AVISOS

Segunda evaluación corta en marcha (hasta el sábado a la medianoche)

Unidad 2

CLASES DE CONSULTAS:

Este sábado de 9:00 a 10:30 **en el enlace de Zoom de teórico virtual**

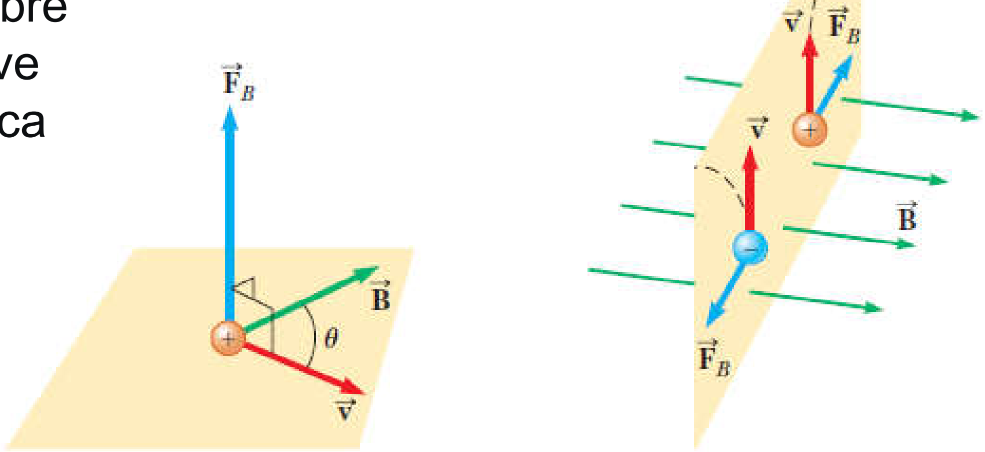
Repaso de la clase anterior

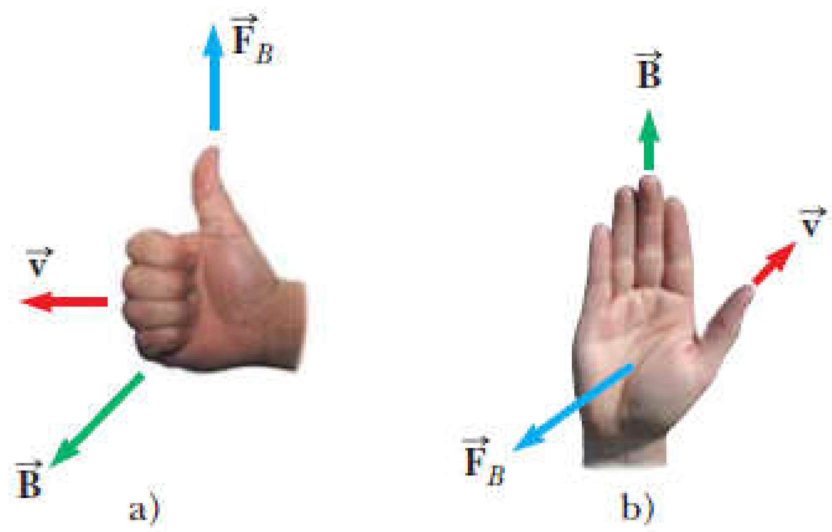
Definimos el campo magnético **B** en algún punto en el espacio en función de la **fuerza magnética F_B** que ejerce el campo sobre una partícula con **carga q** que se mueve con una **velocidad v,** la cual se identifica como el objeto de prueba.

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

$$F_B = |q| vB \sin\theta$$

Tesla (T) $\quad 1T = 1\frac{N}{C.m/s} = 1\frac{N}{A.m}$



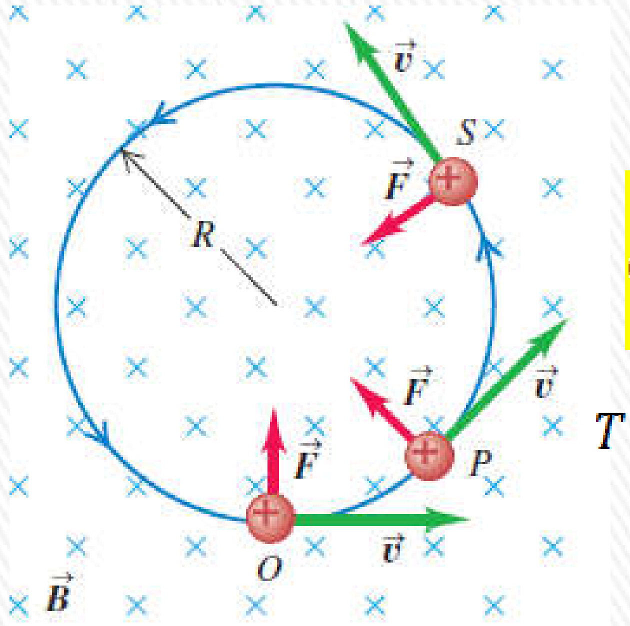


Diferencias entre fuerzas eléctrica (F_E) y magnética (F_B)

- **F_E** actúa a lo largo de la dirección de E, en tanto que **F_B actúa perpendicularmente a B.**
- **F_E** actúa sobre una partícula con carga sin importar si ésta se encuentra en movimiento, **F_B actúa sólo si la partícula con carga está en movimiento**.
- **F_E** efectúa trabajo al desplazar una partícula con carga, **F_B no efectúa trabajo cuando se desplaza una partícula.**
- **F_E** modifica la energía cinética de una carga en movimiento, **F_B** no.

Repaso de la clase anterior

Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético uniforme



$$F = qvB = m\frac{v^2}{R}$$

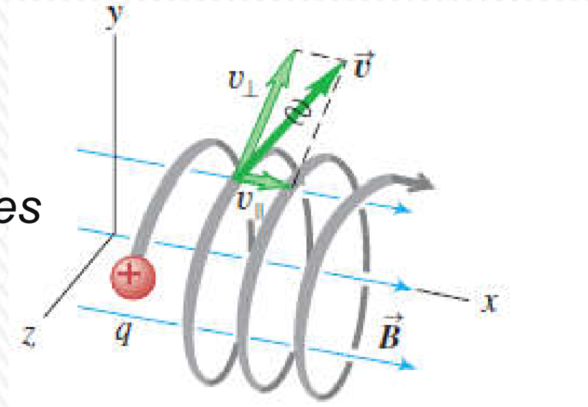
$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$$

$$\omega = \frac{qB}{m}$$

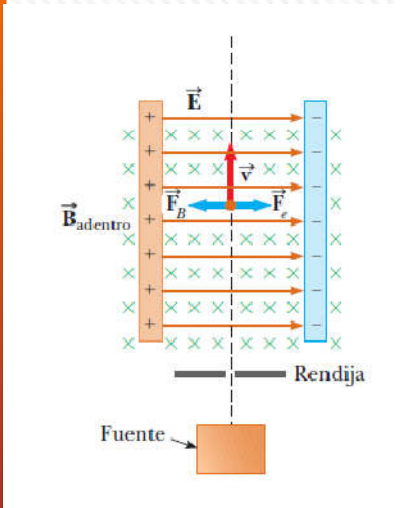
frecuencia de ciclotrón

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

Si B y v no son perpendiculares
$v_\perp$= v.senθ
$v_{\|}$= v.cosθ
Trayectoria ***helicoidal***



$$paso = v_{\|} T = v \cos\theta \, T$$



Selector de velocidad

qE = qvB

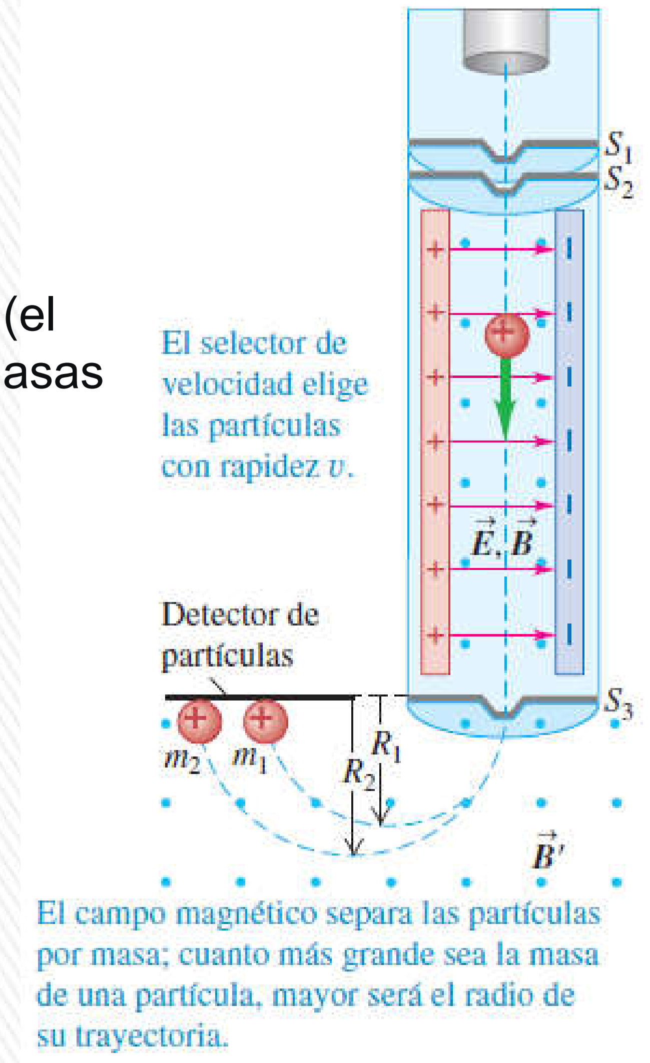
$$v = \frac{E}{B}$$

Repaso de la clase anterior

Espectrómetros de masas

$$\frac{m}{q} = \frac{B'R}{v} \qquad v = E/B$$

Permitió el descubrimiento de **isótopos de elementos** (el primero que el neón tiene dos clases de átomos, con masas atómicas de 20 y 22 g/mol)



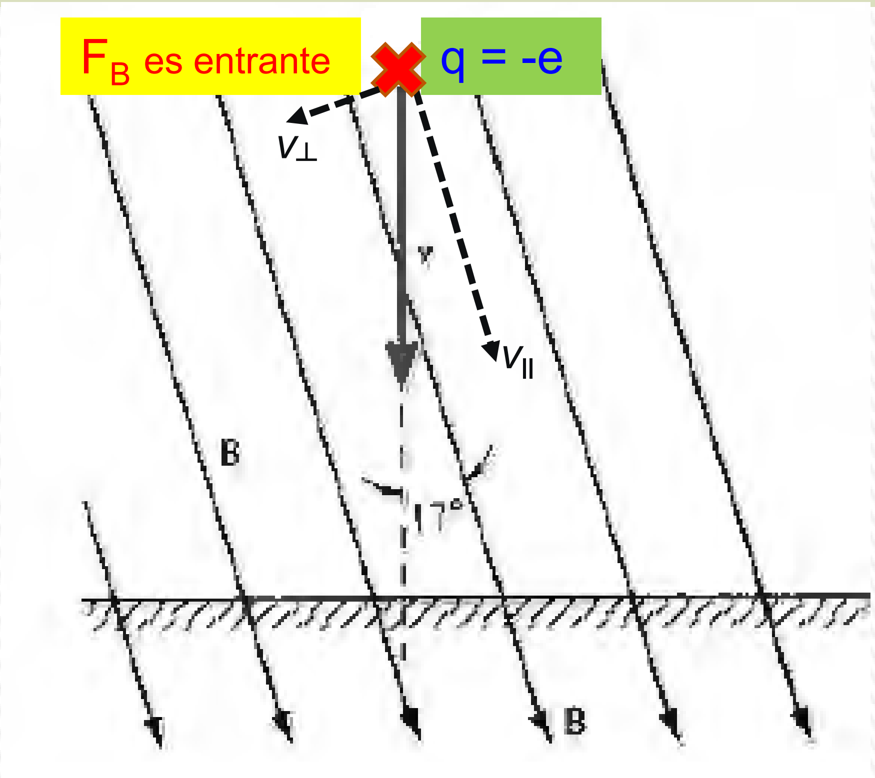
EJEMPLO: ejercicio 3.1.1

En un punto sobre la superficie de la Tierra el campo magnético terrestre forma un ángulo de 17º con la vertical y tiene una magnitud de $5{,}8 \times 10^{-5}$ T.

a) Halle la fuerza magnética sobre un electrón proveniente de los rayos cósmicos que se mueve verticalmente hacia abajo a $1{,}0\times10^{5}$ m/s.

b) Halle el cociente entre la fuerza magnética y el peso del electrón.

c) Si el campo eléctrico atmosférico en dicho lugar es vertical, entrante a la superficie terrestre y de una magnitud de 120 V/m ¿cuánto vale la fuerza eléctrica que actúa sobre el electrón y la fuerza resultante total?



EJEMPLO: ejercicio 3.1.1

En un punto sobre la superficie de la Tierra el campo magnético terrestre forma un ángulo de 17º con la vertical y tiene una magnitud de $5,8 \times 10^{-5}$ T.

a) Halle la fuerza magnética sobre un electrón proveniente de los rayos cósmicos que se mueve verticalmente hacia abajo a $1,0 \times 10^{5}$ m/s.

b) Halle el cociente entre la fuerza magnética y el peso del electrón.

c) Si el campo eléctrico atmosférico en dicho lugar es vertical, entrante a la superficie terrestre y de una magnitud de 120 V/m ¿cuánto vale la fuerza eléctrica que actúa sobre el electrón y la fuerza resultante total?

a) $\overline{F}_B = q\overline{v} \times \overline{B} = -e\overline{v} \times \overline{B}$

$$F_B = evBsen\sin\theta = (1{,}60 \times 10^{-19})(1{,}0 \times 10^{5})(5{,}8 \times 10^{-5}) \sin 17° = 2{,}71 \times 10^{-19}\, N$$

$F_B = 2{,}7 \times 10^{-19}$ N

Esta fuerza es perpendicular al plano que forman **v** y **B**

b) masa del electrón: $9{,}11 \times 10^{-31}$ kg

$W = mg = (9{,}11 \times 10^{-31}) \times 9{,}8 = 8{,}93 \times 10^{-30}$ N

$$\frac{F_B}{W} = \frac{2{,}71 \times 10^{-19}}{8{,}93 \times 10^{-30}} = 3{,}03 \times 10^{10}$$

$F_B = 3{,}0 \times 10^{10}$ mg

c) Fuerza eléctrica: $F_E = eE = (1{,}60 \times 10^{-19})(120) = 1{,}92 \times 10^{-17}$ N

$F_E = 1{,}9 \times 10^{-17}$ N (vertical hacia arriba)

Como F_B y F_E son perpendiculares, la resultante valdrá

$$F = \sqrt{F_B^2 + F_E^2} = \sqrt{(2{,}71 \times 10^{-19})^2 + (1{,}92 \times 10^{-17})^2} = 1{,}92 \times 10^{-17}\, N$$

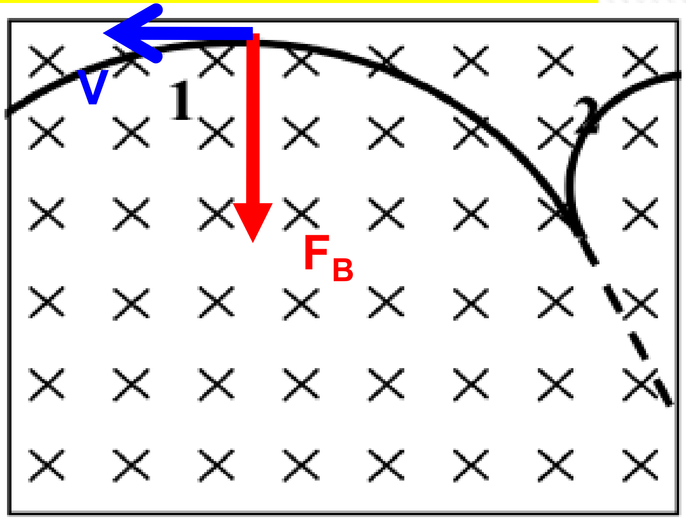
$F = 1{,}9 \times 10^{-17}$ N

EJEMPLO: ejercicio 3.1.6

=

Una partícula neutra choca con un átomo de hidrógeno en reposo que se encuentra en un campo magnético uniforme, disociándolo en un electrón y un protón. En la figura, la trayectoria de la partícula neutra está indicada por la línea quebrada, y las trayectorias de las partículas cargadas están indicadas por los arcos 1 y 2.

a) ¿Cuál de las trayectorias corresponde al protón y cuál al electrón?



b) ¿Cuál de los dos tiene mayor cantidad de movimiento?

c) Exprese el cociente entre las velocidades de las partículas en función de los radios de ambas trayectorias.

a) Analizando la curvatura 1, deducimos que corresponde al protón, ya que debe tener carga positiva, la 2 corresponde al electrón.

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$$

qB es constante, el de mayor p, es el que tiene R mayor.
Por tanto el protón tiene mayor cantidad de movimiento.

EJEMPLO: ejercicio 3.1.6

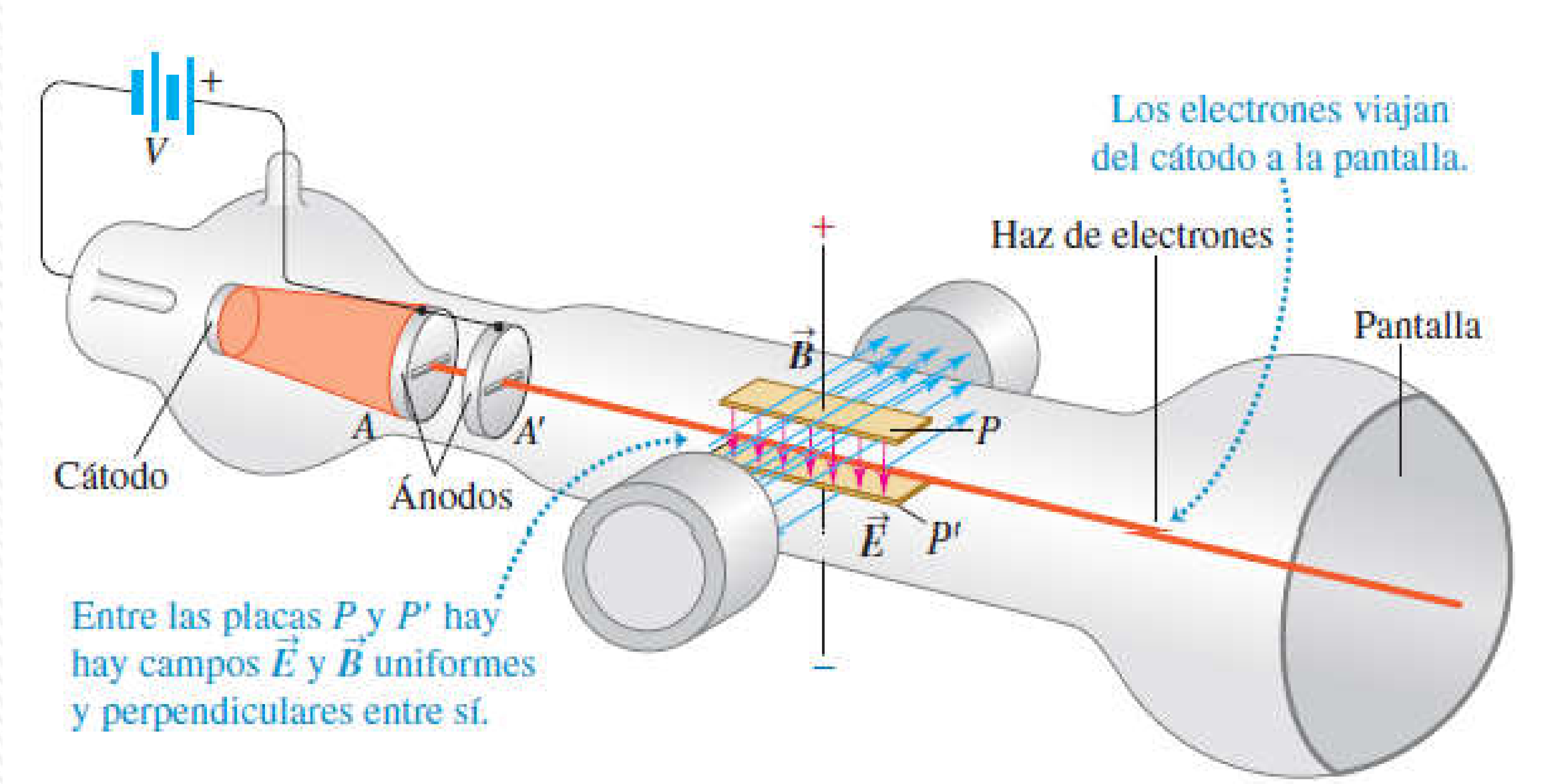
c) Exprese el cociente entre las velocidades de las partículas en función de los radios de ambas trayectorias.

$$R = \frac{mv}{qB} \qquad v = \frac{qBR}{m}$$

$$v_p = \frac{qBR_p}{m_p} \qquad v_e = \frac{qBR_e}{m_e}$$

$$\frac{v_p}{v_e} = \frac{qBR_p}{m_p}\frac{m_e}{qBR_e} = \frac{m_e R_p}{m_p R_e}$$

Experimento de *e/m de Thomson*



En 1897 J.J. Thomson realizó uno de los experimentos cruciales de la física basándose en la idea anterior y midió la razón *e/m* que hay entre la carga y la masa del electrón. En un contenedor de vidrio al alto vacío se aceleraron electrones provenientes de un cátodo caliente, para formar un haz mediante una diferencia de potencial *V entre los dos ánodos A y A' La rapidez v de los* electrones estaba determinada por el potencial acelerador *V.*

Experimento de *e/m de Thomson*

La energía cinética ganada era igual a la pérdida de energía potencial eléctrica eV:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \qquad v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

Los electrones pasan entre las placas *P y P' y chocan contra la pantalla al final del* tubo, que está recubierto de un material que emite fluorescencia (brilla) en el lugar del impacto.

Cuando se satisface la ecuación *vB*= *E*, los electrones viajan en línea recta entre las placas; al combinar esto con la ecuación anterior, se obtiene

$$E = B\sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

Despejando e/m: $$\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$$

Todas las cantidades del lado derecho se pueden medir, así que se determina la razón *e/m entre la carga y la masa.*

El aspecto más significativo de las mediciones de *e/m de Thomson fue que descubrió* un *valor único para tal cantidad, el cual no dependía del material del cátodo, ni* del gas residual en el tubo ni de algo más en el experimento.

Esta independencia demostró que las partículas en el haz, que ahora llamamos electrones, son un componente común de toda la materia.

J.J. Thomson tiene el crédito por descubrir la primera partícula subatómica: el electrón

MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS DE FLUJO

Utilizan la fuerza sobre las cargas que se mueven en un campo magnético para medir flujos sanguíneos.
No necesitan insertar ninguna sonda en los vasos sanguíneos y pueden emplearse para flujos turbulentos.

Se aplica un campo magnético B perpendicular al flujo de sangre.

Sobre los iones que se desplazan a una velocidad media v se origina una fuerza magnética (qvB) que deposita los iones en lados opuestos.

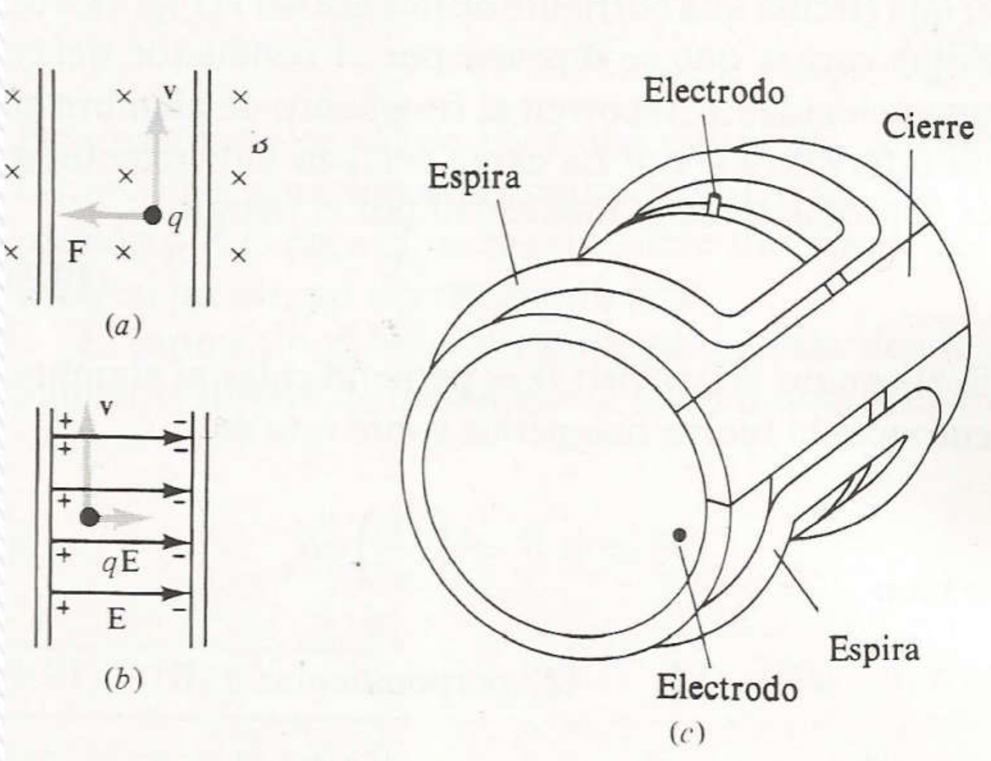
Las cargas se acumulan en las paredes del vaso sanguíneo.

Se llega al equilibrio cuando el campo eléctrico debido a esta separación de cargas produce una fuerza eléctrica qE sobre un ion de carga q que contrarresta la fuerza magnética qvB, es decir cuando

$E = vB$.

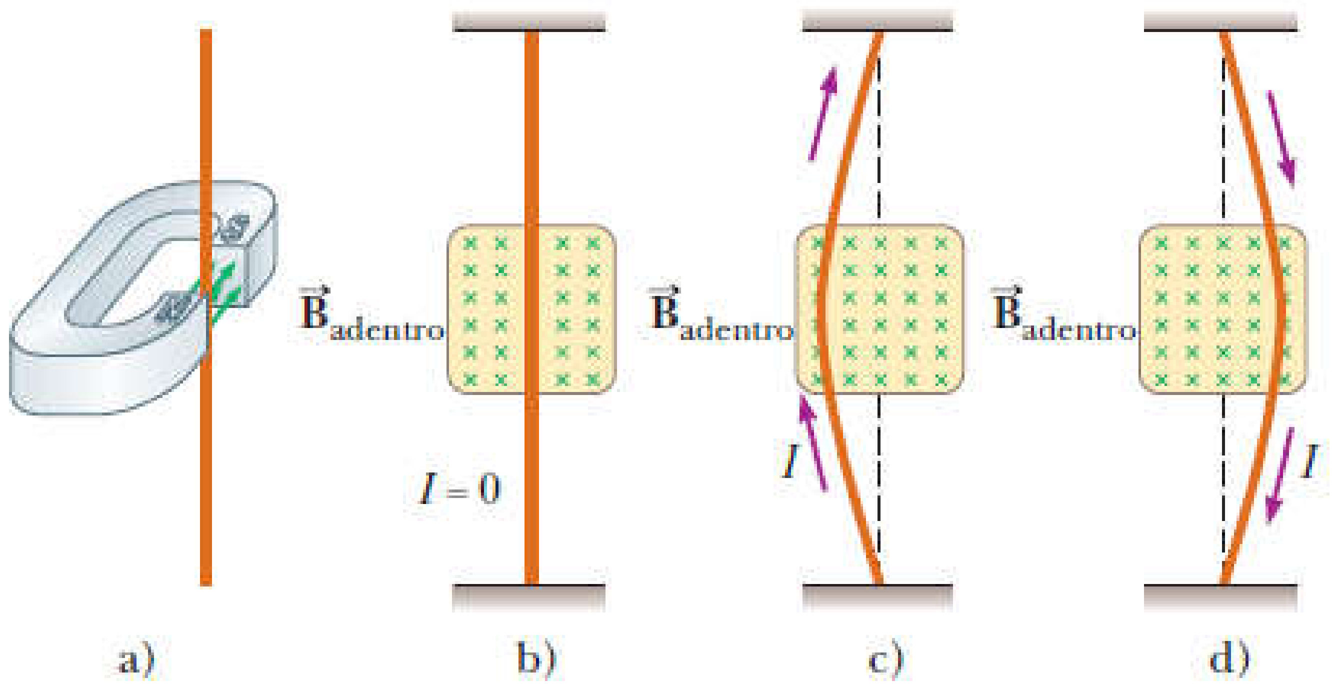
La diferencia de potencial asociada al campo eléctrico es proporcional a la velocidad media v de la sangre, la cual puede medirse con un voltímetro suficientemente sensible.

MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS DE FLUJO



Medidor electromagnético de flujo usado para medir flujos de sangre.
a) Cuando el campo magnético **B** está dirigido hacia la página, la fuerza magnética sobre un ion positivo se dirige hacia la izquierda.
b) Las cargas se acumulan en las paredes produciendo un campo eléctrico **E** que ejerce sobre un ion positivo una fuerza hacia la derecha. En el equilibrio la fuerza eléctrica contrarresta la fuerza magnética.
c) La arteria se inserta en un manguito metálico abriendo un cierre. El campo magnético viene suministrado por la corriente en una sola espira.
El voltaje que se mide entre los electrodos es proporcional a la velocidad y por tanto caudal.

Fuerza magnética que actúa sobre un conductor que transporta corriente



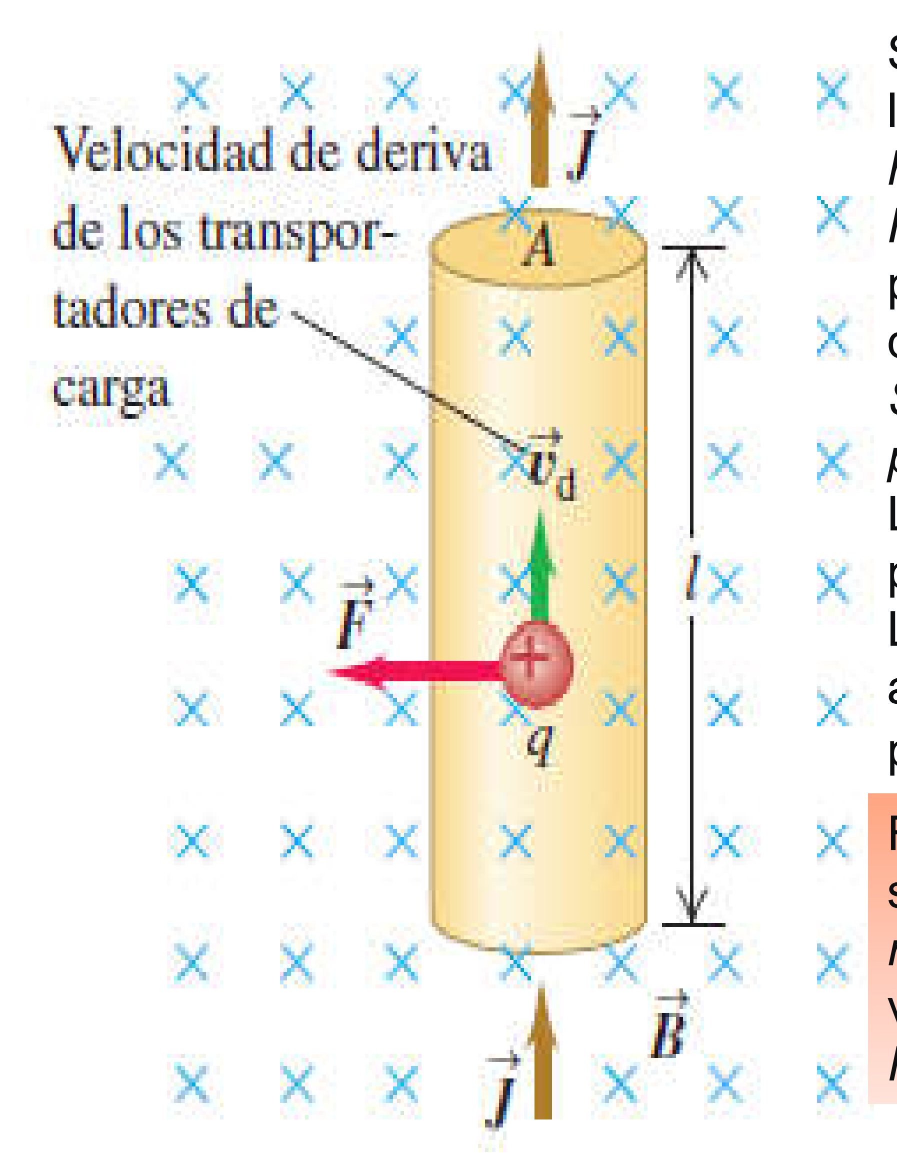
a) Alambre suspendido verticalmente entre los polos de un imán.

b) El campo magnético (cruces verdes) se dirige hacia adentro de la página. Cuando no existe corriente en el alambre, éste sigue vertical.

c) Cuando la corriente se dirige hacia arriba, el alambre se flexiona hacia la izquierda.

d) Cuando la corriente se dirige hacia abajo, el alambre se flexiona hacia la derecha.

Fuerza magnética sobre un conductor que transporta corriente



Segmento rectilíneo alambre conductor,de longitud *l y* área *A; la corriente I va de abajo hacia arriba.*

Hay un campo magnético uniforme **B** perpendicular al plano del diagrama y dirigido *hacia el plano.*

Suponemos que las cargas móviles son positivas.

La velocidad de deriva $\mathbf{v_d}$ es hacia arriba, perpendicular a **B.**

La fuerza media sobre cada carga es dirigida a la izquierda y como **B** y $\mathbf{v_d}$ son perpendiculares: $F = q\, v_d\, B.$

Fuerza sobre todos los portadores del segmento del alambre:

n número de cargas por unidad de volumen

volumen *del segmento : Al*

Número de cargas igual a nAl.

$$F = (nAl)(qv_dB) = (nqv_dA)(lB)$$

Como $I = nqv_dA$: $F = IlB$

Fuerza magnética sobre un conductor que transporta corriente

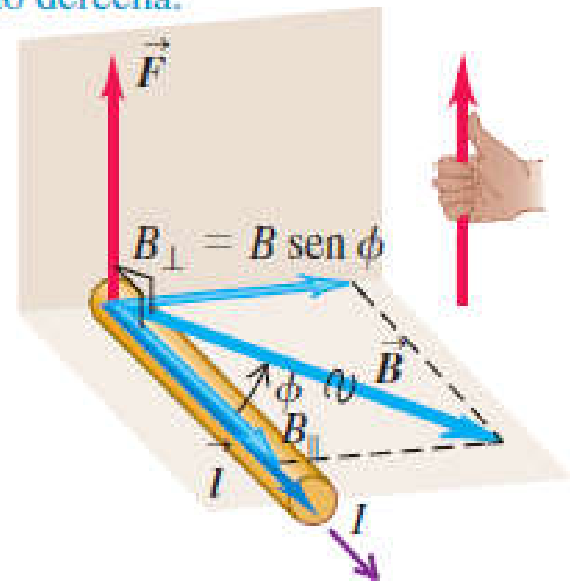
$$F = IlB$$

Si **B** no es perpendicular al alambre, forma un ángulo Φ con él, solo la componente de **B** perpendicular al alambre (y a las velocidades de deriva de las cargas) ejerce una fuerza; tal componente es $B_\perp = B\ sen\ \Phi$:

$$F = IlB_\perp = IlB \sin \Phi$$

Fuerza $\vec{F}$ sobre un alambre recto que conduce corriente positiva y está orientado a un ángulo ϕ con respecto al campo magnético $\vec{B}$:

- La magnitud es $F = IlB_\perp = IlB$ sen ϕ.
- La dirección de $\vec{F}$ está dada por la regla de la mano derecha.



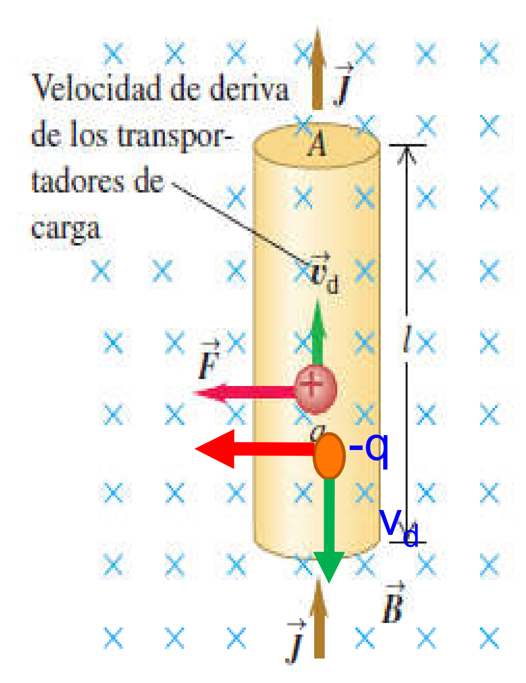
Si el segmento de alambre se representa con un vector ***l*** a lo largo del alambre y en el sentido de la corriente; entonces, la fuerza sobre este segmento es:

$$\boldsymbol{F} = I\bar{\boldsymbol{l}} \times \boldsymbol{B}$$

Si el conductor no es recto, se divide en segmentos infinitesimales d**l** .
La fuerza d**F** en cada segmento es $d\bar{\boldsymbol{F}} = I d\bar{\boldsymbol{l}} \times \bar{\boldsymbol{B}}$

Esta expresión se integra (integral de línea) a lo largo del alambre para obtener la fuerza total sobre un conductor de cualquier forma.

Fuerza magnética sobre un conductor que transporta corriente



¿Qué sucede cuando las cargas móviles son negativas, como los electrones en un metal?

Una corriente ascendente corresponde a una velocidad de deriva descendente.

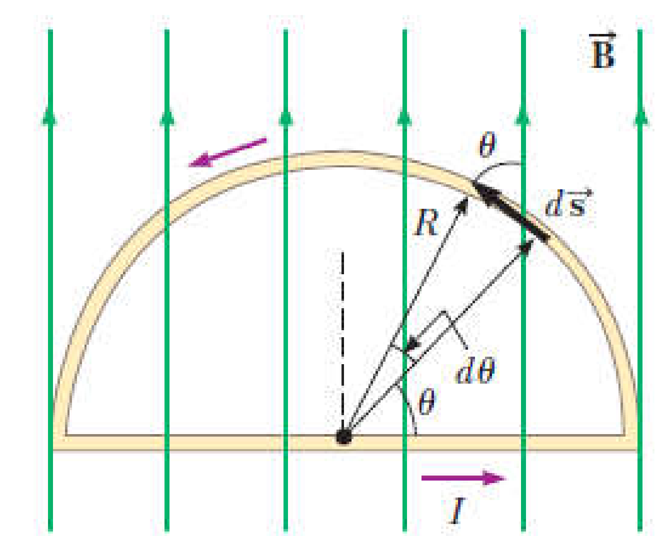
Pero como *q ahora es negativa, el sentido de* la fuerza es la misma que antes.

Las ecuaciones son válidas para cargas *tanto positivas como negativas, e incluso cuando los dos signos de carga* están presentes a la vez.

Se puede probar que en general que:

La fuerza magnética sobre un alambre portador de corriente curvo en un campo magnético uniforme es igual a la de un alambre recto que conecta los puntos finales y porta la misma corriente.

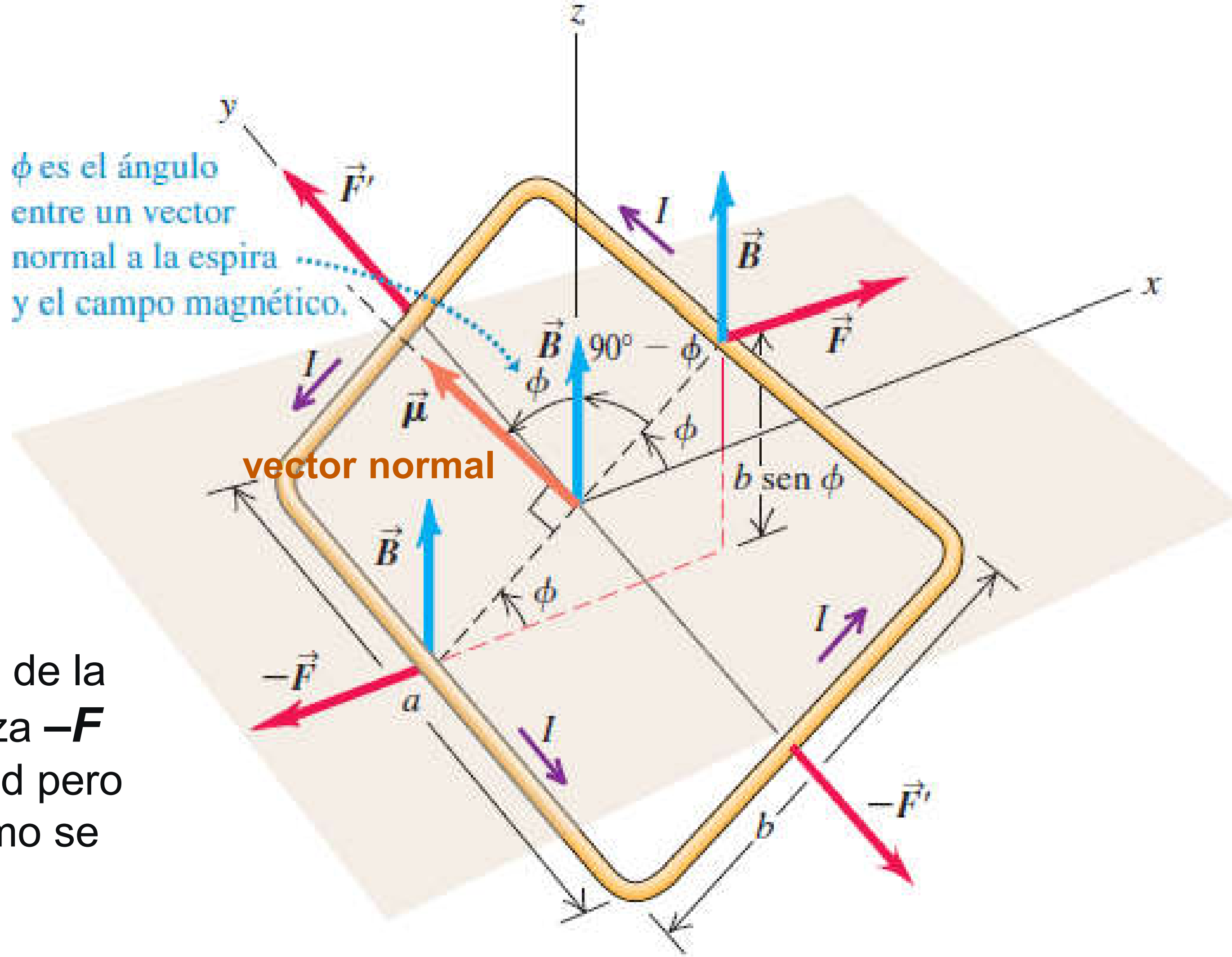
La fuerza magnética neta que actúa sobre cualquier espira de corriente cerrado en un campo magnético uniforme es cero.



Fuerza y torque en una espira de corriente

Espira rectangular que transporta corriente *I,* de lados *a y b,* en **B** uniforme.
B forma un ángulo Φ con la normal al plano de la espira.

La fuerza ***F*** sobre el lado derecho de la espira (longitud *a) va hacia la derecha, según +x,*
En este lado, ***B*** *es perpendicular a la dirección de* la corriente, y la fuerza sobre este lado tiene magnitud: *F= I.a.B*.



Sobre el lado opuesto de la espira actúa una fuerza ***–F*** con la misma magnitud pero sentido contrario, como se observa en la figura.

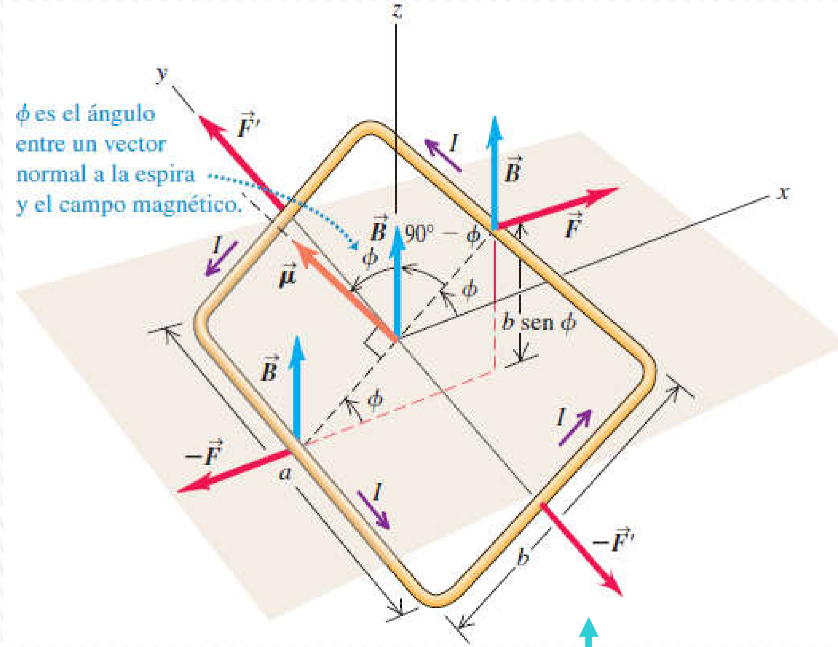
Fuerza y torque en una espira de corriente

Los lados de longitud *b forman un ángulo (90°- Φ) con la dirección de* **B,** *y las fuerzas son* **F’** y **–F’**

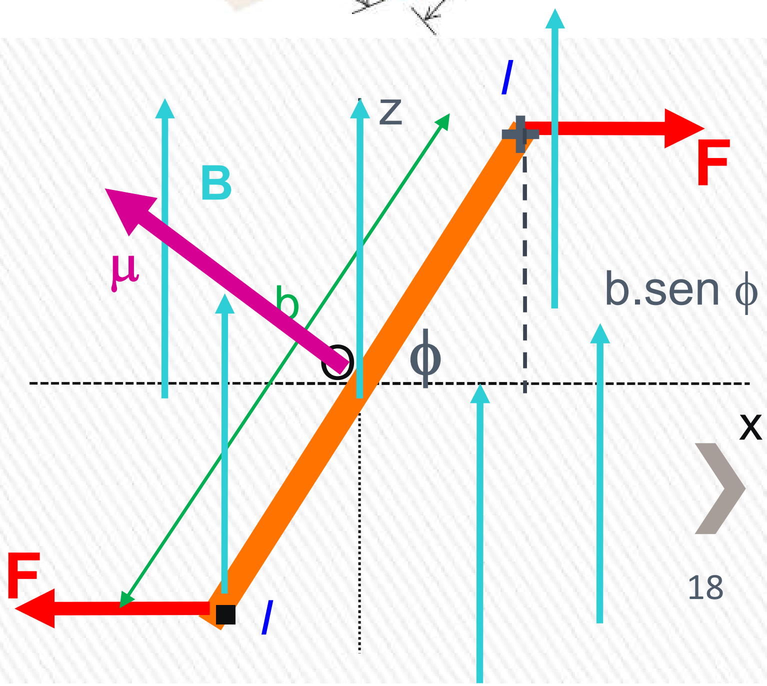
F’=IbBsen(90°-Φ) =IbBcosΦ

con dirección según el eje *y.*

La fuerza *total en la espira es igual a cero porque las fuerzas en lados opuestos se* cancelan por pares.

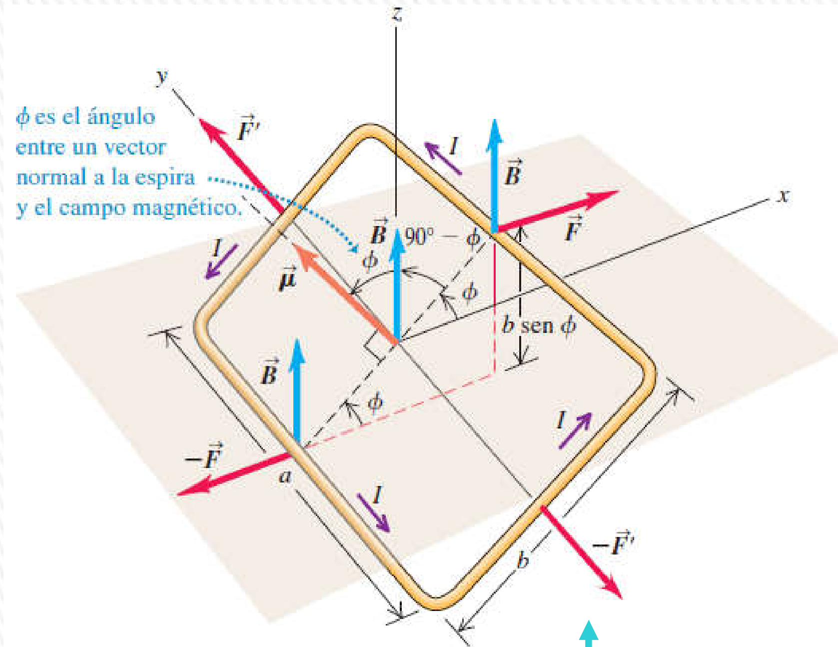


La fuerza neta sobre una espira de corriente en un campo magnético uniforme es igual a cero.
Sin embargo, veremos que el torque neto, en general, no es igual a cero.



Fuerza y torque en una espira de corriente

F’ *y –****F’*** *están en la misma* línea, por lo que originan un torque neto igual a cero con respecto a cualquier punto.
F y -**F** quedan a lo largo de distintas líneas de acción, y cada una origina un torque con respecto al eje *y, con sentido +y.*
El brazo de palanca para cada una de estas fuerzas es (b/2)senΦ.



$$\tau = 2F\left(\frac{b}{2}\right)\sin\Phi = (IBa)(b\sin\Phi)$$

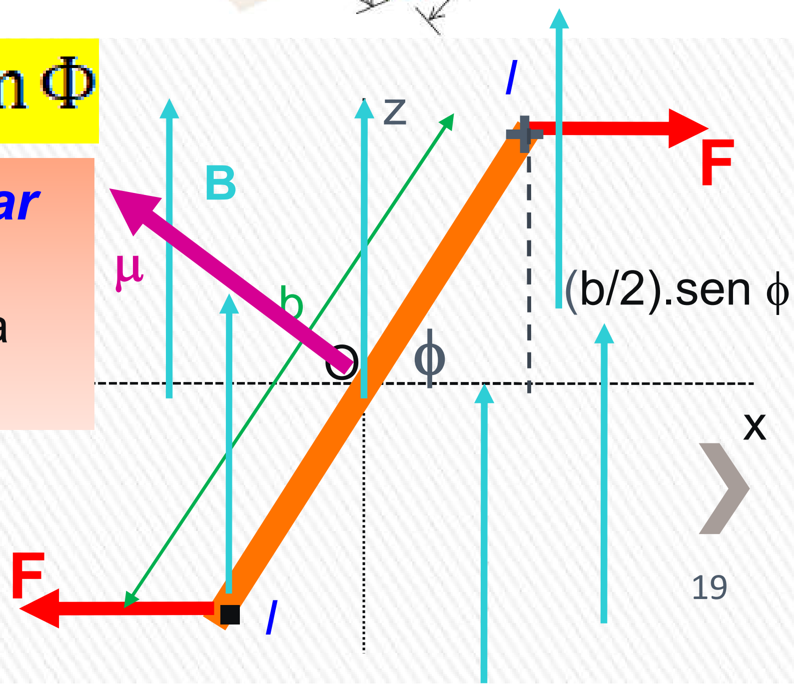
Área de la espira: *A=a.b*

$$\boxed{\tau = IBA\sin\Phi}$$

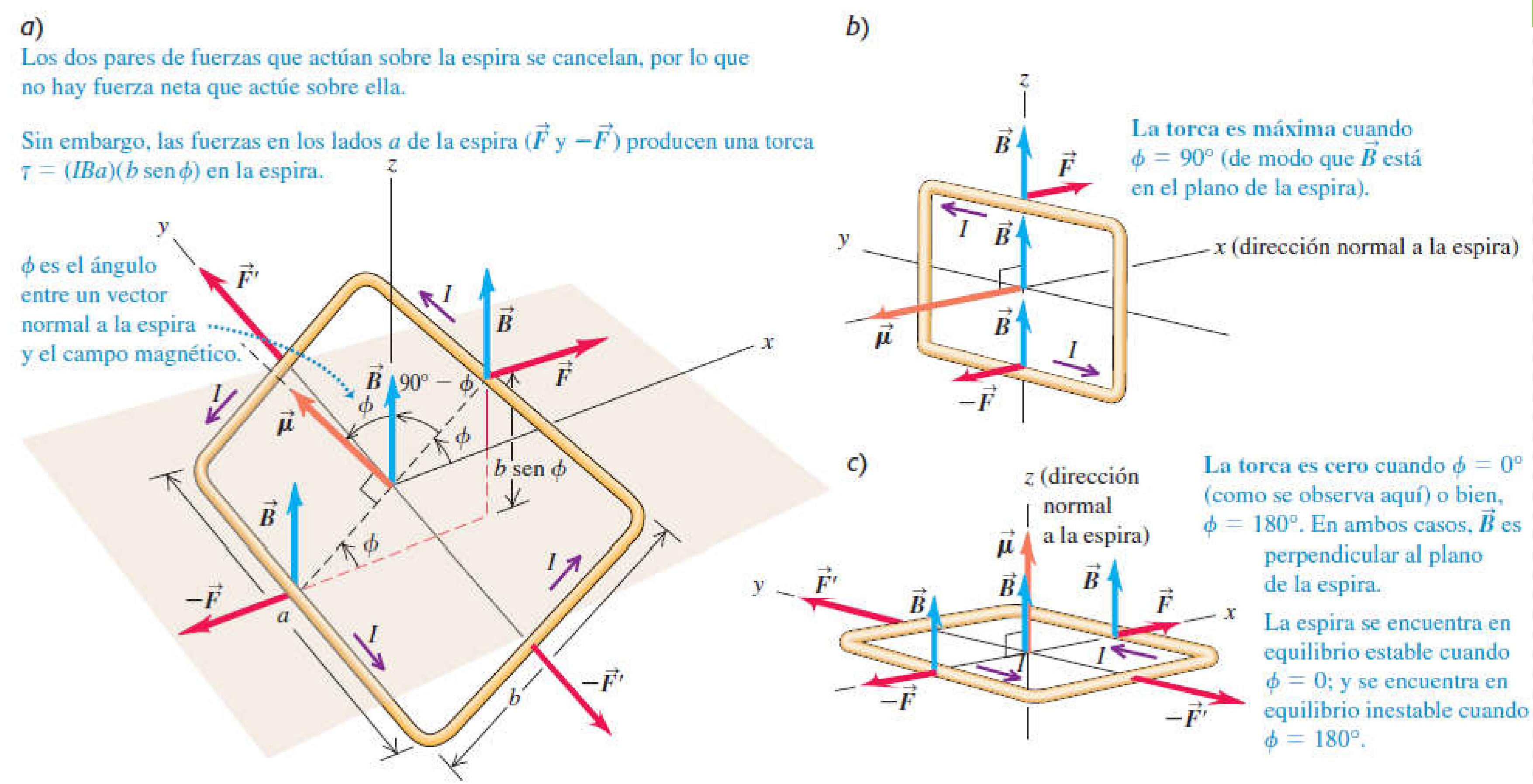
El producto *IA se denomina* ***momento dipolar magnético*** **o** ***momento magnético*** **de** la espira, el cual se denota con el símbolo μ (letra griega mu).

$$\mu = IA$$

$$\tau = \mu B\sin\Phi$$



Fuerza y torque en una espira de corriente



$$\tau = \mu B \sin\Phi$$

donde Φ es el ángulo entre la normal a la espira (dirección del área vectorial **A** y **B.**

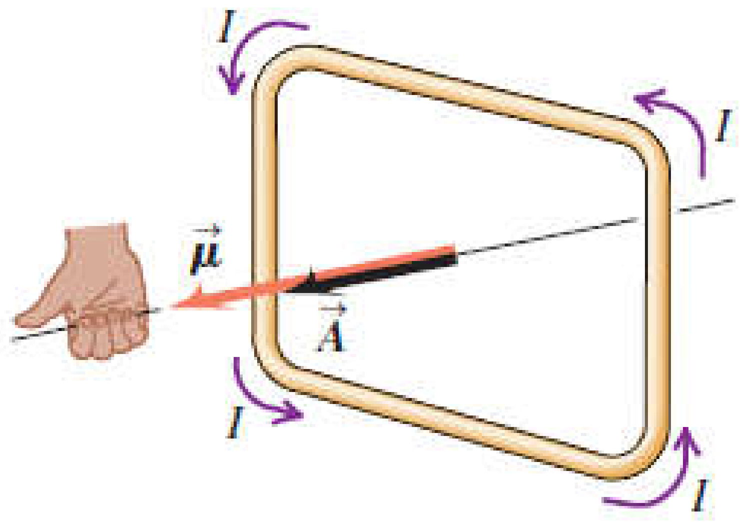
En forma vectorial: $\bar{\tau} = \bar{\mu} \times \bar{B}$

El torque tiende a hacer girar la espira en la dirección en que *disminuye Φ, es decir,* hacia su posición de equilibrio estable donde la espira queda en el plano *xy perpendicular* a la dirección del campo.

Fuerza y torque en una espira de corriente

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

U*na espira de corriente, o cualquier* otro cuerpo que experimenta un torque magnético dada por la ecuación anterior también recibe el nombre de **dipolo magnético.**



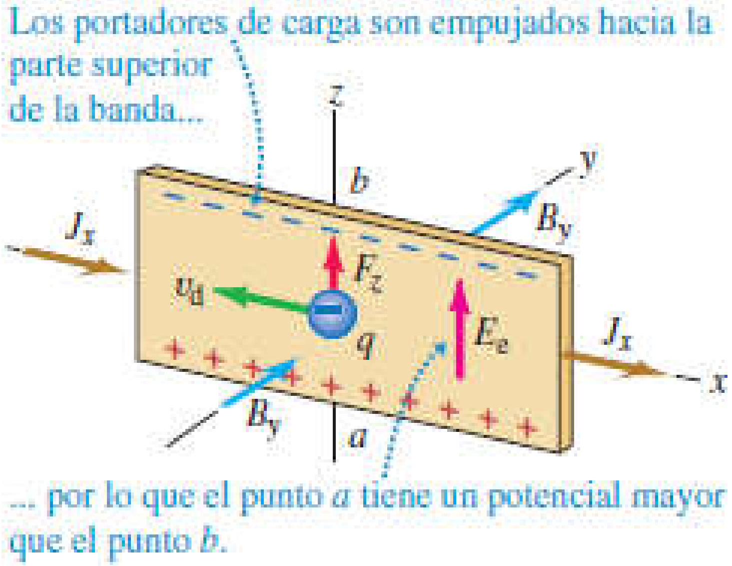
Regla de la mano derecha para determinar **μ**

EFECTO HALL

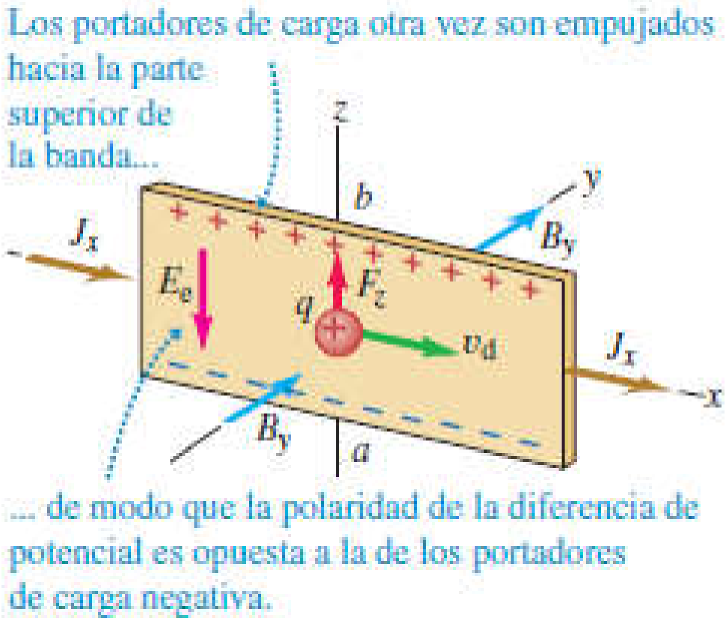
Descubierto en 1879 por Edwin Hall.
Conductor de forma de banda ancha, con corriente *I* según +*x*, campo magnético *B* uniforme según +*y*; y velocidad de deriva v_d de portadores de carga |*q*|.
Figuras: a) portadores negativos (electrones) y
b) portadores positivos.
En ambos casos, la fuerza magnética va hacia arriba,
Una carga móvil es impulsada hacia el borde *superior de la banda por* la fuerza magnética
$F_z = |q| v_d B.$

En caso a) en la parte superior se acumulan electrones, dejando un exceso de cargas positivas en el borde inferior.
Surge un campo eléctrico transversal $\mathbf{E_e}$, *que en un momento hace que la fuerza eléctrica equilibre la magnética, y ya no se desvían las cargas móviles.*

a) Portadores de carga negativa (electrones)



b) Portadores de carga positiva

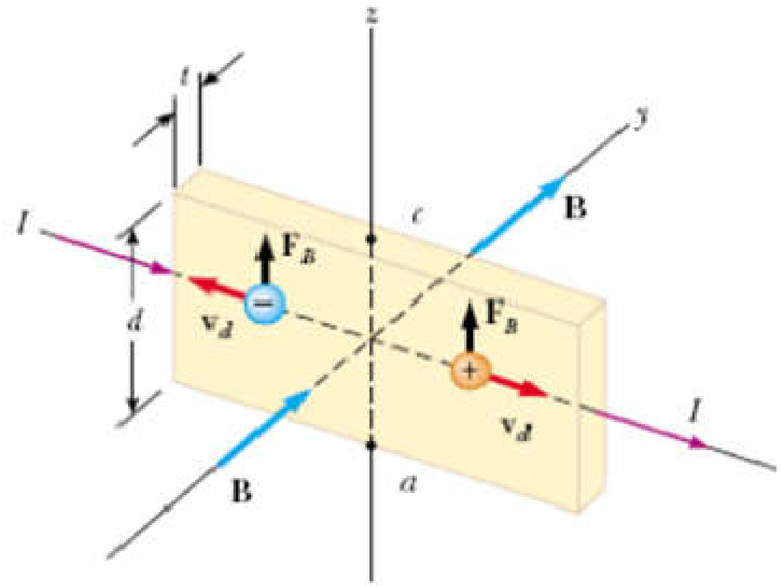


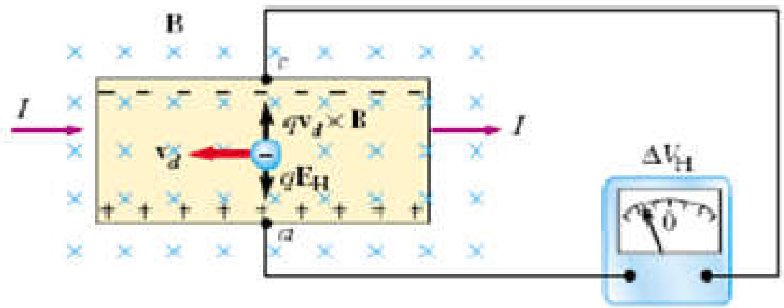
EFECTO HALL

Ese campo eléctrico provoca una diferencia de potencial transversal entre los bordes opuestos: el ***voltaje de Hall*** o ***fem de Hall.***

La polaridad depende de si las cargas móviles son positivas o negativas.

Los experimentos demuestran que para metales, el borde superior de la banda *se carga negativamente, lo cual demuestra que los portadores de* carga en un metalson en verdad electrones.





Suponiendo que cuando se alcanza el equilibrio, E es uniforme, entonces $\Delta V_H = E.d$

Siendo **ΔV_H el voltaje Hall**

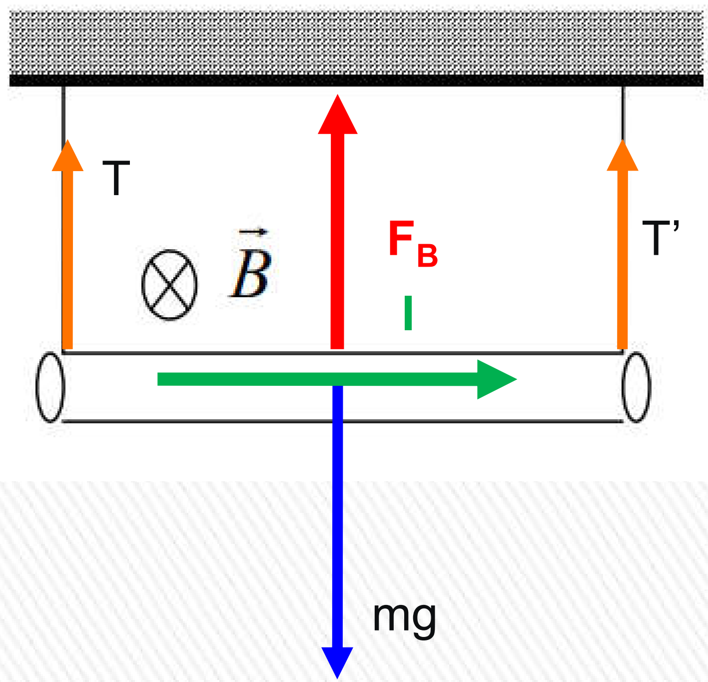
$$\Delta V_H = Ed = Bv_d d = B\left(\frac{J}{nq}\right)d$$

Como: J= I/A=I/(d.t)

$$\Delta V_H = B\left(\frac{I}{Anq}\right)d = Bd\frac{I}{nq(d.t)} = \frac{BI}{nqt}$$

EJEMPLO: ejercicio 3.1.7

Un conductor suspendido por dos cuerdas tiene una masa por unidad de longitud de 0,040 kg/m. Determine el sentido y módulo de la corriente en el conductor para que la tensión en los alambres de soporte sea cero, si el campo magnético sobre la región es de 3,6 T entrante.



Para que la tensión en los alambres de soporte sean cero, la fuerza magnética F_B debe ser igual y opuesta al peso del conductor.
Sea λ = 0,040 kg/m la masa por unidad de longitud.

$m.g = F_B$

$\lambda.L.g = B.I.L$

$$I = \frac{mg}{LB} = \frac{\lambda g}{B} = 0{,}040\,\frac{9{,}80}{3{,}6} = 0{,}109\,A$$

***I* = 0,11 A en el sentido mostrdo en la figura**