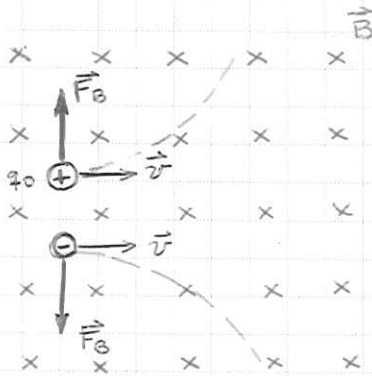


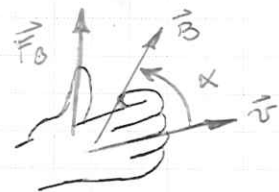
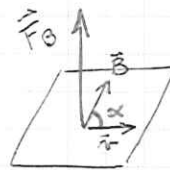
## GUIA 11: Fuerzas de origen magnético

### 1) Fuerza sobre una carga en movimiento



$$\vec{F}_B = q_0 \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\|F_B\| = q_0 \cdot v \cdot B \sin \alpha$$



$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gauss}$$

(mks) (cgs)

a) Si  $\alpha = 0^\circ$  ó  $\alpha = 180^\circ \Rightarrow \|F_B\| = q_0 \cdot v \cdot \sin 0^\circ = 0$   
 trayectoria rectilínea

b) Si  $\alpha = 90^\circ \Rightarrow$  trayectoria circular



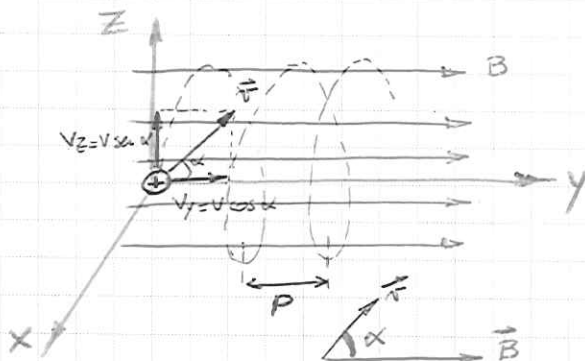
$$q_0 \cdot v \cdot B = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m v}{q_0 \cdot B}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{q_0 B}{m} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad f = \frac{\omega}{2\pi} [\text{Hz}]$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} [\text{s}] \quad K = \frac{1}{2} m v^2 [\text{J}]$$

c) Si  $\alpha \neq 0$  y  $\alpha \neq 90^\circ \Rightarrow$  trayectoria helicoidal

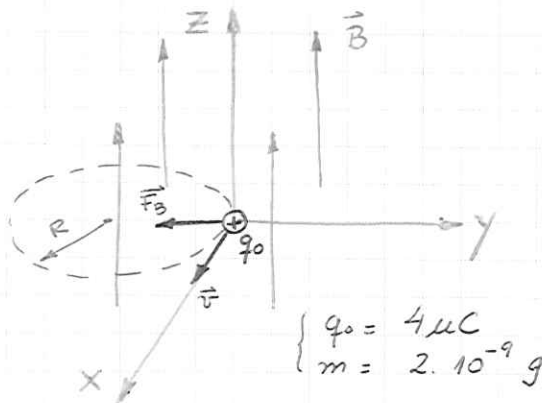


Radio:  $R = \frac{m v \cdot \sin \alpha}{q_0 \cdot B}$

Paso:  $p = v \cos \alpha \cdot T$

Período:  $T = \frac{2\pi m}{q_0 \cdot B}$

Ejemplo:



$$\vec{B} = (200 \mu\text{T}) \hat{k}$$

$$\vec{v} = (10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \hat{i}$$

a) hallar la fuerza magnética

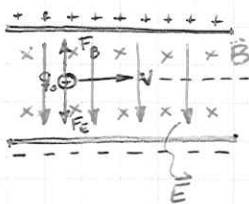
$$\|F_B\| = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ T} \sin 90^\circ$$

$$\|F_B\| = 8 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

$$\vec{F}_B = (-8 \cdot 10^{-5} \text{ N}) \hat{j}$$

b)  $R = \frac{mv}{q_0 B} = 250 \text{ m}$  (trayectoria circular en el plano xy)

Aplicación 1: Selector de velocidades

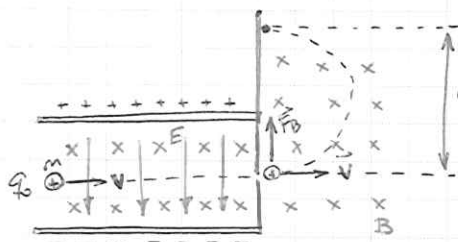


$$\|F_E\| = \|F_B\|$$

$$q_0 E = q_0 v B \Rightarrow$$

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

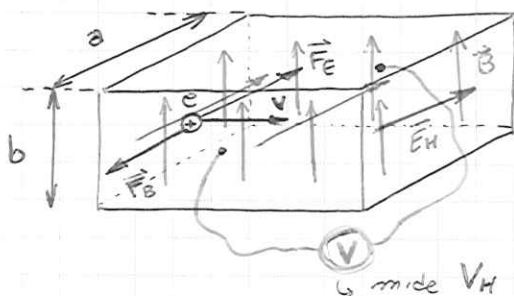
Aplicación 2: Espectrómetro de masas



$$R = \frac{\phi}{2}; \quad v = \frac{E}{B}; \quad \text{ión simplemente cargado } q_0 = e$$

$$R = \frac{mv}{q_0 B} \Rightarrow m = \frac{q_0 R B}{v} = \frac{q_0 R B^2}{E}$$

Aplicación 3: Efecto Hall



$$J = n v q_0 = \frac{I}{a \cdot b} \quad (\text{densidad de corriente})$$

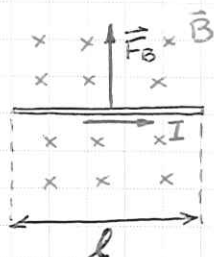
$$q_0 E_H = q_0 v B$$

$$\frac{V_H}{a} = \frac{J}{n \cdot q_0} B \Rightarrow V_H = \left( \frac{1}{n \cdot q_0} \right) J B \cdot a$$

$$V_H = \frac{R_H \cdot I B}{b}$$

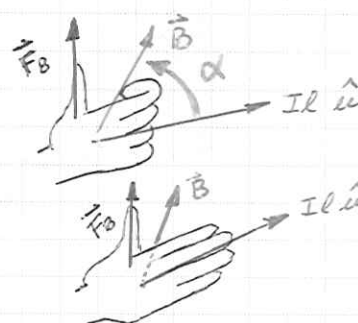
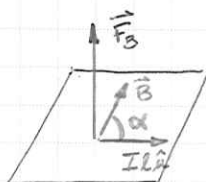
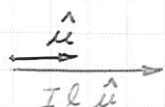
2

## 2) Fuerza sobre un conductor con corriente

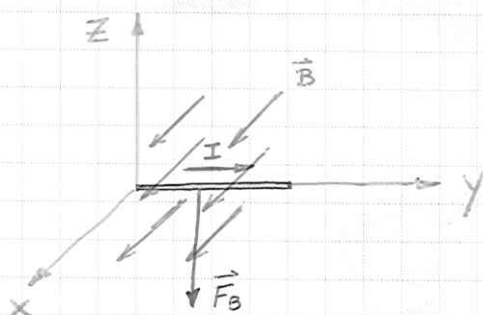


$$\vec{F}_B = I l \hat{u} \times \vec{B}$$

$$\|F_B\| = I l B \sin \alpha$$



Ejemplo 1:



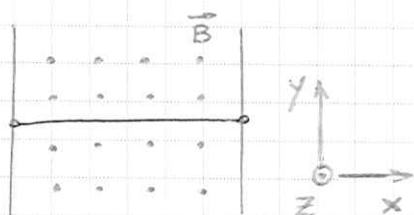
$$I = 10 \text{ A}; \quad l = 2 \text{ m} \quad (\text{eje } y)$$

$$\vec{B} = (40 \text{ mT}) \hat{i}$$

$$\|F_B\| = 10 \text{ A} \cdot 2 \text{ m} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ T} \sin 90^\circ = 0,8 \text{ N}$$

$$\vec{F}_B = (-0,8 \text{ N}) \hat{k}$$

Ejemplo 2:



Densidad lineal de masa:  $\mu = \frac{m}{l}$

$$\vec{B} = (20 \text{ mT}) \hat{k}; \quad \mu = 100 \frac{\text{g}}{\text{m}} = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

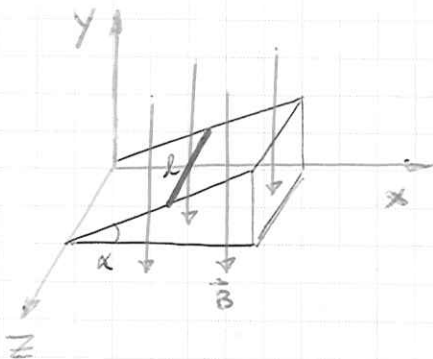
$$\|F_B\| = m g$$

$$I l B \sin 90^\circ = m \cdot g$$

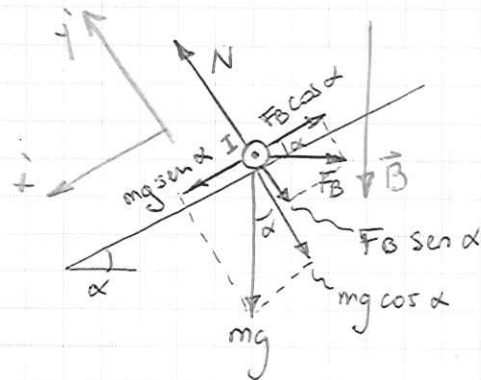
$$I = \frac{m g}{l B} = \frac{\mu g}{B}$$

$$I = \frac{0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{20 \cdot 10^{-3} \text{ T}} = 49 \text{ A}$$

## Ejemplo 3:



Hallar  $I$  pl que el conductor esté en equilibrio.



$$\|F_B\| = I l B$$

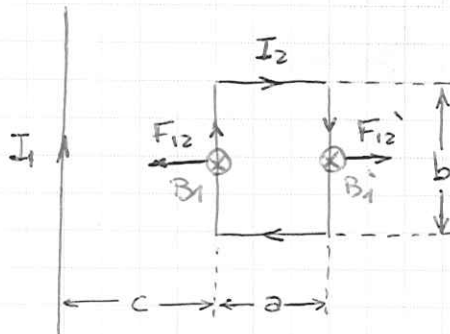
$$\sum F_x = 0$$

$$mg \sin \alpha - F_B \cos \alpha = 0$$

$$mg \sin \alpha = I l B \cos \alpha$$

$$I = \frac{mg \sin \alpha}{l B \cos \alpha}$$

## Ejemplo 4:



Hallar la fuerza resultante sobre la espira rectangular.

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$$

$$\vec{B}_1 = \left( -\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{c} \right) \hat{k}$$

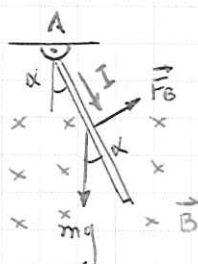
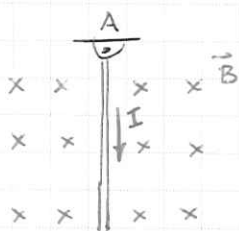
$$\vec{B}_1' = \left( -\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{c+a} \right) \hat{k}$$

$$\vec{F}_{12} = (-I_2 b B_1) \hat{i}$$

$$\vec{F}_{12}' = (I_2 b B_1') \hat{i}$$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{12}' = I_2 b (B_1' - B_1) \hat{i}$$

## Ejemplo 5:



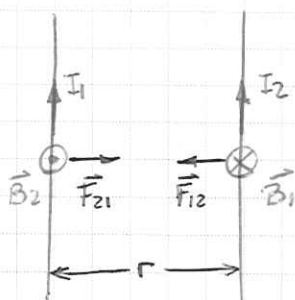
$$\sum \tau_A = 0$$

$$F_B \cdot \frac{l}{2} \sin 90^\circ - mg \cdot \frac{l}{2} \sin \alpha = 0$$

$$I l B = mg \sin \alpha$$

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{I l B}{mg} \right)$$

## 3) Fuerza entre conductores paralelos



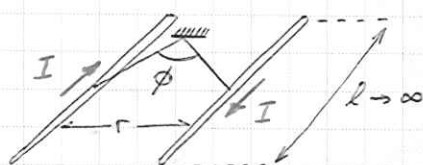
$$\|B_1\| = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{r}$$

$$\|F_{12}\| = I_2 \cdot l \cdot B_1 = I_2 l \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{r}$$

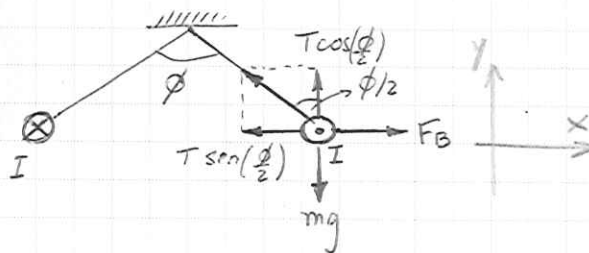
$$\boxed{\frac{\|F_{12}\|}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} \left[ \frac{N}{m} \right]}$$

atracción ↑ ↑  
repulsión ↓ ↓

Ejemplo:



Halla r

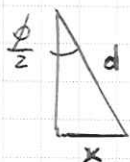


$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \Rightarrow F_B - T \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) = 0 \\ \sum F_y = 0 \Rightarrow T \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) - mg = 0 \end{cases}$$

$$\div T \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi r}$$

$$T \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) = mg$$

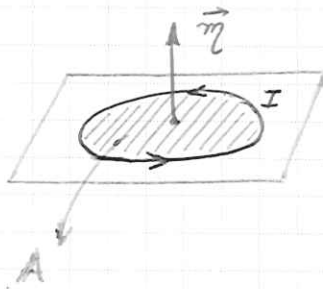
$$\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi r mg} \Rightarrow I = \sqrt{\frac{2\pi r mg \tan\left(\frac{\phi}{2}\right)}{\mu_0 l}}$$



$$\sin\left(\frac{\phi}{2}\right) = \frac{x}{d} \Rightarrow x = d \cdot \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$r = 2x$$

## 4) Momento magnético

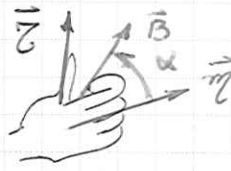
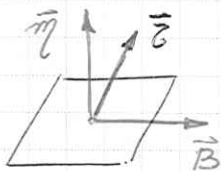


$$\vec{m} = IA \hat{n}$$



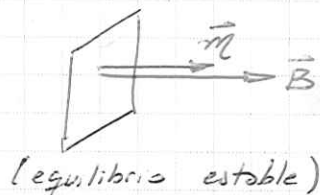
$$\|\vec{m}\| = IA \quad [Am^2]$$

## a) Torque sobre una espira



$$\vec{C} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$\|\vec{C}\| = m B \sin \alpha \quad [Nm]$$



$$\vec{C} = 0$$

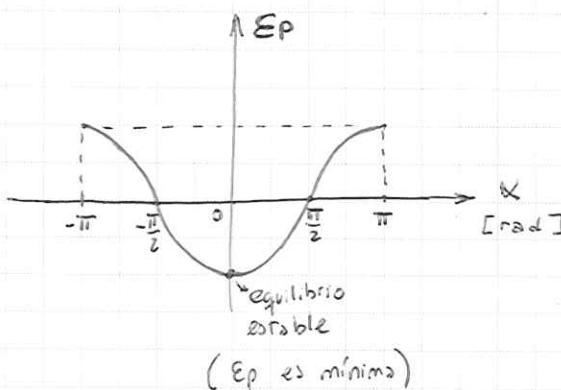


$$m = NIA$$

## b) Energía potencial de la espira

$$U = E_p = - \vec{m} \cdot \vec{B} \quad (\text{escalar})$$

$$U = E_p = - m B \cos \alpha \quad [J]$$



$$\alpha = \pm \pi \Rightarrow E_p = m B \quad (\text{máx})$$

(equilibrio inestable)

$$\alpha = \pm \frac{\pi}{2} \Rightarrow E_p = 0$$

$$\alpha = 0 \Rightarrow E_p = - m B \quad (\text{mín})$$

(equilibrio estable)



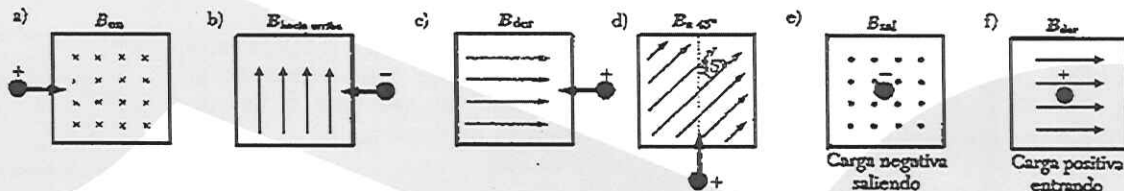


## GUIA 11- FUERZAS DE ORIGEN MAGNÉTICO

4

### 11.1 Fuerzas sobre cargas en movimiento

1) Indique la dirección inicial de la desviación de las partículas cargadas cuando entran en los campos magnéticos que muestra la figura.



2) Un protón se mueve perpendicularmente a un campo magnético  $B$  con una velocidad de  $10^7$  m/s y experimenta una aceleración de  $2 \times 10^{13}$  m/s<sup>2</sup> en la dirección del eje  $+x$  cuando su velocidad está en la dirección  $+z$ . Determine el campo magnético, expresándolo en función de los versores  $i, j, k$ . Recuerde que la fuerza resultante es igual a masa por aceleración (Segunda ley de Newton).

Rta:  $\vec{B} = -(20,88 \text{ mT})\hat{j}$

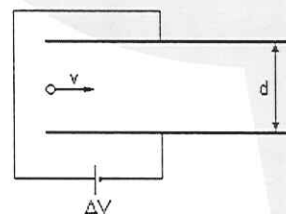
3) Un ciclotrón diseñado para hacer girar protones tiene un campo magnético de 0,45 T y un radio de 1,2 m. Se desea conocer: a) ¿Cuál es la frecuencia del ciclotrón? b) ¿Cuál es la máxima rapidez adquirida por los protones?

Rta: a)  $f = 6,86 \text{ MHz}$  b)  $v = 5,17 \times 10^7 \text{ m/s}$

4) ¿Cuál es el radio que requiere un ciclotrón diseñado para acelerar protones hasta energías de 34 MeV utilizando un campo magnético de 5,2 T?

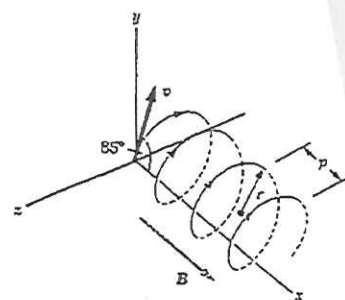
Rta:  $R = 0,162 \text{ m}$

5) Un selector de velocidades tiene un campo eléctrico generado por dos placas metálicas cargadas como muestra la figura. Si la distancia entre placas es de 5 cm y la diferencia de potencial aplicada a las placas es de 1000 V, se pide: a) ¿Qué valor de campo magnético y en qué dirección se debe aplicar para que, protones de velocidad  $10^6$  m/s, atraviesen la región sin desviarse? y b) Si el campo eléctrico deja de aplicarse abruptamente, ¿qué radio tendría la trayectoria posterior de los protones?



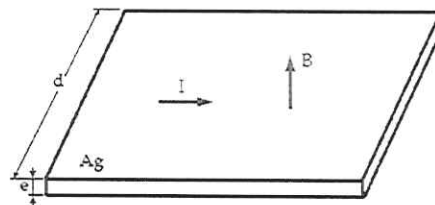
Rta: a)  $B = 0,02 \text{ T}$  (entrante) b)  $R = 0,5219 \text{ m}$

6) Un deuterón de masa  $3,34 \times 10^{-27}$  kg y carga  $1,60 \times 10^{-19}$  C es lanzado con una velocidad de  $1,84 \times 10^5$  m/s a un ángulo de  $85^\circ$  respecto del eje  $x$  como muestra la figura. El campo magnético es de  $5,50 \times 10^{-2}$  T y está orientado en  $x$ . a) ¿Cuál es el radio de la trayectoria? b) ¿Cuál es el período del movimiento? y c) ¿Cuál es el paso  $p$  de la trayectoria?



Rta: a)  $R = 0,0696 \text{ m}$   
b)  $T = 2,39 \times 10^{-6} \text{ s}$   
c)  $p = 0,0383 \text{ m}$

7) Una lámina de plata de ancho  $d$  y espesor  $e$  lleva una corriente de 5 A, tal como muestra la figura. Si la corriente está dirigida perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 1,2 T y el coeficiente Hall de la plata es  $R_H = -0,84 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$ , ¿cuál deberá ser el espesor de la lámina para producir un voltaje Hall de  $1 \mu\text{V}$ ?



Rta:  $e = 5,04 \mu\text{m}$



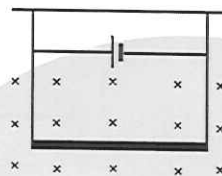
## 11.2 Fuerzas sobre conductores con corriente

8) Una sección recta de alambre de longitud de 0,75 m por el que circula una corriente de 2,4 en la dirección positiva de  $x$  se encuentra dentro de un campo magnético uniforme  $B = (1,6T)\mathbf{k}$  (en la dirección del eje  $+z$ ). Si la corriente fluye en la dirección del eje  $+x$ , ¿Cuál es la fuerza magnética sobre el alambre?

Rta:  $\vec{F} = -(2,88 \text{ N})\hat{j}$

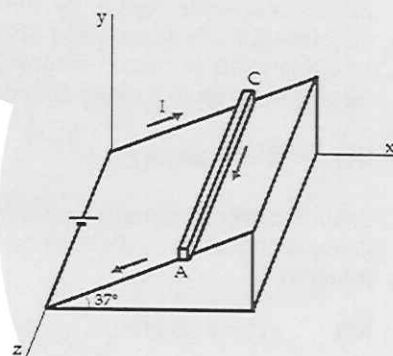
9) Un conductor suspendido por dos alambres flexibles como muestra en la figura tiene una masa por unidad de longitud de 10 g/m. ¿Qué corriente debe existir en el conductor para que la tensión en los alambres que lo soportan sea cero, si hay un campo magnético entrante de  $200 \mu\text{T}$ ? ¿Cuál es la dirección de la corriente?

Rta:  $I = 490 \text{ A}$  hacia la derecha



10) En la figura, la barra AC tiene 40 cm de longitud y una masa de 50 g. La barra se desliza libremente sobre las bandas de metal en los extremos del plano inclinado a  $37^\circ$ . Una corriente  $I$  fluye a través de esas bandas y de la barra como se indica. Hay en esa región un campo magnético  $B = 0,2 \text{ T}$  en la dirección negativa de las  $y$ . Calcule: a) ¿Cuál deberá ser el valor de  $I$  para que la barra permanezca en reposo? b) Con ese valor de corriente, ¿cuál deberá ser el valor del campo magnético y en qué sentido deberá estar dirigido, si en lugar de ser paralelo al eje  $y$ , es paralelo al eje  $x$ ?

Rta: a)  $I = 4,62 \text{ A}$  b)  $0,265 \text{ T}$  en  $x+$ .



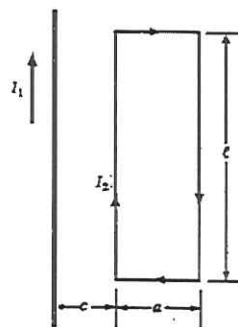
11) La varilla metálica uniforme y rígida de masa  $M$  se suspende como un péndulo como muestra la figura. Una corriente  $I$  circula hacia abajo y un campo magnético uniforme  $B$  está dirigido en la dirección indicada. Calcular que ángulo formará la varilla con la vertical cuando alcance el equilibrio.

Rta:  $\theta = \arcsen\left(\frac{ILB}{mg}\right)$



12) Para el arreglo de la siguiente figura la corriente en el conductor largo y recto es de  $I_1 = 5 \text{ A}$  y está colocado en el mismo plano de la espira rectangular, la cual lleva una corriente  $I_2 = 10 \text{ A}$ . Las dimensiones son  $c = 0,1 \text{ m}$ ,  $a = 0,15 \text{ m}$  y  $l = 0,45 \text{ m}$ . Encuentre la magnitud y la dirección de la fuerza total ejercida sobre la espira rectangular por el campo magnético del conductor recto.

Rta:  $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ N}$  hacia el conductor recto



13) Por dos conductores largos y paralelos circulan corrientes de 3 A y 5 A en sentidos contrarios. Si la separación entre los conductores es de 13 cm, ¿cuál es la fuerza por unidad de longitud que ejerce cada alambre sobre el otro?

Rta:  $2,31 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}$  (repulsión)

14) Dos alambres paralelos están suspendidos de un eje común por cuerdas de  $L = 4 \text{ cm}$ . Los alambres tienen una masa por unidad de longitud de 50 g/m y transportan la misma corriente en sentidos opuestos. Calcular el valor de las corrientes si las cuerdas forman un ángulo de  $30^\circ$  con la vertical.

Rta:  $I = 237,9 \text{ A}$