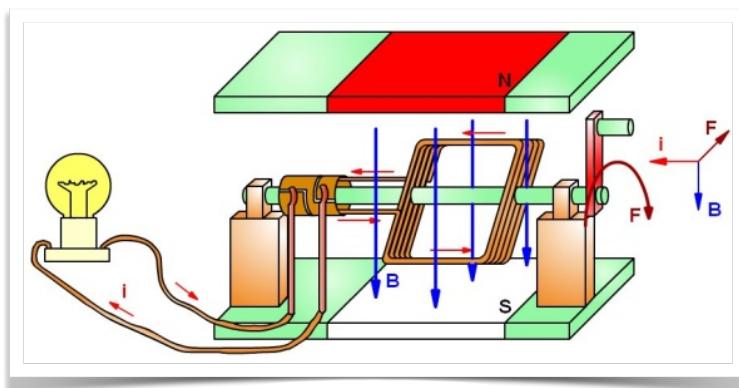


T.6. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA



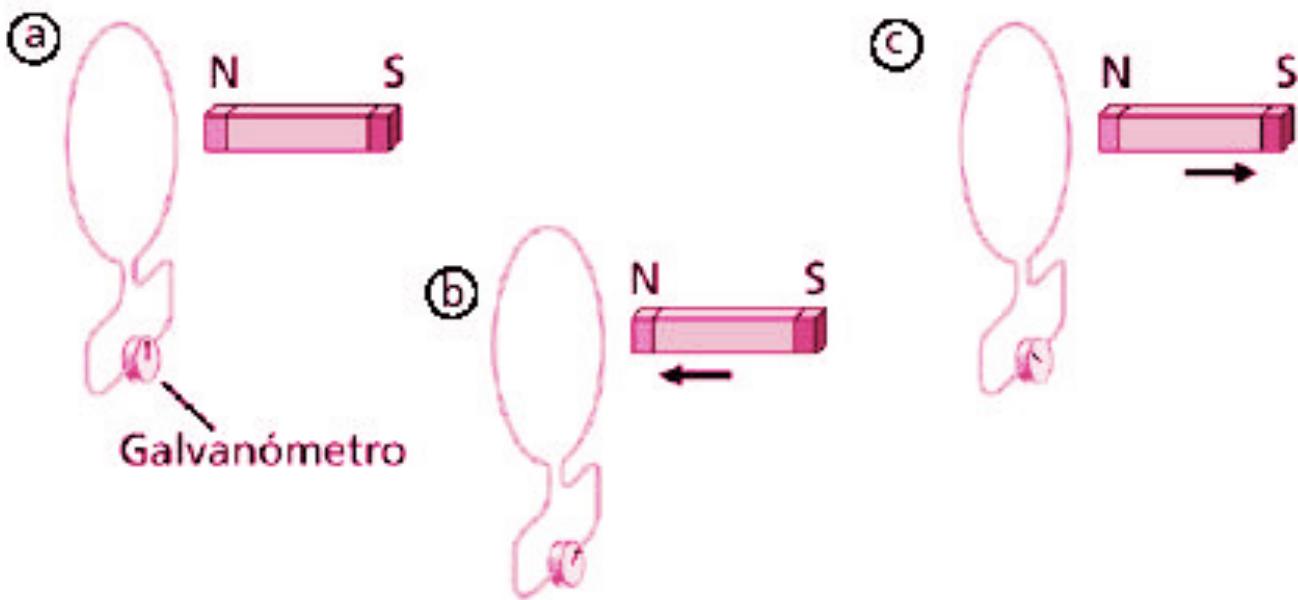
1. Introducción	2
2. Flujo magnético	3
3. Ley de Faraday-Lenz	5
3.1 Formas de inducir una corriente	6
4. Aplicaciones tecnológicas	11
4.1 Generador de corriente	11
4.2 Motor eléctrico	11
4.3 Transformador	12
CUESTIONES TEÓRICAS	14
Inducción electromagnética	14
PROBLEMAS	17
Inducción por variación en la orientación	17
Inducción por variación en la superficie	19
Inducción por variación en el campo	19

1. Introducción

En 1820 Oersted demostró que una corriente eléctrica produce un campo magnético, pero es capaz un campo magnético crear una corriente eléctrica? Esta cuestión fue investigada por Faraday y Henry mediante una serie de experiencias que describiremos a continuación.

Experimentos de Faraday

Michael Faraday estaba convencido de que también debía de producirse el fenómeno inverso. Es decir, que un campo magnético tenía que originar una corriente eléctrica. Sus experiencias con campos magnéticos constantes fracasaron hasta que en 1832 halló que un campo magnético variable produce una corriente eléctrica.

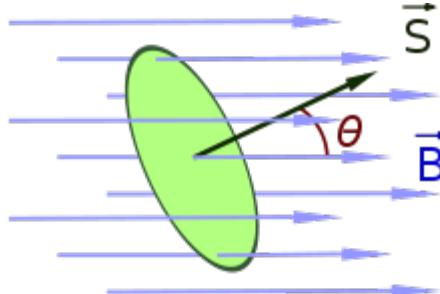


Descubrió que al mover un imán dentro de una bobina se producía una corriente eléctrica. A este fenómeno se lo denominó inducción electromagnética. Faraday descubrió que **solo existe corriente inducida si el flujo magnético varía con el tiempo**.

2. Flujo magnético

Se define como **flujo magnético (\emptyset)** a través de una superficie al producto escalar entre el vector campo magnético y el vector superficie

$$\emptyset = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \theta$$



El flujo representa el número de líneas de campo que atraviesa la superficie. El flujo magnético tendrá un valor máximo cuando el vector campo y el vector superficie sean paralelos (cuando el campo magnético sea normal a la superficie, $\theta = 0^\circ$), y será nulo cuando el vector campo y el vector superficie sean perpendiculares (i.e $\theta = 90^\circ$).

Cuando el campo magnético no es uniforme y/o la superficie sea irregular, el flujo total se calculará mediante la integral a través de toda la superficie:

$$\emptyset = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

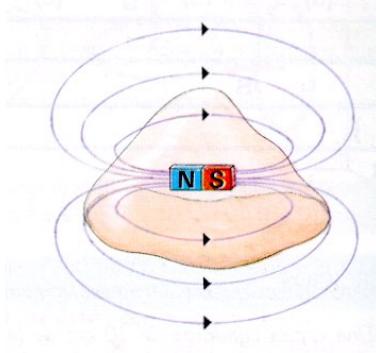
En este caso dividimos la superficie en pequeñas superficies planas, dS , de forma que el campo magnético que las atraviesa sea constante en cada una de ellas y hacemos la suma (i.e integral). La unidad internacional del flujo magnético es el **weber (Wb)**, y por ese motivo en algunas ocasiones se utiliza como unidad de campo magnético el weber/metros cuadrados (Wb/m^2).

$$[\emptyset] = \text{Wb}$$

El flujo magnético se caracteriza porque su valor a través de una superficie cerrada es nulo:

$$\emptyset = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Esto es debido a que las líneas de campo son líneas cerradas, por tanto, si tenemos un imán encerrado en una superficie y calculamos el flujo a través de ella, el número de líneas que salen de la superficie serán iguales a las que entran, y el flujo neto será nulo. Las líneas de campo cerradas también se pueden interpretar diciendo que no existen polos magnéticos aislados.



Un caso diferente ocurre con los campos gravitatorios y electrostático, ya que en estos casos las líneas de campo son abiertas (existen masas y cargas aisladas). Para el caso particular del campo electrostático:

$$\emptyset = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Ejercicio: Una espira cuadrada de 10 cm de lado puede girar sobre uno de sus lados que coincide con el eje Y.

- a) Si se encuentra dentro de un campo magnético uniforme de 0,1 T según el eje +X, calcula el flujo magnético cuando el ángulo entre el vector superficie y el campo sea 0°, 30°, 90° y 120°.
- b) Si la espira gira con velocidad angular ω rad/s, encuentra una expresión para el flujo en función del tiempo.

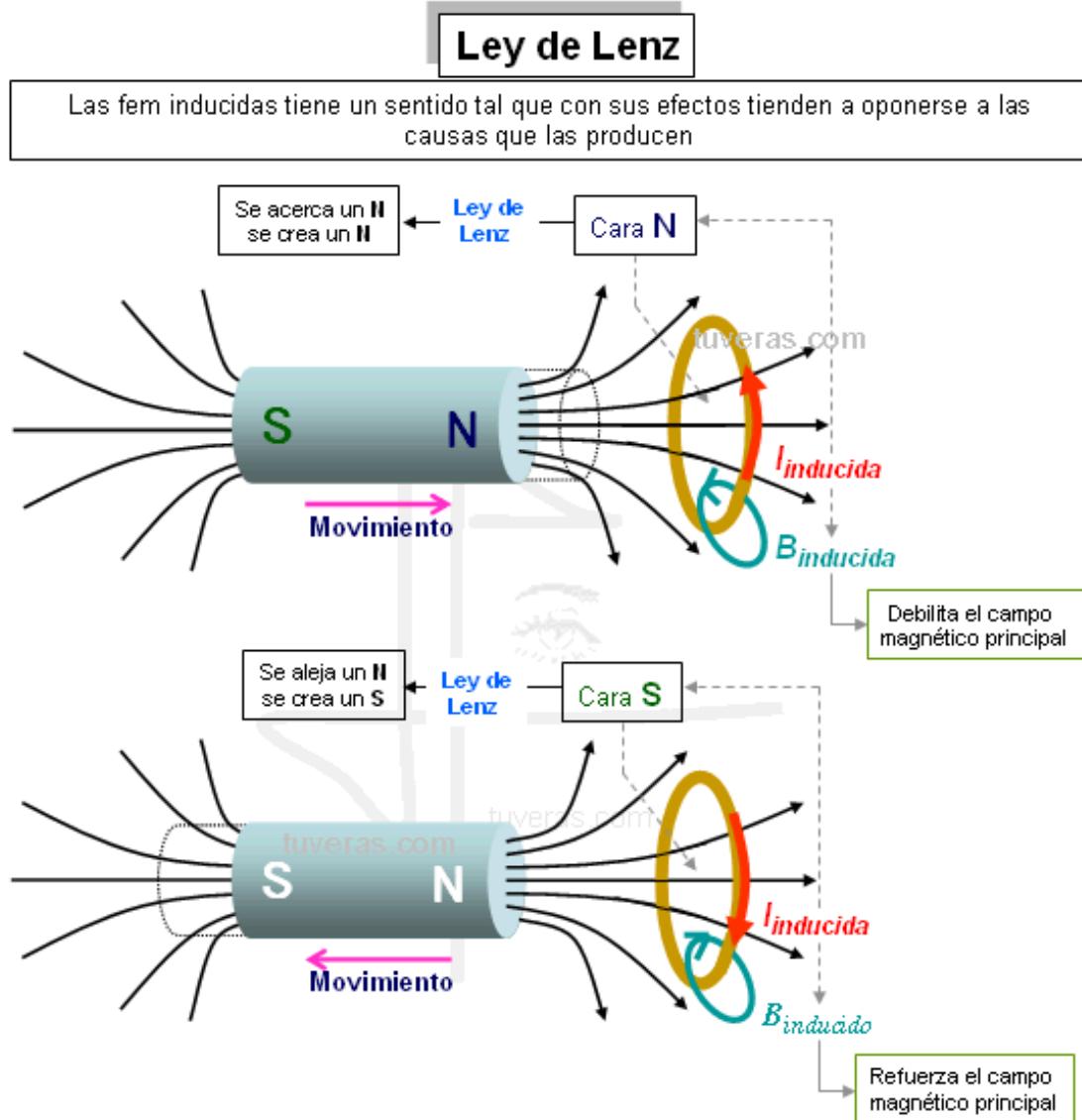
3. Ley de Faraday-Lenz

La inducción electromagnética se rige por dos leyes:

- **Ley de Lenz:** permite conocer el sentido de la corriente inducida en el conductor.
- **Ley de Faraday:** permite conocer la fuerza electromotriz inducida (f.e.m, ϵ) que genera la corriente. La fuerza electromotriz es toda causa capaz de mantener la diferencia de potencial entre dos puntos para producir una corriente eléctrica.

Ley de Lenz

"La fuerza electromotriz inducida que se genera produce una corriente que tiende a oponerse al cambio del flujo magnético que las produce."

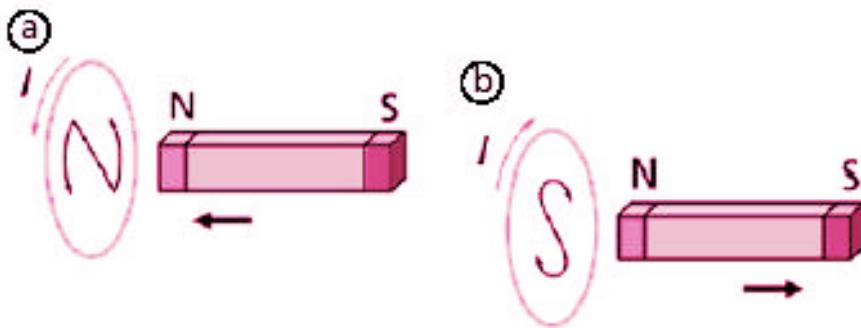


Si acercamos el polo norte de un imán a una espira ocurre lo siguiente:

1. Al acercar el imán → el \emptyset aumenta
2. Se induce una ϵ que crea → I
3. El **sentido de la I** crea → \vec{B} que tiende a disminuir el flujo

Si alejamos el polo norte del imán ocurre lo contrario. La idea fundamental de la ley de Lenz es que "el sistema responde oponiéndose a variaciones de flujo"

Podemos utilizar la siguiente regla mnemotécnica para recordar el sentido de la corriente inducida por la variación de flujo:



Ley de Faraday-Lenz

"La f.e.m inducida en un circuito es igual a la rapidez con la que varía el flujo magnético a través del mismo:"

$$\epsilon = \frac{d\phi}{dt}$$

A la ley de Faraday se le añade la ley de Lenz de la siguiente manera:

$$\boxed{\epsilon = -\frac{d\phi}{dt}}$$

El **signo menos hace que la variación de flujo produzca una f.e.m que crea una corriente que se oponga a esta variación** como habíamos visto.

En el caso de que tengamos una bobina con N espiras:

$$\boxed{\epsilon = -N \frac{d\phi}{dt}}$$

Tal y como se deduce de la ecuación anterior la f.e.m tiene las siguientes unidades:

$$[\epsilon] = \left[\frac{d\phi}{dt} \right] = \frac{Wb}{s}$$

3.1 Formas de inducir una corriente

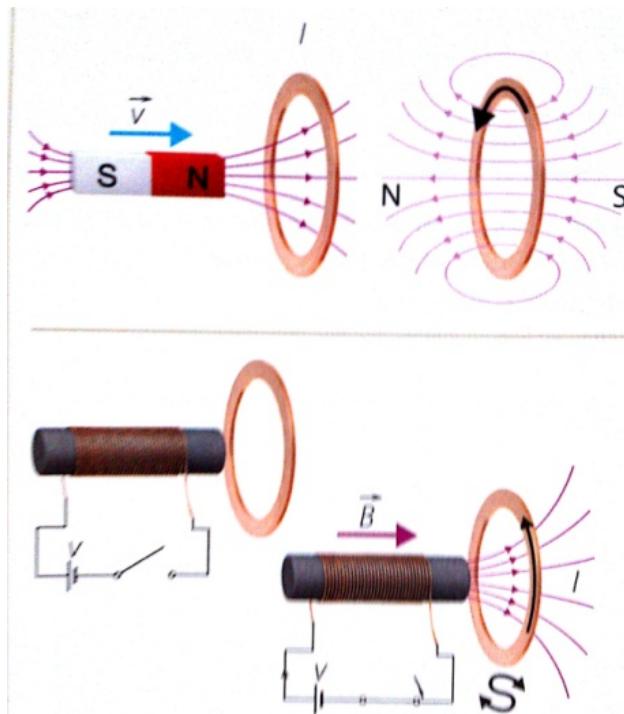
Tenemos varias alternativas para cambiar el flujo e inducir una corriente. Vamos a estudiar el caso en el que tenemos una **superficie plana** (espira) y un **campo magnético uniforme**. En estas condiciones tenemos la siguiente expresión del flujo:

$$\boxed{\phi = BS \cos \theta}$$

Si vemos la ecuación anterior es evidente que podemos variar el flujo de la espira de tres formas diferentes:

Variación de campo (B)

Podemos modificar la intensidad del campo alejando o acercando la fuente del campo magnético a la espira. También podemos utilizar un campo magnético cuyo módulo varíe con el tiempo.



Ejemplo: Una espira circular de 2 cm de radio se encuentra en un campo magnético uniforme, de dirección normal al plano de la espira y de intensidad variable con el tiempo:

$$B = 3t^2 + 4 \text{ (SI)}$$

- Deduzca la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo.
- Represente gráficamente la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo y calcule su valor para $t=2\text{s}$.

a) El flujo magnético a través de la espira variará según la expresión:

$$\begin{aligned}\emptyset &= \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos 0^\circ = (3t^2 + 4) \cdot \pi (0,02)^2 \text{ Wb} \\ \emptyset &= 3,77 \times 10^{-3} \cdot t^2 + 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

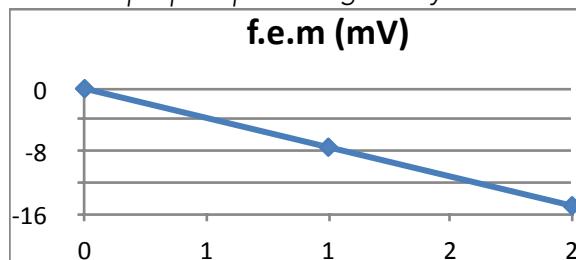
b) Calculamos la fuerza electromotriz utilizando la ley de Faraday-Lenz:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -7,54 \times 10^{-3} \cdot t \text{ V}$$

Para poder representar la ecuación anterior de una forma más sencilla pasamos a mV:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -7,54 \cdot t \text{ mV}$$

La ecuación anterior representa una recta que pasa por el origen tal y como se muestra en la figura:

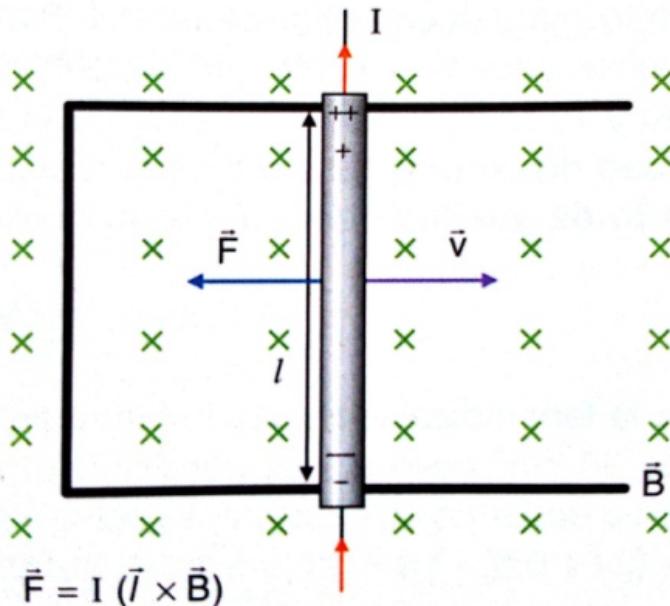


En el instante $t=2$ s obtenemos una f.e.m:

$$\epsilon(t = 2\text{s}) = -15 \text{ mV}$$

Variación de superficie (S)

El físico norteamericano Joseph Henry descubrió que si se mueve un conductor perpendicularmente a un campo magnético se origina una diferencia de potencial entre los extremos del conductor. Si el conductor forma parte de un circuito cerrado se genera una corriente eléctrica.

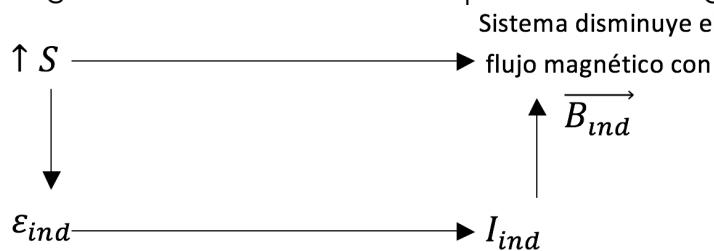


Podemos entender el proceso aplicando la **ley de Faraday-Lenz**:

Si suponemos un circuito en el que la barra vertical de longitud l se desplaza sobre el circuito con velocidad \vec{v} , la **superficie de la espira rectangular varia con el tiempo**:

$$S = lx \rightarrow \frac{dS}{dt} = \frac{d(lx)}{dt} = l \frac{dx}{dt} = lv$$

El flujo que pasa a través de la espira rectangular va en aumento y el sistema se opone a ese aumento de flujo. Se induce una f.e.m que crea una corriente que genera un campo magnético que disminuye el flujo magnético. Podemos resumir el proceso con el siguiente diagrama:



Si aplicamos la ley de Faraday-Lenz podemos calcular la f.e.m inducida:

$$\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -B \frac{dS}{dt} = -B \frac{d(lx)}{dt} = -Bl \frac{dx}{dt} = -Blv$$

Es importante señalar que **aparece una fuerza magnética que se opone al movimiento** de la varilla:

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

Esta fuerza magnética sobre el conductor se opone al movimiento de la varilla tal y como se muestra en la figura anterior. Si queremos mover la varilla con una velocidad constante

necesitamos aplicar sobre la misma una fuerza del mismo módulo y sentido opuesto a la fuerza magnética. En otras palabras, necesitamos realizar un trabajo mecánico sobre el conductor para obtener la energía eléctrica de la corriente inducida.

Ejemplo: La barra metálica de la figura está dentro de un campo magnético uniforme de 0,5 T dirigido hacia el interior del papel. La barra mide 20 cm y se desplaza sobre dos hilos conductores con una velocidad de 40 cm/s. Determina:

- La fuerza magnética que actúa sobre un electrón de la barra.
- El campo eléctrico en el interior de la barra.
- La f.e.m inducida.

Datos: Carga del electrón = $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

a) La fuerza magnética que actúa sobre los electrones de la barra viene dada por la ley de Lorentz esta dirigida hacia el extremo inferior y su módulo vale:

$$|F_m| = evV\sin 90^\circ = 3,2 \times 10^{-20} \text{ N}$$

b) El campo eléctrico en el interior de la barra crece hasta que las fuerzas magnéticas y eléctricas se igualan:

$$|F_m| = |F_e| \rightarrow E = vB = 0,2 \text{ V/m}$$

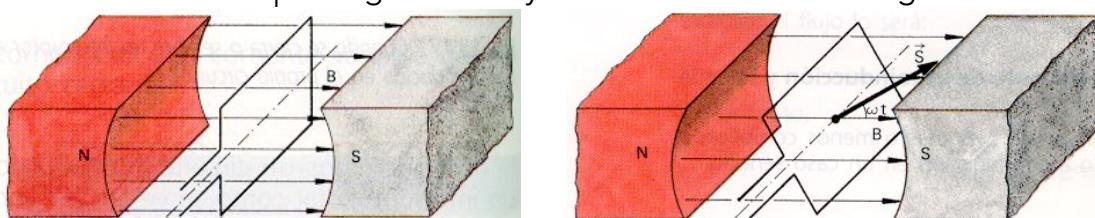
c) Calculamos la f.e.m inducida aplicando la ley de Faraday-Lenz:

$$\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = B \frac{dS}{dt} = -B \frac{d(lx)}{dt} = -Blv = -4 \times 10^{-2} \text{ V}$$

El signo menos indica que el sistema se opone al aumento del flujo.

Variación de la orientación (θ)

Podemos modificar el flujo magnético que atraviesa una espira cambiando la orientación de la espira en el seno de un campo magnético tal y como se muestra en la figura:



El flujo magnético que atraviesa la espira en un instante determinado viene dado por:

$$\phi = BS \cos \theta$$

Si suponemos que la espira gira con una velocidad angular constante, el ángulo varía de la siguiente forma:

$$\phi = BS \cos \omega t$$

Si aplicamos la ley de Faraday-Lenz obtenemos:

$$\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t$$

Finalmente obtenemos:

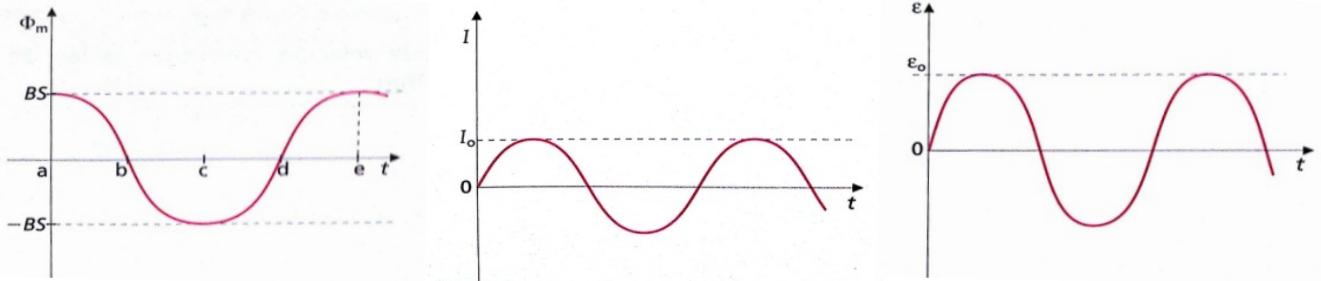
$$\epsilon = \epsilon_{\max} \sin \omega t$$

Donde $\epsilon_{max} = BS\omega$ si se trata de una espira. En el caso de que tuviéramos una bobina con N espiras $\epsilon_{max} = NBS\omega$.

Si tenemos en cuenta la ley de Ohm ($\epsilon = IR$) obtenemos una expresión para la intensidad de corriente que circula por el hilo de corriente.

$$I = I_{max} \operatorname{sen} \omega t$$

En las siguientes figuras representamos como varían las magnitudes anteriores al girar la espira. De izquierda a derecha se representan el flujo magnético, la fuerza electromotriz inducida y la intensidad de corriente inducida:



Ejemplo: Una bobina de sección circular gira alrededor de uno de sus diámetros en un campo magnético uniforme de dirección perpendicular al eje de giro. Sabiendo que el valor máximo de la fuerza electromotriz inducida es de 50 V cuando la frecuencia es de 60 Hz, determina el valor máximo de la fuerza electromotriz inducida:

- Si la frecuencia es de 180 Hz y la bobina se encuentra en presencia del mismo campo magnético.
- Si la frecuencia es de 120 Hz y el valor del campo magnético en que se encuentra la bobina se duplica.

a) Aplicamos la ley de Faraday-Lenz y obtenemos la expresión de la f.e.m inducida:

$$\epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BS\cos\omega t)}{dt} = BS\omega \operatorname{sen}\omega t = \epsilon_{max} \operatorname{sen}\omega t$$

Donde $\epsilon_{max} = BS\omega = BS2\pi\nu$

Con la expresión anterior podemos calcular el valor del campo magnético en función de la superficie de la espira en el caso inicial:

$$B = \frac{\epsilon_{max}}{S2\pi\nu} = \frac{50 \text{ V}}{S2\pi 60 \text{ Hz}}$$

La f.e.m máxima cuando la frecuencia es de 180 Hz sin que varíe el campo magnético:

$$\epsilon_{max} = BS2\pi\nu = \left(\frac{50 \text{ V}}{S2\pi 60 \text{ Hz}} \right) S2\pi 180 \text{ Hz} = 150 \text{ V}$$

b) Si la frecuencia es de 120 Hz y B se duplica:

$$\epsilon'_{max} = B'S2\pi\nu = 2BS2\pi\nu = 200 \text{ V}$$

4. Aplicaciones tecnológicas

4.1 Generador de corriente

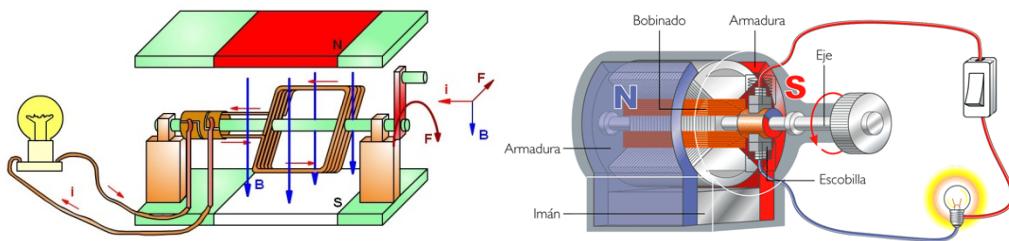
Un generador de corriente eléctrica es un dispositivo capaz de transformar otro tipo de energía en energía eléctrica.

Los primeros generadores fueron pilas. En 1800 el físico italiano Alessandro Volta inventó la primera pila eléctrica a la que llamó pila volálica. Nikola Tesla desarrolló el generador de corriente alterna.

Si el generador produce una corriente eléctrica continua suele recibir el nombre de dinamo y si la corriente es alterna se llama alternador.

Dinamo

Consiste en una espira plana que se hace girar entre los polos de un imán de modo que la variación del flujo magnético que atraviesa la espira genera una corriente inducida. Los extremos de la espira están conectados a dos semianillos apoyados sobre escobillas. Los semianillos actúan como un conmutador que invierte la polaridad de la corriente en cada $T/2$ para que esta circule en el mismo sentido.



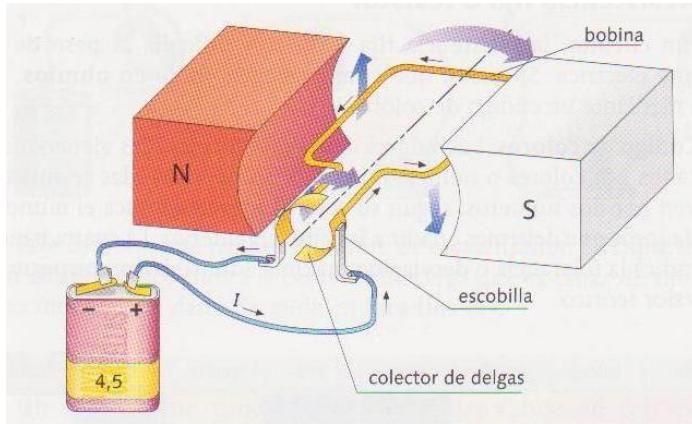
Alternador

Un alternador es un generador de corriente alterna. Se llama corriente alterna porque cambia periódicamente de sentido. Las veces que cambia de sentido por segundo se denomina frecuencia. El funcionamiento del alternador es el descrito en el apartado anterior. Tal y como hemos visto, al girar la espira genera una corriente eléctrica que cambia de sentido según la siguiente expresión:

$$I = I_{\max} \operatorname{sen} \omega t$$

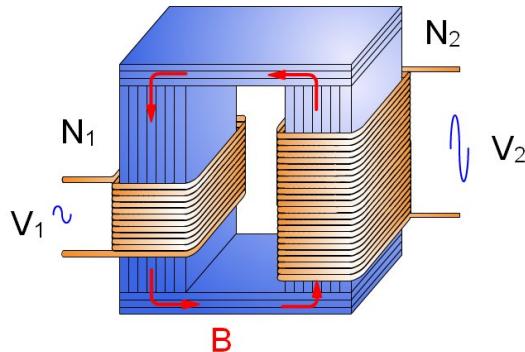
4.2 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma energía eléctrica en mecánica. El funcionamiento es el inverso al alternador. En este caso hacemos circular una corriente por la espira. Tal y como vimos, la espira tiende a orientarse perpendicular al campo magnético. Los dos semianillos que se muestran en la figura invierten el sentido de la corriente cuando pasan por la posición de equilibrio y hacen que la espira gire de forma continua.



4.3 Transformador

Es un dispositivo que se utiliza para cambiar la tensión e intensidad de un circuito. Un transformador de corriente alterna consta de un marco rectangular de hierro dulce que lleva dos bobinas, denominadas **primario** y **secundario** del transformador. Al aplicar una tensión alterna V_1 al primario se genera un campo magnético variable que se propaga a través del hierro dulce hasta el secundario. La variación del flujo magnético debido a este campo induce en el secundario una tensión o fuerza electromotriz V_2 . Supongamos que el número de vueltas del primario y del secundario son, respectivamente, N_1 y N_2 .



Aplicando la ley de Faraday-Lenz se tiene que la tensión en el primario es igual a la variación de flujo electromagnético:

$$V_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

Como el campo magnético está guiado por el núcleo de hierro el flujo magnético que pasa a través de las dos bobinas es idéntico. De forma que si aplicamos la ley de Farady-Lenz para la segunda bobina es:

$$V_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Igualando las variaciones del flujo con el tiempo obtenemos:

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

de la que se deduce que el valor de la fuerza electromotriz obtenida V_2 al aplicar una tensión alterna V_1 depende de la relación N_2/N_1 entre las espiras del transformador. Si suponemos que las perdidas energéticas son despreciables podemos igualar las potencias eléctricas de ambos solenoide:

$$P = V_1 I_1 = V_2 I_2$$

Teniendo en cuenta esta expresión obtenemos:

$$I_2 = I_1 \frac{N_2}{V_1}$$

El funcionamiento de un transformador ideal se produce sin pérdidas de energía, aunque en la práctica siempre hay una disipación calorífica, que resulta pequeña ya que los transformadores actuales pueden alcanzar una eficiencia del 95%.

Existen dos tipos de transformadores:

-Transformador elevador de tensión: $N_2 > N_1 \rightarrow V_2 > V_1$

-Transformador reductor de tensión: $N_2 < N_1 \rightarrow V_2 < V_1$

El transporte de energía eléctrica desde las centrales eléctricas hasta los consumidores debe hacerse a voltajes muy altos e intensidades muy pequeñas, para reducir las pérdidas durante el transporte por disipación calorífica. Por ello, la fuerza electromotriz a la salida del alternador, de unos 10.000 V, se eleva en la estación transformadora de la central hasta varios cientos de miles de voltios y se transporta mediante **líneas de alta tensión**. Finalmente, en la estación transformadora más próxima al lugar de consumo, se reduce el voltaje hasta unas decenas de miles de voltios, para que finalmente, en el mismo lugar de consumo (en los mismos postes eléctricos) se disminuya el potencial hasta los 220 V, que es el utilizado por los usuarios. El elemento esencial en las estaciones transformadoras es el transformador (y en muchos aparatos eléctricos para trasformar el voltaje doméstico al voltaje que utiliza el aparato).

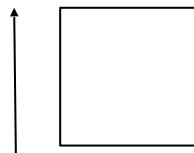
CUESTIONES TEÓRICAS

Inducción electromagnética

1. **a)** Una espira circular situada en el plano XY, y que se desplaza por ese plano en ausencia de campo magnético, entra en una región en la que existe un campo magnético constante y uniforme dirigido en el sentido negativo del eje OZ. **i)** Justifique, ayudándose de esquemas, si en algún momento durante dicho desplazamiento cambiará el flujo magnético en la espira. **ii)** Justifique, ayudándose de un esquema, si en algún momento se inducirá corriente en la espira y cuál será su sentido. (**Junio 2021**)
2. **a)** Una bobina de N espiras se encuentra inmersa en un campo magnético variable con el tiempo. El eje de la bobina forma un ángulo de 45° con el campo. Razona, apoyándose de un esquema, qué ocurriría con la fuerza electromotriz inducida si: **i)** El número de espiras fuera el doble. **ii)** El ángulo entre el eje y el campo fuera el doble del inicial. (**Julio 2020**)
3. **a)** Razona qué sentido tendrá la corriente inducida en una espira cuando: **i)** Acercamos perpendicularmente al plano de la espira el polo norte de un imán. Haga un esquema explicativo. **ii)** El plano de la espira se aleja del polo norte del imán. Haga un esquema explicativo. (**Junio 2019**)
4. **a)** Razona si cuando se sitúa una espira circular de radio fijo, en reposo, en el seno de un campo magnético variable con el tiempo siempre se induce una fuerza electromotriz. (**Septiembre 2018**)
5. **a)** Explique los fenómenos de inducción electromagnética y enuncie la ley de Faraday-Lenz.
b) Dos espiras circulares "a" y "b" se hallan enfrentadas con sus planos paralelos. **i)** Por la espira "a" comienza a circular una corriente en sentido horario. Explique con la ayuda de un esquema el sentido de la corriente inducida en la espira "b". **ii)** Cuando la corriente en la espira "a" alcance un valor constante, ¿qué ocurrirá en la espira "b"? Justifique la respuesta. (**Junio 2014**)
6. **a)** Fuerza electromotriz inducida. Ley de Lenz-Faraday.
b) Una espira se encuentra en reposo en un plano horizontal, en un campo magnético vertical dirigido hacia arriba. Indique en un esquema el sentido de la corriente que circula por la espira si: **i)** aumenta la intensidad del campo magnético; **ii)** disminuye dicha intensidad. (**2012**)
7. **a)** Fuerza electromotriz inducida; ley de Faraday-Lenz
b) Cuando un imán se acerca a una espira se genera en ella una fuerza electromotriz. Razona como cambiaría esa fuerza electromotriz si: **i)** el imán se alejara de la espira; **ii)** si se invierten los polos del imán; **iii)** el imán se mantuviera fijo. (**2011**)
8. **a)** Explique que es la inducción electromagnética.

-
- b)** Una espira rectangular está situada, horizontalmente, en un campo magnético uniforme. Razona si se induce una fuerza electromotriz en la espira en las situaciones siguientes: i) si se aumenta o disminuye la intensidad del campo; ii) manteniendo constante el campo magnético, se mueve la espira a velocidad constante hasta quedar fuera del campo. **(2010)**
9. **a)** Enuncie la Ley de Lenz-Faraday.
b) Una espira circular gira en torno a uno de sus diámetros en un campo magnético uniforme. Razona si se induce fuerza electromotriz en la espira si: i) el campo magnético es paralelo al eje de rotación; ii) es perpendicular. **(2010)**
10. Enuncie la ley de Lenz-Faraday y razona si con campo magnético constante puede producirse fuerza electromotriz inducida en una espira. **(2009)**
11. **a)** Ley de Faray-Lenz de la inducción electromagnética
b) Se tiene una espira y un imán. Explica con ayuda de un esquema el sentido de la corriente que circula por la espira si: I) se acerca el imán a la espira con el polo norte hacia ella, II) Se aleja el imán con el polo sur hacia la espira.
12. Contesta razonadamente a las siguientes preguntas:
a) Si no existe flujo magnético a través de una superficie, ¿puede asegurarse que no existe campo magnético en esa región?
b) La f.e.m. inducida en una espira, ¿es más grande cuanto mayor sea el flujo magnético que la atraviesa?
13. **a)** Escribe la expresión de la f.e.m. inducida en una espira bajo la acción de un campo magnético y explica el origen y las características de dicha f.e.m.
b) Si la espira se encuentra en reposo, en un plano horizontal, y el campo magnético es vertical y hacia arriba, indica en un esquema el sentido de la corriente inducida si: I) aumenta la intensidad del campo magnético, II) si disminuye dicha intensidad.
14. Una espira se mueve en un plano horizontal y penetra en un campo magnético uniforme vertical.
a) Explica las características de la corriente inducida en la espira al entrar en la región del campo, al moverse en él y al abandonarlo.
b) Razona en qué etapas del trayecto descrito habría que comunicarle una fuerza externa a la espira para que avanzara con velocidad constante.
15. Ley de Lenz de la inducción electromagnética.
16. Explica el funcionamiento de una central de producción de energía eléctrica haciendo uso de la ley de Faraday-Lenz.
17. Si se acerca bruscamente el polo norte de un imán al plano de una espira sin corriente, en ésta se produce:
a) F.e.m. inducida en sentido horario
b) F.e.m inducida en sentido antihorario

- c) Ninguna f.e.m. porque inicialmente no circula corriente por la espira.
18. La figura muestra un hilo conductor rectilíneo y una espira conductora. Por el hilo circula una corriente continua (ver dibujo de la derecha). Justifica si se inducirá corriente en la espira en los siguientes casos:
- a) La espira se mueve hacia la derecha.
 - b) La espira se mueve hacia arriba paralelamente al hilo
 - c) La espira se encuentra en reposo.



PROBLEMAS

Inducción por variación en la orientación

1. **b)** Una espira circular de 5 cm de radio gira alrededor de uno de sus diámetros con una velocidad angular igual a $\pi \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ en una región del espacio en la que existe un campo magnético uniforme de módulo igual a 10 T, perpendicular al eje de giro. Sabiendo que en el instante inicial el flujo es máximo: **i)** Calcule razonadamente, ayudándose de un esquema, la expresión del flujo magnético en función del tiempo. **ii)** Calcule razonadamente el valor de la fuerza electromotriz inducida en el instante $t = 50 \text{ s}$. (**Junio 2021**)

2. **a)** Una bobina de N espiras se encuentra inmersa en un campo magnético variable con el tiempo. El eje de la bobina forma un ángulo de 45° con el campo. Razoné, apoyándose de un esquema, qué ocurriría con la fuerza electromotriz inducida si: **i)** El número de espiras fuera el doble. **ii)** El ángulo entre el eje y el campo fuera el doble del inicial. (**Julio 2020**)

3. **b)** El flujo de un campo magnético que atraviesa cada espira de una bobina de 50 vueltas viene dado por la expresión: $\Phi(t) = 2 \times 10^{-2} + 25 \times 10^{-3} \times t^2 \text{ (SI)}$. Deduzca la expresión de la fuerza electromotriz inducida en la bobina y calcule su valor para $t = 10 \text{ s}$, así como la intensidad de corriente inducida en la bobina, si ésta tiene una resistencia de 5Ω . (**Septiembre 2018**)

4. Una espira de 0,1 m de radio gira a 50 rpm alrededor de un diámetro en un campo magnético uniforme de 0,4 T y dirección perpendicular al diámetro. En el instante inicial el plano de la espira es perpendicular al campo.
a) Escriba la expresión del flujo que atraviesa la espira en función del tiempo y determine el valor de la f.e.m inducida.
b) Razoné como cambiarían los valores máximos del flujo y de la f.e.m. inducida si se duplicase la frecuencia de giro de la espira. (**2012**)

5. Una espira conductora de 40 cm^2 se sitúa en un plano perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,3 T.
a) Calcule el flujo magnético a través de la espira y explique cuál sería el valor del flujo si se girara la espira un ángulo de 60° en torno a un eje perpendicular al campo.
b) Si el tiempo invertido en ese giro es de $3 \times 10^{-2} \text{ s}$, ¿cuánto vale la fuerza electromotriz media inducida en la espira? Explique que hubiera ocurrido si la espira girase en sentido contrario. (**Junio 2011**)

6. Una espira circular de 5 cm de radio, inicialmente horizontal, gira a 60 rpm en torno a uno de sus diámetros en un campo magnético vertical de 0,2 T.
a) Dibuje en una gráfica el flujo magnético a través de la espira en función del tiempo entre los instantes $t=0 \text{ s}$ y $t=2 \text{ s}$ e indique el valor máximo de dicho flujo.
b) Escriba la expresión de la fuerza electromotriz inducida en la espira en función del tiempo e indique su valor en el instante $t=1 \text{ s}$. (**Junio 2010**)

-
7. Cuando una espira circular, situada en un campo magnético uniforme de 2 T, gira con velocidad angular constante en torno a uno de sus diámetros perpendicular al campo, la fuerza electromotriz inducida es:

$$\varepsilon(t) = -10 \operatorname{sen}(20t) \text{ (S.I.)}$$

- a) Deduzca la expresión de la f.e.m. inducida en una espira que gira en las condiciones descritas y calcule el diámetro de la espira y su periodo de revolución.
- b) Explique cómo variarían el periodo de revolución y la f.e.m. si la velocidad angular fuese la mitad. **(2007)**
8. Una espira de 10 cm de radio se coloca en un campo magnético uniforme de 0,4 T y se la hace girar con una frecuencia de 20 Hz. En el instante inicial el plano de la espira es perpendicular al campo.
- a) Escribe la expresión del flujo magnético que atraviesa la espira en función del tiempo y determina el valor máximo de la f.e.m. inducida.
- b) Explica cómo cambiarían los valores máximos del flujo magnético y de la f.e.m. inducida si se duplicase el radio de la espira. ¿y si se duplicase la frecuencia de giro? **(Junio 2005)**

9. Una espira cuadrada de 10 cm de lado, inicialmente horizontal, gira a 1200 revoluciones por minuto, en torno a uno de sus lados, en un campo magnético uniforme de 0,2 T, de dirección vertical.
- a) Calcule el valor máximo de la fuerza electromotriz inducida en la espira y represente, en función del tiempo, el flujo magnético a través de la espira y la fuerza electromotriz inducida.
- b) ¿Cómo se modificaría la fuerza electromotriz inducida en la espira si se redujera la velocidad de rotación a la mitad?; ¿y si se invirtiera el sentido del campo magnético?
(Junio 2004)

10. Una espira cuadrada de 2 m de lado está situada perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 0,5 T.
- explica razonadamente si, en estas circunstancias, se induce corriente eléctrica en la espira.
 - Determina la f.e.m. media inducida en la espira si, en 0,1 s, gira 90° en torno a un eje perpendicular al campo.

11. Una espira de 20 cm^2 se sitúa en un plano perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,2 T.
- Calcula el flujo magnético a través de la espira y explica cómo variaría el valor del flujo al girar la espira un ángulo de 60°
 - Si el tiempo invertido en el giro es de $2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ ¿cuánto vale la f.e.m. media inducida en la espira? Explica qué habría ocurrido si la espira se hubiese girado en sentido contrario.

12. Una bobina de sección circular gira alrededor de uno de sus diámetros en un campo magnético uniforme de dirección perpendicular al eje de giro. Sabiendo que el valor máximo de la f.e.m. inducida es de 50V cuando la frecuencia es de 60 Hz, determina el valor máximo de la f.e.m. inducida:

a) Si la frecuencia es 180 Hz y la bobina se encuentra en presencia del mismo campo magnético.

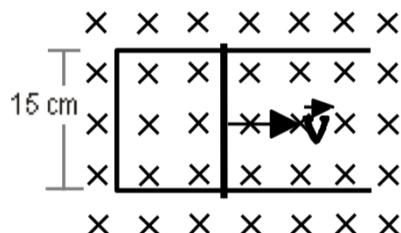
b) Si la frecuencia es 120 Hz y el valor del campo magnético en que se encuentra la bobina se duplica.

Sol: a) 150 V; b) 200 V

Inducción por variación en la superficie

13. b) Una espira cuadrada penetra en un campo magnético uniforme de 2 T, perpendicular al plano de la espira. Mientras entra, la superficie de la espira afectada por el campo magnético aumenta según la expresión $S(t)=0,25 t \text{ m}^2$. i) Realice un esquema que muestre el sentido de la corriente inducida en la espira y los campos magnéticos implicados (externo e inducido). ii) Calcule razonadamente la fuerza electromotriz inducida en la espira. (Julio 2020)

14. b) Una espira rectangular como la de la figura posee uno de sus lados móvil que se mueve dentro de un campo magnético uniforme de 0,8 T con una velocidad constante de 0,12 m s⁻¹. Calcule: i) La f.e.m. inducida en función del tiempo. ii) La intensidad y el sentido de la corriente que recorre la espira si su resistencia es de 0,2 Ω. (Junio 2019)



15. Una espira cuadrada, de 30 cm de lado, se mueve con una velocidad constante de 10 m/s y penetra en un campo magnético de 0,05 T perpendicular al plano de la espira.

a) Explique, razonadamente, qué ocurre en la espira desde que comienza a entrar en la región del campo hasta que toda ella está en el interior del campo. ¿Qué ocurriría si la espira, una vez en el interior del campo, saliera del mismo?

b) Calcule la fuerza electromotriz inducida en la espira mientras está entrando en el campo. (Junio 2003)

Sol: b) $15 \cdot 10^{-2} \text{ V}$

Inducción por variación en el campo

16. b) Una bobina, de 10 espiras circulares de 15 cm de radio, está situada en una región en la que existe un campo magnético uniforme cuya intensidad varía con el tiempo según

$$B=2\cos(2\pi t - \pi/4) \text{ T}$$

y cuya dirección forma un ángulo de 30° con el eje de la bobina. La resistencia de la bobina es 0,2 Ω. Calcule el flujo del campo magnético a través de la bobina en función del tiempo y la intensidad de corriente que circula por ella en el instante t=3 s. (Junio 2017)

17. Una espira circular de 2,5 cm de radio, que descansa en el plano XY, está situada en una región en la que existe un campo magnético $\vec{B} = (2,5t^2 \vec{k}) T$ donde t es el tiempo expresado en segundos.

- a) Determine el valor del flujo magnético en función del tiempo.
- b) Determine el valor de la f.e.m. inducida y razoné el sentido de la corriente inducida en la espira. **(Junio 2016)**

18. A una espira de 5 cm de radio, que descansa en el plano XY, se le aplica durante el intervalo de tiempo de t=0s a t=5s un campo magnético $\vec{B} = 0,1t^2 \vec{k} T$, donde t es el tiempo en segundos.

- a) Calcule el flujo magnético que atraviesa la espira y represente gráficamente la fuerza electromotriz inducida en la espira en función del tiempo.
- b) Razoné como cambiaría la fuerza electromotriz inducida en la espira si: i) el campo magnético fuera $\vec{B} = (2 - 0,01t^2 \vec{k}) T$; ii) la espira estuviera en el plano XZ. **(2012)**

19. Una espira circular de 0,2 m de radio se encuentra bajo la acción de un campo magnético:

$$B = 0,4 \operatorname{sen}(200\pi t) \text{ (S.I.)}$$

Cuya dirección forma un ángulo de 30° con el plano de la espira.

- a) Escribe la expresión de la f.e.m. inducida en la espira en función del tiempo
- b) Explica cómo podría obtenerse la misma f.e.m. inducida en la espira con un campo magnético constante y calcula la intensidad de dicho campo magnético.

20. Un campo magnético, cuyo módulo viene dado por: $B = 2 \cos 100t$ (S.I.), forma un ángulo de 45° con el plano de una espira circular de radio $R = 12$ cm.

- a) Calcula la f.e.m. inducida en la espira en el instante $t = 2s$
- b) ¿Podría conseguirse que fuera nula la f.e.m. inducida girando la espira? Razona la respuesta.

21. Una espira cuadrada de 0,4 m de lado y $0,2 \Omega$ de resistencia, está situada en el plano XY, en una región en la que existe un campo magnético dirigido en el sentido positivo del eje Z y cuya intensidad varía con el tiempo según:

$$B = 4 - 0,02t \text{ (S.I.)}$$

- a) Calcula el flujo magnético a través de la espira y la f.e.m. inducida en el instante $t = 50s$
- b) Determina la intensidad de la corriente que circula por la espira y explica con ayuda de un esquema el sentido de la corriente.

22. Una espira circular de 10 cm de diámetro, inmóvil, está situada en una región en la que existe un campo magnético, perpendicular a su plano, cuya intensidad varía desde 0,5 T a 0,2 T en 0,1 s.

- a) Dibuja en un esquema la espira, el campo y el sentido de la corriente inducida, razonando la respuesta.
- b) Calcula la f.e.m. media inducida y razoné cómo cambiaría dicha f.e.m. si la intensidad del campo aumentase en vez de disminuir.