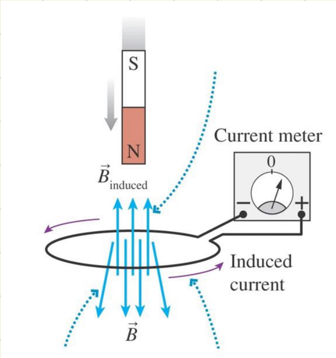
Ley de inducción de Faraday

física II

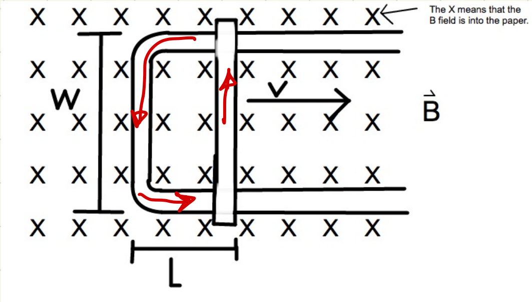
ing. Claudia Contreras

Ley de Inducción de Faraday

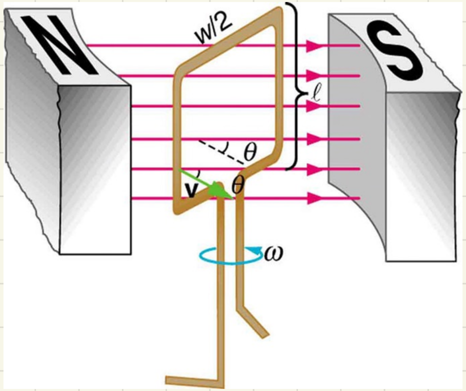
- Es posible inducir una corriente eléctrica en una espira si esta se encuentra en una región donde existe un campo magnético cambiante en el tiempo.



- Es posible inducir una corriente eléctrica en una espira si esta se encuentra en una región donde existe un campo magnético uniforme y el área de la espira varía con el tiempo.



- Es posible inducir una corriente eléctrica en una espira de área A, si esta se encuentra en una región donde existe un campo uniforme, pero el ángulo entre el vector del área de la espira y el vector de campo de la espira varía con el tiempo.



$$\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \rightarrow \mathcal{E}_{IND}$$

Ley de Inducción de Faraday

Para resumir lo indicado con anterioridad se induce una corriente eléctrica en una espira si el flujo magnético a través de ésta varía con el tiempo.

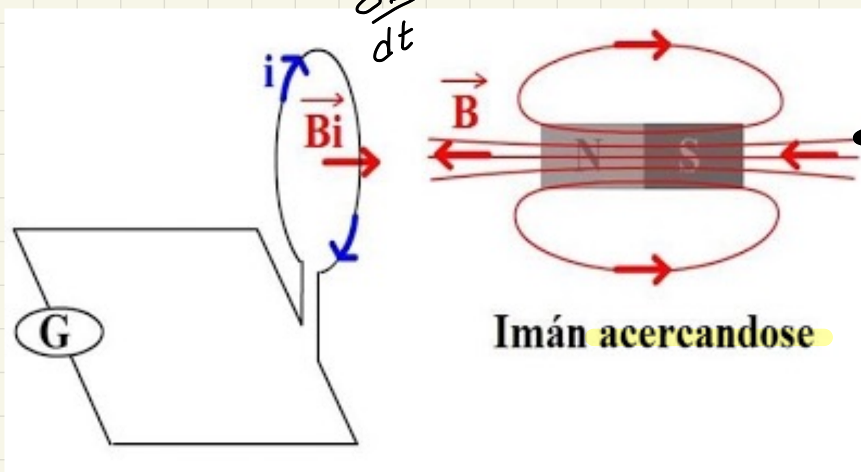
ε = Fuente = Voltaje

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt}$$

$$\varepsilon_{PROMEDIO} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

Ley de Lenz

$\frac{dB}{dt} = +$



Si el flujo esta aumentando Bind va en dirección opuesta a B.

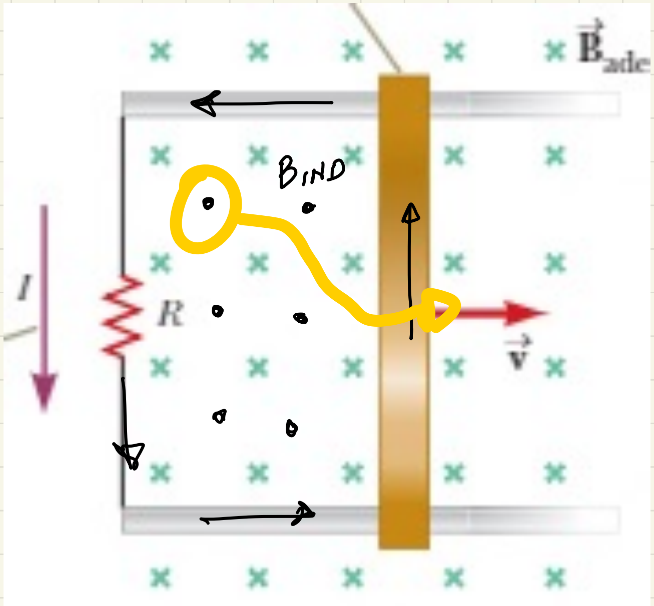
Si el flujo está disminuyendo Bind va en la misma dirección de B

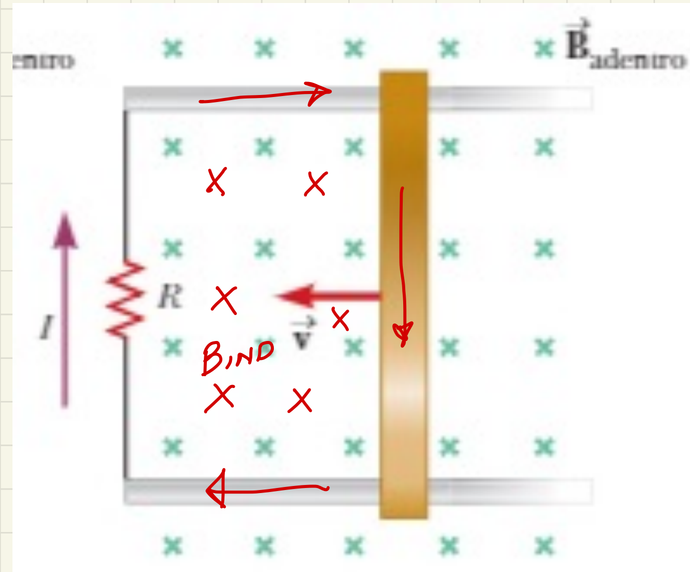
Todo efecto de inducción se opone a la causa que lo provocó.

Ley de Lenz

$\frac{dA}{dt} = +$ $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \rightarrow +$

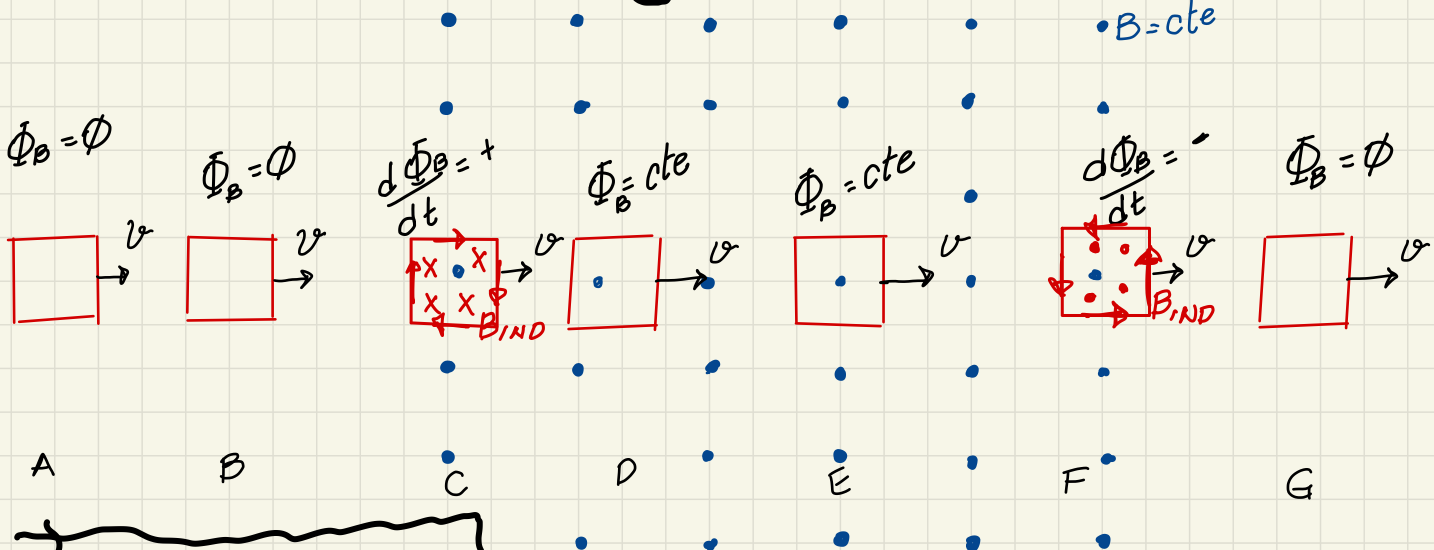
$\frac{dA}{dt} = -$ $\frac{d\Phi}{dt} = -$





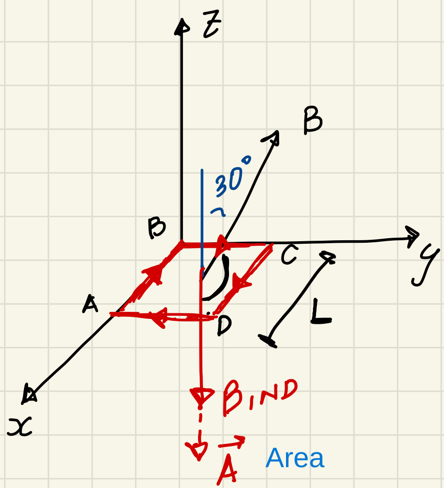
Flujo del Campo Φ

$\Phi_B = BA\cos\theta$



Flujo aumenta=Area aumenta

Ejemplo 1. Una bobina formada por 50 vueltas de alambre en forma de cuadrado se coloca en un campo magnético que aumenta de manera uniforme de 200 micro Teslas a 600 micro Teslas en 0.4s. En la bobina se induce una fem de 80 mV. La bobina yace en el plano xy y el campo magnético forma un ángulo de 30 grados con el eje positivo de “z”. Calcule la longitud del alambre.



$N = 50$

$\frac{\Delta B}{\Delta t} = +$

$B_0 = 200 \mu T$

$B_f = 600 \mu T$

$\Delta t = 0.4 s$

$\vec{B}_{IND}$ misma dirección $\vec{A}$

$\mathcal{E}_{IND} = 80 mV$

$$\mathcal{E}_{IND} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d}{dt}(BA\cos\theta)$$

$$\mathcal{E}_{IND} = -NA\cos\theta \frac{dB}{dt} = -NA\cos\theta \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

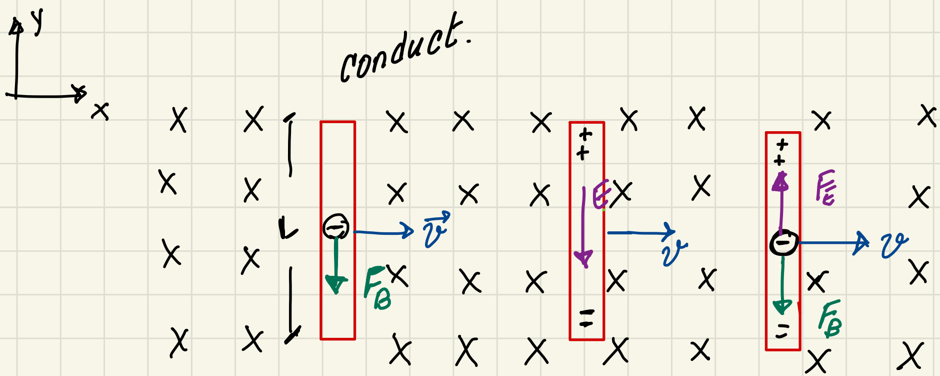
$$80\times10^{-3} = -(50)L^2 \cos 150° \left[\frac{600\times10^{-6} - 200\times10^{-6}}{0.4}\right]$$

$L = 1.359 m$ una vuela $4L$

longitud $= 50(4L) = \underline{271.8 m}$

Fem de Movimiento

Ejemplo 2. Determine la fem inducida en una varilla metálica que se mueve con velocidad constante en dirección positiva de "x", en una región donde existe un campo magnético uniforme que apunta hacia adentro de la página ("-z").



$$\Delta V = EL$$

$$\boxed{\mathcal{E}_{IND} = vBL}$$

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

$$= qvB \operatorname{sen} 90$$

$$F_E = F_B$$

$$\cancel{q}E = \cancel{q}vB$$

$$E = vB$$

$$\frac{\Delta V}{L} = vB$$

$$\Delta V = vBL$$

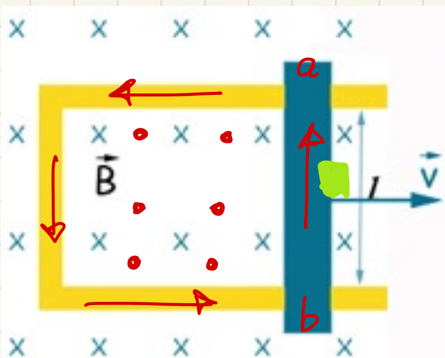
Fem de movimiento

Ejemplo 3. Una barra conductora de la figura hace contacto con dos rieles metálicos separados 50cm en un campo uniforme de B=1Tesla perpendicular al plano de la página. La resistencia total del circuito es de 0.4 ohms (supuesta constante).

a) ¿Cuál es la magnitud y el sentido de la fem inducida en la barra cuando se mueve a una rapidez de 8m/s? ¿Y la corriente inducida?

b) ¿Qué fuerza se necesita para mantener la barra en movimiento?

c) ¿Con qué ritmo se está convirtiendo energía mecánica en energía eléctrica?



$\frac{dA}{dt} = +$

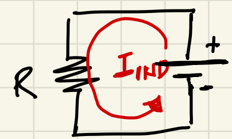
a) $\mathcal{E}_{IND} = vBL$

$= (8)(1)(0.5) = 4V$

$L = 0.5m$

$B = 1T$

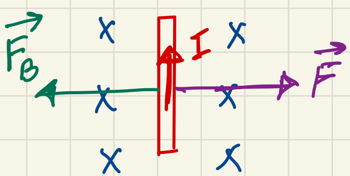
$R = 0.4\Omega$

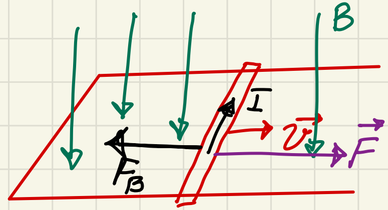


$I_{IND} = \frac{\mathcal{E}_{IND}}{R} = 10A$

b) $\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B} = (10)(0.5)(1)\,\text{sen}\,90$

$= 5N$





$\Sigma F = \emptyset$

$|F| = |F_B|$

$\vec{F} = 5N$ hacia la derecha

c) $\text{Potencia} = I^2R = 10^2(0{,}4) = 40 \text{ watts}$

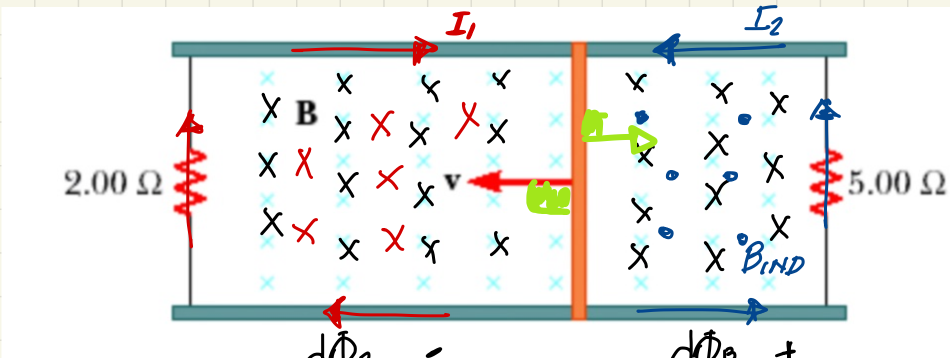
$= \mathcal{E}_{IND} I_{IND} = 4(10) = 40\ W.$

$\text{Potencia mecánica} = \vec{F} \cdot \vec{v} = Fv = 5(8) = 40\ W$

Fem de movimiento

Ejemplo 4. Una varilla de longitud 35 cm se desplaza libremente como se muestra en la figura. Un campo magnético de 2.5 Teslas está dirigido perpendicularmente hacia la página. La varilla se mueve hacia la izquierda con una rapidez de 8 m/s. Determine la corriente en ambos resistores y la potencia entregada al circuito. Calcule la fuerza que se requiere para que la barra se mueva con rapidez constante.

$L = 35cm \qquad v = 8\, m/s$



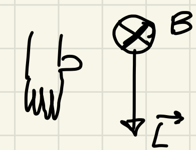
$\frac{d\Phi_B}{dt} = - \qquad \frac{d\Phi_B}{dt} = +$

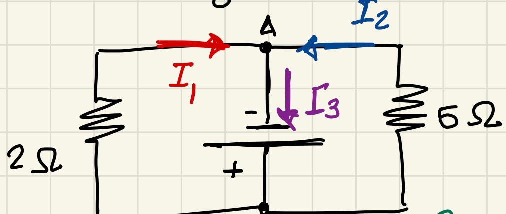
$\mathcal{E}_{IND} = vBL$

$= 8(2.5)(0.35) = \underline{7V}$

$I_1 = \frac{7}{2} = \underline{3.5A}$

$I_2 = \frac{7}{5} = \underline{1.4A}$





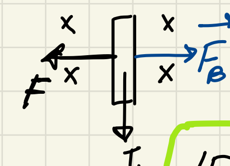
Nodos A

$I_3 = I_1 + I_2$

$I_3 = 4.9A$

$\text{Pot. entrega} = \mathcal{E}_{IND} * 4.9$

$= \underline{34.3 \text{ Watts}}$



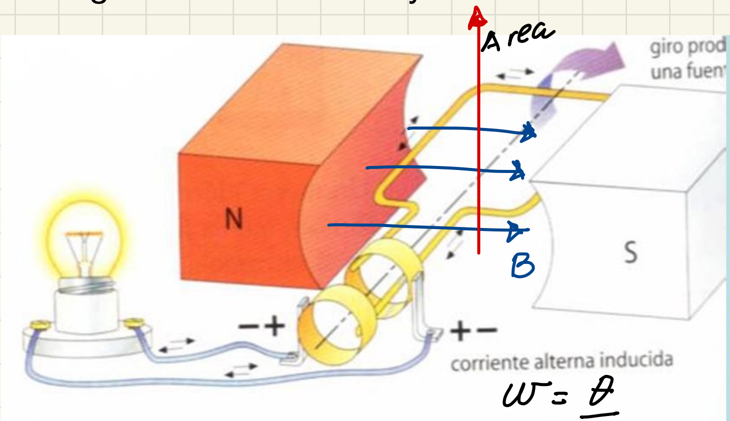
$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$

$|F| = |F_B|$

$\boxed{|F| = ILB \operatorname{sen} 90}$

$|F| = 4.9(0.35)(2.5) = \underline{4.29N}$

Ejemplo 5. La versión simple de un alternador simple (generador) un dispositivo que genera una fem consta de una espira rectangular que gira con una rapidez angular *w* en torno a su eje. El campo magnético es uniforme y constante. Encuentre el valor de la fem inducida y su valor máximo.



$$\mathcal{E}_{IND} = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$= -N\frac{d(BA\cos\theta)}{dt} = -NBA\frac{d}{dt}\cos wt$$

$$\boxed{\mathcal{E}_{IND} = +NBAw\,\mathrm{sen}\,wt}$$

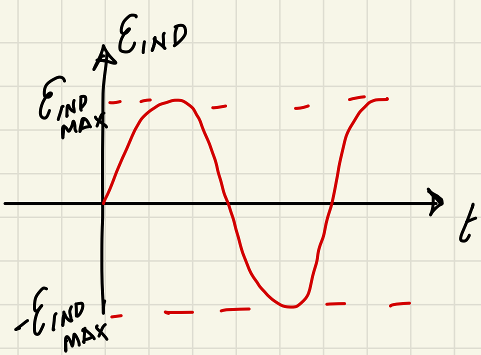
$$wt = \theta = 90$$

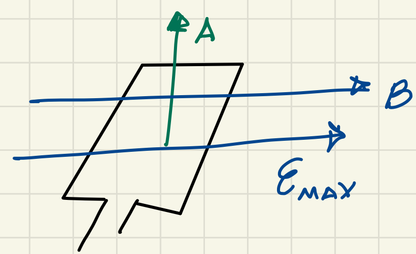
$$\boxed{\mathcal{E}_{IND_{MAX}} = NBAw}$$

$$w = \frac{\theta}{t}$$

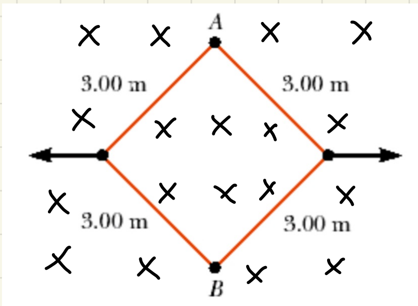
$$\theta = wt$$

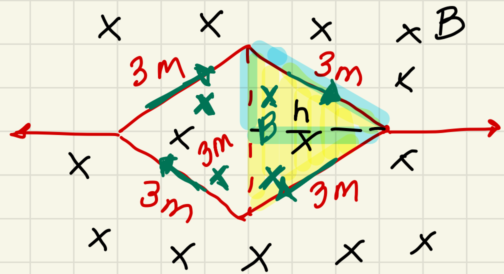
$$\mathrm{rad}/s$$





Ejemplo 6. La espira cuadrada de la figura tiene una resistencia de 10 ohms y se coloca en un campo magnético de 0.10 Teslas entrante al plano de la página. Si la espira se hala por los extremos hasta que la separación entre los puntos A y B es de 3.00 m en un tiempo de 0.1s. ¿Cuál es la fem inducida? ¿Cuál es la magnitud y dirección de la corriente inducida?





$R = 10\Omega$ $\qquad \Delta t = 0.1\,s$

$B = 0.1\,T$

$A_0 = 9\,m^2$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{A_f - A_0}{\Delta t} = -12{,}058\ \frac{m^2}{s}$$

$$A_f = 2\left[\frac{3 * h}{2}\right]$$

$$h = \sqrt{9 - 1.5^2}$$

$$A_f = \cancel{2}\left[\frac{3\sqrt{9-1.5^2}}{\cancel{2}}\right]$$

$$A_f = 7.7942\,m^2$$

$$\varepsilon_{PROMEDIO} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{PROMEDIO} = -(1)\frac{\Delta(BA\cos\theta)}{\Delta t}$$

$$\theta = 0^\circ$$

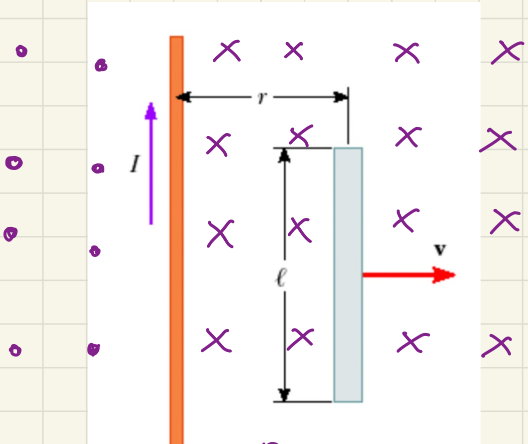
$$\boxed{\varepsilon_{IND} = -B\cos 0^\circ \frac{\Delta A}{\Delta t}}$$

$$= -0.1(1)(-12.058)$$

$$\varepsilon_{IND} = 1.2058\,V$$

$$I_{IND} = \frac{\varepsilon_{IND}}{R} = 120.6\,mA$$

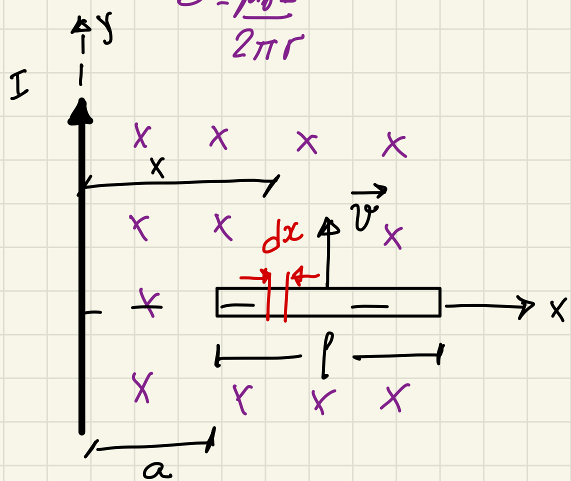
Ejemplo 7. Calcule la fem inducida en la barra metálica



$$\mathcal{E}_{IND} = vBL$$

$$\mathcal{E}_{IND} = v\left[\frac{\mu_0 I}{2\pi r}\right]L$$

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



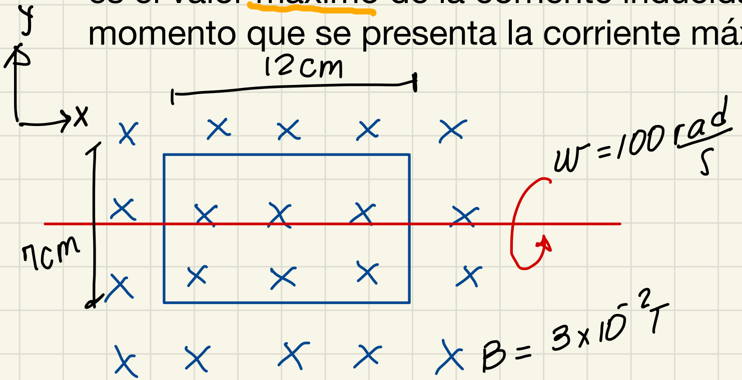
$$\mathcal{E}_{IND} = ?$$

$$d\mathcal{E}_{IND} = vB\,dx = v\frac{\mu_0 I}{2\pi x}dx$$

$$\mathcal{E}_{IND} = \int_a^{a+L} \frac{v\mu_0 I}{2\pi x}dx = \frac{v\mu_0 I}{2\pi}\ln\left(\frac{a+L}{a}\right)$$

Ejemplo 8.

Una espira cerrada de diez vueltas de alambre de 7 x 12 cm gira alrededor de un eje como se indica, con una velocidad angular de 100 rad/seg. La resistencia del alambre es de 7ohms. Se presenta un campo uniforme B perpendicular al eje de rotación, la magnitud de este campo es de 3 E-2 T. ¿Cuál es el valor máximo de la corriente inducida en la espira? ¿Cuál es la orientación de la espira en el momento que se presenta la corriente máxima?



$R = 7\Omega$ $\qquad w = \frac{\theta}{t}$ $\qquad \theta = wt$

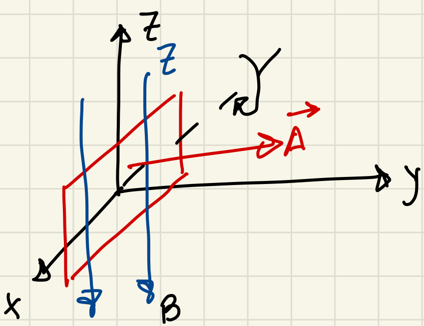
$$\varepsilon_{IND} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -N\frac{d}{dt}(BA\cos wt)$$

$$\varepsilon_{IND} = +NBAw\,\underline{\text{sen}\,wt} \qquad \text{Sen}(90) = 1$$

$$\varepsilon_{IND_{MAX}} = NBAw$$

$$I_{IND_{MAX}} = \frac{\varepsilon_{IND_{MAX}}}{R} = \frac{NBAw}{R} = \frac{(10)(3\times10^{-2})(0.07*0.12)(100)}{7}$$

$$I_{IND_{MAX}} = \underline{36\,mA}$$

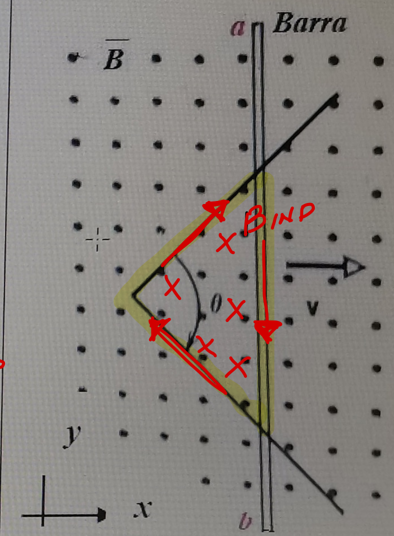


La orientación de la espira debe ser paralela al campo, para que el vector de área y el vector de campo sean perpendiculares.

PROBLEMA 8: **(15 puntos)**

$\vec{A}$ va en la misma dirección B_{IND}

Dos rieles conductores rectos forman un ángulo θ en donde se unen sus extremos. Una barra conductora ***ab*** en contacto con los rieles y formando un triángulo isósceles con ellos arranca en el vértice en el momento t = 0 y se mueve a velocidad constante v = 4.20 m/s hacia la derecha, como lo muestra la figura. Un campo magnético B= 352 mT apunta hacia afuera



a) Encuentre la fem inducida en la barra (en V), cuando ha transcurrido un tiempo de t = 3.70 s y la barra hace un θ = 110° como lo muestra la figura. *(10 puntos)*

Respuesta: 65.62 ± 0.05

ϕ angulo entre $\vec{B}$ y $\vec{A}$

$\Phi = 180°$

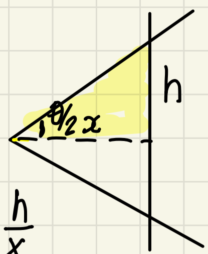
b) Determine la dirección de la corriente inducida en la barra *(5 puntos)* (usar la referencia ± ***i*** , ± ***j*** , ± ***k*** , conforme los ejes indicados)

Respuesta: **- *j***

$$\mathcal{E}_{IND} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -(1)\frac{d(BA\cos\phi)}{dt} = -B\cos\phi\,\frac{dA}{dt}$$

$$A = \cancel{2}\left(\frac{xh}{\cancel{2}}\right)$$

$$A = \underset{x}{x}(\underset{h}{x\tan 55}) = x^2\tan 55$$



$$\tan 55° = \frac{h}{x}$$

$$h = x\tan 55$$

$$\frac{dx}{dt} = v_x = 4.2\,\frac{m}{s}$$

$\frac{dx}{dt} = V_x$

V_x = La direcon

$$\mathcal{E}_{IND} = -B\cos 180 \frac{d}{dt}(x^2 \tan 55)$$

$$= +B\tan 55 \frac{d}{dt}(x^2) = B\tan 55 * 2x \underbrace{\frac{dx}{dt}}_{v_x}$$

$$= B\tan 55 * 2x\, v_x$$

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{IND}(t=3.7) = (352\times10^{-3})\tan 55 * 2 * 15.54 * 4.2$$

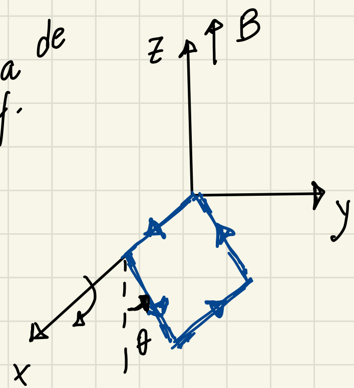
$$x = v_x t$$

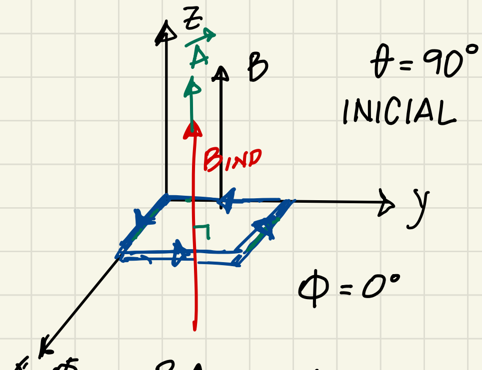
$$x = 4.2(3.7) = 15.54\,m$$

$$= \underline{65.62\,V}$$

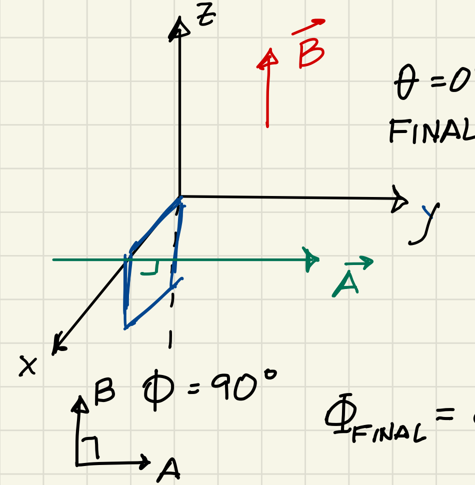
Ejemplo 9. Una espira cuadrada de 10 cm por lado y 100 vueltas de alambre se encuentra en una región donde existe un campo magnético de 10mT en dirección "+z". La espira gira en torno el eje positivo de "x" con uno de sus vértices en el origen. La resistencia de la bobina es de 10 ohms. Si la bobina cambia de posición desde theta = 90 grados a theta = 0 grados en 200ms. Calcule la fem inducida en la espira, la corriente inducida y su dirección.

figura de ref.





$$\Phi_0 = BA\cos\Phi = (10\times10^{-3})(0.1)^2 = 1\times10^{-4}\ Wb$$



$$\Phi_{FINAL} = \emptyset$$

$$\mathcal{E}_{IND} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -(100)\left[\frac{\cancel{\Phi_f} - \Phi_0}{\Delta t}\right] = -100\left[\frac{-1\times10^{-4}}{200\times10^{-3}}\right] = \underline{0.05\,V}$$

$$I_{IND} = \frac{\mathcal{E}_{IND}}{R} = \frac{0.05}{10} = \underline{5\,mA}$$

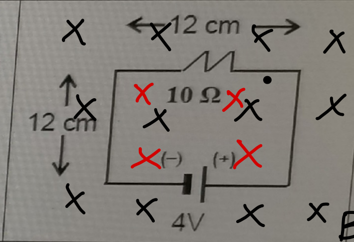
Webbers = Flujo

PROBLEMA 5: (15 puntos)

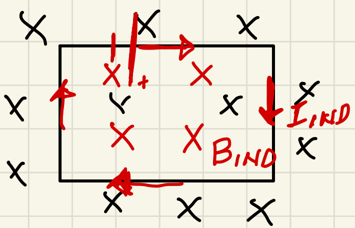
El circuito de la figura está en un campo magnético uniforme, que está dirigido hacia adentro de la página ⊗ , y disminuye a razón de 125 T/s. La corriente total resultante (en A) en el circuito es,

Respuesta = 0.22 tolerancia = ± 0.003

$$\frac{dB}{dt} = -125\ \frac{T}{s}$$



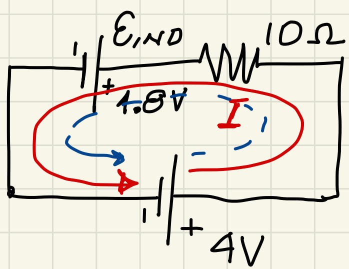
Análisis solo de la inducción



$\vec{A}$ entre $\vec{B}$

$\theta = 0°$

$\boxed{\text{Misma direccion su angulo de campo magnetico es 0}}$



$$\mathcal{E}_{IND} = -N\frac{d(BA\cos\theta)}{dt}$$

$$= -(1)(0.12)^2\cos 0°\frac{dB}{dt}$$

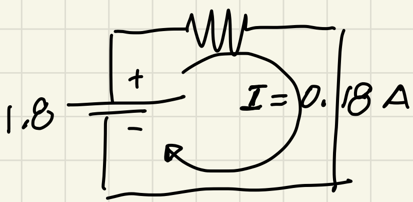
$$\mathcal{E}_{IND} = -0.12^2(-125) = 1.8\ V$$

$$+4 - 10I - 1.8 = 0$$

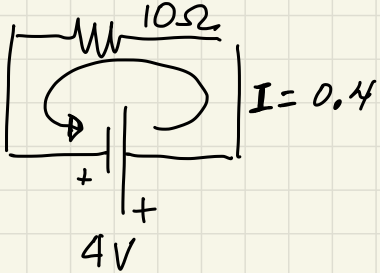
$$2.2 = 10I$$

$$I = 0.22\ A$$

solo inducción



solo fem de 4V



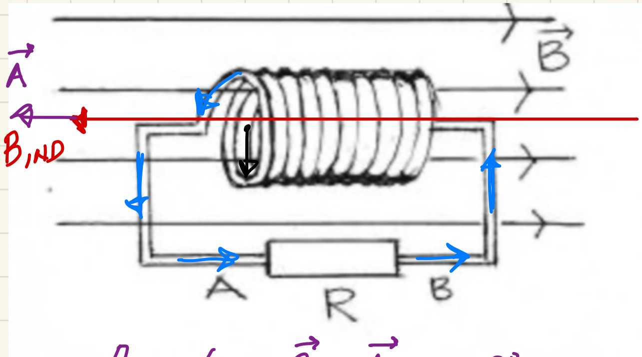
+

0.18 A

0,4 A

0,22 A

Ejemplo 10. Un solenoide de 10 vueltas de alambre y un centímetro de radio tiene conectado en sus extremos una resistencia de 0.3 ohms. El solenoide está inmerso en un campo magnético que varía de 0 Teslas a 2 Teslas en 5ms. Calcule el valor de la fem inducida. Calcule la dirección y magnitud de la corriente inducida.



θ entre $\vec{B}$ y $\vec{A} \Rightarrow 180°$

radio $= 0.01\,m$

$N = 10$

$R = 0.3\,\Omega$

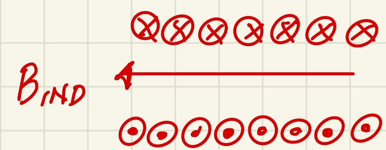
$B_0 = 0$

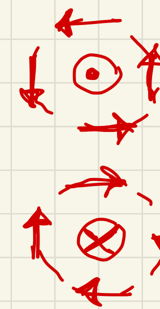
$B_f = 2\,T$

$\Delta t = 5\,ms$

$$\frac{\Delta B}{\Delta T} = + = \frac{2-0}{5\times 10^{-3}}$$

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = +400\,\frac{T}{s}$$





$$\mathcal{E}_{IND} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -N\frac{\Delta(BA\cos\theta)}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{IND} = -NA\cos 180\,\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

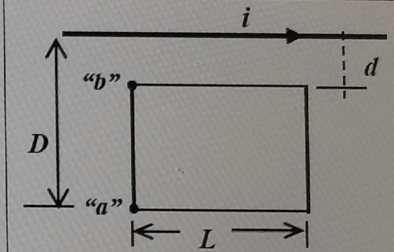
$$\mathcal{E}_{IND} = -(10)\pi(0.01)^2(-1)(400) = 1.26\,V$$

$$I_{IND} = \frac{\mathcal{E}_{IND}}{R} = 4.19\,A$$

SI EL FLUJO MAGNÉTICO ESTÁ AUMENTANDO, ENTONCES, LOS VECTORES DE CAMPO INDUCIDO DEBEN OPONERSE (IR EN DIRECCIÓN CONTRARIA) A LOS VECTORES DE CAMPO MAGNÉTICO DE LA REGIÓN.

SI EL FLUJO MAGNÉTICO DISMINUYE ENTONCES, LOS VECTORES DE CAMPO MAGNÉTICO INDUCIDO VAN EN LA MISMA DIRECCIÓN QUE LOS VECTORES DE CAMPO MAGNÉTICO DE LA REGIÓN.

Una espira de resistencia 2.0 mΩ está situada como lo muestra la figura respecto de un alambre largo que transporta una corriente y en el instante mostrado $i = 0.80$ A.

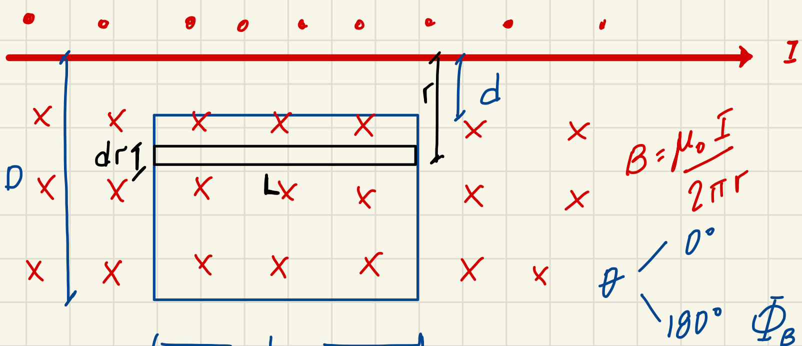


a) ¿Cuál es el flujo magnético (en μTm²) a través de la espira?
Tomar d= 1cm, D= 6 cm, L = 1.5 m. Recuerde que el flujo magnético no es constante en la espira.

Respuesta= 0.43 tolerancia = ± 0.03

b) ¿Cuál es el valor absoluto de la FEM inducida en la espira (en μV) en el instante que la corriente se incrementa a razón de 100 A/s? Tomar d= 1cm, D= 6 cm, L = 1.5 m

Respuesta= 53.75 tolerancia = ± 0.05



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

θ 0° / 180°

$dA = L\,dr$

$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}$ $\qquad d\Phi_B = B\,dA\cos\theta$

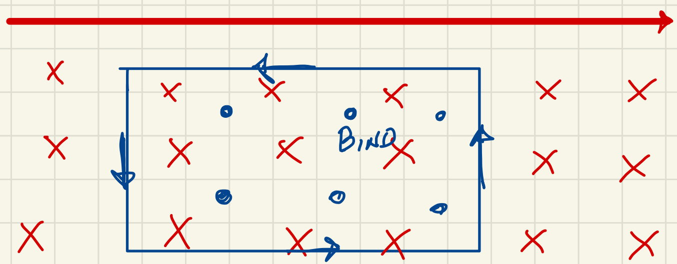
$d\Phi_B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} L\,dr\cos\theta$ $\qquad \Phi_B = \int d\Phi_B$

$$\Phi_B = \int_d^D \frac{\mu_0 I L \cos\theta\, dr}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I L \cos\theta}{2\pi} \int_d^D \frac{dr}{r}$$

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 I L \cos\theta}{2\pi} \ln \frac{D}{d}$$

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 I L \cos\theta}{2\pi} \ln\frac{D}{d} = \frac{4\pi\times10^{-7}(0.8)(1.5)(1)}{2\pi} \ln\frac{0.06}{0.01} = \underline{4.3\times10^{-7}\,Wb}$$

b)



$$\frac{dI}{dt} = +100\,\frac{A}{s}$$

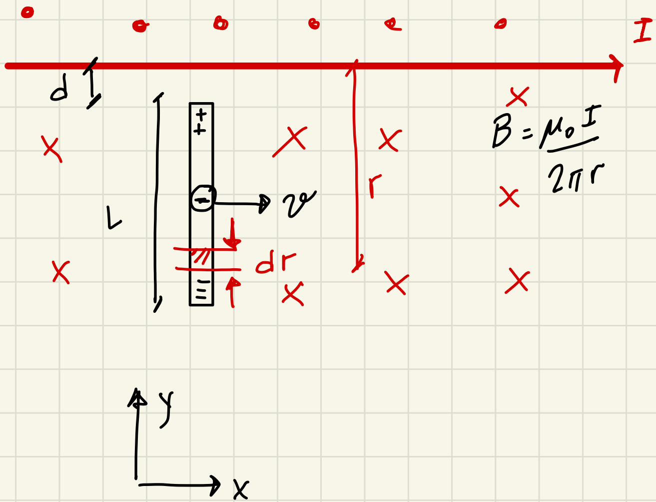
$\theta = 180°$

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 I L \cos\theta}{2\pi} \ln\frac{D}{d}$$

$$\mathcal{E}_{IND} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{N\mu_0 L\cos\theta}{2\pi} \ln\frac{D}{d}\,\frac{dI}{dt}$$

$$\mathcal{E}_{IND} = -\frac{(1)\,4\pi\times10^{-7}(1.5)\cos180°}{2\pi} \ln 6 \times 100$$

$$\mathcal{E}_{IND} = \underline{53.75\,\mu V}$$



problema 7 1Retra. 2022

$$\mathcal{E}_{IND} = vBL$$

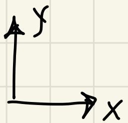
$$d\mathcal{E}_{IND} = v\frac{\mu_0 I}{2\pi r}dr$$

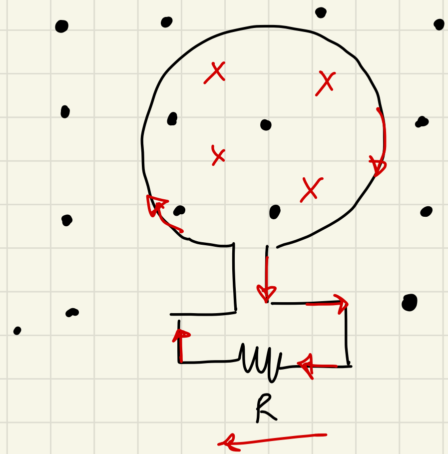
$$\mathcal{E}_{IND} = \int_d^{d+L} d\mathcal{E}_{IND} = \int_d^{d+L} \frac{v\mu_0 I}{2\pi r}dr$$

$$\mathcal{E}_{IND} = \frac{v\mu_0 I}{2\pi}\ln\left|\frac{d+L}{L}\right|$$

problema 6   2S - 2021

Φ_B aumenta





a) $\Phi_B = (3t+1)(t-2)$ Φ_B (miliwebers)

radio = 2m

$$\Phi_B = 3t^2 + t - 6t - 2$$

$$\Phi_B = 3t^2 - 5t - 2$$

$$\mathcal{E}_{IND}\,(t = 5.5s) = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -(1)\left[6t - 5\right]$$

$$\mathcal{E}_{IND} = -28\ mV$$

$$|\mathcal{E}_{IND}| = 28\ mV$$

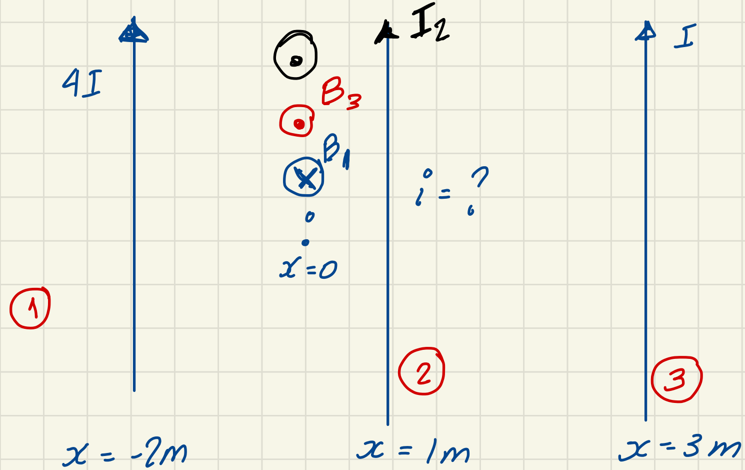
b) $L = 18\ m$

$\rho = 1.7\times10^{-8}\ \Omega\cdot m$

diametro = 6 mm

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{(1.7\times10^{-8})(18)}{\pi(3\times10^{-3})^2} = \underline{10.82\ m\Omega}$$

$$I_{IND} = \frac{\mathcal{E}_{IND}}{R} = \underline{2.587\ A}$$



$I = 2.5\ A$

$$\vec{B}_0 = \varnothing$$

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$$

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(2)}(-\hat{k})$$

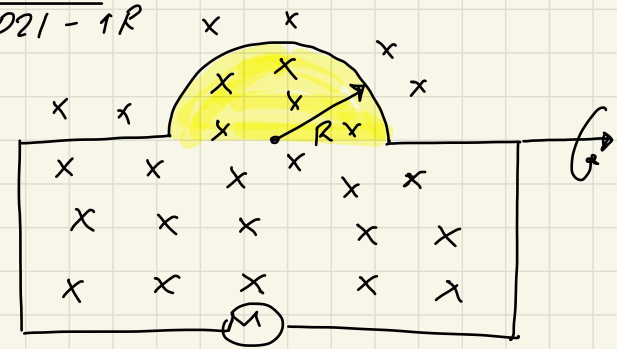
$$\vec{B}_3 = \frac{\mu_0 I_3}{2\pi(3)}(+\hat{k})$$

$$\vec{B}_1 + \vec{B}_3 = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(-\frac{4(2,5)}{2} + \frac{2,5}{3}\right)\hat{k}$$

$$\vec{B}_1 + \vec{B}_3 = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(-5 + \frac{5}{6}\right)\hat{k}$$

Problema 6

Nov. 2021 - 1R



$R = 10cm$

$f = 60Hz$

$B = 0.4\ T$

$\omega = 2\pi f$

$\theta = \omega t$

$$\varepsilon_{IND} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -(1)\frac{d\, BA\cos\theta}{dt}$$

$$\varepsilon_{IND} = -BA(-\operatorname{sen} \omega t) * \omega$$

$$\varepsilon_{IND} = BA\omega \operatorname{sen} \omega t$$

$$\varepsilon_{IND_{MAX}} = BA\omega$$

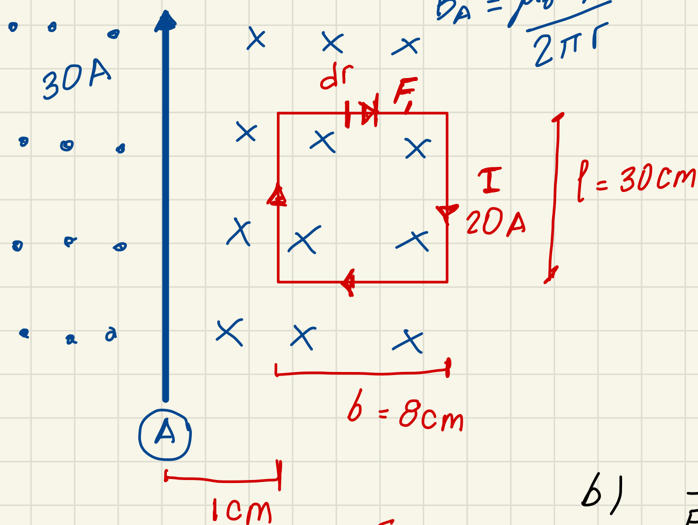
$$= 0.4\left[\frac{\pi Radio^2}{\cancel{2}}\right]\cancel{2}\pi f$$

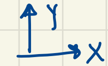
$$= 0.4 * \pi^2 (0.1)^2 (60)$$

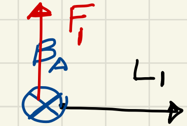
$$\varepsilon_{IND_{MAX}} = \underline{2.369\ V}$$

Problema 4   1R Nov. 2021

$B_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi r}$







a) $\vec{F_1} = I\vec{L_1} \times \vec{B}$

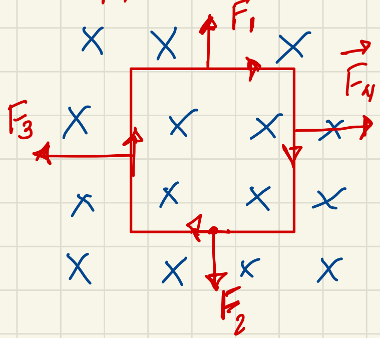
$F_1 = I L_1 B_A \operatorname{sen} 90 \uparrow$

$dF_1 = I\,dr\,B_A = I\frac{\mu_0 I_A}{2\pi r}dr \uparrow$

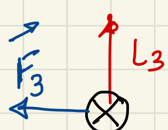
$\vec{F_1} = \frac{\mu_0 I I_A}{2\pi}\int_a^{a+b}\frac{dr}{r} \uparrow = \frac{\mu_0 I I_A}{2\pi}\ln\left|\frac{a+b}{a}\right| \uparrow$

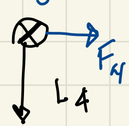
$|F_1| = \frac{\cancel{4}^{2}\pi\times10^{-7}(20)(30)}{\cancel{2\pi}}\ln\left|\frac{0.09}{0.01}\right| = 2.64\times10^{-4}N$

b) $\vec{F_R} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} + \vec{F_4}$ $\vec{F_1} + \vec{F_2} = \emptyset$



$\vec{F_3} = I\vec{L_3} \times \vec{B} = I L_3 B_A \operatorname{sen} 90° \leftarrow$

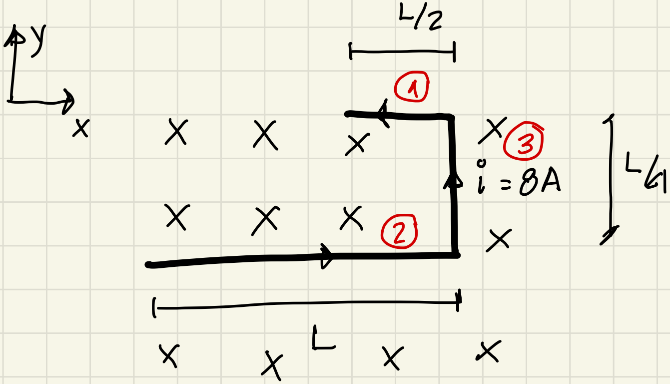




$= \frac{(20)(0.3)\mu_0(30)}{2\pi(0.01)}N \leftarrow = 3.6\,mN\,(-\hat{i})$

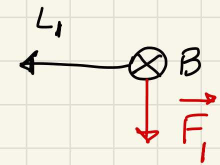
$\vec{F_4} = I\vec{L_4} \times \vec{B} = \frac{(20)(0.3)\mu_0(30)}{2\pi(0.09)}\operatorname{sen} 90° = 4\times10^{-4}N\,(\hat{i})$

$\vec{F_R} = -3.2\,mN\,\hat{i}$



$L = 2{,}5\,m \qquad B = 5.5\,T$

a) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$

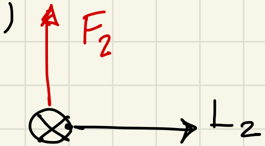


$\vec{F}_1 = I\vec{L}_1 \times \vec{B}$

$= I L_1 B\,(-\hat{j})$

$= (8)(1.25)(5.5)\,N\,(-\hat{j})$

$= -55\,N\,\hat{j}$



$\vec{F}_2 = I\vec{L}_2 \times \vec{B}$

$\vec{F}_2 = (8)(2{,}5)(5{,}5)\,(+\hat{j})\,N$

$\vec{F}_2 = 110N\,(+\hat{j})$

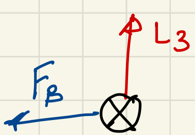
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \underline{55N\,(+\hat{j})}$

b) $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

$\vec{F}_3 = I\vec{L}_3 \times \vec{B} = I L_3 B \operatorname{sen} 90\,(-\hat{\imath})\,N$

$= -(8)(0.625)(5{,}5)\,\hat{\imath}\,N$

$= -27.5\,N\,(\hat{\imath})$



$\vec{F}_R = (-27.5\,\hat{\imath} + 55\,\hat{j})\,N$

$|F_R| = \underline{61.5\,N}$