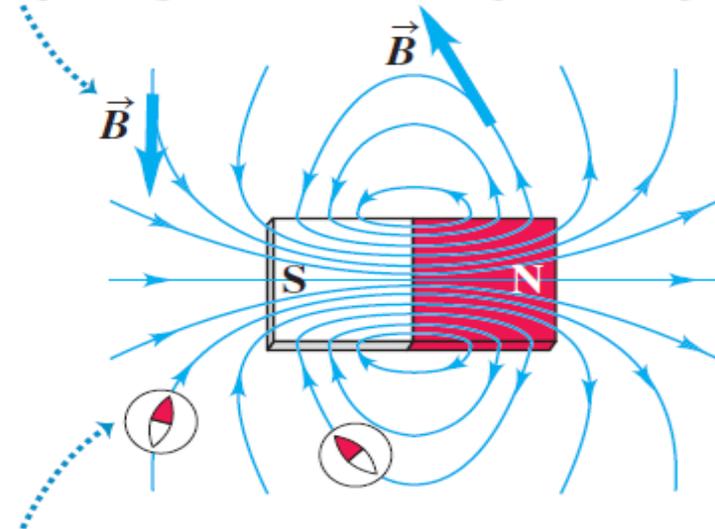
Campo magnético

1. Una carga o corriente móvil crea un **campo magnético** en el espacio circundante (además de su campo *eléctrico*).
2. El campo magnético ejerce una fuerza \vec{F} sobre cualquier otra carga o corriente en movimiento presente en el campo.

Líneas de campo magnético de un imán permanente.
Las líneas de campo pasan por el interior del imán.

En cada punto, la línea de campo es tangente al vector del campo magnético \vec{B} .

Cuanto más saturadas estén las líneas de campo, más intenso será el campo en ese punto.



En cada punto, las líneas de campo apuntan en la misma dirección en que lo haría una brújula . . .

. . . por lo tanto, las líneas de campo magnético *siempre* señalan *hacia fuera* de los polos N y *en dirección* a los polos S.

Polo norte geográfico
(eje de rotación
terrestre)

El polo norte geomagnético en realidad
es un polo sur (S) magnético; atrae al
polo N de una brújula.

Brújula

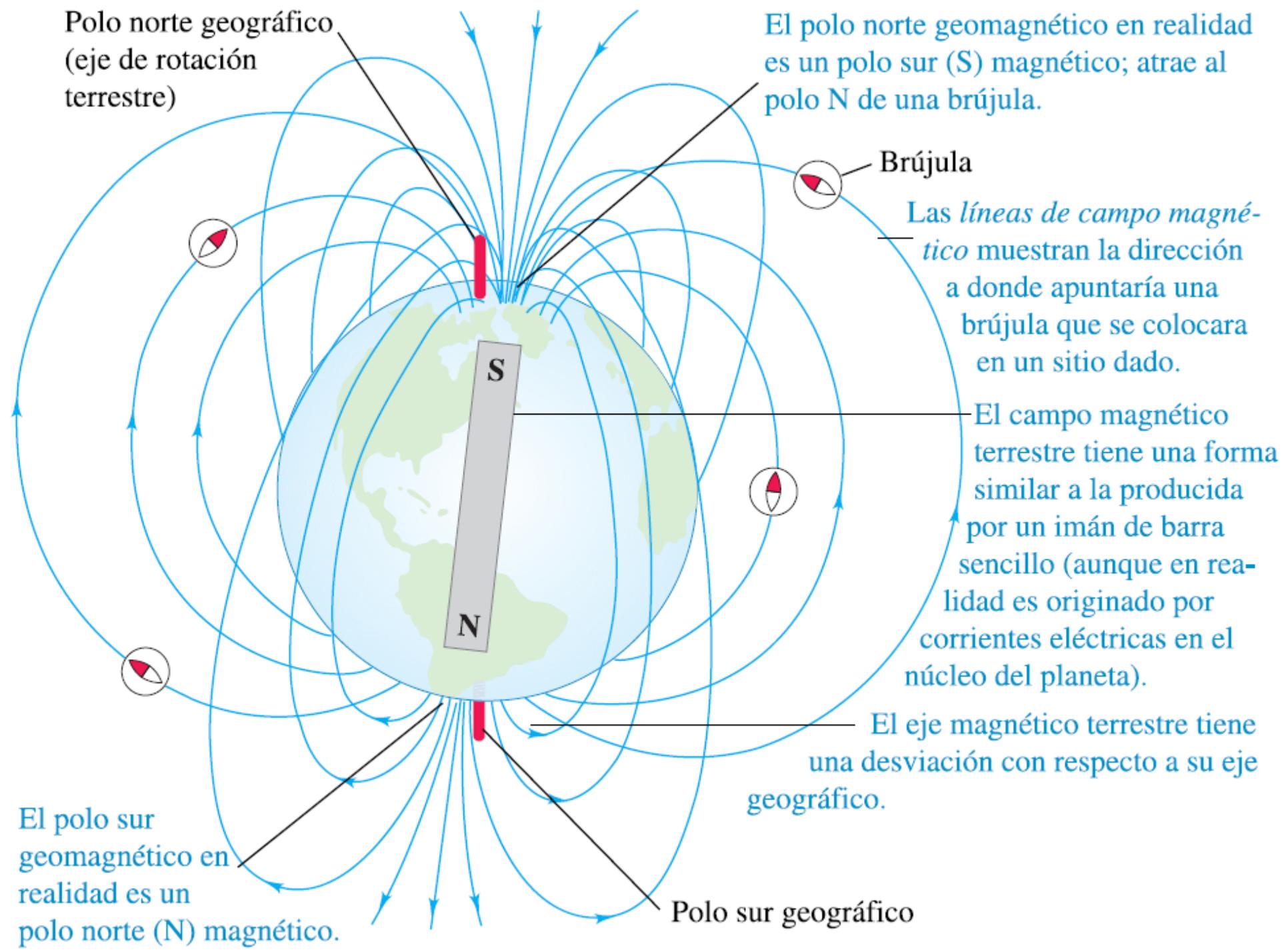
Las líneas de campo magnético muestran la dirección
a donde apuntaría una
brújula que se colocara
en un sitio dado.

El campo magnético
terrestre tiene una forma
similar a la producida
por un imán de barra
sencillo (aunque en rea-
lidad es originado por
corrientes eléctricas en el
núcleo del planeta).

El eje magnético terrestre tiene
una desviación con respecto a su eje
geográfico.

El polo sur
geomagnético en
realidad es un
polo norte (N) magnético.

Polo sur geográfico



Fuerza magnética

Experimentos muestran que:

- La fuerza es proporcional a la carga.
- La fuerza es proporcional al campo magnético
- La fuerza depende de la velocidad de la carga. Si la carga no se mueve, no hay fuerza. Es proporcional a la componente de la velocidad perpendicular al campo.

$$F = |q|v_{\perp}B = |q|vB\text{sen}\phi$$

- La fuerza es perpendicular al campo y a la velocidad.

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

(fuerza magnética sobre una partícula con carga en movimiento)

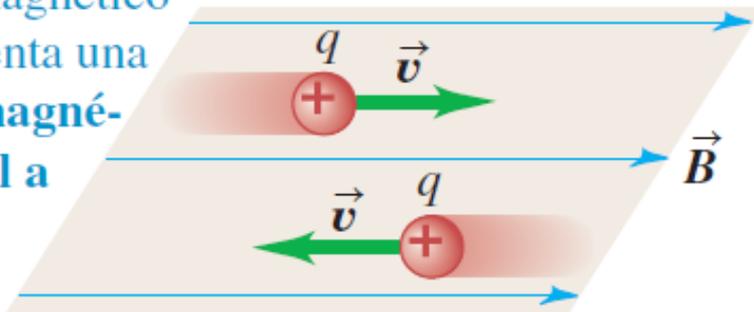
Las unidades de campo magnético son $\text{Ns}/(\text{Cm}) = \text{N}/(\text{Am}) = \text{T}$ (tesla)

$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ (gauss)

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

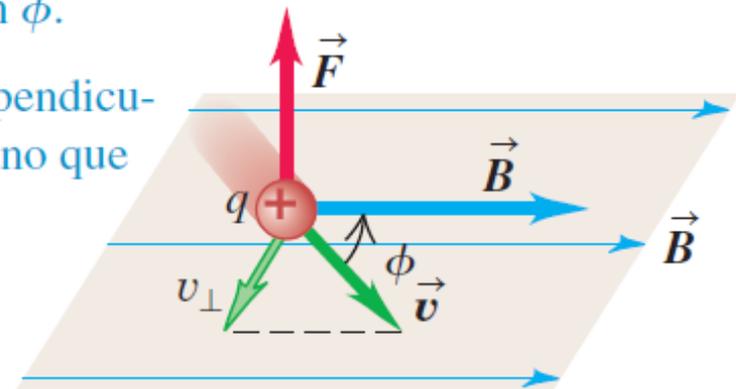
(fuerza magnética sobre una partícula con carga en movimiento)

Una carga que se mueve en forma **paralela** al campo magnético experimenta una **fuerza magnética igual a cero**.



Una carga que se mueva con un ángulo ϕ con respecto a un campo magnético experimenta una fuerza magnética con magnitud $F = |q|v_{\perp}B = q|vB \sin \phi$.

\vec{F} es perpendicular al plano que contiene \vec{v} y \vec{B} .



En presencia de un campo eléctrico y un campo magnético una partícula siente una fuerza:

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

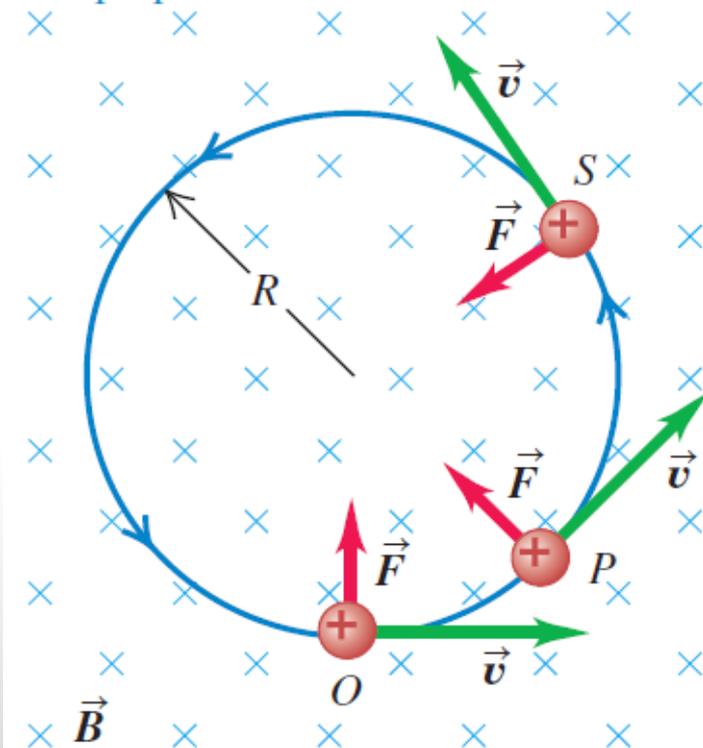
Movimientos de cargas en un campo magnético

Órbita de una partícula cargada en un campo magnético uniforme

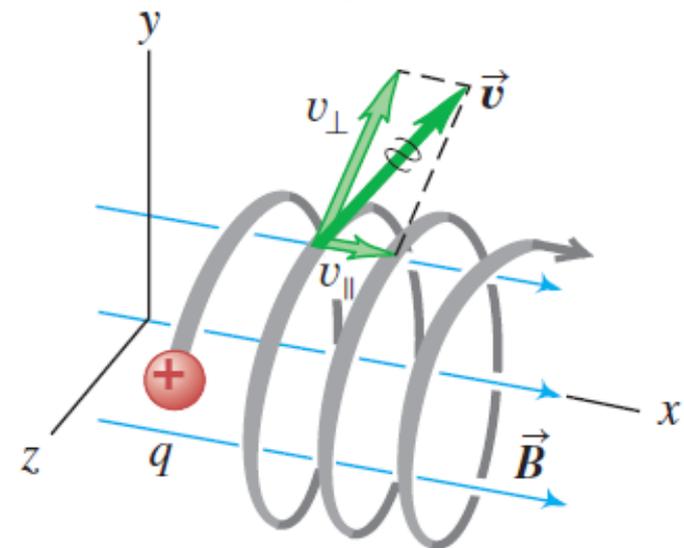
$$F = |q|vB = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B}$$

Una carga que se mueve con ángulos rectos con respecto a un campo \vec{B} uniforme se mueve en círculo a rapidez constante, porque \vec{F} y \vec{v} siempre son perpendiculares entre sí.

$$\omega = \frac{v}{R} = v\frac{|q|B}{mv} = \frac{|q|B}{m}$$



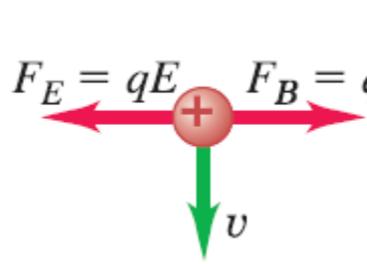
El movimiento de esta partícula tiene componentes tanto paralelos (v_{\parallel}) como perpendiculares (v_{\perp}) al campo magnético, por lo que se mueve en una trayectoria helicoidal.



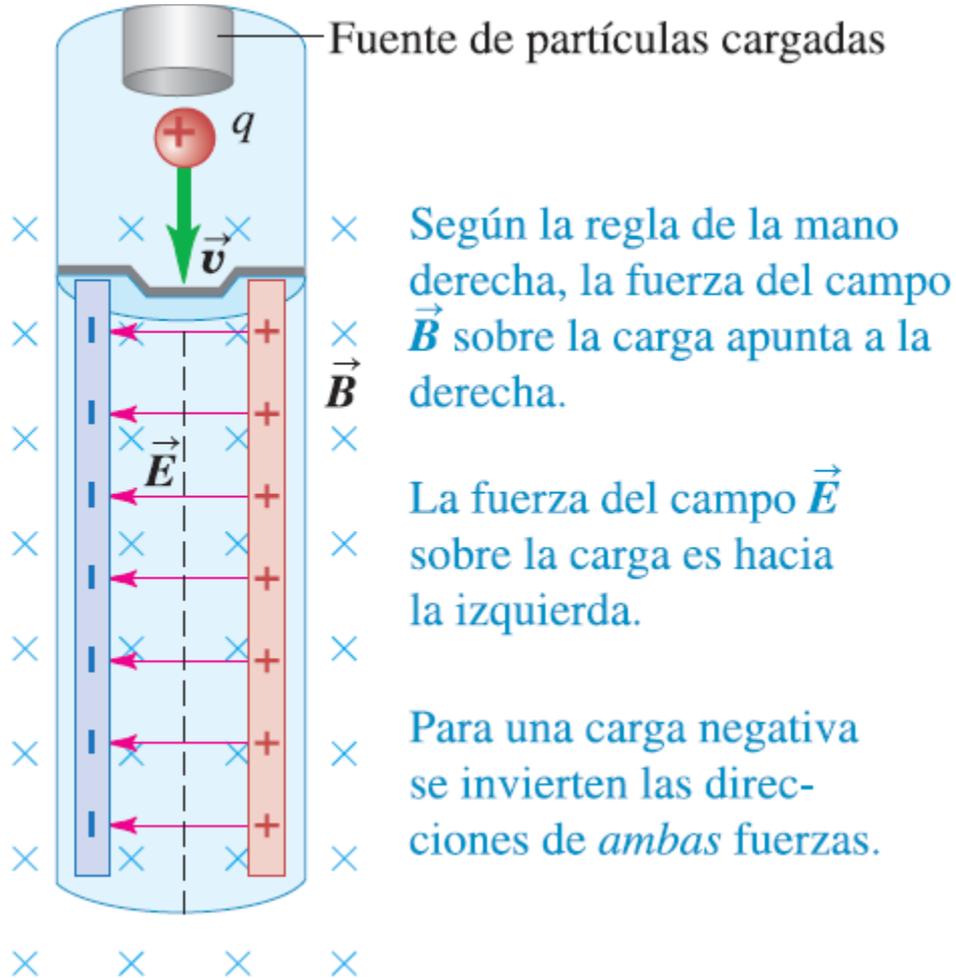
Selector de velocidad

Un selector de velocidades para partículas cargadas utiliza campos eléctricos y magnéticos perpendiculares. Tan sólo partículas cargadas con $v = E/B$ lo cruzan sin sufrir desviación.

Diagrama de cuerpo libre para una partícula positiva

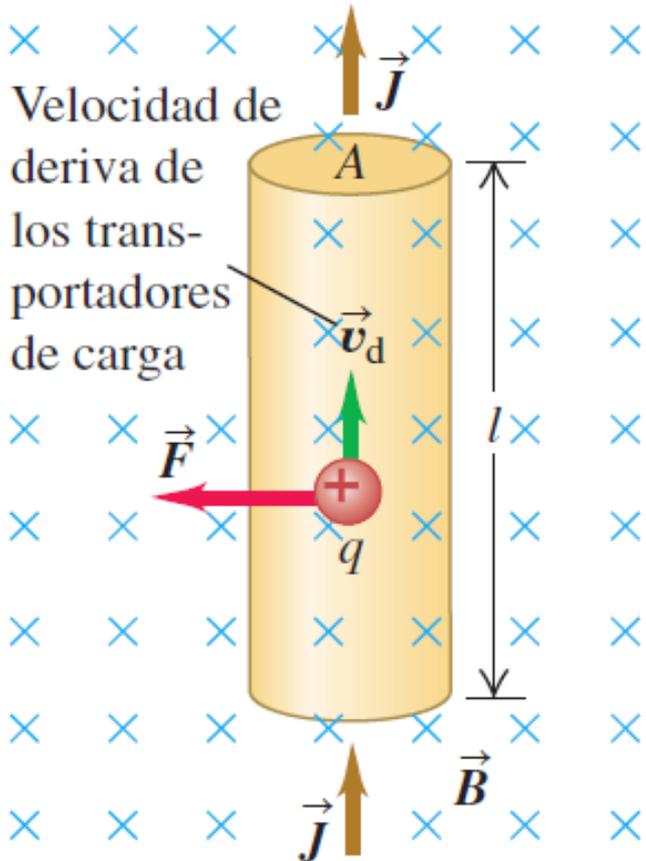


Sólo si una partícula cargada tiene $v = E/B$ se cancelan las fuerzas eléctrica y magnética. Todas las demás partículas se desvían.



Fuerza magnética sobre una corriente

Fuerzas sobre una carga móvil positiva en un conductor que transporta corriente.



Fuerza sobre una carga q :

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

$$F = qv_d B$$

Fuerza sobre todas las cargas en el cilindro conductor:

$$F = Nqv_d B, \quad \text{donde } N = nAl$$

$$F = (nAl)(qv_d B) = (nqv_d A)(lB)$$

$$J = nqv_d$$

$$F = IlB$$

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

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

(fuerza magnética sobre una sección infinitesimal de alambre)

Fuerza sobre un circuito:

Lado b:

$$F' = IbB \sin(90^\circ - \phi) \\ = IbB \cos \phi$$

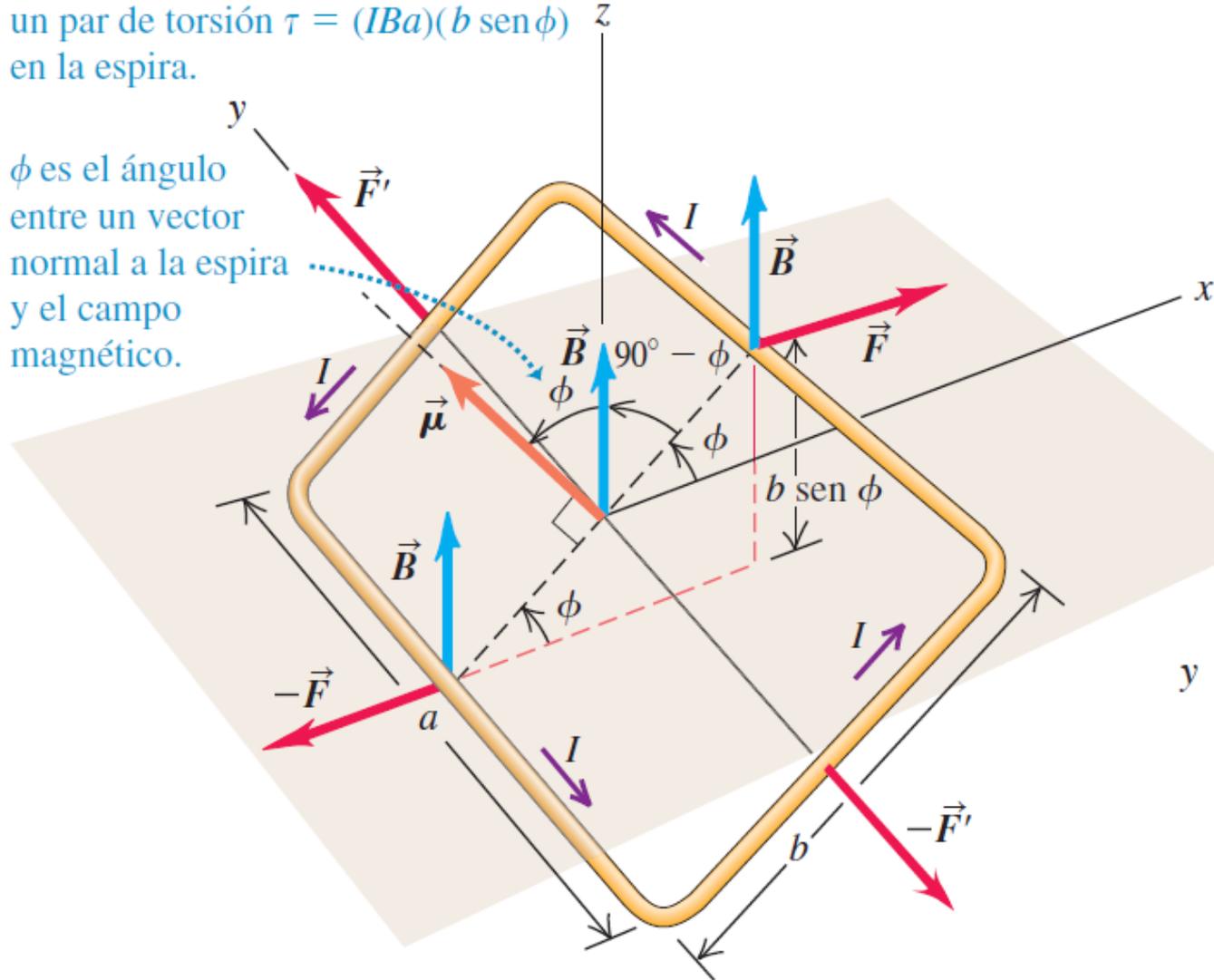
Lado a: $F = IaB$

La fuerza neta sobre una espira de corriente en un campo magnético uniforme es igual a cero.

Los dos pares de fuerzas que actúan sobre la espira se cancelan, por lo que no hay fuerza neta que actúe sobre ella.

Sin embargo, las fuerzas en los lados a de la espira (\vec{F} y $-\vec{F}$) producen un par de torsión $\tau = (Iba)(b \sin \phi)$ en la espira.

ϕ es el ángulo entre un vector normal a la espira y el campo magnético.



Par de torsión sobre un circuito:

$$\tau = 2F(b/2) \operatorname{sen} \phi = (IBa)(b \operatorname{sen} \phi)$$

$$\tau = IBA \operatorname{sen} \phi$$

$$\tau = \mu B \operatorname{sen} \phi \quad \text{donde} \quad \mu = IA$$

momento magnético

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (\text{par de torsión vectorial sobre una espira de corriente})$$

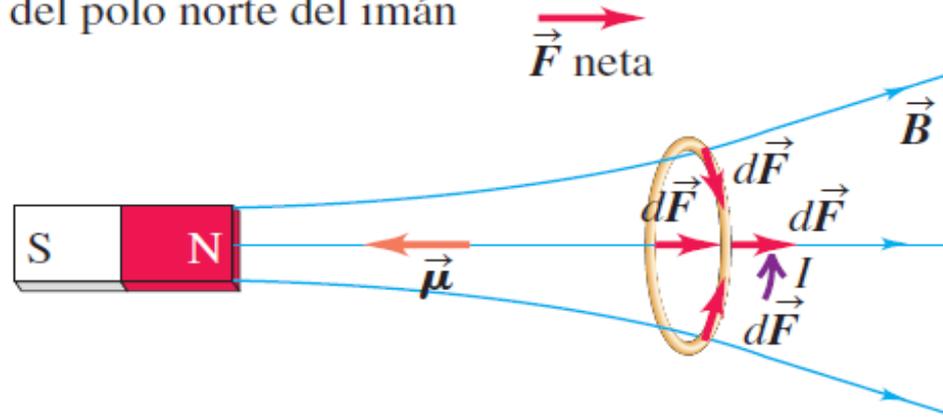
$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos \phi \quad (\text{energía potencial para un dipolo magnético})$$

Campo magnético no uniforme

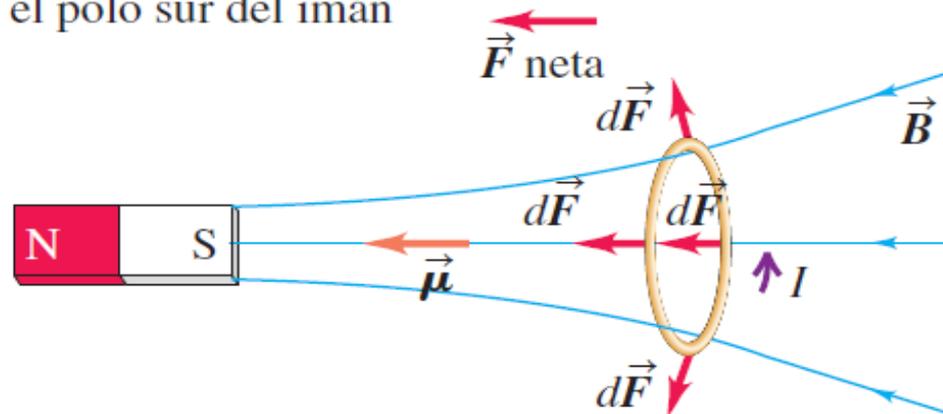
Fuerzas sobre espiras de corriente en un campo no uniforme.

El eje del imán de barra es perpendicular al plano de la espira y pasa por el centro de ésta.

a) La fuerza neta sobre esta bobina se aleja del polo norte del imán



b) La fuerza neta sobre la misma bobina va hacia el polo sur del imán



En dos etapas un imán de barra atrae un clavo de hierro no magnetizado:

En la primera, el campo \vec{B} del imán de barra produce un momento magnético neto en el clavo.

En la segunda, debido a que el campo del imán de barra no es uniforme, este dipolo magnético se ve atraído hacia el imán. La atracción es la misma si el clavo está cerca de a) el polo norte del imán, o b) el polo sur del imán.

