

ACTIVIDADES

1 Una espira circular de 5 cm de radio está situada perpendicularmente a un campo magnético B uniforme. Durante un intervalo de tiempo de 0,1 s, el módulo de B cambia linealmente de 0,30 T a 0,35 T. Calcula el flujo magnético que atraviesa la espira al comienzo y al final del intervalo.



Como magnético es perpendicular a la espira \vec{S} y \vec{B} son paralelos.

$$S = \pi R^2 = \pi \cdot 0,05^2 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$\Phi_1 = N \cdot \vec{B}_1 \cdot \vec{S} = N \cdot B_1 \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 1 \cdot 0,30 \cdot 0,008 \cdot 1 = 0,0024 \text{ Wb.}$$

$$\Phi_2 = N \cdot \vec{B}_2 \cdot \vec{S} = N \cdot B_2 \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 1 \cdot 0,35 \cdot 0,008 \cdot 1 = 0,0028 \text{ Wb.}$$

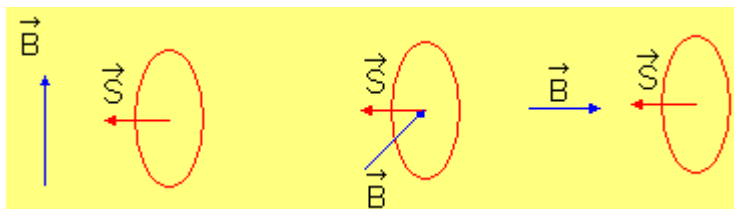


2 Colocamos una espira circular de 2 cm de radio en el seno de un campo magnético uniforme de 0,2 T, de modo que el plano de la espira sea paralelo al campo. ¿Cuánto vale el flujo magnético a través de la espira? ¿Y si el plano de la espira forma 45° con el campo? ¿Y si forma 90°? ¿Qué ocurrirá si hacemos girar la espira?



$$S = \pi R^2 = \pi \cdot 0,02^2 = 0,00126 \text{ m}^2$$

☀ Si el campo magnético es paralelo a la superficie, el vector campo y el vector superficie son perpendiculares y el flujo es nulo ($\cos 90^\circ = 0$).



☀ Si el ángulo es 45°, el flujo es $\Phi = N \cdot \vec{B} \cdot \vec{S} = N \cdot B \cdot S \cdot \cos 45^\circ = 1 \cdot 0,2 \cdot 0,00126 \cdot \cos 45^\circ = 0,00018 \text{ Wb}$

Si el ángulo es de 90°, \vec{B} y \vec{S} son paralelos y $\Phi = N \cdot \vec{B} \cdot \vec{S} = N \cdot B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 1 \cdot 0,2 \cdot 0,00126 = 0,000252 \text{ Wb.}$

Si se hace girar la espira al variar el ángulo entre \vec{B} y \vec{S} varía el flujo magnético y se induce una corriente en la espira que según la ley de Faraday tendrá una fem:

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



3 Acercamos un electroimán a una espira rectangular cuyas dimensiones son 3 cm x 4 cm, de modo que el campo magnético pase de 0 a 0,8 T en una décima de segundo. ¿Cuál es el valor de la fuerza electromotriz inducida?



$$S = 3 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} = 12 \text{ cm}^2 = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Suponemos que el electroimán se acerca perpendicularmente a la superficie, de manera que los vectores del campo magnético y la superficie son paralelos y, entonces, $\cos 0^\circ = 1$

$$\Phi_1 = B_1 \cdot S = 0 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = 0 \text{ Wb.}$$

$$\Phi_2 = B_2 \cdot S = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = 0,00096 \text{ Wb.}$$

$$|\mathcal{E}| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{0,00096}{0,1} = 0,0096 \text{ V}$$



4 Razona cuál será el sentido de la corriente inducida en el caso de que:

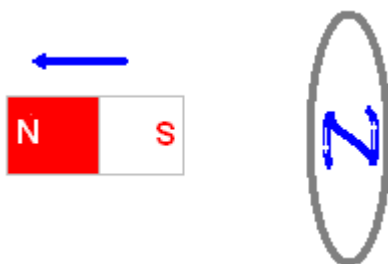
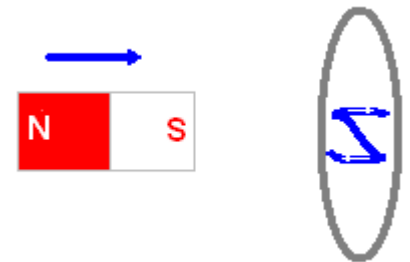
- a) Acercamos un imán a la espira por el polo sur.
- b) Alejamos el imán en la misma posición.



Para contestar a las preguntas de este ejercicio hemos de usar la ley de Lenz:

El sentido de la corriente inducida es tal que el campo creado por dicha corriente tiende a oponerse a la variación del flujo magnético que la ha originado.

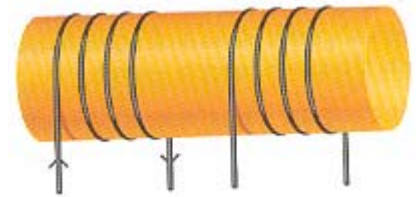
a) Si acercamos a la espira un imán por el polo sur, como las líneas de flujo entran por el polo sur, al acercarlo por este polo, el flujo magnético aumenta al acercar el imán, la espira tiende a neutralizar este aumento haciendo que la corriente circule hacia fuera (en sentido horario, vista la espira de frente) lo que hace que enfrente su polo sur al sur del imán que se acerca y contrarreste este acercamiento por repulsión.



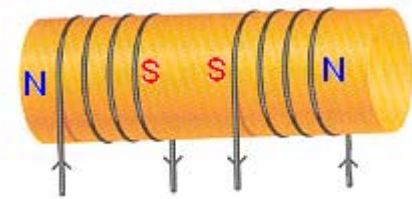
b) Si alejamos de la espira un imán por el polo sur, como las líneas de flujo entran por el polo sur, al alejarlo por este polo, el flujo magnético disminuye al alejar el imán, la espira tiende a neutralizar esta disminución haciendo que la corriente circule hacia dentro (en sentido antihorario, vista la espira de frente) lo que hace que enfrente su polo norte al sur del imán que se aleja y contrarreste este alejamiento atrayéndolo.



5 La figura muestra dos bobinados de hilo conductor alrededor de un cilindro de plástico. Si la corriente en la bobina de la izquierda aumenta, explica cuál será el sentido de la corriente inducida en la bobina de la derecha e indícalo en la figura.



Como el campo magnético creado por un solenoide depende de la intensidad que circula por el, al aumentar la intensidad de la corriente en el solenoide de la izquierda el campo magnético aumenta lo que induce una corriente eléctrica en el de la derecha cuyo campo, según la ley de Lenz, tiende a oponerse al aumento del flujo magnético. Como en el solenoide de la izquierda el campo magnético tiene su polo N a la izquierda y el S a la derecha y aumenta, en el de la derecha se induce una corriente variable cuyo campo magnético tiene que tener polaridad contraria, polo S a la izquierda y N a la derecha para que se repelan y el flujo magnético tienda a disminuir (al aumentar la distancia), luego la corriente inducida circulará en sentido contrario.



6 Una bobina de 100 espiras circulares de 2 cm de radio se sitúa con sus espiras perpendiculares a un campo magnético cuyo valor varía según $B = 1,5 \cdot e^{0,2t}$ T.

- a) ¿Cómo varía la fuerza electromotriz inducida con el tiempo?
- b) ¿Cuál será el valor de dicha fuerza electromotriz inducida a los 10 segundos?



$N = 100$ espiras.
 $R = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m} \Rightarrow S = \pi R^2 = \pi(0,02 \text{ m})^2 = 0,00126 \text{ m}^2$.
 $B = 1,5 \cdot e^{0,2t} \text{ T}$.

a) $\epsilon_{\text{inducida}} = -NS \frac{dB}{dt} = -100 \cdot 0,00126 \frac{d(1,5 \cdot e^{0,2t})}{dt} = -0,0378 e^{0,2t} \text{ V}$.

b) $\epsilon_{\text{inducida}} = -0,0378 \cdot e^{0,2 \cdot 10} = -0,28 \text{ V}$.



7 Una bobina de 500 espiras cuadradas de 4 cm de lado se encuentra inmersa en un campo magnético con sus espiras perpendiculares a las líneas de campo. Si el valor del campo magnético cambia de 0,2 T a 0,9 T en 0,01 s:

- a) ¿Cuánto vale la fuerza electromotriz inducida?
- b) ¿Qué dimensiones deberán tener las espiras para triplicar la fuerza electromotriz en las mismas condiciones?



$N = 500$ espiras.
 $S = (4 \text{ cm})^2 = 16 \text{ cm}^2 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.
 $B_1 = 0,2 \text{ T}$.
 $B_2 = 0,9 \text{ T}$.
 $t = 0,01 \text{ s}$.

a)

$\Phi_1 = B_1 \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 0,2 \text{ T} \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 1 = 0,00032 \text{ Wb}$.
 $\Phi_2 = B_2 \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 0,9 \text{ T} \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 1 = 0,00144 \text{ Wb}$.

$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -500 \frac{0,00144 - 0,00032}{0,01} = -56 \text{ V}$.

b) $\varepsilon = \text{triple} = -3 \cdot 56 \text{ V} = -168 \text{ V} \Rightarrow S = -\frac{\varepsilon \Delta t}{N \Delta B} = \frac{168 \cdot 0,01}{500 \cdot 0,7} = 0,0048 \text{ m}^2$, luego:

$l = \sqrt{S} = \sqrt{0,0048} = 0,069 \text{ m} = 6,9 \text{ cm de lado}$



¿Se induce corriente si una espira rectangular cuyo plano es perpendicular a un campo magnético uniforme entrante en el papel se desplaza hacia arriba o hacia abajo sin cambiar su orientación? Da una explicación desde un punto de vista energético.



Si la espira se desplaza hacia arriba o abajo, el flujo magnético no varía, las líneas de campo por unidad de superficie permanecen constantes, al no variar la superficie, luego no se induce corriente en ella. No se hace trabajo en contra del campo al moverlo hacia arriba o hacia abajo en el sentido del campo.



Teniendo en cuenta que la fem inducida es igual a IR (donde R es la resistencia del circuito), halla una expresión para la intensidad que circula en una espira que se desplaza perpendicularmente a un campo magnético uniforme sin salir de él.



La fem inducida en la espira viene dado por : $\varepsilon_{\text{inducida}} = -BLv$ $\left\{ \begin{array}{l} B = \text{Campo magnético.} \\ L = \text{lado de la espira(cuadrada)} \\ v = \text{velocidad de desplazamiento} \end{array} \right.$

y como a su vez $\varepsilon = IR$, si despejamos la intensidad, tenemos:

$\varepsilon = -BLv = IR \Leftrightarrow I = \frac{BLv}{R}$



- 1 0 Una bobina de 150 espiras cuadradas de 3 cm de lado gira en un campo magnético de 0,6 T:
- a) ¿Cuál debería ser su frecuencia para inducir una fuerza electromotriz máxima de 12V?
 - b) Si la bobina gira a 60 Hz, ¿cuál sería su fuerza electromotriz máxima?



$N = 150$ espiras.
 $L = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m} \Rightarrow S = L^2 = (0,03 \text{ cm})^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.
 $B = 0,6 \text{ T}$.

a) $\varepsilon_{\text{máx}} = 12 \text{ V}$.

El valor máximo de la fuerza electromotriz máxima viene dada por:

$$\varepsilon = NBS\omega = NBS \cdot 2\pi f \Leftrightarrow f = \frac{\varepsilon}{2\pi NBS} = \frac{12}{2\pi \cdot 150 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 10^{-4}} = 23,58 \text{ Hz}.$$

b) $\varepsilon = NBS\omega = NBS \cdot 2\pi f = 150 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 2\pi \cdot 60 = 30,54 \text{ V}$.



- 1 1 La bobina de un generador de corriente alterna induce una fuerza electromotriz máxima de 50 V a una frecuencia de 60 Hz. Determina el número de espiras de la bobina si las dimensiones de las espiras son de 4 cm x 6 cm y la bobina gira en un campo magnético de 0,92 T.



$$\varepsilon = NBS\omega = NBS \cdot 2\pi f \Leftrightarrow N = \frac{\varepsilon}{2\pi fBS} = \frac{50}{2\pi \cdot 60 \cdot 0,92 \cdot 24 \cdot 10^{-4}} = 60 \text{ espiras}$$



- 1 2 ¿Podría no inducir corriente alguna una bobina que gira en el seno de un campo magnético uniforme?



Si gira, la velocidad angular no nula hace que el flujo varíe y la corriente inducida sería no nula siempre que $S \neq 0$ y $B \neq 0$.



- 1 3 Traza la gráfica ε -t correspondiente a un período completo para el caso b) de la actividad 10. Sobre la misma gráfica, dibuja ahora la que ilustra el caso de una frecuencia de 30 Hz. ¿Qué conclusiones obtienes?

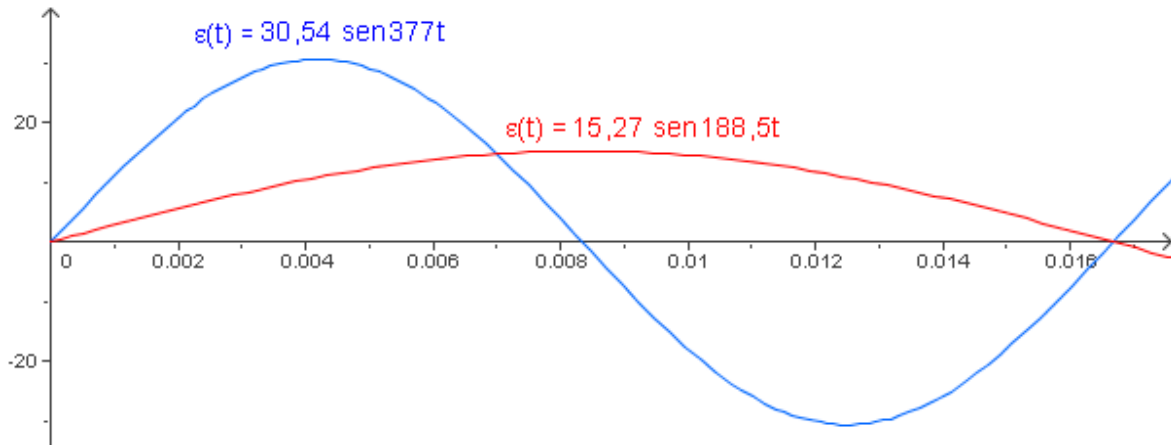


$N = 150$ espiras.
 $L = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m} \Rightarrow S = L^2 = (0,03 \text{ cm})^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.
 $B = 0,6 \text{ T}$.
 $f = 60 \text{ Hz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0,017 \text{ s}; \omega = 2\pi f = 377 \text{ rad/s}$.

La fuerza electromotriz viene dada por: $\varepsilon(t) = NBS\omega \text{sen}\omega t = 150 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 377 \cdot \text{sen}377t = 30,54 \text{ sen}377t \text{ V}$

Si la frecuencia es $f = 30 \text{ Hz}$; $\omega = 2\pi f = 188,5 \text{ rad/s}$ y ahora la fuerza electromotriz:

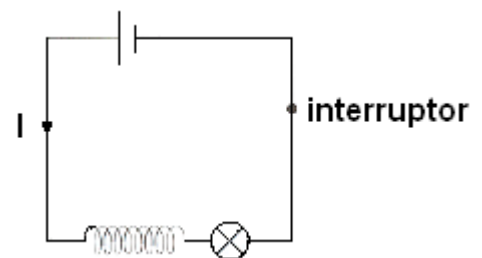
$$\varepsilon(t) = NBS\omega \text{sen}\omega t = 150 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 188,5 \cdot \text{sen}188,5t = 15,27 \text{ sen}188,5t \text{ V}$$



Conclusiones: la máxima amplitud del movimiento periódico es la mitad así como la frecuencia, el período entonces es la mitad.



1 4 Razona el sentido de la corriente autoinducida en el solenoide del circuito de la figura al abrir el interruptor. ¿Qué ocurre con el brillo de la bombilla?



Al cerrar el circuito y cesar la corriente la corriente autoinducida tiende a oponerse a dicha disminución y tendrá el sentido de la corriente que cesa de modo que el brillo de la bombilla se irá apagando pero no bruscamente como si hubiese autoinducción.



1 5 Un solenoide de 500 espiras apretadas tiene una longitud de 30 cm y un radio de 1 cm. Por él circula una corriente de 4 A. Determina:

- a) El valor del campo magnético en un punto de la región central de su eje.
- b) El flujo magnético a través del solenoide, si B es constante en su interior.
- c) La inductancia del solenoide.
- d) La fuerza electromotriz autoinducida en el solenoide cuando la intensidad varía a razón de 180 A/s.



$N = 500$ espiras.

$L = \text{longitud} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$.

Radio $= r = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$.

$I = \text{Intensidad} = 4 \text{ A}$.

a) $B = \mu_0 I \frac{N}{L} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot \frac{500}{0,3} = 0,0084 \text{ T}$.

b) $\Phi = NBS = NB(\pi r^2) = 500 \cdot 0,0084 \cdot (\pi \cdot 0,01^2) = 0,0013 \text{ Wb}$.

c) $L = \frac{\Phi}{I} = \frac{0,0013}{4} = 0,00033 \text{ H}$.

d) $\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -0,00033 \cdot 180 = -0,06 \text{ V}$.



16 Una bobina rectangular de 100 vueltas y cuyas dimensiones son 10 cm x 15 cm gira a 2 000 rpm alrededor de un eje perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,8 T. ¿Qué voltaje máximo es capaz de suministrar?



$N = 100$ espiras.

$S = 10 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} = 150 \text{ cm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$.

$B = 0,8 \text{ T}$.

$\omega = 2\,000 \text{ rpm} = 2000 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 209,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

$\varepsilon_{\text{máx}} = NBS\omega = 100 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 209,4 = 251,28 \text{ V}$



17 Una espira que tiene 10 cm de radio gira a 30 rps alrededor de uno de sus diámetros en una zona en la que el campo magnético terrestre, que es perpendicular a dicho diámetro, tiene como valor $5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Calcula la máxima fuerza electromotriz inducida en la espira.



$r = 10 \text{ cm} \Rightarrow S = \pi r^2 = \pi \cdot 0,1^2 = 0,031 \text{ m}^2$

$\omega = 30 \text{ rps} = 30 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} = 188,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

$B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

$\varepsilon_{\text{máx}} = BS\omega = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,031 \cdot 188,5 = 0,0003 \text{ V}$



18 Un aparato funciona a 9 V y con 0,5 A mediante un transformador cuya bobina primaria tiene 3000 espiras. Si la tensión de entrada es de 220 V:

- a) ¿Cuántas espiras debe tener la bobina secundaria?
b) ¿Cuál es la intensidad, en mA, que circula por la primaria?



$$\begin{aligned} V_2 &= 9 \text{ V.} \\ A_2 &= 0,5 \text{ A.} \\ N_1 &= 3\ 000 \text{ espiras.} \\ V_1 &= 220 \text{ V.} \end{aligned}$$

$$\text{a) } \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \Leftrightarrow N_2 = N_1 \frac{V_2}{V_1} = 3000 \frac{9\text{V}}{220\text{V}} \approx 123 \text{ espiras}$$

$$\text{b) } I_1 \cdot V_1 = I_2 \cdot V_2 \Leftrightarrow I_1 = I_2 \frac{V_2}{V_1} = 0,5 \frac{9}{220} = 0,0205 \text{ A} = 20,5 \text{ mA.}$$



19 Un adaptador de corriente para pequeños electrodomésticos se conecta a un enchufe de 220 V de corriente alterna. Dispone de un selector que proporciona tensiones en la salida que van de 3 V a 12 V. Razona cuál puede ser el mecanismo de esta fuente de alimentación.



$$\begin{aligned} V_1 &= 220 \text{ V.} \\ V_2 &= 3 \text{ V.} \\ V_3 &= 12 \text{ V.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} &\Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{3}{220} \\ \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_3}{N_3} &\Rightarrow \frac{N_3}{N_1} = \frac{V_3}{V_1} = \frac{12}{220} \end{aligned}$$

Se trata de un transformador variable que pueda variar la relación de las de espiras en el secundario en la cuata parte (para pasar de 3 V a 12 V) y las relaciones de espiras del secundario al primario que se dan más arriba.



20 Si se aplica una tensión de entrada de 220 V a un transformador que consta de una bobina de entrada de 200 espiras y de una bobina de salida de 5 espiras, ¿cuál es la tensión de salida?



$$\begin{aligned} V_1 &= 220 \text{ V.} \\ N_1 &= 200 \text{ espiras.} \\ N_2 &= 5 \text{ espiras.} \end{aligned}$$

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1} = 220V \frac{5}{200} = 5,5 V$$



Cuestiones y problemas

De aplicación

1 ¿Qué es la inducción electromagnética?



Inducción magnética es el fenómeno consistente en inducir una corriente eléctrica mediante un campo magnético variable.



2 Resume las experiencias de Faraday que condujeron al descubrimiento de la inducción.



Primero constató que si usaba dos bobinas que no se tocaban entre sí pero superpuestas, una conectada a una batería y la otra a un galvanómetro, al conectar o desconectar la batería, en la otra bobina se producía una débil inducción de corriente que era detectada por el movimiento de la aguja del galvanómetro. Fenómeno que no ocurría mientras la batería permanecía conectada.

En el siguiente paso desplazaba una de las bobinas por el interior de la otra o desplazaba la de fuera y observaba que el galvanómetro acusaba una corriente inducida por la variación del flujo magnético.

El último paso fue constatar que el fenómeno de la inducción ocurría si se prescindía de la bobina conectada a la batería y la variación del flujo magnético a través de la bobina conectada al galvanómetro se producía moviendo un imán por el interior de la bobina.



3 Explica y expresa matemáticamente la ley de Faraday.



La fuerza electromotriz, ε , que da lugar a la corriente eléctrica inducida en un circuito es igual a la rapidez con que varía el flujo magnético a través del mismo:

$$\varepsilon_{\text{inducida}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



4 ¿Qué otros fenómenos de la física o la química tienen un fundamento similar a la ley de Lenz?



La ley de Lenz es un ejemplo más del fenómeno de acción y reacción mediante el cuál los sistemas en equilibrio (físico o químico) tienden a mantener su estado. En el fondo es una consecuencia de la ley de conservación de la energía, de manera que el sistema tiende a reaccionar ante cualquier modificación que se le produzca oponiéndose a dicha modificación. Como ejemplos podemos poner:

✿ Ley de Le Chatelier en el equilibrio químico:

Cuando un sistema en equilibrio experimenta una transformación, dicho sistema evoluciona, para alcanzar un nuevo equilibrio, en el sentido en que se opone a la transformación.

✿ Ley de Hooke en cuerpos elásticos:

Si un sistema elástico en equilibrio, se le aplica una fuerza, el sistema reacciona con una fuerza restauradora de sentido contrario que tiende a devolverlo a su posición de equilibrio que es proporcional al alargamiento producido. $F = - Kx$

✿ Principio de la inercia en dinámica:

Si sobre un sistema la resultante de las fuerzas que actúan es nula, permanece en reposo o moviéndose con velocidad constante. Si se altera el sistema de fuerzas el sistema se opone tendiendo a alcanzar una nueva posición de equilibrio.

✿ El principio de conservación de las distintas formas de energía:

En un sistema en equilibrio la energía total del sistema no varía, se puede transformar de una forma a otra pero si se altera el equilibrio este reaccionará en el sentido en que alcance una nueva situación de equilibrio.



5 ¿De qué distintas maneras se puede inducir una corriente eléctrica?



Si tenemos en cuenta la ley de Faraday y consideramos la ecuación del flujo magnético:

$$\Phi_m = BS \cos \theta$$

es posible variar el flujo y, por tanto, inducir corriente mediante alguno de los siguientes procedimientos:

✿ Variando el campo magnético (por ejemplo intensificándolo o debilitándolo). En realidad, este es el procedimiento seguido por Faraday y que ya hemos descrito en la 2.

✿ Variando el tamaño de la superficie atravesada por las líneas de campo. Esto lo podemos conseguir haciendo que una espira rectangular, por ejemplo, tenga un lado con libertad de movimiento. De ese modo, modificamos el área de la espira al mover dicho lado.

✿ Variando la orientación de la espira en el campo al hacerla girar. Así, al modificar el ángulo que forman \vec{B} y \vec{S} , cambia igualmente el número de líneas de campo que atraviesan la espira.

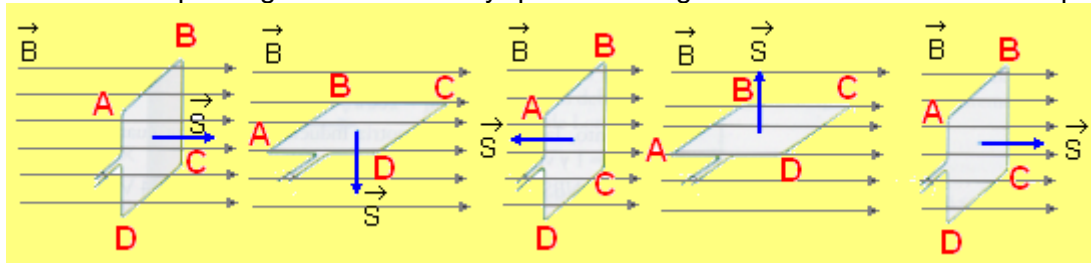
También conseguiremos inducir una corriente variando dos o todos los factores citados



6 ¿Cómo es la corriente que se induce al hacer girar una espira en el seno de un campo magnético uniforme?
 ¿Qué expresión tiene la intensidad de dicha corriente?



Supongamos una espira colocada de modo que su superficie esté orientada de forma perpendicular a un campo magnético uniforme y que se hace girar en el seno de dicho campo.



Como puede comprobarse en la figura anterior la variación del flujo magnético se debe, en este caso, a las distintas orientaciones que va adquiriendo la espira.

En la figura primera el flujo es máximo y de valor BS , ya que B y S forman un ángulo de 0° . Al girar la espira 90° , el flujo pasa a ser nulo (segunda). Si seguimos rotando la espira hasta que B y S formen 180° , el flujo pasará a ser mínimo y de valor $-BS$ (tercera). Posteriormente, cuando el ángulo valga 270° , el flujo volverá a ser cero (cuarta), para alcanzar de nuevo el valor máximo al completar una vuelta (quinta). Como podemos comprobar, un giro completo de la espira en el seno del campo magnético produce variaciones continuas del flujo.

Imaginemos un dispositivo que haga girar periódicamente la espira con una velocidad angular ω . En ese caso, el ángulo girado será función de dicha velocidad angular, según la expresión $\theta = \omega t$. De ese modo, podemos expresar el flujo magnético en un instante dado de la siguiente forma:

$$\Phi_m = BS \cos \theta = BS \cos \omega t$$

Así pues, la fuerza electromotriz inducida al girar la espira con dicha velocidad angular será:

$$\epsilon_{\text{inducida}} = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d(BS \cos \omega t)}{dt} = BS\omega \text{sen} \omega t$$

El valor máximo de la fuerza electromotriz inducida se obtiene cuando $\text{sen} \omega t = 1$, en cuyo caso:

$$\epsilon_{\text{inducida}} = BS\omega$$

De este modo, podemos escribir que:

$$\epsilon_{\text{inducida}} = \epsilon_0 \text{sen} \omega t$$

Si lo que hacemos girar es una bobina constituida por N espiras, la fuerza electromotriz inducida será:

$$\epsilon_{\text{inducida}} = N \epsilon_0 \text{sen} \omega t$$

Es decir, la fuerza electromotriz presenta una variación sinusoidal. Esto significa que su signo cambia cada semiperíodo y, en consecuencia, también se modifica el sentido de la corriente inducida. Si

el dispositivo hace que la espira esté girando continuamente, estaremos consiguiendo una corriente inducida que cambia su sentido de forma alternada. Este tipo de corriente es denominado corriente alterna. Por su parte, el dispositivo que hace girar la espira induciendo dicha corriente recibe el nombre de generador de corriente alterna o alternador. Teniendo en cuenta que $E = IR$, podemos comprobar que la intensidad de la corriente también varía de modo sinusoidal, según la siguiente expresión:

$$I = I_0 \text{ sen}\omega t$$



7 ¿En qué consiste la autoinducción?



La experiencia de Faraday demuestra que un campo magnético variable induce una fuerza electromotriz. También sabemos que toda corriente eléctrica genera un campo magnético que, como ya se vio en la unidad anterior al tratar la ley de Biot y Savart, es proporcional a la intensidad que circula.

Podemos ahora preguntarnos: si variamos la intensidad que circula por un circuito, modificando, en consecuencia, su campo magnético asociado, ¿se producirá también una fem inducida en el propio circuito? La respuesta es afirmativa y nos la da la propia ley de Faraday, que solo habla de «variaciones del flujo magnético», sin especificar las causas que las originan.

Toda corriente de intensidad variable que circule por un conductor induce una fuerza electromotriz en el propio conductor que se opone a la variación que la produce. Este fenómeno se denomina autoinducción.



8 ¿En qué casos se manifiesta la autoinducción? ¿Cómo puede aumentarse?



Teniendo en cuenta la ley de Lenz, la fuerza electromotriz de autoinducción se opone siempre a la variación que la ha originado. Esto quiere decir que si aumentamos la intensidad que circula, incrementando, en consecuencia, el flujo del campo magnético que atraviesa el circuito, la fuerza electromotriz de autoinducción se opondrá a dicho aumento. Esto se traduce en que el incremento de intensidad nunca es instantáneo, sino que se produce de forma gradual debido a la fuerza electromotriz de oposición.

Las variaciones de intensidad que dan lugar al fenómeno de autoinducción se producen como mínimo, en las siguientes circunstancias:

- Aparece una fuerza electromotriz de autoinducción siempre que se cierra o abre un circuito. En el momento del establecimiento o desaparición de la intensidad de la corriente, esta varía, por lo que se induce una fuerza electromotriz contraria al aumento de intensidad al cerrar el circuito y tendente a mantener la intensidad de la corriente al abrir el circuito. Por esta razón, al cerrar un circuito, se tarda un cierto tiempo en lograr el máximo de intensidad e, igualmente, al abrirlo, la intensidad no se hace cero de un modo inmediato.

- Aparece una fuerza electromotriz de autoinducción en los circuitos de corriente alterna, donde la intensidad, como hemos visto, varía de modo sinusoidal en función del tiempo. La autoinducción es casi despreciable si los hilos del circuito son rectilíneos. Sin embargo, el fenómeno de autoinducción en un circuito de corriente alterna puede aumentarse intercalando una bobina y más aún si esta está enrollada alrededor de un núcleo de hierro. De ese modo, las variaciones de flujo magnético a través de las espiras de la bobina se hacen más ostensibles, y la fuerza electromotriz de autoinducción es mayor.



9 ¿Conoces algún fenómeno mecánico equivalente a la autoinducción?



Podemos decir que el fenómeno de la autoinducción es el equivalente electromagnético de la inercia en mecánica. Si esta es el factor de oposición a la variación del estado de movimiento, aquella constituye el factor de oposición a la variación del «estado de corriente». Así, al igual que la velocidad de un cuerpo varía gradualmente al ejercer una fuerza, también lo hace la intensidad al abrir o cerrar un circuito.



10 ¿Qué es la inductancia de un circuito? ¿En qué unidades se mide?



Puesto que el flujo magnético es proporcional al valor del campo, y este, en el caso de ser producido por una corriente, es proporcional a la intensidad, podemos concluir que el flujo del campo magnético es proporcional a la intensidad de corriente que origina el campo. Dicha proporcionalidad es:

$$\Phi_m = L I$$

El coeficiente L se denomina inductancia del circuito o coeficiente de autoinducción del circuito.

En función de esa proporcionalidad, la fuerza electromotriz de autoinducción se puede expresar del siguiente modo:

$$\varepsilon_{\text{inducida}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

O, en términos diferenciales:

$$\varepsilon_{\text{inducida}} = - L \frac{dI}{dt}$$

Por consiguiente, la fuerza electromotriz de autoinducción es directamente proporcional a la inductancia del circuito y a la rapidez con la que varía la intensidad.

De la expresión anterior se deduce cómo medir la inductancia de un circuito:

$$L = - \frac{\varepsilon_{\text{inducida}}}{\frac{dI}{dt}}$$

La unidad de la inductancia en el Sistema Internacional es el **henrio** (H), en honor al físico norteamericano J. Henry:

$$1\text{H} = \frac{1\text{V}}{1\text{A}/1\text{s}}$$

Pero, como se desprende de la proporcionalidad entre el flujo del campo magnético y la intensidad de la corriente del circuito:

$$1\text{H} = \frac{1\text{Wb}}{1\text{A}}$$



1 1 ¿Puede usarse el fenómeno de la inducción con objeto de producir corriente continua? ¿Es exactamente continua la corriente producida? ¿Qué se hace para conseguir que la corriente sea casi continua?



Sí puede generarse corriente continua aprovechándose el fenómeno de la inducción mediante un conmutador de corriente que hace que la corriente generada (**que siempre es alterna**) se convierta en corriente continua por el circuito externo, luego la corriente producida es en realidad alterna que se hace continua al ser conmutada, mediante el uso de dos (o muchos anillos) en vez de dos anillos independientes que alternan su conexión a los distintos polos de salida a la misma velocidad que lo hace la bobina giratoria de la manera que la corriente siempre circula en el mismo sentido.



1 2 ¿De dónde proviene la energía eléctrica que suministra un generador?



Para que se “genere” corriente eléctrica ha de haber una energía externa que haga girar la bobina, esta energía externa puede ser la mecánica (potencial) procedente de la caída de una corriente de agua (centrales hidroeléctricas) o la energía calorífica que procede de la combustión de combustibles (carbón o petróleo) en las centrales térmicas o la energía nuclear procedente de la fisión del núcleo de ciertas sustancias (plutonio) en las centrales nucleares, luego lo único que hacemos es transformar energía, no se “genera” energía, se transforma (con pérdidas claro, segundo principio de la termodinámica), el proceso tiene un cierto *rendimiento*.



1 3 ¿Qué diferencia existe entre un motor y un generador?



En esencia, el funcionamiento de un motor es justamente el contrario que el de un alternador y se basa en un principio físico estudiado en el tema anterior: el efecto de un campo magnético sobre una espira por la que circula corriente. Recordarás que, en ese caso, sobre la espira actúa un par de fuerzas que tienden a orientarla perpendicularmente al campo.

Cuando a una espira que se halla en un campo magnético se le suministra corriente continua, el par de fuerzas que surge (si la superficie de la espira no está orientada de forma perpendicular al campo) hará que la espira comience a oscilar alrededor de la posición de equilibrio estable hasta que se oriente finalmente con su momento magnético a favor del campo (al igual que la aguja de una brújula, que comienza a oscilar hasta que se estabiliza).

Ahora bien, si a esa misma espira se le suministra corriente alterna de la frecuencia adecuada, de manera que, cuando el momento magnético esté en la dirección y sentido del campo, la intensidad invierta su sentido (con lo que se invierte también el momento magnético), y así sucesivamente, la espira nunca logrará alcanzar una posición de equilibrio, sino que girará continuamente buscando una estabilidad que nunca alcanza.

Al igual que en los generadores, en los rotores suelen utilizarse conjuntos de espiras o bobinas. Estos mecanismos pueden transmitir su rotación a cualquier conjunto mecánico, como ruedas, hélices, etcétera.

El mismo principio que nos permite diseñar generadores de corriente continua o alterna hace posible construir motores que funcionen con corriente continua o alterna. Para que una espira gire de forma ininterrumpida con corriente continua, basta con utilizar el sistema de conmutador que se usó en el generador de corriente continua como conexión al circuito generador de la corriente. Podemos, pues, concluir que:

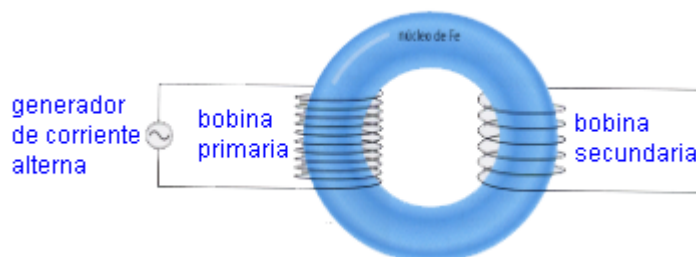
Un motor, al contrario que un generador, transforma energía eléctrica en energía mecánica.



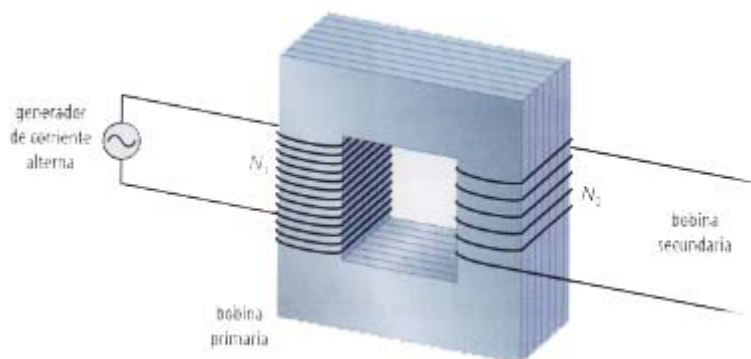
1.4 ¿Cómo funciona un transformador?



Si situamos dos bobinas próximas la una a la otra, como se indica en la figura siguiente, y una de ellas (que llamaremos primaria) está conectada a un generador de corriente alterna, cuando se cierre el circuito se inducirá una corriente en la bobina secundaria. Si entre las dos bobinas intercalamos un núcleo de hierro, el efecto de inducción se ve incrementado, pues el campo magnético (y, en consecuencia, el flujo) se hace más intenso, lo que es debido a las propiedades ferromagnéticas del hierro, que comentaremos más adelante. De ese modo, las variaciones de flujo son también mayores.



Los transformadores más habituales llevan un núcleo de hierro en forma de cuadros laminados. La función de este núcleo es aumentar el campo magnético producido en la bobina primaria y «guiar» sus líneas de campo, de modo que el flujo que atraviesa las espiras de la bobina primaria y las de la secundaria sea el mismo.



La tensión inducida en la bobina primaria tendrá el mismo valor absoluto que la fuerza electromotriz aplicada, de modo que podemos escribir:

$$V_1 = N_1 \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Si el flujo entre las dos bobinas es el mismo, la tensión inducida en la bobina secundaria es:

$$V_2 = N_2 \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Comparando las ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

Es decir:

El voltaje o tensión de salida de un transformador depende del voltaje de entrada y de la relación entre el número de espiras de la bobina secundaria y la primaria.

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1}$$

Cuando un transformador hace que la tensión de salida sea mayor que la de entrada, se denomina **elevador**, y en caso contrario, reductor.

Si no hay pérdidas de potencia, y como $P = IV$ se obtiene: $I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2}$.



15 ¿En qué consiste la unificación que promueve Maxwell?



James Clerk Maxwell (1831-1879) unificó las teorías de la electricidad y el magnetismo en lo que se denominó electromagnetismo. Lo hizo sobre la base de cuatro ecuaciones representativas que establecen las relaciones causa efecto entre los campos eléctrico y magnético y las fuentes que los generan, ya sean cargas, corrientes eléctricas o variaciones temporales de uno u otro campo. Las dos primeras describen las características de los campos eléctrico y magnético por separado, y las otras dos, las relaciones de inducción entre ambos. Estas ecuaciones, junto con la que representa la fuerza de Lorentz, constituyen las cinco expresiones matemáticas que describen los fenómenos electromagnéticos desde el punto de vista clásico.

☀ La **primera** es el teorema de Gauss para el campo eléctrico, que establece que el flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual a la carga neta contenida, dividida por ϵ_0 constante dieléctrica del vacío:

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

☀ La **segunda** es el teorema de Gauss para el campo magnético, que establece que el flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

☀ La **tercera** ecuación es la ley de Faraday sobre los fenómenos de inducción electromagnética, aunque Maxwell realiza una interpretación mucho más amplia de la inducción que la que hemos detallado en esta unidad. Si en nuestra exposición nos hemos centrado en la relación entre la fuerza electromotriz inducida (y, en consecuencia, la corriente) y la variación del flujo magnético que la origina, Maxwell va más allá al suponer que:

Un campo magnético variable con el tiempo induce otro eléctrico proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético y perpendicular a aquel.

☀ La **cuarta** es una extensión del teorema de Ampère a campos eléctricos variables:

Un campo eléctrico variable con el tiempo induce otro magnético proporcional a la rapidez con que cambia el flujo eléctrico y perpendicular a aquel.

Así, un campo magnético no es generado solo por una corriente eléctrica, sino por cualquier variación de un campo eléctrico.

Pero, además, en la teoría de Maxwell, la atención se centra en el medio y no en los materiales. Es decir, un campo magnético variable induce un campo eléctrico, haya o no haya conductor de por medio. El conductor adquiere, pues, el papel de mero «testigo» de ese campo. Igualmente, es el medio el transmisor de interacciones electromagnéticas. Desaparece la idea de fuerza a distancia y es sustituida por la de propagación de la interacción en el medio en forma de onda electromagnética. Y aún hay algo más: al calcular la velocidad de propagación de dichas ondas electromagnéticas, ¡el valor

obtenido es extraordinariamente similar al de la velocidad de la luz! Maxwell no tardó en comprenderlo: aquello que llamamos luz es, en realidad, una perturbación electromagnética que se propaga por el campo. De este modo, unificó también las teorías del electromagnetismo y de la óptica, unificación que al poco tiempo obtuvo el aval experimental de Hertz.



16 ¿Cómo se clasifican las sustancias según su respuesta ante un campo magnético?



Diferentes materiales responden de manera también distinta a estos cambios externos y, en función de este comportamiento magnético diverso, se pueden clasificar en **ferromagnéticos**, **paramagnéticos** o **diamagnéticos**.

🌀 **Ferromagnéticos.** En esencia, son aquellos materiales que orientan los momentos magnéticos atómicos en la dirección y sentido de un campo magnético externo. Es decir, se magnetizan fuertemente en presencia de un campo magnético. Esta magnetización puede ser permanente (dentro de un cierto rango de temperatura), como ocurre con algunas aleaciones de hierro que se utilizan como imanes permanentes. Entre estos materiales, se encuentran el hierro, el cobalto, el níquel, el gadolinio o el disprosio, aparte de numerosas aleaciones.

Pierre Weiss propuso en 1907 una teoría sobre la constitución interna de los materiales ferromagnéticos que puede comprobarse experimentalmente. Según este científico, en un material ferromagnético existen zonas de imantación uniforme, que reciben el nombre de dominios magnéticos, donde los momentos magnéticos atómicos están fuertemente alineados. El hecho de que un material ferromagnético no sea un imán permanente se debe a que estos dominios, en su totalidad, no muestran una orientación preferente. Sin embargo, al aplicar un campo magnético externo, los dominios se orientan a favor del campo. La orientación de estos dominios genera tensiones en el interior del material que hacen que los dominios vuelvan a desorientarse una vez que cesa el campo magnético. No obstante, si el campo aplicado es intenso, los dominios pueden quedar orientados de manera permanente, como les sucede a los imanes permanentes.

🌀 **Paramagnéticos.** Estos materiales se magnetizan débilmente en presencia de un campo magnético externo, aunque la orientación de los momentos magnéticos atómicos de estas sustancias está muy mediatizada por el movimiento térmico de los átomos. Si se retira el campo externo, la magnetización es nula, debido a que los momentos magnéticos se vuelven a orientar al azar. Ejemplos de este tipo de sustancias son el aluminio, el sodio, el platino, el uranio, el oxígeno, etc., algunas de las cuales presentan electrones desapareados.

🌀 **Diamagnéticos.** Frente a un campo magnético externo, estos materiales son repelidos muy débilmente hacia zonas donde el campo magnético es menos intenso. La estructura interna de estas sustancias impide la orientación de los momentos magnéticos, y, en ellas, la respuesta de reacción dada por la ley de Lenz acaba primando sobre el campo externo. En consecuencia, la sustancia es repelida débilmente. A este grupo pertenecen el bismuto, el cobre, el plomo, la sal, el azufre, el mercurio, el cuarzo, la plata, el grafito, el diamante y la mayoría de los compuestos orgánicos.



De razonamiento

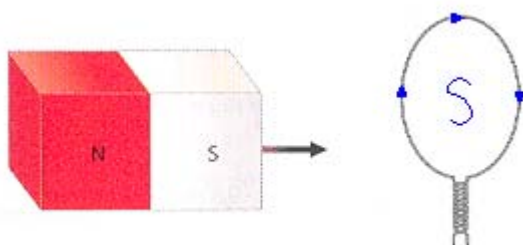
17 Explica por qué apenas luce el faro de una bicicleta si vamos muy despacio.



El faro de una bicicleta (una dinamo) convierte energía mecánica en energía eléctrica, si vamos despacio el rotor gira despacio y al ser baja la velocidad angular también lo será la intensidad de la corriente inducida y, por tanto, la bombilla del faro lucirá débilmente.



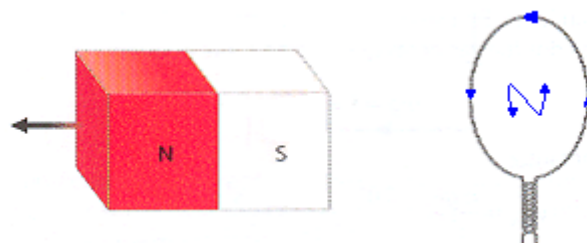
18 Dibuja una espira a la que se aproxima un imán por su polo sur e indica el sentido de la corriente inducida.



Como el imán se acerca, la corriente inducida tiende a oponerse a ese acercamiento, es decir el sentido de la corriente será tal que el campo magnético asociado tienda a oponerse al del imán, para evitar su acercamiento, por tanto dicho sentido deberá ser el del dibujo que hace que el polo Sur de la espira se enfrente al del imán y lo repela.



19 Si alejamos un imán de una espira como se observa en la figura, ¿cuál será el sentido de la corriente inducida?



Siguiendo un razonamiento similar al del ejercicio anterior, la corriente inducida para oponerse al alejamiento del imán tendrá el sentido indicado en la figura que hace que el campo magnético asociado tenga su polo N enfrenteado al S del imán para atraerlo y contrarrestar su alejamiento.

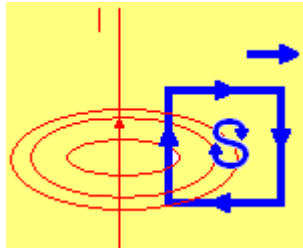
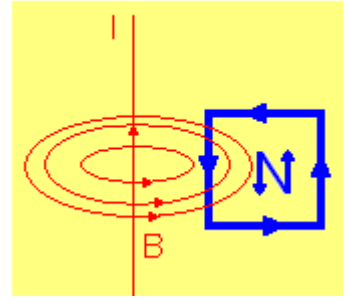


20 Una espira cuadrada de alambre conductor está próxima a un cable recto, indefinido, recorrido por una corriente I como indica la figura. Explica, razonada mente, en qué sentido circulará la corriente inducida en la espira:

- a) Si se aumenta la corriente I .
- b) Si, dejando constante la corriente I , se desplaza la espira hacia la derecha, manteniéndola en el mismo plano.
- c) Si, dejando constante la corriente I , se desplaza la espira hacia la izquierda, manteniéndola en el mismo plano.
- d) Si, dejando constante la corriente I , se desplaza la espira paralelamente al conductor.

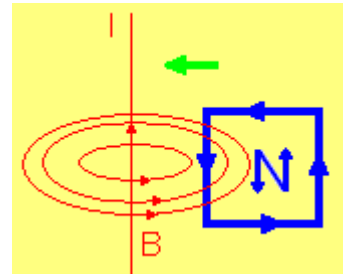


a) Al aumentar la intensidad de la corriente I , aumenta el campo magnético B creado por la corriente que es (según la regla de la mano derecha entrante, como se muestra en el dibujo) y, en consecuencia, también aumenta el flujo que atraviesa la espira, esta tiende a oponerse a este aumento (ley de Lenz) de manera que la corriente inducida en el lado de la espira más próximo al conductor tenga sentido contrario a la que circula por el conductor, sentido antihorario, o, de otra forma, el campo magnético de la corriente inducida en la espira tiene que oponerse al aumento del campo magnético del conductor lineal es decir ha de ser de líneas salientes, polo Norte.



b) Si la espira se desplaza hacia la derecha, el flujo magnético creado por el conductor lineal que la atraviesa disminuye (aumenta la distancia), la corriente inducida en la espira se opone a dicha disminución haciendo que el flujo magnético creado por la corriente en ella inducida se suma al flujo debido al conductor rectilíneo, es decir debe ir también hacia dentro, con lo que el sentido de circulación de la corriente inducida en la espira ha de ser opuesto al caso anterior, sentido horario, será el polo Sur.

c) Al acercar la espira al conductor se produce el efecto contrario al apartado b) anterior y el sentido de la corriente será de nuevo antihorario, para contrarrestar el aumento del flujo magnético al acercarse al conductor rectilíneo



d) Si se desplaza paralelamente al conductor (para arriba o hacia abajo) como el flujo magnético no varía, se mantiene la distancia constante y el conductor es indefinido, no se induce corriente eléctrica en la espira.



21 ¿Es correcto afirmar que siempre que movemos una espira en el seno de un campo magnético uniforme se induce una corriente?



No, depende de cómo se mueva, si el flujo magnético a través de ella no varía a pesar de estar en movimiento (apartado d) anterior), no se induce corriente eléctrica en ella.



22 ¿Es correcto afirmar que siempre que se gira una espira en el seno de un campo magnético uniforme se induce una corriente?



Como al girar la superficie expuesta al campo cambia, el flujo magnético sí que varía y por tanto sí se induce una corriente eléctrica.



23 ¿Es posible inducir una corriente en una bobina secundaria únicamente mediante un movimiento relativo con respecto a la primaria? ¿Existe alguna otra forma de hacerlo?



Si tenemos en cuenta la ley de Faraday y consideramos la ecuación del flujo magnético:

$$\Phi_m = BS \cos \theta$$

es posible variar el flujo y, por tanto, inducir corriente mediante alguno de los siguientes procedimientos:

✿ Variando el campo magnético (por ejemplo intensificándolo o debilitándolo). En realidad, este es el procedimiento seguido por Faraday y que ya hemos descrito en la 2.

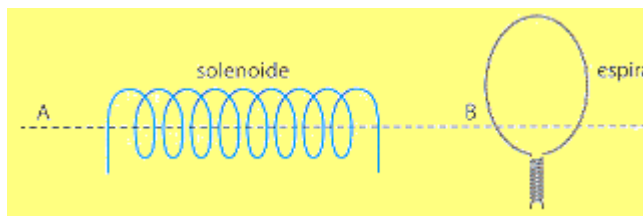
✿ Variando el tamaño de la superficie atravesada por las líneas de campo. Esto lo podemos conseguir haciendo que una espira rectangular, por ejemplo, tenga un lado con libertad de movimiento. De ese modo, modificamos el área de la espira al mover dicho lado.

✿ Variando la orientación de la espira en el campo al hacerla girar. Así, al modificar el ángulo que forman \vec{B} y \vec{S} , cambia igualmente el número de líneas de campo que atraviesan la espira.

Luego la corriente inducida en la bobina secundaria aparece siempre que el flujo magnético que la atraviesa varíe y el flujo también cambia si variamos la intensidad del campo magnético de la fuente que lo genera o variando la superficie de la espira secundaria, no sólo mediante un movimiento relativo que haga variar el flujo magnético



24 Razona qué es lo que ocurriría si se hace oscilar una espira o bobina de espiras entre los puntos A y B a lo largo del eje de un solenoide, como se indica en la figura.



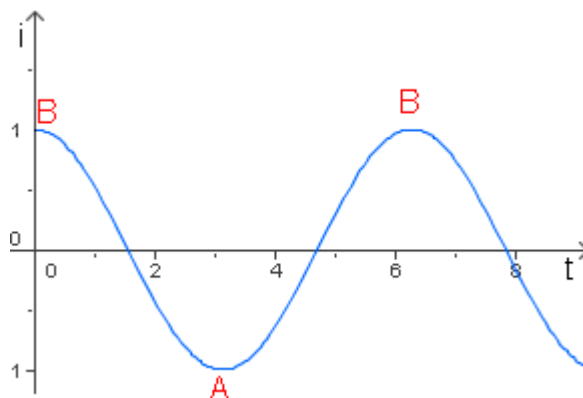
Al mover la espira entre los puntos A y B el flujo del campo magnético generado por el solenoide variará y se inducirá una corriente eléctrica variable en la espira.



25 Trata de representar cualitativamente la gráfica intensidad-tiempo que se obtendría en el caso sugerido en la cuestión anterior.



Si la velocidad de oscilación entre los puntos A y B es constante se producirá una corriente cuya intensidad variará periódicamente, disminuyendo mientras se acerca desde el punto B y aumentando (en el sentido contrario) mientras se aleja hacia A y al volver de A a B al contrario, luego una posible representación podría ser:



26 Un imán cae verticalmente a través de una bobina de espiras dispuesta horizontalmente. Representa de forma cualitativa las gráficas flujo-tiempo e intensidad inducida-tiempo que se obtendrían.



Supongamos que el imán cae hacia la espira con su polo Sur hacia abajo como se indica en la figura adjunta, al irse acercando con la aceleración de la gravedad el flujo magnético aumenta y en la espira se induce una corriente que circula en sentido horario (visto desde arriba), para intentar contrarrestarlo oponiendo un polo Sur, y que creciente hasta que pasa por el centro de la espira en que debe cambiar de signo para oponerse a la disminución del flujo magnético del imán que sigue alejándose con aceleración constante pero oponiendo su cara Norte.

Una gráfica que puede describir la variación del flujo (Φ) tiene que tener en cuenta que a medida que el imán cae con velocidad creciente el flujo a través de la espira aumenta en sentido contrario para intentar detener su caída y al atravesar la espira el flujo cambia de signo y disminuye.

La intensidad de la corriente inducida variará en sentido contrario al flujo, curva abierta hacia arriba, como muestra la curva de color rojo.



27 Con dos hilos iguales de longitud x, construimos sendos solenoides de la misma longitud, l pero de distinto radio. ¿Cuál de ellos tendrá mayor inductancia?



La inductancia de un solenoide viene dada por la fórmula: $L = \frac{\mu_0 S N^2}{l}$. Luego es directamente proporcional a la superficie e inversamente proporcional a la longitud.

El que tenga mayor radio (R) tendrá una superficie mayor $S = \pi R^2$, si después de enrollados tienen la misma longitud (l) el de mayor radio, mayor superficie, tendrá mayor inductancia pero también el número de espiras será menor. Como el número de espiras es proporcional al R (longitud de la circunferencia = πR) y también está al cuadrado, puede darse que el aumento de superficie (

proporcional a R^2) se contrarreste con la disminución en el cuadrado del número de espiras en el mismo valor y la inductancia en vez de crecer permanezca constante.



28 Con dos hilos de la misma longitud, se construyen dos solenoides que tienen el mismo radio. Si la longitud de uno es el doble que la del otro, ¿cómo son en comparación sus inductancias?



Mismo radio \Rightarrow Igual superficie = $S_1 = S_2 = S$.

Longitud del primero = $l_1 =$ doble del segundo = $2l_2$.

Como la longitud del hilo (x) y el radio de cada espira es la misma (R), el número de espiras ha de ser el mismo $N_1 = N_2 = N$.

$$\begin{cases} L_1 = \frac{\mu_0 S_1 N_1^2}{l_1} \\ L_2 = \frac{\mu_0 S_1 N_2^2}{l_2} \end{cases} \Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{\mu_0 S N^2}{l_1} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_2}{2l_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow L_2 = 2L_1$$



29 ¿Por qué un imán puede perder su capacidad de imantación al ser calentado?



30 Se deja caer verticalmente un imán a lo largo del eje principal de una bobina de cobre dispuesta en dirección horizontal en el suelo. Imagina que se fotografía la caída del imán cada treintavo de segundo. ¿Se observaría alguna diferencia en las imágenes obtenidas si la bobina se encuentra a temperatura ambiente o si es enfriada con hielo seco (CO_2 sólido)? Razona tu respuesta.



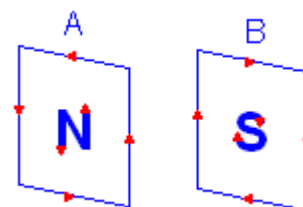
Como la conductividad de una sustancia disminuye con la temperatura, al enfriarlo la corriente inducida será menor y el imán bajará a distinta velocidad, es decir en los intervalos de tiempo en que se fotografía estará en posiciones diferentes en los dos casos.



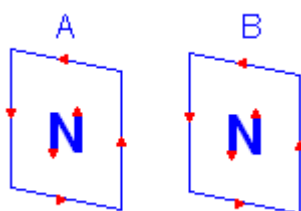
31 Dos espiras rectangulares se hallan enfrentadas con sus planos paralelos. Por la espira A comienza a circular una corriente en sentido antihorario. ¿En qué sentido circulará la corriente inducida en la espira B? ¿Se atraerán o se repelerán las espiras cuando aumente la corriente en A? ¿Y cuando disminuya?



La cara izquierda de A es el polo N luego la derecha (dentro es el polo Sur), la corriente inducida en B tendrá orientación Norte (sentido antihorario) a la derecha y Sur a la izquierda para intentar oponerse al aumento de flujo entrante en la cara derecha de la espira A.



Si la corriente en A aumenta estamos en el caso anterior, como si empieza a circular la corriente y las espiras se repelen.



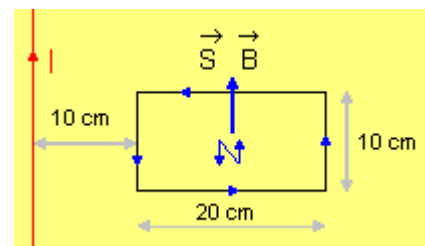
Si la corriente disminuye al disminuir el flujo en la espira B es sentido de la corriente cambia para contrarrestar esa disminución de flujo entrante oponiendo una cara saliente (N) y las espiras se acercan (se atraen).



De cálculo

32 Una corriente de 10A recorre un hilo conductor de gran longitud situado cerca de una espira rectangular, como se indica en la figura.

- a) Calcula el flujo del campo magnético a través de la espira.
- b) Determina la fuerza electromotriz media y el sentido de la corriente inducida en la espira si se interrumpe la corriente al cabo de 0,02 s.



$I = 10 \text{ A.}$
 $S = 10 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 200 \text{ cm}^2 = 0,02 \text{ m}^2$

a) Como el flujo magnético viene dado por la fórmula $\Phi = BS \cos\theta$, necesitamos hallar el campo magnético inducido (B) por un conductor rectilíneo indefinido, que vimos en el tema anterior:

$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \vec{u}$ en donde la distancia d es la que hay al centro de la espira rectangular (en donde se supone

aplicado el vector superficie que la representa), $d = 20 \text{ cm}$. El vector \vec{u} (regla de la mano derecha) es paralelo al vector superficie luego el ángulo entre ambos vectores es $\theta = 0^\circ$, el módulo del vector campo magnético vale:

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

Luego el flujo magnético que atraviese la espira es :

$$\Phi = BS \cos\theta = 10^{-5} \cdot 0,02 \cos 0^\circ = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Wb}$$

$$\text{b) } \varepsilon_{\text{media}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_f - \Phi_i}{\Delta t} = -\frac{0 - 2 \cdot 10^{-7}}{0,02} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ V, para determinar el sentido de la corriente}$$

inducida hemos de usar la ley de Lenz, de manera que ha de ser tal que se oponga a la variación del flujo magnético, como este disminuye, el campo magnético de la corriente inducida en la espira ha de oponerse a esta disminución creando un campo magnético dirigido hacia el conductor es decir ha de circular en sentido antihorario para que se forme el polo norte (por donde salen las líneas de campo dirigido hacia el conductor).



33 Una bobina de 200 espiras cuadradas de 3 cm de lado se dispone perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 0,8 T. ¿Cuánto vale la fuerza electromotriz inducida si la bobina gira 90° en una centésima de segundo?



Número de espiras = $N = 200$ espiras.

Lado de la espira cuadrada = $l = 3 \text{ cm} \Rightarrow S = l^2 = 9 \text{ cm}^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Campo magnético = $B = 0,8 \text{ T}$.

$$\text{Velocidad de giro} = \omega = \frac{\text{Ángulo}}{\text{Tiempo}} = \frac{\pi/2 \text{ rad}}{0,01 \text{ s}} = 50\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Delta t = 0,01 \text{ s}$$

$$\varepsilon_{\text{inducida}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N \frac{(\Phi_f - \Phi_i)}{\Delta t} = -N \frac{0 - BS}{\Delta t} = \frac{NBS}{\Delta t} = \frac{200 \cdot 0,8 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{0,01} = 14,4 \text{ V.}$$

Ya que al final de los 0,01 s, el flujo que la atraviesa es nulo por ser paralelo al campo ($\text{sen}0^\circ = 0$).



34 Una espira de 100 cm² de superficie se encuentra orientada de forma perpendicular a un campo magnético cuya magnitud aumenta uniformemente desde 0,2 T hasta 1,4 T en 0,25 s. Determina:

a) ¿Cuánto vale la fuerza electromotriz inducida en la espira?

b) ¿Cuál será la intensidad de la corriente si la resistencia total de la espira es de 3 Ω.



$$S = 100 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ m}^2.$$

$$B_1 = 0,2 \text{ T.}$$

$$B_2 = 1,4 \text{ T.}$$

$$t = 0,25 \text{ s.}$$

$$\text{a) } \varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = -\frac{B_2 S - B_1 S}{t_2 - t_1} = -S \frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1} = -0,01 \frac{1,4 - 0,2}{0,25 - 0} = -0,048 \text{ V.}$$

$$\text{b) } I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0,048 \text{ V}}{3 \Omega} = 0,016 \text{ A.}$$



35 Una bobina de 50 espiras circulares de 3 cm de radio está situada de forma perpendicular a un campo magnético unidireccional cuyo valor varía según $B = 0,2 + 0,005t^2$ T.

¿Cuánto valdrá la fuerza electromotriz inducida al cabo de 10s? Si la resistencia total de la bobina es de 2 Ω , ¿cuál es la intensidad que circula al cabo de ese tiempo?



Número de espiras = $N = 50$.

Radio = $R = 3\text{cm} = 0,03\text{ m} \Rightarrow S = \pi R^2 = \pi (0,03\text{ m})^2 = 2,83 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$.

$B = 0,2 + 0,005t^2$ T, $B(0) = 0,2$ T y $B(10) = 0,7$ T.

$$\varepsilon = -NS \frac{dB}{dt} = -NS \frac{d}{dt}(0,2 + 0,005t^2) = -NS \cdot 0,01t \Rightarrow \varepsilon(10) = -50 \cdot 2,83 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 \cdot 10 = -0,014\text{ V}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0,014\text{ V}}{2\ \Omega} = 0,007\text{ A.}$$



36 La bobina rectangular de un generador simple de corriente alterna alcanza una fuerza electromotriz de 65,3 V a una frecuencia de 50 Hz en un campo de 1,3 T. Si las dimensiones de las espiras son 8 cm X 5 cm, ¿cuántas espiras tiene la bobina?



$\varepsilon = 65,3\text{ V}$.

$f = 50\text{ Hz}$.

$B = 1,3\text{ T}$.

$S = 8\text{ cm} \times 5\text{ cm} = 40\text{ cm}^2 = 4 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$.

Hallamos la fem máxima inducida en una espira ($\varepsilon(1)$):

$$\varepsilon(1) = BS\omega = BS(2\pi f) = 1,3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} (2\pi \cdot 50) = 1,63\text{ V}$$

luego para alcanzar los 65,3 V necesitaremos $N = \frac{\varepsilon}{\varepsilon(1)} = \frac{65,3}{1,63} = 40$ espiras.



37 Una bobina de 300 espiras de 300 cm² gira alrededor de un eje perpendicular a un campo magnético de 0,2 T. ¿A qué frecuencia debe hacerlo para generar una tensión máxima de 250 V?



Número de espiras = $N = 300$.

$S = 300\text{ cm}^2 = 0,03\text{ m}^2$.

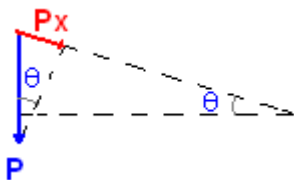
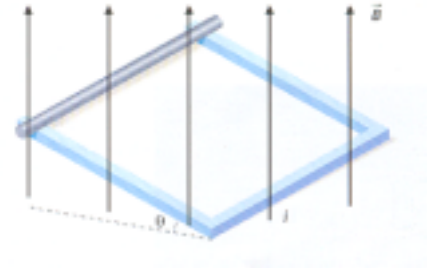
$B = 0,2\text{ T}$.

$\varepsilon_{\text{máx}} = 250\text{ V}$

$$\epsilon_{\text{máx}} = NBS\omega = NBS(2\pi f) \Rightarrow f = \frac{\epsilon_{\text{máx}}}{2\pi NBS} = \frac{250}{2\pi \cdot 300 \cdot 0,2 \cdot 0,03} = 22,1 \text{ Hz.}$$



38 Un hilo conductor rectilíneo puede deslizarse sin fricción sobre dos rieles inclinados un ángulo θ y conectados en su parte inferior como se indica en la figura. Sobre la región actúa un campo magnético uniforme \vec{B} dirigido verticalmente hacia arriba. Si el hilo tiene una masa m y una resistencia R , y la longitud entre los rieles es l , deduce una expresión para la velocidad límite a la que se deslizará el hilo en su descenso sobre los rieles.



La varilla tiende a bajar por la acción de la componente dirigida hacia el riel (horizontal) de valor

$$P_x = P \text{ sen } \theta = mg \text{ sen } \theta$$

Al deslizarse hacia abajo el flujo magnético a través de la espira formada por el riel y el conductor varía (ya que la superficie que atraviesa disminuye al bajar) y aparece una corriente inducida que tiende a oponerse a la citada disminución del flujo, es decir una fuerza magnética hacia arriba que vale:

$$F = i \vec{l} \times \vec{B} = ilB \text{ sen } \theta$$

Por otro lado la fem inducida vale:

$$\epsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{Blv_{\text{máx}} \Delta t \cos \theta}{\Delta t} = -Blv_{\text{máx}} \cos \theta$$

y como la intensidad i que recorre un circuito es, según la ley de Ohm: $i = \frac{\epsilon}{R} = \frac{Blv_{\text{máx}} \cos \theta}{R}$, sustituyendo su valor en la fórmula de la fuerza magnética tenemos:

$$F = \frac{Blv_{\text{máx}} \cos \theta}{R} lB \text{ sen } \theta = \frac{B^2 l^2 v_{\text{máx}} \text{ sen } \theta \cos \theta}{R}$$

Por último si el conductor ha de bajar con una velocidad constante ($v_{\text{máx}}$), la resultante de las fuerzas que se ejercen sobre él ha de ser nula (aceleración nula = velocidad constante) luego F y P_x han de ser iguales:

$$F = P_x \Leftrightarrow \frac{B^2 l^2 v_{\text{máx}} \text{ sen } \theta \cos \theta}{R} = mg \text{ sen } \theta \Rightarrow v_{\text{máx}} = \frac{mgR}{B^2 l^2} \frac{\text{sen } \theta}{\cos \theta \cdot \text{sen } \theta} = \frac{mgR}{B^2 l^2} \frac{\text{tg } \theta}{\text{sen } \theta} \text{ despejando la velocidad.}$$



39 Calcula la inductancia de un solenoide de 40 cm de longitud constituido por 400 espiras de 5 cm² de sección. ¿Cuál será la fuerza electromotriz autoinducida si la intensidad disminuye a razón de 30 A/s?



Longitud = $l = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$

Número de espiras = $N = 400$.

Superficie = $S = 5 \text{ cm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Aplicamos la fórmula de la inductancia:

$$L = \frac{\mu_0 S N^2}{l} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 400^2}{0,4} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

$$\varepsilon_{\text{autoinducida}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -2,5 \cdot 10^{-5} (-30 \text{ A/s}) = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ V.}$$



40 Un transformador consta de una bobina primaria de 200 espiras y de una bobina secundaria de 50 espiras.

- ¿Cuál será su función: elevar o reducir el voltaje?
- Si la tensión de entrada es de 125 V, ¿cuál será la de salida?
- Si la corriente en la bobina primaria es de 50 mA, ¿cuánto valdrá en la secundaria?



$N_1 = 200$ espiras.

$N_2 = 50$ espiras.

$V_1 = 125 \text{ V}$.

$I_1 = 50 \text{ mA}$.

a) Como el número de espiras del primario es mayor que las del secundario, el voltaje de salida será menor que el de entrada, es decir, actúa como reductor.

$$\text{b) } V_2 = V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 125 \text{ V} \cdot \frac{50}{200} = 31,25 \text{ V.}$$

$$\text{c) } I_2 = I_1 \cdot \frac{N_1}{N_2} = 50 \text{ mA} \cdot \frac{200}{50} = 200 \text{ mA.}$$



41 Una bobina circular de 50 espiras de 5 cm de radio se sitúa en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme de 1,2 T. Calcula la fuerza electromotriz inducida en la bobina si se gira esta bruscamente 180° en 0,2 s. ¿Qué intensidad de corriente inducida circula si la resistencia en la bobina es de 20 Ω?



Número de espiras = $N = 50$.

$R = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m} \Rightarrow S = \pi R^2 = \pi (0,05)^2 = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$B = 1,2 \text{ T}$.

Ángulo = $\theta = 180^\circ$.

Tiempo = 0,2 s.

Flujo magnético que atraviesa la bobina cuando está perpendicular al campo (vector campo y vector superficie paralelos):

$$\Phi_1 = BS \cos 0^\circ = B \cdot S$$

Flujo magnético final (la bobina ha girado 180°) :

$$\Phi_2 = BS \cos 180^\circ = -B \cdot S$$

Fem inducida:

$$\varepsilon_{\text{inducida}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = -N \frac{-BS - BS}{t_2} = N \frac{2BS}{t_2} = 50 \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 4,71 \text{ V.}$$

Mediante la ley de Ohm, hallamos la intensidad:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{4,71 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,2355 \text{ A}$$

