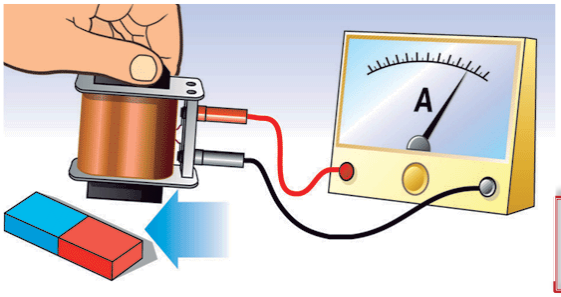
Tema 05
Inducción electromagnética



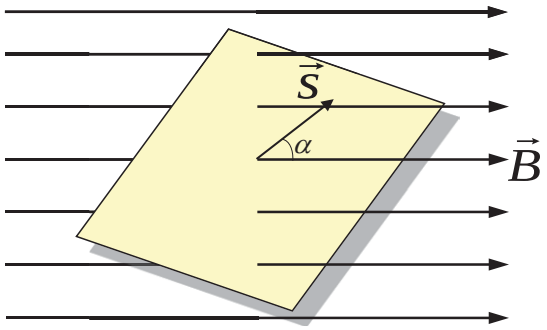
IES Padre Manjón
Prof: Eduardo Eisman

05. Inducción electromagnética: Índice

CONTENIDOS	
1. Inducción electromagnética. 2. El fenómeno de la autoinducción. 3. Aplicaciones de la autoinducción.	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	**ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE**
16. Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas y determinar el sentido de las mismas.	16.1. Establece el flujo magnético que atraviesa una espira que se encuentra en el seno de un campo magnético y lo expresa en unidades del Sistema Internacional. 16.2. Calcula la fuerza electromotriz inducida en un circuito y estima la dirección de la corriente eléctrica aplicando las leyes de Faraday y Lenz.
17. Conocer las experiencias de Faraday y de Henry que llevaron a establecer las leyes de Faraday y Lenz.	17.1. Emplea aplicaciones virtuales interactivas para reproducir las experiencias de Faraday y Henry y deduce experimentalmente las leyes de Faraday y Lenz.
18. Identificar los elementos fundamentales de que consta un generador de corriente alterna y su función.	18.1. Demuestra el carácter periódico de la corriente alterna en un alternador a partir de la representación gráfica de la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo. 18.2. Infiere la producción de corriente alterna en un alternador teniendo en cuenta las leyes de la inducción.

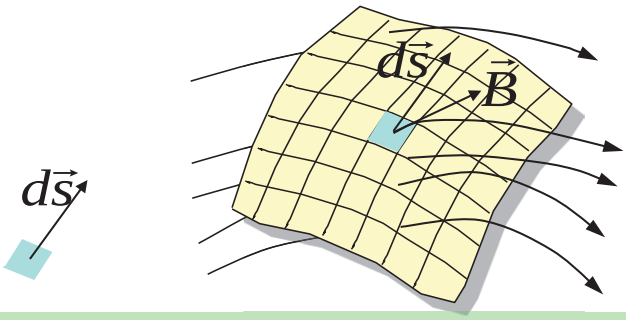
0.1 Flujo magnético a través de cualquier superficie

- El flujo magnético está relacionado con el número de líneas de fuerza que atraviesan una superficie.
- Depende del campo Magnético $\vec{B}$, de la superficie $\vec{S}$ y del ángulo que formen dichos vectores. **Se define mediante el productor escalar de ambos vectores:**



$$\Phi = \vec{B}.\vec{s} = B.s.\cos\alpha$$

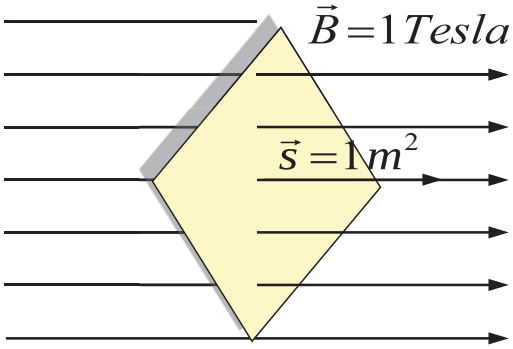
- Si el campo magnético no es uniforme, se calcula el flujo elemental dΦ, a través de un elemento de superficie ds, y se suma (integramos) a toda la superficie:



$$d\Phi = \vec{B}.d\vec{s} \Rightarrow \Phi_{total} = \int_s \vec{B}.d\vec{s}$$

0.2 Unidades de flujo magnético

- La unidad de flujo magnético en el S.I. es el **weber (wb),** que se define como el flujo magnético que atraviesa una superficie de **1 m²** perpendicular a un campo magnético de **1 T**



- **El flujo magnético que atraviesa esta superficie es 1 Weber (Wb)**

$$\Phi = \vec{B}\,.\,\vec{s} \Rightarrow 1\,Wb = 1\,T\,.\,1\,m^2$$

Otras unidades:

$$1\,Weber\,(Wb) = 1\,Tesla\,.m^2 = 10^4\,Gauss.10^4\,cm^2 = 10^8\,Gauss.cm^2\,(Maxwel)$$

Si la superficie es paralela al campo:

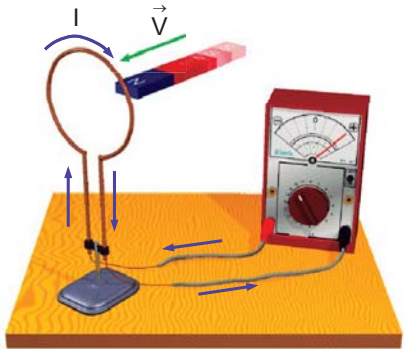
$$\vec{B} \perp \vec{s} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{2}\,rad \Rightarrow \Phi = 0$$

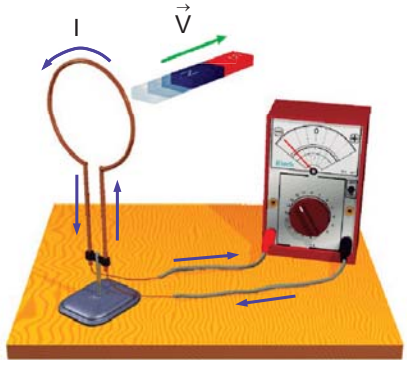
Si la superficie es perpendicular al campo:

$$\vec{B} \parallel \vec{s} \Rightarrow \alpha = 0\,rad \Rightarrow \Phi\,máximo$$

1.1 Fenómenos de inducción electromagnética

- **Oersted** demostró que una corriente eléctrica produce un campo magnético, pero ¿se cumple el fenómeno inverso?
- **Experiencias de Faraday**





- Al acercar/alejar el imán a una espira conductora que no está conectada a ninguna fuente de alimentación eléctrica, **el galvanómetro detecta el paso de corriente mientras el imán está en movimiento.**

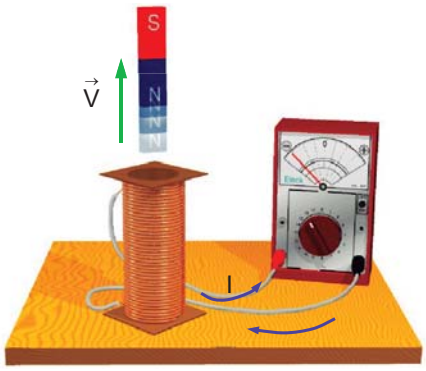
- El sentido de la corriente al acercar el imán es opuesto al que tiene cuando se aleja. Si se mantiene fijo el imán y se mueve la espira, el resultado es el mismo.
- **Se induce una corriente mientras hay movimiento relativo entre la espira y el imán.**

- **Michael Faraday demostró, que se podía generar una corriente eléctrica inducida a partir de un campo magnético.**

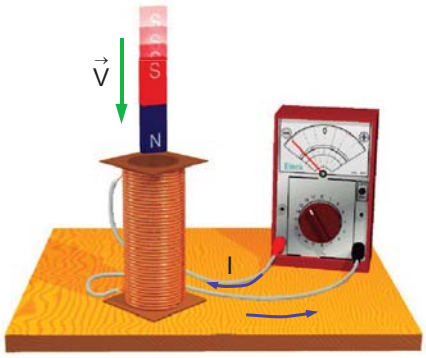
1.2 Fenómenos de inducción electromagnética

- **Experiencias de Faraday**

- Al acercar/alejar un imán o un solenoide a una bobina, sin conectar a un generador, la aguja del galvanómetro se desvía detectándo el paso de una corriente eléctrica.
- Igual ocurre si es la bobina la que se acerca/retira del imán o del selonoide.



Al sacar el imán se produce una corriente inducida



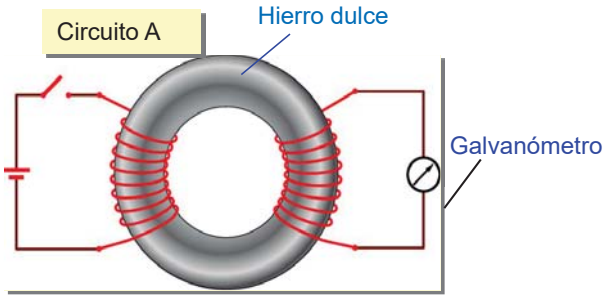
Al introducir el imán se produce una corriente inducida de sentido contrario

- **Se ha producido en el circuito una fuerza electromotriz que ha dado lugar a la corriente. Estos fenómenos se denominan inducción electromagnética.**

- A partir de campos magnéticos es posible inducir en un circuito una fuerza electromotriz capaz de generar corriente eléctrica sin ninguna fuente de alimentación.

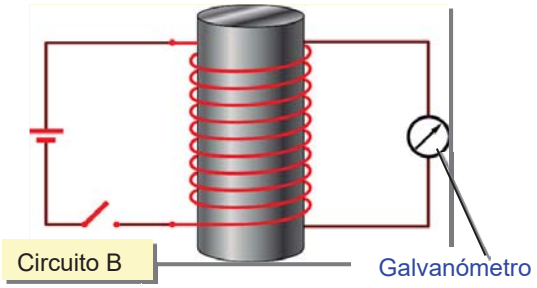
1.3 Fenómenos de inducción electromagnética

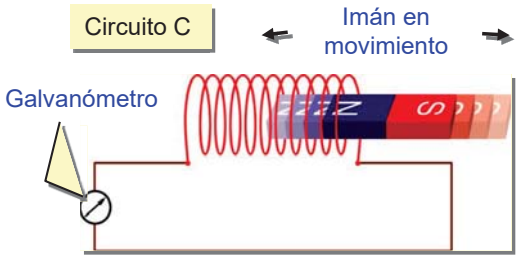
- **Experiencias de Faraday**



- En 1831, Faraday comprobó que en un circuito, el galvanómetro indica el paso de la corriente cuando se abre/cierra el circuito (circuito A).

- En los circuitos B y C sin contacto eléctrico, el movimiento del circuito B genera una corriente eléctrica inducida en el circuito C.
- El mismo efecto se produce en C, si en lugar de una bobina se utiliza un imán en movimiento.





- Estos experiencias se denominan fenómenos de **inducción electromagnética.**

1.4 Ley Faraday - Lenz

- El movimiento relativo entre imanes (campos magnéticos) y espiras/bobinas, induce en estas una corriente eléctrica originada por una fuerza electromotriz inducida.

- La variación del flujo magnético ($d\Phi$) con el tiempo (dt) a través de una bobina de N espiras, origina una fuerza electromotriz inducida (ε_{ind}) que hace circular por ella una corriente eléctrica inducida (I_{ind}).

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{d\phi}{dt}$$

Ley de Faraday - Lenz

- La corriente eléctrica es inducida por la variación del flujo magnético

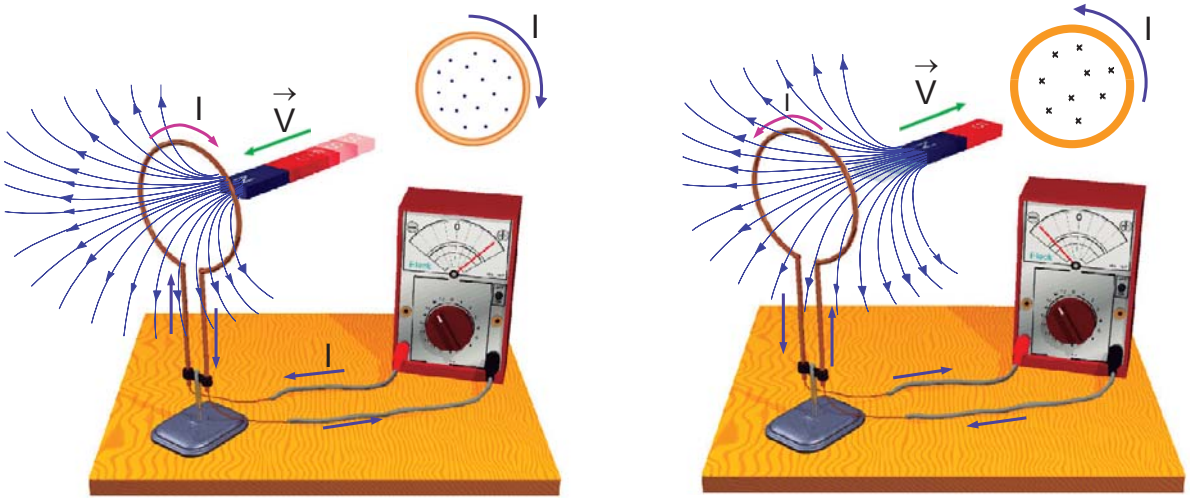
- **Ley de Faraday: la fuerza electromotriz inducida** que da lugar a la corriente eléctrica inducida en un circuito es igual a la rapidez con que varía el flujo magnético a través del mismo.

- **Ley de Lenz: el sentido de la corriente inducida,** signo (-), es tal que el campo magnético creado por dicha corriente tiende a oponerse a la variación del flujo magnético que la ha originado.

1.5 Según la ley de Lenz …

- … si el polo norte se aproxima a la espira, la corriente que se induce circula en tal sentido que esa cara se convierte en un polo norte, oponiéndose al norte que se aproxima.

- … si el polo norte se retira de la espira, la corriente que se induce en ella, circula en tal sentido que esa cara se convierte en un polo sur, para tratar de evitar que el norte se aleje.



- La corriente inducida circula por la espira en el sentido que se genera un campo magnético, que tiende a contrarrestar el campo magnético del imán.

1.6 Formas de inducir una corriente

- Teniendo en cuenta la ley de Faraday-Lenz y considerando la expresión del flujo magnético:

$$e_{ind} = -N\frac{d\Phi}{dt} \qquad \Phi = B\,s\cos\alpha$$

- Podemos variar el flujo magnético, y por tanto inducir una corriente eléctrica, de algunas de las siguientes formas:
- **Variando el campo magnético.**
- **Variando el tamaño de la superficie atravesada por las líneas de campo.**
- **Variando la orientación de la espira/bobina en el campo al hacerla girar.**

- **Fuerza electromotriz inducida al variar el campo magnético**

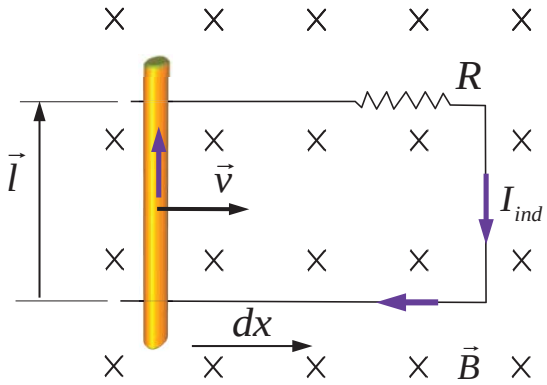
- Una bobina de N espiras, de superficie s, se encuentra perpendicular a un campo magnético. Si el campo magnético aumenta o disminuye, sin variar su dirección, se induce en la bobina una fuerza electromotriz que valdrá:

$$e_{ind} = -N\frac{d\Phi}{dt} = -Ns\frac{dB}{dt}$$

- El valor de la fuerza electromotriz inducida es directamente proporcional a la velocidad con que varía el campo magnético.

1.7 Formas de inducir una corriente

- **Fuerza electromotriz inducida al variar el tamaño de la superficie.**
- Sea una espira rectangular, con un lado móvil que se puede desplazar de manera que aumenta o disminuya la superficie atravesada por el campo magnético. En ambos casos hay una variación del flujo magnético y en consecuencia se induce la correspondiente fem:

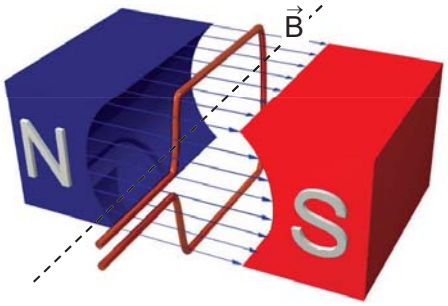


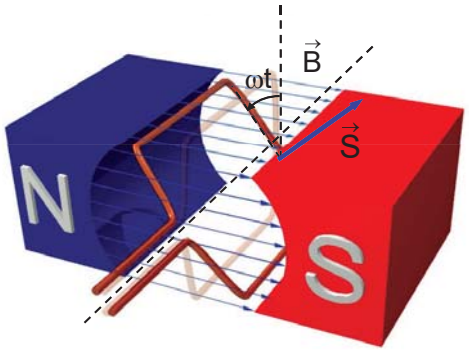
$$e_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} = -B\frac{ds}{dt} = -B\frac{d(l\,x)}{dt} = -B\,l\frac{dx}{dt} = -B\,l\,v$$

- La fuerza electromotriz inducida depende, en este caso, de la velocidad con la que se desplace el lado móvil de la espira.
- El sentido de la corriente inducida viene dada por la regla de la mano derecha. Colocamos perpendicularmente los dedos: pulgar (sentido del movimiento), índice (sentido del campo magnético) y el corazón (sentido de la corriente inducida)

1.8 Formas de inducir una corriente

- El giro de una espira/bobina en un campo magnético, induce una fuerza electromotriz (fem) que origina un corriente eléctrica senoidal: **corriente eléctrica alterna**





- Una bobina de área s, formada por n espiras, gira con velocidad angular w constante en un campo magnético. El flujo que la atraviesa vale:

$$\Phi = n\,\vec{B}.\vec{s} = n\,B\,s\cos\alpha = n\,B\,s\cos wt$$

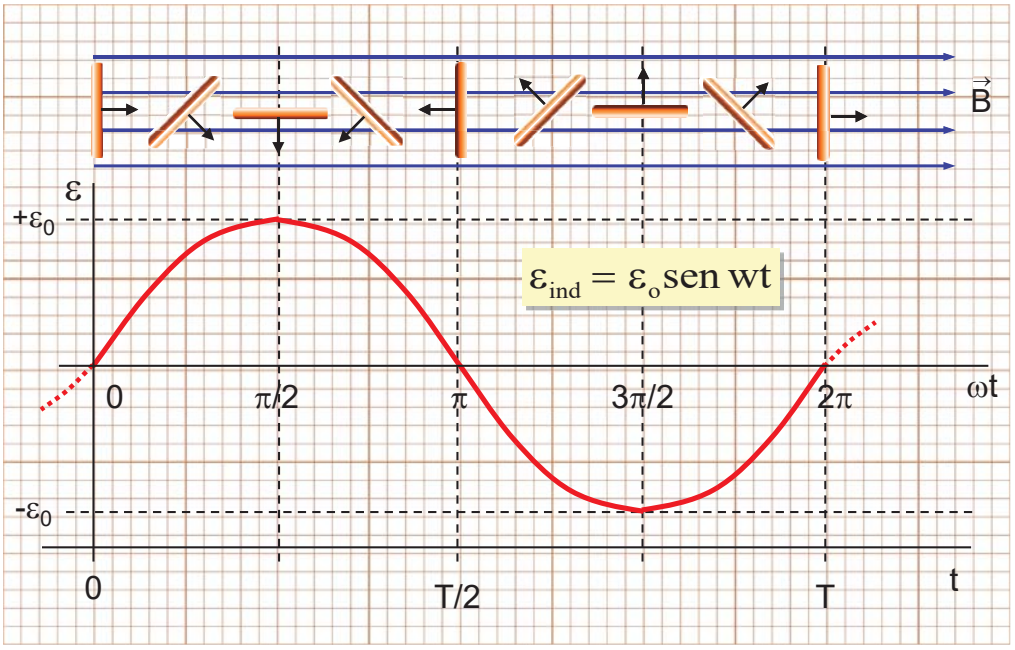
- **Según la ley de Faraday-Lenz la fuerza electromotriz (fem) inducida:**

$$\varepsilon_{ind} = -n\frac{d\Phi}{dt} = -n\frac{d[B\,s\cos wt]}{dt} = n\,B\,s\,w\,sen\,wt = \varepsilon_o\,sen\,wt \qquad fem_{máx}:\ \varepsilon_o = n\,B\,s\,w$$

- **Ley de Ohm calcula la intensidad de corriente:** $i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{\varepsilon_o\,sen\,wt}{R} = i_o\,sen\,wt$

1.9 Formas de inducir una corriente

- Gráfica de la fem inducida alterna en función del tiempo y del ángulo girado por la bobina.

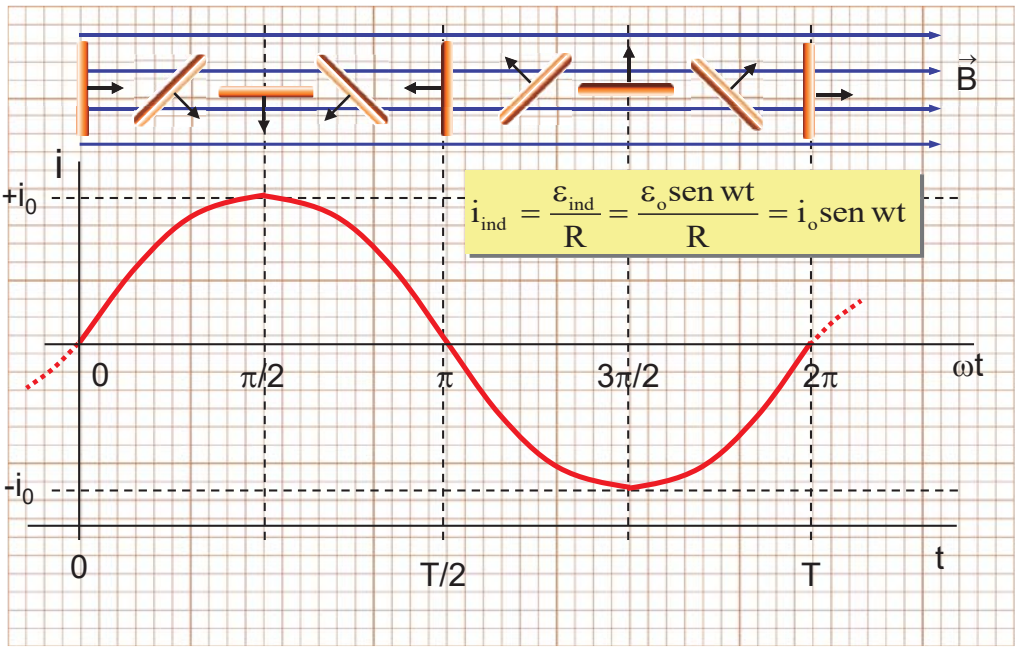


- **La fem inducida cambia alternativamente de polaridad, dos veces cada ciclo.**

1.10 Formas de inducir una corriente

- Gráfica de Intensidad de corriente alterna en función del tiempo y del ángulo.

- **La intensidad de corriente que circula se obtiene directamente aplicando la ley de Ohm**



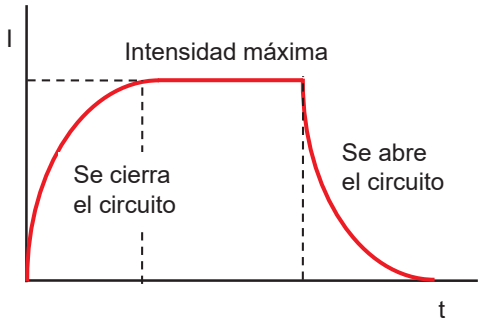
- **La intensidad de corriente cambia de sentido cada media vuelta de giro de la bobina.**

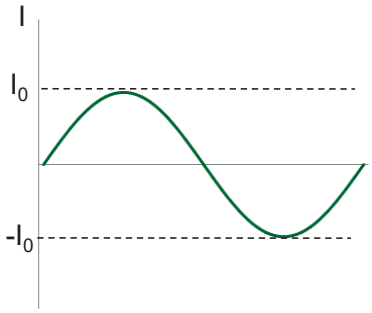
2.1 El fenómeno de la autoinducción

- 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.**

- **Aparece una fuerza electromotriz de autoinducción siempre que se cierra o abre un circuito de corriente continua.**
- Por esta razón, al cerrar un circuito de corriente continua, se tarda un tiempo en alcanzar el máximo de intensidad, y al abrirlo la intensidad no se hace cero inmediatamente.

- **Aparece una fuerza electromotriz de autoinducción en un circuito de corriente alterna.**
- La autoinducción es despreciable en hilos rectilíneos y hay que tenerla muy en cuenta en un circuito de corriente alterna donde se ha intercalado una bobina.





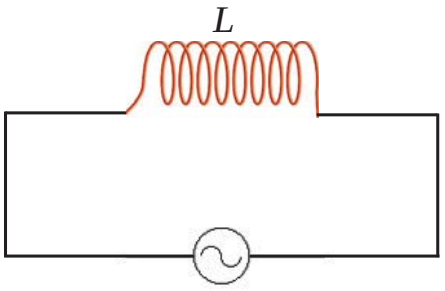
2.2 El fenómeno de la autoinducción

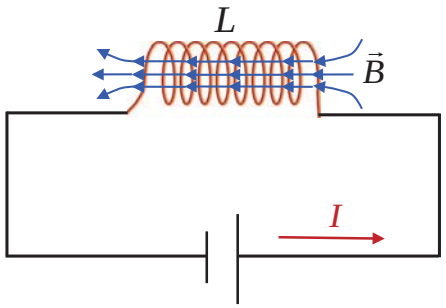
- **La inductancia, L, como medida de la autoinducción**

- Como el flujo magnético es proporcional al campo, y este, en el caso de ser producido por una corriente, es proporcional a la intensidad, podemos decir que:

$$\Phi = L\,I \qquad \bullet \quad \text{Por tanto:} \qquad \varepsilon_{autoinducida} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\,L\frac{dI}{dt}$$

- **El coeficiente L se denomina inductancia o coeficiente de autoinducción del circuito.**
- **La unidad de inductancia en el S.I. es el Henrio H.**





- **Cálculo de la inductancia de un solenoide**

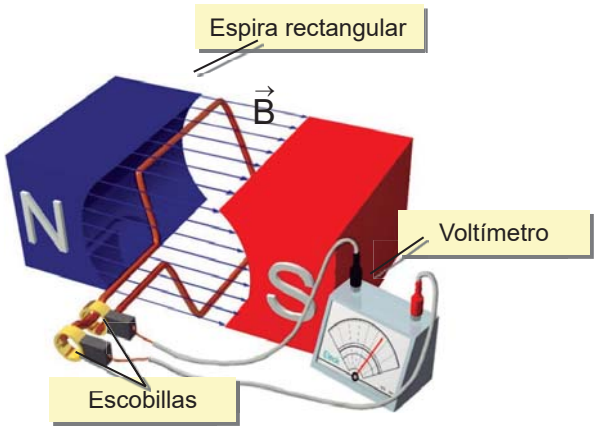
$$B = \mu_0\, I\,\frac{N}{l} \qquad \Phi = N\,B\,S = \mu_0\, I\, S\,\frac{N^2}{l} \qquad L = \frac{\Phi}{I} = \mu_0\, S\,\frac{N^2}{l}$$

- El coeficiente de autoinducción, L, sólo depende de sus características geométricas o diseño del propio solenoide.

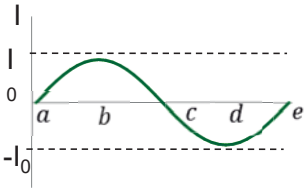
3.1 Aplicaciones del fenómeno de autoinducción

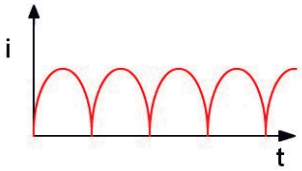
- **Generadores de corriente alterna** son dispositivos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

- Un generador de corriente alterna consta de un IMÁN (estator) que hace de inductor y genera un campo magnético, y una BOBINA de cobre (rotor) que hace de inducido y es en ella donde se induce la fem, que es el elemento que gira unido al eje de la turbina a gran velocidad.



- La bobina **gira con velocidad constante** en un campo magnético uniforme (imán).
- Se induce así una f.e.m. senoidal que **varía de sentido** dos veces cada período: corriente alterna.
- Los extremos de la espira se conectan al circuito externo mediante **escobillas.**

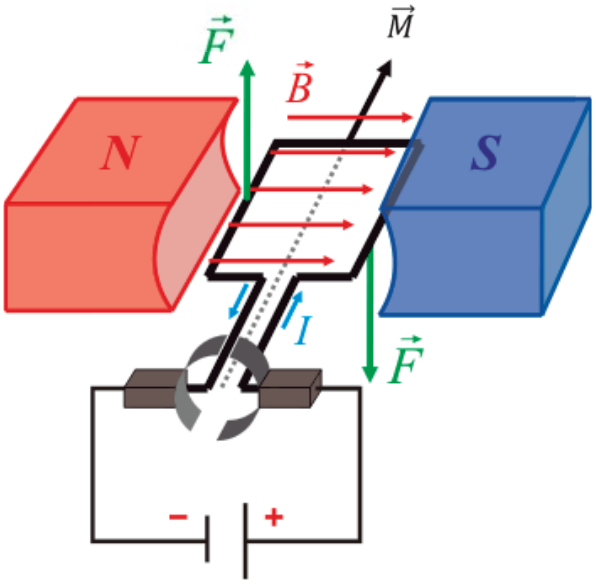


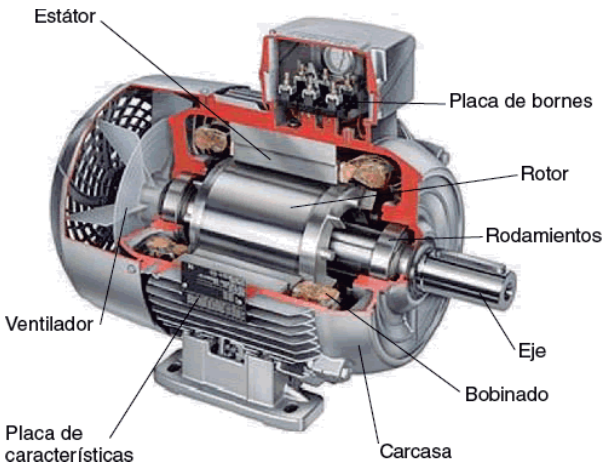


- Se puede generar corriente continua cambiando la posición de las escobillas.

3.2 Aplicaciones del fenómeno de autoinducción

- **Motores eléctricos** son dispositivos que transforman la energía eléctrica en mecánica.





3.3 Aplicaciones del fenómeno de autoinducción

- **Transformadores** son dispositivos que transforman la tensión de la corriente eléctrica alterna.

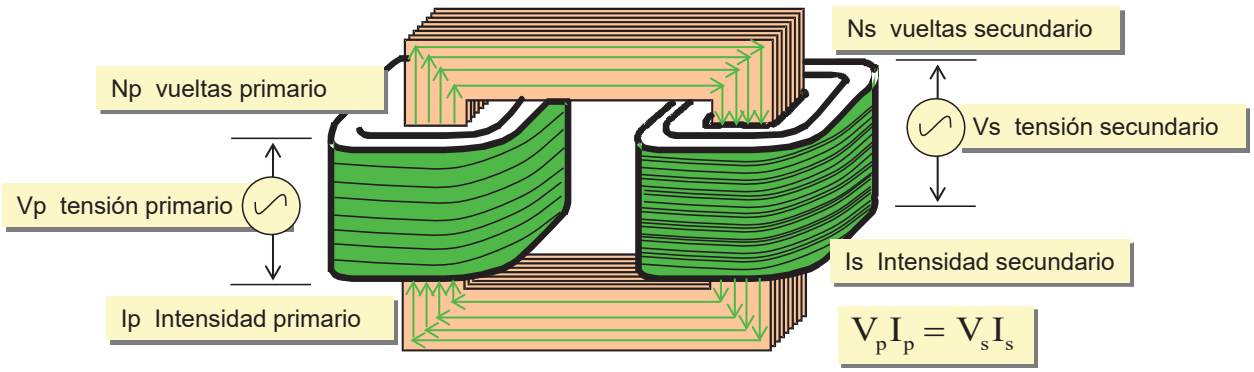
- El Transformador es un elemento esencial en el transporte de la corriente eléctrica.
- Lo forman dos bobinas devanadas sobre dos lados opuestos de un marco rectangular de hierro dulce laminado. Del número de vueltas de cada bobina depende la subida o caída de tensión que tiene lugar en el transformador.

- Se fundamenta en la **ley de faraday:** por el primario circula una corriente alterna de tensión v_p que induce una variación de flujo magnético que recorre el secundario, que al tener distinto número de vueltas, en él se induce otra tensión v_s

$$V_p = -N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad y \quad V_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt}$$

Igualando la variación de flujo magnético $\frac{d\Phi}{dt}$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$



$$V_p I_p = V_s I_s$$

3.4 Obtención de energía eléctrica

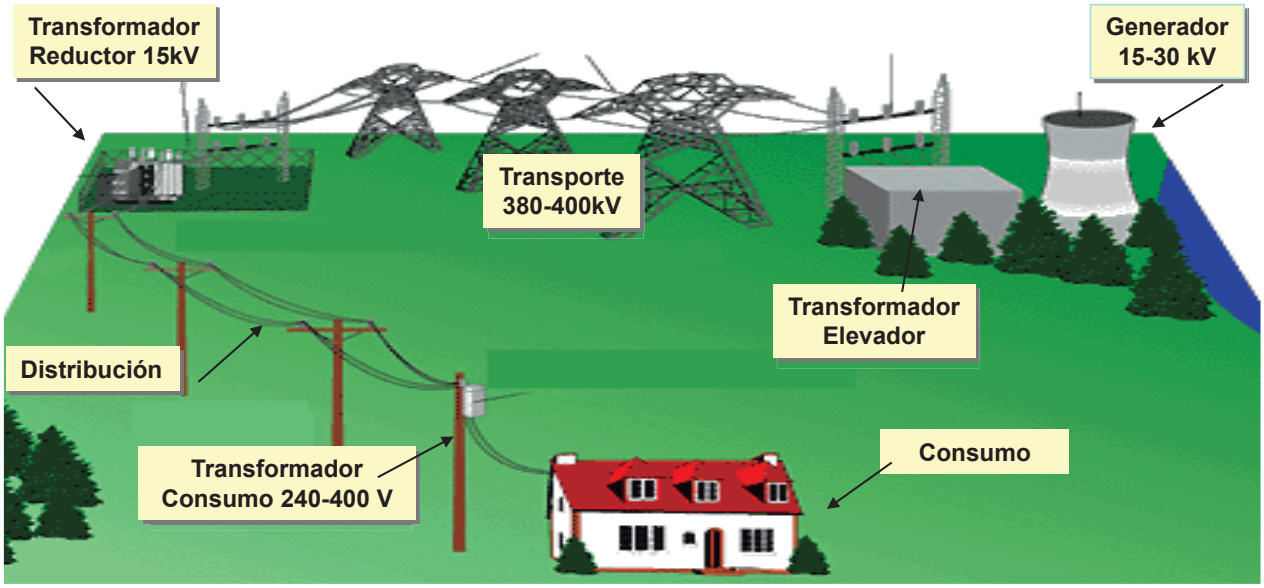
- La **energía eléctrica** se obtiene en las centrales eléctricas, que utilizan grandes turbinas que son movidas por agua, vapor de agua, el viento, las mareas, etc

- **Distintos tipos de centrales:**

- **Hidroeléctricas:**
  - Se aprovecha la energía potencial del agua, que al caer mueve la turbina.
- **Térmicas:**
  - Utilizan como materia prima combustibles fósiles cómo el carbón y el fuel-oil. La energía del proceso químico convierte agua en vapor de agua que mueve la turbina.
- **Nucleares:**
  - Se aprovecha la energía obtenida en la fisión de núcleos atómicos (uranio).
- **Eólicas:**
  - Convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica, mediante una aeroturbina que hace girar un generador.
- **Solares:**
  - Es la energía producida por el Sol como resultado de las reacciones nucleares de fusión que tiene lugar en él.

3.5 Transporte y utilización de la energía eléctrica

- La corriente que se obtiene en los alternadores es de baja tensión (unos 10.000V).
- Sin embargo su transporte se lleva a cabo mediante cables llamados líneas de transmisión. Estas líneas de alta tensión (unos 300.000V) llevan la electricidad desde la central hasta una subestación, donde se reduce la tensión (unos 12.000V).
- Desde ahí llega hasta unos transformadores próximos a nuestras casas donde se vuelve a reducir hasta los 220 V que utilizamos.



3.6 Energía eléctrica: importancia e impacto medioambiental

- La energía eléctrica es la forma de energía más utilizada actualmente.
- Multitud de aparatos funcionan con energía eléctrica.
- Su consumo es un componente básico en el nivel da calidad de vida y fundamental en el desarrollo de un país.

• Entre las razones que hacen su uso imprescindible:

- Permitir su transporte y distribución al lugar de consumo en fracciones de segundo.
- Poder transformarse fácilmente en energía mecánica y en energía térmica.
- Estar disponible en todo momento en la red.
- Los aparatos que funcionan con ella pueden ser pequeños y manejables.
- Ser la única energía, en su consumo, que no produce residuos o contaminación.

• Impacto medioambiental:

• En su producción:

- La incidencia de la producción de energía eléctrica sobre el medio ambiente viene determinada, entre otras muchas causas, por las materias primas empleadas, como son: agua, fuel-oil, uranio, etc.

• En el transporte:

- Impacto estético de las torres que componen la línea.
- Limitación en la explotación del terreno situado bajo las líneas.
- Impacto negativo sobre ciertas aves y especies arbóreas.
- Las grandes ciudades necesitan redes y estaciones de alta tensión en calles y viviendas.

4.1 Ejercicios de inducción electromagnética

1.Una espira circular de 5 cm de radio está situada perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 0,4 T. Calcula: a) El flujo magnético que atraviesa la espira en esa situación. b) El flujo magnético que atraviesa la espira si esta gira 30º alrededor de un eje que pase por su centro y sea perpendicular al campo magnético.

2. Una bobina constituida por 100 espiras circulares de 1cm de radio se halla en el seno de un campo magnético uniforme de 0,5 T, de modo que el plano de las espiras es perpendicular al campo.

a) ¿Cuál es el valor de la diferencia de potencial inducida al girar la bobina 90º en una milésima de segundo?
b) Si duplicamos el número de espiras, ¿en cuánto tiempo deberíamos girar 90º la bobina para conseguir la misma fuerza electromotriz?

3. 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 s?

4.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 si dispone de un lado móvil que se desplaza perpendicularmente a un campo magnético uniforme sin salir de él.

4.2 Ejercicios de inducción electromagnética

5. Un alternador consta de una bobina de 40 espiras cuadradas de 5 cm de lado y una resistencia total de 16 Ω. La bobina gira con una frecuencia de 100 Hz en un campo magnético constante de 0,8 T. Determinar:

a) La fuerza electromotriz máxima que se induce.
b) El valor máximo de la intensidad inducida.
c) Una expresión para la fuerza electromotriz y la intensidad inducida en función del tiempo. Traza las representaciones gráficas de estas dos magnitudes.

6. 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.

7. Un generador de corriente alterna (AC) está formado por una bobina de 23 espiras de 0,05 m^2 de área que giran en un campo magnético de 0,6 T con una frecuencia de 50 Hz. Si la resistencia total de la bobina es de 20 Ω, determinar:

a) La fuerza electromotriz máxima inducida.
b) La intensidad máxima inducida.

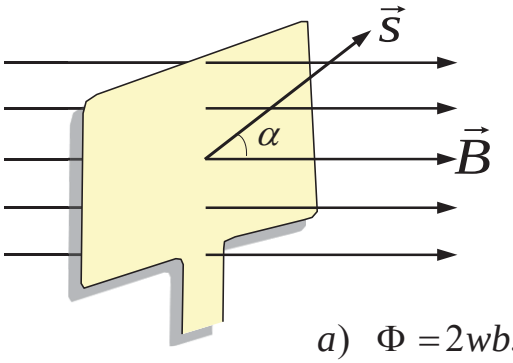
8. Un aparato funciona a 9 V y con 0,5 A mediante un transformador cuya bobina primaria tiene 3000 espiras. Si la tensión de entrada es de 220 V:

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

5.1 Ejercicios de inducción electromagnética

1.- Una espira cuadrada de 4 cm de lado se encuentra en un campo magnético de 2 Wb/m^2 . Calcular el flujo magnético que atraviesa la espira cuándo está: a) perpendicular al campo; b) paralela al campo; c) formando un ángulo de 60º con la dirección del campo; d) girando con velocidad angular w.

- El flujo de campo magnético Φ a través de una espira se define como el producto escalar del vector inducción magnética $\vec{B}$ por el vector superficie $\vec{s}$:



$$\Phi = \vec{B}.\vec{s} = Bs\cos\alpha$$

$$a)\quad \Phi = 2wb.m^{-2}\left[4.10^{-2}m\right]^2\cos 0 = 3,2.10^{-3}\ wb$$

$$b)\quad \Phi = \vec{B}.\vec{s} = Bs\cos 90^o = 0\,wb$$

$$c)\quad \Phi = 2wb.m^{-2}\left[4.10^{-2}m\right]^2 c\cos 30 = 2,8.10^{-3}\ wb$$

$$d)\quad \Phi = \vec{B}.\vec{s} = Bs\cos wt = 3,2.10^{-3}\cos wt\ \ (wb)$$

5.2 Ejercicios de inducción electromagnética

2.- Una bobina de 100 espiras tarda 0,05 s en pasar desde un punto donde el flujo magnético vale 20.10^{-5} Wb a otro punto donde el flujo es de 5.10^{-5} Wb.
Hallar la fem media inducida. Sol: 0,3 v.

- La fuerza electromotriz inducida en la bobina, cuando la atraviesa un flujo de campo magnético variable con el tiempo, cumple la ley de Faraday-Lenz:

$$e_{ind} = -N\frac{d\Phi}{dt} = -100\frac{\left[5.10^{-5} - 20.10^{-5}\right]wb}{0,05s} = 0,3v$$

3.- Una bobina consta de 200 espiras circulares de 2 cm de radio, y se encuentra en un campo magnético de 0,8 T. Hallar el flujo total a través de la bobina si su eje forma un ángulo de 30º con B. Sol: 0,174 Wb.

- El flujo total a través de la bobina vale:

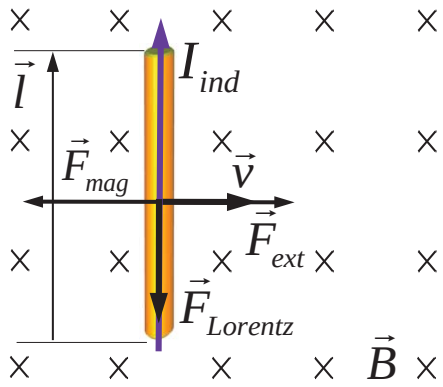
$$\Phi = n\,\vec{B}.\vec{s} = n\,Bs\cos\alpha = 200.0,8T.\pi\left[0,02m\right]^2\cos 30 = 0,174\,wb$$

5.3 Ejercicios de inducción electromagnética

4.- Un alambre de cobre de 10 cm de longitud perpendicular a un campo magnético de 0,8 T, se mueve perpendicularmente a él con una velocidad de 2 m/s. Hallar la fem inducida en el alambre. Sol: 0,16 v.

- Al mover el conductor en el campo magnético, estamos moviendo cargas eléctricas,

$$\vec{F}_{Lorentz} = q_{e^-}\left[\vec{v}\times\vec{B}\right]$$



- Los electrones se mueven debido a esta fuerza, originando una corriente eléctrica inducida.
- El trabajo para transportar la unidad de carga a lo largo del conductor es la fem inducida en los extremos del mismo:

$$e_{ind} = \frac{w}{q_{e^-}} = \frac{\vec{F}_{Lorentz}.\vec{l}}{q_{e^-}} = \frac{q_{e^-}vBl}{q_{e^-}} = vBl$$

$$e_{ind} = 2m.s^{-1}.0,8T.0,1m = 0,16v$$

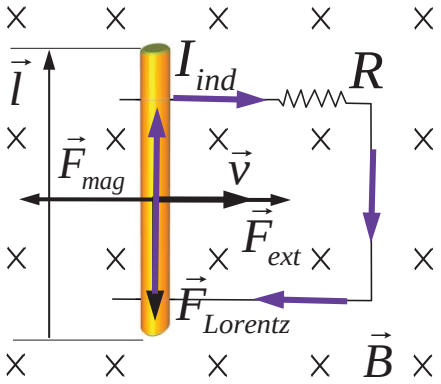
- La $\mathbf{I_{ind}}$ origina una fuerza magnética que frena el desplazamiento del conductor:

$$\vec{F}_{mag} = I_{ind}\left[\vec{l}\times\vec{B}\right]$$

- Para mantener constante la velocidad se debe aplicar una fuerza externa.

5.4 Ejercicios de inducción electromagnética

5.- Una espira rectangular posee un lado móvil, de 1 m de longitud, que se desplaza por el interior de un campo magnético uniforme de 1 T, con una velocidad constante de 1 m/s, debido a un agente externo. Calcular: a) El valor de la fem inducida en la espira si el lado móvil, B y v son perpendiculares. b) La intensidad de la corriente que circula por el lado móvil, suponiendo que la resistencia eléctrica de la espira es de 1Ω . c) La fuerza que debe realizar un agente externo para mantener constante la velocidad con que se mueve el lado móvil. Sol: a) 1 v; b) 1 A; c) 1 N.



- La fuerza de Lorentz, $\vec{F}_{Lorentz}$, crea una fem inducida, e_{ind} , que origina la correspondiente corriente eléctrica inducida i_{ind} .

$$e_{ind} = \frac{w}{q_{e^-}} = \frac{\vec{F}_{Lorentz}.\vec{l}}{q_{e^-}} = \frac{q_{e^-}vBl}{q_{e^-}} = vBl$$

$$e_{ind} = 1m.s^{-1}.1T.1m = 1v$$

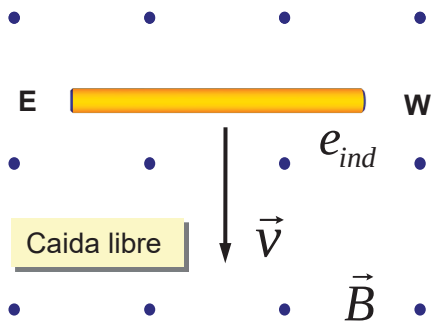
- La intensidad de corriente que recorre el circuito: $i_{ind} = \frac{e_{ind}}{R} = \frac{1v}{1\Omega} = 1A$
- La $\mathbf{i_{ind}}$ origina dentro del campo una fuerza magnética que vale:

$$\vec{F}_{mag} = i_{ind}\left[\vec{l}\times\vec{B}\right] = 1A.1m.1T = 1N = -\vec{F}_{ext}$$

- Para mantener constante la velocidad, con que se mueve el lado, un agente externo debe aplicar una fuerza externa opuesta a la magnética.

5.5 Ejercicios de inducción electromagnética

6.- Se deja caer una varilla metálica de 1 m de longitud en un lugar en el que el campo magnético terrestre posee un valor de 0,4 gauss, de forma que se mantiene en posición horizontal y en dirección E-W durante su caída. Calcular la fem inducida entre sus extremos en función de la distancia recorrida y su valor cuando ésta sea de 10 m. Sol: $5{,}6.10^{-4}$ v.



- La varilla en caída libre desciende con velocidad :

$$v = \sqrt{2gd} = \sqrt{19{,}6\,d}\ m.s^{-1}$$

- La fuerza electromotriz inducida en la varilla, cuando cae en el campo magnético terrestre vale:

$$e_{ind} = \frac{w}{q} = \frac{\vec{F}_{Lorentz}.\vec{l}}{q} = \frac{q\,vBl}{q} = vBl =$$

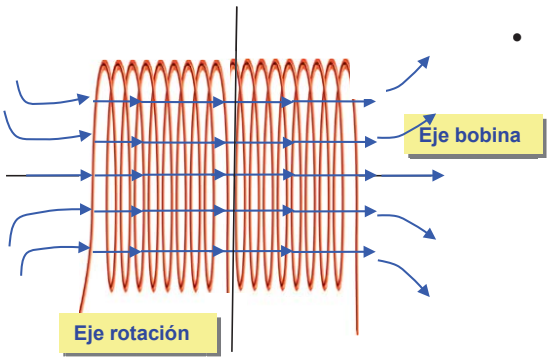
$$= \sqrt{19{,}6\,d}\ m.s^{-1}.0{,}4\ ga.10^{-4}T.ga^{-1}.1m = 4.10^{-5}\sqrt{19{,}6\,d}\ \ (voltios)$$

- Cuando la varilla ha caído 10 m:

$$e_{ind} = 4.10^{-5}\sqrt{19{,}6\,d} = 4.10^{-5}\sqrt{19{,}6.10} = 5{,}6.10^{-4}\,(voltios)$$

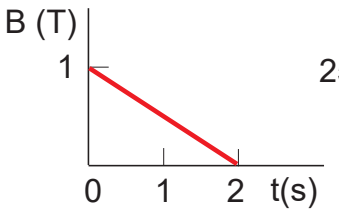
5.6 Ejercicios de inducción electromagnética

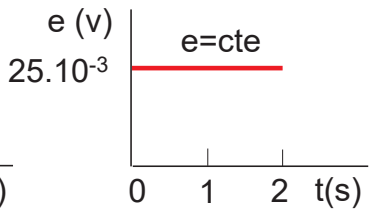
7.- Una bobina de 50 vueltas y 10 cm^2 de sección está situada con su eje paralelo a las líneas de un campo magnético de 1 T. a) Si éste disminuye linealmente con el tiempo hasta anularse en 2 s, calcular la fem inducida; representar gráficamente el campo magnético y la fem inducida en función del tiempo. b) Repetir cálculo y gráfica si la bobina tiene una rotación alrededor de un eje normal al campo magnético, a la velocidad de 10 rad/s.



- La fem inducida en la bobina, cuando el flujo magnético disminuye linealmente, vale:

$$e_{ind} = -n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -50\frac{-1T.10^{-3}m^2\cos 0}{2s} = 25.10^{-3}\ v$$

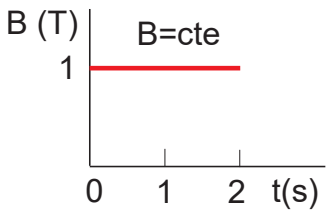


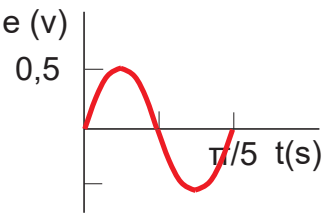


- Cuando la bobina gira alrededor de un eje normal al campo magnético:

$$e_{ind} = -n\frac{d\left[Bs\cos wt\right]}{dt} = nBsw\,sen\,wt$$

$$e_{ind} = 50.1.10^{-3}10\,sen10t = 0{,}5\,sen10t\ \ (v)$$





5.7 Ejercicios de inducción electromagnética

8.- Una espira cuadrada de 10 cm de lado se encuentra en un campo magnético, B = $3t^2$ +2t+1 (S.I.), que forma un ángulo de 60º con la normal a la espira. a) Calcular el flujo magnético instantáneo a través de la espira. b) Representar gráficamente la fem en función del tiempo y calcular su valor para t = 2 s. Sol: a) 5.10^{-3} ($3t^2$ +2t+1) wb.

- El flujo magnético a través de la espira vale:

$$\Phi = \vec{B}.\vec{s} = Bs\cos\alpha = \left[3t^2+2t+1\right]T.\left[0,1m\right]^2\cos 60 = 5.10^{-3}\left[3t^2+2t+1\right]wb$$

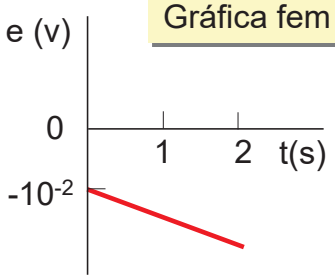
- Cálculo de la fem inducida en la espira:

$$e_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} = -5.10^{-3}\left[6t+2\right] = 3.10^{-2}t - 10^{-2}\ (v)$$

- Para t = 2s la fem vale

$$e_{ind\,(t=2s)} = -6.10^{-2} - 10^{-2} = -7.10^{-2}\ (v)$$

Gráfica fem - t



5.8 Ejercicios de inducción electromagnética

9.-Un circuito primario de un transformador está formado por 1200 espiras y el secundario por 20 espiras. Si el circuito primario se conecta a una diferencia de potencial de 220 voltios, determina: a) la diferencia de potencial a la salida del circuito secundario; b) la intensidad de la corriente en el secundario si la intensidad en el primario es de 0,5 A. Sol: a) 3,7 V; b) 30 A.

- El funcionamiento de un transformador se basa en la **ley de Faraday-Lenz**.
- **Por ellos debe circular una corriente alterna.** Las variaciones de flujo magnético en el primario y en el secundario son iguales:

$$n_p = 1200 \quad\|\quad n_S = 20$$
$$v_p = 120v \quad\|\quad v_s$$

$$v_p = -n_p\frac{d\Phi}{dt} \Leftrightarrow v_s = -n_s\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\frac{v_p}{v_s} = \frac{n_p}{n_s} \Leftrightarrow \frac{220}{v_s} = \frac{1200}{20} \Rightarrow v_s = 3,67\,v$$

Esquema de un transformador

- Los transformadores prácticamente no consumen energía:

$$Potencia: v_p i_p = v_s i_s \Rightarrow 220v.0,5A = 3,67v.i_s \Rightarrow i_s = 30A$$

10.- La ddp. a la entrada de un transformador es de 20 V y la intensidad a la salida, de 5 A. Si en el circuito secundario hay diez veces más espiras que en el primario, determina: la d.d.p. a la salida, la intensidad a la entrada y la potencia de salida. Sol: 200 V; 50 A; 1000 w.

6.1 Inducción electromagnética. Cuestiones

1. Una espira atraviesa una región del espacio en la que existe un campo magnético uniforme, vertical y hacia arriba. La espira se mueve en un plano horizontal. a) Explicar si circula corriente o no por la espira cuando: i) está penetrando en la región del campo; ii) mientras se mueve en dicha región; iii) cuando está saliendo. b) Indicar el sentido de la corriente, en los casos que exista, mediante un esquema.

2. a) Explicar el funcionamiento de un transformador eléctrico. b) ¿Podría funcionar con corriente continua?. Justificar la respuesta.

3. Razonar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: a) La fuerza electromotriz inducida en una espira es proporcional al flujo magnético que la atraviesa. b) Un transformador eléctrico no puede utilizarse con corriente contínua.

4. Contestar razonadamente a las siguientes cuestiones: a) ¿Puede moverse una carga bajo la acción de un campo magnético sin experimentar fuerza magnética? b) ¿Puede ser nulo el flujo magnético a través de una espira colocada en una región en la que existe un campo magnético?.

5. a) Explicar por qué no se utilizan los transformadores con corrientes contínuas. b) Comentar las ventajas de la corriente alterna frente a la corriente contínua.

6. a) Comentar la siguiente afirmación: si el flujo magnético a través de una espira varía con el tiempo. Se induce en ella una fuerza electromotriz. b) Explicar diversos procedimientos para lograr la situación anterior.

7. Conteste 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 fuerza electromotriz inducida en una espira, ¿es más grande cuanto mayor sea el flujo magnético que la atraviesa?

6.2 Inducción electromagnética. Problemas

10. Una espira cuadrada de 5 cm de lado se encuentra en el interior de un campo magnético uniforme, de dirección normal al plano de la espira y de intensidad variable con el tiempo: $B=2t^2$ (T). a) Deducir la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo. b) Representar gráficamente la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo y calcular su valor para t = 4 s.

11. 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 vertical de 0,2 T. a) Calcular el valor máximo de la fuerza electromotriz inducida en la espira y representar, 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?.

12. 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 de 0,5 a 0,2 T en 0,1 s. a) Dibujar en un esquema la espira, el campo y el sentido de la corriente inducida, razonando la respuesta. b) Calcular la fuerza electromotriz inducida y razonar cómo cambiaría dicha fuerza electromotriz si la intensidad del campo aumentase en lugar de disminuir.

13. Una espira de 20 cm^2 se sitúa en un plano perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,2 T. a) Calcular el flujo magnético a través de la espira y explicar cómo varía el valor del flujo al girar la espira un ángulo de 60º. b) Si el tiempo invertido en el giro es de 2.10^{-3} s, ¿cuánto vale la fuerza electromotriz media inducida en la espira? Explicar qué habría ocurrido si la espira se hubiese girado en sentido contrario.

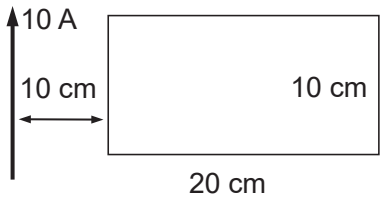
14. Un campo magnético, cuyo módulo viene dado por: B = 2 cos 100 t (S.I.) forma un ángulo de 45º con el plano de una espira circular de 12 cm de radio. a) Calcule la fuerza electromotriz inducida en la espira en el instante t = 2 s. b) ¿Podría conseguirse que fuera nula la fuerza electromotriz inducida girando la espira? Razone la respuesta.

6.3 Inducción electromagnética. Problemas

15. Una bobina constituida por 100 espiras circulares de 1 cm de radio se halla en el seno de un campo magnético uniforme de 0,5 T, de modo que el plano de las espiras es perpendicular al campo. a) ¿Cuál es el valor de la fuerza electromotriz inducida al girar la bobina 90º en una milésima de segundo?. b) Si duplicamos el número de espiras, ¿en cuánto tiempo deberíamos girar 90º la bobina para conseguir la misma fuerza electromotriz?.

16. 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 $B = 1{,}5.e^{0{,}2t}$ T. a) ¿Cómo varía la fuerza electromotriz inducida con el tiempo? b) ¿Cuál será el valor de dicha fuerza electromotriz inducida a los 10 s?.

17. Una corriente de 10 A 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. Dato: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (SI)



18. Un alternador consta de una bobina de 40 espiras cuadradas de 5 cm de lado y una resistencia total de 16 Ω. La bobina gira con una frecuencia de 100 Hz en un campo magnético de 0,8 T. Determinar: a) La fuerza electromotriz máxima que se induce. b) El valor máximo de la intensidad inducida. c) Una expresión para la fuerza electromotriz y la intensidad inducida en función del tiempo. Traza las representaciones gráficas de estas dos magnitudes.

19. El flujo que pasa por una espira de 15 cm^2 varía según la función $\Phi = 0{,}005 \cos 100\, t$ (Wb). Calcular. a) La inducción del campo suponiendo que es uniforme. b) La fuerza electromotriz inducida en la bobina.

20. Una espira se coloca en un campo magnético $\vec{B} = 0{,}1\vec{i}\ (T)$. a) Halla el flujo a través de la espira si su vector superficie vale $\vec{S} = 5\vec{i} + 4\vec{j} - 20\vec{k}\ (cm^2)$. b) Representa todas las magnitudes físicas que se citan en el apartado anterior.