

LABORATORIO DE FÍSICA

Ley de Faraday-Lenz.

6.04

1-Suponga que el plano de su hoja contiene un aro conductor. ¿Existe una fem ($\mathcal{E}$) inducida en el aro para los siguientes casos?. Justifique su respuesta.

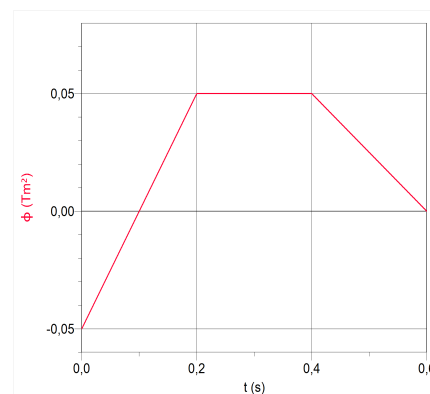
- a- El polo Norte de un imán en barra se coloca en reposo frente a su hoja.
- b- El polo sur del imán se acerca a la hoja.
- c- Un solenoide con el eje perpendicular a la hoja transporta una intensidad de corriente en sentido antihorario.
- d- El mismo solenoide, transporta una intensidad de corriente antihoraria **en aumento**.
- e- El solenoide transporta ahora una intensidad de sentido horario que rápidamente deja de circular.
- f- Un conductor horizontal ubicado encima del aro (plano de la hoja) transporta una intensidad de corriente de valor **creciente** y sentido hacia la derecha

Indique el sentido de circulación de la intensidad inducida en el aro aplicando la regla de Lenz.

Si se hace un corte en el aro, ¿existirán aún la fem y/o intensidad inducidas? ¿qué polaridad eléctrica tendrán los extremos del aro entonces?

2- La gráfica representa el flujo de campo magnético Φ_B en función tiempo a través de cierto aro conductor de 10Ω de resistencia.

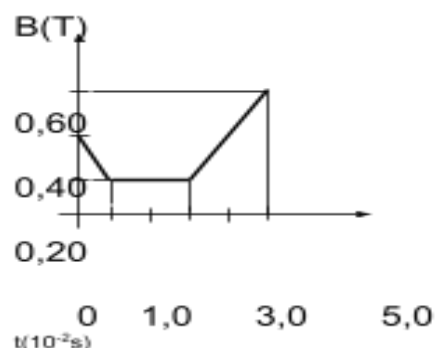
- a- Indique en qué intervalos de tiempo existirá $\mathcal{E}_{\text{ind}}$ (fem inducida) en el aro. Justifique.
- b- Calcule la $\mathcal{E}_{\text{ind}}$ en los casos que corresponda.
- c- Determine el valor de la intensidad inducida y su sentido circulación, suponiendo que el aro está contenido en el plano de su hoja y que el campo magnético inicial (en $t = 0\text{s}$) tenía sentido **saliente** (esto demuestra que el vector **S** se está considerando **entrante**, ya que el Φ_B inicial es negativo).



3-Una espira conductora cuadrada de 20 cm de lado se encuentra inmersa en una región de campo magnético uniforme de $\mathbf{B} = 5,0 \times 10^{-2} \text{T } \mathbf{i}$ (horizontal hacia la derecha). Inicialmente el plano de la espira es perpendicular a las líneas de campo. En un intervalo de tiempo de 0.020 s el plano de la espira gira hasta formar 30° con las líneas de campo.

- a- Calcule el flujo de campo magnético Φ_B inicial y final.
- b- Calcule la $\mathcal{E}_{\text{ind}}$ (fem inducida) en la espira durante el giro (se trata siempre de un valor medio por lo cual en adelante no se hará esta aclaración).
- c- Si la espira tiene una resistencia de $5,0 \Omega$, ¿qué valor tendrá la intensidad de corriente inducida en ella? ¿en qué sentido circuló?

4-La bobina circular de la figura, de 10 cm de radio tiene 10 espiras y se encuentra en una zona donde existe un campo magnético perpendicular al plano que la contiene y cuyo módulo varía como lo indica la gráfica. Según el fabricante, la **resistencia por metro** del alambre es de $4,0 \Omega/\text{m}$



a- Grafique la fem inducida en el arrollamiento en función del tiempo.

b- Calcule la intensidad de corriente eléctrica inducida en la bobina y represente en un dibujo su sentido de circulación para los intervalos de tiempo que corresponda.

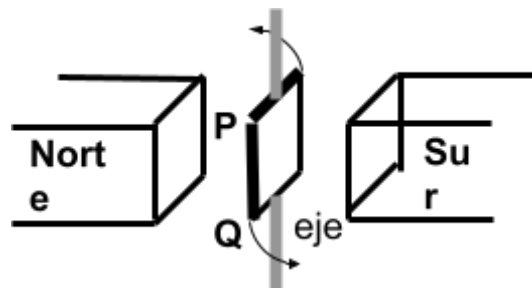
5- Un solenoide de 20 cm de largo y 600 espiras contiene en su interior una espira circular de 2,0 cm de radio. El plano de la espira es perpendicular al eje del solenoide.

Por el solenoide circula inicialmente una intensidad de 10 A cuyo sentido se invierte en 0,40 s.

- a- Calcule la $\mathcal{E}_{\text{ind}}$ en la espira.
- b- Determine el sentido de la intensidad inducida en la misma.
- c- Calcule el **Campo Eléctrico inducido** en el contorno de la espira (Sugerencia: recuerde que la $\mathcal{E}_{\text{ind}}$ es igual a la circulación de campo eléctrico por la espira, y que dicho campo tiene el sentido de la intensidad por la espira).

6- Una espira conductora cuadrada de 10cm de lado y 20Ω de resistencia, gira alrededor de un eje vertical como indica la figura (visto desde arriba en sentido antihorario), demorando 0,20 segundos en dar una vuelta completa.

En la zona existe un campo magnético de 0,30 T generado por los imanes.



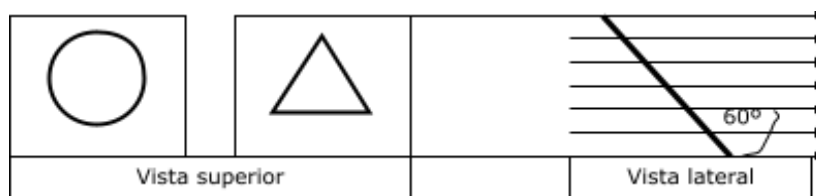
a. Determina la **intensidad de corriente media** que ha circulado por la espira cuando han pasado 0,050 segundos.

b. Indica el sentido en que circulará la corriente por el segmento PQ de la espira durante esos primeros 0,050 s. Justifica con claridad.

7- El conductor de la figura transporta una intensidad de corriente vertical hacia abajo que decrece en función del tiempo. A su izquierda se encuentra una espira circular conductora cerrada, contenida en el plano de su hoja. ¿Existirá $\mathcal{E}_{\text{ind}}$ en la misma? ¿e intensidad inducida? Justifique su respuesta. En caso afirmativo, indique cuál será el sentido de la intensidad inducida, si podría calcularse y qué datos necesitaría para hacerlo.



8- Con un resorte de 2.0Ω de resistencia se construye una espira conductora cerrada de perímetro variable. La espira puede adoptar diversas formas planas, y es introducida en una región de campo magnético uniforme de 5.0×10^{-2} T, con dirección que forma 60° con el plano que la contiene.



Inicialmente la espira adopta forma circular de 0.20 m de diámetro y en 15 ms adopta forma de triángulo equilátero de igual perímetro de la circunferencia inicial.

a. Calcule la fem media inducida en la espira y la intensidad de corriente media que circulará por ella.

b. Determine y represente en un dibujo el sentido de circulación de la corriente eléctrica por la espira, JUSTIFICANDO sus afirmaciones.

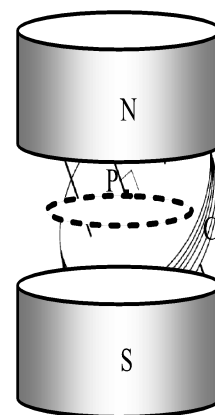
9- El electroimán cilíndrico de la figura produce entre sus polos un campo magnético

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

variable que aumenta a una velocidad $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 2.0 \times 10^{-2}$ T/s. Considere una trayectoria circular imaginaria C de radio 3.0 mm ubicada entre polos y centrada con respecto al eje del cilindro, con el punto P perteneciente a ella como se indica.

a. Calcule el **Campo Eléctrico** inducido en la trayectoria C y represéntelo en el punto P

b. Calcule y represente la aceleración que sufrirá un electrón ubicado en reposo en dicho punto.



Soluciones:

01- a- No. Si el imán está en reposo, no hay variación de flujo magnético en el aro.

b- Si. El polo sur se está acercando, el flujo está aumentando. El campo saliente de la hoja aumenta cuando se acerca el imán y se induce una corriente en el aro en sentido horario.

c- No. Si la intensidad de corriente que circula por el solenoide permanece constante, no varía el flujo.

d- Si. Como la intensidad aumenta, el campo (saliente de la hoja) está aumentando y se induce una corriente en el aro que circula en sentido horario.

e- Si. Si la intensidad deja de circular, el campo (entrante) desaparece, hay una variación de flujo y se induce una corriente en el aro que circula en sentido horario.

f- Si. El conductor genera un campo entrante creciente y por ese aumento del flujo magnético se induce en el aro una corriente que circula en sentido antihorario.

Si se hace un corte en el aro en las situaciones de variación de flujo, aparecerá una diferencia de potencial en los extremos del aro (fem inducida) pero no se establecerá corriente inducida dado que no tenemos un circuito cerrado. Por ejemplo, si se realiza un corte en el borde inferior del aro, el extremo izquierdo adquiere polaridad eléctrica positiva y el derecho, negativa.

02-

a- Existirá fem inducida entre $t=0s$ y $t=0.2s$ y entre $t=0.4s$ y $t=0.6s$. En esos intervalos hay variación de flujo magnético.

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\left(\frac{0.050Tm^2 - (-0.050Tm^2)}{0.20s - 0s}\right) = -\left(\frac{0.100Tm^2}{0.20s}\right) \rightarrow \underline{\underline{\varepsilon_{ind} = -5.0 \times 10^{-1} V}}$$

$$\varepsilon_{ind} = -\left(\frac{0Tm^2 - 0.050Tm^2}{0.60s - 0.40s}\right) = -\left(\frac{-0.050Tm^2}{0.20s}\right) \rightarrow \underline{\underline{\varepsilon_{ind} = 2.5 \times 10^{-1} V}}$$

$$i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{-5.0 \times 10^{-1} V}{10\Omega} \rightarrow \underline{\underline{i_{ind} = -5.0 \times 10^{-2} A}}$$

$$i_{ind} = \frac{2.5 \times 10^{-1} V}{10\Omega} \rightarrow \underline{\underline{i_{ind} = 2.5 \times 10^{-2} A}}$$

En el intervalo entre $t=0$ y $t=0.20$ s la intensidad circula en sentido antihorario.

En el intervalo entre $t=0.40$ s y $t=0.60$ s la intensidad circula en sentido horario.

03-

$$\Phi_{inicial} = B \cdot S \cdot \cos\alpha = 5.0 \times 10^{-2} T \cdot 4.0 \times 10^{-2} m^2 \cdot \cos 0^\circ = 2.0 \times 10^{-3} Wb$$

$$\Phi_{final} = B \cdot S \cdot \cos\alpha = 5.0 \times 10^{-2} T \cdot 4.0 \times 10^{-2} m^2 \cdot \cos 60^\circ = 1.0 \times 10^{-3} Wb$$

b-

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{1.0 \times 10^{-3} Wb - 2.0 \times 10^{-3} Wb}{0.020s - 0} = \underline{\underline{5.0 \times 10^{-2} V}}$$

$$i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{5.0 \times 10^{-2} V}{5.0\Omega} = 1.0 \times 10^{-2} A$$

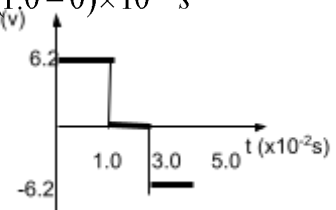
Para determinar el sentido en que circuló la corriente mientras la espira giraba, aplicamos la Ley de Lenz. En este giro, el flujo a través de la espira disminuyó, por lo tanto el campo inducido tiene el mismo sentido que el campo externo, para eso la corriente debe circular en sentido antihorario.

04-

$$S_{espira} = \pi \cdot r^2 = 3.1 \times 10^{-2} m^2$$

$$\varepsilon_{ind} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -10 \cdot \frac{\Delta(B \cdot S \cdot \cos\alpha)}{\Delta t} = -10 \cdot \frac{\Delta B \cdot S \cdot \cos\alpha}{\Delta t} = -10 \cdot \frac{(0.20T - 0.40T) \cdot 3.1 \times 10^{-2} m^2}{(1.0 - 0) \times 10^{-2} s} = 6.2V$$

$$\varepsilon_{ind} = -10 \cdot \frac{(0.60T - 0.20T) \cdot 3.1 \times 10^{-2} m^2}{(5.0s - 3.0s) \times 10^{-2}} = -6.2V$$



$$longitud_{alambre} = 10 \cdot (2 \cdot \pi \cdot r) = 6.28m$$

$$R_{alambre} = 4.0\Omega / m \cdot 6.28m = 25\Omega$$

$$i_{ind} = \frac{6.2v}{25\Omega} = 2.5 \times 10^{-1} A$$

$$i_{ind} = \frac{-6.2v}{25\Omega} = -2.5 \times 10^{-1} A$$

Sentido de circulación de la corriente inducida en la bobina:
entre $t = 0$ y $t = 1.0 \times 10^{-2} s$: antihorario
entre $t = 3.0 \times 10^{-2} s$ y $t = 5.0 \times 10^{-2} s$: horario

05-

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\left(\frac{B_{final} \cdot S_{final} \cdot \cos\theta_{final} - B_{inicial} \cdot S_{inicial} \cdot \cos\theta_{inicial}}{\Delta t} \right)$$

$$\varepsilon = -B_{solenoides} \cdot S_{espira} \cdot \left(\frac{\cos\theta_{final} - \cos\theta_{inicial}}{\Delta t} \right) = -\mu_0 \cdot n \cdot i \cdot (\pi \cdot r^2) \cdot \left(\frac{\cos 180^\circ - \cos 0^\circ}{\Delta t} \right)$$

$$\varepsilon = -4.7 \times 10^{-5} \cdot \left(\frac{-1-1}{0.40s} \right) \rightarrow \underline{\underline{\varepsilon = 2.3 \times 10^{-4} v}}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \cdot \cos\theta = 2.3 \times 10^{-4} v \rightarrow \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = |\vec{E}| \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = 2.3 \times 10^{-4} v \rightarrow \underline{\underline{|\vec{E}| = 1.8 \times 10^{-3} N/C}}$$

Podemos interpretar un campo que se invierte como uno que disminuye con el tiempo, por lo cual el campo magnético asociado a la intensidad inducida tendrá el mismo sentido, para restablecer el flujo inicial. De esta forma, la intensidad tiene un sentido que **coincide** con el sentido del campo eléctrico inducido en el perímetro de la espira circular. **(NOTA: tenga en cuenta que este Campo Eléctrico inducido existirá aunque no exista espira!, no así la fem y menos la intensidad, ya que ésta necesita de un lazo conductor cerrado para circular)**

06-

Sabemos que $\Delta t = 0.050s$ corresponde a $\frac{1}{4}$ de vuelta de manera que en ese tiempo la espira gira y llega a quedar paralela a la dirección del campo.

$$fem = \frac{-\Delta\phi}{\Delta t} = R \cdot i \quad \phi_{inicial} = 0.30T \cdot (0.10 \cdot 0.10)m^2 \cdot \cos 0^\circ = 3.0 \times 10^{-3} wb$$

$$y \quad \phi_{final} = 0 \quad \text{entonces} \quad i = -\frac{(0 - 3.0 \times 10^{-3})wb}{20\Omega \cdot 0.050s} = 3.0 \times 10^{-3} A$$

Como el flujo disminuye, el campo magnético asociado a la intensidad de corriente inducida es de igual sentido que el campo externo. De manera que la corriente circulará de P a Q.

07-

El conductor recto infinito produce un campo magnético entrante de módulo decreciente en la zona ubicada a su izquierda, por lo cual existe un Φ_B que disminuye en la espira. Esto explica la existencia de una $\mathcal{E}_{ind}$ y una intensidad (ya que es un circuito cerrado) que circulará en sentido horario, generando un campo magnético asociado a la intensidad de corriente inducida también entrante. A este nivel no puede calcularse la intensidad, ya que el campo magnético en la espira no es uniforme (depende de la distancia al conductor como ya se vio).

08-

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta(B \cdot S \cdot \cos \alpha)}{\Delta t} = -\frac{B \cdot \Delta S \cdot \cos \alpha}{\Delta t} = -\frac{5.0 \times 10^{-2} T \cdot (S_{final} - S_{inicial}) \cdot \cos 30^\circ}{15 \times 10^{-3} s}$$

$$S_{inicial} = \pi \cdot r^2 = 3.14 \times 10^{-2} m^2$$

$$S_{final} = \frac{b \cdot h}{2} = 1.89 \times 10^{-2} m^2$$

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{5.0 \times 10^{-2} T \cdot (1.89 \times 10^{-2} m^2 - 3.14 \times 10^{-2} m^2) \cdot \cos 30^\circ}{15 \times 10^{-3} s} \rightarrow \underline{\underline{\varepsilon_{ind} = 3.6 \times 10^{-2} V}}$$

$$i_{ind} = \frac{3.6 \times 10^{-2} V}{2.0 \Omega} = \underline{\underline{1.8 \times 10^{-2} A}}$$

Como el flujo magnético disminuye al modificarse la superficie de la espira, a corriente circula en sentido antihorario para generar un campo magnético asociado a la intensidad de corriente inducida saliente como el B externo, de forma tal de restablecer el flujo inicial.

09- a) Aplicaremos la ley de Faraday-Lenz a la trayectoria circular C, como si se tratase de una espira conductora cerrada, a efectos de determinar el sentido de las líneas de **Campo Eléctrico** inducido.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \cdot \cos \alpha = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\left[\frac{(B_f \cdot S_f \cdot \cos \theta_f - B_i \cdot S_i \cdot \cos \theta_i)}{\Delta t} \right] = -\left[\frac{S \cdot \cos \theta (\Delta B)}{\Delta t} \right] = -\left[r^2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \right]$$

Consideraremos el vector superficie **S** en el sentido del campo magnético, esto es, vertical hacia abajo, por lo cual **cos θ=1**. Esto se corresponde con tomar vectores **dl** dados por la regla de la mano derecha, por lo cual indicarían en sentido horario.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \cdot \cos \alpha = -5.65 \times 10^{-7} V$$

. Por razones de simetría, el **campo eléctrico inducido** en el perímetro de la trayectoria C es de dirección tangencial a la misma y puede considerarse de módulo constante por lo cual se extrae de la integral.

$$|\vec{E}| \cdot \oint d\vec{l} \cdot \cos \alpha = -5.65 \times 10^{-7} V$$

Cálculo del módulo de E y determinación de su sentido (método 1):

El término **cos α** es igual a 1 o -1, ya que se trata de ángulos de 0° o 180°. Como el término de la derecha es negativo y los módulos de **E** y **dl** son ambos positivos, el ángulo es de 180° y **cos α = -1** (lo que indica que los vectores **E** y **dl** tienen sentidos contrarios).

$$|\vec{E}| \cdot \oint d\vec{l} = 5.65 \times 10^{-7} V$$

La integral representa el perímetro de la trayectoria C, de donde: $|\vec{E}| \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = 5.65 \times 10^{-7} V \Rightarrow |\vec{E}| = 3.0 \times 10^{-5} V / m$
El vector **E** en el punto P es horizontal hacia la izquierda.

Determinación del sentido de E (método 2):

Este sentido también puede deducirse de la regla de Lenz: si imaginamos una espira cerrada sobre C, como el **campo magnético externo** aumenta, el **campo magnético asociado a la intensidad inducida** es vertical hacia arriba. Por regla de la mano derecha, esta intensidad circularía en sentido antihorario, lo cual coincide con el sentido de las líneas de **Campo Eléctrico Inducido** en C.

b) para calcular la aceleración que experimentaría un electrón ubicado en reposo en el punto P, aplicaremos la segunda ley de Newton y la definición de fuerza eléctrica:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = 5.3 \times 10^6 m / s^2$$

Esta aceleración, al igual que la fuerza eléctrica sobre el electrón tienen sentidos contrarios al del **E** ya que se trata de una carga negativa, por lo cual es horizontal hacia la derecha.