

Inducción electro-magnética



Fig. 1. Michael Faraday

Físico y químico inglés. Nació en Londres el 22 de septiembre de 1791 y falleció el 25 de agosto de 1867. Logró demostrar la relación existente entre los fenómenos magnéticos y eléctricos, fundamento del funcionamiento de transformadores, motores y generadores.



Fig. 2. Joseph Henry

Físico estadounidense. Nació en Albany el 17 de diciembre de 1797 y falleció en Washington en 1878. Las vidas de M. Faraday y Joseph Henry tienen muchos elementos en común. Los dos provenían de familias muy humildes y se vieron obligados a trabajar desde muy jóvenes por lo que no pudieron seguir sus estudios. Trabajó en electromagnetismo con electroimanes y relés. Descubrió la inducción electromagnética (al mismo tiempo que Faraday, quien publicó primero los resultados obtenidos). A la unidad de inductancia se le llamó Henry en su honor.

Introducción

En el capítulo 18 estudiamos que una corriente eléctrica genera un campo magnético. Por lo tanto existe una relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos. Cabe hacerse la siguiente interrogante:

¿Un campo magnético generará una corriente eléctrica?

Esta pregunta se la formuló Michael Faraday, en el siglo XIX. (Fig. 1) En la investigación de la interacción de ambos fenómenos, logró demostrar que son dos manifestaciones de un mismo fenómeno. Los resultados obtenidos son el fundamento de algunos dispositivos muy utilizados como generadores, transformadores y otros.

Experimentos de Michael Faraday

Faraday investigó con conductores que arrollaba en grandes bobinas e imanes potentes. Él pensaba que si las cargas eléctricas pueden inducir cargas eléctricas (como vimos en el capítulo 10 de electrostática), las corrientes eléctricas que circulan por un conductor deberían inducir corrientes eléctricas en otro conductor.

En el año 1831, trabajó con dos bobinas arrolladas una sobre otra. A una le conectó un amperímetro y a la otra una batería.

Al conectar y desconectar la bobina de la batería, por el amperímetro conectado a la otra bobina circulaba una corriente, lo que indicaba que en dicha bobina, se inducía una corriente.

Lo que lo desconcertaba, era que después de cerrado el circuito se establecía una corriente constante en la bobina y en la otra bobina la corriente inducida cesaba.

Después de experimentar largamente concluyó:

Una corriente eléctrica que varía en el tiempo induce en un circuito cercano otra corriente eléctrica.

El descubrimiento de las corrientes inducidas no tiene nada de casual o improvisado. Entre los años 1824-1828, hizo del orden de 30.000 experimentos, que describía cuidadosamente y registraba en su diario.

Observaciones similares y aparentemente independientes fueron documentadas por el físico norteamericano Joseph Henry. (Fig. 2)

Michael se enfrentó entonces a explicar lo que encontró experimentalmente. No tenía una formación matemática formal, lo que no impidió que hiciera un razonamiento brillante. Se dio cuenta que “algo” debía estar cambiando.

Una corriente constante produce un campo magnético que mantiene una dirección, un sentido y un módulo constante en todos los puntos donde se establece. Este campo magnético no produce ninguna fuerza sobre una carga en reposo. Si no se movía la carga con respecto al campo magnético, entonces el campo magnético se “debería mover” con respecto a la carga. Esto se puede interpretar como un campo magnético que varía con el tiempo. Un campo variable lo podemos generar con una corriente variable.

Si sus conclusiones eran ciertas, moviendo un imán en las cercanías de un conductor, como un solenoide, debería aparecer en él una corriente eléctrica inducida. (Fig. 3)

Faraday satisfactoriamente verificó:

Un campo magnético variable en el tiempo (producido por una corriente variable o un imán en movimiento) induce en otro circuito una corriente eléctrica.

Si las corrientes eléctricas en un conductor aparecen cuando se establecen campos eléctricos, también podemos concluir que los campos magnéticos variables generan campos eléctricos.

Estos avances dejaron establecido definitivamente que los fenómenos eléctricos y magnéticos no son independientes, sino que son manifestaciones de un mismo tipo de interacción. Los campos eléctricos pueden generar campos magnéticos y los campos magnéticos pueden generar campos eléctricos.

Estos fenómenos se denominan “Inducción Electromagnética”.

Corrientes inducidas

Es importante que los pasos descritos a continuación para obtener corrientes inducidas, los verifiques en el laboratorio de tu liceo. Ello permitirá que compruebes inmediatamente cada afirmación realizada y además fijarás mejor los conceptos al visualizarlos.

Primer paso.

Conectamos un solenoide a un amperímetro y colocamos un imán recto en frente. (Fig. 4). Si mantenemos en reposo uno con respecto al otro, (imán-solenoide), **NO** se observa una corriente inducida en el solenoide (el amperímetro no registra pasaje de corriente).

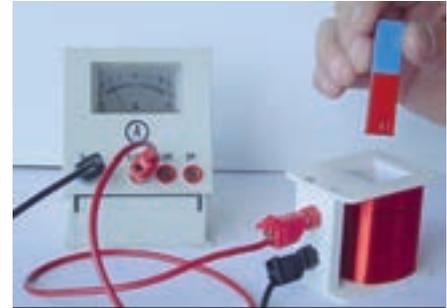


Fig. 3. Al mover un imán en las cercanías de un solenoide, aparece en él una corriente eléctrica inducida, que se detecta con el amperímetro.

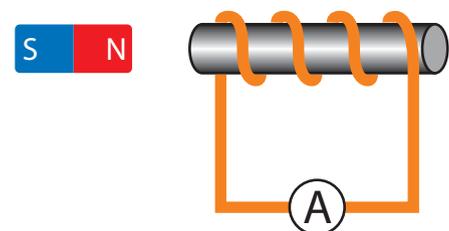


Fig. 4. Imán y solenoide, en reposo uno respecto al otro. No se induce ninguna corriente en la bobina.

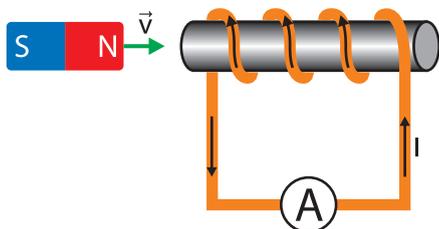


Fig. 5. Mientras acercamos el imán aparece una corriente inducida en la bobina.

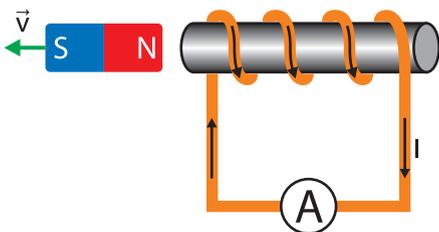


Fig. 6. Mientras alejamos el imán también aparece una corriente inducida, pero de sentido opuesto en la bobina.

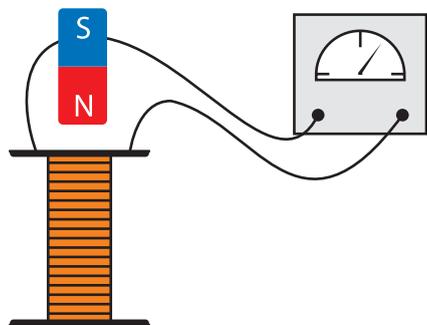


Fig. 7. Al mover el imán recto con respecto al solenoide estamos logrando un campo magnético variable, el que produce una fem inducida en el solenoide.

Segundo paso.

Ahora acercamos el imán al solenoide. En esta situación **SÍ** se aprecia una corriente inducida en el solenoide (el amperímetro registra pasaje de corriente). (Fig. 5). Cuando detenemos el movimiento del imán, la corriente inducida deja de observarse.

Tercer paso.

Alejamos el imán del solenoide. Nuevamente aparece una corriente inducida en él, ahora la corriente tiene sentido contrario a la situación anterior. (Fig. 6)

Cuarto paso.

Si repitiéramos los pasos dos y tres, pero acercando o alejando más rápidamente el imán, observaríamos que la corriente eléctrica va a ser de mayor intensidad.

Análisis y síntesis.

Es claro que se induce corriente en el solenoide debido al movimiento del imán con respecto a él, por ese motivo se denomina **corriente inducida**.

El circuito por el que circula dicha corriente inducida está formado únicamente por el solenoide y el instrumento de medición, amperímetro. Por lo tanto el solenoide se comporta como un generador, que crea en sus extremos una ddp.

Al mover el imán con respecto al solenoide (también podríamos mover al solenoide con respecto al imán) estamos logrando un campo magnético variable (mediante un procedimiento sencillo), el que nos produce una fem inducida en el solenoide. (Fig. 7).

Flujo magnético

Para cuantificar la fem inducida es necesario definir otra magnitud llamada **"flujo magnético"** que se representa con la letra griega " Φ ".

En una situación particular en donde el campo magnético tiene una dirección perpendicular al plano de una espira, el flujo magnético se calcula $\Phi = B_{\perp} \times S$, donde: S es el valor de la superficie y B_{\perp} es el módulo del campo magnético perpendicular a la superficie. (Fig. 8) (Suponemos al campo magnético uniforme, por lo que el módulo es único).

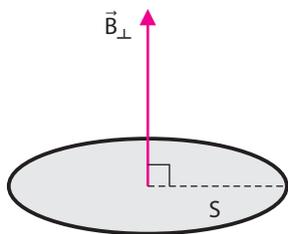


Fig. 8. B_{\perp} el campo magnético es perpendicular al plano de la superficie.

Situación general

A continuación analizaremos la situación general, donde la dirección del campo magnético puede tener cualquier ángulo con respecto al plano de la espira.

Para explicarla debemos previamente definir una nueva magnitud, denominada "Vector Superficie" \vec{S} .

Vector superficie \vec{S} .

Definimos \vec{S} al vector que tiene las siguientes características:

- Dirección, perpendicular al plano de la superficie (Fig.9).
- Módulo de \vec{S} , es igual al valor de la superficie.
- Sentido, arbitrario.

Cálculo del flujo magnético

El flujo magnético por una determinada superficie se define a partir de la siguiente ecuación:

$$\Phi = B \times S \times \cos\alpha$$

- B es el módulo del campo magnético en la región.
- S es el valor de la superficie.
- α es el ángulo formado entre la dirección del campo magnético \vec{B} y el vector superficie \vec{S} . (Fig. 10)

Aclaración: Un error común es considerar a α como el ángulo formado entre la dirección del campo y el plano de la superficie.

Unidades de flujo magnético.

- [B] = T, Tesla.
- [S] = m², metros cuadrados.
- [cos α] no tiene unidades.

[Φ] = T x m² = Wb, que recibe el nombre de Weber (Fig. 11).

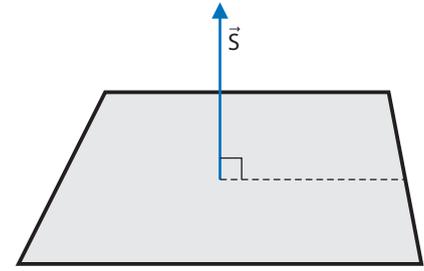


Fig. 9. Vector superficie

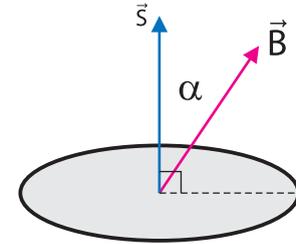


Fig. 10. El vector campo magnético forma un ángulo α con el vector superficie.



Fig. 11. Wilhelm Eduard Weber
Físico alemán. (1804 -1891) En 1831 en la ciudad de Gotinga lo contratan como profesor de Física, recomendado por su amigo Gauss, (donde él ya era director del observatorio astronómico). Sus más importantes aportes fueron dos publicaciones elaboradas en colaboración con Gauss:
*El Atlas des Erdmagnetismus (Atlas de Geomagnetismo), compuesto por una serie de mapas magnéticos de la Tierra.
*Medidas Proporcionales Electromagnéticas conteniendo un sistema de medidas absolutas para corrientes eléctricas, que sentó las bases de las unidades que usamos hoy en día. En su honor a la unidad del Sistema Internacional para el flujo magnético, se la denominó Weber, (Wb).

Ejemplo 1.

Una espira cuadrada de lado 5,0cm, se encuentra en una zona donde existe un campo magnético uniforme, horizontal hacia la derecha de módulo 0,20T. Calcula el flujo magnético para las diferentes posiciones que va tomando la espira según muestra la figura 12 a, b, c.

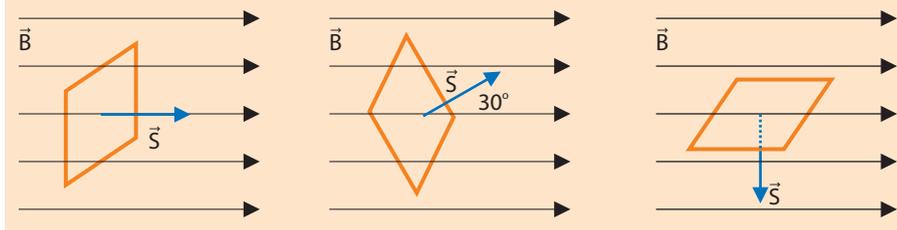


Fig. 12 a.

Fig. 12 b.

Fig. 12 c.

En primer lugar calculamos el área de la espira.
 $S = l^2 \quad S = (0,050m)^2 \Rightarrow S = 2,5 \times 10^{-3} m^2$.
 Para calcular el flujo magnético utilizamos la ecuación

$$\Phi = B \times S \times \cos\alpha$$

• En la figura "a" se aprecia claramente que el ángulo formado entre los vectores superficie y campo magnético es $\alpha = 0^\circ$,

$$\Phi = 0,20\text{T} \times 2,5 \times 10^{-3}\text{m}^2 \times \cos 0^\circ \Rightarrow \Phi_a = 5,0 \times 10^{-4}\text{Wb}$$

• En la figura "b" $\alpha = 30^\circ$

$$\Phi = 0,20\text{T} \times 2,5 \times 10^{-3}\text{m}^2 \times \cos 30^\circ \Rightarrow \Phi_b = 4,3 \times 10^{-4}\text{Wb}$$

• En la figura "c" $\alpha = 90^\circ$

$$\Phi = 0,20\text{T} \times 2,5 \times 10^{-3}\text{m}^2 \times \cos 90^\circ \Rightarrow \Phi_c = 0\text{Wb}$$

Ley de Faraday

Retomemos el análisis de las situaciones donde el imán se alejaba y acercaba al solenoide y por éste se inducía una corriente eléctrica. La cantidad de líneas de campo magnético que atraviesan cada espira del solenoide, varía al acercar o alejar el imán, (recuerda que el campo magnético generado por un imán es más intenso en las cercanías de sus polos), por lo tanto el flujo magnético también varía. Además habíamos observado que el valor de la intensidad de corriente inducida dependía de la rapidez con que movíamos el imán.

La intensidad de corriente inducida es proporcional a la rapidez con que se hace variar el flujo magnético por las espiras del solenoide.

La corriente inducida se establece debido a una fem inducida (ε_i) en la bobina.

La fem inducida en una espira es directamente proporcional a la variación de flujo magnético a través de ella e inversamente proporcional al tiempo en que se produce dicha variación.

Si no existe variación de flujo, no se induce una fem y NO se obtiene una corriente inducida.

La **Ley de Faraday** para determinar la fem inducida en un solenoide se expresa con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- N es el número de espiras que tiene el solenoide,
- $\Delta\Phi$ es la variación de flujo magnético,
- Δt es la variación de tiempo.
- El signo de menos está vinculado con el sentido de la corriente inducida (veremos cómo determinar el sentido más adelante).

Para que se genere una fem inducida, el flujo magnético debe estar variando.

¿De qué formas podemos variar el flujo magnético?

Las variaciones de flujo magnético se pueden producir por distintos procedimientos:

Primer situación. Variación del flujo magnético debido a variaciones en el campo magnético.

Un campo magnético que esté variando, produce variaciones del flujo magnético en un circuito. Podemos lograr un campo magnético variable, variando la corriente eléctrica que circula por un solenoide, cerrando o abriendo el circuito con un interruptor, conectándolo a una fuente de corriente alterna o acercando y alejando un imán. (Fig. 13)

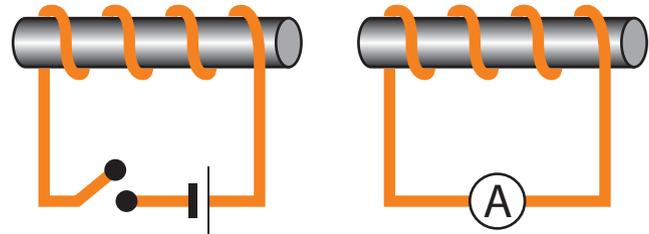


Fig. 13. Al abrir y cerrar el interruptor de la bobina de la izquierda, el campo magnético que genera es variable. Esto hace que el flujo magnético en la bobina de la derecha sea variable.

Segunda situación. Variación del flujo magnético debido a variaciones en la superficie de la espira.

Si el campo magnético permanece constante podemos variar el flujo variando el valor de la superficie. Esto se logra con un dispositivo móvil de tal forma que la superficie de la espira se pueda ir modificando. (Fig. 14)

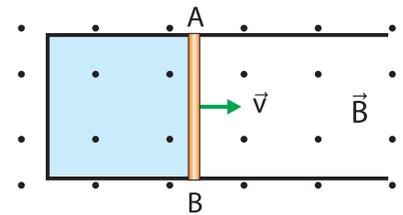


Fig. 14. El tramo móvil del circuito, conductor AB, permite que la superficie de la espira varíe (indicada en color celeste).

Tercer situación. Variación del flujo magnético debido a variaciones en el ángulo α .

El valor del ángulo α que forma la dirección del campo magnético con el vector superficie, se puede variar en forma sencilla girando la espira dentro de un campo magnético constante. Este es un procedimiento de gran aplicación industrial. (Fig. 15)

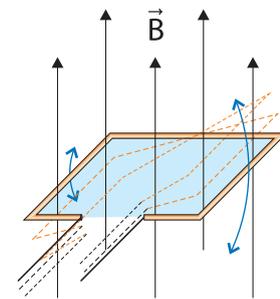


Fig. 15. Al girar la espira dentro del campo magnético, el ángulo α entre \vec{B} y \vec{S} varía.

Cualquier combinación de las 3 situaciones estudiadas producirá un cambio en el flujo magnético.

Ejemplo 2.

El flujo magnético por un solenoide de 100 vueltas, aumenta desde cero hasta 0,40 Wb en un tiempo de 0,20s (suponemos que el flujo cambia uniformemente).

a) Determina la fem inducida en los extremos del solenoide.

Aplicando la Ley de Faraday

$$\epsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \epsilon_i = -100 \frac{0,40\text{Wb} - 0\text{Wb}}{0,20\text{s}} \Rightarrow \epsilon_i = -200\text{V}$$

Observa que la Fem inducida es negativa, más adelante veremos el significado físico de este resultado.

b) En el solenoide se produce la misma variación de flujo pero en un tiempo cuatro veces mayor. Calcula la fem inducida en sus extremos. Como el tiempo es cuatro veces mayor, la fem inducida debe ser cuatro veces menor, por lo tanto $\epsilon_i = -50V$. Verifiquemos con el cálculo a partir de la ecuación

$$\epsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad \epsilon_i = -100 \frac{0,40Wb - 0Wb}{0,80s} \Rightarrow \epsilon_i = -50V$$

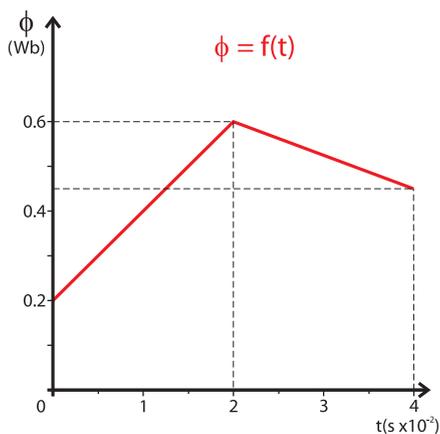


Fig. 16. $\Phi = f(t)$

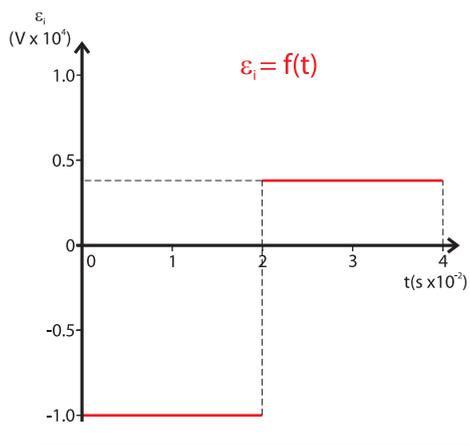


Fig. 17. $\epsilon_i = f(t)$.

El valor positivo de la intensidad significa que tiene un sentido de circulación y el valor negativo el sentido opuesto.

Ejemplo 3.

Se conectan en serie una bobina de 500 vueltas y una resistencia de $2,0k\Omega$. El flujo magnético que atraviesa dicha bobina cambia como se muestra en la gráfica $\Phi = f(t)$. (Fig. 16)

a) Determina la fem inducida en los extremos de la bobina y construye la gráfica $\epsilon_i = f(t)$.

En la gráfica $\Phi = f(t)$ el cociente $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ corresponde al valor de la pendiente. Por lo tanto si hacemos su cálculo y la multiplicamos por $-N$, obtenemos el valor de la fem inducida.

Observando en la gráfica $\Phi = f(t)$ la forma como varía el flujo magnético con respecto al tiempo, vemos que se distinguen dos tramos rectos diferentes. Por lo tanto tendremos dos valores diferentes de fem inducida en la bobina.

Para el primer tramo,

$$\epsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \epsilon_i = -500 \frac{0,60Wb - 0,20Wb}{2,0 \times 10^{-2}s - 0s} \Rightarrow \epsilon_i = -1,0 \times 10^4 V$$

Para el segundo tramo

$$\epsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \epsilon_i = -500 \frac{0,45Wb - 0,60Wb}{4,0 \times 10^{-2}s - 2,0 \times 10^{-2}s} \Rightarrow \epsilon_i = 3,8 \times 10^3 V$$

b) Determina la intensidad de corriente inducida que circula por la resistencia.

Suponemos la resistencia interna de la bobina despreciable, por lo que

$$I = \frac{\epsilon_i}{R}$$

Para el primer tramo $I_1 = \frac{-1,0 \times 10^4 V}{2000\Omega} \Rightarrow I_1 = -5,0A$

Para el segundo tramo $I_2 = \frac{3,8 \times 10^3 V}{2000\Omega} \Rightarrow I_2 = 1,9A$

La primera intensidad es negativa. ¿Cómo se interpreta dicho signo? La intensidad por un conductor puede tener dos sentidos posibles, hacia un lado o hacia el otro. Una forma de especificar hacia qué lado circula es a través de los signos, por lo que tendremos que aclarar el criterio de signos utilizado.

Ley de Lenz

Esta ley nos permite determinar el sentido de la corriente inducida y su enunciado es el siguiente:

El sentido de la corriente inducida es tal, que sus efectos magnéticos se oponen a la causa que la origina.

Cuando analizamos la Ley de Faraday planteamos que el signo negativo estaba vinculado con el sentido de la corriente inducida.

Dicho signo es una forma de expresar que la fem inducida produce una corriente inducida **siempre en oposición** a la causa que la está originando. Para comprender la Ley de Lenz analizaremos dos situaciones:

Primer situación, un imán recto se acerca a un solenoide.

Si un imán recto se acerca a un solenoide como muestra la figura 18, el flujo magnético en el solenoide aumenta porque el campo magnético que genera el imán es mayor cerca de sus polos. Esto hace que en el solenoide se origine una fem inducida. La misma genera una corriente eléctrica inducida, que detectamos en el amperímetro.

A su vez la corriente inducida origina un campo magnético, que se denomina campo magnético inducido \vec{B}_i (representado en negro). Este campo magnético inducido \vec{B}_i se opone al cambio del flujo magnético a través del solenoide.

La causa que originó la corriente inducida es el aumento del flujo magnético al **acercar el polo Norte** del imán. Por lo tanto el **campo magnético inducido \vec{B}_i** , **se opondrá** a que el flujo magnético aumente. La forma de oponerse es creando otro polo Norte en el solenoide, en la cara enfrentada al imán. De esta forma el solenoide repele al imán.

Conociendo la dirección del campo magnético inducido \vec{B}_i , aplicamos la **regla de la mano derecha**, para determinar el sentido de la corriente inducida. Orientamos el pulgar en la dirección y sentido del campo magnético inducido, y el resto de los dedos enrollados, nos indican hacia dónde circula la corriente inducida por el solenoide.

Si el flujo de campo magnético Φ aumenta, el vector campo magnético inducido tiene sentido opuesto al vector campo magnético que lo produce.

Segunda situación, alejamos el imán del solenoide.

Si ahora retiramos el imán recto, al alejar el polo norte el flujo magnético en el solenoide disminuye. Esto genera una fem inducida en el solenoide, que origina a su vez una corriente eléctrica inducida. Esta corriente eléctrica inducida crea un campo magnético \vec{B}_i . Dicho campo magnético inducido se opondrá a que el flujo magnético disminuya, por lo que tenderá a



Heinrich Friedrich Emil Lenz.

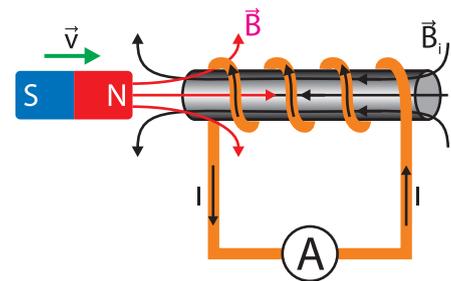


Fig. 18. Mientras acercamos el imán, el flujo magnético en el solenoide está aumentando porque el campo magnético aumenta. Por lo tanto se establece una fem inducida en el solenoide que provocará una corriente inducida. La corriente inducida creará un campo magnético inducido \vec{B}_i .

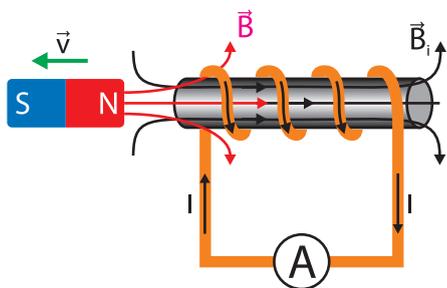


Fig. 19. Mientras alejamos el imán, el flujo magnético en el solenoide está disminuyendo porque el campo magnético disminuye. Por lo tanto la fem inducida en el solenoide provocará una corriente inducida que creará un campo magnético inducido \vec{B}_i que se opondrá a dicha disminución.

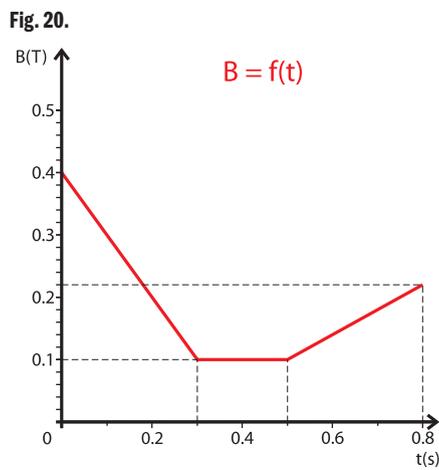
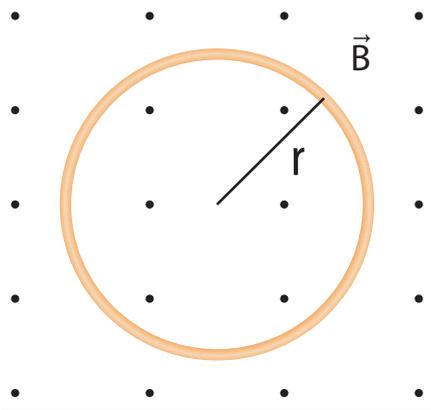
“reforzarlo”. Entonces creará un polo Sur en el solenoide, en la cara enfrentada al imán. De esta forma el solenoide atrae al imán.(Fig. 19)

Volvemos a utilizar la regla de la mano derecha para determinar el sentido de la corriente inducida por la bobina. Es claro que tendrá sentido opuesto al que tenía cuando el imán se acercaba.

Si el flujo de campo magnético Φ disminuye, el vector campo magnético inducido tiene el mismo sentido que el vector campo magnético que lo produce.

En resumen, según la Ley de Lenz:

Si Φ aumenta \Rightarrow	\vec{B}_i es opuesto al campo magnético que lo origina	$\Rightarrow \vec{B}_i$ tiende a disminuir el flujo magnético oponiéndose al aumento del flujo magnético
Si Φ disminuye \Rightarrow	\vec{B}_i tiene igual sentido al campo magnético que lo origina	$\Rightarrow \vec{B}_i$ tiende a aumentar el flujo magnético oponiéndose a la disminución del flujo magnético



Ejemplo 4.

Una espira circular de radio 20cm es atravesada por un campo magnético saliente variable. (Fig. 20) El módulo del campo magnético cambia según la gráfica $B=f(t)$ (Fig. 21)

a) Construye la gráfica de flujo magnético en función del tiempo.

Como la espira se encuentra en el plano de la hoja el vector superficie es saliente, por lo que formará 0° con el campo magnético.

$$\Phi = B \times S \times \cos\alpha \quad , \quad S = \pi \times r^2 \Rightarrow S = 3,14 \times (0,20 \text{ m})^2 \quad S = 0,13 \text{ m}^2$$

Calculamos Φ para $t = 0,00\text{s}$

$$\Phi_0 = 0,40\text{T} \times 1,3 \times 10^{-1}\text{m}^2 \cos 0 \Rightarrow \Phi_0 = 5,2 \times 10^{-2}\text{Wb}$$

Calculamos Φ para $t = 0,30\text{s}$

$$\Phi_{0,3} = 0,10\text{T} \times 1,3 \times 10^{-1}\text{m}^2 \cos 0 \Rightarrow \Phi_{0,3} = 1,3 \times 10^{-2}\text{Wb}$$

Calculamos Φ para $t = 0,50\text{s}$

$$\Phi_{0,5} = 0,10\text{T} \times 1,3 \times 10^{-1}\text{m}^2 \cos 0 \Rightarrow \Phi_{0,5} = 1,3 \times 10^{-2}\text{Wb}$$

Calculamos Φ para $t = 0,80s$

$$\Phi_{0,8} = 0,22T \times 1,3 \times 10^{-1}m^2 \cos 0 \Rightarrow \Phi_{0,8} = 2,9 \times 10^{-2}Wb$$

Como S y α en este ejemplo son constantes, podemos concluir que $\Phi \propto B$. Por lo tanto las gráficas $B=f(t)$ y $\Phi=f(t)$ tendrán la "misma forma". (Fig. 22)

b) Grafica $\varepsilon_i = f(t)$ en la bobina.

Calculamos la fem inducida entre los tiempos:

• $t = 0,00s$ y $t = 0,30s$

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \varepsilon_i = -1 \frac{1,3 \times 10^{-2}Wb - 5,2 \times 10^{-2}Wb}{0,30s - 0,00s} \Rightarrow \varepsilon_i = 1,3 \times 10^{-1}V$$

• $t = 0,30s$ y $t = 0,50s$

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \varepsilon_i = -1 \frac{1,3 \times 10^{-2}Wb - 1,3 \times 10^{-2}Wb}{0,50s - 0,30s} \Rightarrow \varepsilon_i = 0,00V$$

(observa que la pendiente es cero en este tramo)

• $t = 0,50s$ y $t = 0,80s$

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \varepsilon_i = -1 \frac{2,9 \times 10^{-2}Wb - 1,3 \times 10^{-2}Wb}{0,80s - 0,50s} \Rightarrow \varepsilon_i = -5,3 \times 10^{-2}V$$

c) Indica el sentido de la corriente inducida en cada intervalo.

• Entre $t = 0,00s$ y $t = 0,30s$, el módulo del campo magnético está disminuyendo. El campo inducido, que se opone a esta disminución, es también saliente. Aplicando la regla de la mano derecha, el sentido de la corriente inducida es antihorario.

También podemos razonar de la siguiente forma: como el flujo por la espira está disminuyendo, el campo inducido tiende a aumentar el flujo magnético, por lo que su sentido es saliente. (fig. 24)

• Entre $t = 0,30s$ y $t = 0,50s$, el módulo del campo magnético permanece constante, no existe variación de flujo, por lo que no existe en este intervalo corriente inducida.

• Entre $t = 0,50s$ y $t = 0,80s$, el módulo del campo magnético está aumentando. El campo inducido, que se opone a este aumento, es entrante. Aplicando la regla de la mano derecha el sentido de la corriente inducida es horario. (Fig. 25)

Hagamos también el análisis a partir de la variación de flujo magnético. Como éste está aumentando, el campo magnético inducido tiende a disminuir el flujo, por lo tanto \vec{B}_i es entrante.

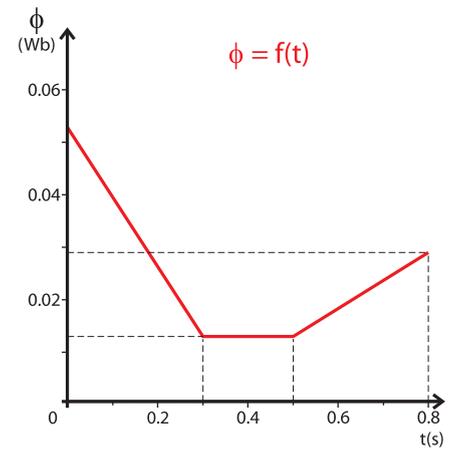


Fig. 22.

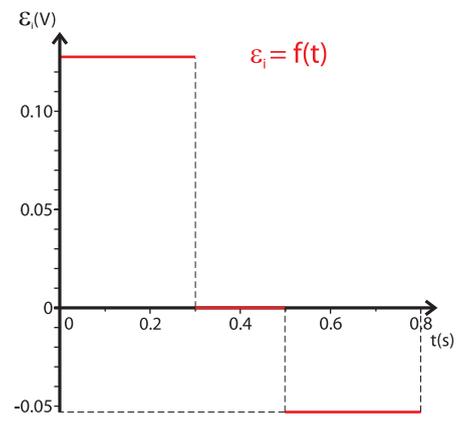


Fig. 23.

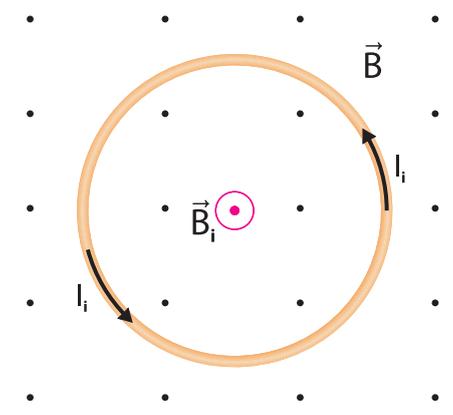


Fig. 24. \vec{B}_i e I_i entre $t=0,00s$ y $t=0,30s$.

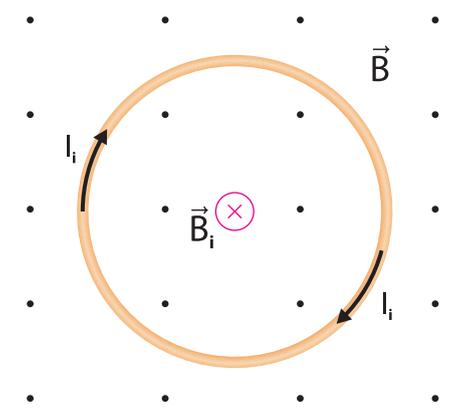


Fig. 25. \vec{B}_i e I_i entre $t=0,50s$ y $t=0,80s$.

Aplicación de la Ley de Faraday: transformadores.

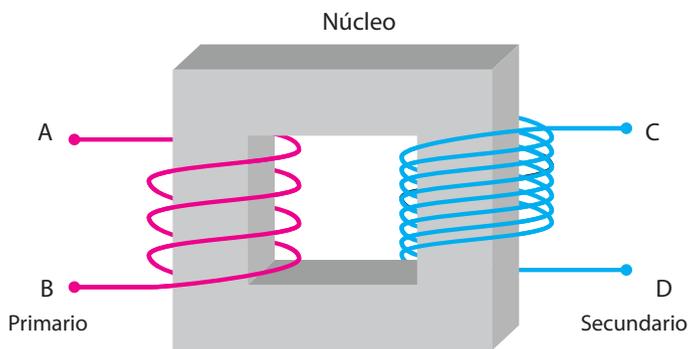


Fig. 26.

La red eléctrica de UTE nos proporciona un ddp de 220V, pero muchos electrodomésticos funcionan correctamente cuando se los conecta a una ddp menor.

El dispositivo que se utiliza para obtener diferentes valores de ddp, se denomina transformador.

En la figura 26 se muestra el esquema simplificado de un transformador. Está constituido por un núcleo y dos bobinados en él. A dichos bobinados se les denomina "primario" y "secundario".

Si conectamos los puntos A y B, (terminales del arrollamiento primario), a una ddp que varíe en el tiempo como la que nos proporciona UTE, por el bobinado primario se originará una corriente alterna. Esta a su vez generará un campo magnético variable.

Los dos bobinados están vinculados por el núcleo, por lo tanto en condiciones ideales, todas las líneas de campo magnético atravesarán también el bobinado secundario.

Al ser dicho campo magnético variable, el flujo magnético por el secundario estará variando constantemente.

De acuerdo a la Ley de Faraday, se originará un fem inducida en el secundario, que establece una ddp variable entre los puntos C y D.

Llamemos N_1 al número de vueltas del bobinado primario y N_2 al número de vueltas del bobinado secundario.

Se cumple en el transformador

$$\frac{V_{CD}}{V_{AB}} = \frac{N_2}{N_1}$$

Siendo V_{AB} y V_{CD} los valores máximos de ddp de la corriente alterna que se conecta al primario y se obtiene en el secundario.

A partir de la relación anterior podemos concluir que:

Si $N_2 > N_1$ la diferencia de potencial V_{CD} (en el secundario) es mayor que la diferencia de potencial V_{AB} (en el primario). De esta forma utilizaríamos el transformador para elevar la ddp.

Si $N_2 < N_1$ la diferencia de potencial en el secundario es menor que en el primario. En este caso utilizamos el transformador para disminuir la ddp.

Es muy importante aclarar que el transformador no crea energía. Esto violaría el principio de conservación de la energía. La energía que se suministra en el primario, nunca puede ser menor a la que se obtiene en el secundario, en condiciones ideales serán iguales (en los transformadores reales siempre existen "pérdidas" de energía hacia el medio ambiente, por

Un transformador de estas características sólo funciona cuando se conecta el primario a una corriente alterna.

La corriente que se obtiene en el secundario también es alterna.

Fig. 27.

Si $N_2 > N_1 \Rightarrow V_{CD} > V_{AB}$
el transformador eleva la ddp.

Si $N_2 < N_1 \Rightarrow V_{CD} < V_{AB}$
el transformador reduce la ddp.

Fig. 28.

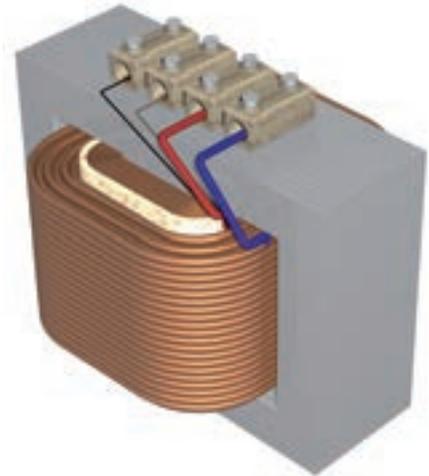
lo que la energía obtenida en el secundario es menor a la que se entrega en el primario).

Si entregamos cierta cantidad de energía en el primario en determinado tiempo, y en dicho lapso obtenemos la misma energía en el secundario, las potencias de ambos bobinados son iguales.

$$P_{\text{primario}} = P_{\text{secundario}} \Rightarrow V_{AB} \times I_{\text{PRIMARIO}} = V_{CD} \times I_{\text{SECUNDARIO}}$$

$$\text{de donde } \frac{V_{CD}}{V_{AB}} = \frac{I_{\text{PRIMARIO}}}{I_{\text{SECUNDARIO}}}$$

$$\text{por lo tanto si } \frac{V_{CD}}{V_{AB}} = \frac{N_2}{N_1} \text{ entonces } \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_{\text{PRIMARIO}}}{I_{\text{SECUNDARIO}}}$$



PREGUNTAS

- 1) ¿Están vinculados los fenómenos eléctricos y magnéticos?
- 2) ¿Es posible generar una corriente eléctrica a partir de un campo magnético? Explica.
- 3) ¿Por qué las corrientes inducidas se denominan de esa forma?
- 4) ¿En qué situación observó Faraday que se producían corrientes inducidas en una bobina?
- 5) Faraday concluyó que “algo” debía estar cambiando para que se produzca una corriente inducida, ¿a qué se refería?
- 6) Explica tres formas de producir corrientes inducidas en un solenoide.
- 7) Define el flujo magnético.
- 8) ¿Cómo se debe colocar una espira en una zona donde existe un campo magnético uniforme para que el flujo magnético por ella sea cero?
- 9) ¿Cómo se debe colocar la espira de la pregunta 8 para que el flujo magnético adquiera el máximo valor posible? ¿Qué ángulo formarán en este caso el vector superficie y la dirección del vector campo magnético?
- 10) Explica la Ley de Faraday.
- 11) Una espira se ubica en una zona donde existe un campo magnético uniforme. Las líneas de campo son paralelas al vector superficie. ¿De qué forma puedo mover la espira para que no se induzca corriente en ella?
- 12) ¿De qué forma puedo mover la espira de la pregunta anterior para que se induzca una corriente en ella?
- 13) Cuando acercamos un imán a una bobina se genera una fem inducida. Si ahora acercamos el imán por la misma trayectoria pero empleando un tiempo mayor, ¿la fem inducida es mayor, menor o igual?
- 14) Cuando acercamos un imán a una bobina se genera una fem inducida. Si ahora acercamos el imán a la misma velocidad pero con los polos invertidos, ¿en qué cambia la fem inducida en la bobina?
- 15) Enuncia la Ley de Lenz.
- 16) Explica el funcionamiento de un transformador.

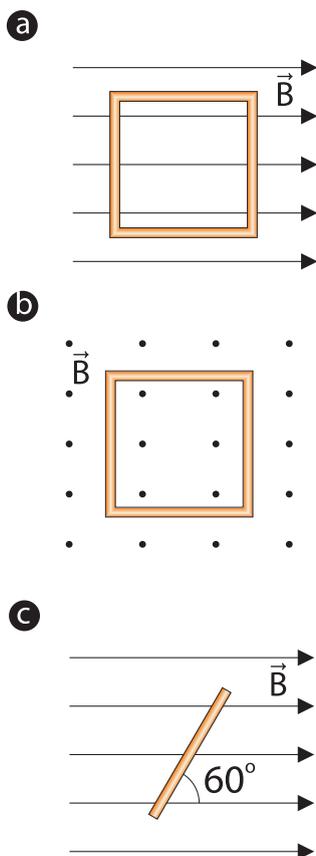


Fig. 29 a, b y c. Problema 1.

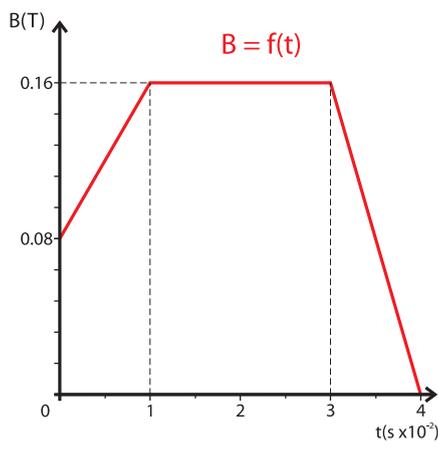


Fig. 30. Problema 5.

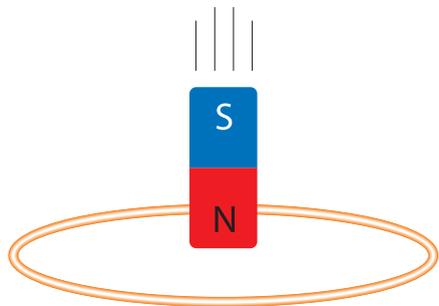


Fig. 31. Problema 8.

PROBLEMAS

- Una espira cuadrada, de lado 5,0cm se ubica en una región donde existe un campo magnético uniforme de módulo 0,80T. Para cada caso representa el vector superficie y calcula el flujo magnético en la espira. (Fig. 29)
- Una bobina de 25 vueltas es atravesada por un campo magnético. El flujo magnético a través de ella cambia de 0,050Wb a 0,042Wb en un tiempo de 800ms. Determina la fem inducida en la bobina.
- En un solenoide de 500 vueltas el flujo magnético se reduce a un 80% de un valor inicial de $3,0 \times 10^{-3}$ Wb. La fem inducida en el solenoide es de 7,5V.

Determina el tiempo en que se produce el cambio de flujo.

- El flujo magnético por un solenoide de 1000 vueltas, tiene un valor inicial de 30mWb. Durante 5,0s dicho flujo magnético varía uniformemente y en el solenoide se induce una fem de 3,0 V. Calcula el valor final del flujo magnético en el solenoide.
- El módulo del campo magnético que atraviesa un solenoide de 200 vueltas, cambia según la gráfica $B = f(t)$ de la figura 30. (el campo es perpendicular a las caras del solenoide y mantiene constante su dirección). El área de la cara del solenoide es de 20 cm^2 .

a) Construye la gráfica de $\Phi = f(t)$.

b) Construye la gráfica de $\varepsilon_i = f(t)$.

- En el interior de un solenoide de 180 vueltas y largo 10cm, se coloca una espira cuadrada de lado 1,5cm. Esta última se ubica en forma perpendicular al eje del solenoide.

a) Determina el flujo magnético por la espira si la intensidad por el solenoide es de 5,0A.

b) Si en un tiempo de 0,20s la intensidad en la bobina se reduce a la mitad ¿cuál es el valor de la fem inducida en la espira?

- En todas las situaciones del problema 1, el campo magnético aumenta su módulo al doble en 10ms, manteniendo su dirección y sentido.

a) Explica por qué se induce una corriente en algunos casos y en otros no.

b) Determina el sentido de la corriente inducida en cada caso.

c) Representa el campo magnético inducido en cada caso.

d) Contesta nuevamente las partes b y c, si el módulo del campo magnético se reduce a la mitad.

- Un imán recto se deja caer verticalmente, pasando por dentro de una espira circular que se encuentra ubicada horizontalmente.(fig. 31)

a) Indica el sentido de la corriente inducida en la espira cuando el imán se va acercando a ella.

b) Determina el sentido de la corriente inducida cuando el imán ya pasó por la espira y se va alejando de esta.

- Contesta nuevamente lo mismo que en el problema anterior pero suponiendo que el imán cae con el polo sur hacia abajo.

- 10) Dos bobinas se encuentran muy próximas como muestra la figura 32. Determina el sentido de la corriente por la resistencia conectada a la bobina 2:
- cuando se cierra el interruptor conectado a la bobina 1.
 - cuando se abre el interruptor conectado a la bobina 1.

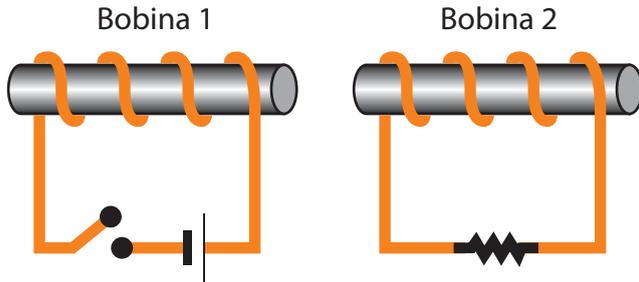


Fig. 32. Problema 10.

- 11) Se tiene un conjunto de 18 espiras circulares, cada una de ellas de radio 6,0cm. Son atravesadas por un campo magnético que mantiene constante su dirección (fig. 33) pero cambia de módulo según la gráfica $B = f(t)$ adjunta. (Fig. 34)
- Calcula la fem inducida en cada intervalo.
 - Indica el sentido de la corriente inducida en cada intervalo.
- 12) Una espira de superficie 10cm^2 se encuentra en una región donde existe un campo magnético uniforme, horizontal hacia la derecha de módulo $4,0 \times 10^{-3}\text{T}$. Inicialmente la espira se encuentra vertical, de tal forma que el campo la atraviesa perpendicularmente. En un tiempo de 2,0s la espira gira hasta quedar horizontal.
- Representa en un dibujo las posiciones inicial y final de la espira con respecto al campo magnético.
 - Determina la fem inducida en la espira.
 - Calcula nuevamente la fem pero suponiendo que el giro se realiza en 2,0 ms.
- 13) Un alambre conductor AB, de longitud 10cm se mueve hacia la derecha, deslizándose sobre un conductor en forma de "U". (Fig. 35). En la región existe un campo magnético uniforme saliente de módulo 0,28T. El alambre AB se desplaza 2,0cm empleando un tiempo de 0,50s.
- Calcula el valor de la fem inducida en el circuito formado por el conductor en forma de "U" y el alambre AB.
 - Determina la dirección y sentido del campo magnético inducido.
 - Determina el sentido de la corriente inducida en el circuito mencionado.
- 14) Resuelve lo mismo que en el problema anterior suponiendo que el alambre emplea el mismo tiempo en recorrer 2,0cm hacia la izquierda desde su posición inicial.

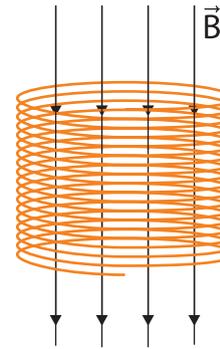


Fig. 33. Problema 11.

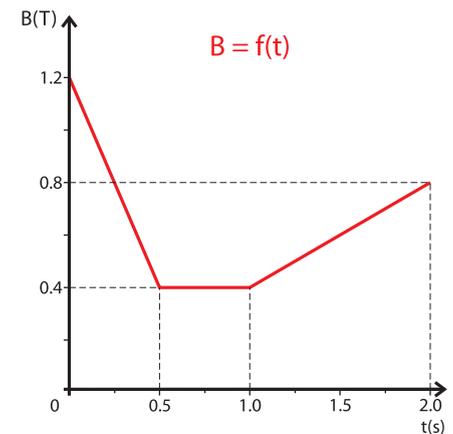


Fig. 34. Problema 11.

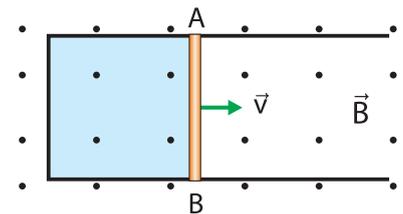


Fig. 35. Problema 13.