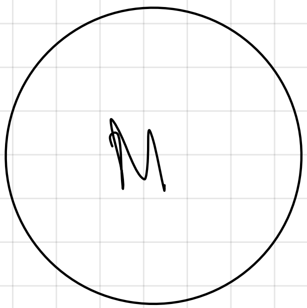
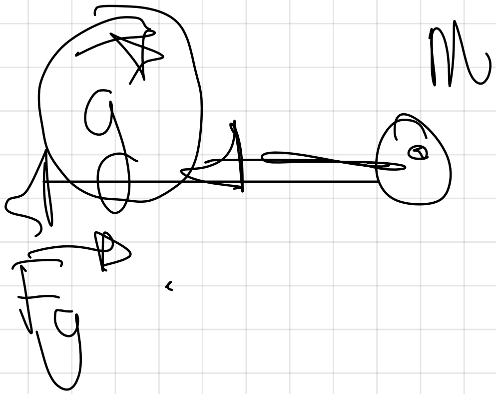
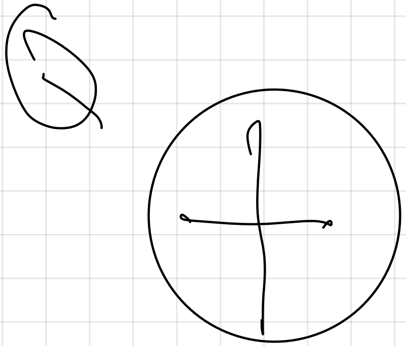
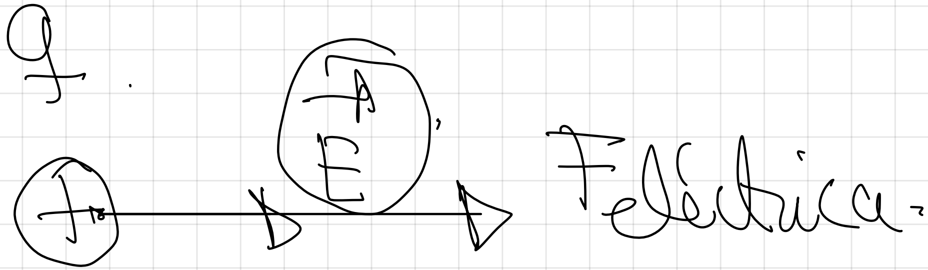
ELECTROMAGNETISMO.









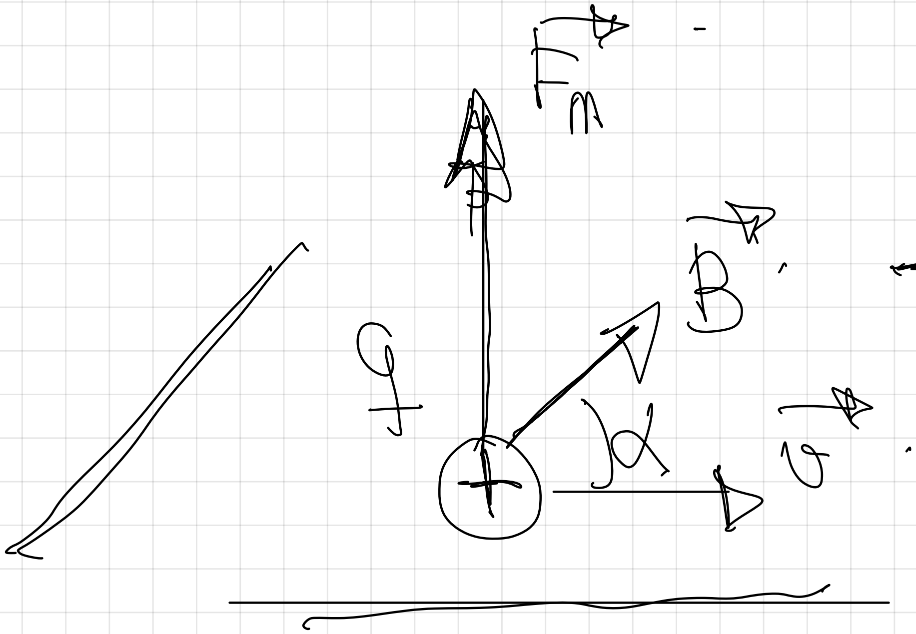
IMÁN

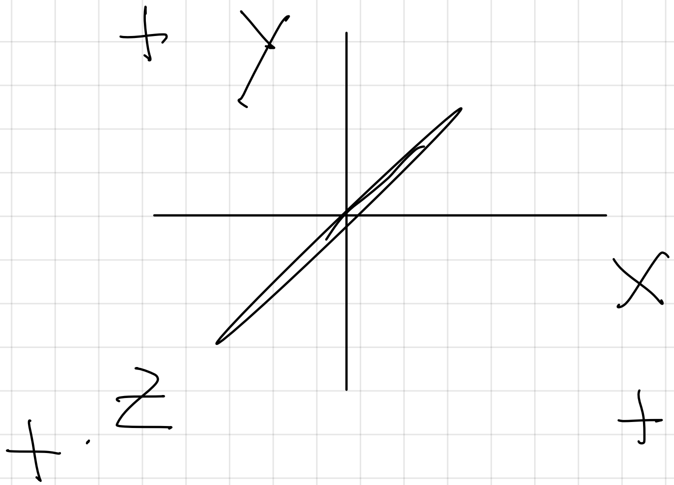
$q \longrightarrow \vec{B}$ Campo magnético.

Actúa sobre cargas en movimiento con la orientación adecuada.

Pag 72.

2.- FUERZA EJERCIDA POR UN CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UNA CARGA MÓVIL. LEY DE LORENTZ





Ley de Lorentz.

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

- Módulo.

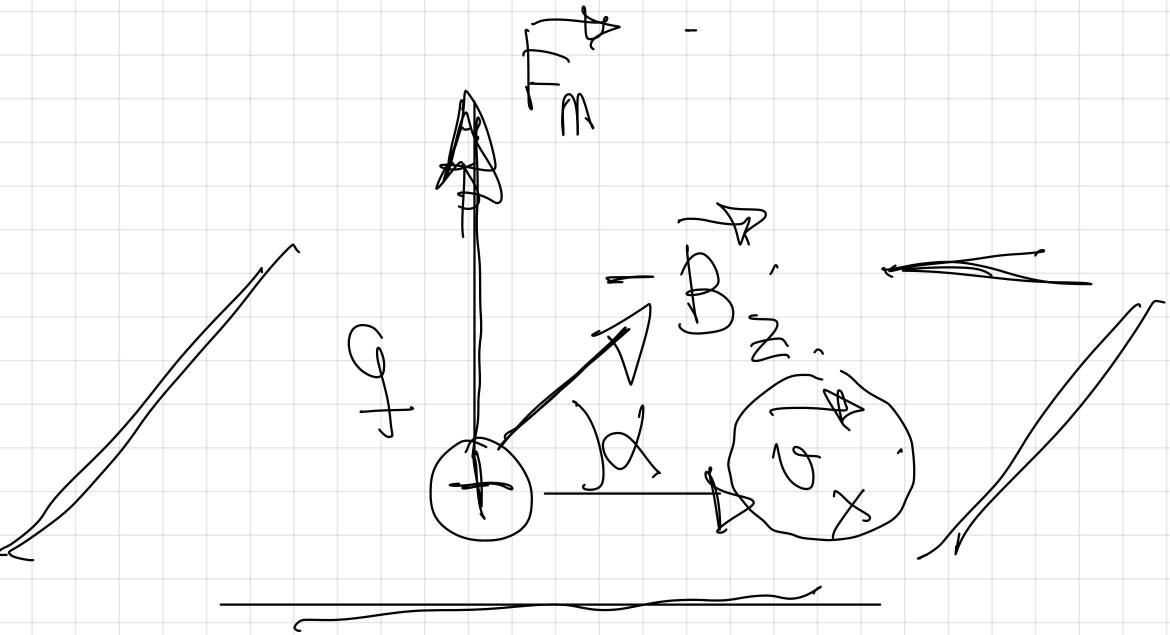
ángulo formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$.

$$|\vec{F}_m| = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \boxed{\alpha}$$

$F \Rightarrow N$ (S.I) $v \Rightarrow m/s$ (S.I)

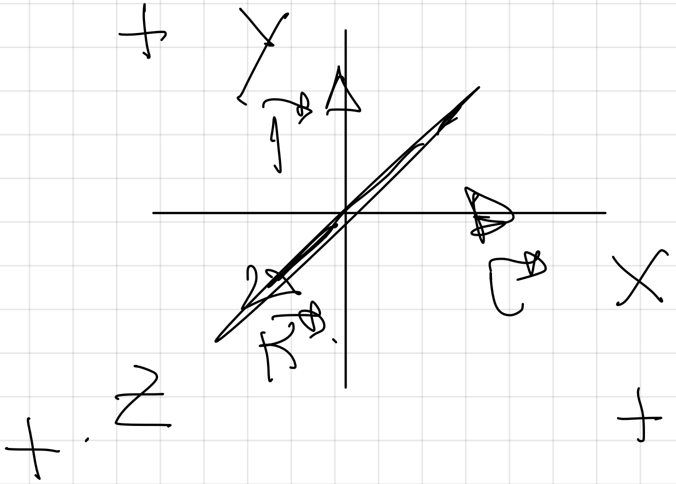
$q \Rightarrow C$ (S.I) $B \Rightarrow T$

- Dirección: $\perp$ al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$



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

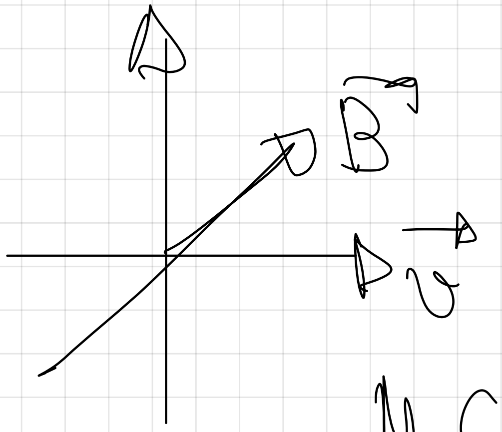
$$\vec{F}_m = q^+ \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B_z \end{vmatrix}$$



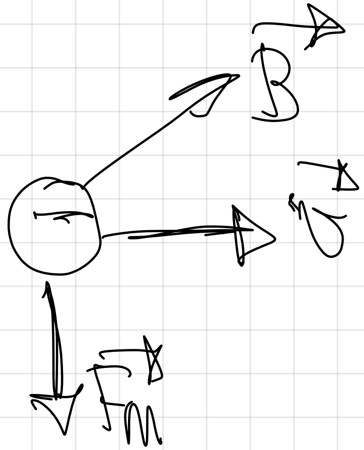
$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B_z \\ \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0 + 0 + 0 - [0 + 0 - B_z \vec{j} v_x]$$

$$= v_x \cdot B_z \cdot \vec{j}$$

$\vec{F_m} \rightarrow \vec{F_m} = q \cdot v_x \cdot B_z \, \vec{j}$

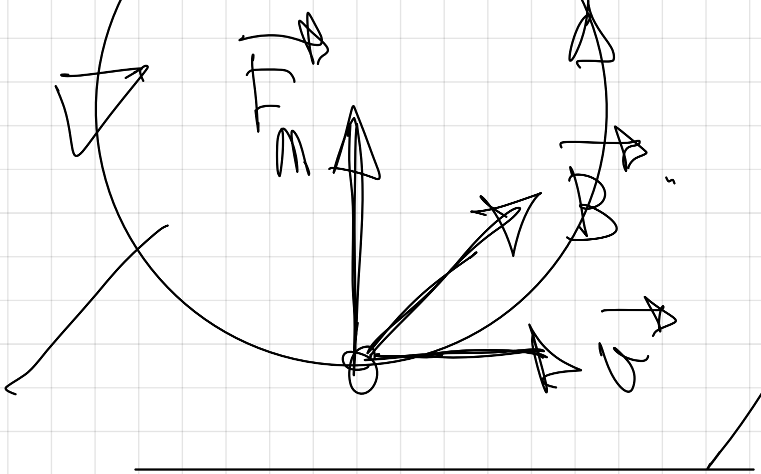


M.C.U



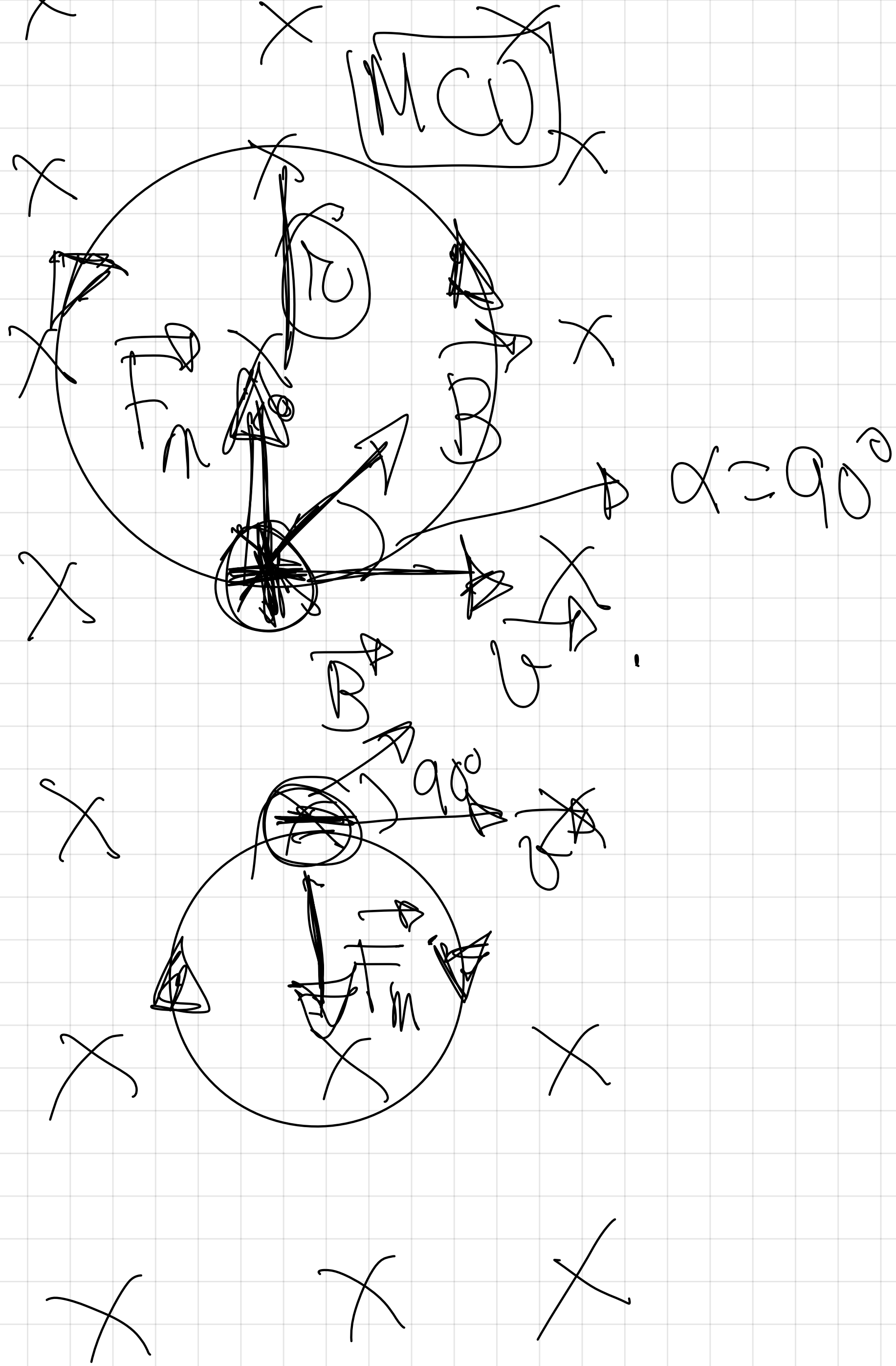
En la carga negativa el sentido es el contrario al de la regla de la mano izquierda.

Campo magnético y trayectoria.



Ley de Lorentz.

$\vec{F} \perp$ al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$.



$\vec{F}_m$ siempre es $\perp$ a la $\vec{v}$.

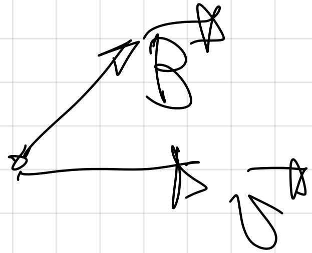
$$F_m = F_n$$

$$q \cdot v \cdot B \cdot \cancel{\text{sen}\, 90°}^{\,1} = m \cdot a_n$$

$$q \cdot \cancel{v} \cdot B = m \cdot \frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

$$\boxed{r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}}$$

$m_p > m_e \rightarrow \boxed{r_p > r_e}$

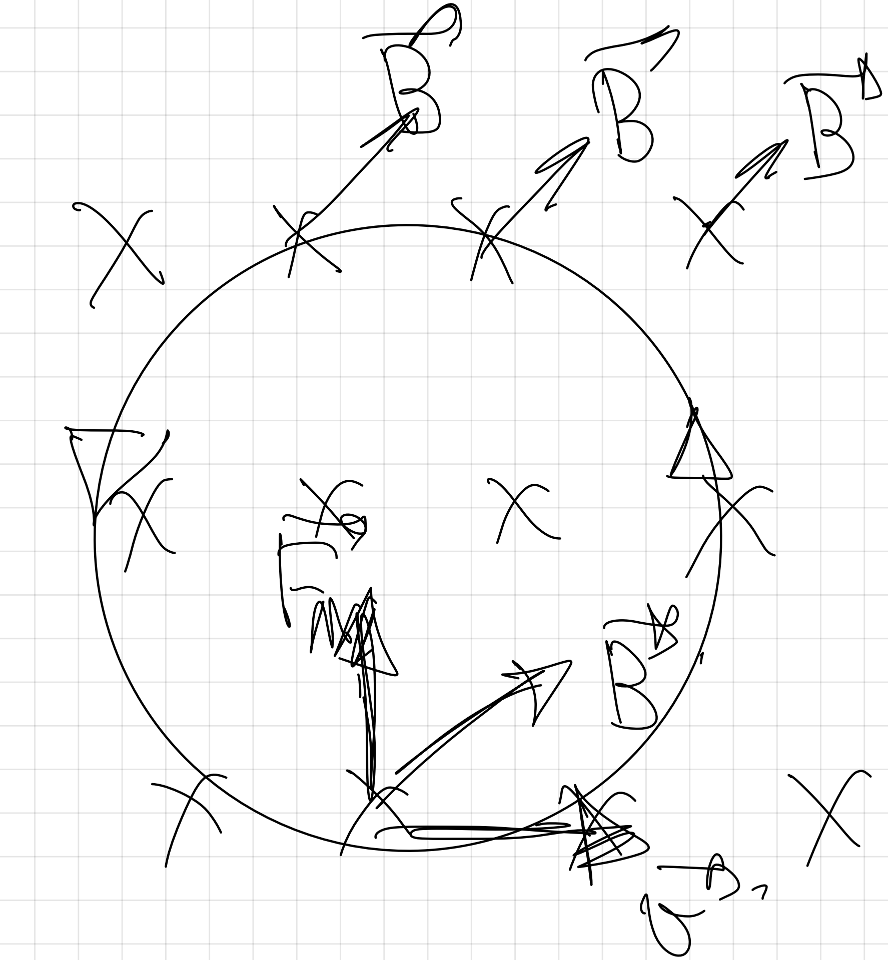


$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

$$\Downarrow$$

$$B = \frac{F_m}{q \cdot v \cdot \operatorname{sen} \alpha} \Rightarrow 1T = \frac{1N}{1C \cdot 1\frac{m}{s} \cdot \cancel{\operatorname{sen} 90°}}$$

$$\boxed{T = \frac{N}{C \cdot \frac{m}{s}}}$$



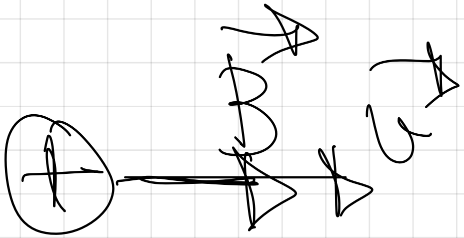
$\vec{F}_m \perp$ al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$.

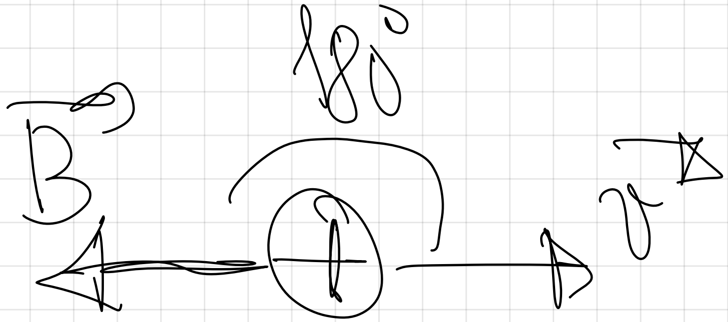
$W = F \cdot d \cdot \cos 90^\circ = 0$; $\vec{F} \perp$ al desplazamiento

$W = 0 \Rightarrow$ <u>Siempre</u>

$W = \cancel{-\Delta E_{p_M}} \Rightarrow$ No tiene sentido hablar de E_p magnética, ni por extensión de un potencial magnético

$$|\vec{F}_m| = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \alpha$$





$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} 0 = 0.$$

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} 180° = 0$$

El campo magnético $\vec{B}$ actúa sobre cargas en movimiento y además en una dirección distinta al campo. (Si $\alpha = 0°$ ó $\alpha = 180°$

(misma dirección de $\vec{v}$ y $\vec{B}$, el campo magnético no actúa)

1.- Un protón, acelerado por una diferencia de potencial de 10^5V, penetra en una región en la que existe un campo magnético uniforme de 2T, perpendicular a su velocidad y de sentido entrante en el papel.

a) Dibuje la trayectoria seguida por la partícula y analice las variaciones de energía del protón desde una situación inicial de reposo hasta encontrarse en el campo magnético

b) Calcule el radio de la trayectoria del protón y su periodo y explique las diferencias que encontraría si se tratara de un electrón que penetrase con la misma velocidad en el campo magnético.

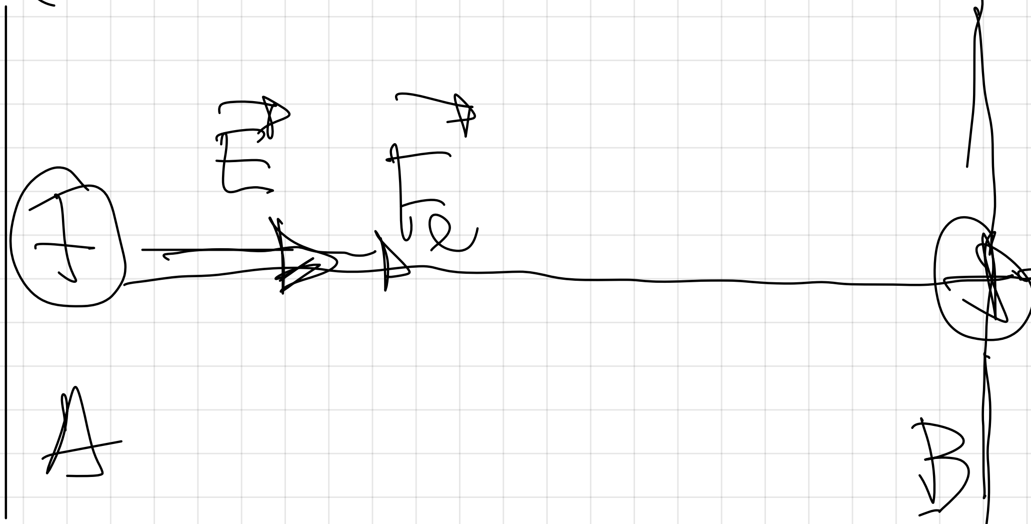
c) Calcule el período del protón. ¿Sería el mismo que el del electrón de igual velocidad?.

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$C, $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

$F_m = q \cdot v \cdot B \operatorname{sen} \alpha = 0$

Campo eléctrico. $\vec{E}$

$(V_A \longrightarrow V_B) = 10^5 V$

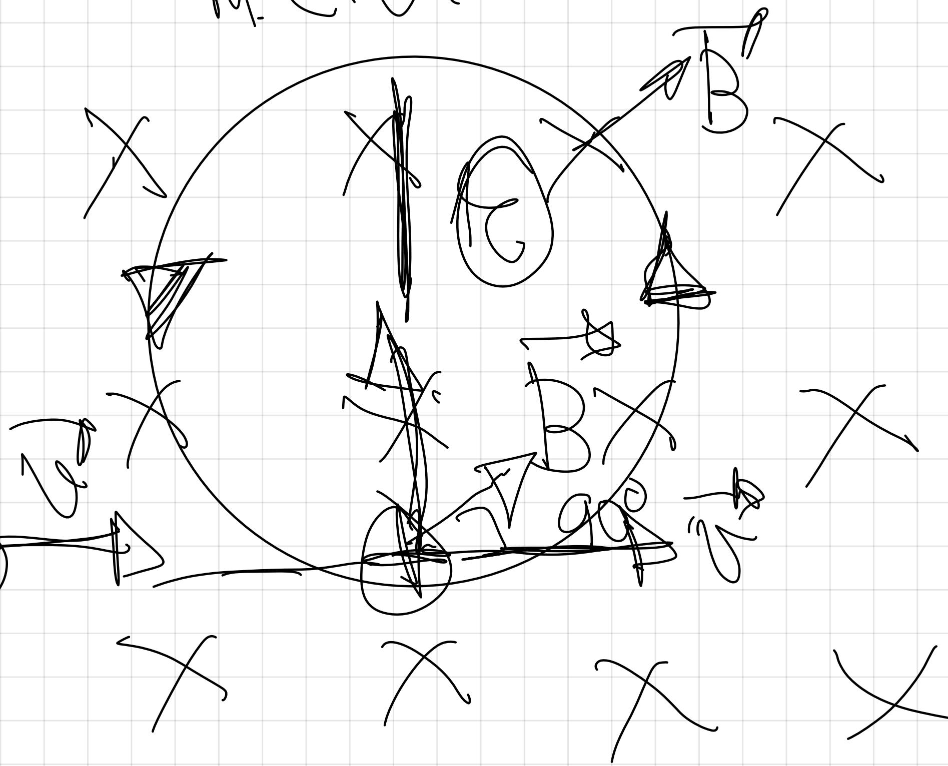


↓ E_p eléctrica

↑ E_c

Campo magnético $\vec{B}$

M.C.V.



E_c = cte

$\vec{F}_m$ hace cambiar solo la

Primero calculo la v con la que penetra en el campo magnético

$$W_{A\to B} = \Delta E_{C\,A\to B}$$

$$q\cdot(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m v^2 - \cancel{\frac{1}{2} m v_0^2}$$

$v_0 = 0$

dirección de $\vec{v}$

$$F_m = F_a$$

$$q\cdot \cancel{v}\cdot B\cdot \sin 90 = m\cdot\frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

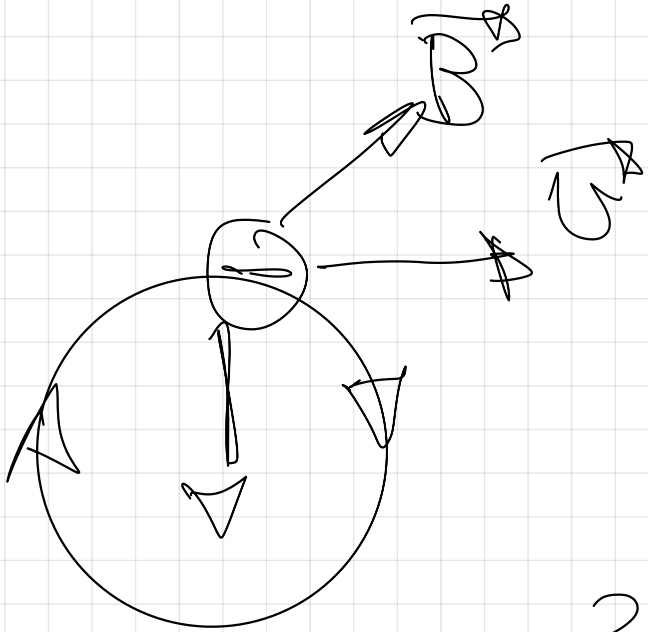
$$r = \frac{m\cdot v}{q\cdot B}$$

$$r = \frac{1'67\cdot 10^{-27}\cdot 4'38\cdot 10^{6}}{1'6\cdot 10^{-19}\cdot 2} = 2'28\cdot 10^{-2}\ m$$

$$v = \sqrt{\frac{2q(V_A - V_B)}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{5}}{1{,}67 \cdot 10^{-27}}} = 4{,}38 \cdot 10^{6} \, \frac{m}{s}.$$

$m_p > m_e \quad R_p > R_e$

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$



$T \otimes$

$$v = \frac{2\pi r}{T_p}.$$

$$T_p = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \cdot 2'28\cdot 10^{-2}}{4'38\cdot 10^{6}} = 3'2\cdot 10^{-8}\,s$$

$1'6\cdot 10^{-19}\cdot 2$

espacio recorrido : longitud de una circunferencia

c) Para calcular el periodo T del protón tenemos en cuenta que en un M.C.U $\Rightarrow v = \frac{2\pi r}{T}$

tiempo empleado : periodo

$$T_p = \frac{2\pi \cdot r_p}{v} = \frac{2\pi \cdot 2'28\cdot 10^{-2}}{4'38\cdot 10^{+6}} = 3'2\cdot 10^{-8}\,s$$

$T_{e^-} = \frac{2\pi r_{e^-}}{v} \longrightarrow$ A ser $r_p > r_e$, entonces $\boxed{T_p > T_{e^-}}$ El periodo no es el mismo

$v \rightarrow$ la velocidad con la que penetraron era la misma

2.- Un protón, tras ser acelerado mediante una diferencia de potencial de 10^5 V, entra en una región en la que existe un campo magnético de dirección perpendicular a su velocidad, describiendo una trayectoria circular de 30 cm de radio.

a) Realice un análisis energético de todo el proceso y, con ayuda de esquemas, explique las posibles direcciones y sentidos de la fuerza, velocidad, campo eléctrico y campo magnético implicados.

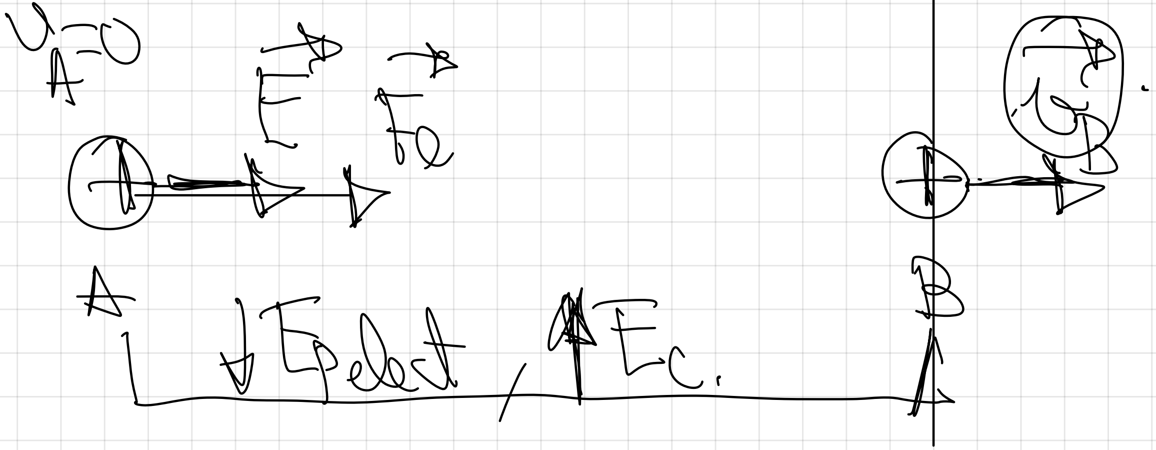
b) Calcule la intensidad del campo magnético. ¿Cómo variaría el radio de la trayectoria si se duplicase el campo magnético?

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg

pag 95.

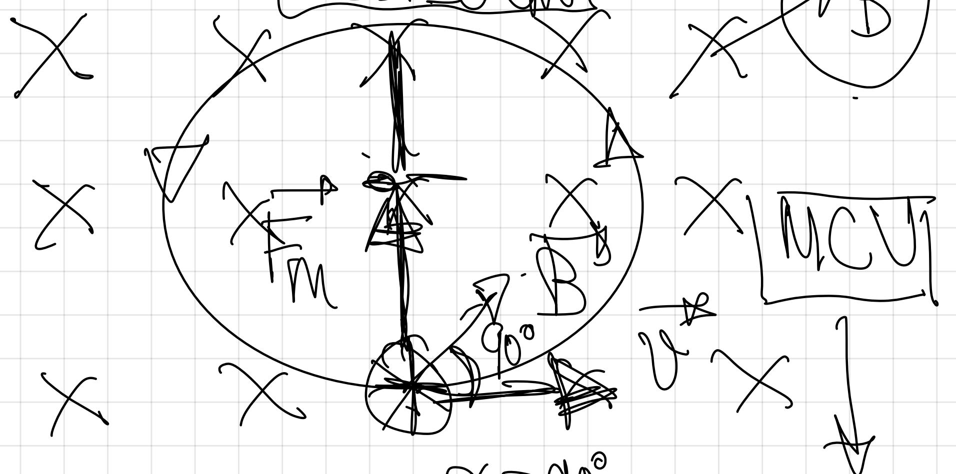
CAMPO ELÉCTRICO

$\boxed{(V_A - V_B) = 10^5 \text{ V}}$



CAMPO MAGNÉTICO.

$\boxed{r = 30 \text{ cm}}$



$\alpha = 90°$.

$E_c = \text{cte}$.

(W = 0 siempre, no se habla de...)

$\Downarrow$

$$W_{A\to B} = \Delta E_{c\,A\to B},$$

$$q\cdot(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m v_B^2 - \cancel{\frac{1}{2} m v_A^2}^{\,0},$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2q(V_A - V_B)}{m}}.$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2\cdot 1'6\cdot 10^{-19}\cdot 10^5}{1'67\cdot 10^{-27}}} = 4'38\cdot 10^6 \, m/s$$

Ley de Lorentz

$$F_m = F_n,$$

$$q\cdot v\cdot B\cdot \cancel{\operatorname{sen} 90^\circ}^{\,1} = m\cdot a_n$$

$$q\cdot \cancel{v}\cdot B = m\cdot \frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

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

R = 30cm

r = 0'3m

$$B = \frac{1'67\cdot 10^{-27}\cdot 4'38\cdot 10^6}{1'6\cdot 10^{-19}\cdot 0'3}$$

$$B = 0'15\,T.$$

$$B = \frac{m \cdot v}{q \cdot r}.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \dfrac{m \cdot v}{q \cdot B} \\[2ex] r' = \dfrac{m \cdot v}{q \cdot 2B} \end{array} \right\} \quad \frac{r'}{r} = \frac{\dfrac{\cancel{m} \cdot \cancel{v}}{\cancel{q} \cdot 2B}}{\dfrac{\cancel{m} \cdot \cancel{v}}{\cancel{q} \cdot B}}.$$

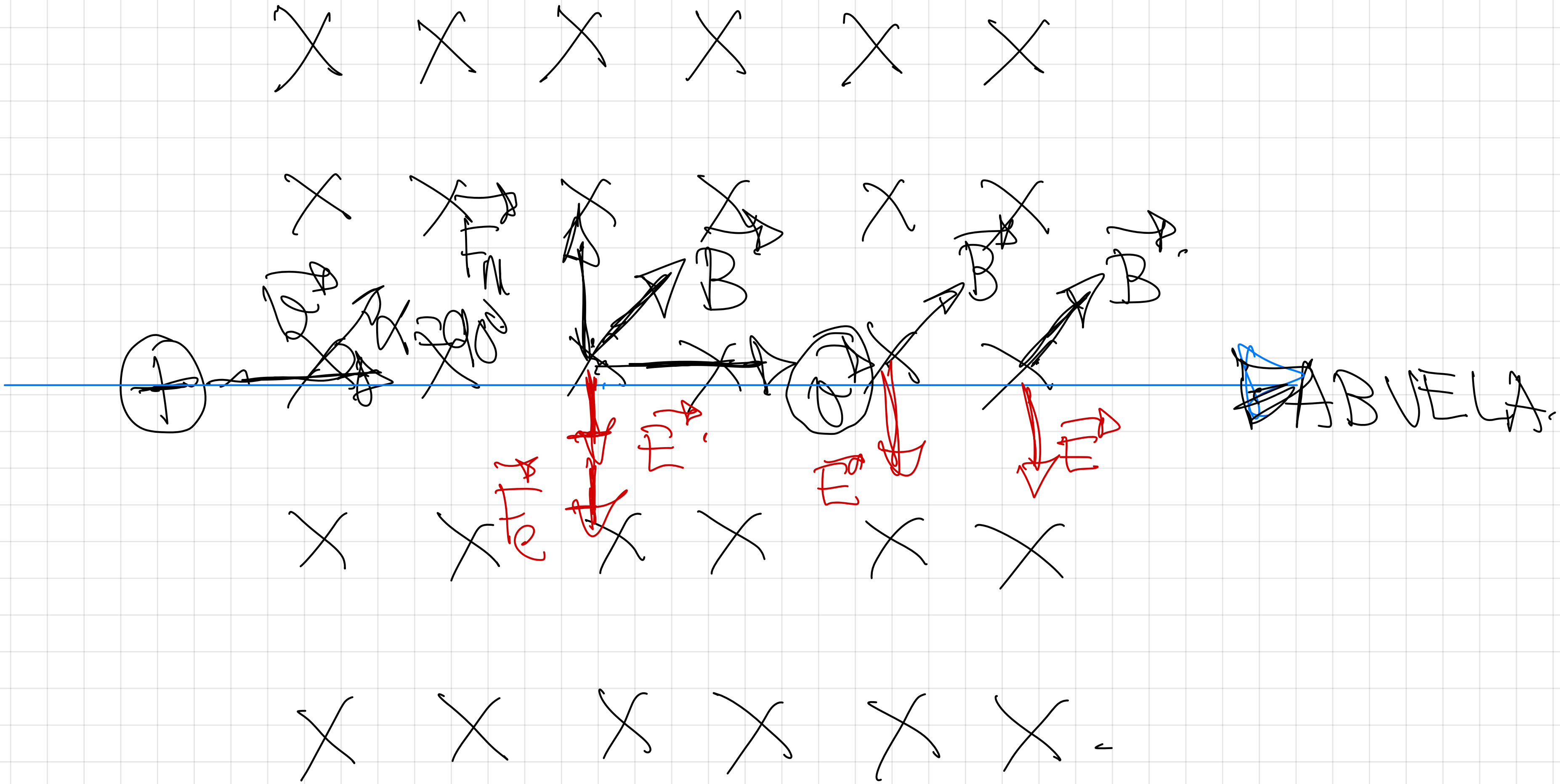
$$\frac{r'}{r} = \frac{1}{2}$$

$$\boxed{r' = \frac{1}{2} r}$$

el radio disminuye a la mitad.

8.- a)¿Cuál es la condición para que una partícula cargada, que se mueve en línea recta, siga en su trayectoria rectilínea cuando se somete simultáneamente a un campo eléctrico y a otro magnético, perpendiculares entre si y perpendiculares a la velocidad de la carga?

b) Dibuje las trayectorias de la partícula cargada del apartado a) si solo existiera el campo eléctrico o el campo magnético y explique en cada caso si varía la velocidad



$$|\vec{F_m}| = |\vec{F_e}|$$

$$\cancel{q} \cdot v \cdot B \cdot \cancel{\operatorname{sen} 90^\circ}^{1} = \cancel{q} \cdot E$$

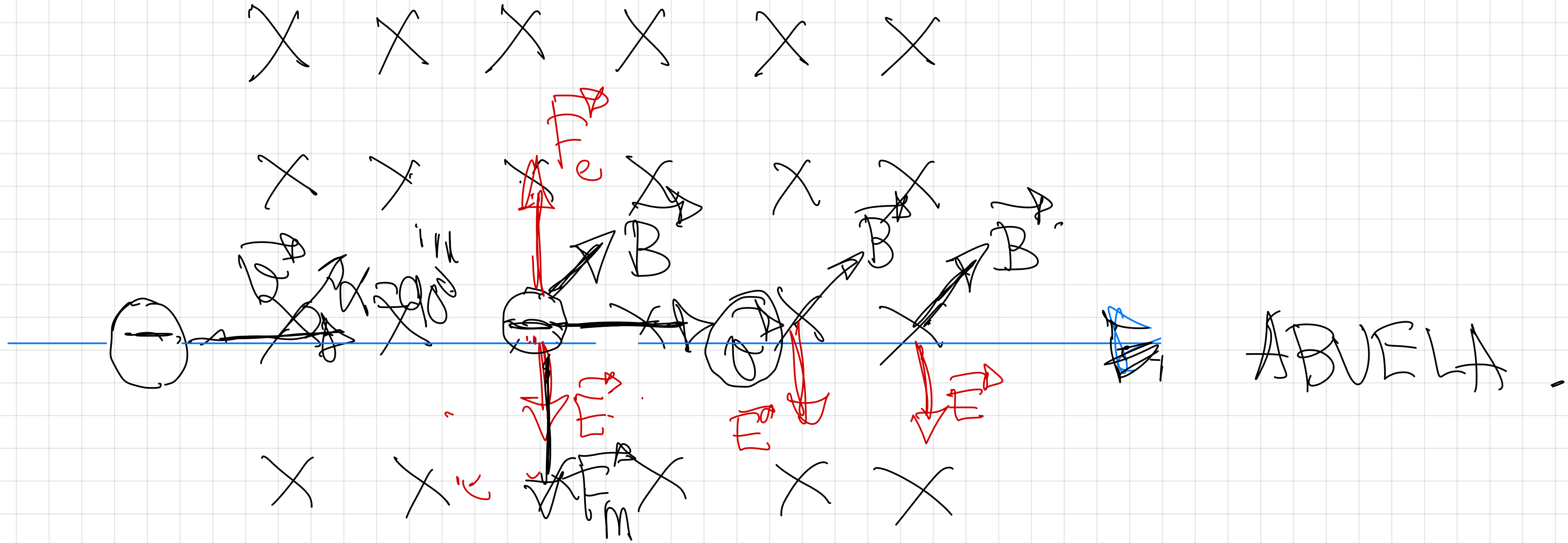
$$v \cdot B = E$$

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

Onda electromagnética

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

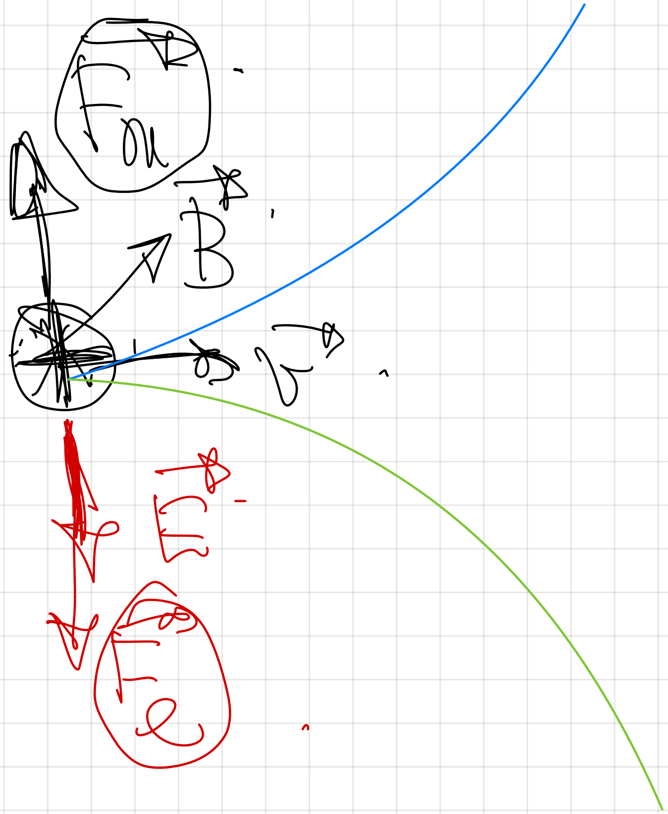
$$\boxed{C = \frac{E}{B}}$$



$$\downarrow F_m = F_e$$

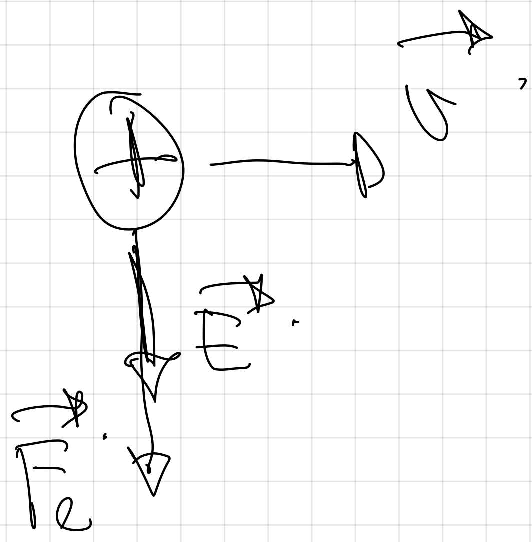
$$\cancel{q} \cdot v \cdot B \cdot \overset{1}{\cancel{\text{sen}\,90^\circ}} = \cancel{q}\,E$$

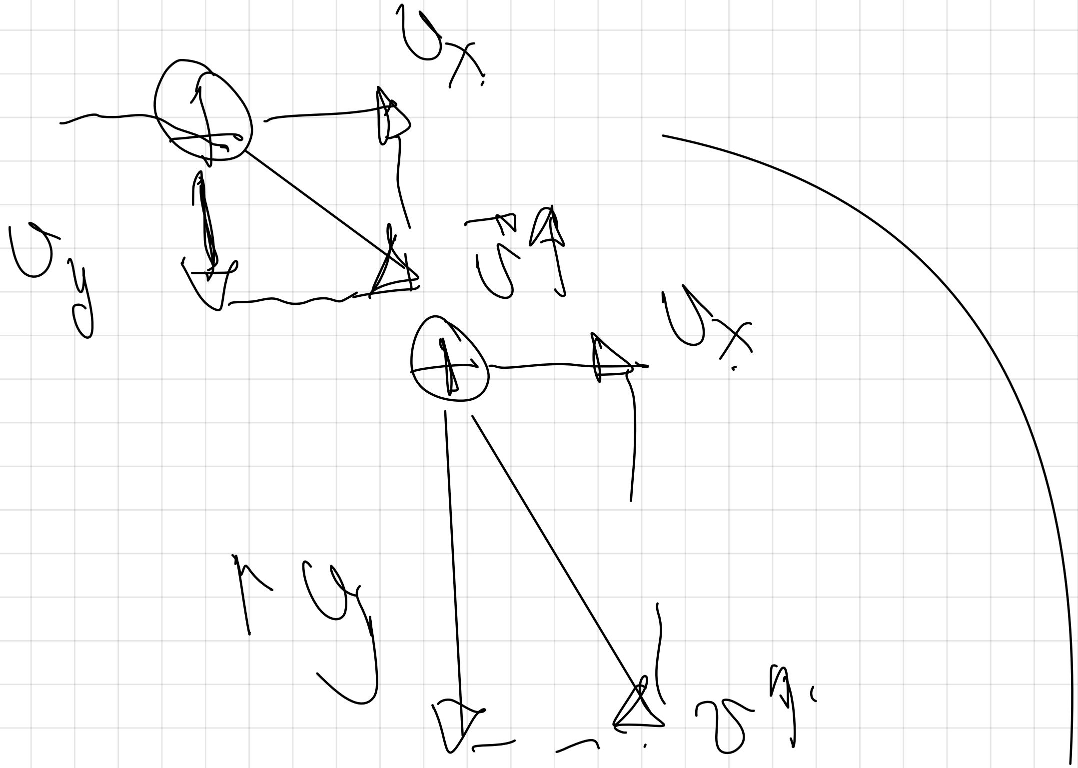
$$\boxed{v = \frac{E}{B}}$$



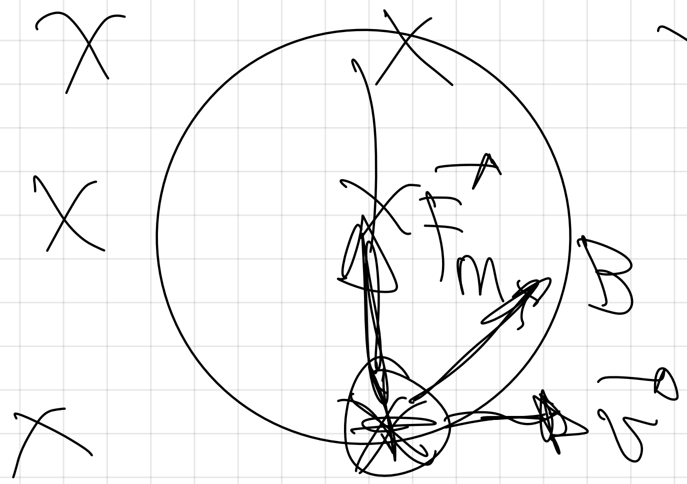
$$v > \frac{E}{B}$$

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





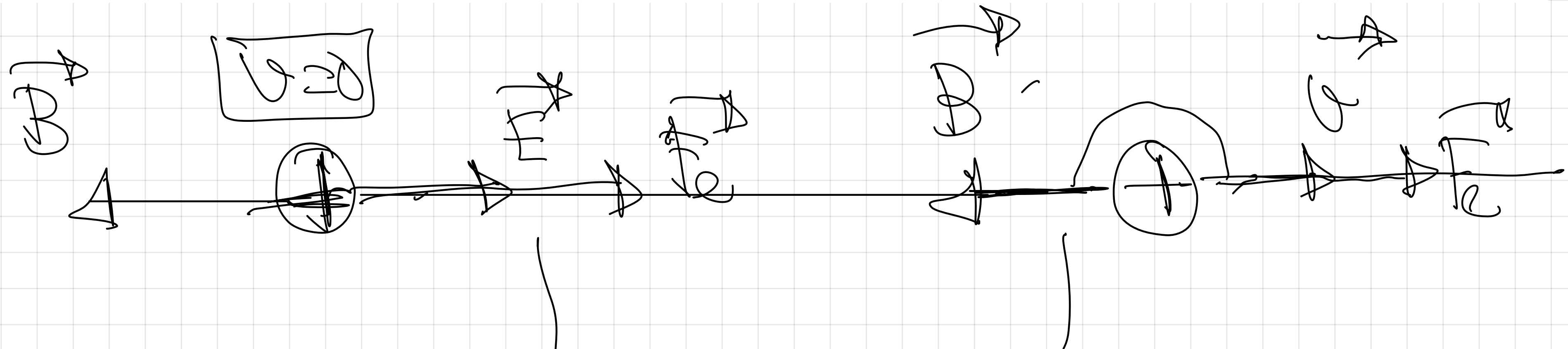
$\vec{v}$ aumenta



$\boxed{v = cte}$

$E_c = cte$

10.- Supongamos que en una región del espacio tenemos un campo eléctrico y un campo magnético de sentidos opuestos y que en el interior de esa región dejamos en reposo una carga positiva. Explica el movimiento que realizará dicha carga.



$F_m = q \cdot \cancel{\vec{v}}^{\,0} \cdot \vec{B} \cdot \text{sen}\,\alpha$

$F_m = 0$.

$F_e = q \cdot \vec{E}$.

$F_e = m \cdot a$

$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \cancel{\text{sen}\,180^\circ}^{\,0}$

$F_m = 0$.

trayectoria rectilínea.

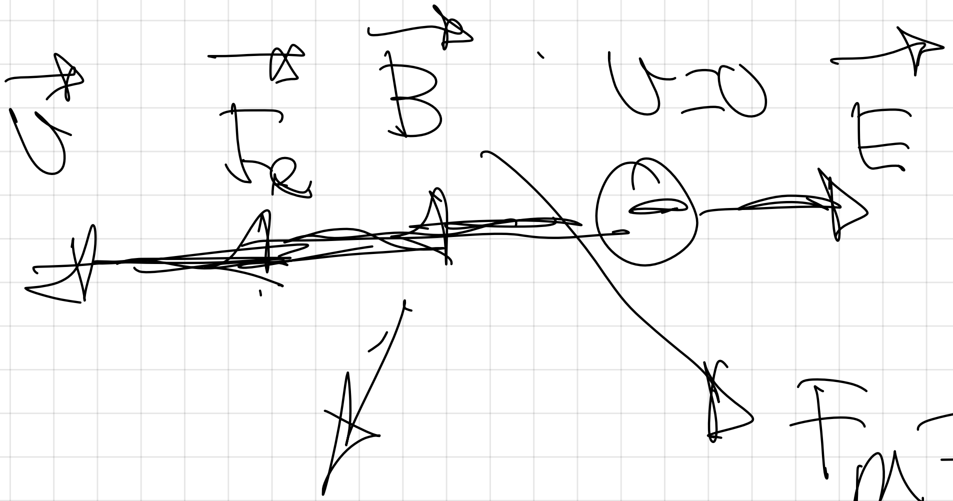
movimiento acelerado

$\boxed{\text{MRUA}}$

Si $\vec{E}$ uniforme

$\vec{F}$ uniforme

$\vec{a}$ uniforme.

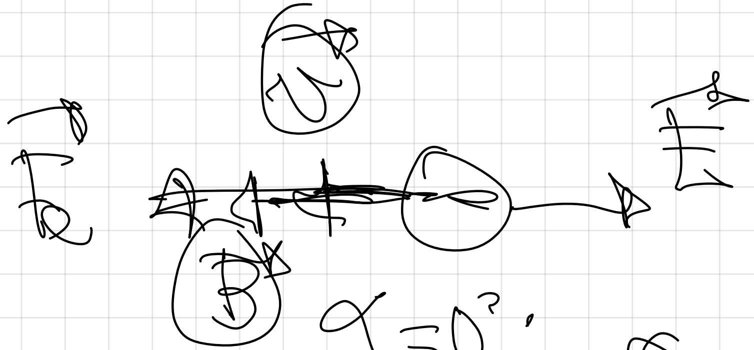


Caso análogo al anterior cuando la carga fuese negativa.

$$F_m = q \cdot \cancel{v} \cdot B \cdot \text{sen}\,\alpha = 0$$

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,0^\circ$$

$$F_m = 0$$



$\alpha = 0^\circ$.

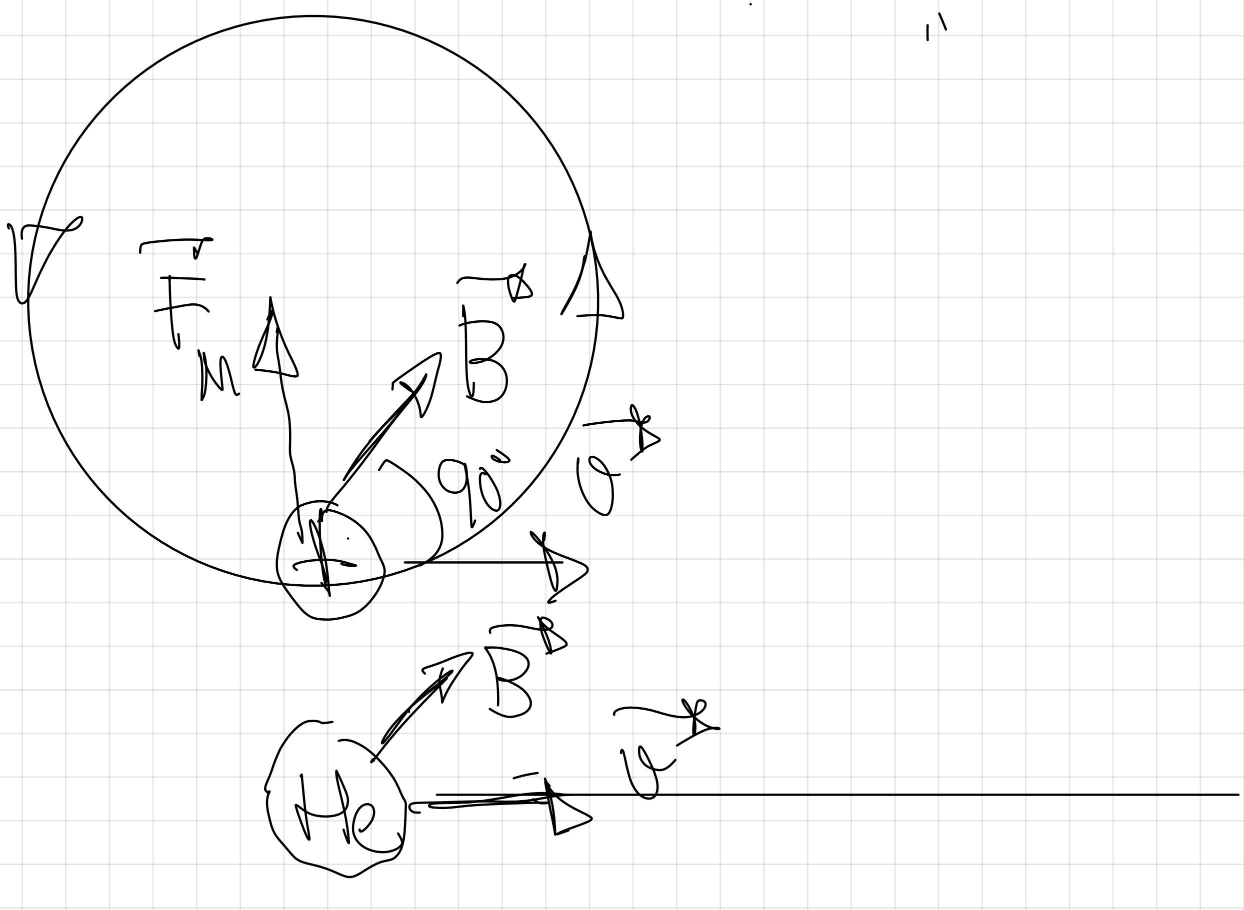
$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \cancel{\text{sen}\,0^\circ} = 0$$

3.- Un electrón, un protón y un átomo de Helio penetran en una zona del espacio en la que existe un campo magnético uniforme en dirección perpendicular a la velocidad de las partículas, que es común en los tres casos.

a) Dibuje la trayectoria que seguirá cada una de las partículas e indique sobre cuáles de ellas se ejerce una fuerza mayor.

b) Compare las aceleraciones de las tres partículas. ¿Cómo varía su energía cinética?

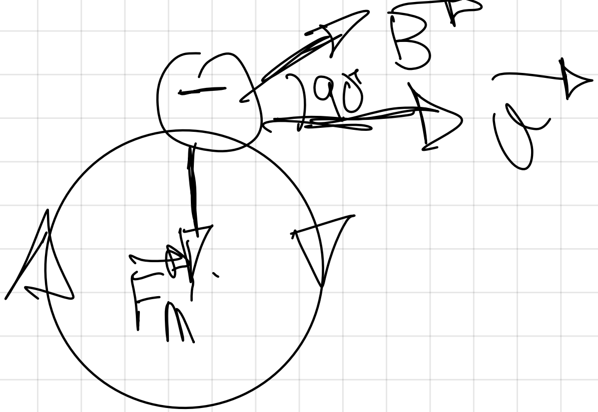
$$q_p = |q_e| = e$$



$$F_{m_p} = e \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\, 90°$$

$$\boxed{F_{m_p} = e \cdot v \cdot B}$$

$$\boxed{F_{m_{He}} = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\, \alpha = 0}$$



$$\boxed{F_{m_{e^-}} = e \cdot v \cdot B \cdot \cancel{\text{sen}\,90^\circ}^{\,1}}$$

$$F_{m_p} = F_{e^-} > \cancel{F_{He}}^{\,0}$$

He

$$\boxed{a = 0}$$

$$\cancel{F_m}^{\,0} = m \cdot a$$

+ $\quad F_m = m_p \uparrow \cdot a_{n_p} \downarrow$

$\quad\quad \| \; m_p > m_e$

− $\quad F_m = m_e \downarrow \cdot a_{n_e} \uparrow$

$$a_{n_{e^-}} > a_{n_p} > \cancel{a_{n_{He}}}^{\,0}$$

$$\frac{1}{\frac{\boxed{v^2}}{r}} \qquad \frac{1}{\frac{\boxed{v^2}}{r}}$$

$$r_e < r_p$$

¿Cómo varía la E_c?

E_{cp} no varía ya que $E_c = \frac{1}{2} m v_p^2$ y la Fm no hace cambiar la velocidad en módulo (en dirección sí).

$W = \Delta E_c = 0$.

E_c neutrón no varía no varía ya que no se ejerce sobre él ninguna fuerza.

$F = 0 \Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = cte$.

$E_{c\,e^-}$ no varía por la misma razón que en el protón.

¡Ojo!: No varía la E_c de ninguno de los tres pero,

$$m_{He} > m_p > m_{e^-}.$$

$$, E_{c\,He} > E_{cp} > E_{ce^-}$$

Aunque la E_c no varía. el átomo de He es el que tiene mayor masa y por ello mayor E_c

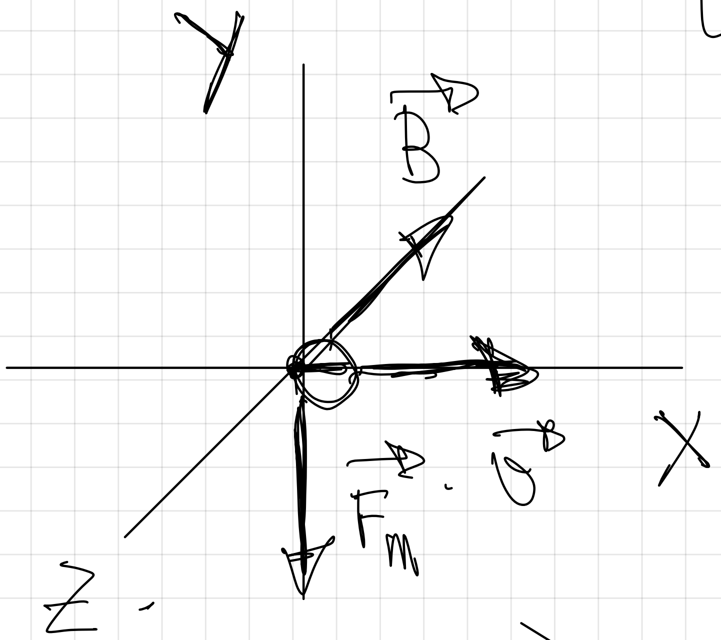
$$\uparrow E_c = \frac{1}{2} m \uparrow v^2$$

$\shortparallel$ es igual en los tres.

49.- En una región del espacio existe un campo magnético uniforme en el sentido negativo del eje Z. Indique, con la ayuda de un esquema, la dirección y sentido de la fuerza magnética en los siguientes casos:

a) una partícula β que se mueve en el sentido positivo del eje X;

b) una partícula α que se mueve en el sentido positivo del eje Z;

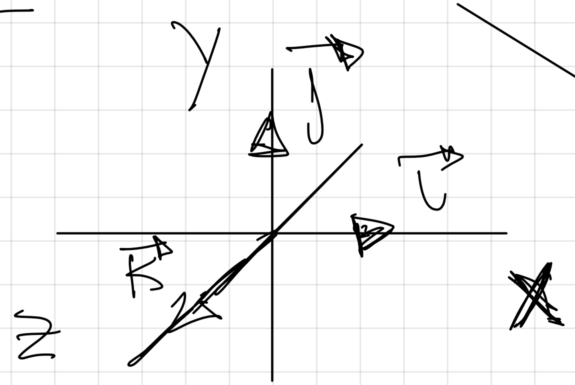


La partícula β es un electrón de origen nuclear, ⊖, su masa es la del electrón

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

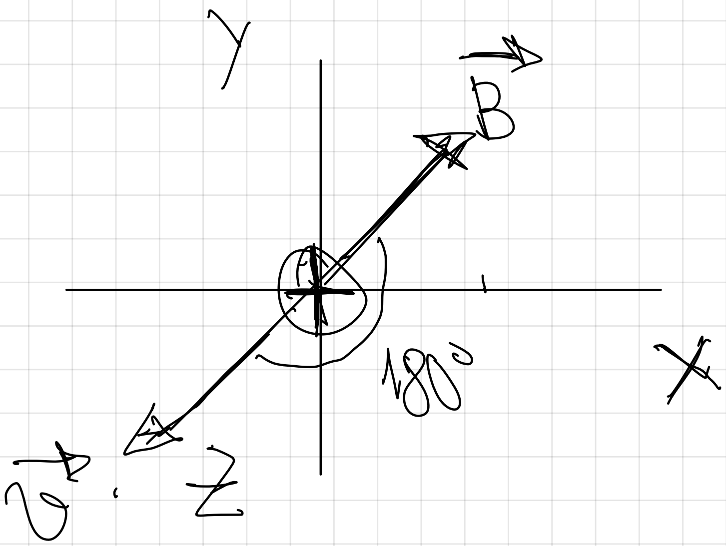
$$\Downarrow$$

$$\boxed{\text{Ley de Lorentz}}$$



Dirección de la fuerza perpendicular al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$.

Sentido de la fuerza: el contrario al que nos marca la regla de la mano izquierda



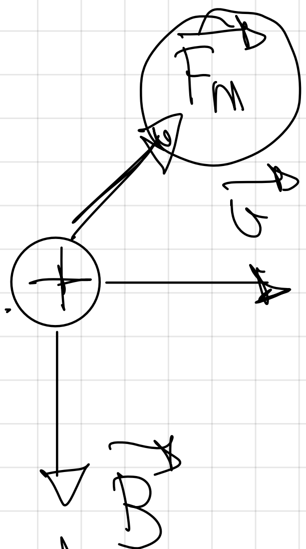
$$\vec{F}_m = q\cdot(\vec{v}\times\vec{B})$$

$$F_m = q\cdot v\cdot B\cdot \text{sen}\,180^\circ = 0$$

No aparece fuerza magnética ya que el campo magnético $\vec{B}$ posee la misma dirección que la velocidad $\vec{v}$ (y en este caso sentido contrario).

La partícula α equivale a 2 protones junto a 2 neutrones (^4_2He), posee 2 cargas positivas y como $m_p \simeq m_n$ $\quad m_{^4_2He} \simeq 4m_p$

51.- En una región existe un campo magnético uniforme dirigido verticalmente hacia abajo. Se disparan dos protones horizontalmente en sentidos opuestos. Razone qué trayectorias describen, en qué plano están y qué sentidos tienen sus movimientos.



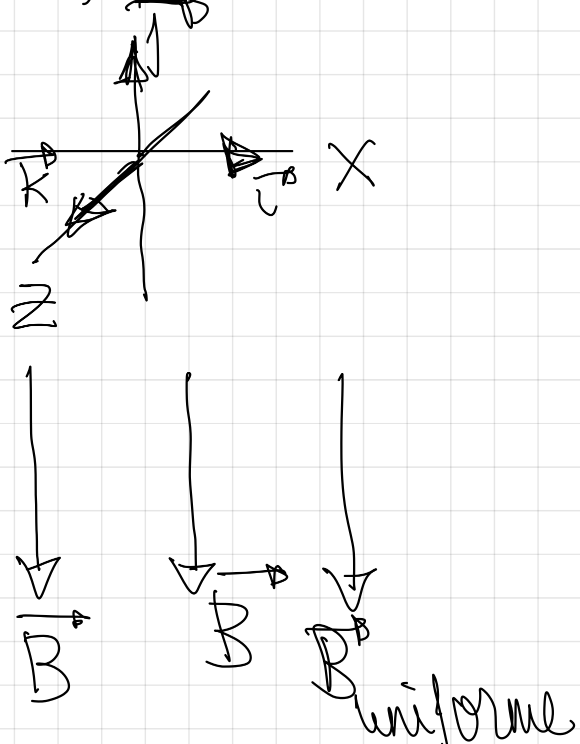
Ley de Lorentz

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

$$\vec{F}_m = q\cdot\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ v_x & 0 & 0\\ 0 & -B_y & 0\end{vmatrix}$$

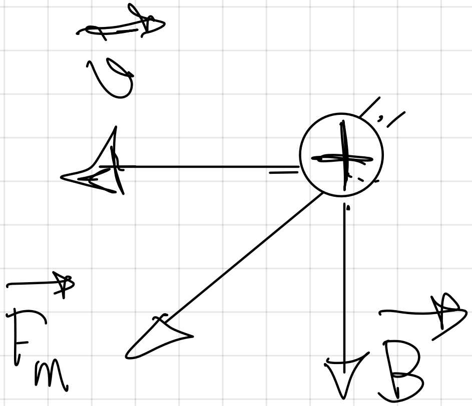
$$\vec{F}_m = q\cdot\left(v_x(-B_y)\cdot\vec{k}\right)$$

$$\vec{F}_m = -q\,v_x\cdot B_y\cdot\vec{k}$$



En ambos casos la $\vec{F}_m$ es perpendicular al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$ (plano del papel o pizarra)

Su sentido lo da la regla de la mano izquierda ¡COMPROBARLA!



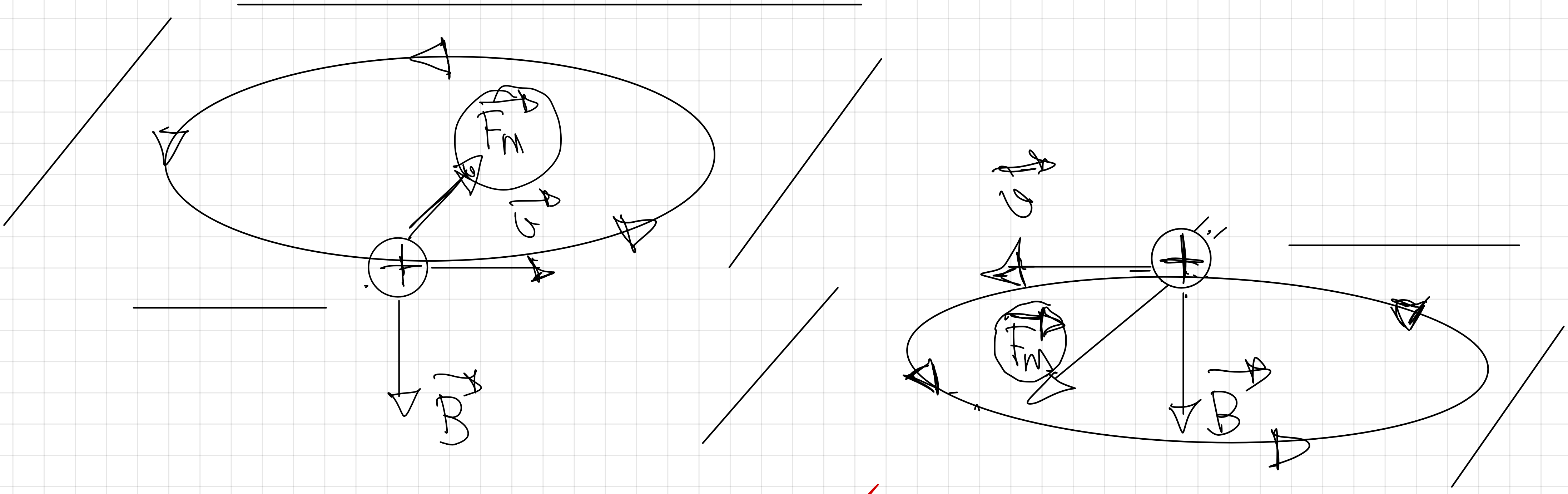
Ley de Lorentz

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

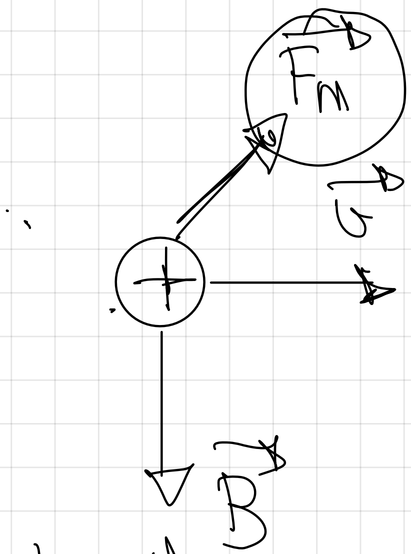
$$\vec{F}_m = q\cdot\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ -v_x & 0 & 0\\ 0 & -B_y & 0\end{vmatrix}$$

$$\vec{F}_m = q\cdot(-v_x)\cdot(-B_y)\cdot\vec{k}$$

$$\vec{F}_m = +q\,v_x\,B_y\,\vec{k}$$



Trayectoria circular ya que la $\vec{F}_m$ sería siempre perpendicular a la velocidad, como se ve en el dibujo estaría en un plano horizontal y en el sentido descrito.



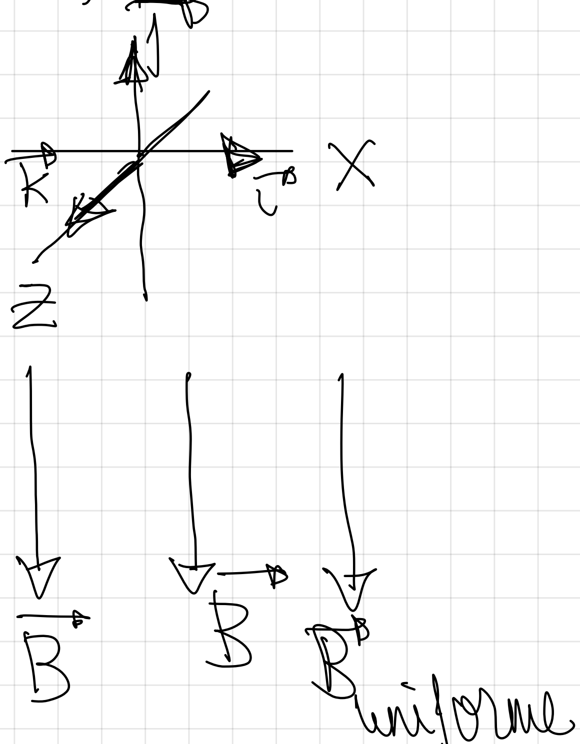
ley de Lorentz

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

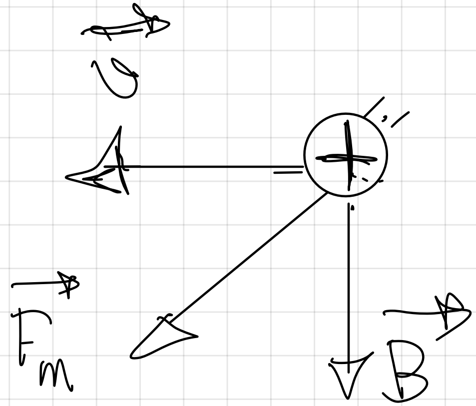
$$\vec{F}_m = q\cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & 0 & 0 \\ 0 & -B_y & 0 \end{vmatrix}$$

$$\vec{F}_m = q\cdot\left(v_x(-B_y)\cdot\vec{k}\right)$$

$$\vec{F}_m = -q\, v_x\, B_y\, \vec{k}$$



En ambos casos la $\vec{F}_m$ es perpendicular al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$ (plano del papel o pizarra) Su sentido lo da la regla de la mano izquierda ¡COMPROBARLA!



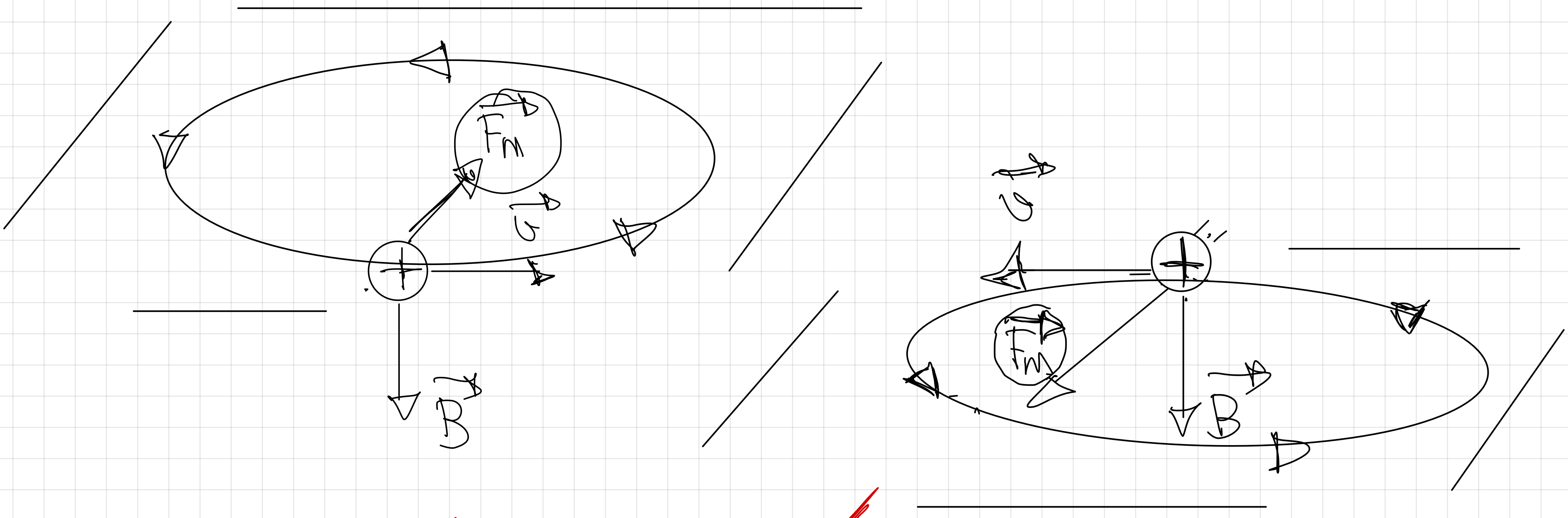
ley de Lorentz

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

$$\vec{F}_m = q\cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -v_x & 0 & 0 \\ 0 & -B_y & 0 \end{vmatrix}$$

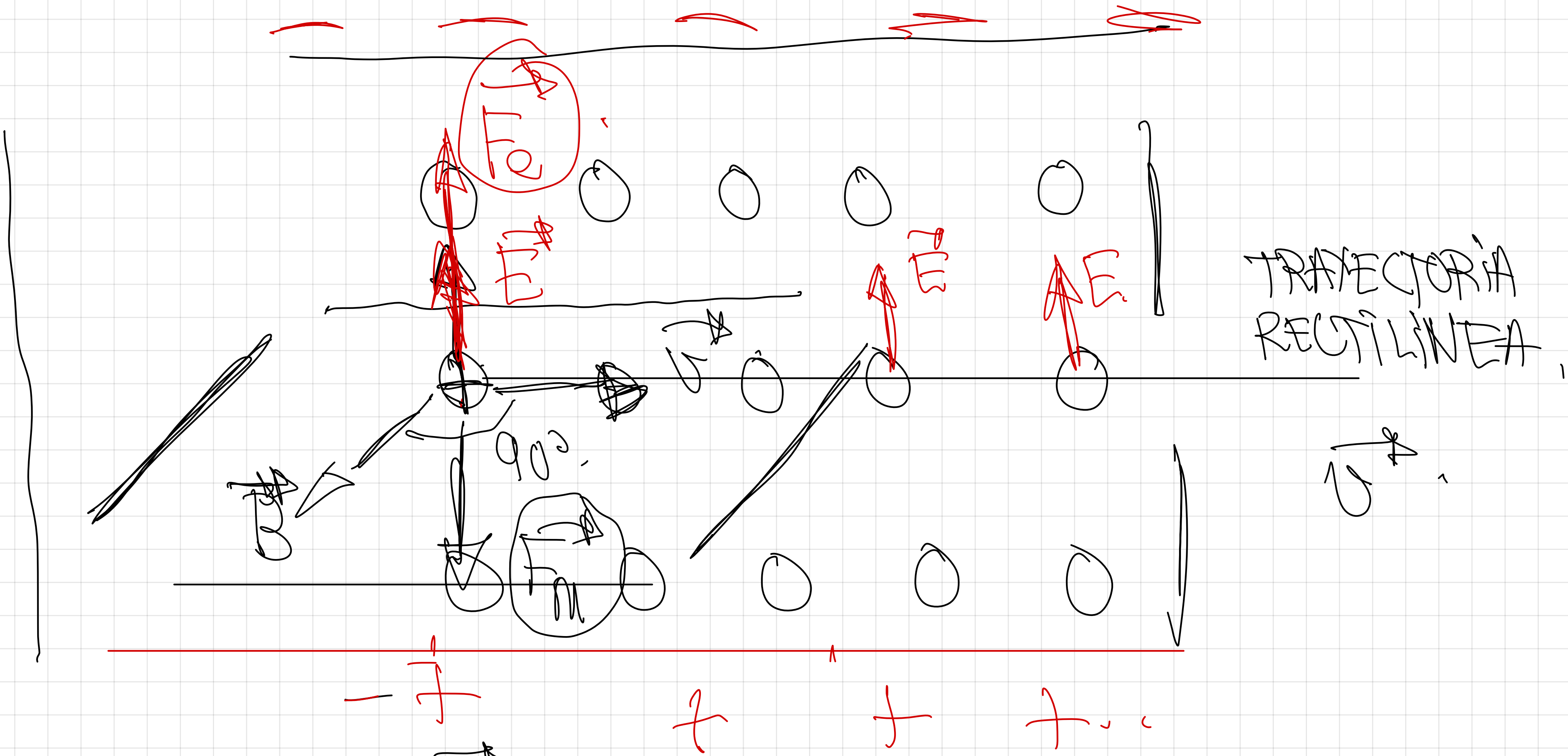
$$\vec{F}_m = q\cdot(-v_x)\cdot(-B_y)\cdot\vec{k}$$

$$\vec{F}_m = +q\, v_x\, B_y\, \vec{k}$$



Trayectoria circular ya que la $\vec{F}_m$ sería siempre perpendicular a la velocidad, como se ve en el dibujo estaría en un plano horizontal y en el sentido descrito.

SELECTOR DE VELOCIDADES



$$|\vec{F_e}| = |\vec{F_m}|$$

$$\cancel{q} \cdot E = \cancel{q} \cdot v \cdot B \cdot \overset{1}{\cancel{\text{sen}\,90°}}$$

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

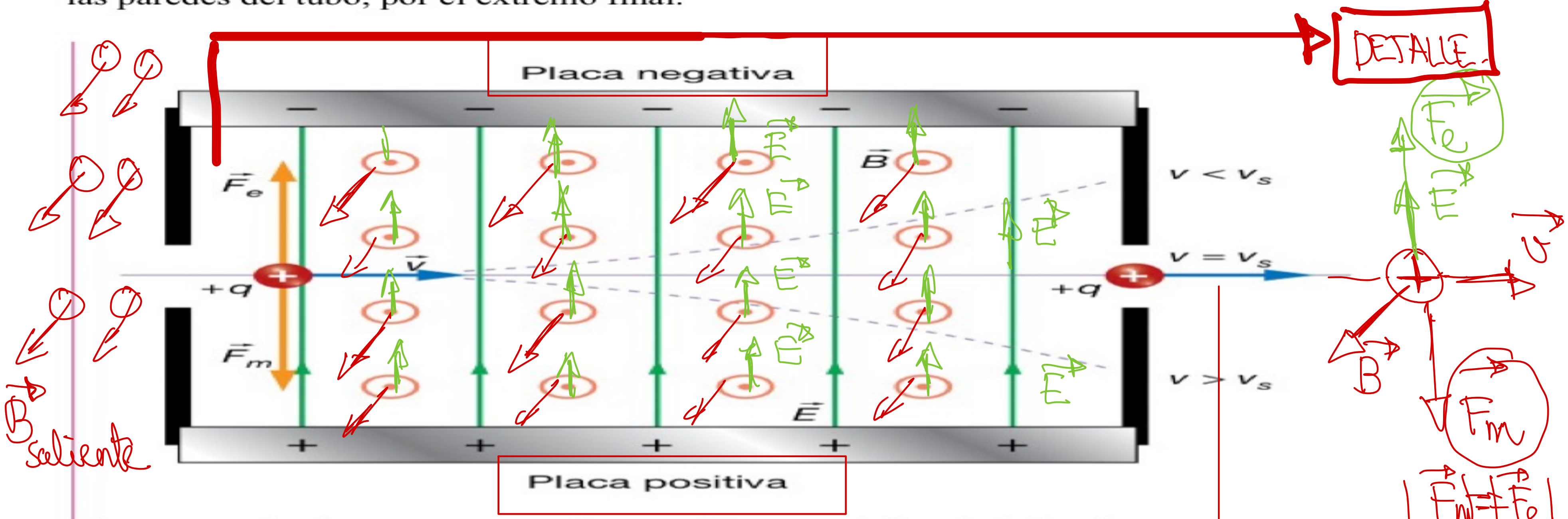
SELECTOR DE VELOCIDADES. ESPECTRÓMETRO DE MASAS. CICLOTRÓN. ACELERADORES DE PARTÍCULAS

PAG 76 DEL LIBRO

Un **selector de velocidades** es un tubo con un campo eléctrico y otro magnético, ambos uniformes en su interior. Estos dos campos son perpendiculares entre sí y también al eje longitudinal del tubo.

Por el extremo de entrada del tubo, se inyectan partículas cargadas que han sido aceleradas por una diferencia de potencial.

Los valores de los campos son ajustados para que la fuerza eléctrica y la magnética se cancelen entre sí en aquellas partículas cuya velocidad se seleccione. De este modo, de entre todas las partículas que entran en el tubo, las que se desplacen a la velocidad seleccionada continuarán en línea recta y saldrán por el extremo final del tubo. El resto de las partículas se desviarán , puesto que si experimentan una fuerza neta que hace que curven su trayectoria y choquen con las paredes del tubo, por el extremo final.



Las partículas que consiguen llegar al final del tubo son aquellas sobre las que se anulan las fuerzas eléctrica y magnética.

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

$$\cancel{q}\, v B \cancel{\operatorname{sen} 90} = \cancel{q} E$$

El campo eléctrico es perpendicular a la velocidad y al campo magnético, siendo su módulo, tal y como se vio en los ejercicios

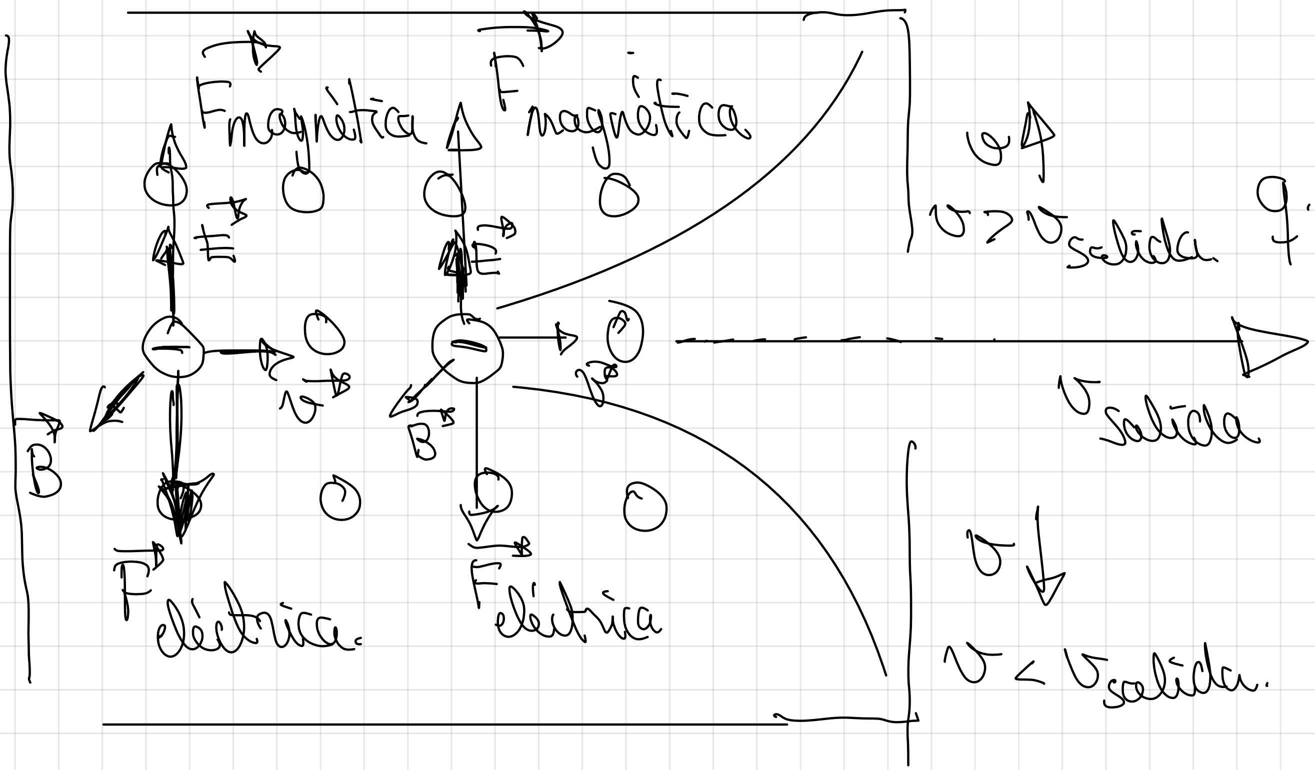
$$E = v \cdot B$$

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

Como puede observarse, dado un valor para el campo magnético , el campo eléctrico que deberemos ajustar depende de la velocidad de las cargas que queramos seleccionar.

En la imagen aparece una carga eléctrica positiva, aunque el efecto es independiente del valor de la carga y de su signo.

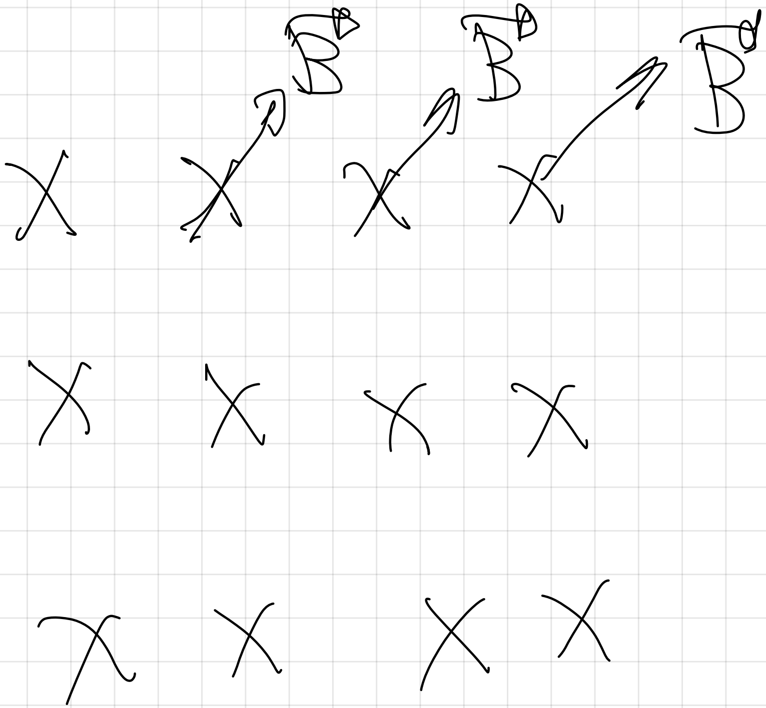
La misma orientación de campos también funcionaría en la carga negativa.

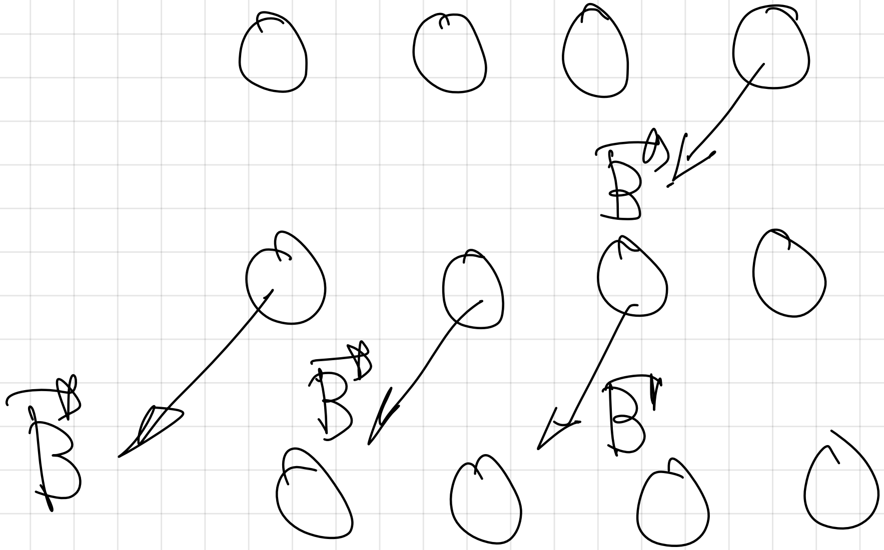


$F_M = F_e$

$q \cdot vB \cdot \sin 90° = q \cdot E$

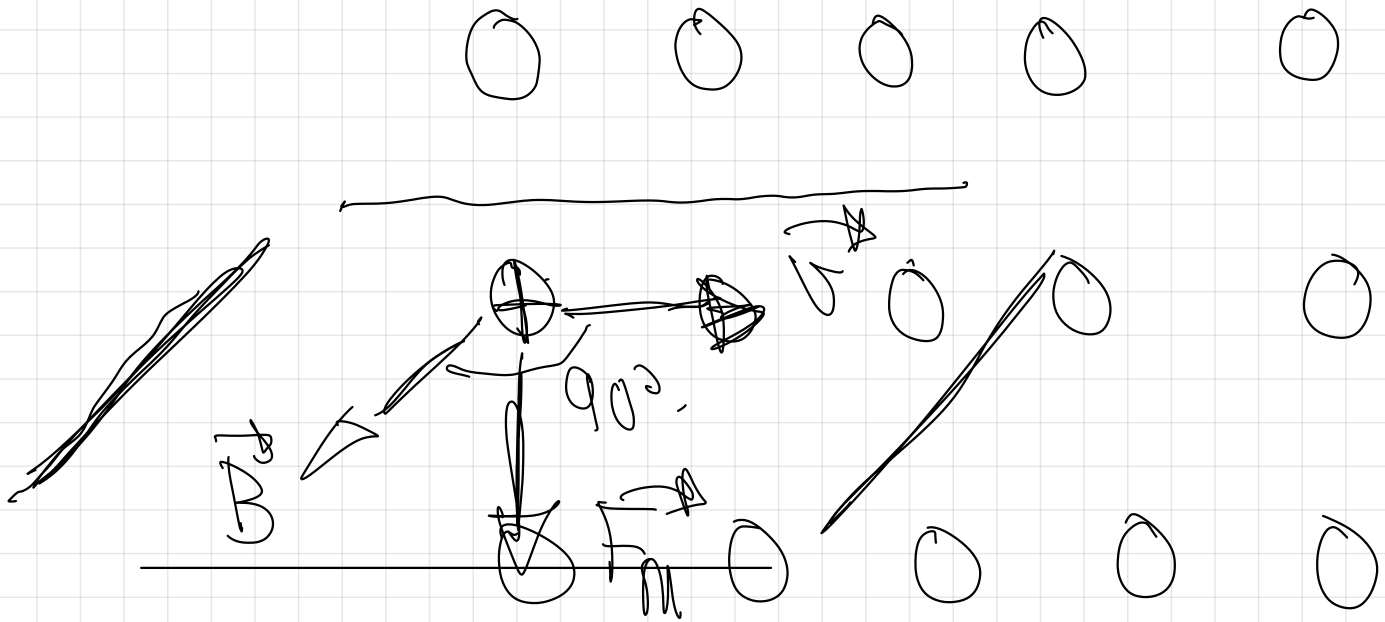
$$\boxed{v = \frac{E}{B}}$$



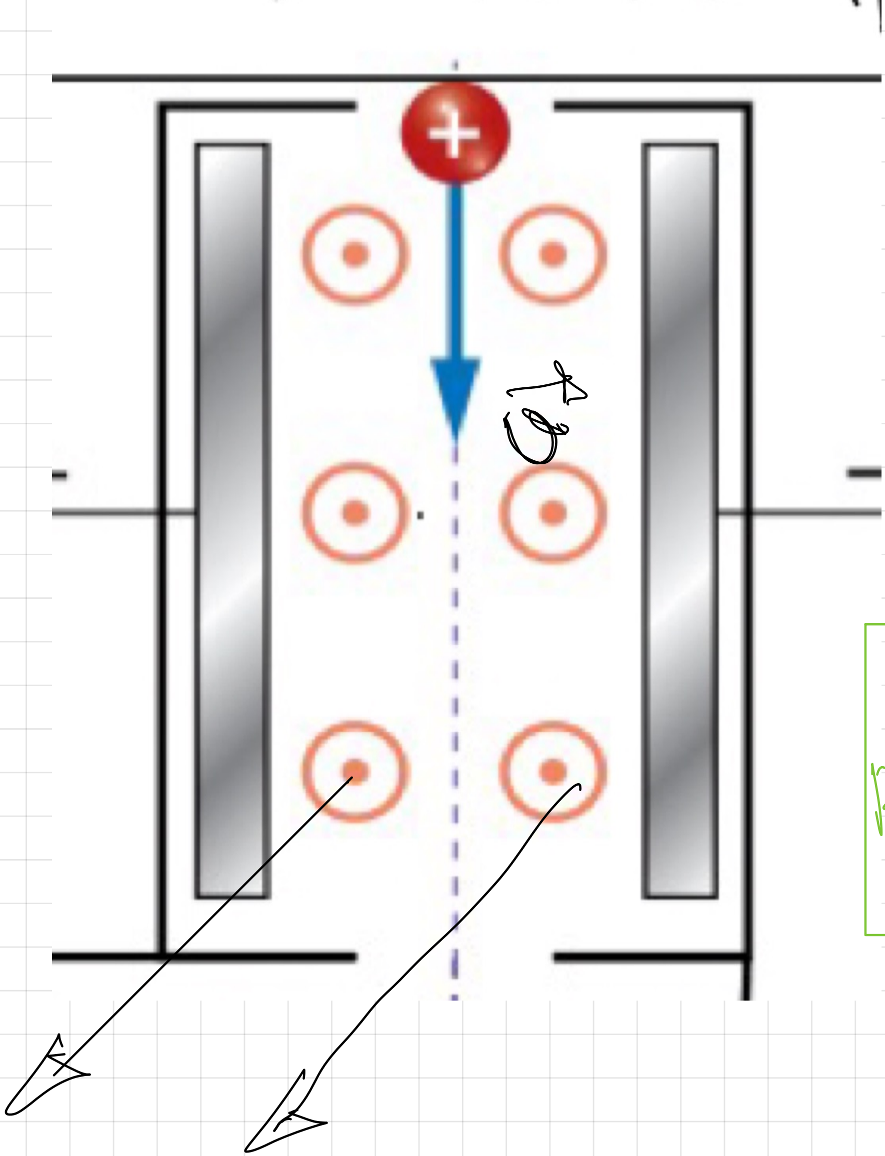


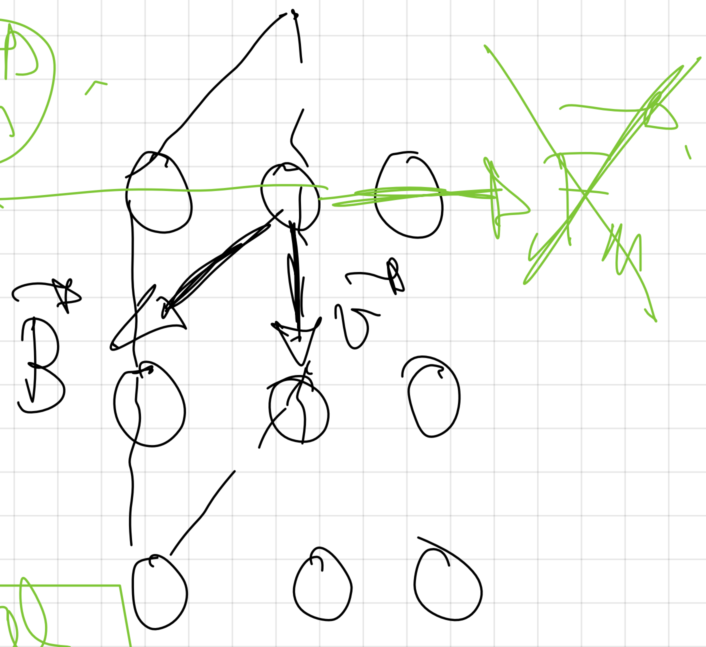
$\vec{B}$ entrante

$\vec{B}$ saliente.



$\vec{B}$
$\vec{v}$
F_m
90°



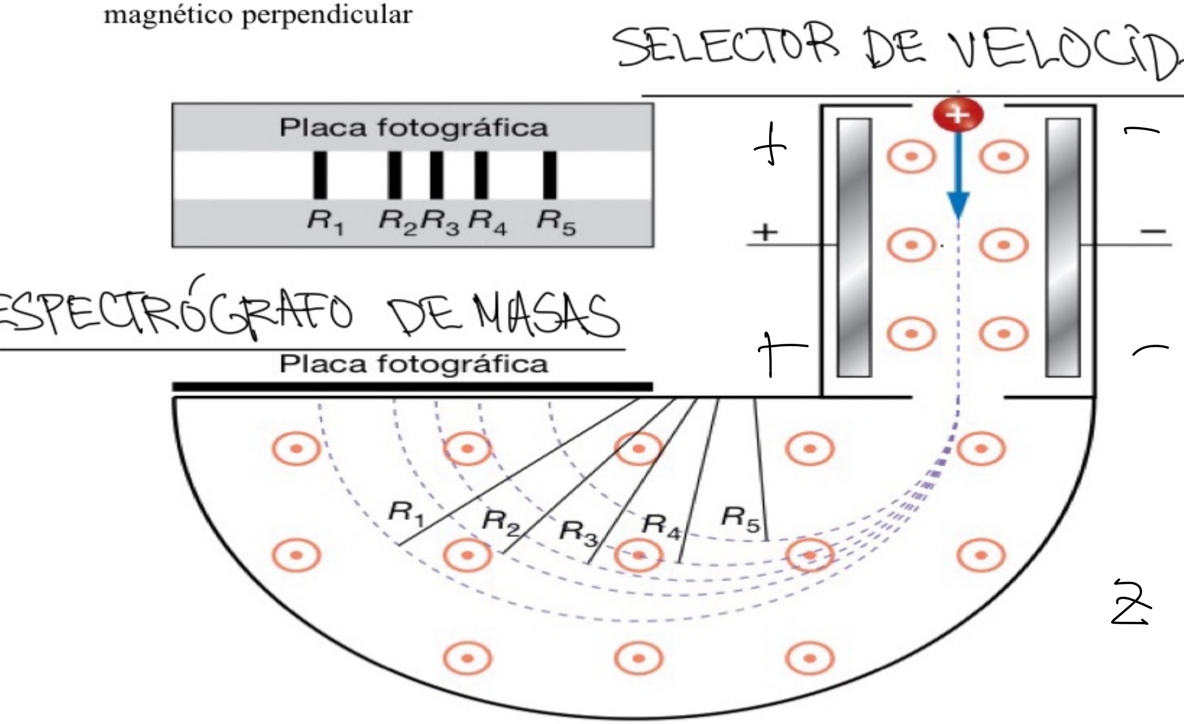


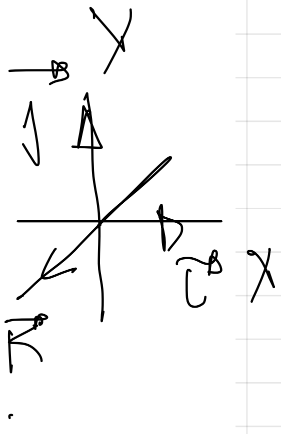
$\vec{F}_m \perp$ al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$

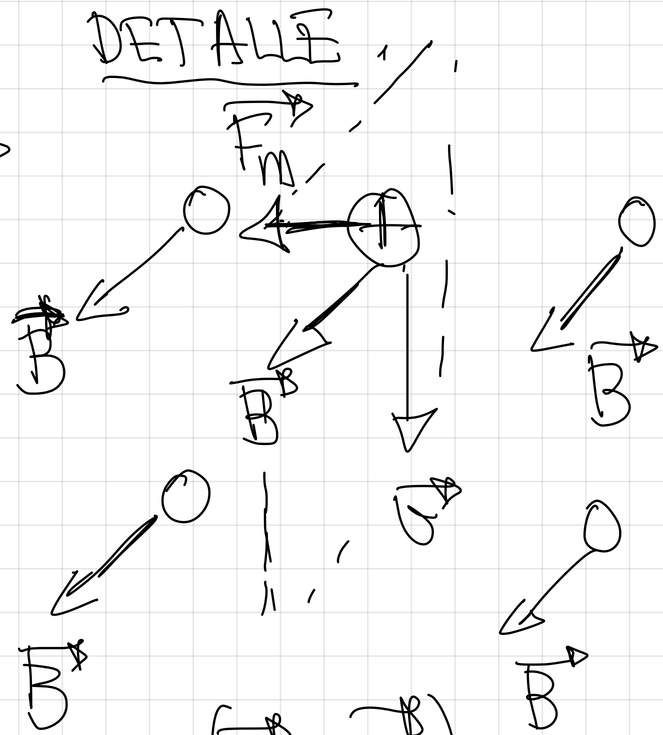
$$\vec{F}_m = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & -v_y & 0 \\ 0 & 0 & B_z \end{vmatrix} \qquad \vec{F} = (-)\, q \cdot v_y B_z \,\vec{i}$$

El **espectrógrafo de masas o espectrómetro de masas** es un dispositivo que permite determinar la masa de partículas con carga eléctrica conocida, haciéndolas curvar en un campo magnético perpendicular







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

$$\vec{F}_m = q \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & -v_y & 0 \\ 0 & 0 & B_z \end{vmatrix} = -q\, v_y B_z \vec{i}$$

Este dispositivo se ha utilizado para para encontrar los distintos isótopos de los elementos.Cada elemento se ioniza de manera estable con la misma carga, independientemente del tipo de isótopo. Por ejemplo, en una cámara de ionización producimos los iones Mg^{2+} y los aceleramos mediante un campo eléctrico para ser introducidos en el selector de velocidades que se ve a la entrada del dispositivo. Con esa velocidad común, como los diferentes isótopos del magnesio poseen distinta masa, al entrar en la zona en donde existe un campo magnético uniforme perpendicular, serán desviados con distinto radio de curvatura según la ecuación

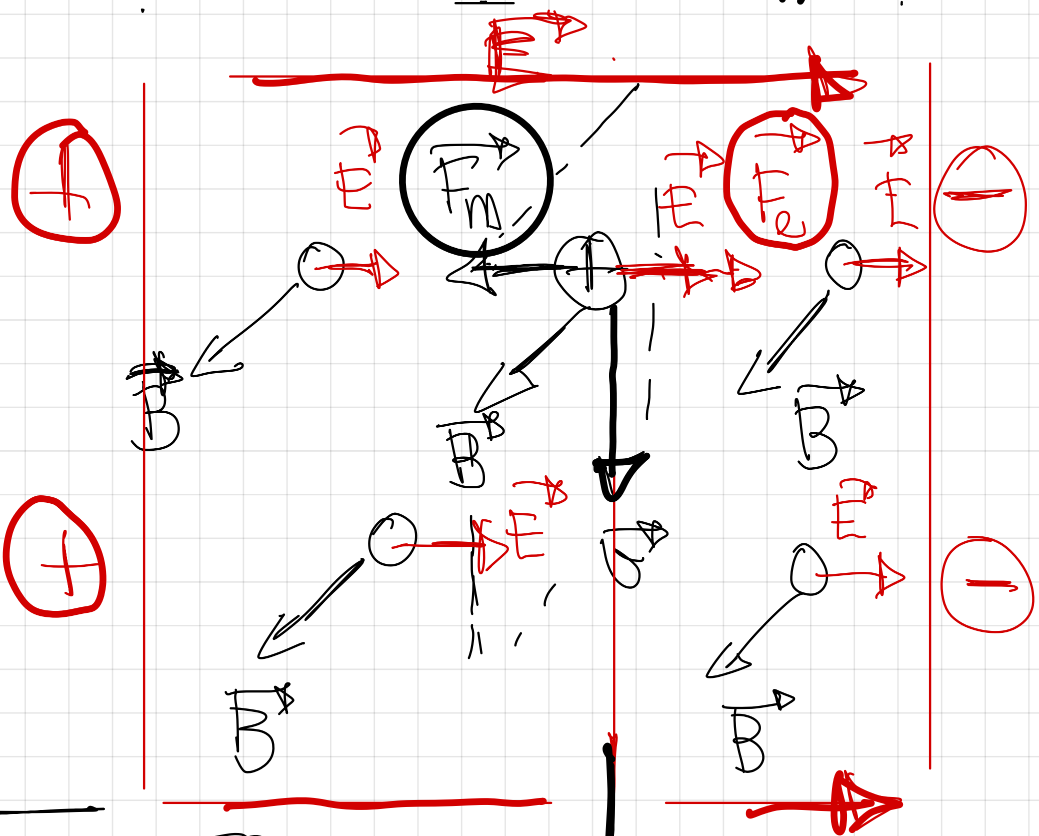
$$r = \frac{m \times \text{v}}{q \times B}$$

$F_m \perp$ al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$. Sentido regla de la mano izquierda (comprobar)

Tras recorrer media circunferencia, al ser las trayectorias de distinto radio, incidirán separadamente en la placa fotográfica que los detecta, tal y como se ve en la figura, pudiendo despejar la masa a partir de los radios obtenidos.

De esta forma podremos, por ejemplo, determinar que el magnesio está compuesto por por un 78,7% de ^{24}Mg, un 10,1% de ^{25}Mg y un 11,2% de ^{26}Mg

SELECTOR DE VELOCIDADES



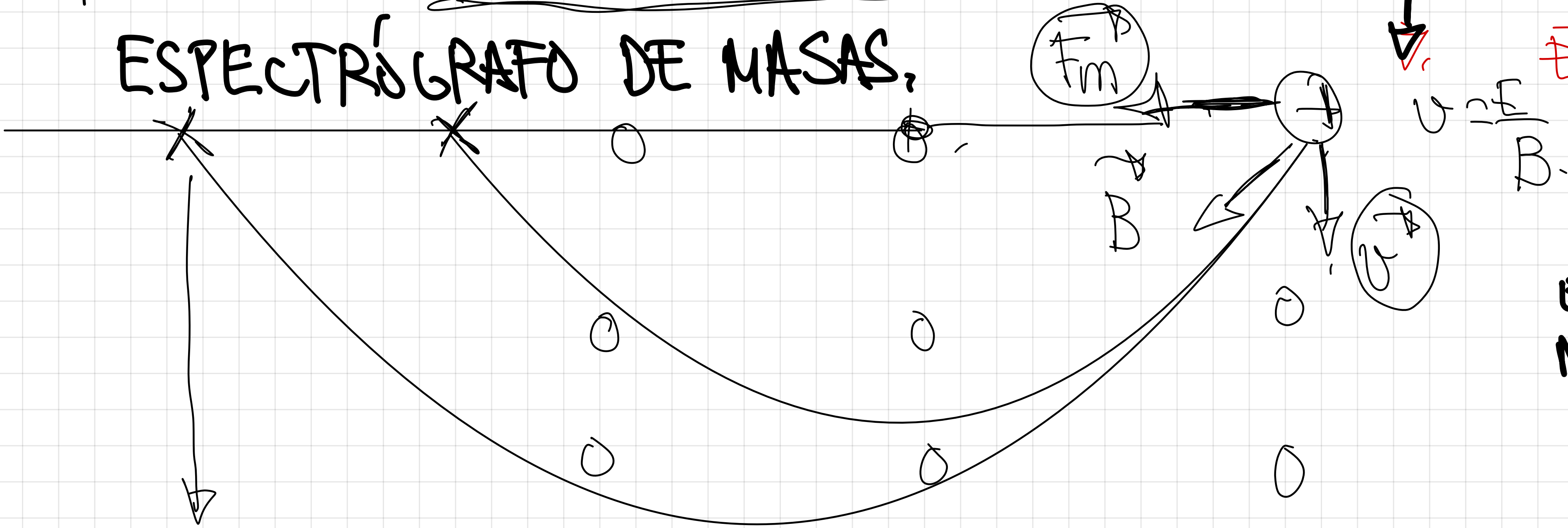
$$F_m = F_e$$

$$q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\, 90^\circ = q\, E$$

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

Penetran con la misma velocidad y aquí deja de actuar el campo eléctrico.

ESPECTRÓGRAFO DE MASAS.



SOLO ACTÚA EL CAMPO MAGNÉTICO

Podemos saber el radio de la trayectoria de la semicircunferencia descrita en el espectrógrafo de masas

$$F_m = F_c$$

$$q\,v\,B \operatorname{sen} 90^\circ = m \cdot a_n$$

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

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

Sabiéndolos todos podría hallar la masa de la partícula cargada que se introduce.

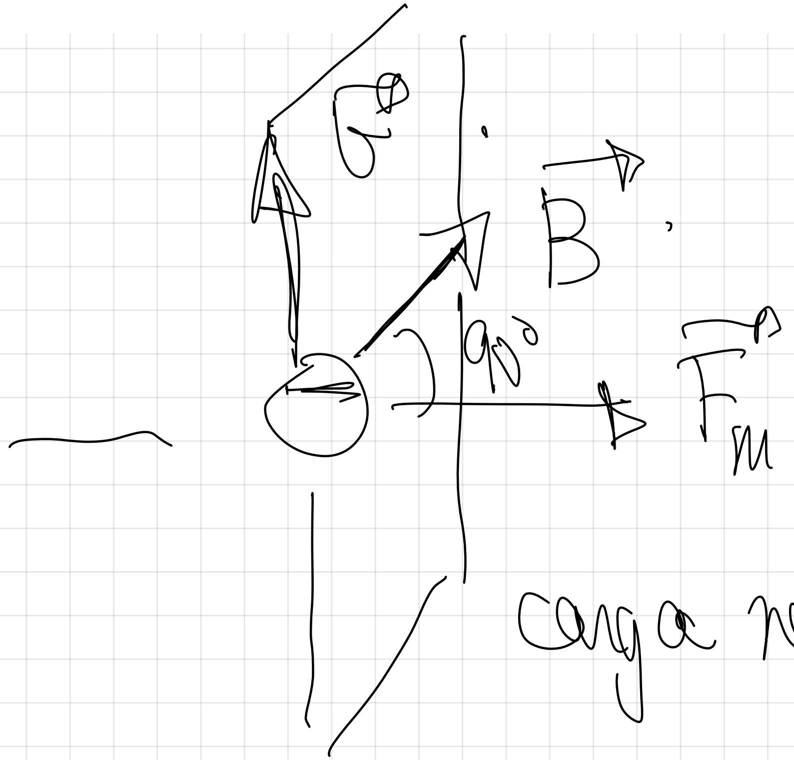
50.- De los tres vectores que aparecen en la ecuación $\mathbf{F} = q\ \mathbf{v}\ \ \mathbf{B}$, ¿qué pares de vectores son siempre perpendiculares entre sí y cuáles pueden no serlo?

$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ ley de Lorentz.

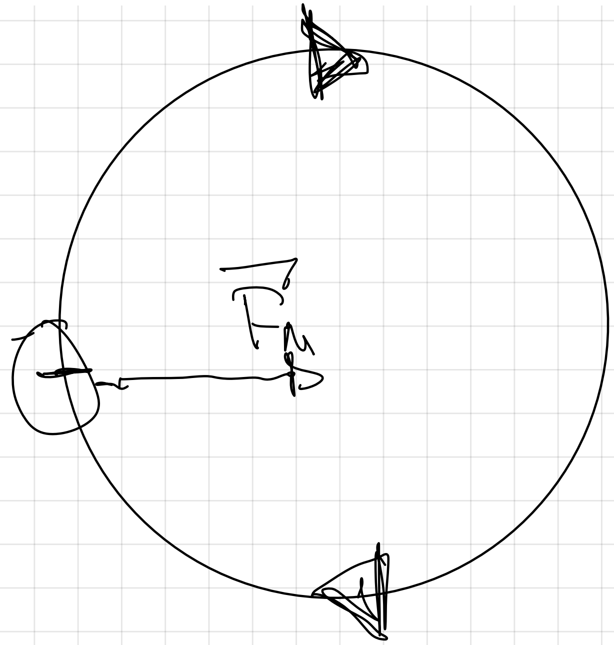
Siempre $\perp$ entre sí $\vec{F}$ y $\vec{v}$, $\vec{F}$ y $\vec{B}$

pueden no ser $\perp$ $\vec{v}$ y $\vec{B}$.

52.- Sobre un electrón, que se mueve con velocidad **v**, actúa un campo magnético **B** en dirección normal a su velocidad. Deduzca las expresiones del radio de la órbita , del período del movimiento y de la frecuencia del movimiento.



carga negativa.



$$F_M = F_n$$

$$e \cdot \cancel{v} \cdot B \cdot \text{sen}\,\cancel{90^\circ} = m \cdot \frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

$$\boxed{r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B}}$$

$$F_m = F_n$$

$$q \cdot \cancel{v} \cdot B = m \cdot \frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

$$q \cdot B = m \cdot \frac{\left(\frac{2\pi \cancel{r}}{T}\right)}{\cancel{r}}$$

$$q \cdot B = \frac{m \cdot 2\pi}{T}$$

$$\boxed{T = \frac{m \cdot 2\pi}{q \cdot B}}$$

$$f = \frac{n^{o}\ \text{vueltas}}{\text{tiempo}} \Rightarrow f = \frac{1}{T}\ \begin{matrix}\text{vuelta} \\ \text{tiempo que equivale a un período}\end{matrix}$$

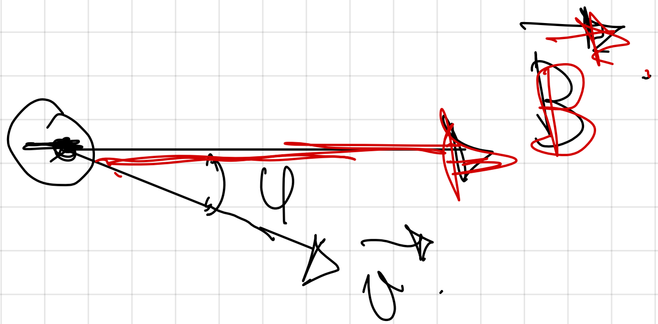
$$T = \frac{m \cdot 2\pi}{q \cdot B} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{m \cdot 2\pi / q \cdot B}$$

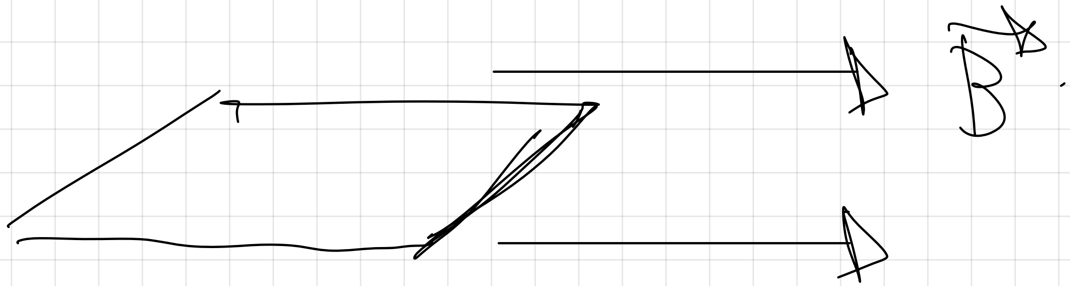
$$\boxed{f = \frac{q \cdot B}{m\, 2\pi}}$$

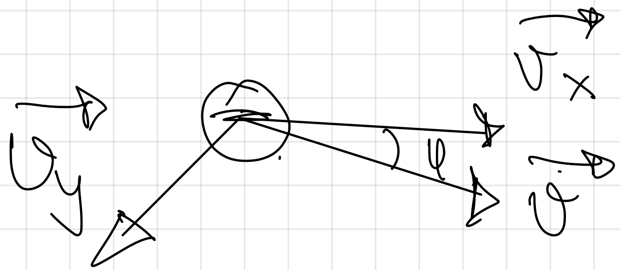
Pag 75 Trayectoria.

c) La velocidad v y el campo B forman un ángulo $0 < \alpha < 90^\circ$

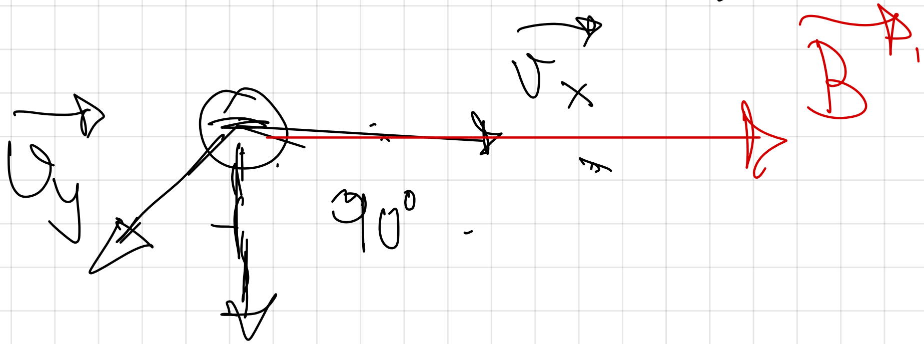
el caso que la partícula se mueva con una velocidad que no es p

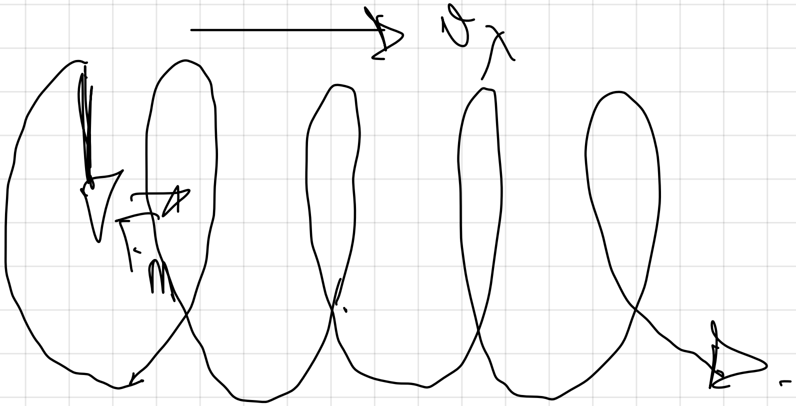




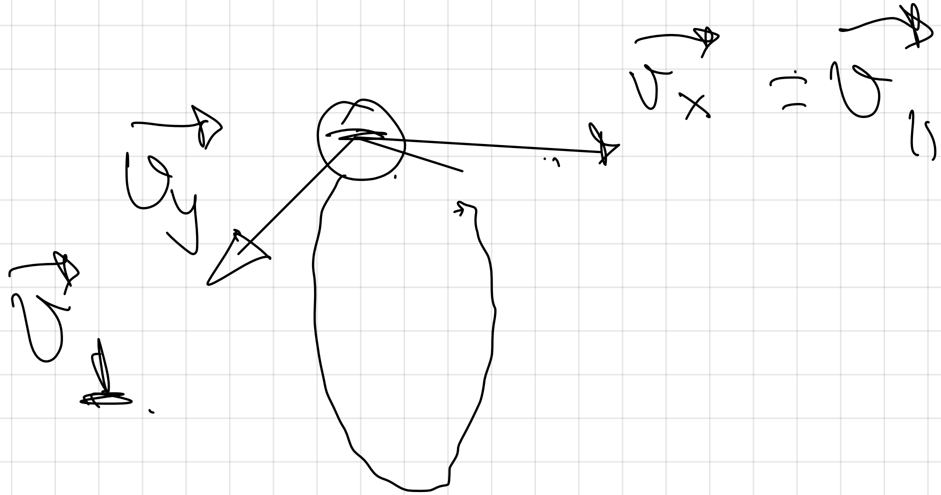


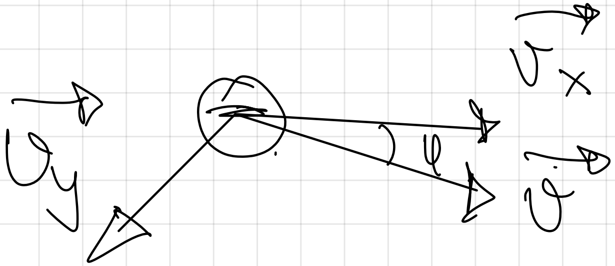
$$F_{m_x} = q \cdot v_x \cdot B \cdot \text{sen } 0^\circ = 0$$





$\vec{F}_m$





$$\vec{F}_m = q \cdot v_{\perp} \cdot B \cdot \operatorname{sen} \underbrace{90^\circ}_{1}$$

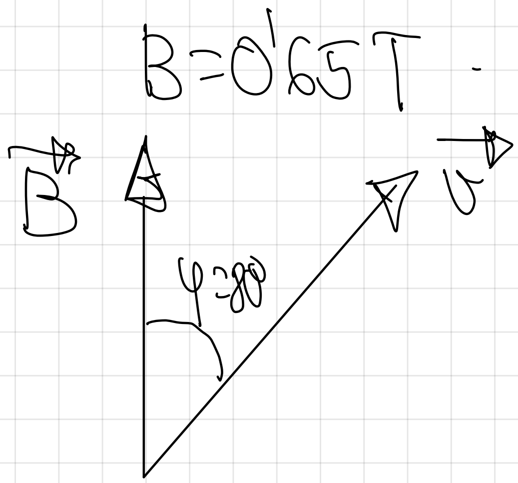
$$\boxed{v_y = v_{\perp} = v \cdot \operatorname{sen}\varphi}$$

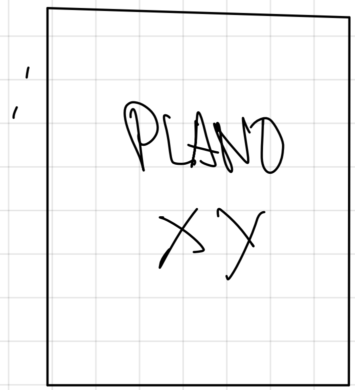
$$F_m = q \cdot [v \cdot \text{sen}\,\varphi] \cdot B.$$

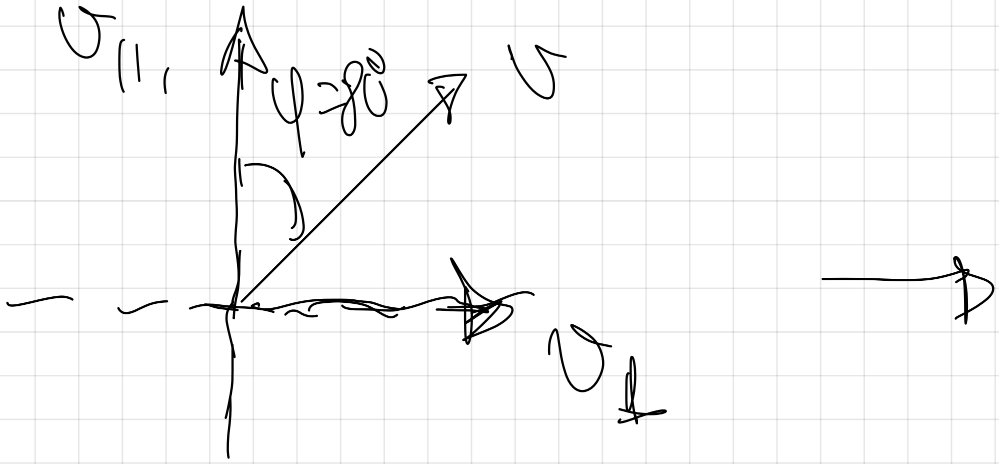
Ec.

14.- Un protón de $\boxed{9{,}0\cdot 10^{-17}\ \text{J}}$ entra en una región del espacio en donde existe un campo magnético de 0,65 T que forma un ángulo de 80º con el vector velocidad del protón. Determina el radio de las circunferencias que describe, la frecuencia a la que lo hace y la velocidad a la que se desplaza el plano de las circunferencias

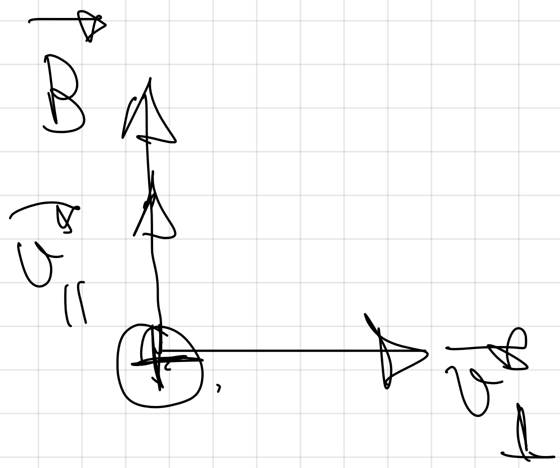
$m_p=1{,}67\cdot 10^{-27}$ kg e= $1{,}6\cdot 10^{-19}$C



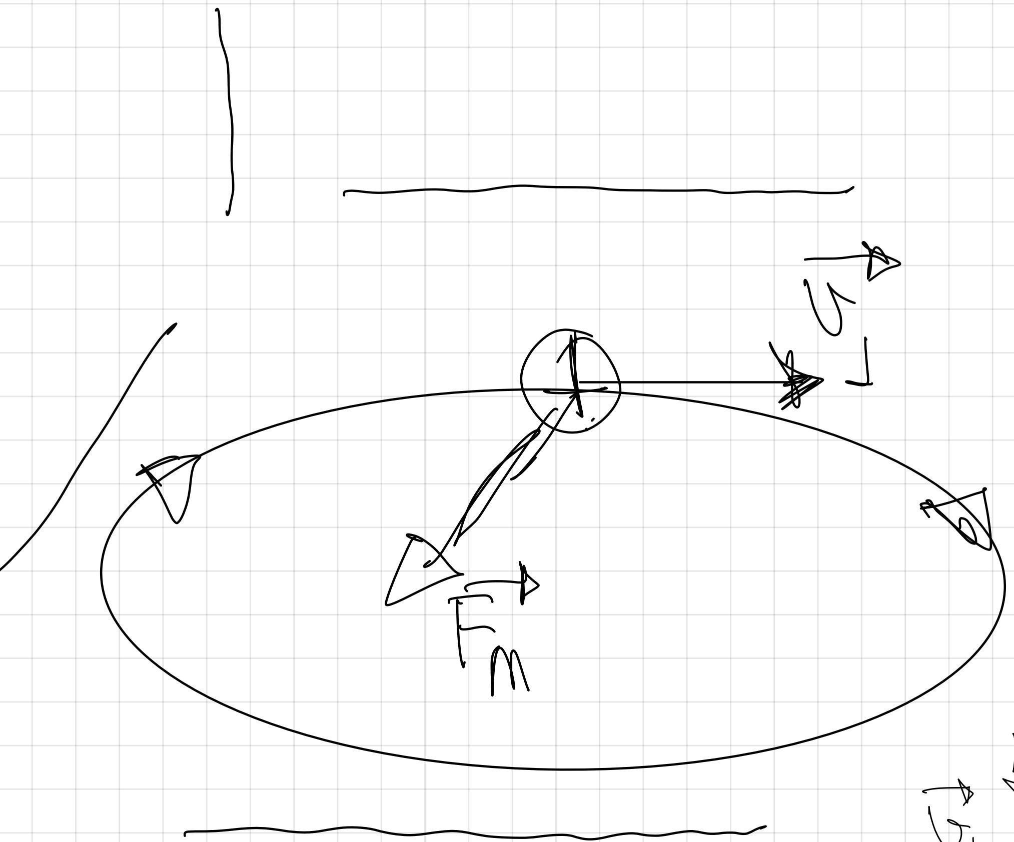




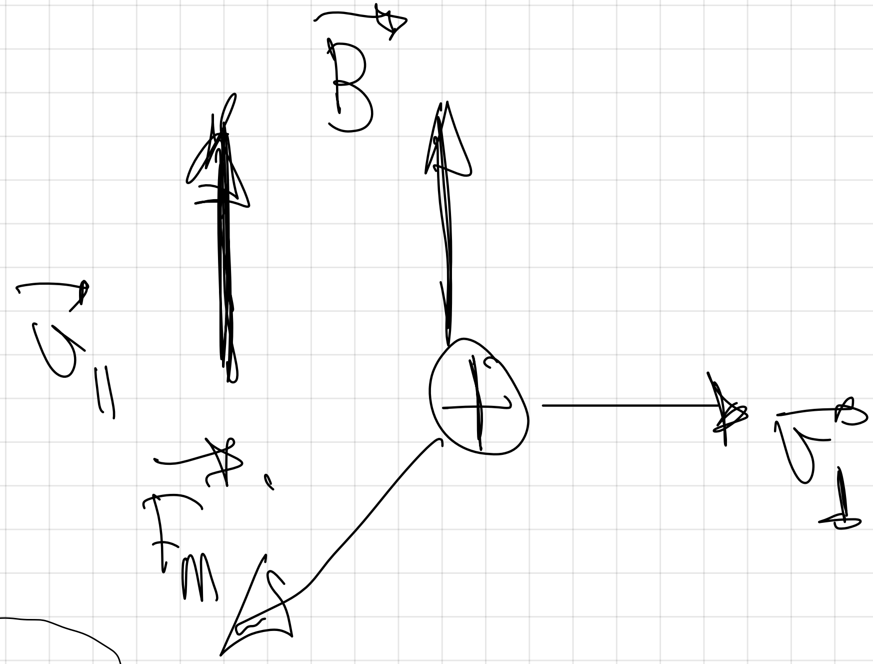
$v_{\parallel}$
$\varphi \approx 90°$
v
$v_{\perp}$



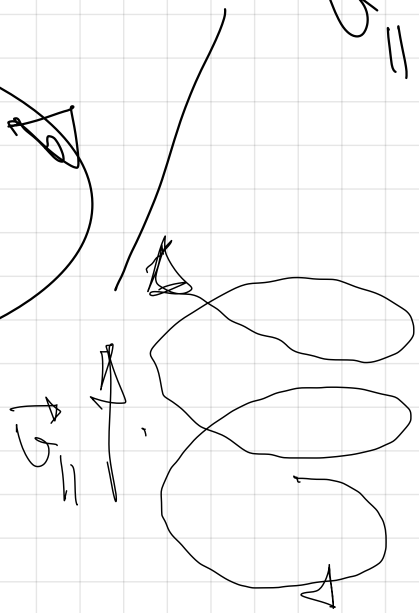
$\vec{B}$
$\vec{v}_{\parallel}$
$\vec{v}_{\perp}$



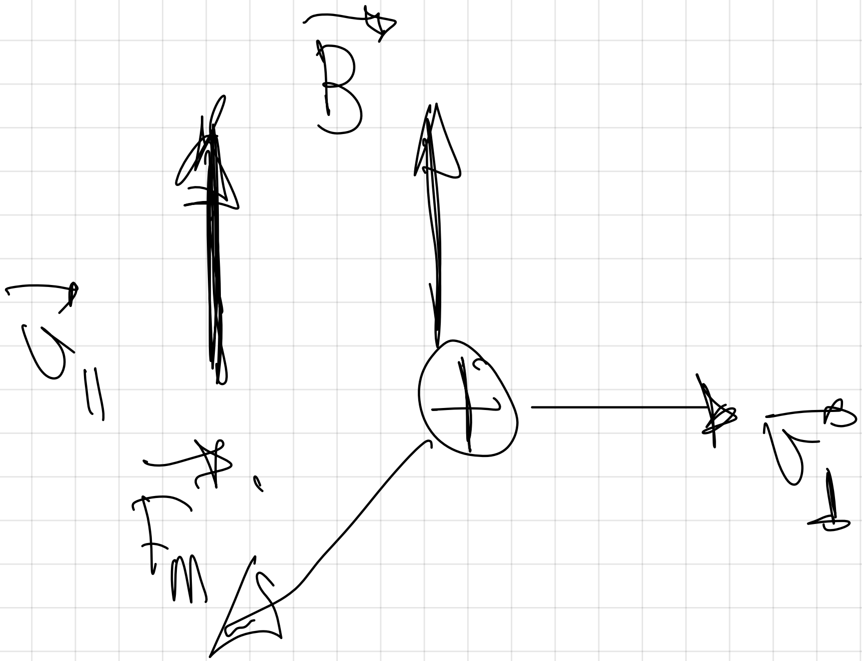
$\vec{v}_{\perp}$
$\vec{F}_m$



$\vec{B}$
$\vec{v}_{\parallel}$
$\vec{v}_{\perp}$
$\vec{F}_m$

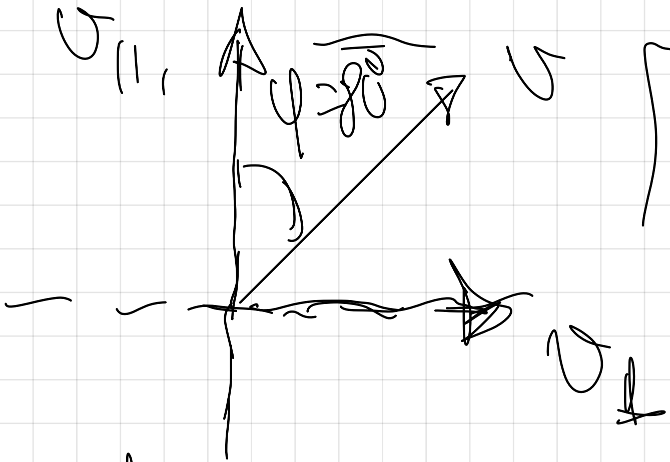


$\vec{v}_{\parallel}$



$F_m = F_n$

$q \cdot v_\perp \cdot B \cdot \text{sen}\, 90^\circ = m \cdot \frac{v_\perp^2}{r}$



$\text{sen}\, 80^\circ = \frac{v_\perp}{v}$

$v_\perp = v \cdot \text{sen}\, 80^\circ$

$v_\perp = 3'28 \cdot 10^5\ m/s \cdot \text{sen}\, 80^\circ$

$E_c = \frac{1}{2} m_p \cdot v_p^2$

$$2E_c = m_p \cdot v_p^2$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2E_c}{m_p}} = \sqrt{\frac{2\cdot 9\cdot 10^{-17}}{1'67\cdot 10^{-27}}} = 3'28\cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\boxed{v_\perp = 3'23\cdot 10^5 \text{ m/s}}$$

con el plano.

$$q\cdot \cancel{v_\perp}\cdot B\cdot \cancel{\operatorname{sen} 90^\circ} = m\cdot \frac{v_\perp^{\cancel{2}}}{r}$$

$$r = \frac{m\cdot v_\perp}{q\cdot B} = \frac{1'67\cdot 10^{-27}\cdot 3'23\cdot 10^5}{1'6\cdot 10^{-19}\cdot 0'65} = 5'19\cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$F_m = F_n$$

$$q \cdot \cancel{v} \cdot B \cdot \underbrace{\cancel{\operatorname{sen} 90^\circ}}_{=1} = m \cdot \frac{v^{\cancel{2}}}{r}$$

$$q \cdot B = m \cdot \frac{\frac{2\pi \cancel{r}}{T}}{\cancel{r}}$$

$$T = \frac{m \cdot 2\pi}{q \cdot B} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{q \cdot B}{m \cdot 2\pi} =$$

$$= \frac{1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 0'65}{1'67 \cdot 10^{-27} \cdot 2\pi} = 9'9 \cdot 10^{6}\ Hz$$

53 Una partícula con carga $\boxed{q = 3{,}2\cdot 10^{-19}\ C}$ se desplaza con una velocidad $\vec{v} = 2\vec{i} + 4\vec{j} + \vec{k}$ m/s^{-1} por una región en la que existe un campo magnético $\vec{B} = 2\vec{i} + 4\vec{j} + \vec{k}$ T y un campo eléctrico $\vec{E} = 4\vec{i} - \vec{j} - 2\vec{k}$ N/C

a) ¿Cuál es la fuerza total ejercida sobre la partícula?

b) ¿Y si la partícula se moviera con velocidad – v?

a) $\vec{v} = 2\vec{i} + 4\vec{j} + \vec{k}$

$\vec{B} = 2\vec{i} + 4\vec{j} + \vec{k}$.

$F_m = q \cdot v B \cdot \operatorname{sen} 0^\circ = 0.$

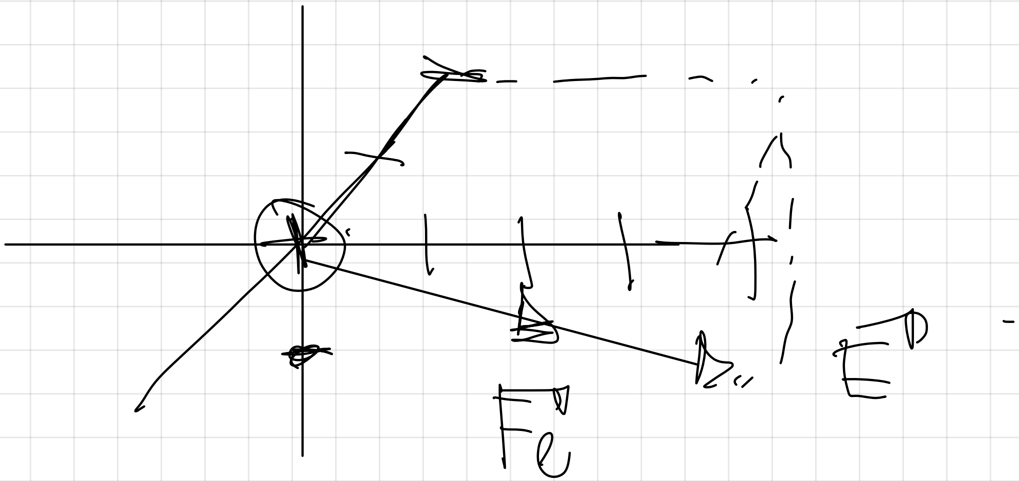
Solo actúa la eléctrica.

$\vec{F_e} = q \cdot \vec{E} = 3{,}2 \cdot 10^{-19} (4\vec{i} - \vec{j} - 2\vec{k}).$

$\vec{F_e} = q \cdot \vec{E} = 3{,}2 \cdot 10^{-19} \cdot (4\vec{i} - \vec{j} - 2\vec{k}) = 12{,}8 \cdot 10^{-19} \vec{i} - 3{,}2 \cdot 10^{-19} \vec{j} - 6{,}4 \cdot 10^{-19} \vec{k}$ (N)

Calculando su módulo $|\vec{F_e}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = 1{,}46 \cdot 10^{-18}$ N.

b)



$\vec{v} = 2\vec{i} + 4\vec{j} + \vec{k}$

$\vec{B} = 2\vec{i} + 4\vec{j} + \vec{k}$.

$-\vec{v} = -2\vec{i} - 4\vec{j} - \vec{k}$ (m/s)

$$\boxed{F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} 180^\circ = 0}$$

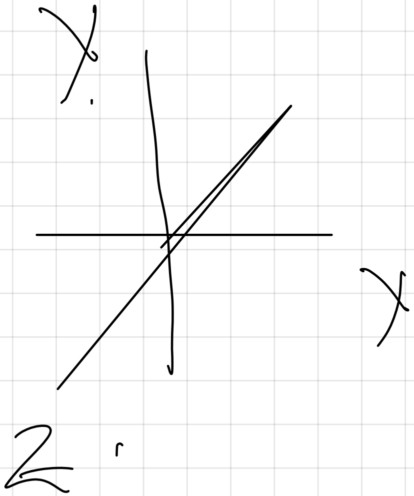
Actuaría la misma fuerza eléctrica que en a)

$1T = 10^4 G$ (Gauss)

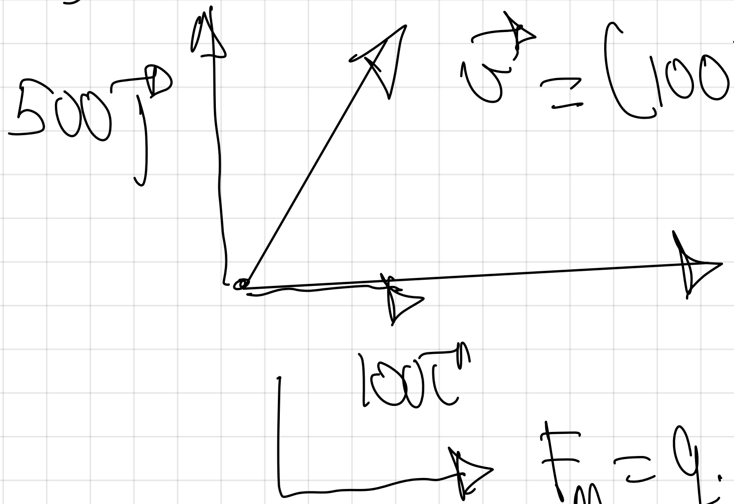
54.- Una partícula de carga -50 μC y 0,2 mg se desplaza a una velocidad $\vec{v} = (100\vec{\imath} + 500\vec{\jmath})$ m/s en un campo magnético uniforme $\vec{B} = 1000\vec{\imath}$ G. Determina como será el movimiento de la carga, calculando su radio y su frecuencia.

$$B = 1000\,\cancel{G} \cdot \frac{1\,T}{10^4\,\cancel{G}} = 0'1\,T.$$

$$\boxed{\vec{B} = 0'1\,\vec{\imath}\ (T)}$$



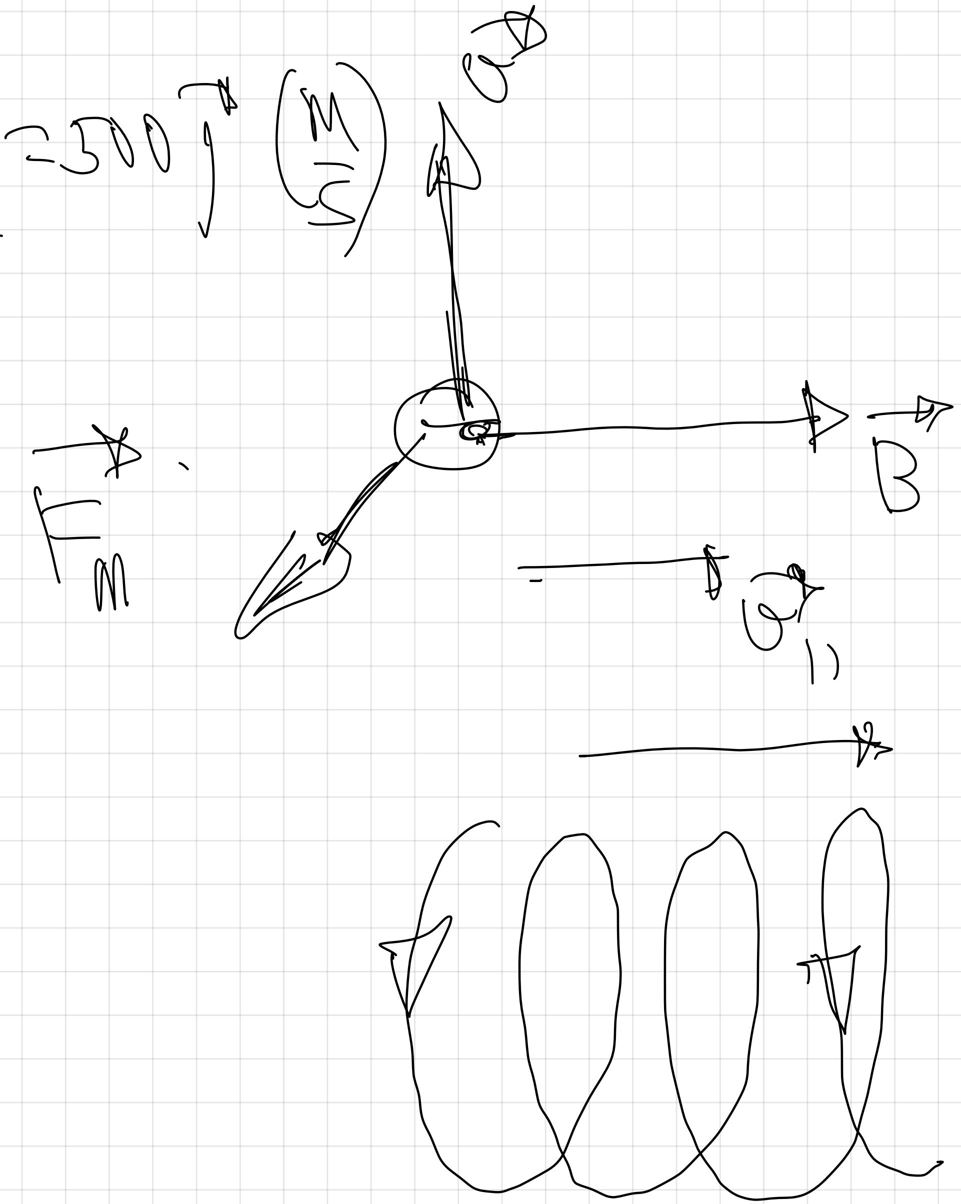
$$\vec{v} = (100\vec{\imath} + 500\vec{\jmath})\ m/s$$



$$\vec{B} = 1000\vec{\imath}.$$

$$F_m = q \cdot v_{\parallel} \cdot B \cdot \cancel{\operatorname{sen} 0^\circ} = 0.$$

$v_\perp = 500\,\vec{j}\ \left(\frac{m}{s}\right)$



$B = 0{,}1\,\vec{i}\ T$

$F_m = F_n$

$q \cdot \cancel{v_\perp} \cdot B \cdot \sin 90° = m \cdot \frac{v_\perp^{\cancel{2}}}{r}$

$r = \frac{m \cdot v_\perp}{q \cdot B} = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-6}\,kg \cdot 500\,m/s}{50 \cdot 10^{-6}\,C \cdot 0{,}1\,T}$

$$r = 20\,m.$$

$$F_m = F_n.$$

$$q \cdot \boxed{\cancel{v_\perp}} \cdot B \cdot \underbrace{\cancel{\sin 90^\circ}}_{1} = m \cdot \frac{v_\perp^{\cancel{2}}}{r}.$$

$$q \cdot B = m \cdot \frac{2\pi \cancel{r} \cdot f}{\cancel{r}}$$

$$q \cdot B = m \cdot 2\pi f.$$

$$v_\perp = \frac{2\pi r}{T}$$

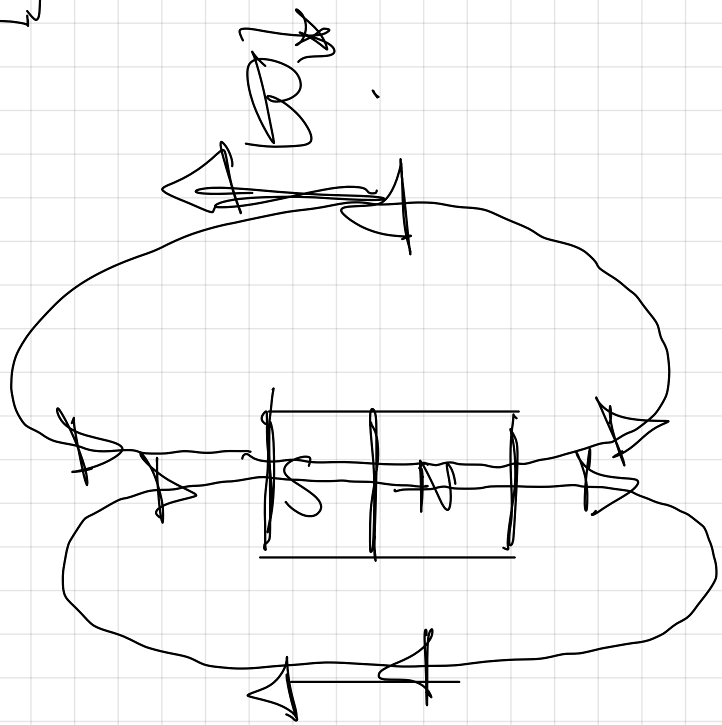
$$v_\perp = 2\pi r \cdot \frac{1}{T}.$$

$$v_\perp = 2\pi r \cdot f$$

$$f = \frac{q \cdot B}{m \cdot 2\pi} \approx 4\,\mathrm{Hz}.$$

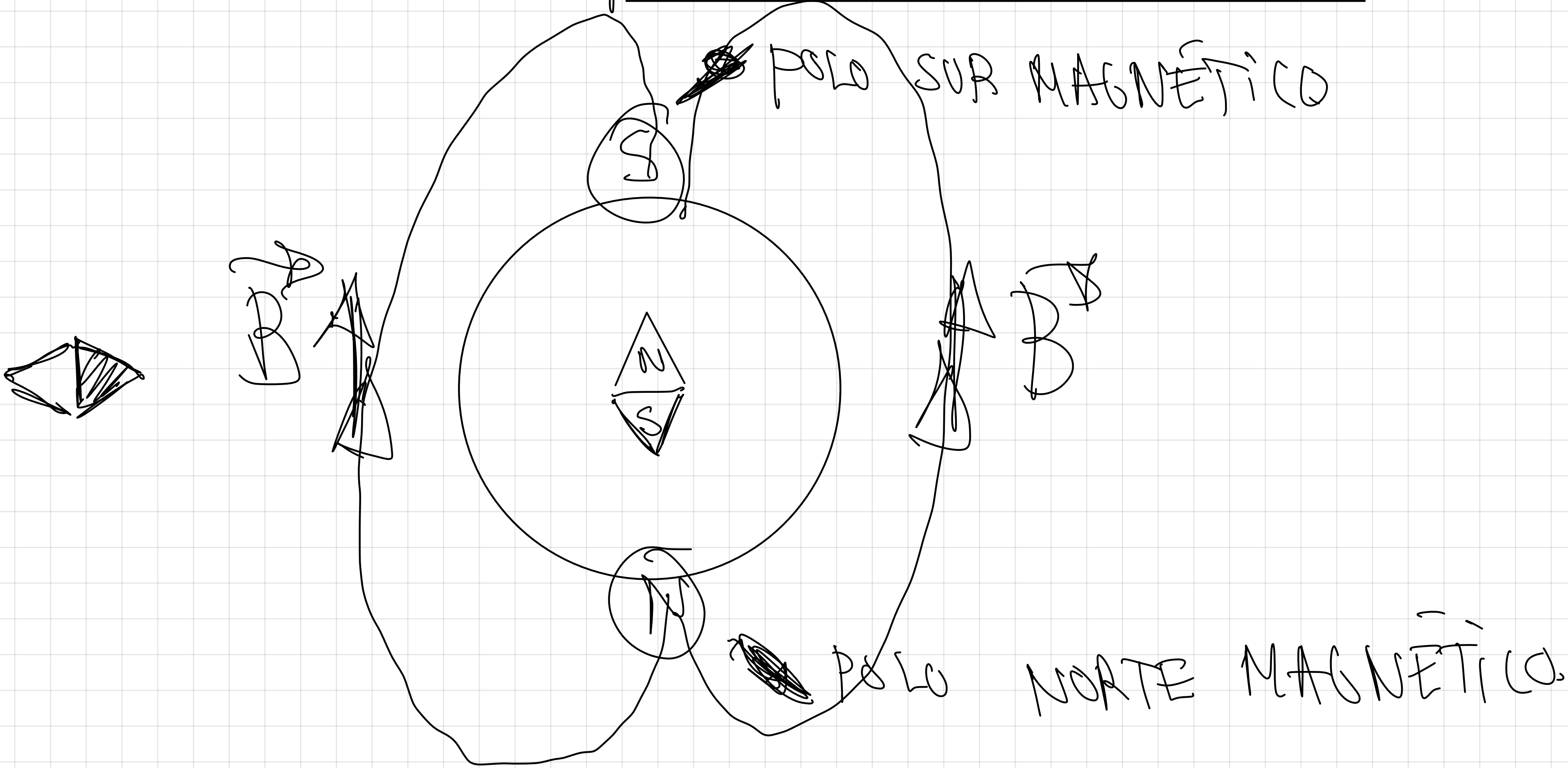
ORÍGENES DEL CAMPO MAGNÉTICO

$\boxed{\vec{B}\ (T)}$



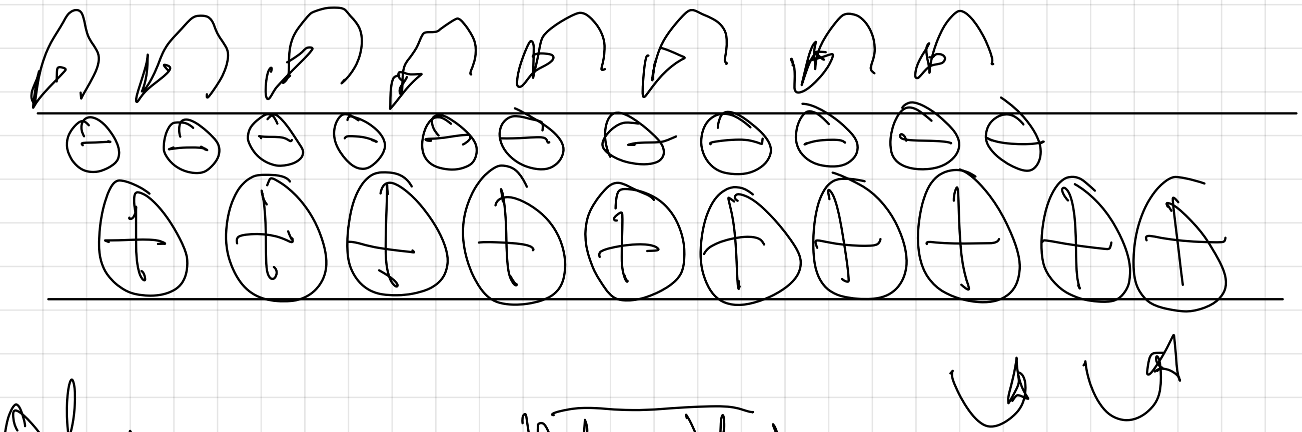
$\vec{B}$ tangente en cada punto a las líneas de campo

POLO NORTE GEOGRÁFICO



POLO SUR GEOGRÁFICO.

$V_A > V_B$



Ley de Ohm $\quad I = \dfrac{\boxed{V_A - V_B}}{R} \xrightarrow{I} I = \dfrac{V}{R}$

$$R = \frac{V_A - V_B}{I} = \frac{V}{A} = \Omega$$

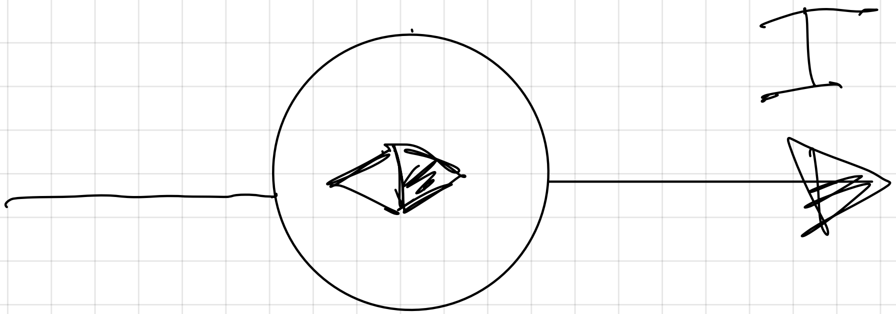
I de corriente $\quad$ A en S.I. $\quad$ [Ohmio]

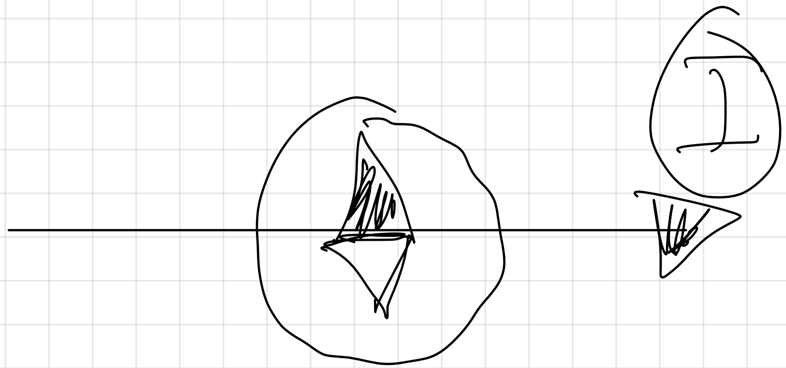
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{C}{s} = A$$

$$\boxed{\text{Ley } \cancel{\text{de}}\ \text{da Ohm}}$$

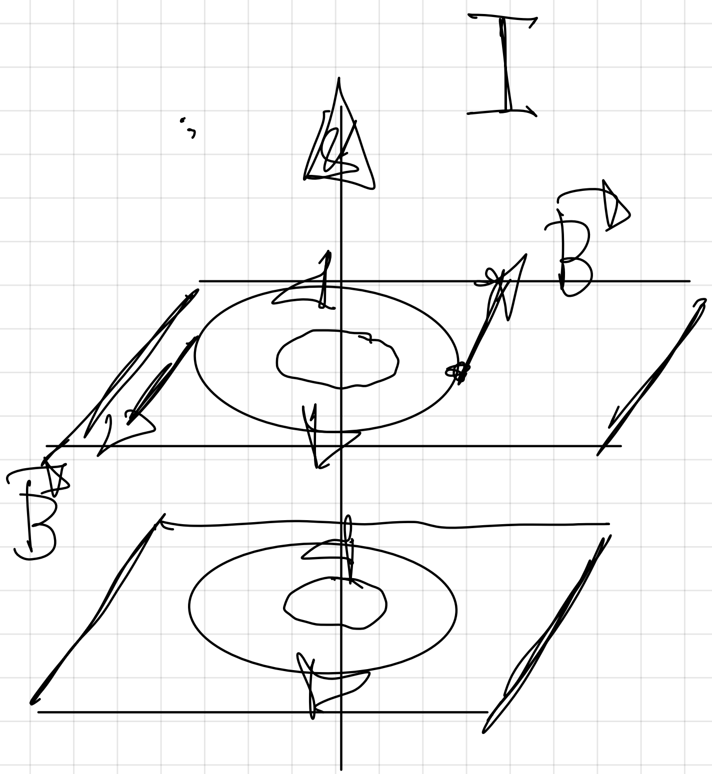
$$I = \frac{(V_A - V_B)}{R}$$

Experimento de Öersted.



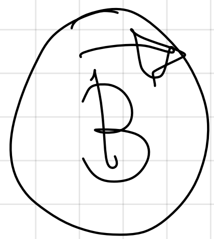


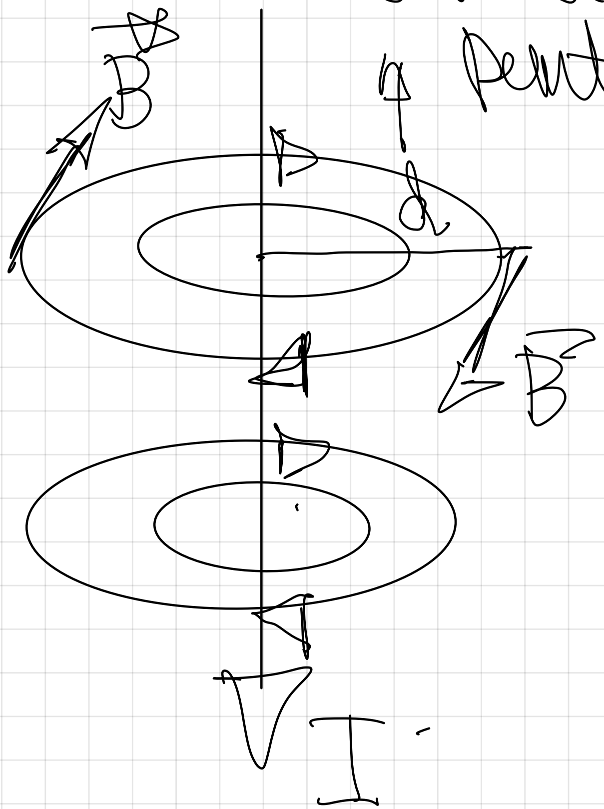
Campo magnético $\vec{B}$ creado por una corriente rectilínea e indefinida.



Sentido de las líneas de campo.

Regla de la mano derecha





distancia del conductor al punto (m en S.I.)

I → I de corriente que circula (A en S.I.)

– Módulo $\vec{B}$ creado por un conductor.

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d}}$$

μ_0 → cte permeabilidad magnética en el vacío.

$$\boxed{\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T \cdot m \cdot A^{-1}}$$

Dirección: tangente en cada punto a las líneas de campo.

Sentido: el ~~sentido~~ de las líneas de campo (regla de la mano derecha).

21.- Dos conductores fijos, rectilíneos y paralelos de gran longitud A y C distan entre si 10 cm. Por el conductor A circula una corriente de 10 A y por el conductor C una corriente de 15 A en el mismo sentido (hacia arriba) que la anterior. Hallar la inducción magnética en los siguientes puntos:

$\vec{B} \Rightarrow$ campo magnético

a) En P_1, situado a 5 cm de A y 15 cm de C

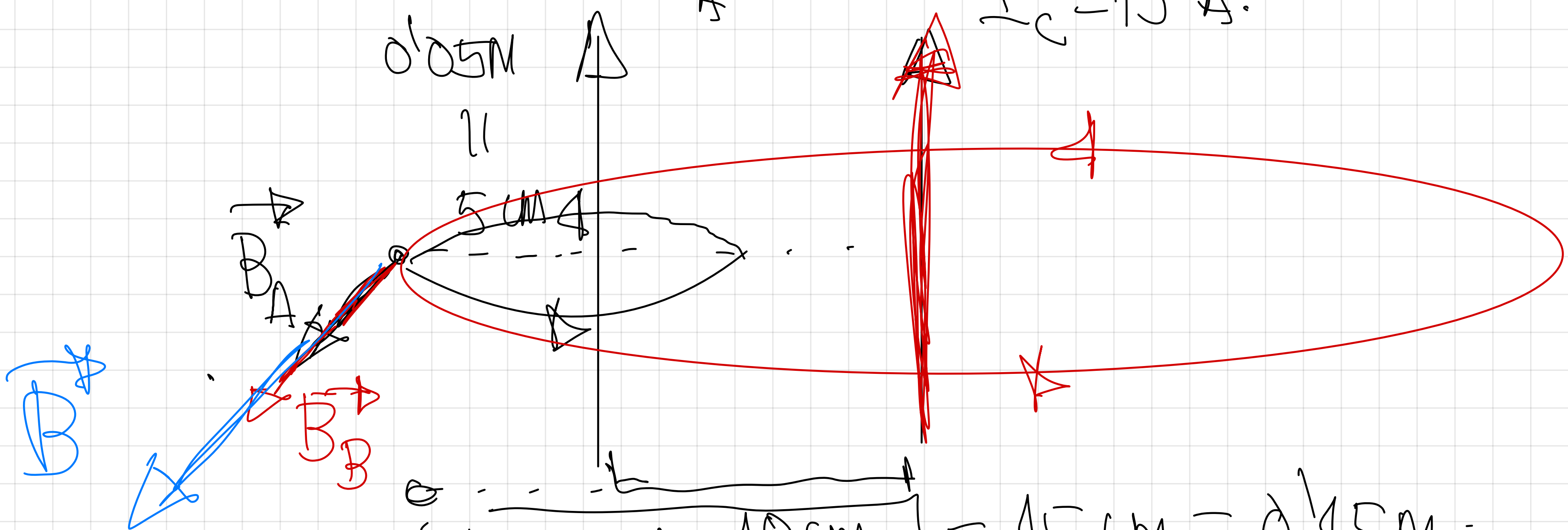
b) En P_2 equidistante de los dos conductores

c) En P_3 a 15 cm de A y a 5 cm de C

d) Repetir los apartados a), b) y c) suponiendo que circulase la misma intensidad de corriente por el conductor C, pero de sentido contrario

Dato: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T \cdot m \cdot A^{-1}$

$I_A = 10\ A$ $\quad I_C = 15\ A$



$(5\text{cm} + 10\text{cm}) = 15\text{ cm} = 0'15\text{ m}$

$$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi d} = \frac{4\cancel{\pi}\cdot 10^{-7}\cdot 10}{2\cancel{\pi}\cdot 0{,}05} = 4\cdot 10^{-5}\,T.$$

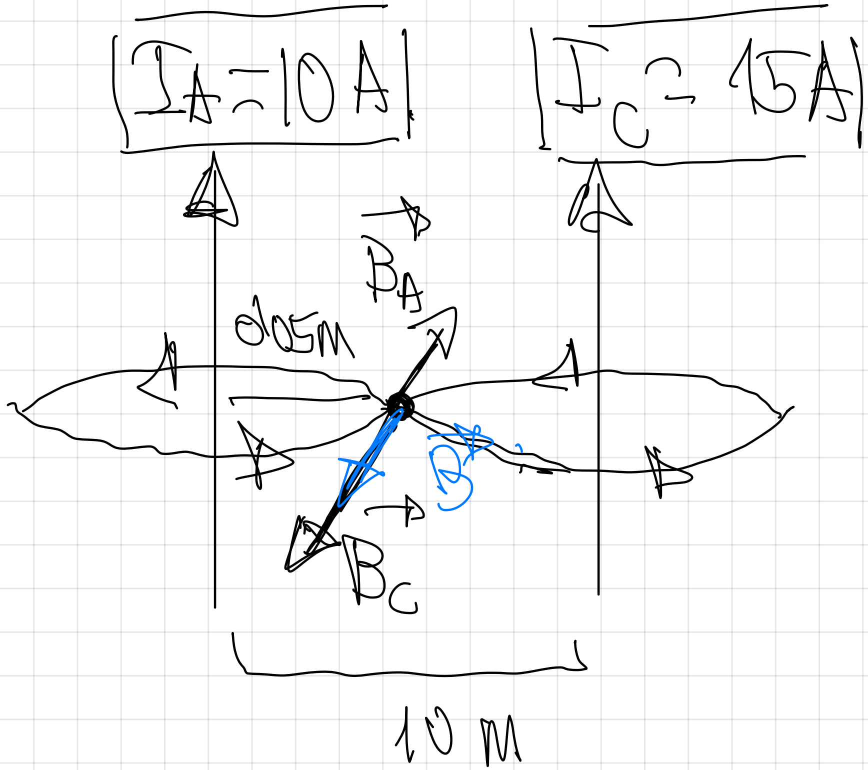
$$\vec{B}_A = +4\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\ (T)$$

$$B_B = \frac{\mu_0 I_B}{2\pi d'} = \frac{4\cancel{\pi}\cdot 10^{-7}\cdot 15}{2\cancel{\pi}\cdot 0{,}15} = 2\cdot 10^{-5}\,T.$$

$$\vec{B}_B = +2\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\ (T)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_B = 4\cdot 10^{-5}\,\vec{k} + 2\cdot 10^{-5}\,\vec{k} = 6\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\ (T)$$

b)



$$B_C = \frac{\mu_0 I_C}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 15}{2\pi\, 0'05}$$

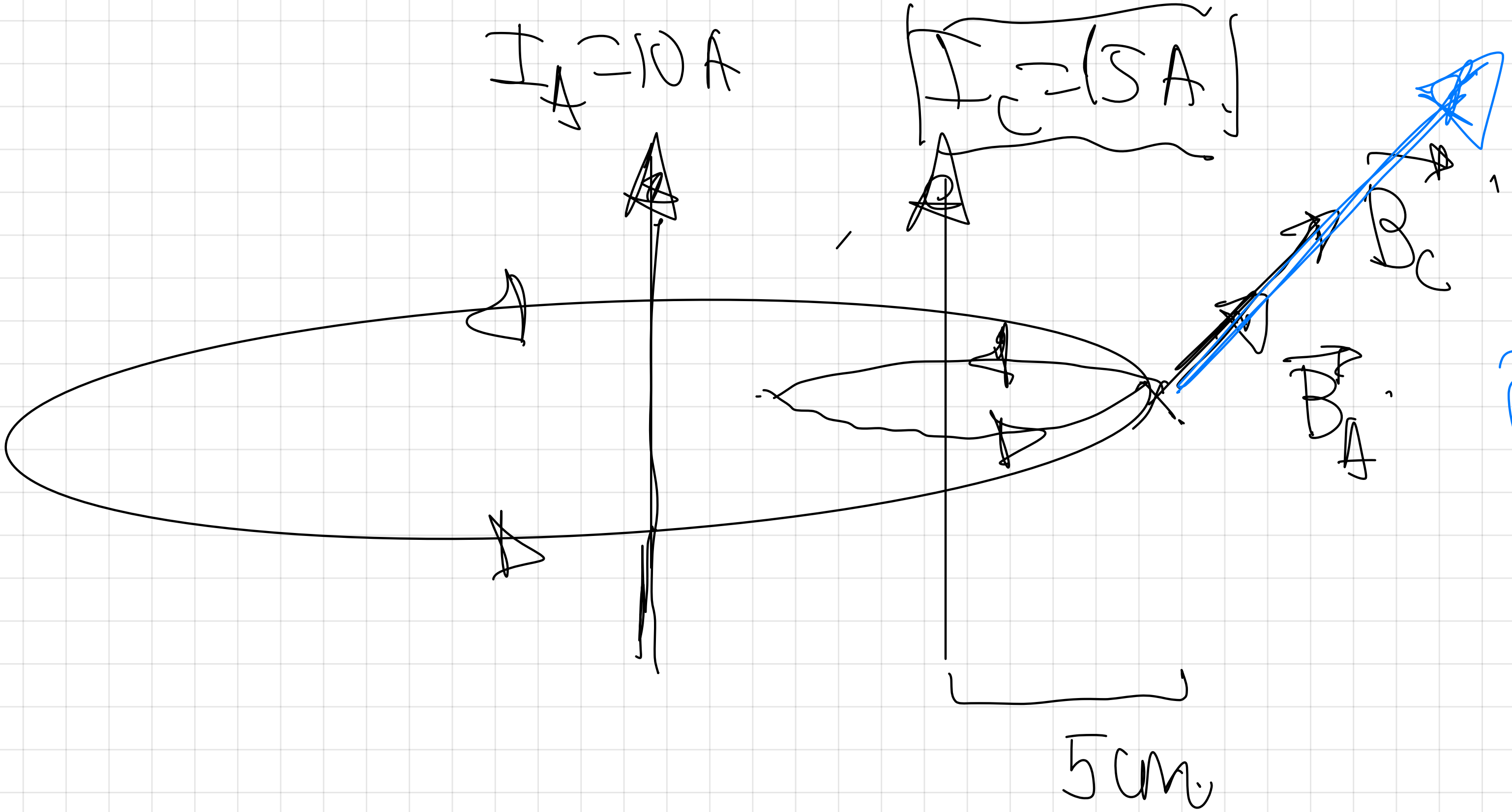
$$B_C = 6 \cdot 10^{-5}\, T$$

$$\vec{B}_C = +6 \cdot 10^{-5}\, \vec{k}\ (T)$$

$$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\pi \cdot 0'05} = 4 \cdot 10^{-5}\, T$$

$$\vec{B}_A = -4 \cdot 10^{-5}\, \vec{k}\ (T)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_C = -4 \cdot 10^{-5}\, \vec{k} + 6 \cdot 10^{-5}\, \vec{k} = 2 \cdot 10^{-5}\, \vec{k}\ (T)$$



$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_C$$

$$\vec{B} = -7{,}33 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,(T)$$

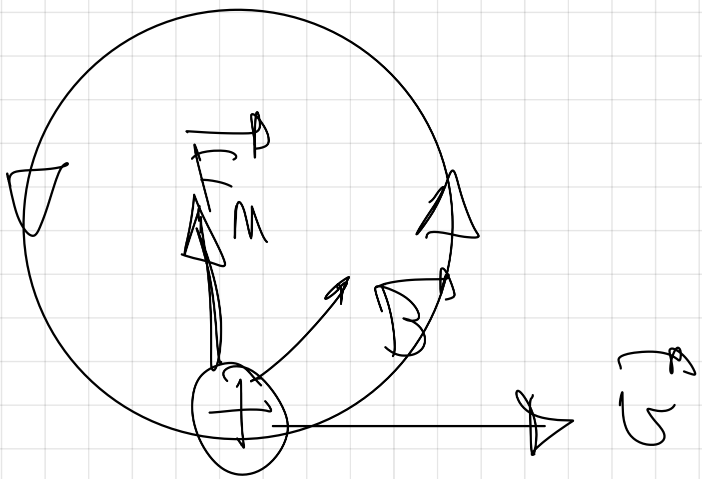
$$B_C = \frac{\mu_0 I_C}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 15}{2\pi\, 0{,}05} = 6 \cdot 10^{-5}\,T \qquad \vec{B}_C = -6 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,(T)$$

$$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\pi\, 0{,}11} = 1{,}33 \cdot 10^{-5}\,T \qquad \vec{B}_A = -1{,}33 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,(T)$$

DUDAS

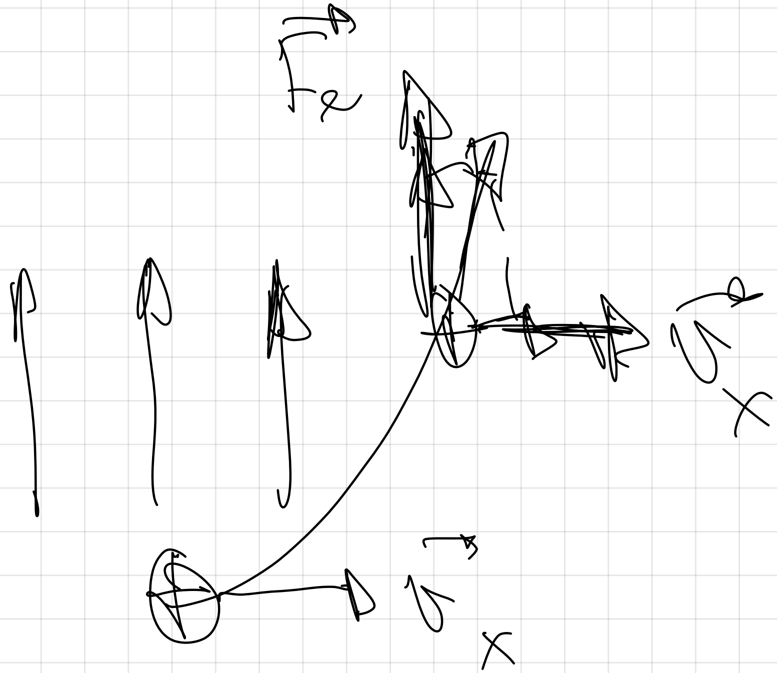
Campo electromagnético

48 (09-R) a) Razone cómo podría averiguar con ayuda de una carga si en una región del espacio hay un campo eléctrico o un campo magnético
b) Un haz de protones atraviesa sin desviarse una zona en la que existen un campo eléctrico y otro magnético. Razone qué condiciones deben cumplir esos campos.

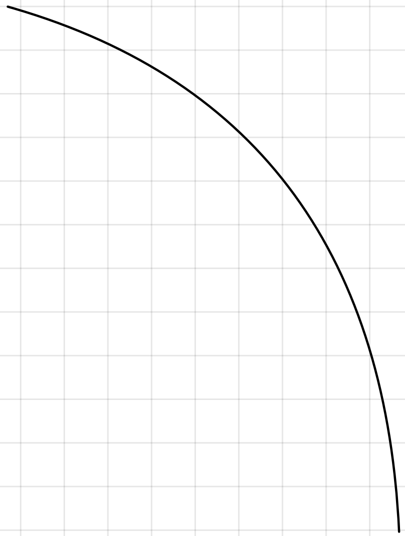


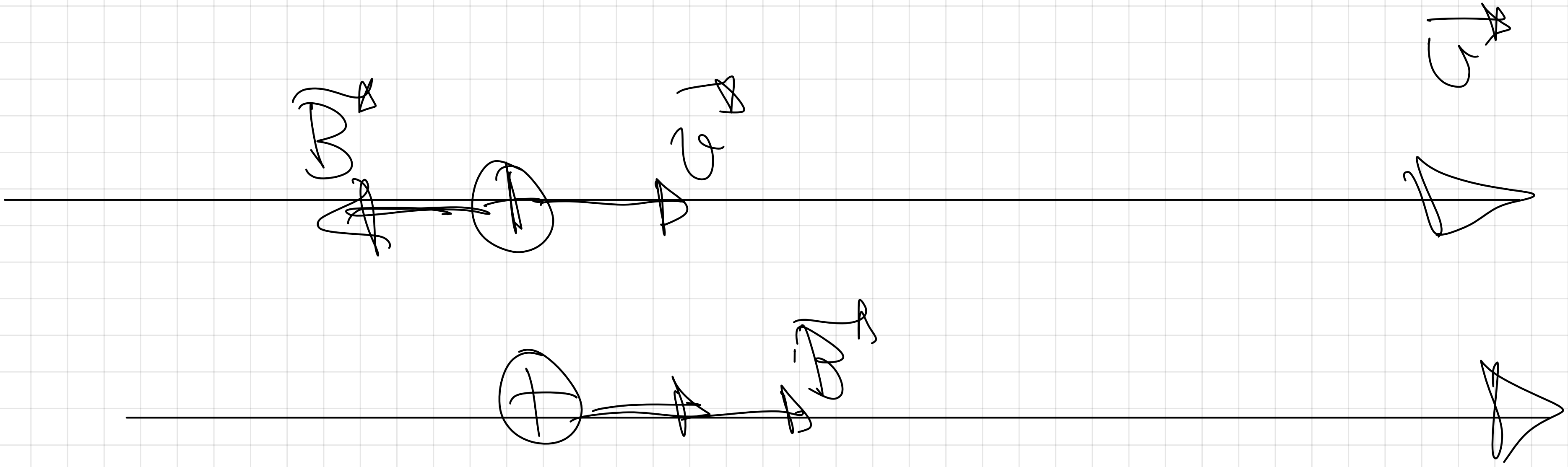
$$\cancel{\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}}$$

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

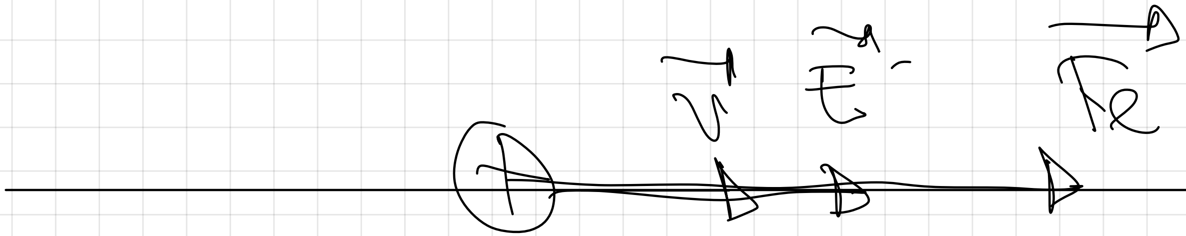


$$\boxed{\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}}$$





$\boxed{\text{MRU}}$



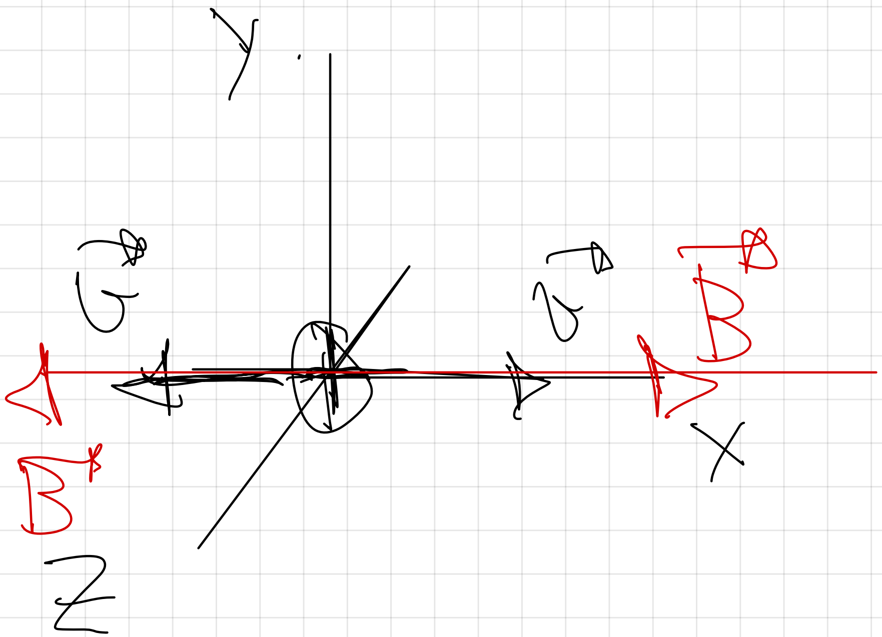
MRUA
(acelerado
o frenado)

90 (00-R) Para caracterizar el campo magnético uniforme que existe en una región se utiliza un haz de protones con una velocidad de 5×10^{5} m s^{-1}. Si se lanza el haz en la dirección del eje **X**, la trayectoria de los protones es rectilínea, pero si se lanza en el sentido positivo del eje **Z**, actúa sobre los protones una fuerza de 10^{-14} N dirigida en el sentido positivo del eje **Y**.

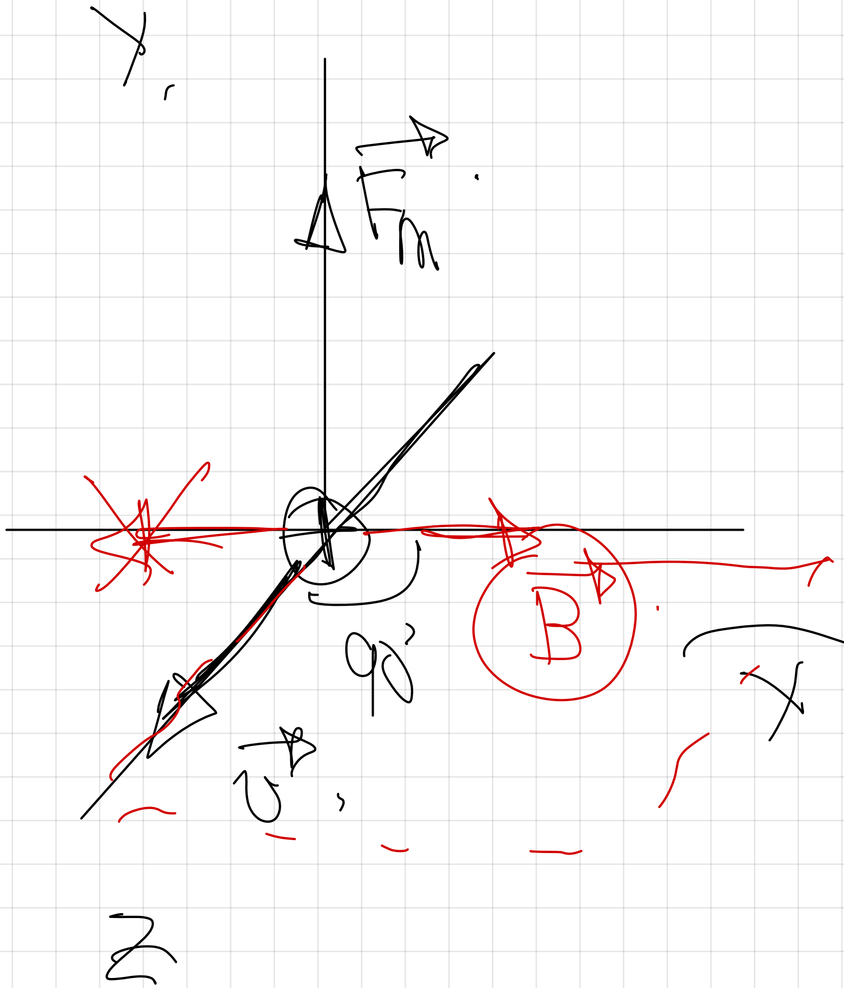
a) Determine, razonadamente, el campo magnético (módulo, dirección y sentido).

b) Describa, sin necesidad de hacer cálculos, cómo se modificaría la fuerza magnética y la trayectoria de las partículas si en lugar de protones se lanzaran electrones con la misma velocidad.

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.



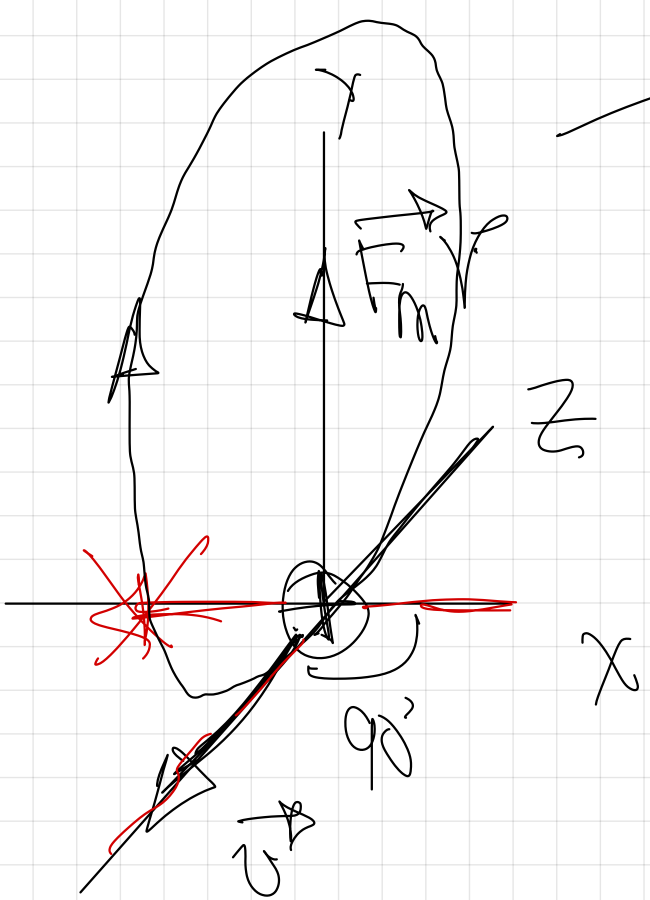
$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\alpha$ 0° 180° $= 0$



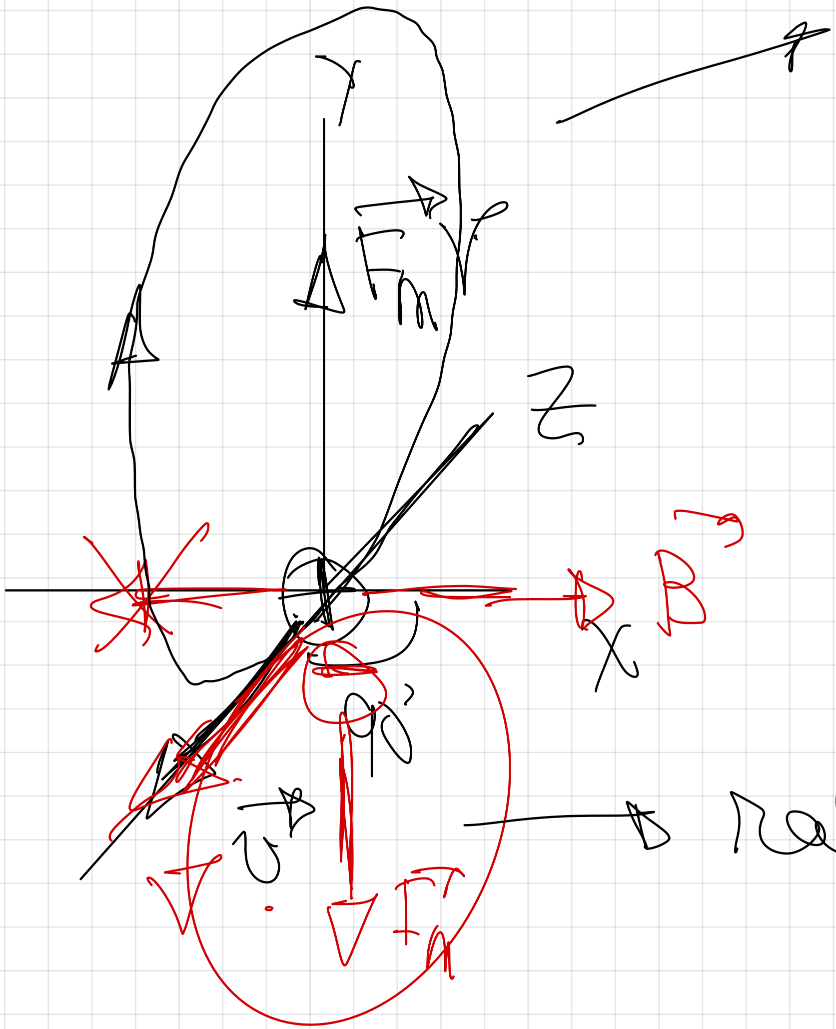
$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \cancel{\sin 90°}^{1}$$

$$B = \frac{F_m}{q \cdot v} = 0'125\,T$$

$$\vec{B} = +0'125\,\vec{i}\ (T)$$



plano YZ.



radio menor..

Ejercicio $\boxed{139}$

1eV es unidad de energía. frecuentemente en física cuántica.

$$e = 1'6 \cdot 10^{-19} \boxed{C}$$

Dato suministrado.

$$e \cdot V = 1'6 \cdot 10^{-19}\, \cancel{C} \cdot \frac{J}{\cancel{C}} = 1'6 \cdot 10^{-19} J.$$

$$\boxed{1\,eV = 1'6 \cdot 10^{-19} J}$$

$$E_c = 3'2 \cdot 10^{-19}\,\cancel{J} \cdot \frac{1\,eV}{1'6 \cdot 10^{-19}\,\cancel{J}} = 2\,eV$$

21.- Dos conductores fijos, rectilíneos y paralelos de gran longitud A y C distan entre si 10 cm. Por el conductor A circula una corriente de 10 A y por el conductor C una corriente de 15 A en el mismo sentido (hacia arriba) que la anterior. Hallar la inducción magnética en los siguientes puntos:

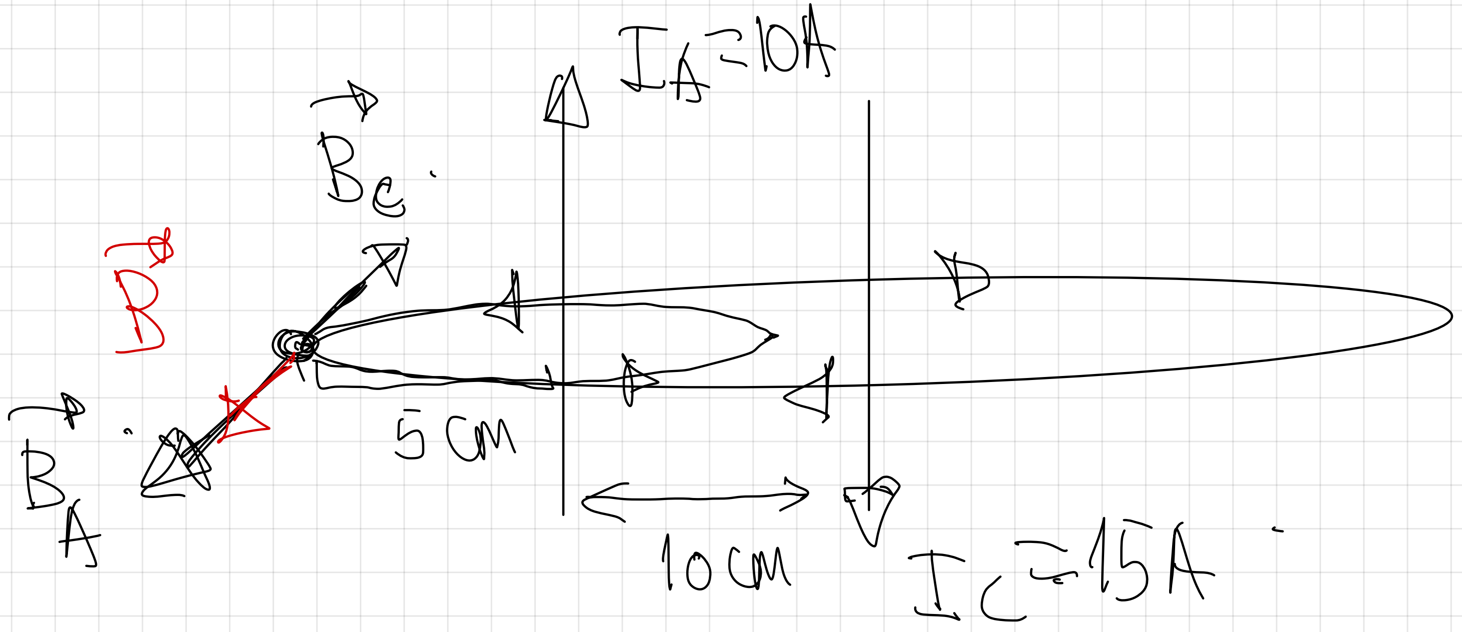
a) En P_1, situado a 5 cm de A y 15 cm de C

b) En P_2 equidistante de los dos conductores

c) En P_3 a 15 cm de A y a 5 cm de C

d) Repetir los apartados a), b) y c) suponiendo que circulase la misma intensidad de corriente por el conductor C, pero de sentido contrario

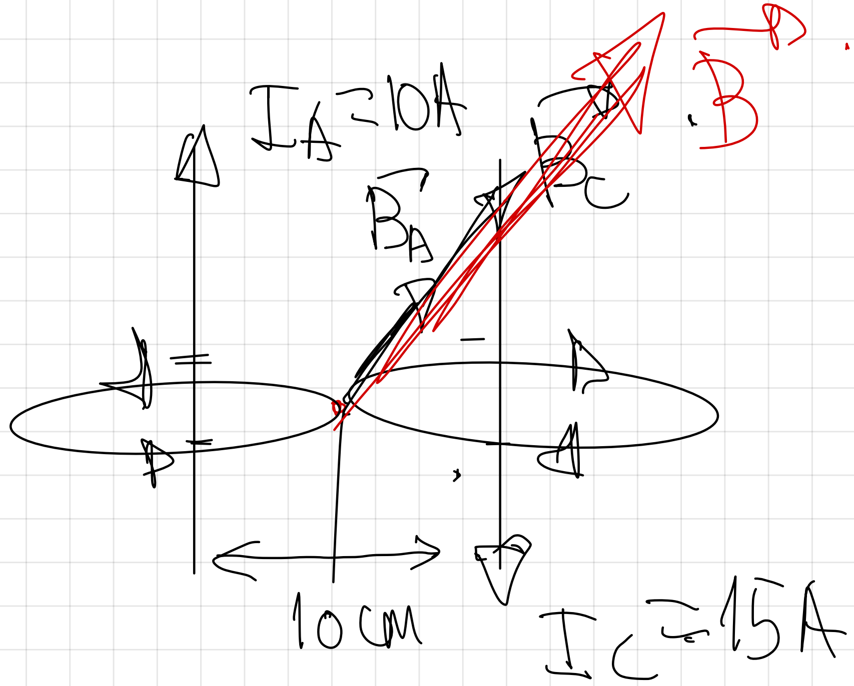
Dato: $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\ T\cdot m\cdot A^{-1}$



$$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi d} = \frac{4\cancel{\pi}\cdot 10^{-7}\cdot 10}{2\cancel{\pi}\cdot 0{,}05} = 4\cdot 10^{-5}\,T \qquad \vec{B}_A = 4\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\ (T)$$

$$B_C = \frac{\mu_0 \cdot I_C}{2\pi d'} = \frac{4\cancel{\pi}\cdot 10^{-7}\cdot 15}{2\cancel{\pi}\cdot 0{,}15} = 2\cdot 10^{-5}\,T \qquad \vec{B}_D = -2\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\ (T)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_C = 4\cdot 10^{-5}\,\vec{k} - 2\cdot 10^{-5}\,\vec{k} = 2\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\ (T)$$



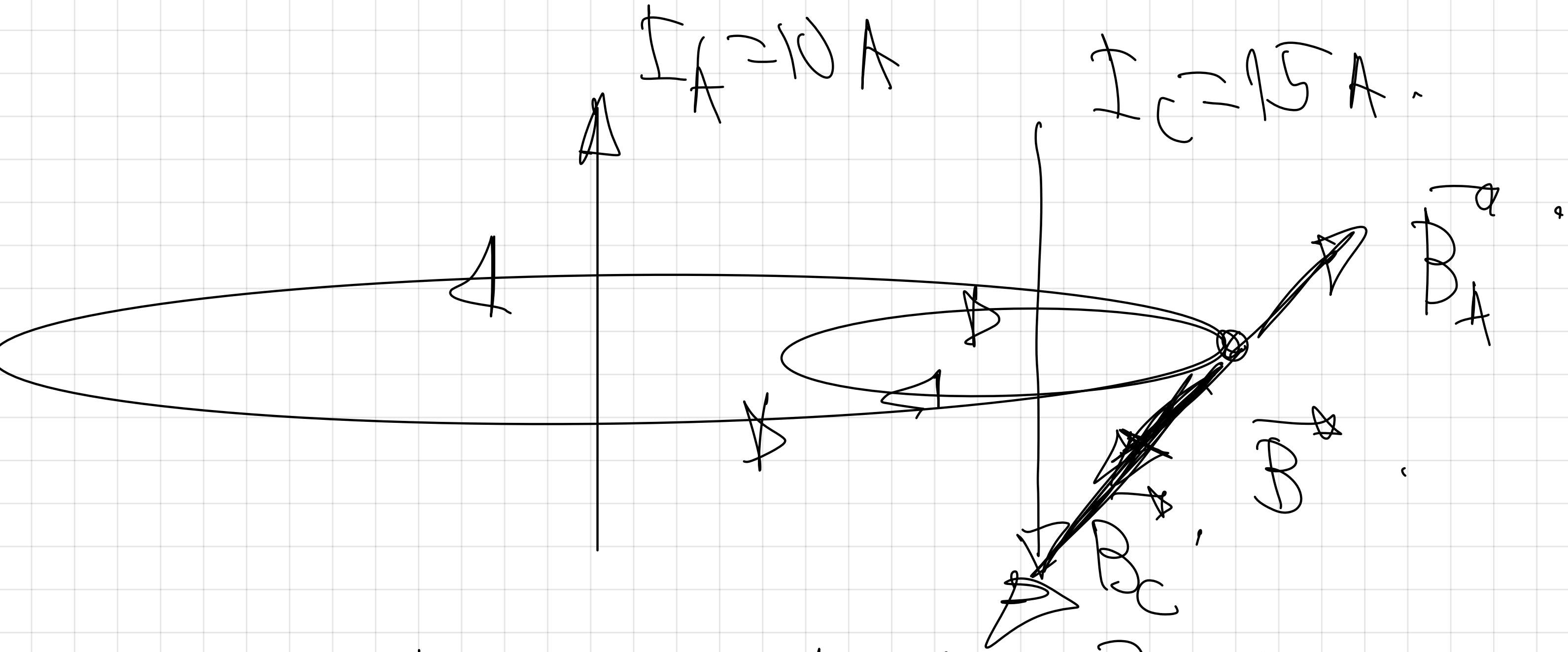
$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_C$$

$$\vec{B} = -10 \cdot 10^{-5}\, \vec{k}\ (T)$$

$$\vec{B} = -10^{-4}\, \vec{k}\ (T)$$

$$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\pi \cdot 0'05} = 4 \cdot 10^{-5}\, T$$

$$B_B = \frac{\mu_0 I_C}{2\pi \cdot d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\pi \cdot 0'05} = 6 \cdot 10^{-5}\, T$$



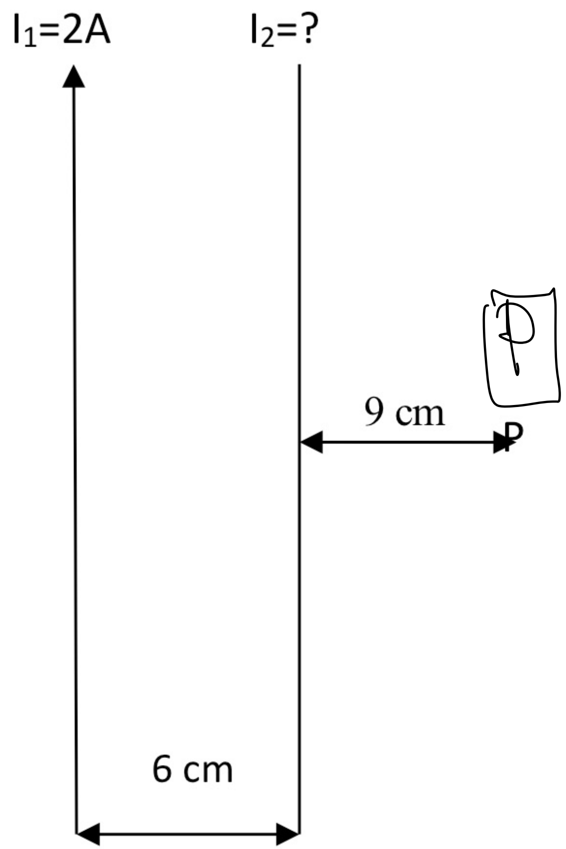
$$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi \cdot d} = \frac{4\cancel{\pi} \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\cancel{\pi} \cdot 0'15} = 1'33 \cdot 10^{-5}\,T$$

$$B_C = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi d'} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 15}{2\pi \cdot 0'05} = 6 \cdot 10^{-5}\,T$$

$$\vec{B}^* = \vec{B}_A + \vec{B}_C$$

$$\vec{B}^* = -1'33 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,(T) + 6 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,(T) = 4'7 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,(T)$$

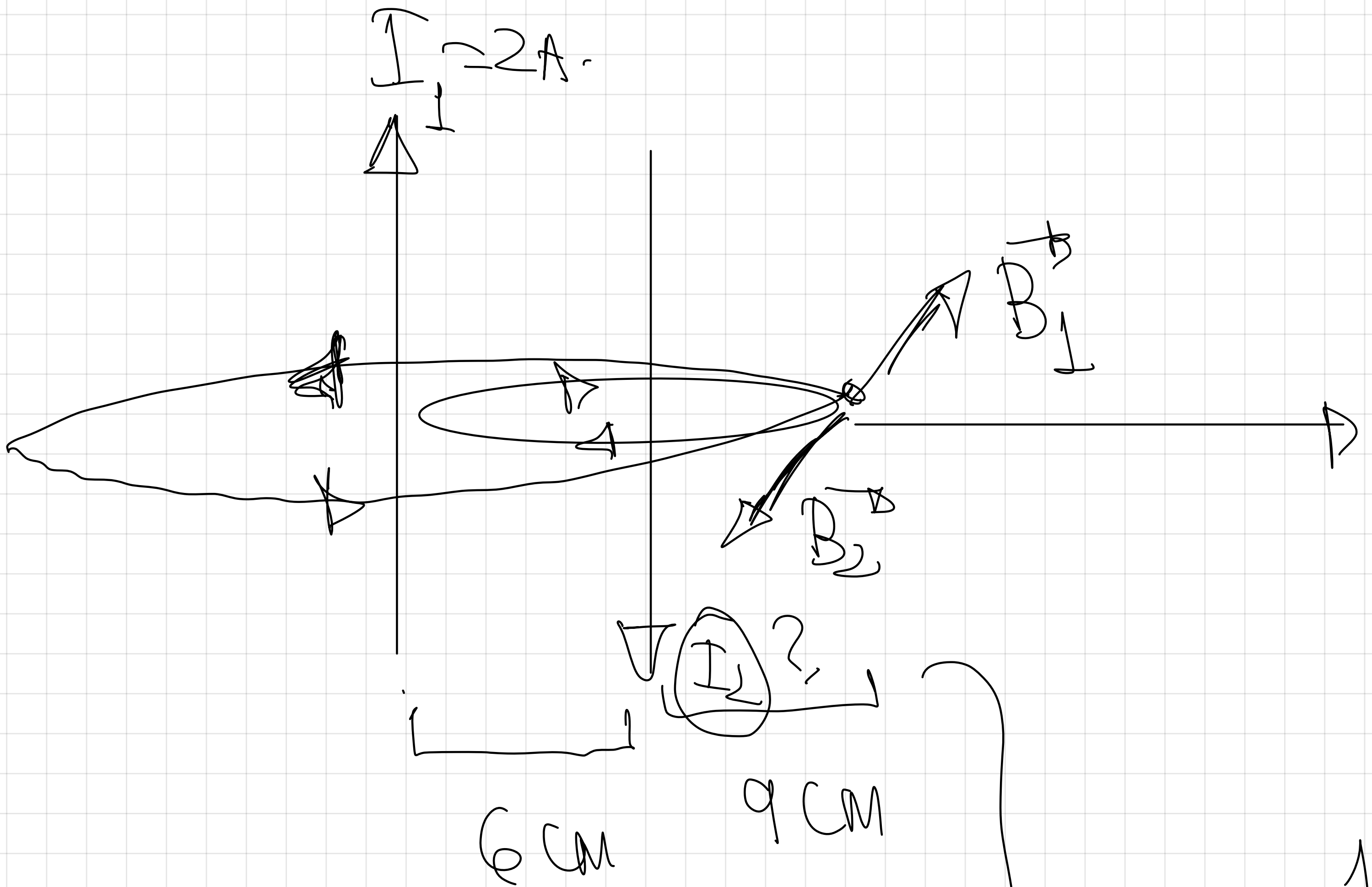
23



Por los dos largos hilos rectilíneos y paralelos de la figura, separados 6 cm, circulan sendas corrientes, cuyas intensidades respectivas son I_1 e I_2. Si I_1=2A en el sentido indicado, calcula el valor de I_2 y el sentido de la misma para que el campo magnético en P sea nulo.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T·m·A^{-1}

Por el cable conductor rectilíneo e indefinido de la



$$|\vec{B}_1| = |\vec{B}_2| \; ?$$

$$\frac{\cancel{\mu_0} I_1}{\cancel{2\pi} d} = \frac{\cancel{\mu_0} I_2}{\cancel{2\pi} d'}$$

d: 15 cm = 0'15 m

d': 9 cm = 0'09 m

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{d'}{d} = 2 \cdot \frac{0'09}{0'15} = 1'2\ A.$$

↳ y en el sentido indicado

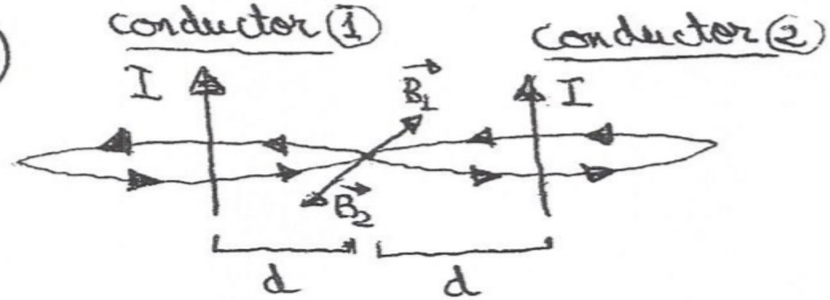
22.- Por dos conductores rectilíneos e indefinidos, dispuestos paralelamente, circulan corrientes eléctricas de la misma intensidad y sentido

a) Dibuje un esquema, indicando la dirección y el sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio de un segmento que una a los dos conductores

b)¿Cómo cambiaría la situación al duplicar una de las intensidades?

(22)

a)



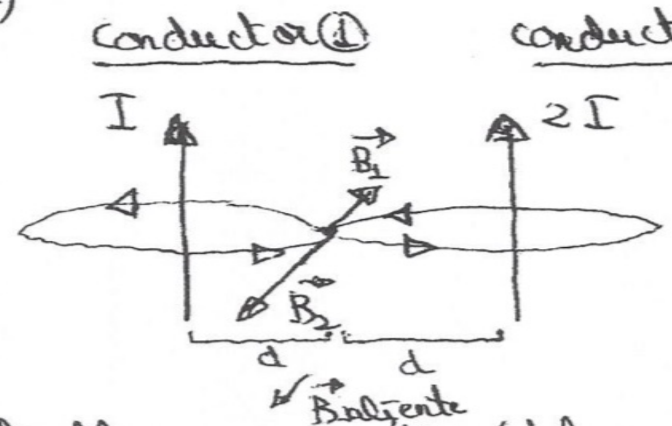
B = 0

Si la I es la misma

$$|\vec{B}_1| = |\vec{B}_2| = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d}$$

B = 0 ⇒ Ya que se trata de dos vectores con el mismo módulo, la misma dirección y sentido contrario

b)



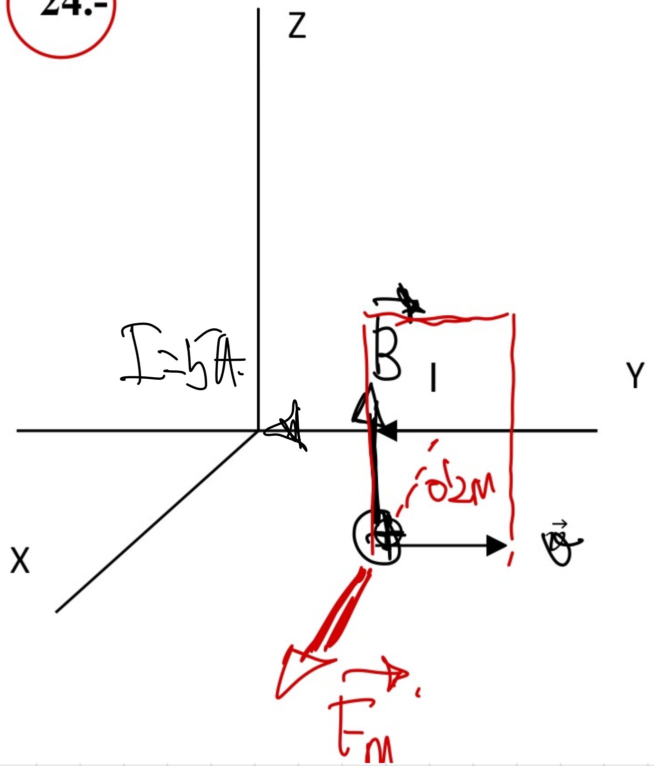
Al duplicar una de las intensidades no cambiaría ni la dirección ni el sentido de $\vec{B}_1$ y $\vec{B}_2$, aunque sí variaría el módulo de $\vec{B}_2$, que se duplicaría, y por ello el campo resultante no sería nulo, sino que valdría:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d} \qquad B_2 = \frac{\mu_0 2 I}{2\pi d}$$

El módulo del campo magnético total es el del campo creado por el conductor que no duplica su I, su sentido depende de cuál de los dos conductores duplique su I

$$B = B_2 - B_1 = \frac{\mu_0 2I}{2\pi d} - \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d}$$

24.-



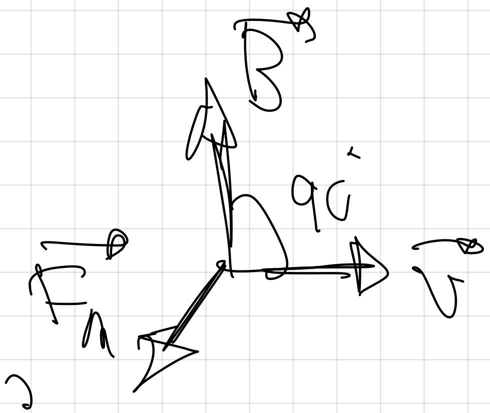
Por el cable conductor rectilíneo e indefinido de la figura circula una intensidad de corriente de 5A en el sentido indicado. Un protón se desplaza paralelamente al cable y en sentido contrario a la corriente, a una distancia de 0,2 m con una velocidad de 10^5 m·s^{-1}. Dibujar y calcular la fuerza que actúa sobre el protón cuando pasa por ese punto. Hacer lo mismo suponiendo que se tratase de un electrón.

e= $1{,}6\cdot 10^{-19}$C $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ T·m·A^{-1}

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi\cdot 10^{-7}\cdot 5}{2\pi\cdot 0{,}2} = 5\cdot 10^{-6}\ T.$$

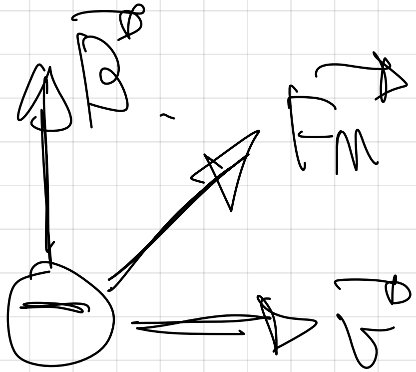
ley de Lorentz.

$$F_M = q\cdot v\cdot B\cdot \text{sen}\,\alpha.$$



$$F_M = 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^5\cdot 5\cdot 10^{-6}\cdot \text{sen}\,90°$$

$F_m = 8 \cdot 10^{-20}\ N$. y repulsiva del conductor.

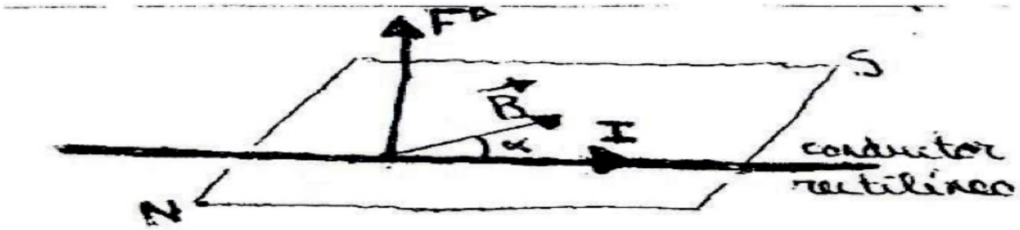


$F_m = 8 \cdot 10^{-20} N$ y atractiva hacia el conductor.

Pag 80.

5.- FUERZA EJERCIDA POR UN CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UNA CORRIENTE RECTILÍNEA

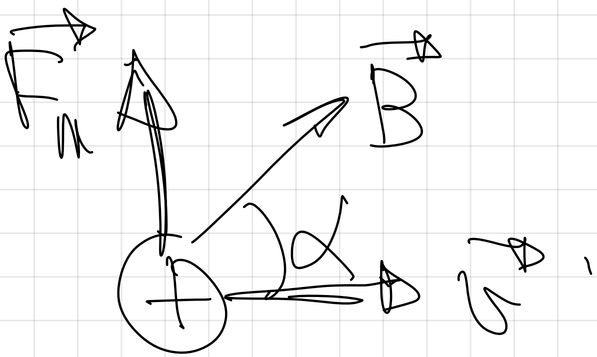
Una corriente eléctrica consiste en un flujo de cargas con una velocidad común de desplazamiento a través del conductor. Por consiguiente, cuando el conductor se encuentra sometido a un campo magnético, cada una de las cargas que se mueven experimentará una fuerza magnética. La resultante de todas estas fuerzas será la fuerza que actúa sobre el conductor, cuyo valor viene dado por la expresión:



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

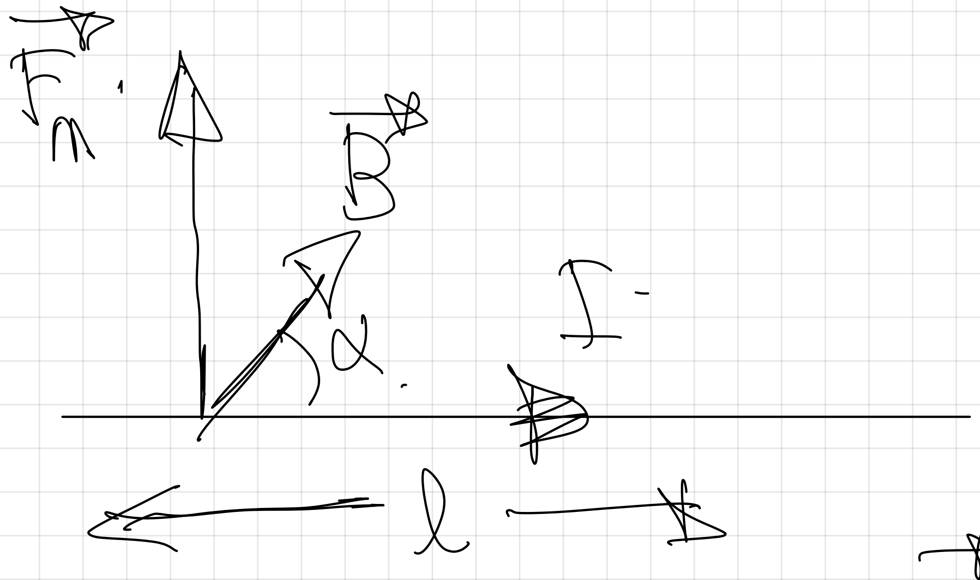
Las características de esta fuerza son las siguientes:

a) Módulo: $F = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sen}\ \alpha$



$$\vec{F_m} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\ \alpha$$



$$\vec{F} = I\,(\vec{l} \times \vec{B})$$

$F_m \Rightarrow$ N en (S.I)

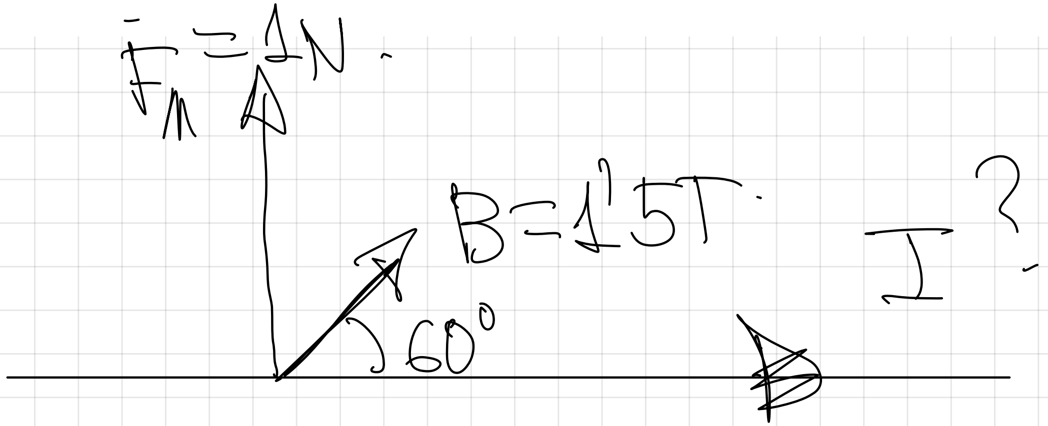
$I \Rightarrow$ A en S.I

$l \Rightarrow$ longitud del conductor (m)

$$F_m = I \cdot l \cdot B \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

$\alpha \Rightarrow$ ángulo formado por el conductor y el campo.

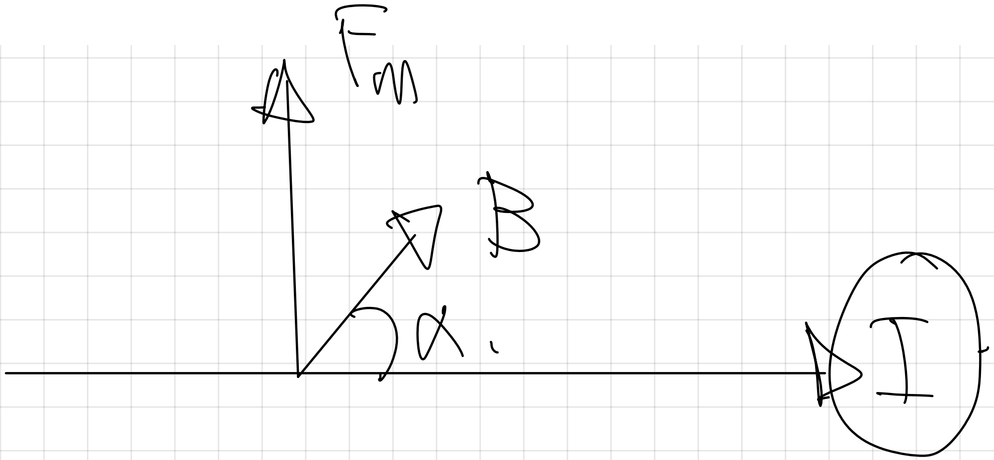
**19.- ** Un conductor rectilíneo de 20 cm de longitud está situado en el interior de un campo magnético uniforme de 1,5 T, formando un ángulo de 60º con sus direcciones. Si sobre el conductor actúa una fuerza de 1N, ¿Qué intensidad de corriente circula sobre el mismo?

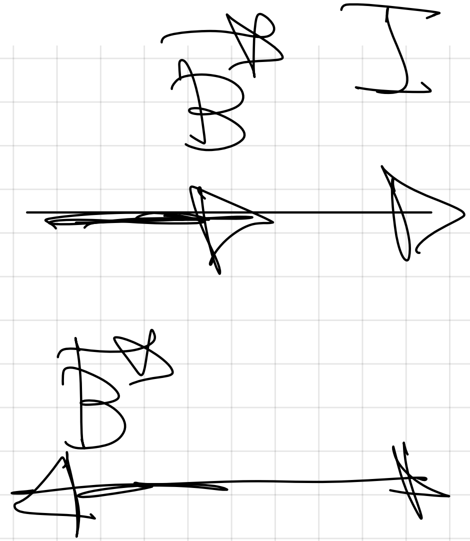


$$F_m = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sen}\, 60°$$

$$I = \frac{F_m}{l \cdot B \cdot \text{sen}\, 60°} = \frac{1N}{0'2m \cdot 1'5T \cdot \sqrt{3}/2} = \boxed{3'85A}$$

20.- Un conductor rectilíneo de longitud l por el que circula una intensidad de corriente I está sometido a la acción de un campo magnético uniforme B, experimentando una fuerza F. ¿Cómo se vería afectada dicha fuerza si sobre el mismo conductor circulase una intensidad mitad que la anterior?, ¿y si el campo magnético fuese paralelo al conductor?





$$F_m = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sen}\, \alpha$$

$$F'_m = \frac{I}{2} \cdot l \cdot B \cdot \text{sen}\, \alpha$$

$$F'_m = \frac{1}{2} F_m$$

$$F_m = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sen}_{180}^{0°}$$

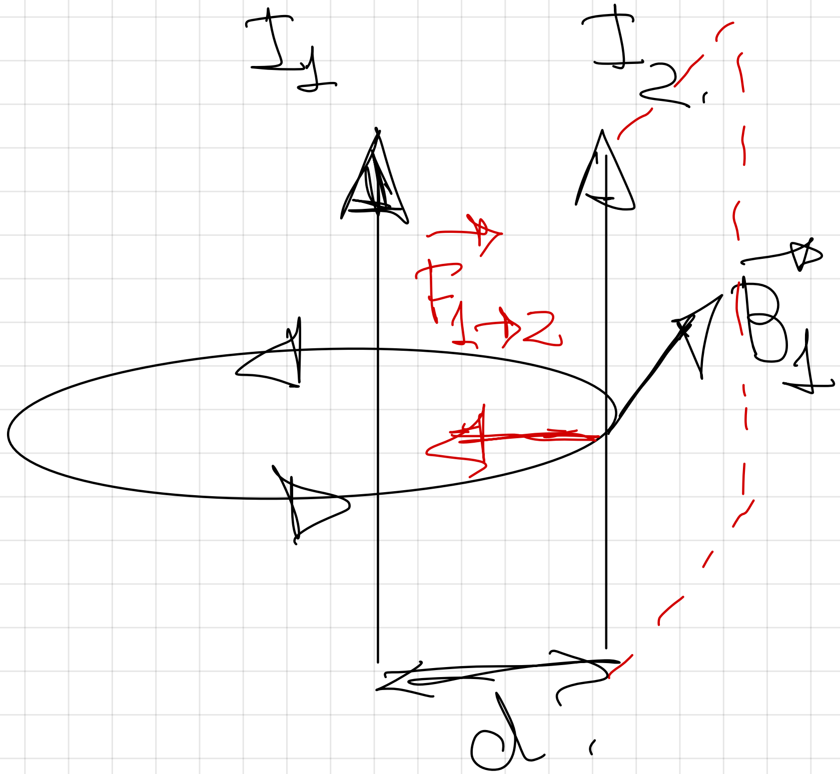
$$F_m = 0$$

no existe

fuerza magnética.

4.- FUERZA MAGNÉTICA ENTRE DOS CORRIENTES RECTILÍNEAS Y PARALELAS

$\boxed{\text{pag 83}}$



$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi d}.$$

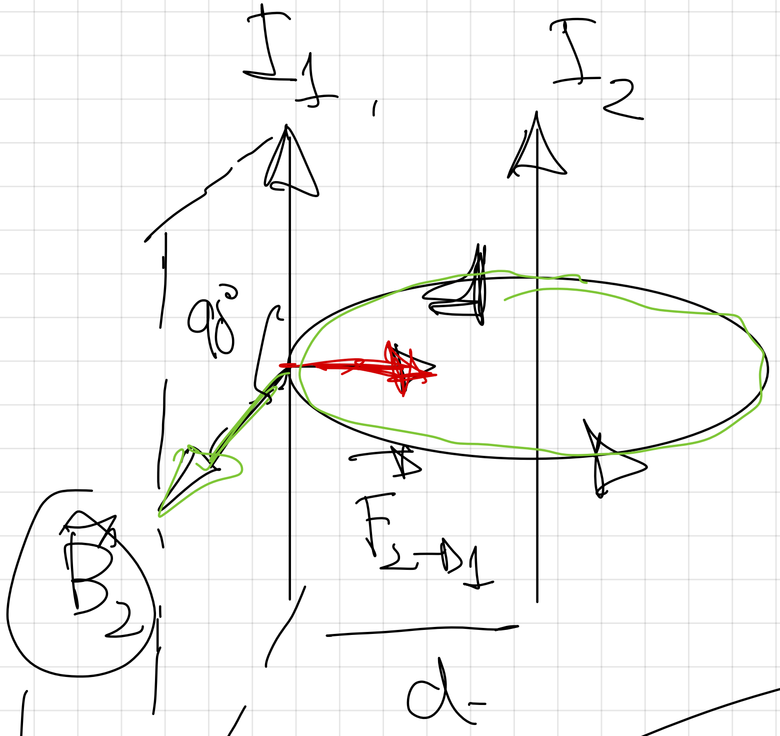
$$F_{1\to 2} = I_2 \cdot l \cdot B_1 \cdot \operatorname{sen} 90°.$$

$$F_{1\to 2} = I_2 \cdot l \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \cdot \cancel{\operatorname{sen} 90°}^{1}.$$

$$F_{1\to 2} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2\pi d}.$$

$$\frac{F_{1\to 2}}{l} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2}{2\pi d}.$$

$$\frac{N}{m}. \quad \checkmark$$



$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$F_{2\to1} = I_1 \cdot l \cdot B_2 \cdot \overset{1}{\cancel{\text{sen}\,90^\circ}}$$

$$F_{2\to1} = I_1 \cdot l \cdot \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

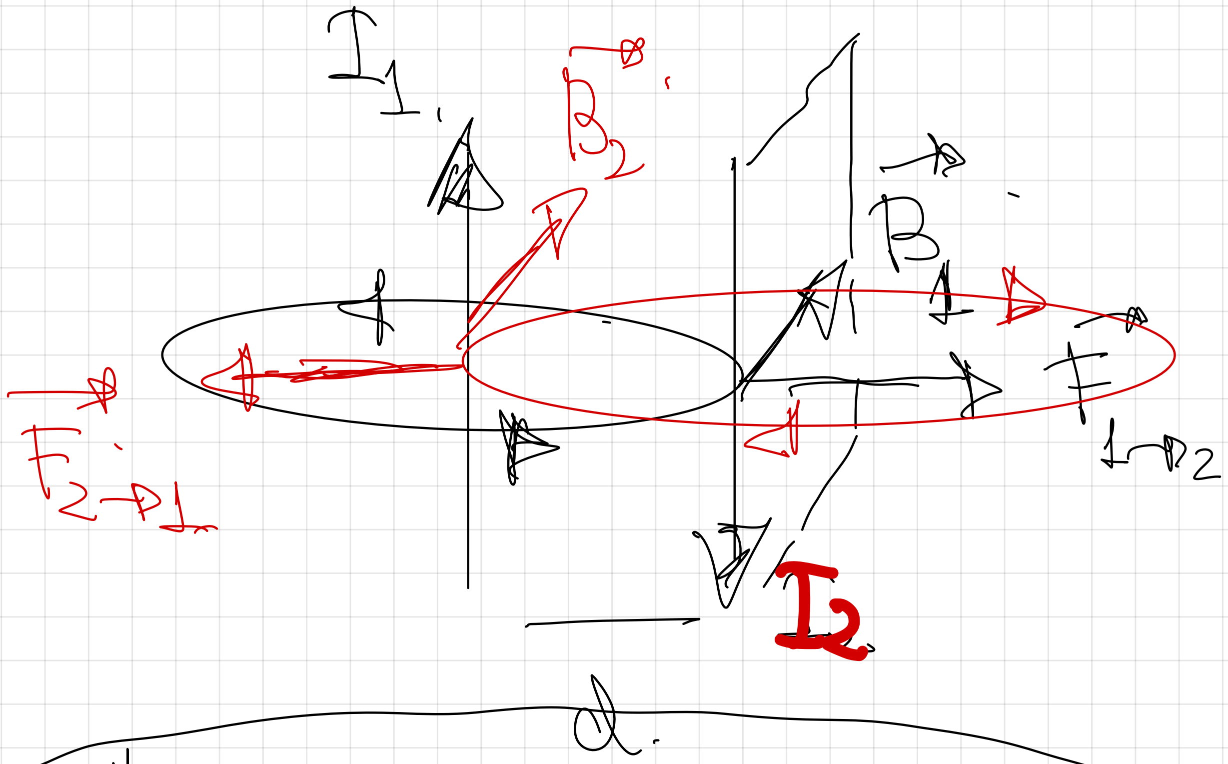
$$F_{2\to1} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2 \, l}{2\pi d}$$

$$\frac{N}{m}$$

$$\boxed{\frac{F_{2\to 1}}{l}} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}.$$

$$\cancel{\vec{F}_{1\to 2} = \vec{F}_{2\to 1}}$$

$$|\vec{F}_{1\to 2}| = |\vec{F}_{2\to 1}| = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

$$F_{1\to 2} = I_2 \cdot B_1 \cdot l \cdot \operatorname{sen} 90°$$

$$F_{1\to 2} = I_2 \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \cdot l$$

$$F_{1\to 2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$$

$$|\vec{F}_{1\to 2}| = |\vec{F}_{2\to 1}| \qquad F/l = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{F}{l} = \frac{\overset{4\pi\cdot 10^{-7}}{\cancel{\mu_0}}\ \overset{1A}{\cancel{I_1}}\ \overset{1A}{\cancel{I_2}}}{2\pi \underset{1m}{\cancel{d}}} = \boxed{2\cdot 10^{-7}\,\frac{N}{m}}$$

Definició de internacional de amperi

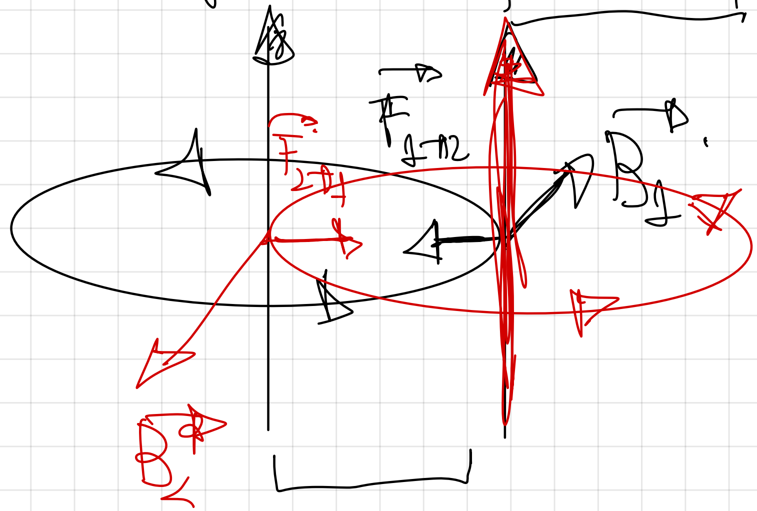
28.- Dos conductores rectilíneos paralelos y de gran longitud, están separados en el aire 10 cm y están recorridos por corrientes de 6 A y de 4 A. Calcula la fuerza por unidad de longitud que actúa sobre cada conductor:

a) Si las corrientes tienen el mismo sentido

b) Si las corrientes tienen sentido contrario

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T \cdot m \cdot A^{-1}$

a) $I_1 = 6\,A.$ $\boxed{I_2 = 4\,A.}$



$d = 10\,cm$

$d = 0'1\,m$

$$|\vec{F}_{1\to 2}| = |\vec{F}_{2\to 1}|$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

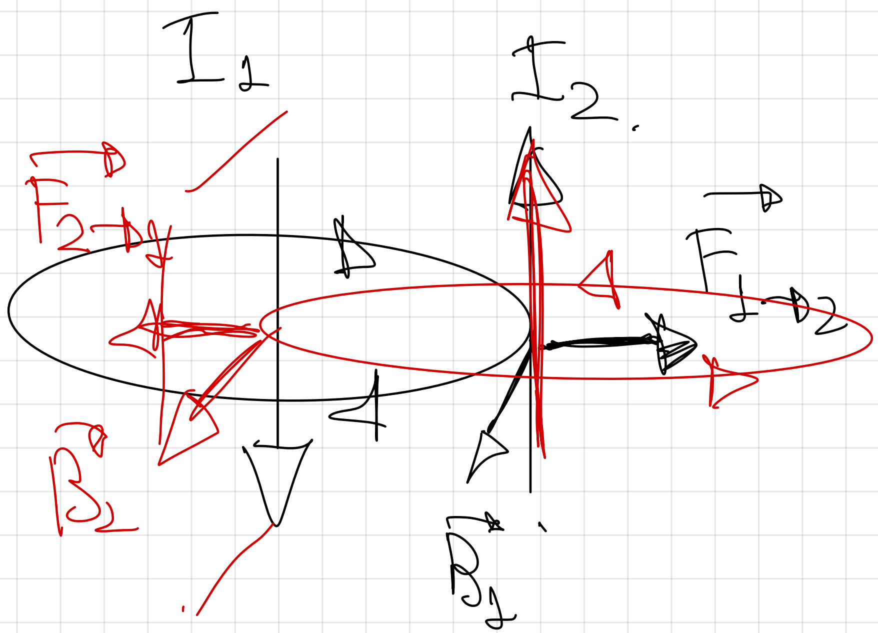
$$F_{1\to 2} = I_2 \cdot l \cdot B_1 \cdot \cancel{\operatorname{sen} 90^\circ}^{\,1}$$

$$F_{1\to 2} = I_2 \cdot l \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

$$F_{1\to 2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \cdot l}{2\pi d}$$

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} = \frac{4\cancel{\pi}\cdot 10^{-7}\, 6\cdot 4}{2\cancel{\pi}\, 0{,}1}$$

$$\frac{F}{l} = 4'8\cdot 10^{-5}\ \frac{N}{m}$$ de atracción.



$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2}{2\pi d}$$

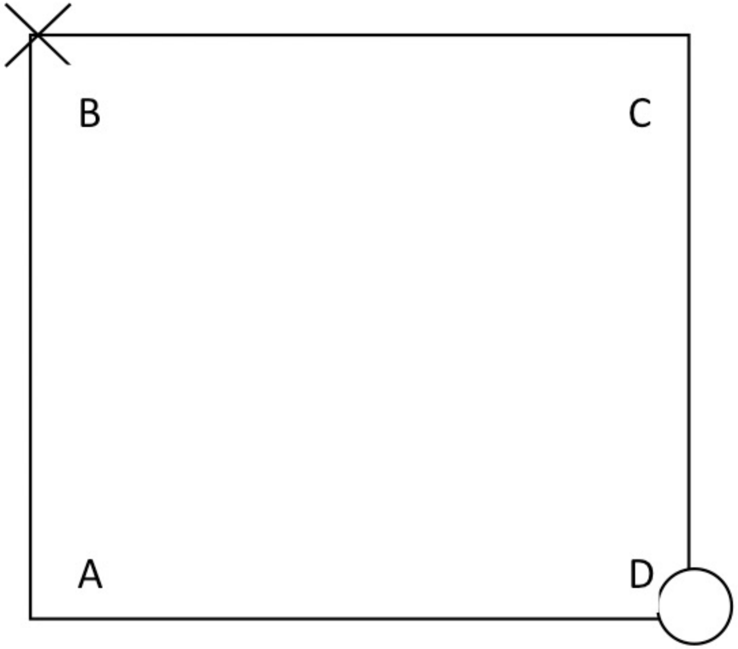
$$\frac{F}{l} = 4'8\cdot 10^{-5}\ \frac{N}{m}$$ de repulsión

30.- Dos hilos metálicos largos y paralelos, por los que circulan corrientes de 3 A y 4 A, pasan por los vértices B y D de un cuadrado de 2 m de lado, situado en un plano perpendicular, como ilustra la figura. El sentido de las corrientes se indica por los símbolos x=entra en el papel o=sale del papel

a) Dibuje un esquema en el que figuren las interacciones mutuas y el campo magnético resultante en el vértice A

b) Calcule los valores numéricos del campo magnético en A y de la fuerza por unidad de longitud ejercida sobre uno de los hilos.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T \cdot m \cdot A^{-1}$

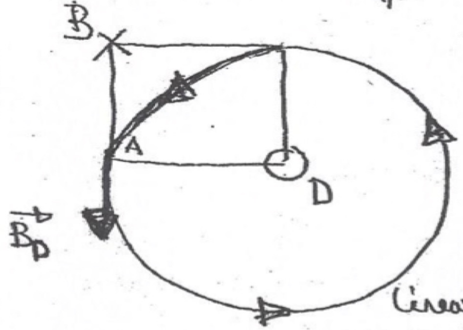


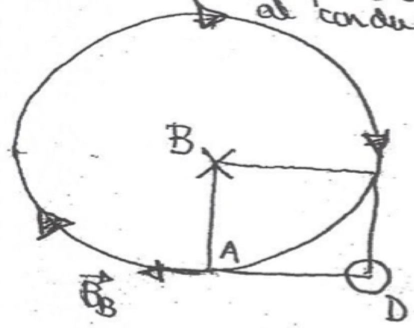
30

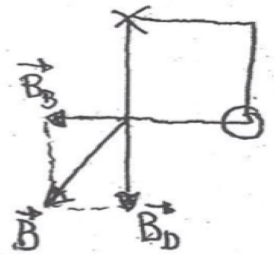
a) $\vec{B}$ es tangente en cada punto a las líneas de campo.

Las líneas de campo van en un plano perpendicular al conductor.

Campo magnético resultante en el vértice A







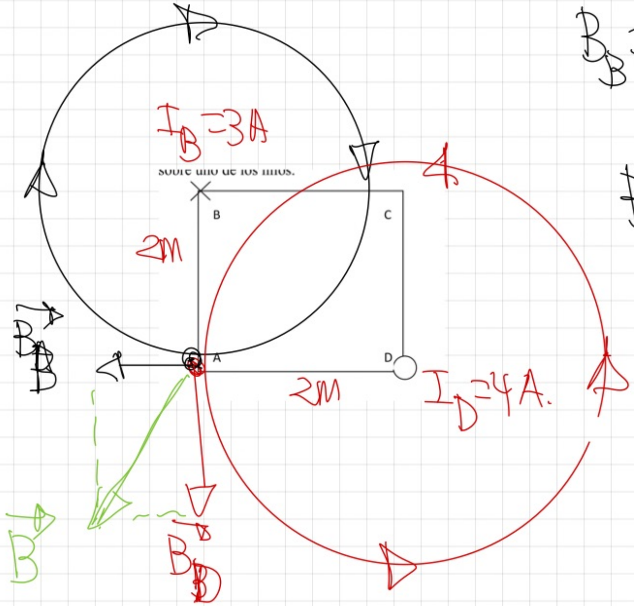
Líneas de campo magnético creadas por un conductor.

$$B_D = \frac{\mu_0 I_D}{2\pi d}$$

$$B_D = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4}{2\pi \cdot 2}$$

$$B_D = 4 \cdot 10^{-7}\ T$$

$$\vec{B}_D = -4 \cdot 10^{-7}\ \vec{j}\ (T)$$



$$B_B = \frac{\mu_0 I_B}{2\pi d}$$

$$B_B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3}{2\pi 2}$$

$$B_B = 3 \cdot 10^{-7}\ T$$

$$\vec{B}_B = -3 \cdot 10^{-7}\ \vec{i}\ (T)$$

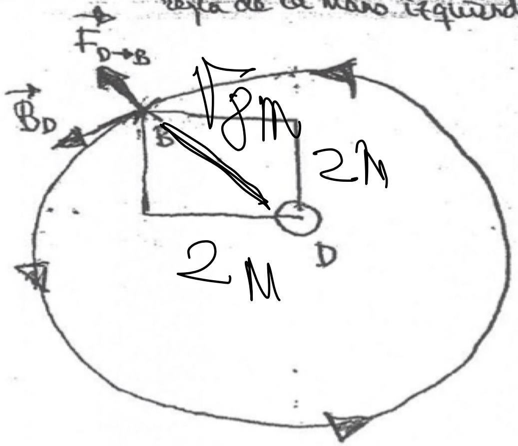
$$\vec{B} = \vec{B}_B + \vec{B}_D = -3 \cdot 10^{-7}\ \vec{i} - 4 \cdot 10^{-7}\ \vec{j}\ (T)$$

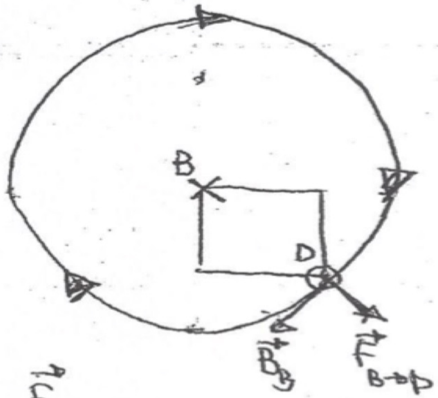
$$|\vec{B}| = \sqrt{x^2 + y^2} = 5 \cdot 10^{-7}\ T.$$

por un conductor.

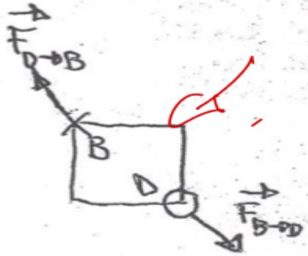
$\vec{F}_{D\to B}$ es perpendicular al plano formado por $\vec{B}_D$ y el conductor (sentido: regla de la mano izquierda)

Interacciones mutuas





$\vec{F}_{B\to D}$ es perpendicular al plano formado por $\vec{B}_B$ y el conductor (sentido: regla de la mano izquierda)



Dos conductores por los que circulan intensidades de corriente en sentido contrario se repelen

b)

$$F = \frac{\mu_0 \cdot I_B \cdot I_D \cdot l}{2\pi d}$$

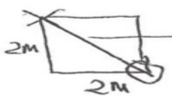
$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_B \cdot I_D}{2\pi d} = 8'5 \cdot 10^{-7}\ \frac{N}{m} \text{ (de repulsión)}$$

$d \to \sqrt{8}$ M

$$F_{B\to D} = F_{D\to B} = \frac{\mu_0 \cdot I_B \cdot I_D \cdot l}{2\pi d}$$

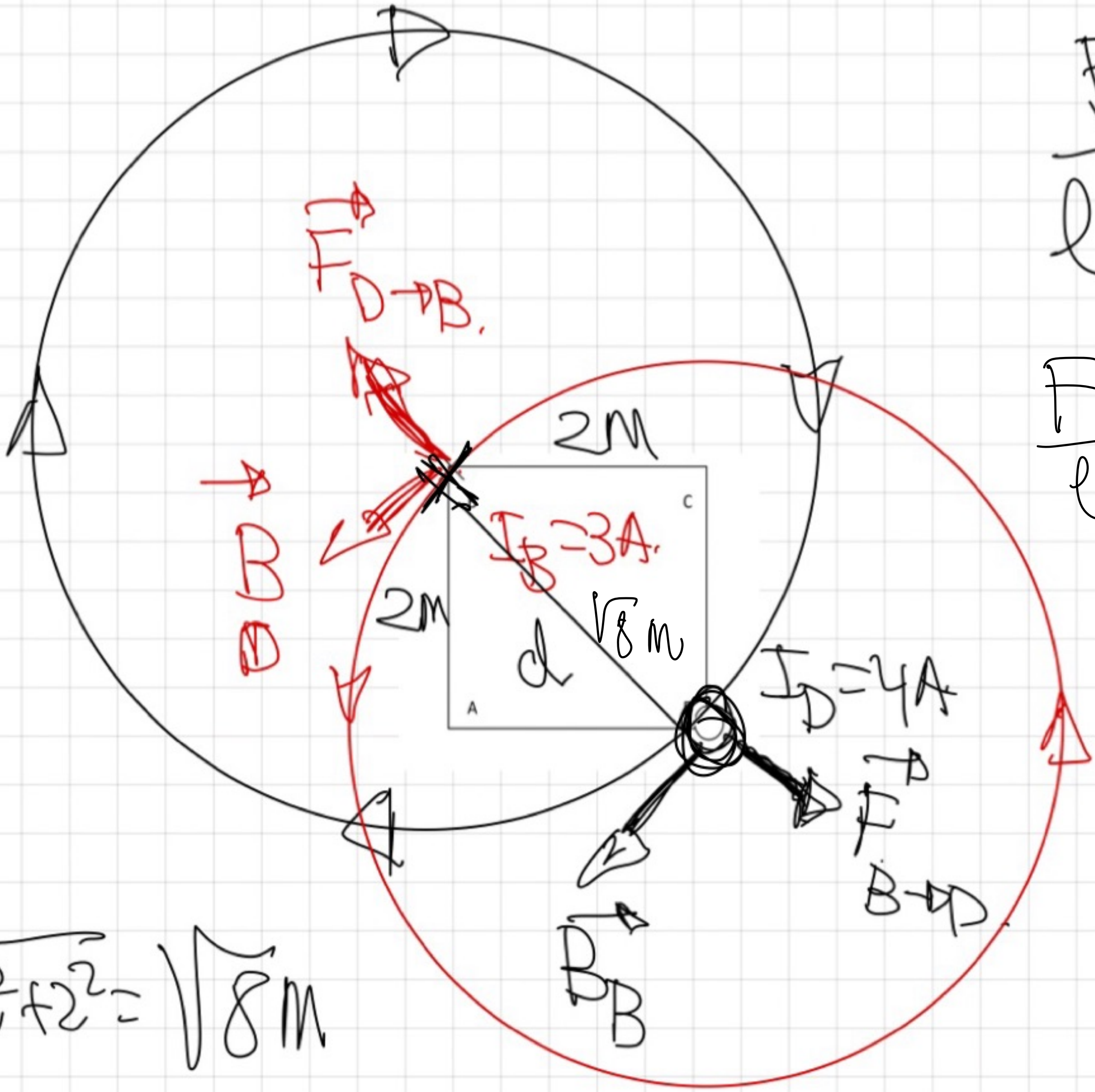
$$\frac{F}{l} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 4}{2\pi \cdot \sqrt{8}}$$

$$\frac{F}{l} = 8'5 \cdot 10^{-7}\ \frac{N}{m}$$



$\boxed{d = \sqrt{2^2+2^2} = \sqrt{8}\ M}$

30



$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_B \cdot I_D}{2\pi d}$$

$$\frac{F}{l} = \frac{4\pi\cdot 10^{-7}\cdot 3\cdot 4}{2\pi\sqrt{8}}$$

$$\frac{F}{l} = 8{,}5\cdot 10^{-7}\,\frac{N}{m}$$

de repulsión

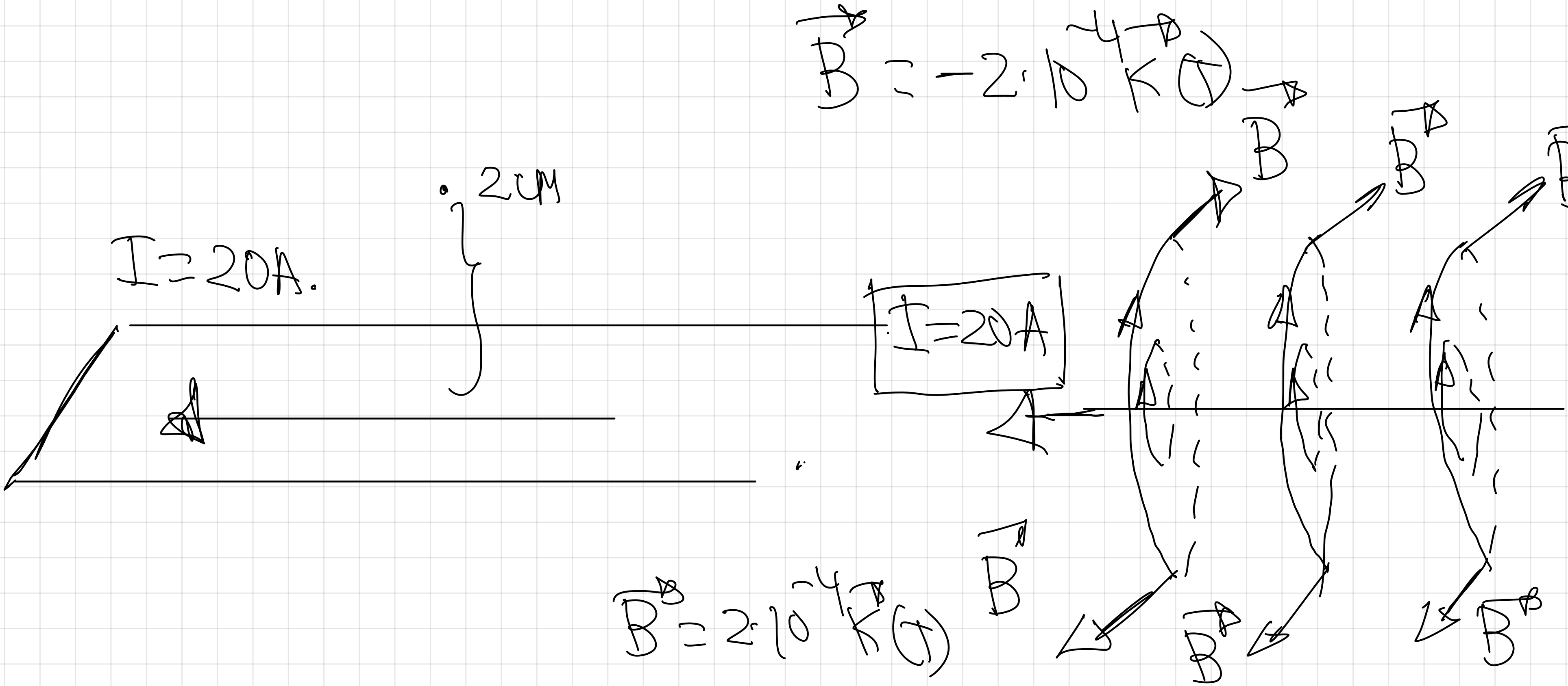
$$d = \sqrt{2^2+2^2} = \sqrt{8}\,m$$

31.- Por un conductor rectilíneo indefinido, apoyado sobre el plano horizontal, circula una corriente de 20 A

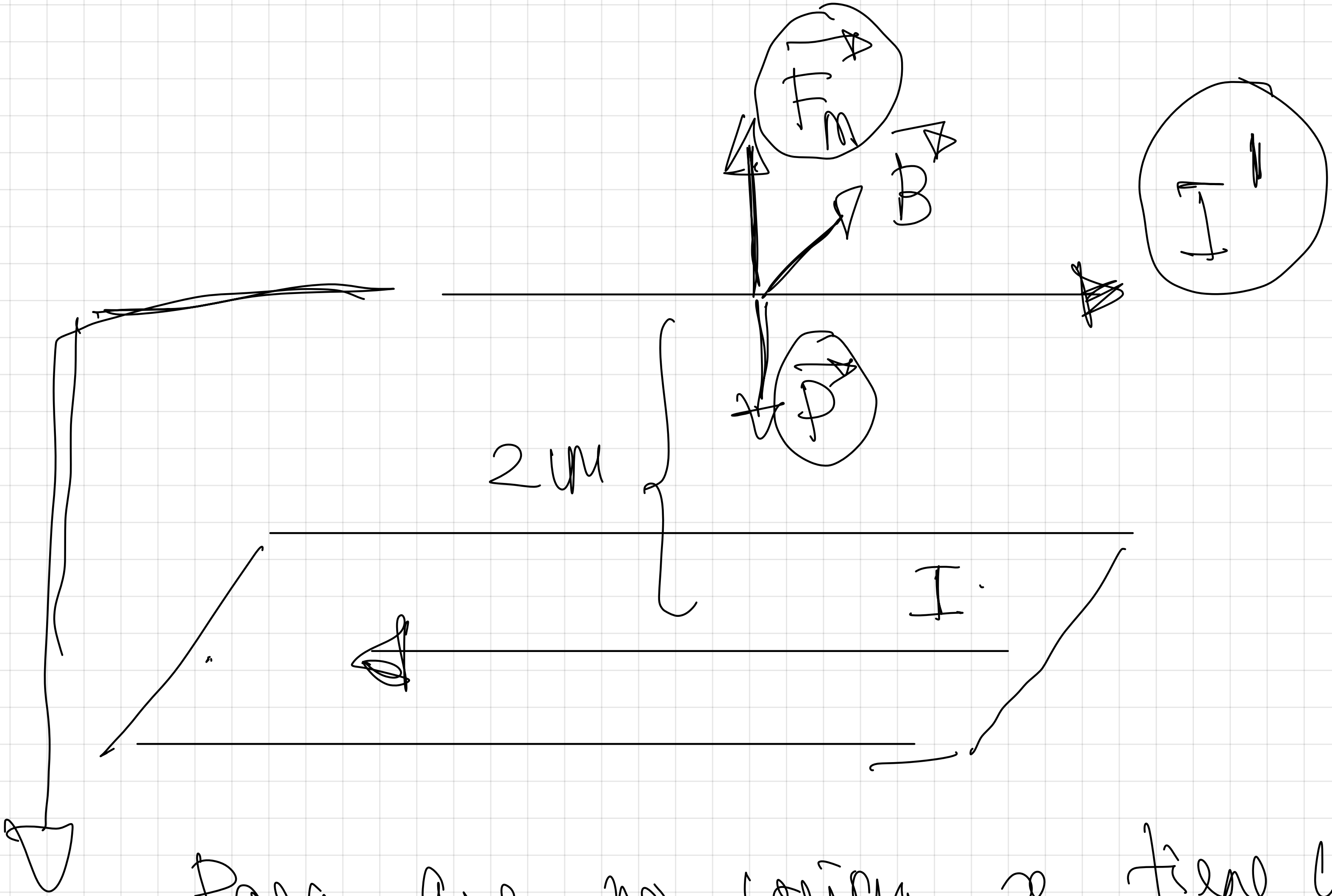
a) Dibuje las líneas del campo magnético producido por la corriente y calcule el valor de dicho campo en un punto situado en la vertical del conductor y a 2 cm de él.

b) ¿Qué corriente tendría que circular por un conductor, paralelo al anterior y situado a 2 cm de él para que no cayera, si la masa por unidad de longitud de dicho conductor es de 0,1 Kg/m?

$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ T·m·A^{-1} $g = 10$ m·s^{-2}



$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20}{2\pi\, 0'02} = 2 \cdot 10^{-4}\, T$$



Para que no caiga se tiene que cumplir que:

$$|\vec{F}_m| = |\vec{P}|$$

$$I' \cdot l \cdot B \cdot \cancel{\operatorname{sen} 90^\circ} = m \cdot g$$

$B \to 2 \cdot 10^{-4}\, T$

$$I' = \boxed{\frac{m \cdot g}{l \cdot B}} = \frac{m/l \cdot g}{B} = \frac{0'1\, \frac{kg}{m} \cdot 10\, \frac{m}{s^2}}{2 \cdot 10^{-4}\, T}$$

$$\left| 0'1\, \frac{kg}{m} \right|$$

$I' = 5000$ A. en sentido contrario al anterior.

29.- Dos hilos metálicos largos y paralelos, por los que circulan corrientes de 10 A, pasan por dos vértices opuestos de un cuadrado de 1m de lado situado en un plano horizontal. Ambas corrientes discurren perpendicularmente a dicho plano y hacia arriba.

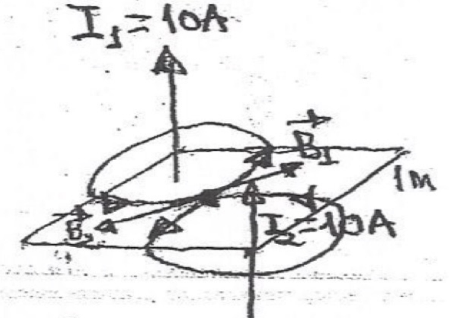
a) Dibuje un esquema en el que figuren las interacciones mutuas y el campo magnético resultante en el centro del cuadrado

b) Calcule los valores numéricos del campo magnético en el centro del cuadrado y de la fuerza por unidad de longitud ejercida sobre uno de los hilos.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T \cdot m \cdot A^{-1}$

(29)

a) Campo magnético en el centro del cuadrado:



Se observa que $\vec{B}_1$ y $\vec{B}_2$ son dos vectores con la misma dirección y sentido contrario, además poseen el mismo módulo:

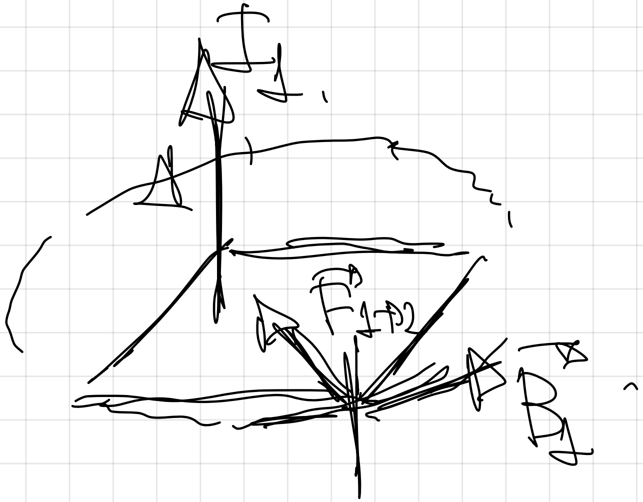
$$\left.\begin{array}{l} B_1 = \dfrac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi d} \\ B_2 = \dfrac{\mu_0\, I_2}{2\pi d'} \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} I_1 = I_2 = 10\ A \\ d = d' = \dfrac{\sqrt{2}}{2}\ m \end{array}\right\} \quad |\vec{B}_1| = |\vec{B}_2|$$

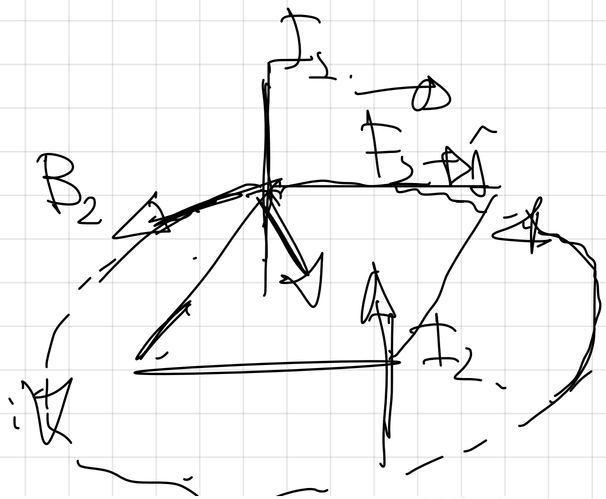
$\vec{B}$ es tangente en cada punto a las líneas de campo.

Las líneas de campo están en un plano perpendicular al conductor.

Luego el campo magnético resultante en el centro del cuadrado es nulo ($B = 0$)

Interacciones mutuas: dos conductores por los que circulan intensidades de corriente en el mismo sentido se atraen (Ver Tema 8, pregunta 4:)



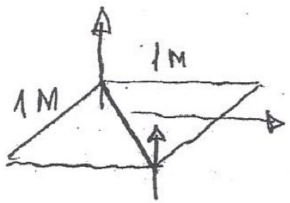


(24)

b) El campo magnético en el centro del cuadrado es nulo, según se vió en el apartado anterior ($B=0$)

Fuerza por unidad de longitud:

$$F_{1\to2} = F_{2\to1} = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2\pi d}.$$



$d = \sqrt{1^2+1^2} = \sqrt{2}\,m$

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{F}{l} = \frac{4\cancel{\pi}\cdot 10^{-7}\cdot 10\cdot 10}{2\cancel{\pi}\sqrt{2}}$$

$$\frac{F}{l} = 1'42 \cdot 10^{-5}\,\frac{N}{M}$$

Un haz de electrones con energía cinética de 10^4 eV, se mueve en un campo magnético perpendicular a su velocidad, describiendo una trayectoria circular de 25 cm de radio.

a) Con ayuda de un esquema, indique la trayectoria del haz de electrones y la dirección y sentido de la fuerza, la velocidad y el campo magnético. Calcule la intensidad del campo magnético.

b) Para ese mismo campo magnético explique, cualitativamente, cómo variarían la velocidad, la trayectoria de las partículas y su radio si, en lugar de electrones, se tratara de un haz de iones de Ca^{2+}. de la misma E_c

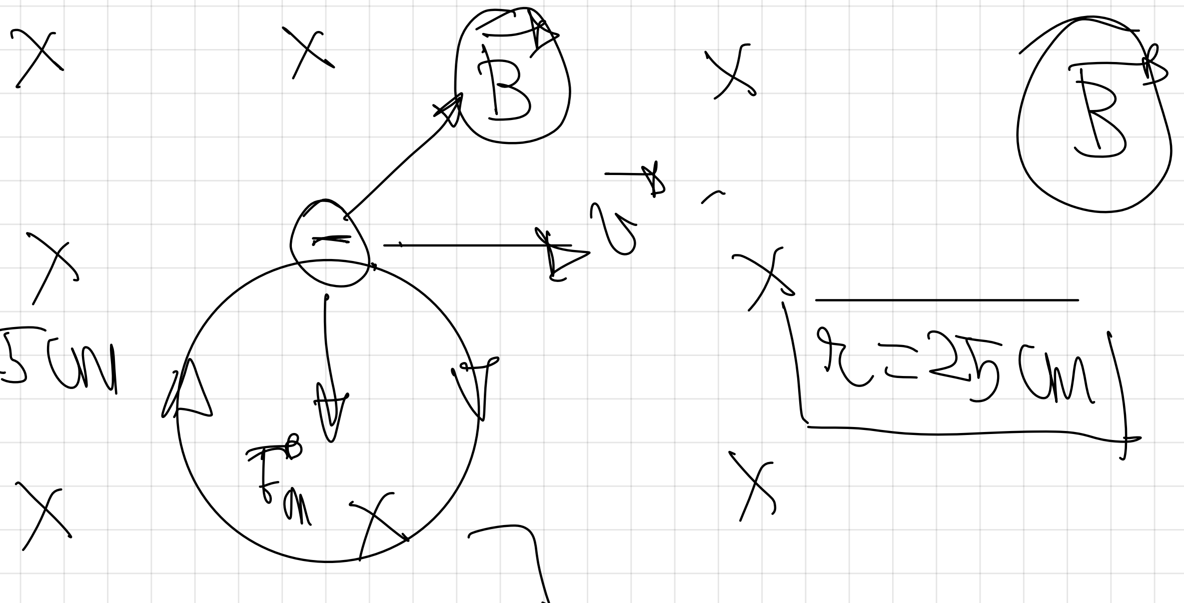
$e = 1'6\cdot 10^{-19}$ C ; $m_e = 9'1\cdot 10^{-31}$ kg

FISICA. 2016. RESERVA 3. EJERCICIO 3. OPCIÓN B

$E_c = 10^4 eV$

$E_c = 10^4 \cancel{eV} \cdot \frac{1'6\cdot 10^{-19} J}{1 \cancel{eV}} = \boxed{1'6\cdot 10^{-15} J}$

$r = 25 cm$
$\parallel$
$0'25 m$



$F_m = F_n$

$q \cdot \cancel{v} \cdot B \, \cancel{sen 90}^{1} = m \cdot \frac{v^2}{r}$

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

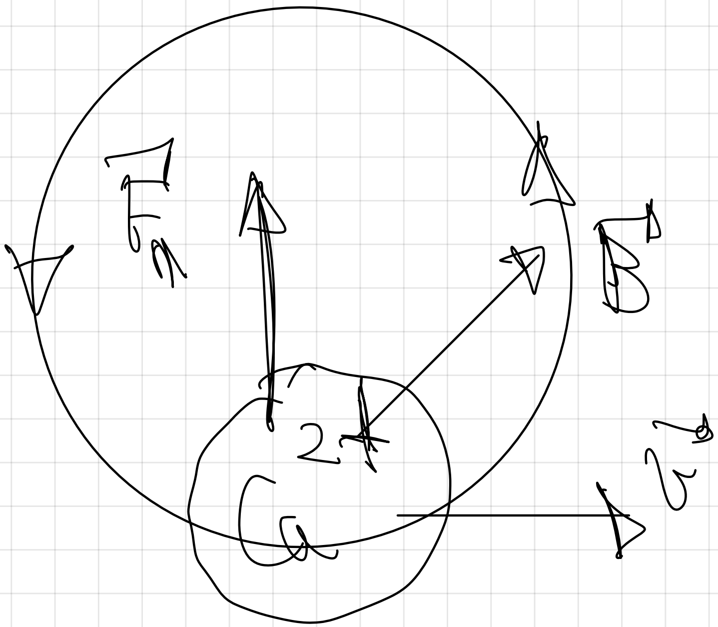
Sentido horario.

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

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$$

$$B = \frac{m \cdot v}{q \cdot r} \Rightarrow B = \frac{m \cdot \sqrt{\frac{2E_c}{m}}}{q \cdot r} = \frac{\sqrt{\frac{2E_c \cdot m^{\cancel{2}}}{\cancel{m}}}}{q \cdot r}$$

$$B = \frac{\sqrt{2E_c m}}{q \cdot r} = \frac{\sqrt{2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-15} \cdot 9'1 \cdot 10^{-31}}}{1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 0'25} = 0'0135\,T$$



Sentido antihorario.

Despejo r de esta expresión para comparar con los iones Ca^{2+} de igual E_c:

$$B = \frac{\sqrt{2E_c \cdot m}}{q \cdot r}$$

la misma

$$r = \frac{\sqrt{2E_c \cdot M}}{q \cdot B}$$

$$M_{Ca^{2+}} >>>>>>>> M_e$$

el mismo

$$|q_{Ca^{2+}}| = 2|q_e|$$

$$\boxed{r_{Ca^{2+}} > r_e}$$

$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$ mínima.

$m_{Ca^{2+}} >>>>>>> m_{e^-}$

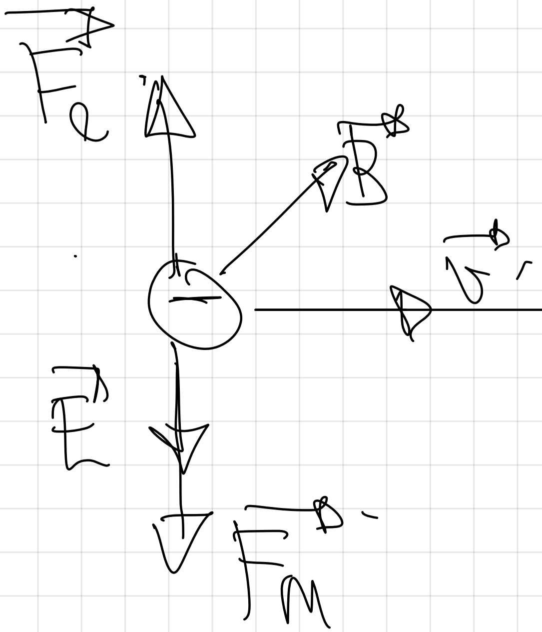
$v \downarrow$ $\longrightarrow$ $v \downarrow$

La velocidad no cambia en módulo pero los iones Ca^{2+} ~~pen~~ penetran con menor velocidad.

(19-R) a) Un electrón atraviesa en línea recta una región en la que coexisten un campo eléctrico y un campo magnético uniformes. Discuta la relación, ayudándose de esquemas, entre los vectores **v**, **B** y **E**, si: (i) El electrón mantiene fija su velocidad. (ii) El electrón sigue un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

b) Por el hilo A circula la corriente I_1= 10 A. i) Determine, razonadamente, el valor y sentido

$\vec{v}$ $\vec{B}$ $\vec{E}$



$$|\vec{F_m}| = |\vec{F_e}|$$

$$\cancel{q} v B \cdot \cancel{\operatorname{sen} 90°} = \cancel{q} E$$

$$E = v B$$

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

$\boxed{\text{MRU}}$

$\vec{E}$ uniforme.

$\vec{F_e}$

cte
$F_e = q \cdot E$

cte
$F_e = m \cdot a$.

2ª ley de Newton

cte
$F_{result} = m \cdot a$. $\boxed{MRUA}$,

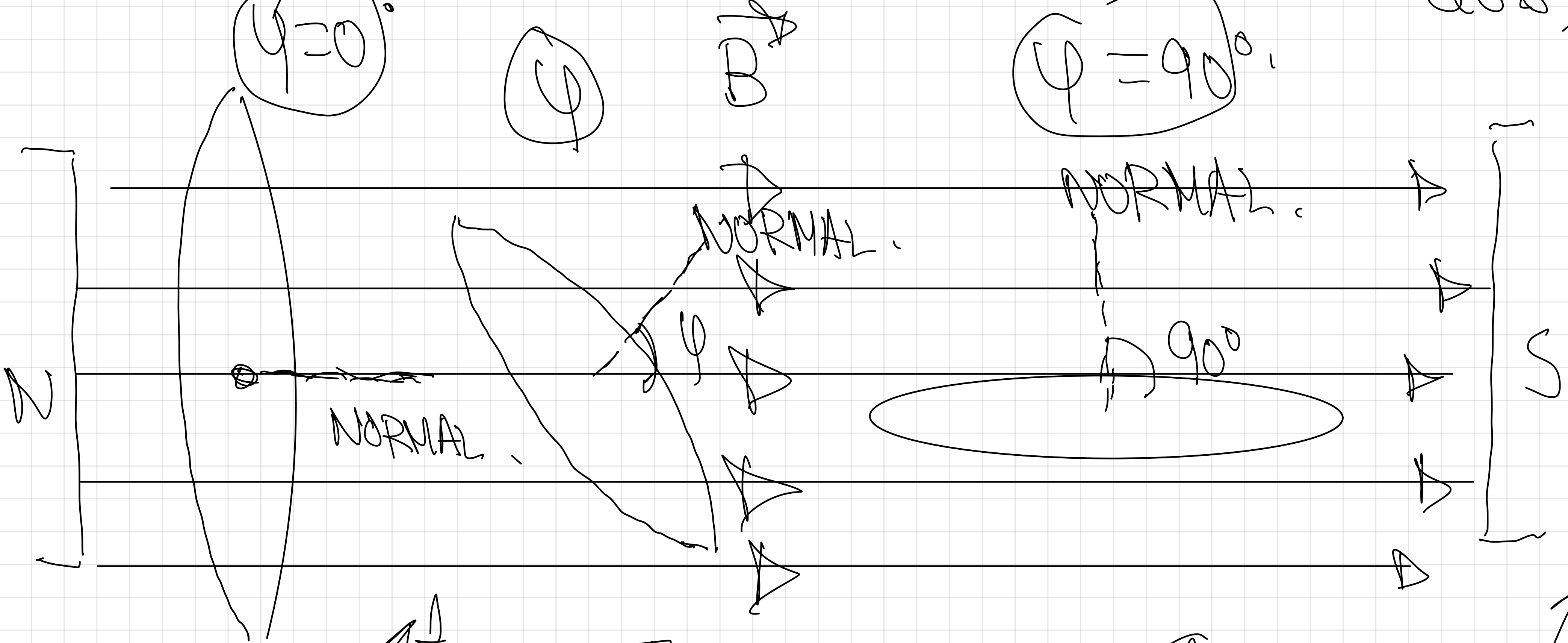
$\vec{B}$ $\vec{B}$ $\vec{v}$.

$\vec{B}$ en la misma dirección q $\vec{v}$.

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot sen \begin{matrix} 0° \\ 180° \end{matrix} = 0.$$

FLUJO MAGNÉTICO.

(pag 84 del libro)



$\Phi = B \cdot S \cdot \cancel{\cos 0°}$ 1

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi$

$\Phi = B \cdot S \cdot \cancel{\cos 90°}$ 0

$\Phi_{max} = B \cdot S$

$\Phi_{menor} \longrightarrow$ Atravesada por menor número de líneas de campo

$\Phi = 0 \to$ No es atravesada por ninguna línea de campo

$\Phi \to T \cdot m^2 = Wb$ (Weber)

FLUJO MAGNÉTICO $\Rightarrow \Phi$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos\varphi$$

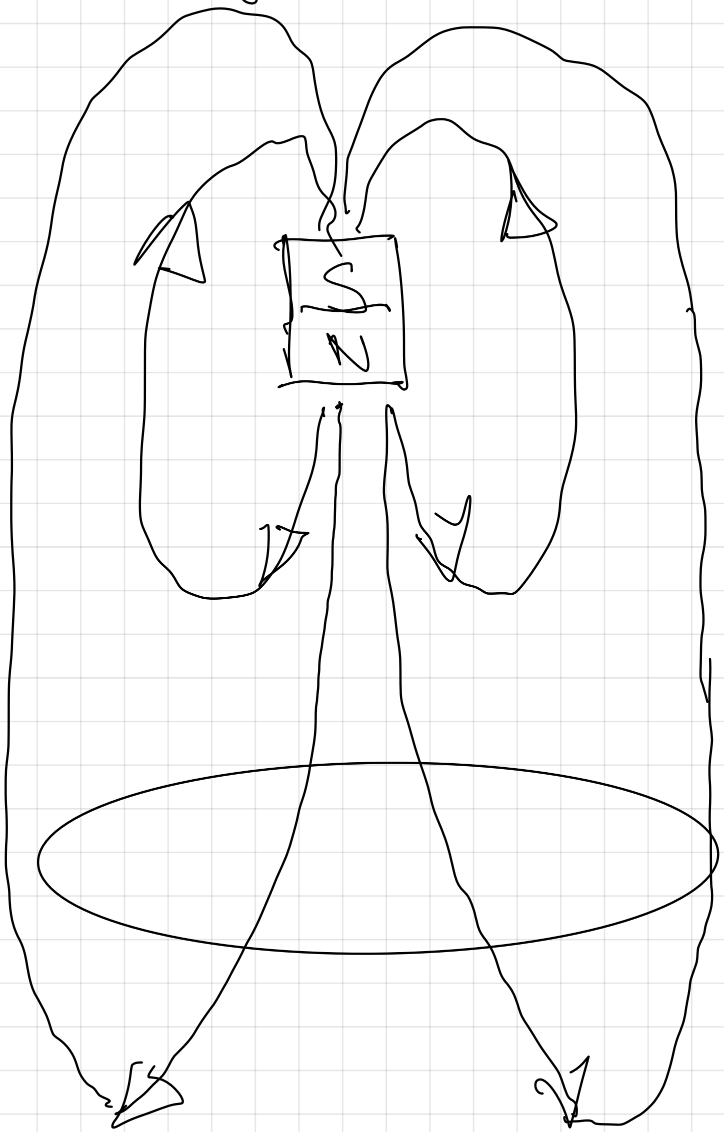
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\varphi$$

$B \Rightarrow T$

$S \Rightarrow$ superficie de la espira (m^2)

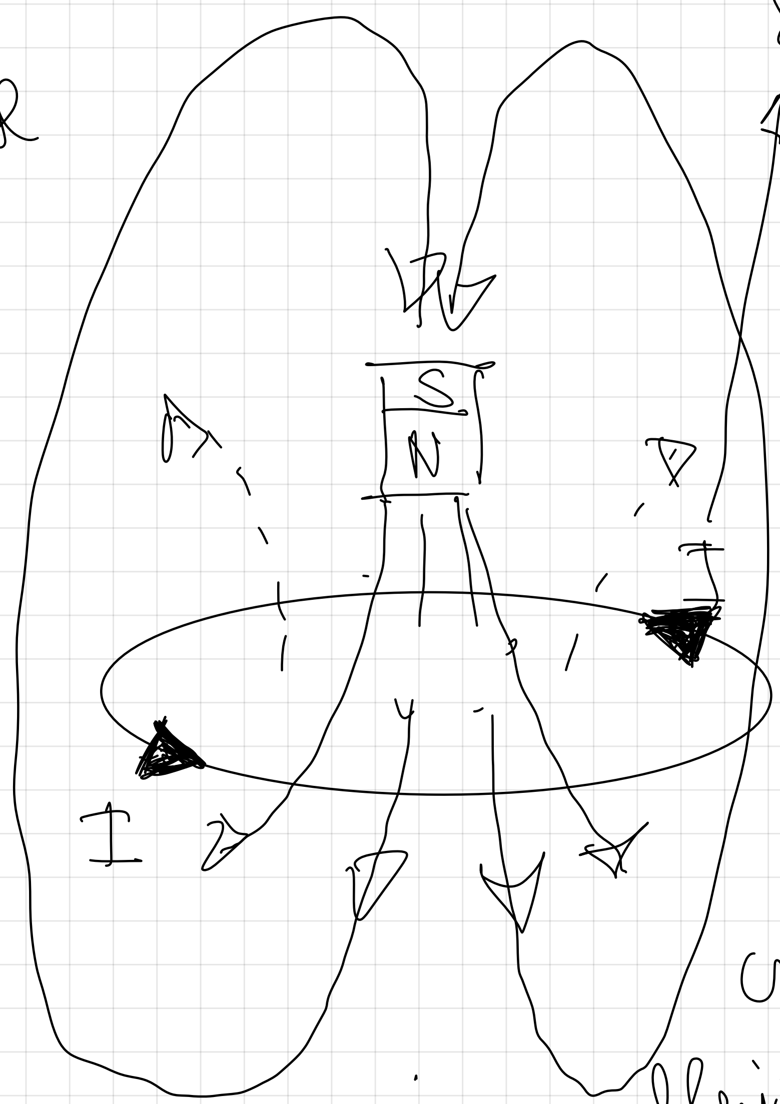
$\varphi \Rightarrow$ ángulo que forma la normal a la superficie de la espira con el campo B

Ley de Lenz (Ver páginas 90 y 91 del libro)



imán acercándose

Aumento del flujo magnético inductor



Se crea una corriente inducida en la espira cuyo sentido será tal que se cree un flujo magnético inducido que se oponga al flujo magnético inductor.

36.- Una espira atraviesa una región del espacio en la que existe un campo magnético uniforme, vertical y hacia arriba. La espira se mueve en un plano horizontal.
Explicar si circula corriente o no por la espira en los siguientes casos, indicando el sentido de la corriente en los casos en los que exista:

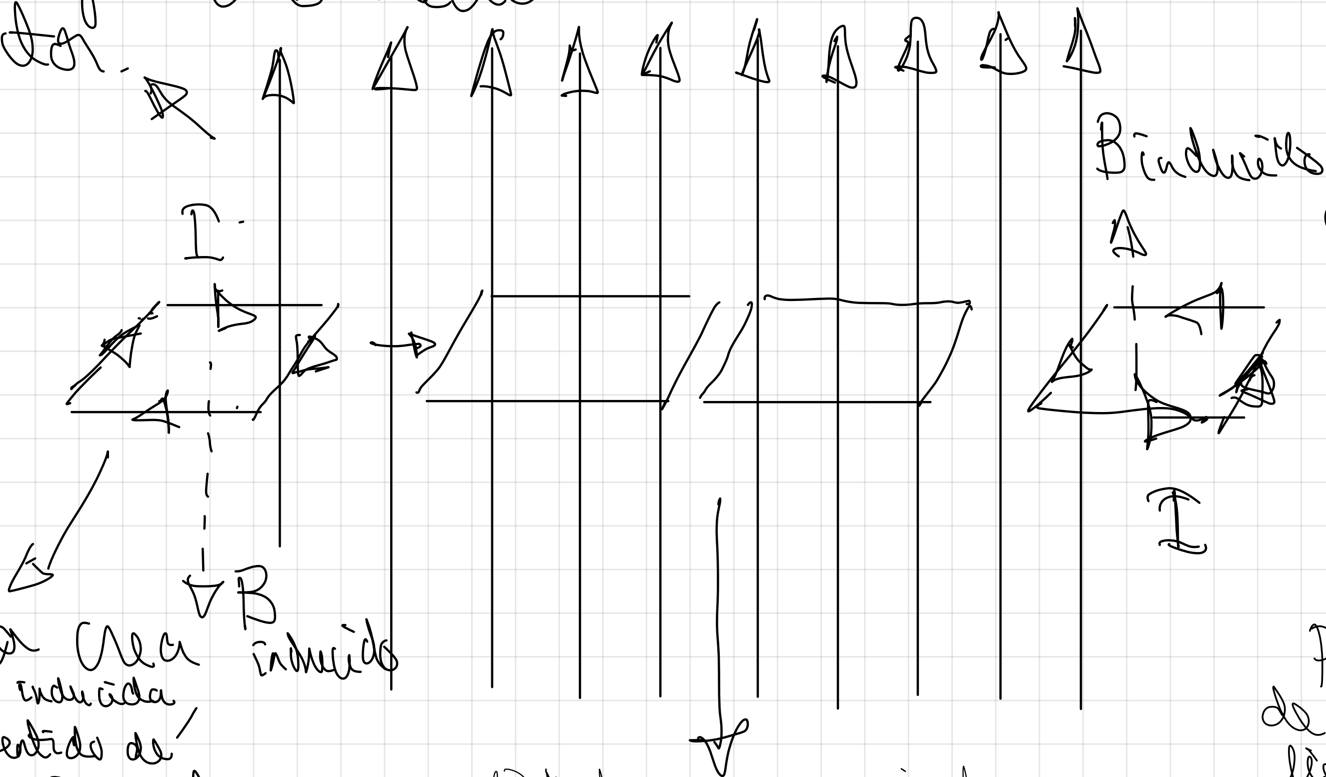
a) Cuando la espira está penetrando en la región del campo
b) Mientras la espira se mueve en dicha región
c) Cuando la espira está saliendo de dicha región

Ver la solución al detalle en el libro

flujo magnético o B inductor.
inductor.

B inductor

a)



Ley de Lenz.

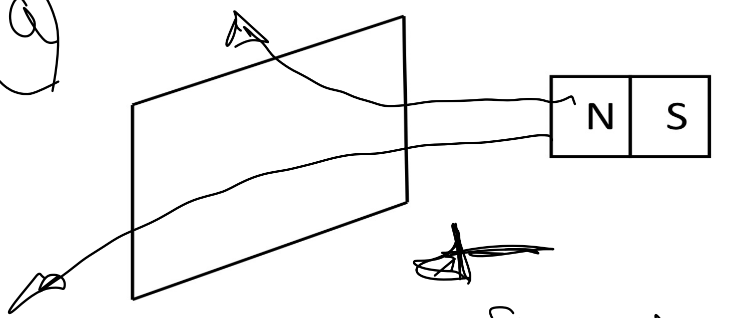
La espira crea una corriente inducida siendo el sentido de la corriente I aquel que crea un flujo magnético inducido que se opone al incremento del flujo magnético inductor.

b) Mientras se mueve por dicha región el flujo (nº de líneas de campo que la atraviesan) no varía y no hay corriente inducida.

c) Cuando está saliendo del campo el flujo magnético inductor disminuye, y según la ley de Lenz se crea una I de corriente que crea el flujo magnético inducido para oponerse al hecho de la disminución de las líneas de campo que la atraviesan (disminución del flujo magnético inductor.

37.-

a)



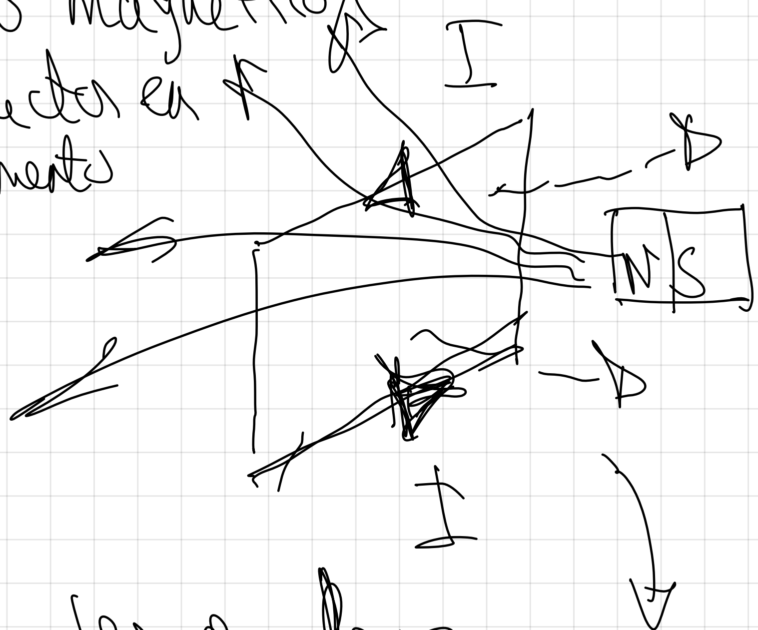
Se acerca

Una persona mueve un imán de barra situado frente a una espira fija como se ve en la figura. Indicar el sentido de la corriente inducida:

a) Al acercar el imán a la espira fija
b) Al alejar el imán de la espira fija

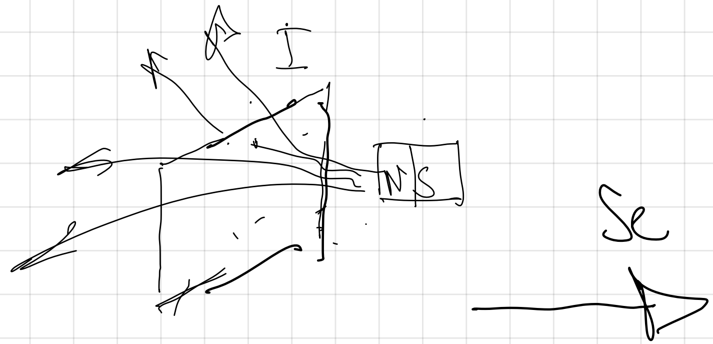
(Ver la solución del libro)

Flujo magnético inductor en aumento

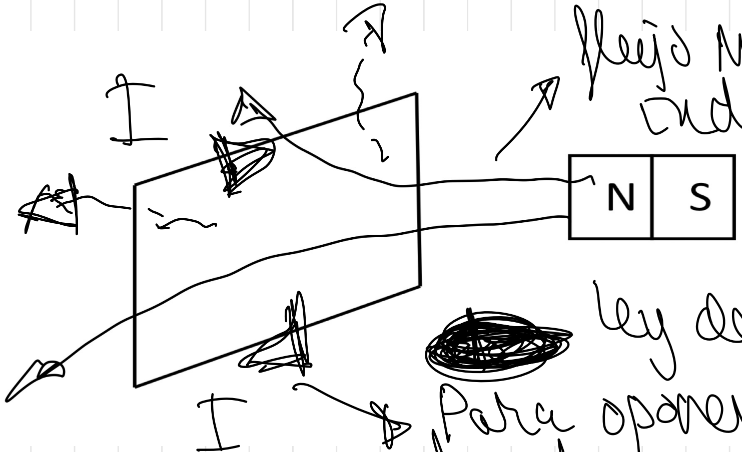


Ley de Lenz.
Al haber cambio de flujo existe corriente inducida con el sentido indicado.

b)



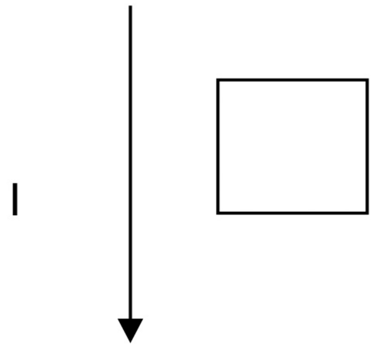
Se aleja



Flujo magnético inductor en disminución

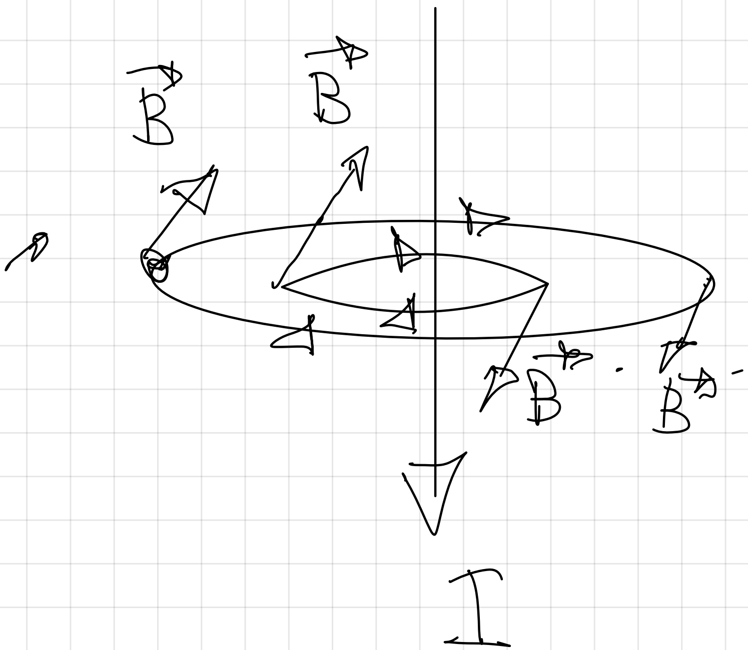
Ley de Lenz.
Para oponerse se crea I en el sentido indicado

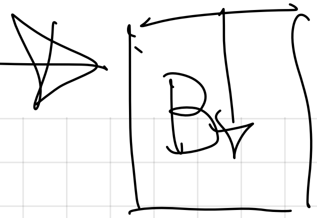
38.- Por el conductor rectilíneo e indefinido de la figura circula una corriente eléctrica de intensidad I en el sentido indicado. Una espira cuadrada se mueve manteniéndose coplanaria con el conductor. Determinar el sentido de la corriente inducida en la espira cuando su movimiento es:

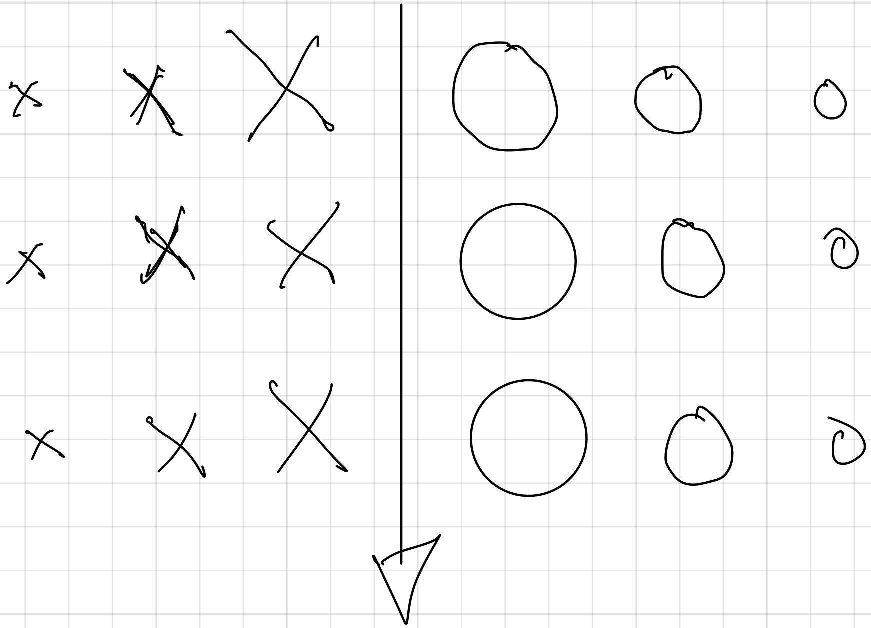


a) Perpendicular al conductor y acercándose a él
b) Perpendicular al conductor y alejándose de él
c) Paralelo al conductor

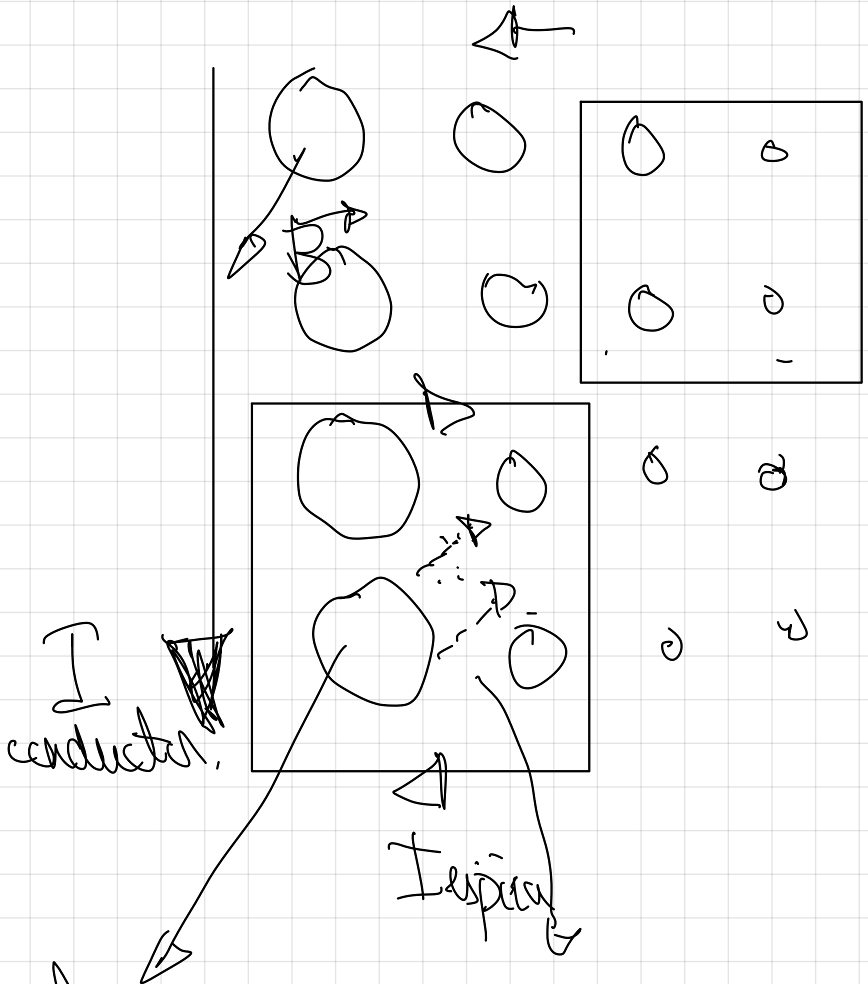
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$







a) Se acerca.

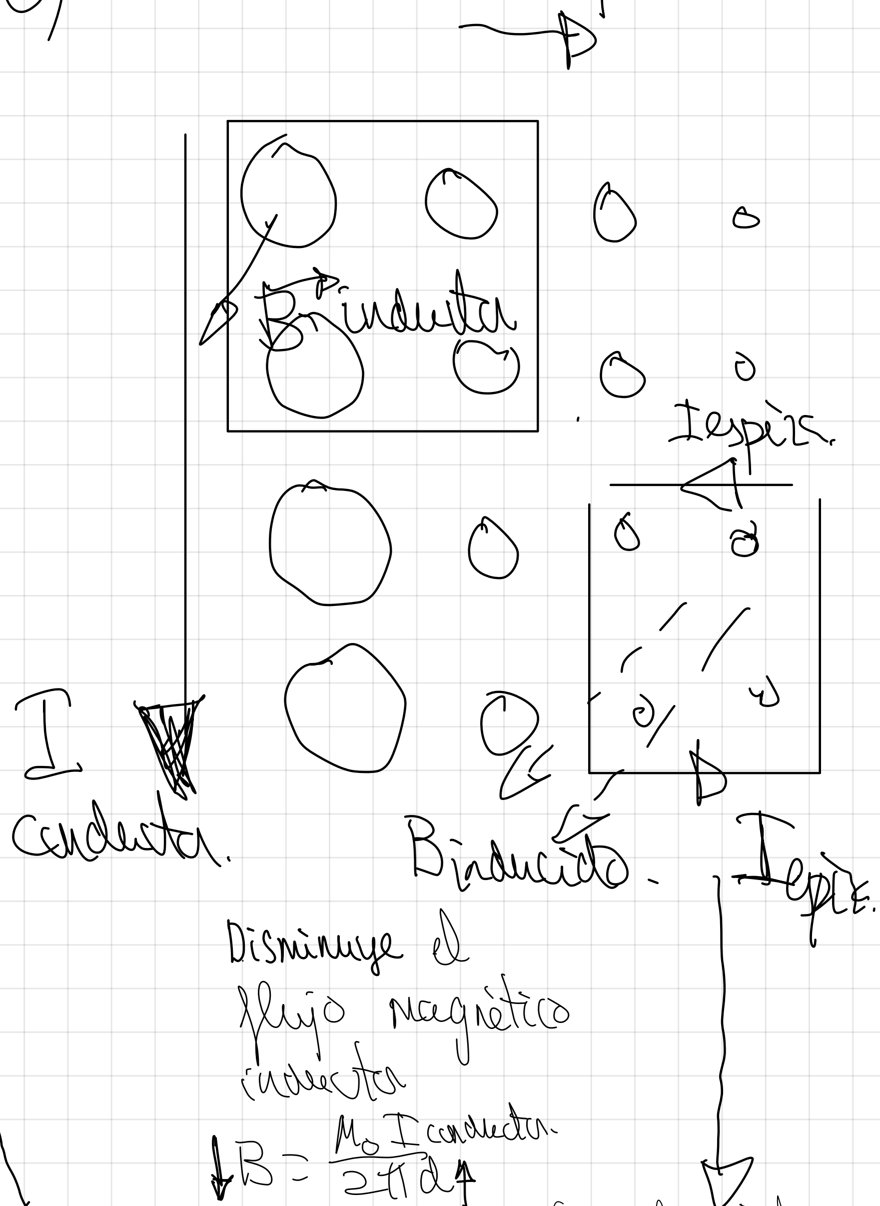


Aumenta el flujo magnético inductor

$\uparrow B = \frac{\mu_0 I_{conductor}}{2\pi d \downarrow}$

Se crea la corriente inducida creando un flujo magnético inducido que se opone al aumento del inductor.

b) Se aleja.



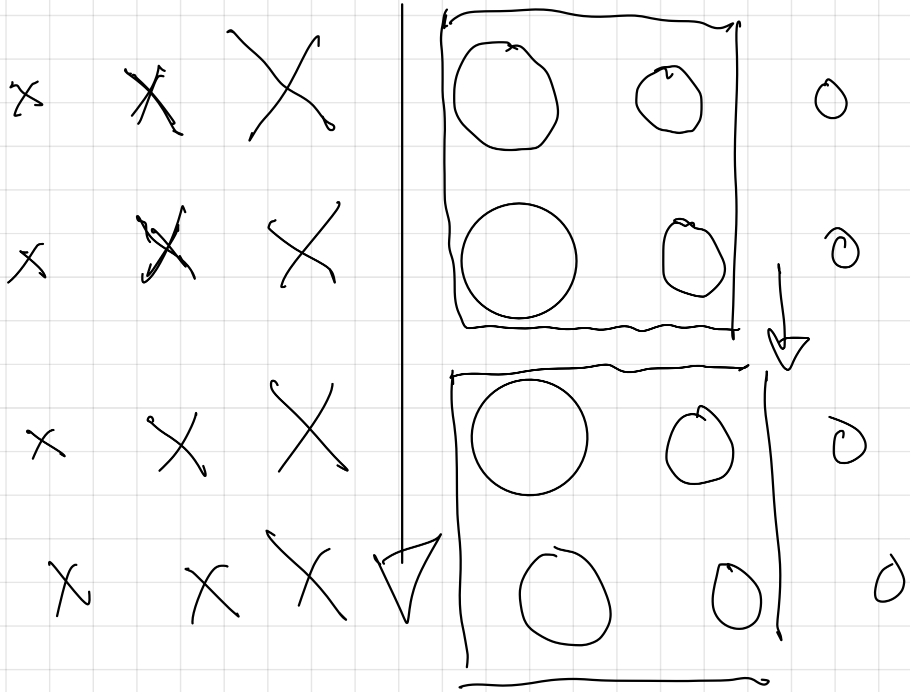
Disminuye el flujo magnético inductor

$\downarrow B = \frac{\mu_0 I_{conductor}}{2\pi d \uparrow}$

Se crea la corriente inducida creando un flujo magnético inducido que se opone a la disminución del flujo magnético inductor.

c)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = cte.$$

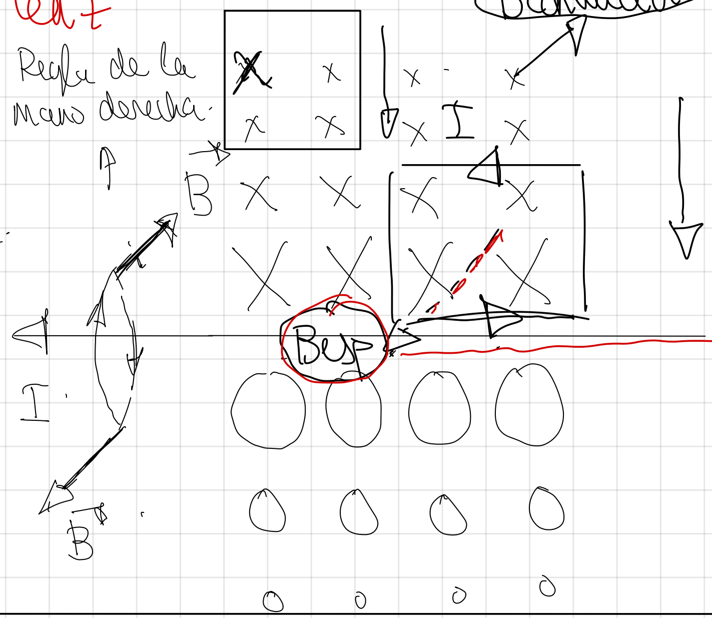


No hay variación del flujo magnético, luego no existe corriente inducida.

Ejemplo aparte puesto en clase en la siguiente página.

Ley de Lenz

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



$B_{conductor}$ → aumento del flujo magnético inductor.

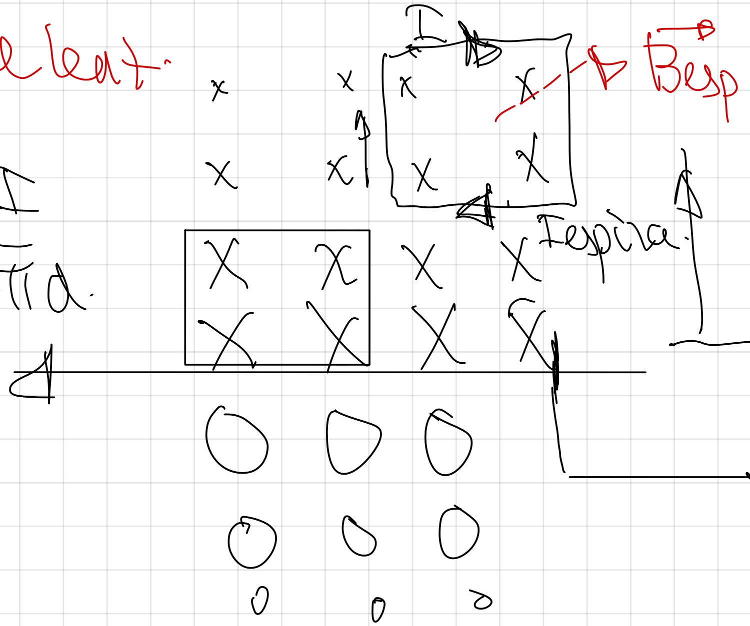
Espira acercándose.

Campo magnético creado por el conductor entrante

→ Campo magnético creado por la espira saliente

Ley de Lenz

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



→ la espira crea mediante su I de corriente un campo magnético entrante para oponerse a la disminución del flujo magnético inductor

Espira alejándose

→ Existe disminución del flujo magnético inductor.

→ Campo magnético creado por el conductor entrante

Teoría → ley de Faraday (pag 92 del libro)

40.- Una espira circular plana de 10^{-2} m de radio está situada en un campo magnético de 0,6 T cuyas líneas de fuerza son perpendiculares a la superficie de la espira

a) Calcula el flujo magnético que atraviesa la espira

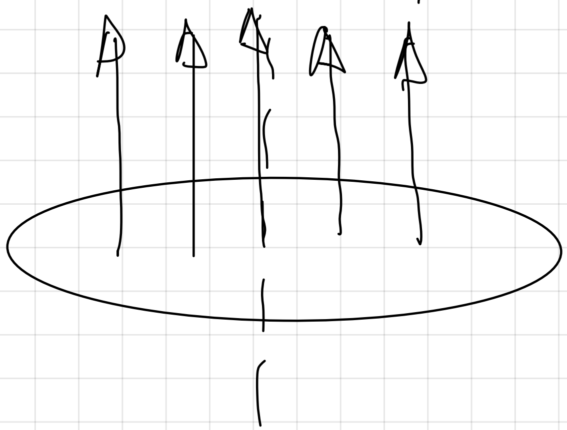
b) Calcula la fuerza electromotriz media inducida en la espira suponiendo que, manteniendo la espira fija, el campo magnético varíe, pasando su valor a ser de 0,6 T a ser de 0,3 T en 0,2 s

b) Calcula la fuerza electromotriz media inducida en la espira suponiendo que, manteniendo el campo magnético uniforme de 0,6 T, la espira gire 60º en torno a un eje perpendicular al campo al cabo de 0,2 s

NORMAL

$B' = 0'6T$ inicial

a)



$\Delta t = 0'2\,s$

$\boxed{S = \pi r^2}$

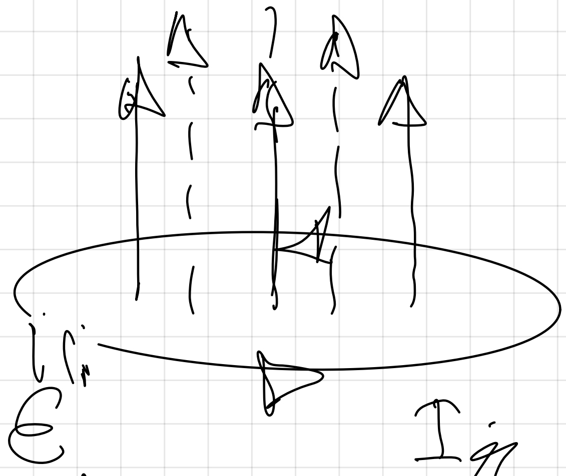
$S = \pi \cdot (10^{-2})^2$

$S = \boxed{10^{-4}\pi}\, m^2$

Superficie de un círculo

$\varphi = 0°$ $\quad B = 0'3T$

b)



ε $\quad I_{in}$

$\Phi_{inicial} = B \cdot S \cdot \cos\varphi$

$\Phi_{inicial} = 0'6T \cdot \boxed{10^{-4}\pi}\, m^2 \cdot \underbrace{\cos 0}_{1}$

$\Phi_{final} = B' \cdot S \cdot \cos 0°$

$\Phi_{final} = 0'3T \cdot 10^{-4}\pi\, m^2$

a) $\Phi_{inicial} = 1'88 \cdot 10^{-4} \; T \cdot m^2 = Wb$ $\qquad$ $\Phi_{final} = 9'42 \cdot 10^{-5} \; T \cdot m^2 = Wb$

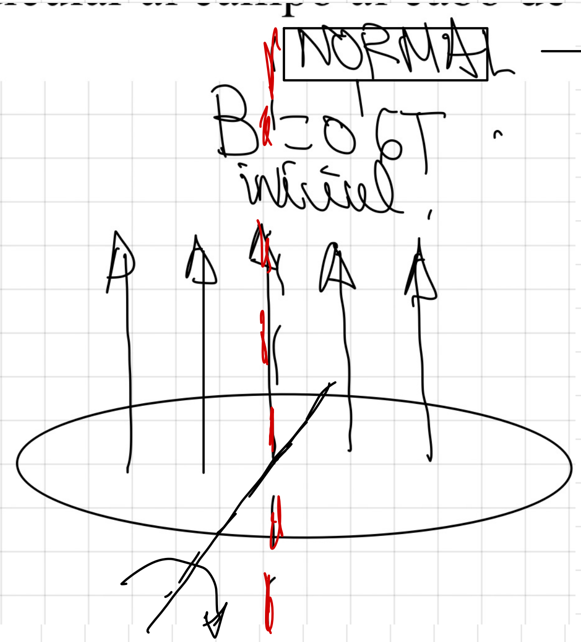
b) $$\varepsilon_{media} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Phi_{final} - \Phi_{inicial}}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{media} = - \frac{9'42 \cdot 10^{-5} - 1'88 \cdot 10^{-4}}{0'2} \cdot \frac{Wb}{s} = \text{Voltio}$$

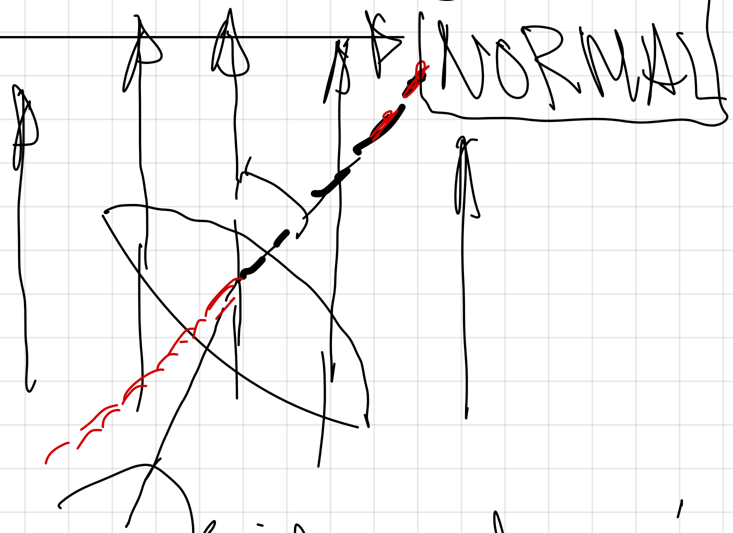
$$\varepsilon_{media} = + 4'69 \cdot 10^{-4} \; V$$

b) Calcula la fuerza electromotriz media inducida en la espira suponiendo que, manteniendo el campo magnético uniforme de 0,6 T, la espira gire 60º en torno a un eje perpendicular al campo al cabo de 0,2 s

$\boxed{\varphi = 60^\circ}$ $B = 0'6T$



$\boxed{\Delta t = 0'2 s}$



Se gira 60° y por ello la normal girará 60° siendo $\varphi = 60°$ el ángulo que forma con el campo magnético vertical.

$\Phi_{inicial} = 1'88 \cdot 10^{-4}$ Wb

$\Phi_{final} = B \cdot S \cdot \cos 60°$

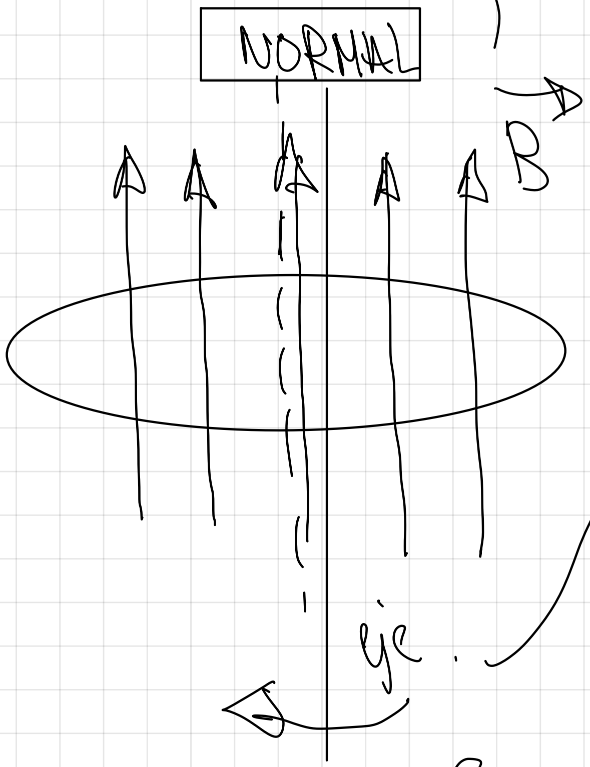
$\Phi_{final} = 0'6T \cdot 10^{-4}\pi \cdot \boxed{0'5}$

$\Phi_{final} = 9'42 \cdot 10^{-5}\ T \cdot m^2$

ley de Faraday

$$\varepsilon_{media} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_{final} - \Phi_{inicial}}{\Delta t} = -\frac{9'42 \cdot 10^{-5} - 1'88 \cdot 10^{-4}}{0'2} = \boxed{+4'69 \cdot 10^{-4}\ V}$$

Observaciones aparte del mismo ejercicio en su apartado c)



Si la espira se hubiese girado en torno a un eje paralelo al campo $\vec{B}$ no cambiaría el número de líneas de campo que la atraviesan y tampoco el flujo magnético por ello no existiría corriente inducida.

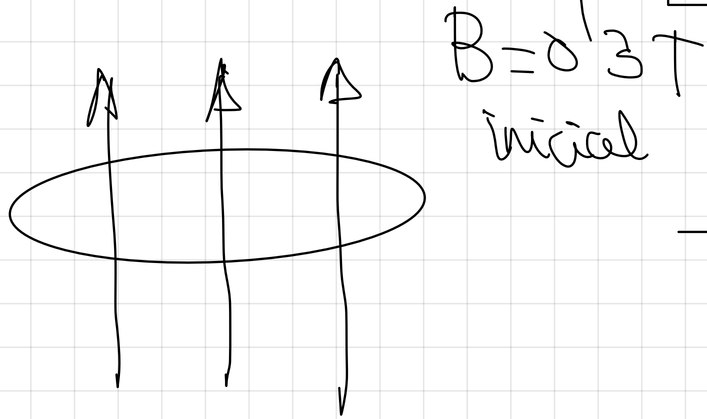
traducido matemáticamente

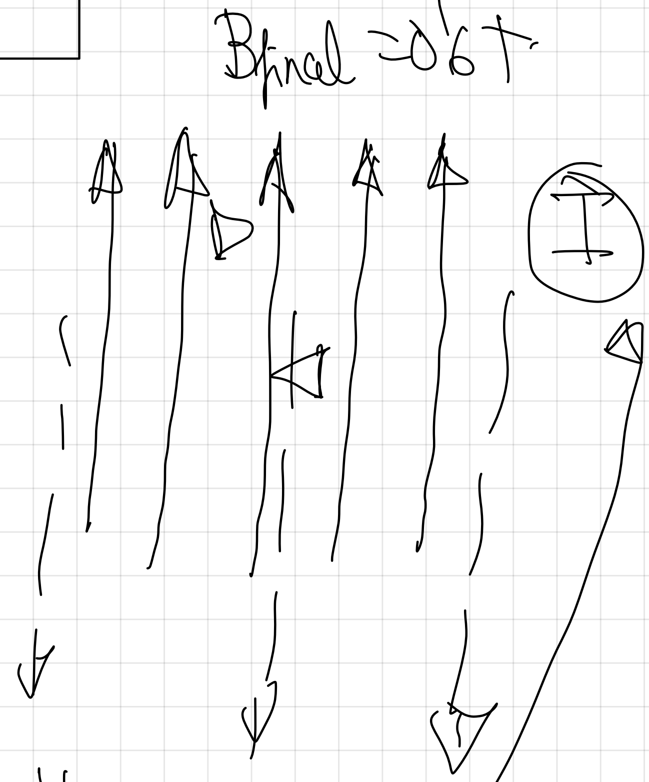
$\Phi_{inicial} = \Phi_{final}$

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 0 \longrightarrow \nexists \text{ corriente inducida.}$$

Observaciones aparte del mismo ejercicio en su apartado (c)

$$\boxed{\text{Si la situación fuese a la inversa.}}$$





$$\varepsilon = -\frac{\Phi_{final} - \Phi_{inicial}}{\Delta t} = (+)\ 4'69 \cdot 10^{-4}\ V$$

Nos indicaría que la corriente inducida iría en sentido contrario ya que hemos descrito una situación opuesta (aumento del flujo magnético inductor)

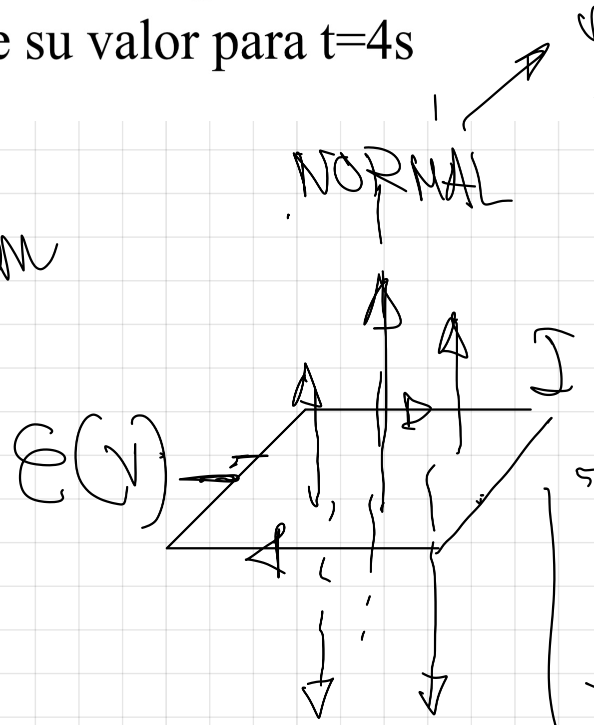
42.- Una espira cuadrada de 5 cm de lado se encuentra en el interior de un campo magnético uniforme, de dirección normal al plano de la espira y de intensidad variable con el tiempo $B= 2t^2$ T

a) Deduzca la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo

b) Represente gráficamente la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo y calcule su valor para t=4s

$l = 5\ cm$

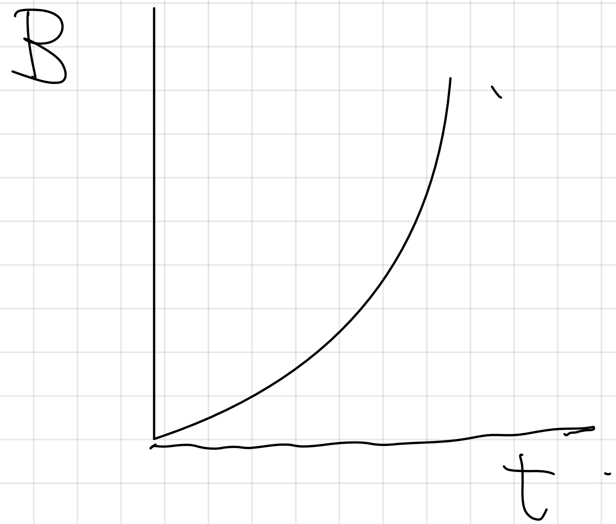
$B = 2t^2\ (T)$



$S = l \cdot l$

$S = 5\cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2}$

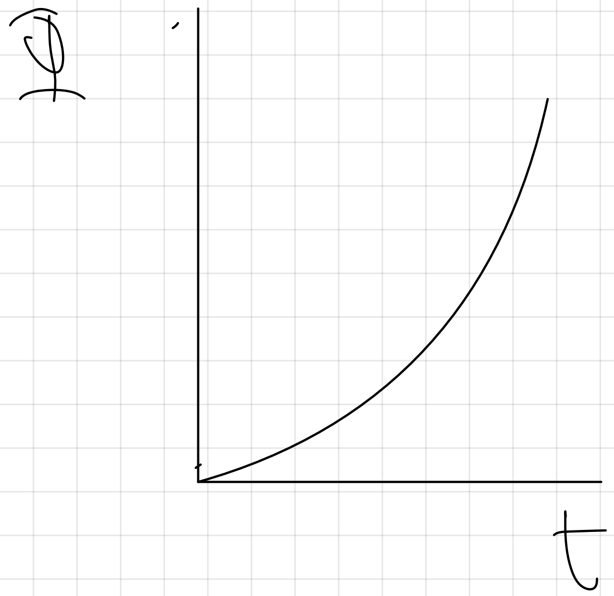
$S = 2'5 \cdot 10^{-3}\ m^2$



$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\varphi$

$\Phi = 2t^2 \cdot 2'5\cdot 10^{-3} \cdot \cancel{\cos 0^\circ}\ 1$

$$\boxed{\Phi = 5\cdot 10^{-3}\, t^2 \ (T\cdot m^2)\ Wb}$$

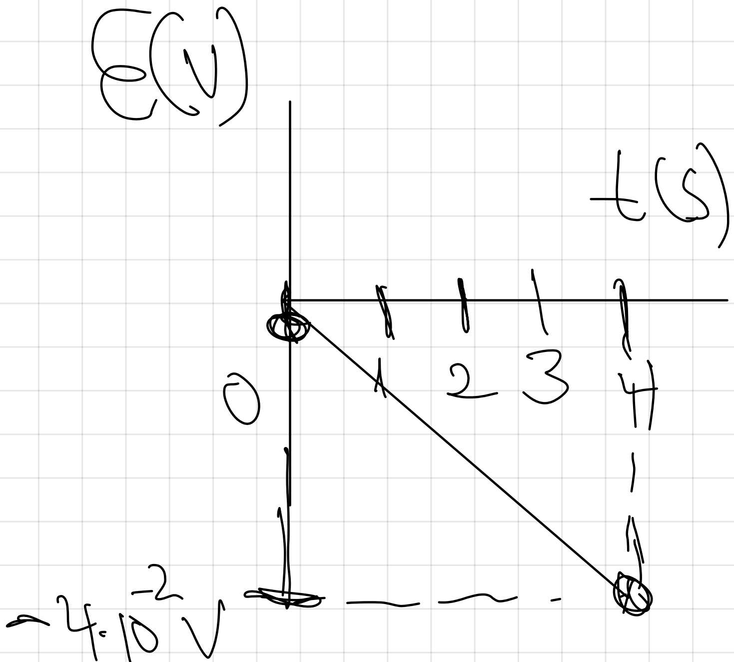


Ley de Faraday

b) $\mathcal{E} = -\dfrac{d\Phi}{dt} = -5\cdot 10^{-3}\cdot 2\cdot t\ (V)$

$\mathcal{E} = -10^{-2}\, t\ (V)$

$\mathcal{E}(t) = -10^{-2}\, t\ (V)$



$t = 4s \Rightarrow \mathcal{E}(t = 4s) = -10^{-2}\cdot 4\ (V)$

$$\boxed{\mathcal{E} = -4\cdot 10^{-2}\, V}$$

46.- A una espira circular de radio r= 5 cm que descansa en un plano horizontal se le aplica en un intervalo de tiempo de 5 segundos un campo magnético variable con el tiempo y de valor B=0,1 t (T) vertical y hacia arriba

a) Represente el flujo magnético que atraviesa la espira en función del tiempo y calcule el flujo magnético máximo.

b) Represente la f.e.m inducida en función del $\boxed{\text{instante t}}$ y dibuje el sentido de la corriente inducida.

c) Repita el apartado b) en el supuesto de que el campo magnético variable cambie de sentido.

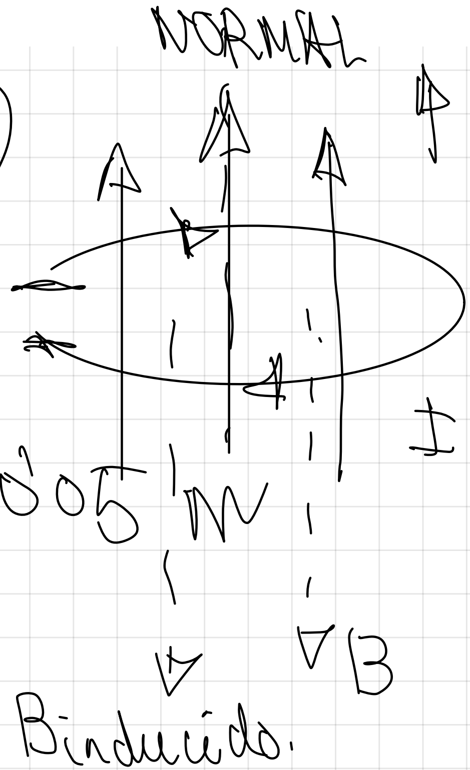
d) Repita los apartados a) y b) en el supuesto de que la espira sometida al campo magnético variable estuviese en el plano del papel.

e) Suponiendo que la espira estuviese situada en un plano horizontal y sometida a un campo magnético uniforme, ¿existiría corriente inducida? . En caso negativo, explicar la manera de obtenerla. Citar una posible aplicación de dicha inducción electromagnética

$\boxed{\varphi = 0°}$ a)

a)

ε(V)



$r = 5\,cm = 0'05\,m$

$B = 0'1t\,(T)$

VER SOLUCIÓN POR EL LIBRO TAMBIÉN

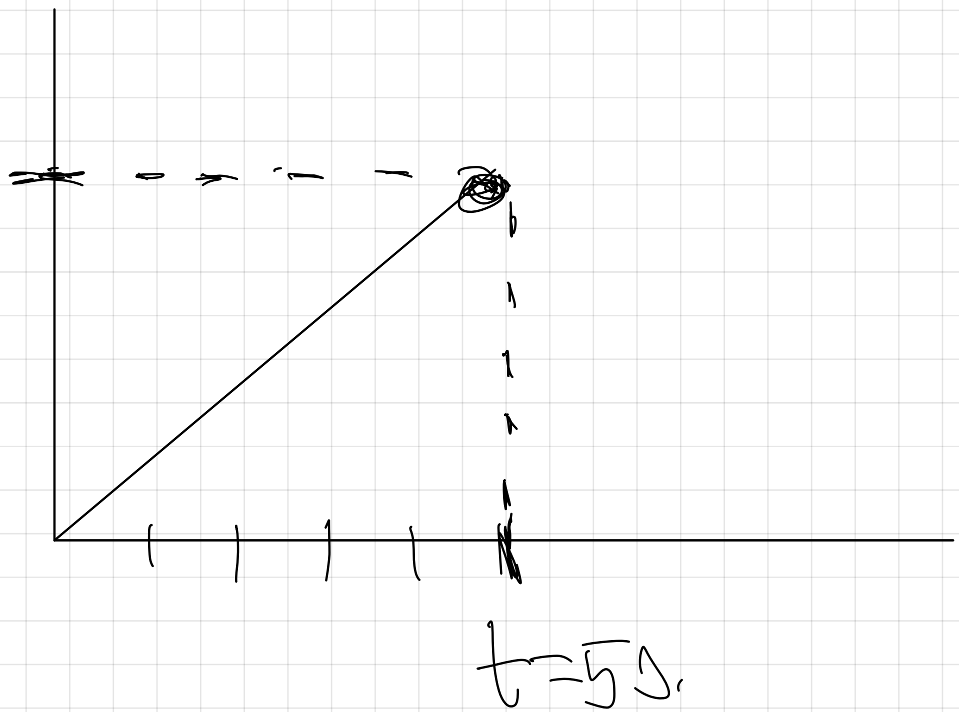
$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\varphi$

$\Phi = 0'1t \cdot \pi r^2 \cdot \cancel{\cos 0°}\ 1$

$\Phi(t) = 0'1t \cdot \pi \cdot (0'05)^2\ (Wb)$

$$\boxed{\Phi(t) = 2'5\pi\cdot 10^{-4}\cdot t \ (Wb)}$$

$t = 5\,s$ $\quad \boxed{\Phi_{max} = 1'25\cdot 10^{-3}\,\pi\ Wb}$

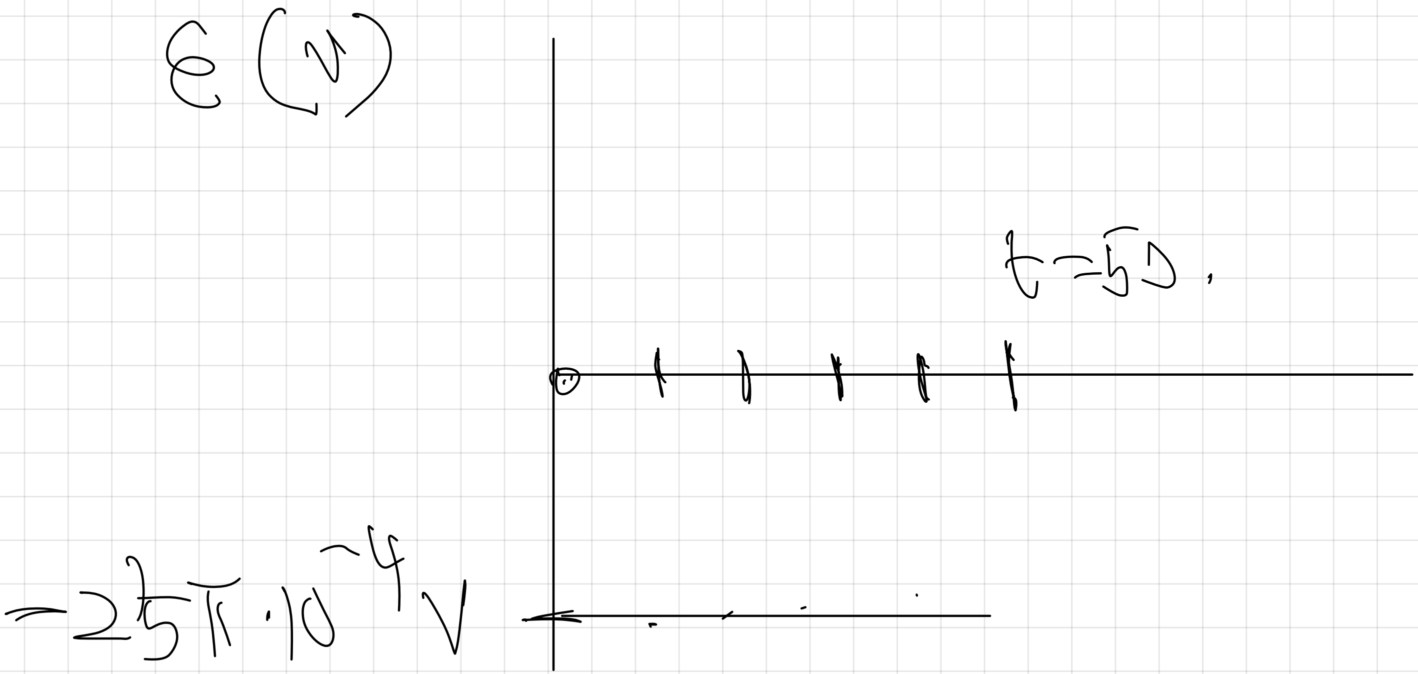


$$\Phi(t=5s) = 2'5\pi\cdot 10^{-4}\cdot 5\ Wb$$

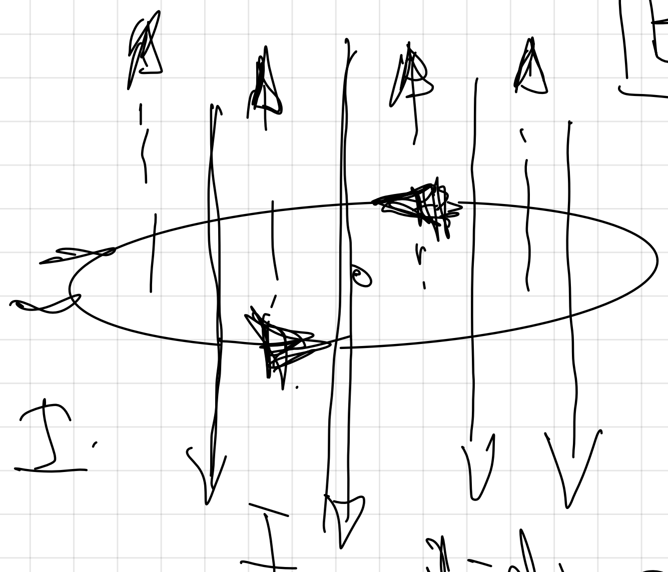
$$\Phi(t=5s) = 1'25\cdot 10^{-3}\,\pi\ Wb = \Phi_{max}$$

b) $\boxed{\Phi(t) = 2'5\pi\cdot 10^{-4}\cdot t \ (Wb)}$

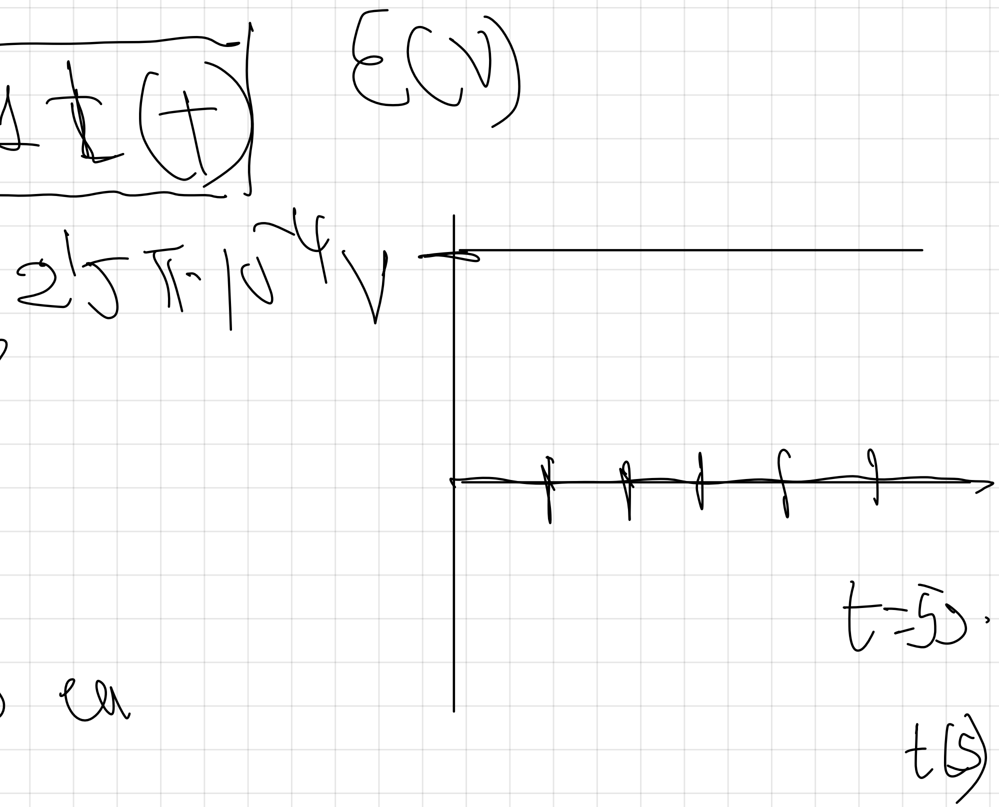
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -2'5\pi\cdot 10^{-4}\ (V)$$



c)



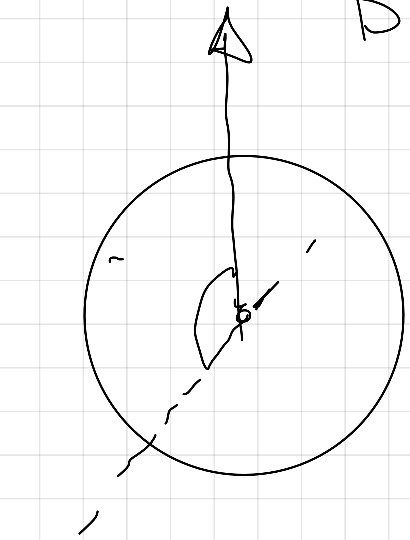
$$\boxed{B = 0'1\,t\ (T)}$$



sentido contrario en

$\varepsilon = 2'5\pi \cdot 10^{-4}\ (V)$

d) $B = 0'1\,t\ (T)$



$\varphi = 90^\circ$

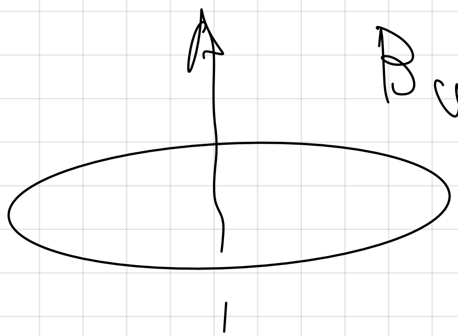
NORMAL.

$\Phi = B \cdot S \cdot \cancel{\cos 90^\circ}$

$\Phi = 0$

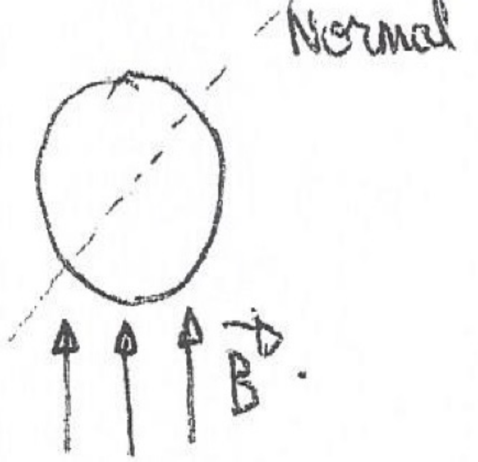
$\varepsilon = 0V$.

e)



B uniforme $\Rightarrow \varepsilon = 0V$

$\boxed{\Phi} = B \cdot S \cdot \cos\varphi$ (ND) d)



$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos 90 = 0$$

el flujo magnético que atraviesa la espira será nulo en cualquier instante, y por ello no se generará ni f.e.m ni corriente inducida.

e) No, ya que al ser el campo magnético uniforme, no habría variación del flujo magnético, y por tanto no existiría corriente inducida.

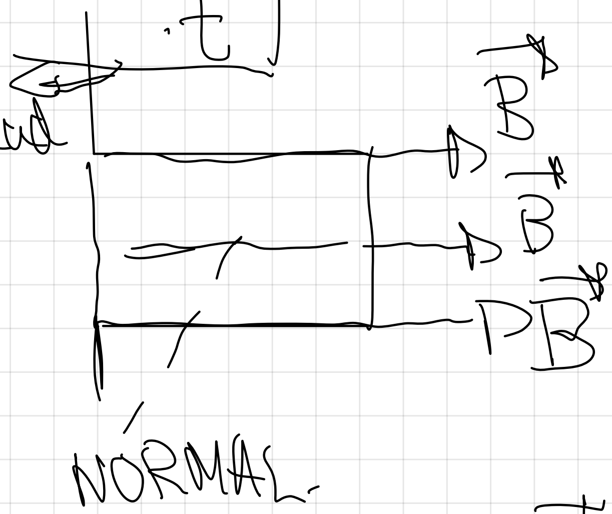
$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha \Rightarrow$ Para obtener corriente inducida tendríamos que conseguir que el flujo variase, bien sea por la aplicación de un campo magnético variable, bien sea por la modificación de la superficie de la espira, bien sea por la modificación del ángulo α mediante la rotación en torno a un eje adecuado. Aplicación: generador de corriente alterna (ver teoría)

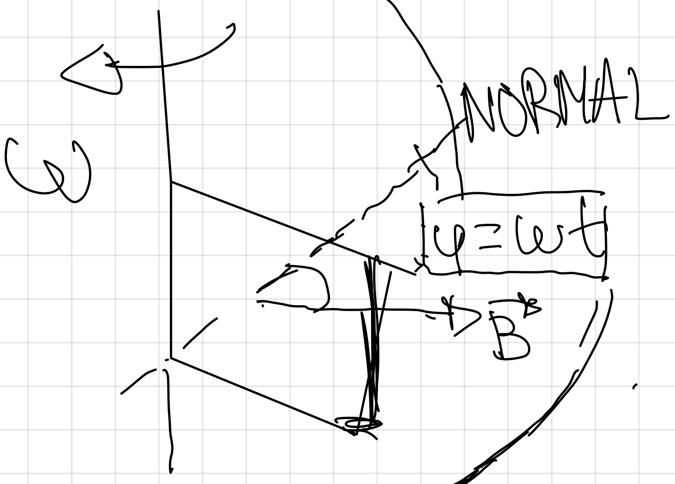
GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

MIRAR PRIMERO LA PAG 93 DEL LIBRO

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \Rightarrow \boxed{\varphi = \omega \cdot t}$$

$\omega \Rightarrow$ velocidad angular de giro en la espira.





$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi$$

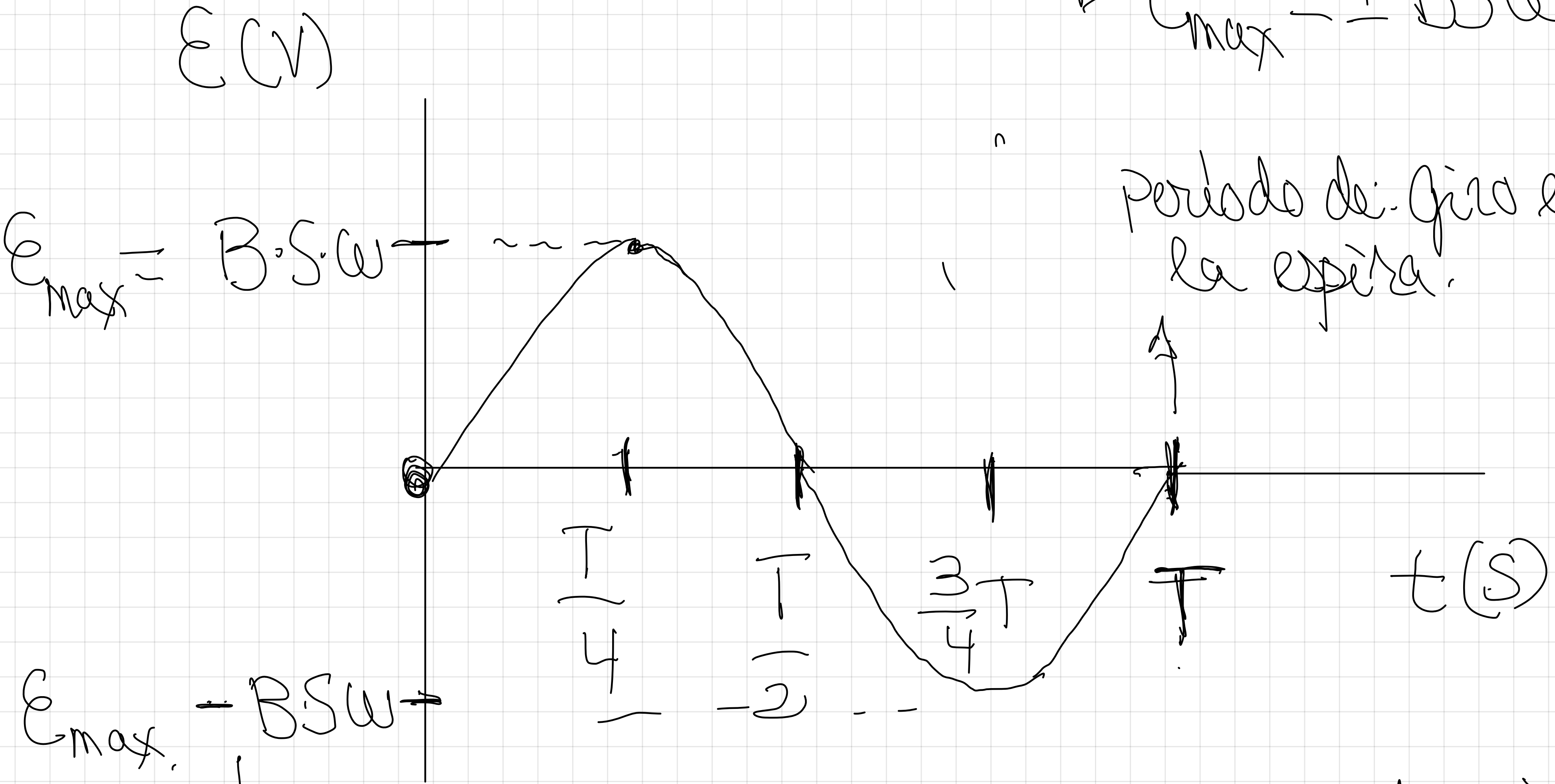
$$\boxed{\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t}$$

Hay cambio de flujo ya que Φ variará con el tiempo t al moverse la espira

Ley de Faraday

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\left[B \cdot S \cdot \left(-\operatorname{sen}(\omega t)\right)\omega\right]$$

$$\varepsilon(t) = \boxed{B \cdot S \cdot \omega} \cdot \text{sen}(\omega t) \Rightarrow \varepsilon_{max} = \pm B S \omega$$



la corriente cambiará de sentido (corriente alterna) ya que en ciertos instantes el flujo irá en aumento, mientras que en otros irá en disminución.

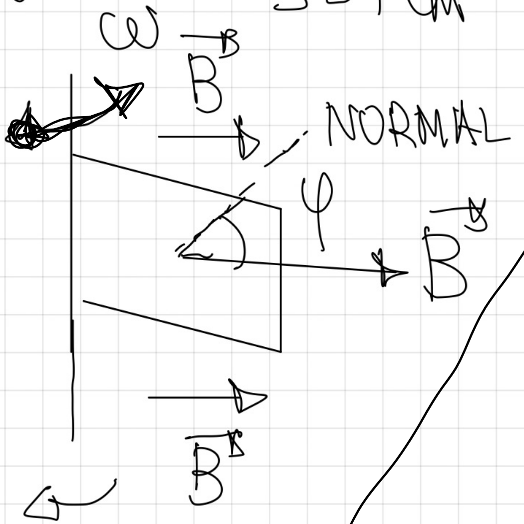
43.- Una espira rectangular de 4 cm^2 de área gira dentro de un campo magnético uniforme de 0,5 T en torno a uno de sus lados con una velocidad de rotación ω

a) Dar la expresión de la fuerza electromotriz inducida en función de ω y del instante t dado

b) Si la fuerza electromotriz máxima es de 0,05 V, ¿Cuánto valdrá ω?. ¿Cuál será la frecuencia de la rotación de la espira?, ¿Cuál será el período de rotación de la espira?

MCU

$S = 4\ cm^2$



$\omega = \frac{\varphi}{t} \Rightarrow \boxed{\varphi = \omega \cdot t}$

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi$

$\boxed{\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega t)}$

Ley de Faraday

$\varepsilon_{\text{instantánea}} = -\frac{d\Phi}{dt}$

$$\varepsilon_{instantánea} = -B \cdot S \cdot [-sen(\omega t)] \cdot \omega$$

$$\boxed{\varepsilon_{instantánea} = B \cdot S \cdot \omega \cdot sen(\omega t)}$$

$$4\,\cancel{cm^2} \cdot \frac{1\,m^2}{10^4\,\cancel{cm^2}} = 4 \cdot 10^{-4}\,m^2.$$

$$\varepsilon(t) = 0'5 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot \omega \cdot sen(\omega t)$$

$$\boxed{\varepsilon(t) = 2 \cdot 10^{-4}\,\omega \cdot sen(\omega t)}.$$

b) $\boxed{\varepsilon_{max} = 0'05\,V}$.

$$\boxed{\varepsilon_{instantánea} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \text{sen}\,(\omega t)}$$

$$\varepsilon_{max} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \cancel{\text{sen}\,(\omega t)} \quad \pm 1$$

$$\varepsilon_{max} = \pm B \cdot S \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{\varepsilon_{max}}{B \cdot S} = \frac{0'05\ V}{0'5\,T \cdot 4 \cdot 10^{-4}\ m^2} = 250\ \frac{rad}{s}$$

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi \text{ rad}}{250 \text{ rad/s}} = 0'025 \text{ s.}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0'025} = 40 \text{ Hz}$$

Otra forma

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \frac{1}{T} = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{250} = 40 \text{ Hz.}$$

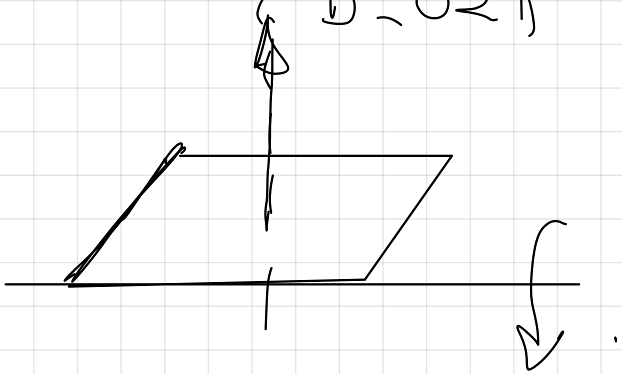
44.- Una espira rectangular de área 50 cm^2 se hace girar en torno a uno de sus lados en una región en la que existe un campo magnético uniforme de 0,2T.

a) Determine el valor del flujo magnético magnético a través de la espiracuando su vector de superficie forma con el campo magnético 0º, 45º y 90º.¿Cuál debería ser la velocidad angular de la espira para que se genere en ella una fuerza electromotriz inducida máxima de 20 mV?

b) ¿Qué cambios habría que introducir en la experiencia para duplicar dicha f.e.m máxima inducida? NORMAL.

NORMAL.

$\vec{B} = 0'2T$.

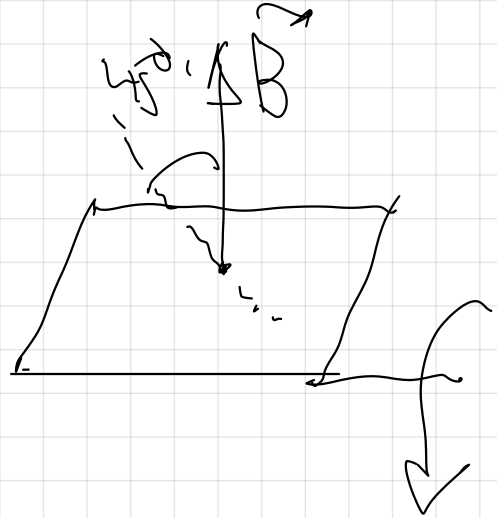


⇒ ángulo φ que forma la normal al plano de la espira y el campo $\vec{B}$

$0° \Rightarrow \Phi_{max} = B \cdot S \cdot \cos 0° =$

$\Phi_{max} = 0'2T \cdot 50 \cdot 10^{-4} m^2 = 10^{-3} T \cdot m^2 = 10^{-3}$ Wb. $(T \cdot m^2)$

$45^\circ \Rightarrow$



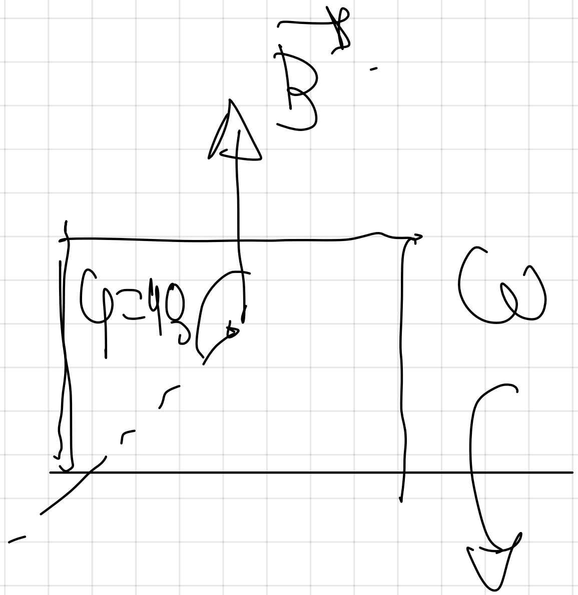
$\varphi = 45^\circ$.

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos 45^\circ$.

$\Phi = 0'2\,T \cdot 50 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\Phi_{medio} = 7 \cdot 10^{-4}\ Wb$ $(T \cdot m^2)$

$90^\circ \Rightarrow$.



$\varphi = 90^\circ$

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \cancel{90^\circ}\ 0$

$\Phi_{minimo} = 0\ Wb$ $(T \cdot m^2)$.

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\varphi)$

$\omega = \frac{\varphi}{t}$.

$\varphi = \omega \cdot t$.

$$\boxed{\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega t)}$$

Ley de Faraday

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -B \cdot S \cdot [-\operatorname{sen}(\omega t)] \cdot \omega$$

± 1.

$$\varepsilon = B \cdot S \cdot \omega \cdot \operatorname{sen}(\omega t).$$

$$\varepsilon_{max} = \pm B \cdot S \cdot \boxed{\omega}$$

$$20\ mV = 20 \cdot 10^{-3}\ V.$$

$$\omega = \frac{\varepsilon_{max}}{B \cdot S}.$$

$$\omega = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{0'2 \cdot 50 \cdot 10^{-4}} = \boxed{20\ \frac{rad}{s}}$$

$$\mathcal{E}_{max} = B \cdot S \cdot \omega$$

Según la expresión de la f.e.m máxima inducida, para duplicar la $\mathcal{E}_{max}$ inducida podríamos actuar con los tres factores.

$\vec{B}$

Duplicar el campo magnético $\vec{B}$ que atraviesa a la espira.

$\vec{S}$

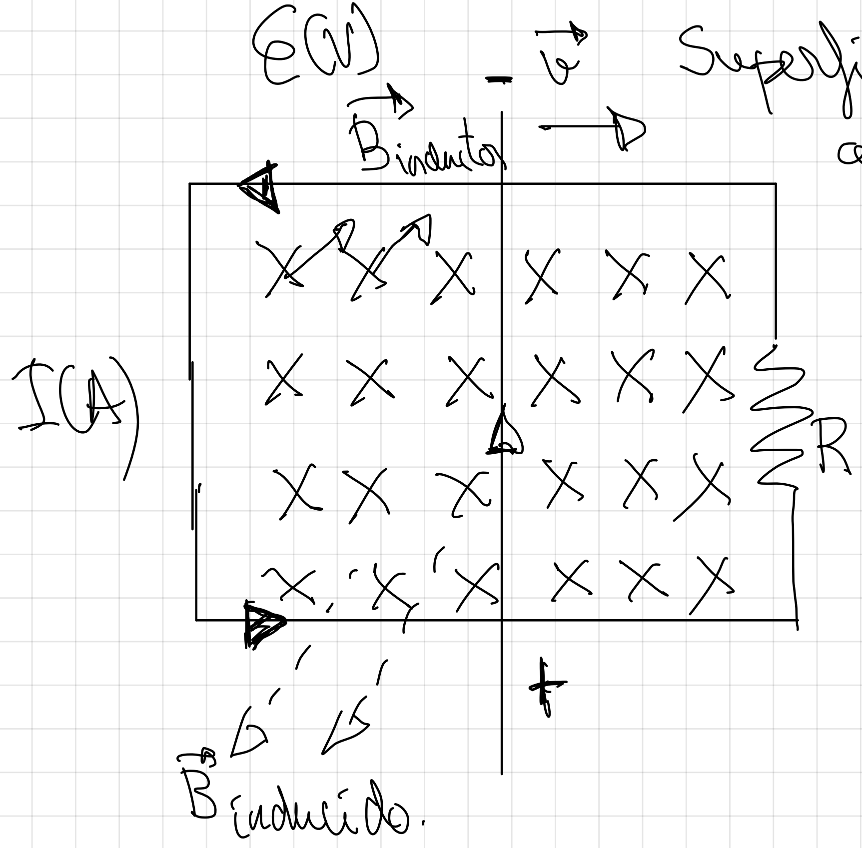
Duplicar la superficie de la espira.

Se verá en el anexo a publicar en classroom

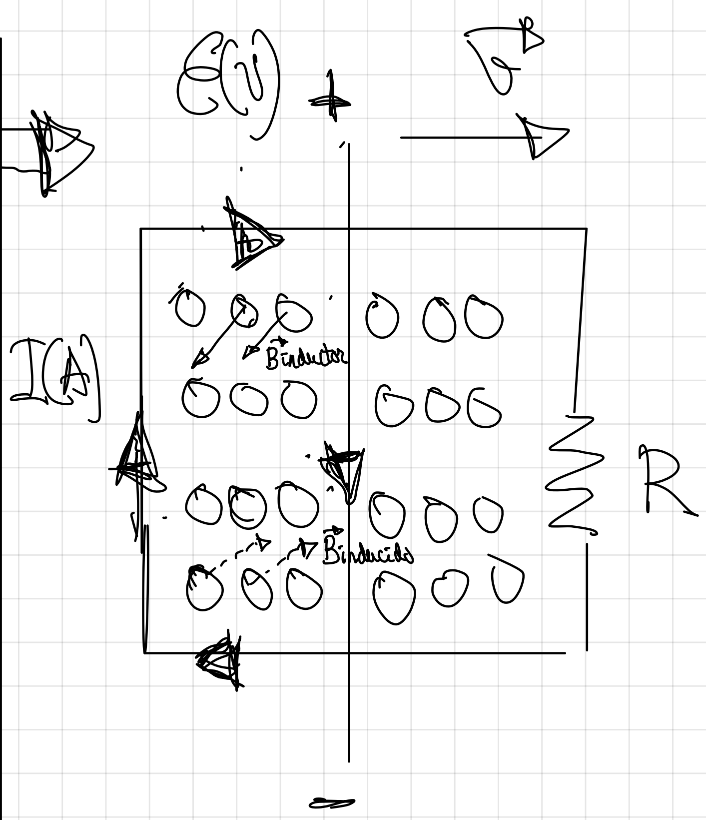
Siguiente página.

ω

Duplicar la velocidad angular ω de giro de la espira.



Superficie de la espira atravesada por el campo en aumento, aumento del flujo magnético inductor, se crea corriente inducida en el sentido indicado.



La Intensidad de corriente (A) que circula por la espira, la fuerza electromotriz inducida ε (V) y la resistencia R (Ohmios, Ω), se relacionan mediante la ley de Ohm

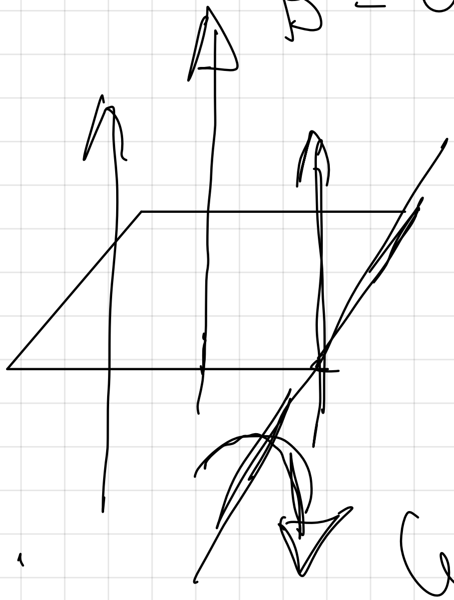
$$\boxed{I = \frac{\varepsilon}{R}}$$

45.- Una espira cuadrada de 10 cm de lado, inicialmente horizontal, gira a 1200 revoluciones por minuto, en torno a uno de sus lados, en un campo magnético uniforme vertical de 0,2 T

a) Calcule el valor máximo del flujo magnético que atraviesa la espira, así como el valor máximo de la f.e.m inducida en la espira y represente, en función del tiempo, el flujo magnético a través de la espira y la fuerza electromotriz inducida

b) ¿Cómo se modificaría la f.e.m inducida en la espira si se redujera la velocidad de rotación a la mitad?, ¿y si se invirtiese el sentido del campo magnético?

$B = 0'2\ T$



$\omega = 1200 \frac{rev}{min}$ a $\frac{rad}{s}$

$t = 0$

$\omega = 1200\ rpm$

MCU

$\omega = 1200 \frac{\cancel{rev}}{\cancel{min}} \cdot \frac{2\pi\ rad}{1\ \cancel{rev}} \cdot \frac{1\ \cancel{min}}{60\ s}$

$\omega = 40\pi \frac{rad}{s}$

$S = l \cdot l = 0'1m \cdot 0'1m = 10^{-2}\ m^2$

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\varphi$ $\quad \varphi = \omega t$

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega t)$

$\Phi_{max} = B \cdot S \cdot \cancel{\cos(\omega t)}^{\,1}$

$\Phi_{max} = B \cdot S = 0'2T \cdot 10^{-2} m^2$

$$\boxed{\Phi_{max} = 2 \cdot 10^{-3}\, Wb}$$

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega t)$

$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -B \cdot S \cdot (-\mathrm{sen}(\omega t)) \cdot \omega$

$\varepsilon = BS\omega \cdot \mathrm{sen}(\omega t)$

$\varepsilon_{max} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \cancel{\mathrm{sen}(\omega t)}^{\,1}$

$\varepsilon_{max} = B \cdot S\omega$

$\varepsilon_{max} = 0'2T \cdot 10^{-2} m^2 \cdot 40\pi \frac{rad}{s}$

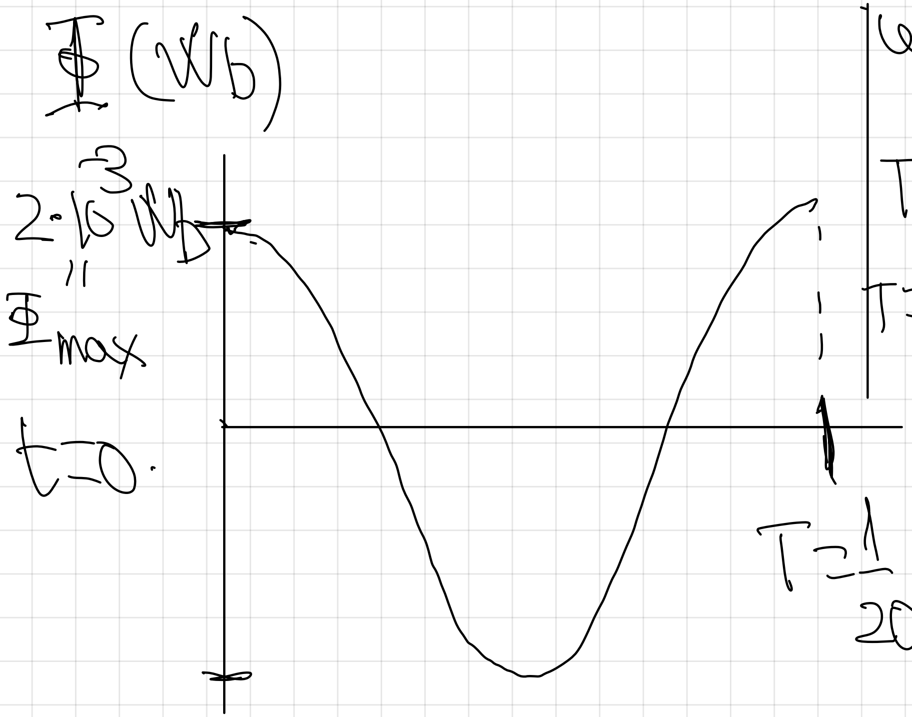
$$\boxed{\varepsilon_{max} = 0'25V}$$

$\Phi_{max} = 2 \cdot 10^{-3}$ Wb

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega t)$

función a representar

$$\boxed{\Phi = \underbrace{2 \cdot 10^{-3}}_{\Phi_{max}} \cos(40\pi t) \text{ (Wb)}}$$



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

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

$T = \frac{2\pi}{40\pi} = \frac{1}{20}$ s

$\varepsilon_{max} = 0'25$ V

$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \text{sen}(\omega t)$

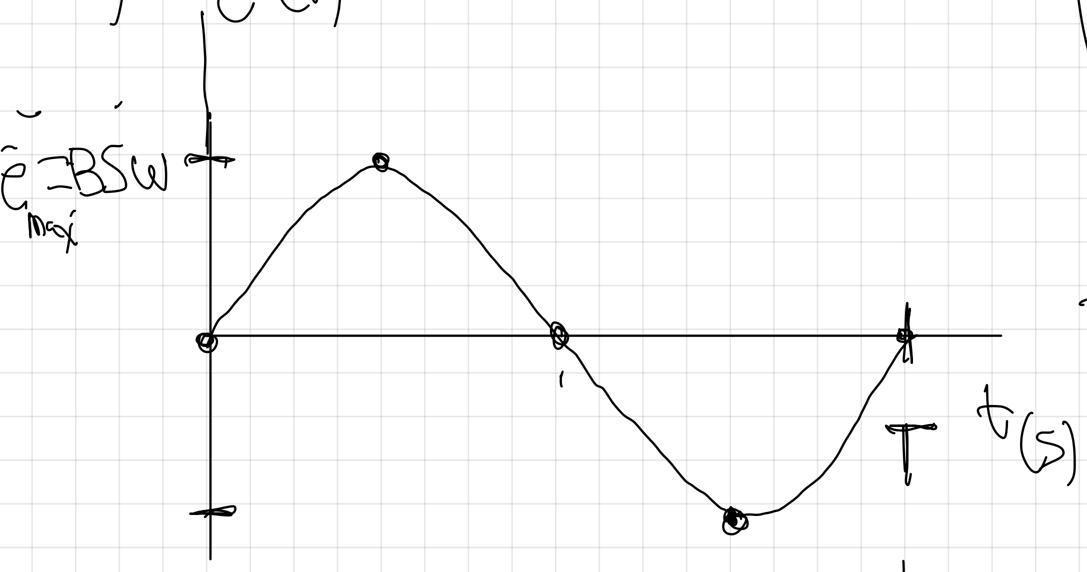
$\varepsilon = \underbrace{B \cdot S \cdot \omega}_{\varepsilon_{max}} \text{ sen}(\omega t)$

$\varepsilon = 0'2 \cdot 10^{-2} \cdot 40\pi \cdot \text{sen}(40\pi t)$

función a representar

$$\boxed{\varepsilon = \underbrace{0'25}_{\varepsilon_{max}} \cdot \text{sen}(40\pi t) \text{ (V)}}$$

b)



Al reducir ω a la mitad.

$$\mathcal{E}_{max} = B\cdot S\cdot \omega$$

$$\mathcal{E}'_{max} = B\cdot S\cdot \frac{\omega}{2}$$

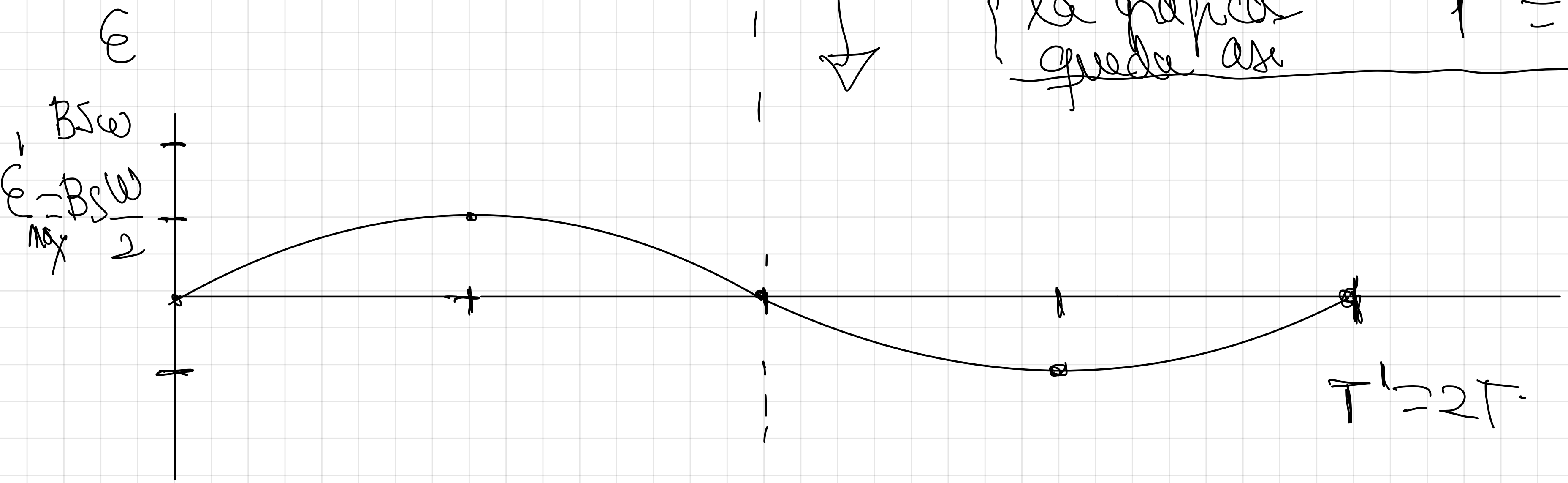
Sin embargo al reducir ω a la mitad el periodo sería el doble

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$$

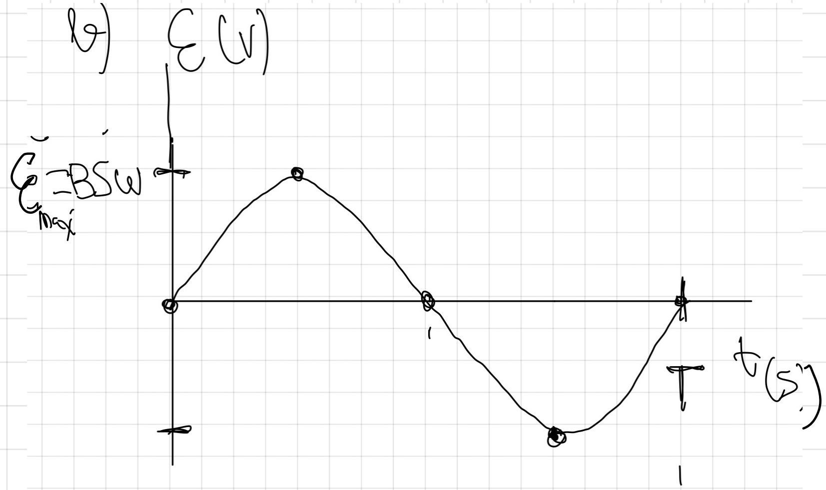
$$T' = \frac{2\pi}{\omega/2} = 2\cdot\frac{2\pi}{\omega}$$

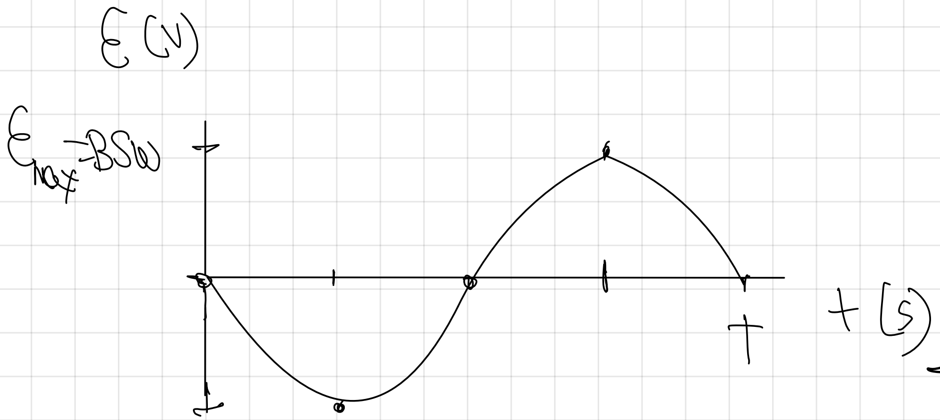
$$T' = 2T.$$

Combinando ambos cambios la gráfica queda así



b)





Al invertir el sentido del campo magnético $\vec{B}$, se invertirá también el sentido de la corriente inducida, de forma que la gráfica se modificaría así.

41, 63, 67.