

Inducción electromagnética

El *electromagnetismo* es la parte de la *Electricidad* que estudia la relación entre los *fenómenos eléctricos* y los *fenómenos magnéticos*. Los fenómenos eléctricos y magnéticos fueron considerados como independientes hasta 1820, cuando su relación fue descubierta.

Así, hasta esa fecha el *Magnetismo* y la *Electricidad* habían sido tratados como fenómenos distintos y eran estudiados por ciencias diferentes. Sin embargo, esto cambió a partir del descubrimiento que realizó Hans Christian Oersted, observando que la aguja de una brújula variaba su orientación al pasar corriente a través de un conductor próximo a ella. Los estudios de Oersted sugerían que la electricidad y el magnetismo eran manifestaciones de un mismo fenómeno: *las fuerzas magnéticas proceden de las fuerzas originadas entre cargas eléctricas en movimiento*.

Oersted demostró que una *corriente eléctrica* (cargas eléctricas en movimiento) *produce un Campo Magnético*. En 1831 Faraday en Inglaterra y Henry en EE.UU descubrieron el fenómeno contrario, es decir, *la producción de una corriente eléctrica mediante campos magnéticos variables con el tiempo*. A esta correlación entre Electricidad y Campo Magnético se le llamó *Inducción Electromagnética*.

Estudiaremos la Inducción Electromagnética mediante los puntos siguientes:

- 1.- Introducción. Definición de Inducción Electromagnética (pág 2)*
- 2.- Fenómenos de Inducción Electromagnética. Experiencias de Faraday – Henry. Ley de Faraday – Henry (pág 4)*
- 3.- Ley de Lent (pág 15)*
- 4.- Corrientes de Foucault. (pág 37)*
- 5.- Autoinducción. Corrientes autoinducidas. (pág 40)*

1.- Introducción y definición de Inducción Electromagnética

Páginas web consultadas:

Introducción a la Inducción electromagnética

http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap03_induccion.php

Introducción y definición de Inducción electromagnética

<http://www.monografias.com/trabajos70/induccion-electromagnetica/induccion-electromagnetica.shtml>

Inducción electromagnética

<http://es.slideshare.net/jvciesplayamar/induccin-11432778>

Introducción y definición de Inducción electromagnética

http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/iv.-electromagnetismo

La relación entre la *Electricidad* y el *Magnetismo* fue descubierta por el físico danés *Hans Christian Oersted*. Éste observó que si colocaba un alfiler magnético que señalaba la dirección norte-sur paralela a un hilo conductor rectilíneo por el cual ***NO CIRCULABA CORRIENTE ELÉCTRICA***, éste no sufría ninguna alteración.

Sin embargo ***EN EL MOMENTO QUE EMPEZABA A PASAR CORRIENTE*** por el conductor, el alfiler magnético se desviaba y se orientaba hacia una dirección perpendicular al hilo conductor.

En cambio, ***SI DEJABA DE PASAR CORRIENTE*** por el hilo conductor, la aguja volvía a su posición inicial.

De este experimento podemos deducir que ***AL PASAR UNA CORRIENTE ELÉCTRICA*** por un hilo conductor ***se crea un campo magnético***.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Como se estudió en el Tema anterior, cuando una *carga eléctrica* está en movimiento crea:

- a) *Un campo eléctrico*
- b) *Un campo magnético*

a su alrededor.

Este campo magnético realiza una *fuerza* sobre cualquier otra carga eléctrica que esté situada dentro de su radio de acción. Esta fuerza que ejerce un campo magnético será la *fuerza electromagnética*.

La experiencia de Oersted estimuló la imaginación de los físicos de la época y multiplicó el número de experimentos en busca de relaciones nuevas entre la Electricidad y el Magnetismo. En ese ambiente científico pronto surgiría la idea inversa de *producir corrientes eléctricas mediante campos magnéticos*.

Fueron Faraday y Henry los primero en precisar en qué condiciones podía ser observado semejante fenómeno. A las corrientes eléctricas producidas mediante campos magnéticos Michael Faraday las llamó *corrientes inducidas*. Desde entonces al fenómeno consistente en generar campos eléctricos a partir de campos magnéticos se le denomina *inducción electromagnética*.

La *inducción electromagnética* es el fenómeno que origina la producción de una *fuerza electromotriz* (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un *campo magnético* estático.

Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida.

Michael Faraday indicó que la magnitud del *voltaje inducido* es proporcional a la variación del *flujo magnético* [El número total de líneas de inducción magnética que atraviesan una superficie, se denomina *Flujo Magnético* (Φ)]. (Ley de Faraday - Henry).

La *Inducción Electromagnética* constituye una pieza destacada en *electromagnetismo*. Pero, además, se han desarrollado un sin número de aplicaciones prácticas de este fenómeno físico. El transformador que se emplea para conectar una calculadora a la red, la dinamo de una bicicleta o el alternador de una gran central hidroeléctrica son sólo algunos ejemplos de la *inducción electromagnética*.

2.- Fenómenos de Inducción electromagnética. Experiencias de Faraday – Henry. Ley de Faraday - Henry

Experiencia de Faraday – Henry. Ley de Faraday - Henry

<http://www.hiru.com/fisica/ley-de-faraday-henry>

Ley de Faraday –Henry. Generador eléctrico

http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Faraday/Faraday.htm

Experiencias de Faraday - Henry

http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap03_induccion.php

Experiencia de Faraday- Henry. Ley de Faraday - Henry

<http://es.slideshare.net/leidy07lala08/michael-faraday-9847846>

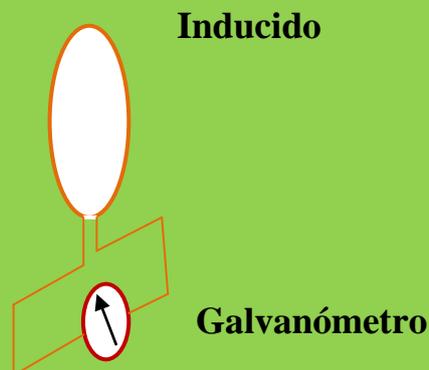
Separados en el espacio, Faraday en Inglaterra y Henry en Estados Unidos, realizaron los experimentos que más tarde dieron lugar a la ley de ambos nombres y que regulaba el fenómeno de la *Inducción Electromagnética*.

En estas experiencias nos encontramos con los siguientes elementos:

- a) Un *circuito cerrado e inerte* donde se va a originar una corriente eléctrica. Recibe el nombre de *Inducido*. Consiste en una espira

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

circular a la que se le acopla un “galvanómetro”(aparato que se usa para detectar y medir la corriente eléctrica)

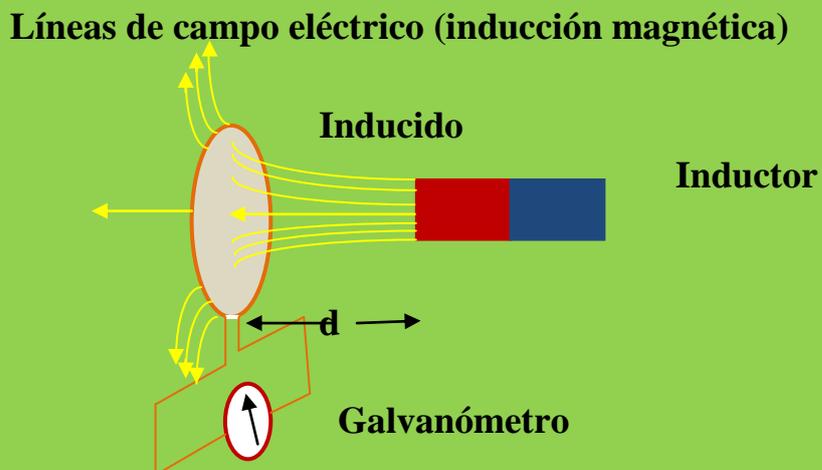


b) Un imán o cualquier otro cuerpo capaz de producir un campo magnético. Se llama **Inductor**.



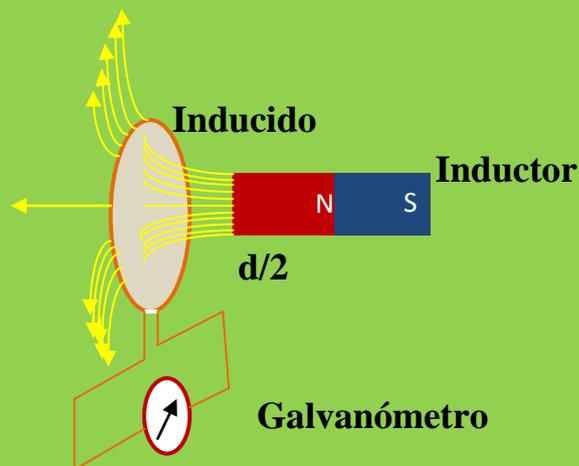
Las experiencias realizadas por Faraday y Henry consistieron en:

a) El Inducido en reposo y el inductor moviéndose hacia el inducido o alejándose del mismo. Tomemos una posición inicial:



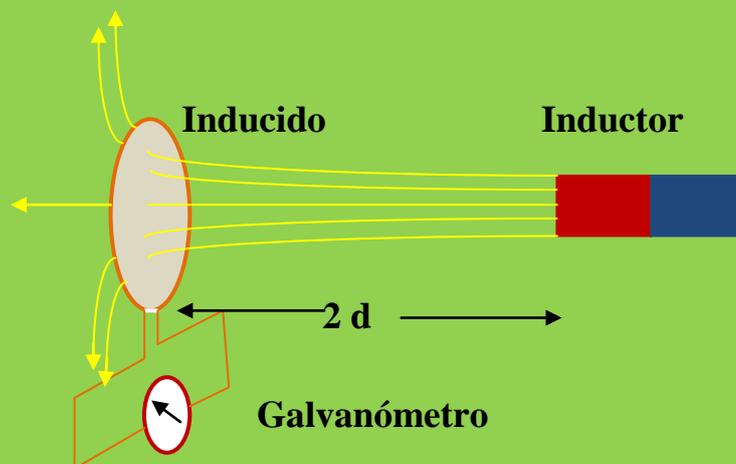
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Si acercamos el imán a la espira:



Aumenta el número de líneas de fuerza del campo magnético lo que implica **un aumento del Flujo Magnético**.

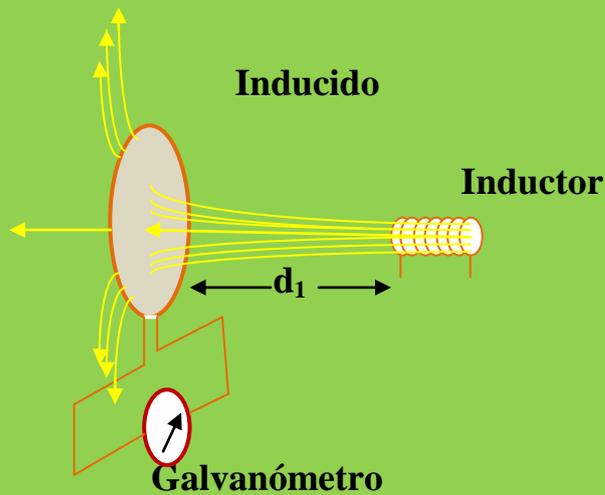
Si alejamos el inductor del circuito cerrado:



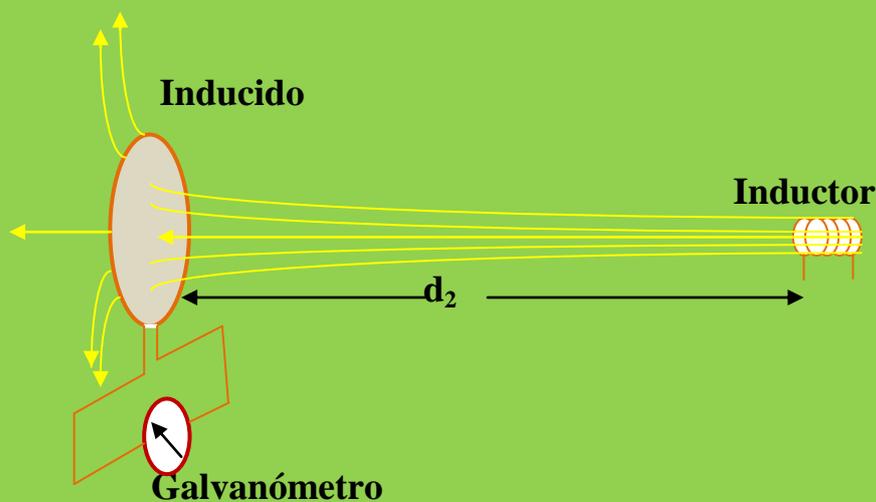
Disminuyen las líneas de fuerza que atraviesan la espira y por lo tanto **disminuye el Flujo Magnético**.

- b) El inducido queda fijo y como inductor utilizamos un solenoide por el que circula una corriente eléctrica de intensidad determinada creando un campo magnético.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA



Vamos a colocar el solenoide a una distancia d_2 con la condición $d_2 > d_1$ lo que implica que el solenoide se está alejando del circuito. Veamos el resultado de la experiencia:



Al alejarnos del circuito cerrado las líneas de fuerza del campo magnético que atraviesan dicho circuito es inferior a las que lo atraviesan a una distancia d_1 .

Podemos concluir que *a menor distancia entre el inductor y el inducido mayor es el flujo magnético.*

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En estas dos experiencias el inducido (circuito) siempre estaba fijo y el inductor podía variar de posición.

Faraday y Henry realizaron dos experiencias más en donde tanto el inductor como el inducido siempre estaban ocupando la misma posición. Para ello tuvieron que introducir un elemento más en el sistema.

En el caso en donde el inductor era un imán se intercalaba entre el imán y el circuito un trozo de material ferromagnético (posee una gran inducción magnética al aplicarle un campo magnético). El campo magnético del imán pasa al compuesto ferromagnético y este actúa como si el imán se acercara al circuito.

En el caso de que el inductor era un solenoide podemos aplicar a dicho solenoide un reóstato que permitiría aumentar o disminuir la intensidad de corriente que pasaría por el solenoide. En realidad el reóstato haría el papel de acercar o alejar el solenoide del circuito.

Con estas experiencias podemos concluir:

Siempre que se produzca una variación en el flujo magnético en un circuito cerrado e inerte como consecuencia de la variación del número de líneas de inducción magnética que atraviesan la superficie del citado circuito, se producirá en el mismo una Fuerza Electromotriz Inducida.

Ley de Faraday - Henry

Los dos científicos fueron capaces de cuantificar sus experiencias estableciendo la ley que lleva sus nombres.

Por la definición de flujo magnético, $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \rightarrow \Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$

\vec{B} = Vector campo magnético

\vec{S} = Vector superficie \rightarrow Vector perpendicular a la superficie que constituye el circuito

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

α = Ángulo que forman el vector campo magnético y el vector superficie

La variación del flujo magnético puede deberse a que:

- Se modifica el campo magnético B, porque varía con el tiempo o porque cambia la distancia entre el imán y el circuito.
- Varía el área S del circuito, por deformaciones del mismo
- Cambia el ángulo θ , al hacerlo la orientación del circuito respecto al campo.

La fuerza electromotriz inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético a través del circuito.

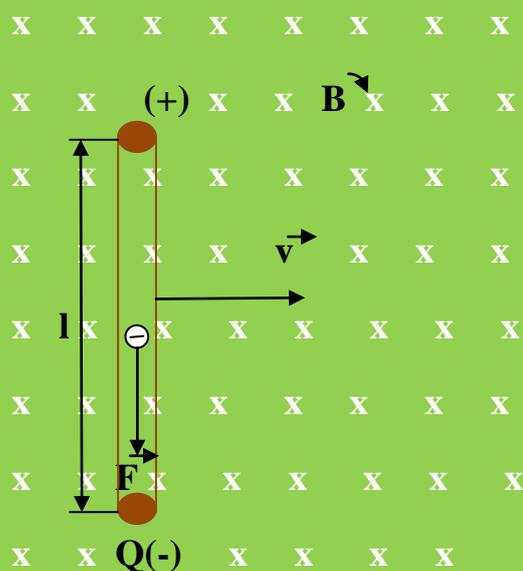
$$\varepsilon = - d\Phi/dt$$

ε = Fuerza electromotriz inducida

Φ = flujo magnético a través del circuito.

Demostremos la ecuación anterior:

Supongamos un hilo conductor PQ, al que desplazamos en un campo magnético perpendicularmente a las líneas de campo, con una velocidad "v":



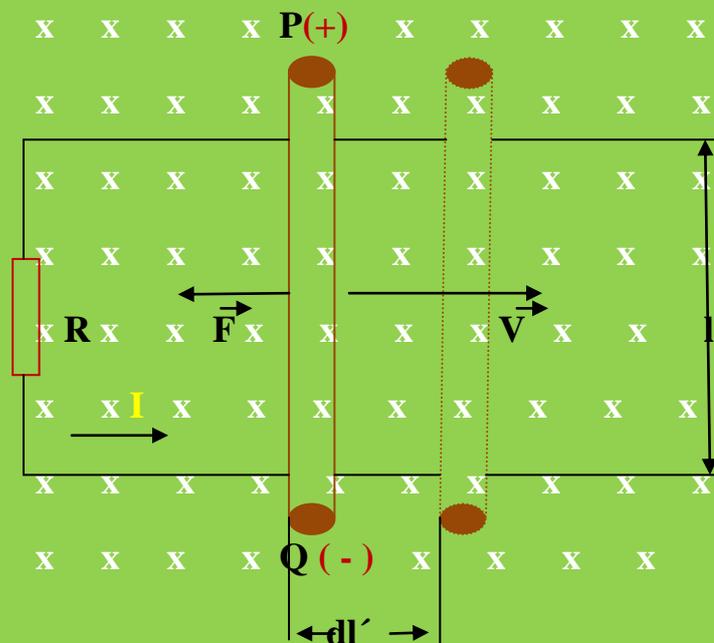
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Cada uno de los electrones libres del conductor sufrirá una fuerza en sentido descendente (según la regla de la mano izquierda la fuerza debería ser ascendente pero al tratarse de una carga negativa el sentido de la fuerza es el contrario, descendente) según Lorentz viene dada por:

$$F = B \cdot q \cdot v$$

Se producirá un transporte de electrones que cargará negativamente al extremo Q y positivamente al P. Se ha originado así en circuito abierto una diferencia de potencial que se identifica con una fuerza electromotriz (FEM), funcionando el extremo P como el polo positivo de un generador y Q como negativo.

Si la experiencia se hubiese realizado estableciendo contacto entre los extremos del hilo, con otro formando con él un circuito cerrado, hubiese circulado una corriente en el sentido que determina la polaridad positiva de P y la negativa de Q. La fuerza de Lorentz nos indica que sobre la longitud “l” del conductor PQ actúa una fuerza $F = B \cdot I \cdot l$ según el esquema siguiente:



INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Como el sentido de la corriente y la inducción del campo magnético son perpendiculares, la fuerza “F” actúa en el plano y hacia la izquierda.

Al desplazar el conductor PQ contra esa fuerza, realizamos un trabajo que introduce energía en el sistema. Esta energía se suministra únicamente mientras desplazamos el conductor PQ y se disipa por el efecto Joule en la resistencia “R” entre cuyos extremos se produce una diferencia de potencial:

$$V = P / I$$

P = Potencia

I = Intensidad

Según la primera ley de Kirchhoff es igual a la FEM, \mathcal{E} , originada en el circuito.

La FEM en nuestro caso será:

$$\mathcal{E} = P / I = 1/I \cdot dW/dt \quad (1)$$

El trabajo realizado en un desplazamiento dl' del conductor PQ:

$$dW = F \cdot dl' \quad (2)$$

Si llevamos la ecuación (2) a la (1):

$$\mathcal{E} = B \cdot I \cdot l / I \cdot dl'/dt = B \cdot l \cdot V$$

La variación de flujo magnético producida en el desplazamiento dl' es:

$$d\Phi = B \cdot dA = B \cdot l \cdot dl' \quad (3)$$

Si derivamos con respecto al tiempo:

$$d\Phi/dt = B \cdot l \cdot dl'/dt = B \cdot l \cdot V$$

obtenemos una expresión que coincide, en valor absoluto, con el valor de \mathcal{E} .

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

El aumento del flujo magnético entrante hacia el papel va asociado con una Fuerza Electromotriz Inducida que produce una intensidad en sentido contrario a las agujas del reloj, la cual, a su vez produce un campo de inducción contraria a la establecida y que se opone a la variación del flujo.

Como conclusión establecemos que la Fuerza Electromotriz y la variación del Flujo Magnético son iguales en módulo y de sentido contrario. Podemos establecer:

$$\varepsilon = - d\Phi/dt$$

El signo negativo de la ley de Faraday - Henry también establece una diferencia entre las corrientes inducidas por un aumento del flujo magnético y las que son debidas a una disminución de dicha magnitud. Para determinar el sentido de la corriente inducida, Lenz *propuso que la fem y la corriente inducidas tienen un sentido que tiende a oponerse a la causa que las produce.*

Si el circuito está formado por una bobina de N espiras iguales la fem será:

$$\varepsilon = - N . d\Phi/dt$$

La ecuación anterior trabaja con variaciones infinitesimales del flujo magnético con respecto a tiempos también muy pequeños. Si consideramos cantidades “finitas” de Φ la *fem media inducida* será:

Ecuación de la ley de

$\varepsilon_m = - N . \Delta\Phi/\Delta t$	Faraday - Henry
---	-----------------

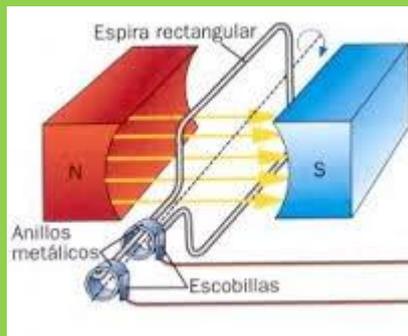
El valor de la Fuerza Electromotriz inducida depende únicamente:

- De la mayor o menor rapidez de variación del flujo magnético a través de la superficie definida por el circuito
- Del número de espiras que constituyan el circuito

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Cuando $\Delta\Phi/\Delta t = 0$, es decir, cuando no hay variación de flujo en el transcurso del tiempo, la f.e.m es cero y no hay corriente en el inducido.

Los experimentos de Faraday, Henry y otros científicos, condujeron al descubrimiento del generador eléctrico, que es el sistema más utilizado actualmente para poner en movimiento la electricidad en la materia.



Recordemos la ecuación de la fuerza electromotriz.

$$\varepsilon = - d\Phi/dt \quad (1)$$

Recordemos además que:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$$

α = espacio angular entre vector campo magnético y vector superficie
del Movimiento Circular Uniforme:

$$\text{Velocidad angular} = \text{espacio angular} / t$$

$$\omega = \alpha / t \rightarrow \alpha = \omega \cdot t$$

y por lo tanto:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \omega t \quad (2)$$

La variación de flujo (f) se produce variando las posiciones relativas del área de la espira respecto al campo.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La fuerza electromotriz, f.e.m, es una diferencia de potencial que produce el movimiento de carga eléctrica. Para hacerlo suministra el trabajo por unidad de carga necesario para que circule.

Esta f.e.m. no está localizada entre dos polos, como en el caso de una pila, sino que se extiende sin localizar por todo el circuito, creando un campo inducido B que circula constantemente por él.

Si llevamos la ecuación (2) a la ecuación (1):

$$\varepsilon = - d(B.S.\cos \omega t)/dt = - B.S.d(\cos \omega t)/dt$$

Teniendo en cuenta que $d(\cos \omega t)/dt = - \omega .\text{sen } \omega t$

resulta finalmente:

$$\varepsilon = - B.S.(- \omega .\text{sen } \omega t) = B.S. \omega .\text{sen } \omega t = \varepsilon_0 . \text{sen } \omega t$$

$$\omega t = \pi/2 = 90^\circ \rightarrow \text{sen } 90^\circ = 1$$

el valor máximo de la f.e.m. sinusoidal inducida en la espira será:

$$\varepsilon_0 = B . S . \omega$$

puesto que:

$$\text{sen } \pi/2 = 1$$

Si se tratara de una bobina con N espiras se obtendría para ε_0

el valor:

$$\varepsilon_0 = N . B . S . \omega$$

La *fuerza electromotriz inducida* varía con el tiempo, tomando valores positivos y negativos de un modo alternativo, como lo hace la función seno.

El valor máximo de la fuerza electromotriz depende de:

- a) La intensidad del campo magnético del imán
- b) De la superficie de las espiras
- c) Del número de espiras

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

- d) De la velocidad con la que rote la bobina dentro del campo magnético.

3.- Ley de Lenz

Ley de Lenz

<http://elfisicoloco.blogspot.com.es/2013/02/ley-de-lenz.html>

Animación de la ley de Lenz

http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/ley-de-lenz

Ley de Lenz

<http://www.xatakaciencia.com/fisica/ralentizando-los-movimientos-gracias-a-la-ley-de-lenz>

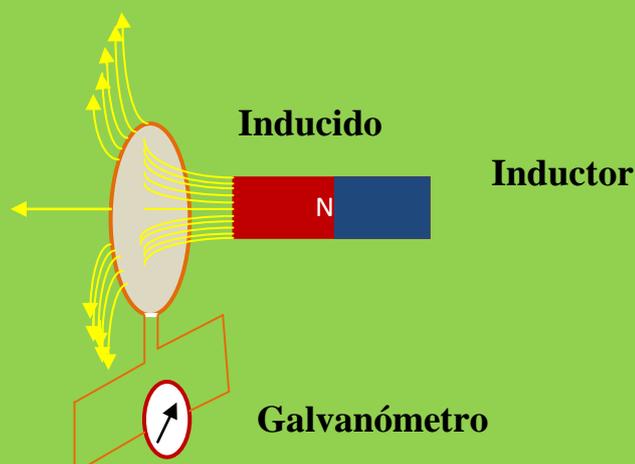
Ley de Lenz

<http://oc.uan.edu.co/revista/fisica/faraday/Lenz.asp>

En las experiencias realizadas por Faraday – Henry, aparecieron unas fuerzas de atracción y repulsión entre el inductor y el inducido.

Lenz pudo dar una explicación a estas fuerzas basándose en la experiencia de Faraday – Henry, concretamente en el caso de un imán y un conductor que determina un circuito cerrado e inerte:

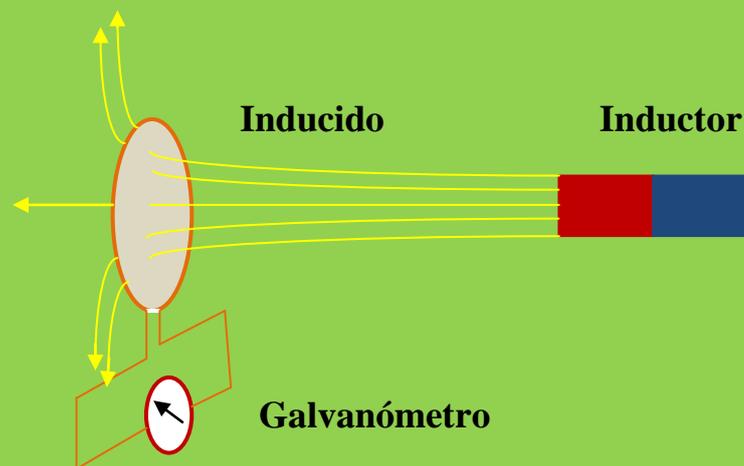
- a) Cuando el inductor se acerca:



INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Aumenta el flujo magnético y por lo tanto aumenta la intensidad de corriente inducida y se origina una fuerza de repulsión entre el inductor y el inducido.

Cuando el inductor se aleja:



Disminuye el flujo magnético y por lo tanto también lo hace la corriente inducida. Aparece entonces una fuerza atractiva entre el inducido y el inductor.

Aparece en este caso una atracción entre el inducido y el inductor.

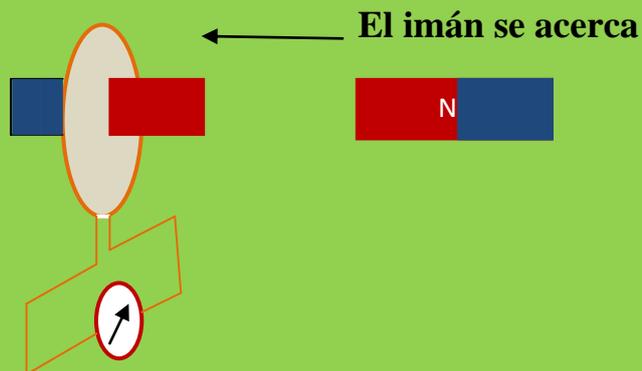
Lenz hizo los siguientes razonamientos:

- Según Faraday – Henry cuando un imán se acerca a un circuito cerrado aparece un *flujo magnético* que dará lugar a una *fuerza electromotriz inducida* y por lo tanto una *intensidad de corriente inducida*. Lenz sabe que cuando circula por el circuito una intensidad de corriente se va a producir un campo magnético, dicho de otra forma, esa corriente inducida hace que la *espira y la superficie que limita actúe como un imán* estando su polo norte en la parte de la superficie que se enfrenta al inductor:



INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

a)



Al enfrentarse los dos *polos norte* aparece la *fuerza de repulsión* que tendería a desplazar el imán (inductor) hacia la derecha.

Si queremos que dicho imán inductor quede donde está o no ser desplazado hacia la derecha deberemos ejercer una fuerza, desde el exterior al sistema, para compensar la fuerza de repulsión.

b) Cuando el imán inductor se aleja del circuito sigue existiendo un flujo magnético que lleva consigo una fuerza electromotriz inducida y por lo tanto una corriente eléctrica de una intensidad inducida. Al igual que en el caso anterior la corriente de intensidad inducida dará lugar a que la espira y la superficie que limita actúe como un imán pero en este caso es el polo sur quien se enfrenta al polo norte del inductor:

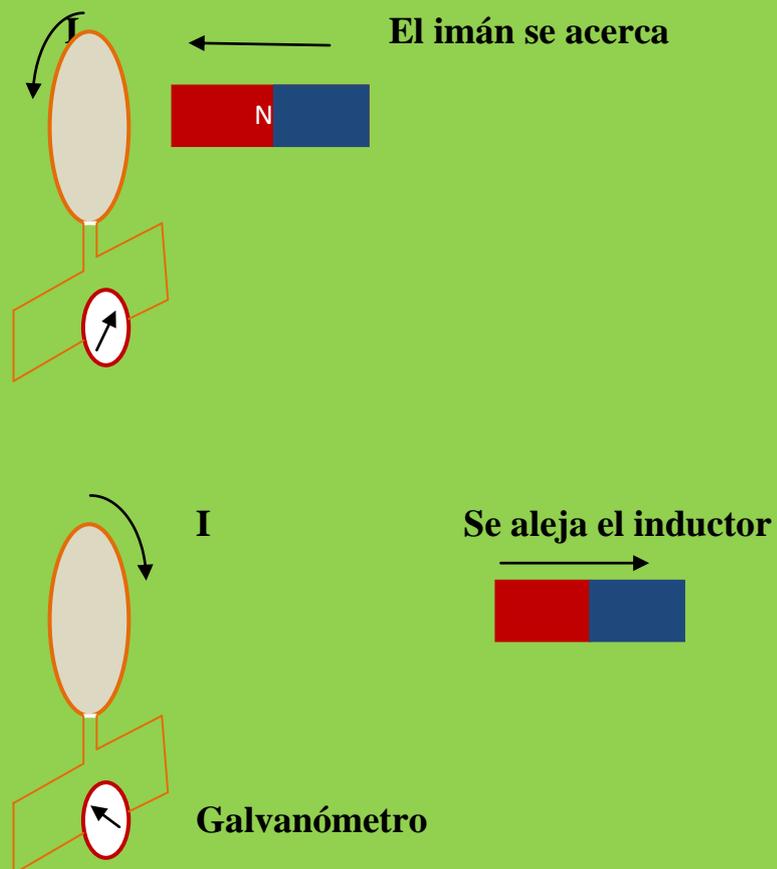


Todos sabemos que entre polos opuestos de dos imanes se establece una *fuerza de atracción*.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Lenz con estas experiencias pudo enunciar la ley que lleva su nombre:

La corriente de inducción siempre posee una dirección tal, que su campo magnético contraresta o compensa la variación del flujo magnético del campo que dio origen a esta corriente.



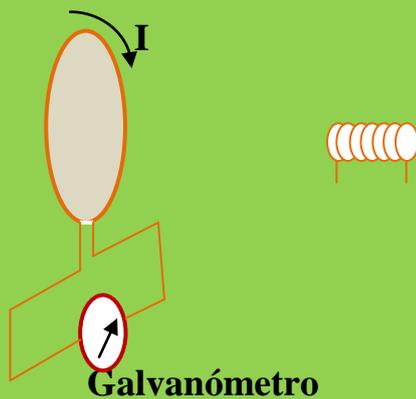
Según lo visto la ley de Lenz nos permite determinar el sentido de la corriente eléctrica inducida sin necesidad de realizar cálculos matemáticos.

En el primer caso, al acercarse el inductor a la espira el flujo magnético iría aumentando y según Lenz la intensidad inducida disminuiría (sentido contrario a las agujas del reloj) para disminuir el flujo magnético.

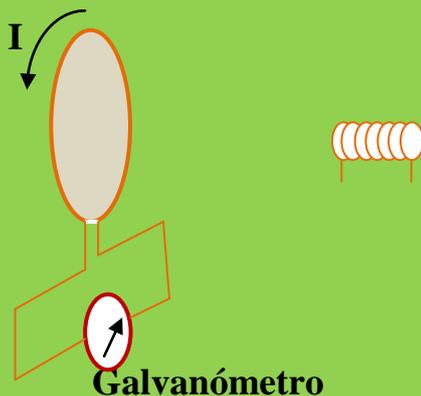
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En el segundo caso, al alejarse el inductor de la espira el flujo magnético disminuiría pero la intensidad inducida aumentaría (sentido agujas del reloj) para compensar la disminución del flujo magnético.

Si el inductor es un solenoide al que se le acopla un reóstato con el fin de hacer variar la intensidad de corriente que circula por el solenoide sin necesidad de que este cambie de posición, nos encontramos con las circunstancias siguientes:



Al disminuir la intensidad de corriente que circula por el solenoide, mediante el reóstato, la intensidad inducida aumentará para compensar esta disminución. El sentido de la corriente será el de las agujas del reloj.



Si aumentamos la intensidad de corriente, mediante el reóstato, que circula por el solenoide la intensidad inducida disminuirá para compensar el aumento producido en el solenoide.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Otro aspecto importante de la ley de Lenz se basa en el hecho de que puede ser utilizada para *validar* la ley de Faraday- Henry. Para Faraday y Henry cuanto más nos acerquemos al circuito mayor es la fuerza electromotriz inducida y por tanto mayor la intensidad inducida. Lenz ha demostrado que para acercarnos al circuito tendremos que vencer la fuerza de repulsión que se genera y lo haremos mediante una fuerza exterior. La aplicación de esta fuerza exterior implica la realización de un trabajo y por el principio de Conservación de la Energía, la energía mecánica se transformará en energía eléctrica aumentando el *flujo magnético*.

Podemos tomar el criterio:

- a) Si la intensidad inducida aumenta → Sentido de las agujas del reloj.
- b) Si la intensidad inducida disminuye → Sentido contrario de las agujas del reloj.

IMPORTANTE

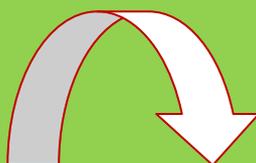
Antes de iniciarnos en los ejercicios numéricos tenemos que aclarar las posibles confusiones a las que nos puede llevar el enunciado de un ejercicio.

Recordaremos que el Flujo Magnético es igual al producto escalar del vector \vec{B} y el vector \vec{S} :

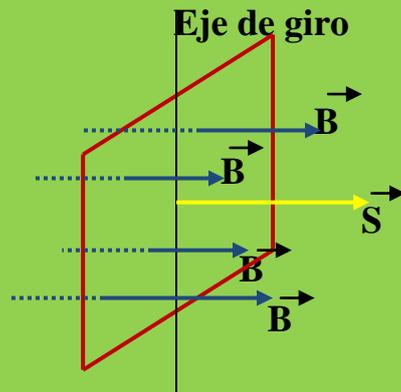
$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \theta$$

En donde θ es el ángulo existente entre los vectores \vec{B} y \vec{S} .

Suponer que en la redacción de un ejercicio nos dicen que las líneas de campo magnético son perpendiculares a la espira. Observemos el siguiente esquema:



INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

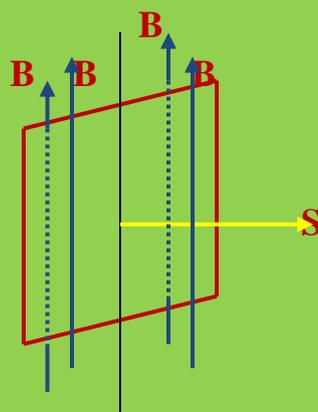


Observar como efectivamente las líneas de \vec{B} son perpendiculares a la espira pero son paralelas al vector superficie por lo que $\theta = 0^\circ$ y por tanto y teniendo presente que $\cos 0^\circ = 1$ llegamos a la conclusión que:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = B \cdot S$$

Obteniéndose el valor máximo del flujo magnético puesto que al depender de un coseno y el valor máximo de un cos es 1.

Cuando nos dicen que las líneas de campo magnético son paralelas al eje de giro o que la espira gira y pasa a una posición en donde las líneas de campo magnético son paralelas a la espira, veamos lo que ocurre:



Observamos fácilmente como el vector B es perpendicular al vector S Implicando por tanto un ángulo de 90° .

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Según la ecuación:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \theta$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos 90^\circ$$

como $\cos 90^\circ = 0$

$$\Phi = B \cdot S \cdot 0 = 0$$

En este caso no existirá flujo magnético.

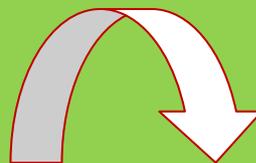
Conclusión:

a) Líneas de campo magnético perpendiculares a la espira.-

El ángulo entre \vec{B} y \vec{S} es de 0°

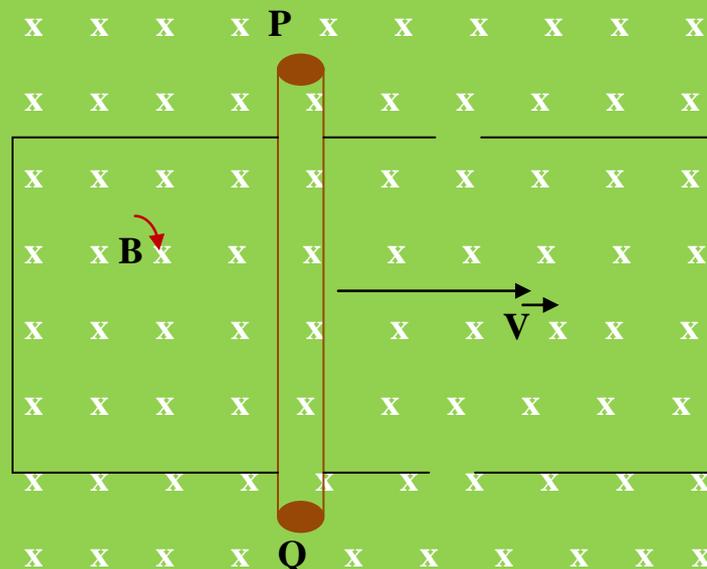
b) Líneas de campo magnético paralelas a la espira.-

El ángulo entre \vec{B} y \vec{S} es de 90°



Ejercicio resuelto

Tenemos el sistema siguiente:



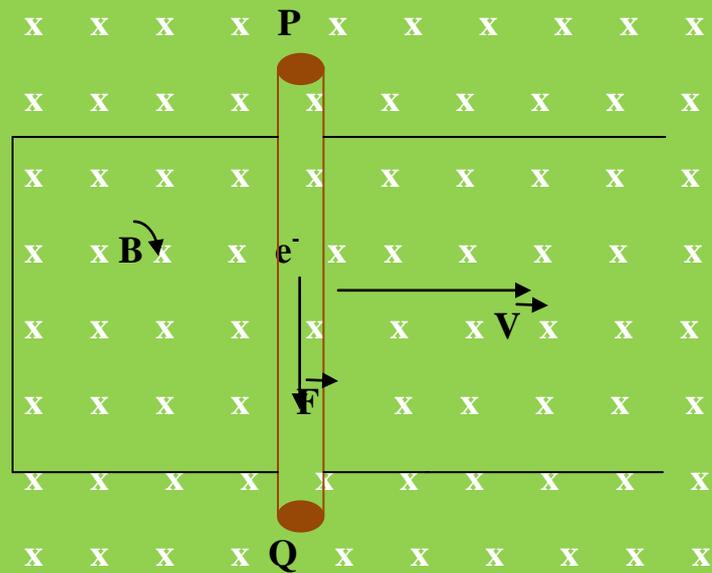
¿Qué sentido tiene la corriente inducida al desplazar el conductor PQ hacia la derecha, sin perder el contacto con sus guías, con una velocidad de $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. El valor del campo magnético o inducción magnética vale 10 T y la longitud del conductor PQ es de 15 cm

Resolución

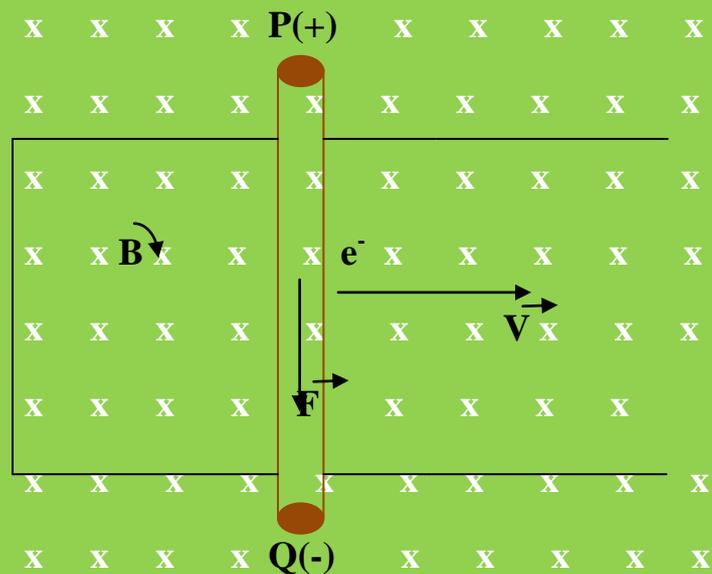
El campo magnético exterior va a ejercer una fuerza sobre las cargas eléctricas (electrones) que circulan por el conductor PQ. La fuerza tendrá su punto de aplicación en el conductor PQ y según la regla de la mano izquierda tendrá un sentido ascendente pero como la carga sobre la que actúa el campo es negativa la fuerza tendrá sentido descendente:



INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

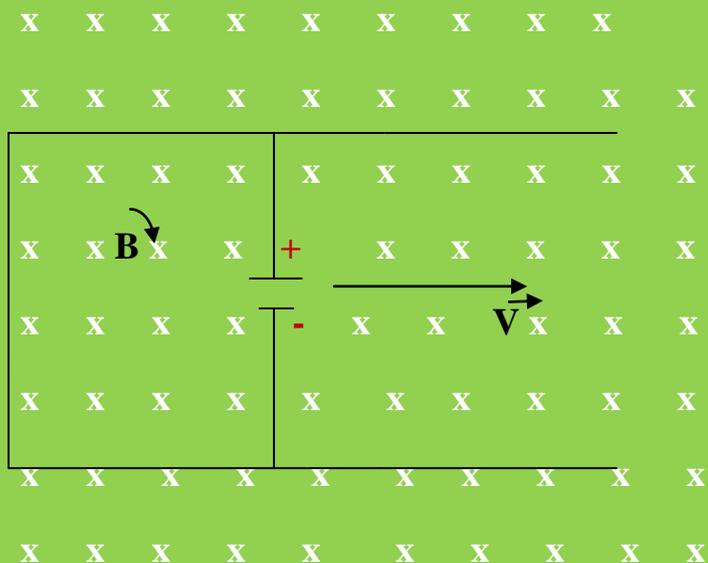


Los electrones se desplazarán hacia el punto Q cargandolo negativamente y el punto P se cargará positivamente.



En estas condiciones el conductor PQ actúa como un generador. El esquema sería entonces:

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA



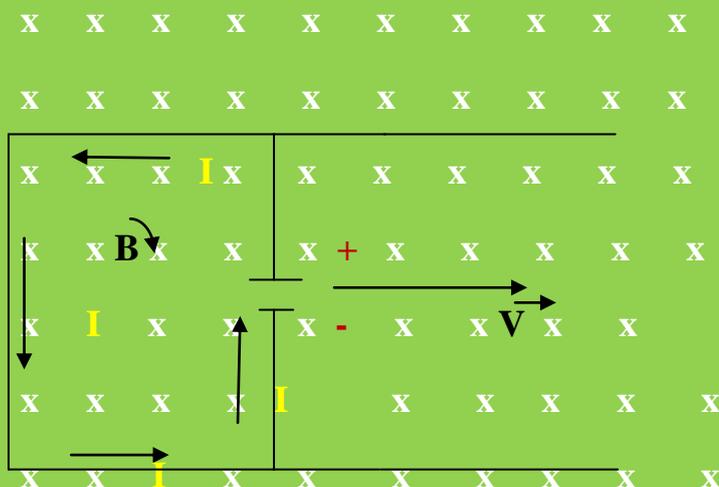
Nos encontramos con un circuito de corriente continua. El generador adquirirá una Fuerza Electromotriz Inducida cuyo valor sería:

$$\mathcal{E} = - B \cdot l \cdot v$$

El valor absoluto de \mathcal{E} :

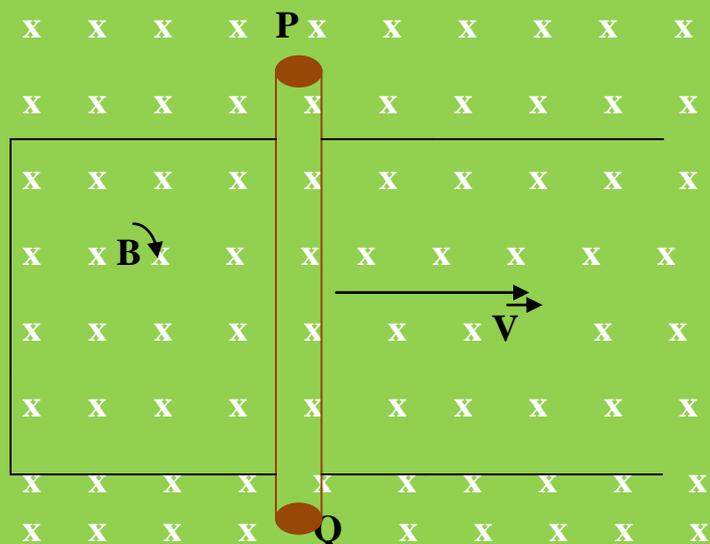
$$|\mathcal{E}| = B \cdot l \cdot v = 10 \text{ T} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2,25 \text{ V}$$

Esta fuerza electromotriz inducida crearía una corriente inducida. Como el circuito devuelve al exterior el flujo magnético la intensidad tiende a disminuir y su sentido será el contrario a de las agujas del reloj.



Ejercicio resuelto

Tenemos un sistema constituido por un conductor sobre el cual se desliza una varilla metálica de 35 cm de longitud y con una velocidad de $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. El circuito que forman esta bajo la acción de un campo magnético entrante hacia el plano del papel con un valor de 3,5 T. El circuito presenta una resistencvia de 8Ω .



Determinar:

- La Fuerza electromotriz Inducida.
- Intensdad de corriente eléctrica inducida y sentido de la misma.
- Potencia suministrada al circuito.

Resolución

- Todo lo dicho en el problema anterior se puede aplicar a este y por lo tanto:

$$|\varepsilon| = B \cdot l \cdot v = 3,5 \text{ T} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,61 \text{ V}$$

- Por la ley de Ohm generalizada:

$$I = \varepsilon / R \rightarrow I = 0,61 \text{ V} / 8 \Omega = 0,076 \text{ A}$$

Al desplazar el circuito hacia laderecha aumenta el flujo magnético que implicará una mayor FEM inducida y una intensidad inducida pero el circuito reaccina devolviendo hacia el exterior el

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

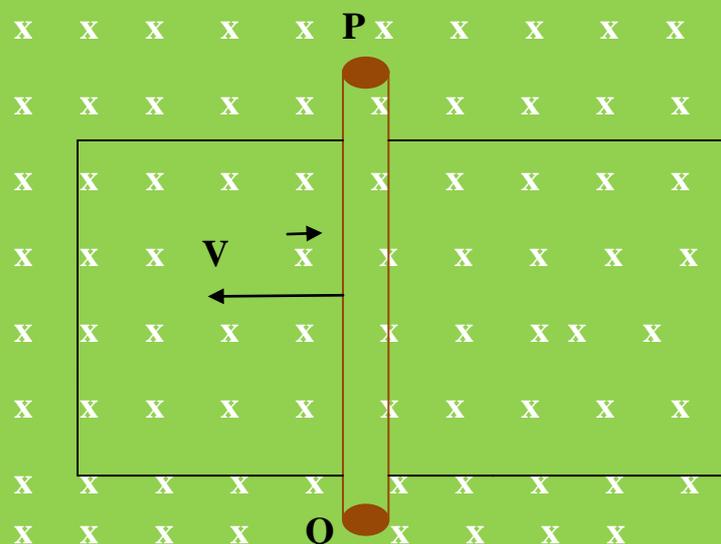
flujo magnético y la intensidad tenderá a disminuir por lo que el sentido de la intensidad será el contrario a las agujas del reloj.

c) Según Electrodinámica:

$$P = \varepsilon \cdot I = 0,61 \text{ V} \cdot 0,076 \text{ A} = 0,045 \text{ W}$$

Problema resuelto

Un conductor metálico PQ de 20 cm de longitud se desliza sobre un circuito en U, a una velocidad de $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y hacia la izquierda, en el seno de un campo magnético de 0,5 T, perpendicular al plano en que se produce el desplazamiento, como indica la figura:



Si la resistencia del circuito es de 4Ω , determina:

- La fuerza electromotriz inducida.
- La intensidad inducida y el sentido de la misma.

Resolución

Recordemos que:

$$\text{a)} \quad |\varepsilon| = B \cdot l \cdot V$$

$$|\varepsilon| = 0,5 \text{ T} \cdot 0,20 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2 \text{ V}$$

$$\text{b)} \quad I = \varepsilon / R \rightarrow I = 2 \text{ V} / 4 \Omega = 0,5 \text{ A}$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Como la barra metálica se desplaza hacia la izquierda el circuito va disminuyendo la superficie limitada por los conductores. Al disminuir la superficie el flujo magnético disminuye y el circuito responde devolviendo el flujo magnético hacia el exterior y por lo tanto aumentando su intensidad inducida. El sentido de la corriente será el de la agujas del reloj.

Problema resuelto

El flujo magnético que atraviesa una espira varía, con respecto al tiempo, según la ecuación:

$$\Phi = 30 t^3 - 10 t$$

Determinar el valor de la FEM inducida al cabo de 3 segundos.

Resolución

Según la ley de Faraday – Henry:

$$\varepsilon = - d\Phi/dt$$

$$\varepsilon = - d(30 t^3 - 10 t)/dt = - 90 t^2 - 10$$

$$|\varepsilon| = 90 \cdot 3^2 - 10 = 800 \text{ V}$$

Ejercicio resuelto

Determinar la fuerza electromotriz inducida en una espira circular de radio 15 cm introducida perpendicularmente en un campo magnético de 1,5 T tardando 1 s en ponerse paralela a las líneas del campo magnético

Resolución

Datos:

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot (0,20 \text{ m})^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$B = 1,5 \text{ T}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$\Theta_1 = 0^\circ$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

$$\Theta_2 = 90^\circ$$

Recordemos que:

$$\varepsilon = - d\Phi/dt$$

$$\varepsilon_m = - \Delta\Phi/\Delta t \text{ (FEM inducida media)}$$

Por otra parte:

$$\Phi_1 = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \Theta$$

como $\Theta = 0^\circ \rightarrow \cos 0^\circ = 1$

$$\Phi_1 = B \cdot S \cdot 1 = 1,5 \text{ T} \cdot 0,126 \text{ m}^2 \cdot 1 = 0,189 \text{ Wb}$$

Cuando la espira se coloca paralelamente a las líneas del campo magnético $\Theta = 90^\circ$. Lo que implica:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos 90^\circ$$

$\cos 90^\circ = 0$

$$\Phi_2 = B \cdot S \cdot 0 = 0$$

Si nos vamos a la ecuación:

$$\varepsilon_m = - \Delta\Phi/\Delta t$$

$$\varepsilon_m = - (0 - 0,189) \text{ Wb} / 1 \text{ s} = 0,189 \text{ V}$$

Ejercicio resuelto

En un campo magnético de 3,5 T introducimos perpendicularmente una espira circular de 50 cm de diámetro y tarda en colocarse ,la espira, paralela a las líneas de campo 0,5 s. Determinar la fuerza electromotriz inducida.

Resolución

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Todos sabemos que:

$$\varepsilon = - d\Phi/dt$$

o bien:

$$\varepsilon_m = - \Delta\Phi/\Delta t$$

Datos:

$$B = 3,5 \text{ T}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot D = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,25 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot (0,25 \text{ m})^2 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\Theta_1 = 0^\circ$$

$$\Theta_2 = 90^\circ$$

$$t = 0,5 \text{ s}$$

Calculemos Φ_1 :

$$\Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 3,5 \text{ T} \cdot 0,196 \text{ m}^2 \cdot 1 = 0,686 \text{ Wb}$$

$$\Phi_2: \quad \Phi_2 = B \cdot S \cdot \cos 90^\circ = 3,5 \text{ T} \cdot 0,196 \text{ m}^2 \cdot 0 = 0$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0 - 0,686 \text{ Wb} = -0,686 \text{ Wb}$$

$$\varepsilon = - \Delta\Phi/\Delta t = - (-0,686 \text{ Wb})/0,5 \text{ s} = 1,372 \text{ V}$$

Problema resuelto

Unimos 100 espiras rectangulares iguales muy juntas y paralelas. Las dimensiones de las espiras son de 10 y 14 cm, hemos creado una bobina. Introducimos esta bobina perpendicularmente en un campo magnético de 4 T. Gira la bobina y tarda 0,25 s en colocarse paralelamente a las líneas de fuerza del campo magnético. Determinar la fuerza electromotriz inducida.

Resolución

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En el caso de una espira la fuerza electromotriz inducida tiene la ecuación:

$$\varepsilon = -N \cdot \Delta\Phi/\Delta t$$

$N = N^\circ$ de espiras

Datos:

$$N = 100$$

$$A = b \cdot a = 0,10 \text{ m} \cdot 0,14 \text{ m} = 0,014 \text{ m}^2$$

$$B = 4 \text{ T}$$

$$\Theta_1 = 0^\circ$$

$$\Theta_2 = 90^\circ$$

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

Conozcamos el valor de Φ_1 :

$$\Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 4 \text{ T} \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 1 = 0,056 \text{ Wb}$$

$$\Phi_2: \quad \Phi_2 = B \cdot S \cdot \cos 90^\circ = 0$$

Volvemos a la ecuación:

$$\varepsilon = -N \cdot \Delta\Phi/\Delta t$$

$$\varepsilon = -100 \cdot (0 - 0,056) \text{ Wb} / 0,25 \text{ s} = 22,4 \text{ V}$$

Problema resuelto

Una espira rectangular de 10 y 12 cm de dimensión gira a razón de 150 rad/s por la acción de un campo magnético de 1,2 T. Calcular la fuerza electromotriz inducida en la espira.

Resolución

Recordemos:

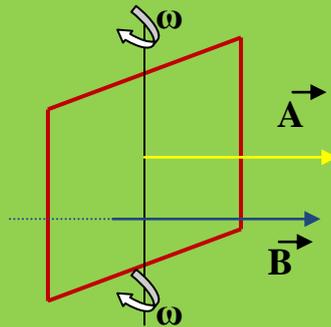
$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A \cdot \cos \omega t$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Por otra parte también sabemos que:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= - \frac{d\Phi}{dt} = d(B \cdot A \cdot \cos \omega t)/dt = B \cdot A \cdot \text{sen } \omega t \cdot \omega = \\ &= B \cdot A \cdot \omega \cdot \text{sen } \omega t\end{aligned}$$

Supondremos que inicialmente que el vector \vec{B} es perpendicular a la espira y por lo tanto formará con el vector \vec{A} un ángulo de 0° .



DATOS:

$$A = b \cdot a = 0,10 \text{ m} \cdot 0,12 \text{ m} = 0,012 \text{ m}^2$$

$$\omega = 150 \text{ rad/s}$$

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

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt} = B \cdot A \cdot \text{sen } \omega t \cdot \omega = B \cdot A \cdot \omega \cdot \text{sen } \omega t$$

$$\varepsilon = 1,2 \text{ T} \cdot 0,012 \text{ m}^2 \cdot 150 \text{ rad/s} \cdot \text{sen } 200 t =$$

$$\varepsilon = 2,16 \text{ sen } 150 t$$

Como podemos observar la FEM inducida no es constante puesto que depende del tiempo.

Ejercicio resuelto

Una bobina circular de 200 espiras, teniendo cada una de las espiras una superficie $0,01 \text{ m}^2$, está colocada en el campo magnético terrestre, siendo el eje de dicha bobina paralelo al vector Campo magnético \vec{B} . Si la bobina describe $\frac{1}{4}$ de vuelta en sentido contrario a las agujas del reloj y tarda $0,25 \text{ s}$, calcular el valor de la fuerza electromotriz inducida.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

DATOS:

$$B_{\text{terrestre}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

$$\omega = 2\pi \text{ rad/s}$$

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

$$N = 200$$

Resolución:

$$\varepsilon = - N \cdot d\Phi/dt$$

En un principio cuando el eje de la bobina es paralelo al campo magnético, el ángulo formado por el vector campo y el vector superficie es de 90° . El flujo magnético será:

$$\Phi_0 = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \Theta$$

$$\Phi_0 = 200 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ Wb}$$

$$\cos 90^\circ = 0$$

Cuando el vector campo y el vector superficie son paralelos (1/4 de vuelta) forman entre ellos un ángulo de $0^\circ \rightarrow \cos 0^\circ = 1$

Luego:

$$\begin{aligned} \Phi_f &= N \cdot B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = 200 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 1 = \\ &= 8 \cdot 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

Con estos datos podemos conocer la ε_m :

$$\varepsilon_m = - \Delta\Phi/\Delta t$$

$$\Delta\Phi = 0 - 8 \cdot 10^{-5} = - 8 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\varepsilon_m = - (0 - 8 \cdot 10^{-5}) \text{ Wb}/\Delta t$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

$$\varepsilon_m = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Wb} / 0,25 \text{ s} = 32 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

Problema resuelto

Una bobina formada por 50 espiras, cada una de ellas de 12 cm² de superficie, gira con una velocidad de 250 rpm, en un campo magnético uniforme de inducción $B = 0,5 \text{ T}$. Inicialmente el vector B tiene la dirección del eje de la bobina. Determinar:

- El flujo máximo que atraviesa la bobina.
- Fuerza electromotriz inducida.

El flujo magnético a través de la bobina es:

$$\Phi = N B S \cos \theta = N B S \cos \omega t$$

Pasaremos las unidades de ω al S.I. (rad/s):

$$\omega = 250 \cdot 2\pi / 60 = 8,33 \pi \text{ rad/s}$$

y el flujo será:

$$\begin{aligned} \Phi = N B S \cos \theta &= N B S \cos \omega t = 50 \cdot 0,5 \text{ T} \cdot 12 \cdot 10^{-4} \cos 8,33 \pi t = \\ &= 0,030 \cos 8,33 \pi t \end{aligned}$$

y el valor máximo del Φ dependerá del valor máximo de la razón trigonométrica y que debe ser igual a la unidad:

$$\cos 8,33 \pi t = 1$$

$$\Phi_{max} = N \cdot B \cdot S = 50 \cdot 0,5 \text{ T} \cdot 12 \cdot 10^{-4} = 0,03 \text{ Wb}$$

b)

Aplicando la ley de Faraday, la fuerza electromotriz inducida en la bobina vale:

$$\varepsilon = - N \cdot d\Phi/dt$$

$$\varepsilon = - d (N \cdot B \cdot S \cdot \cos \theta) / dt = - d (N \cdot B \cdot S \cdot \cos \omega t) / dt$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

$$\varepsilon = - [(N \cdot B \cdot S \cdot (-\sin \omega t \cdot \omega))] = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

$$\varepsilon = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t =$$

$$= 50 \cdot 0,5 \text{ T} \cdot 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 8,33 \pi \sin 8,33 \pi t$$

$$\varepsilon = 0,78 \text{ sen } 8,33 \pi t$$

Como podemos observar la FEM inducida está dependiendo del tiempo.

Ejercicio resuelto

Una bobina de 300 espiras de 10 cm^2 de superficie, gira con una frecuencia de 40 Hz en un campo magnético uniforme de 0,5 T. ¿Cuál es la fem inducida en la bobina?

El flujo magnético a través de la bobina es:

$$\Phi = N B S \cos \omega t = 300 \cdot 0,5 \text{ T} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \cos 2\pi f t =$$

$$300 \cdot 0,5 \text{ T} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cos 2\pi \cdot 40 t = 0,15 \cos 80 \pi t$$

Según la ley de Faraday, la fuerza electromotriz inducida en la espira vale:

$$\varepsilon = - d\Phi/dt$$

$$\varepsilon = - d(0,15 \cos 80 \pi t)/dt = - [0,15 (-\sin 80 \pi t) \cdot 80 \pi] =$$

$$= 0,15 \cdot 80 \pi \sin 80 \pi t = 37,68 \text{ sen } 80 \pi t$$

Ejercicio resuelto

Una espira circular de 35 cm de diámetro gira en un campo magnético uniforme de 30 T de intensidad a razón de 100 vueltas por minuto. Determinar: a) El flujo magnético que atraviesa la espira cuando su plano es perpendicular al campo y cuando forma un ángulo de 30° con la dirección del campo magnético. b) El valor de la f.e.m. media inducida en la espira cuando pasa de la primera a la segunda posición.

Resolución

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Unidades:

$$D = 35 \text{ cm} \cdot 1 \text{ m}/100 \text{ cm} = 0,35 \text{ m} \rightarrow R = 0,35/2 = 0,175 \text{ m}$$

$$\omega = 100 \text{ vueltas}/\text{min} \cdot 2\pi \text{ rad}/\text{vuelta} \cdot 1 \text{ min}/60 \text{ s} = 10,5 \text{ rad/s}$$

$$B = 30 \text{ T}$$

a) la expresión del flujo que atraviesa una espira circular en un campo magnético uniforme viene dada por:

$$\Phi = B.S.\cos \varphi = B.\pi.R^2.\cos \Theta$$

siendo B la intensidad del campo magnético, S el área limitada por la espira, R su radio y Θ el ángulo que forma la perpendicular al plano de la espira con la dirección del campo. En la primera posición el ángulo $\Theta_1 = 0^\circ$ (el vector campo magnético y vector superficie son paralelos y forman un ángulo de 0°) y por lo tanto:

$$\Phi_1 = 30.\pi.(0,175 \text{ m})^2.\cos 0^\circ = 39,4 \text{ Wb}$$

En la segunda posición el vector campo magnético forma con el plano de la espira un ángulo de 30° , luego con respecto al vector superficie será:

$$\Theta_2 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

y entonces:

$$\Phi_2 = 30.\pi.(0,175 \text{ m})^2.\cos 60^\circ = 19,7 \text{ Wb}$$

b) De acuerdo con la ley de Faraday-Henry, la f.e.m. media inducida en una espira en un intervalo de tiempo Δt viene dada por:

$$\varepsilon = - \Delta\Phi/\Delta t = -(\Phi_2 - \Phi_1)/\Delta t$$

siendo Δt el intervalo de tiempo que transcurre entre una y otra posición. Dado que el movimiento de rotación es uniforme, se cumple la relación:

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

$$\varepsilon_m = - \Delta\Phi / \Delta t$$

$$\omega = \theta / t \rightarrow 60^\circ - 0 / t$$

$$60 \text{ }^\circ \cdot 2\pi \text{ rad} / 360 \text{ }^\circ = 1,04 \text{ rad}$$

$$t = 1,04 \text{ rad} / 10,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = 0,099 \text{ s}$$

Sustituyendo el valor de $\Delta\Phi$ y de Δt en la ley de Faraday-Henry resulta finalmente:

$$\varepsilon_m = -(19,7 - 39,4) \text{ Wb} / 0,099 \text{ s} = 198,98 \text{ V}$$

4.- Corrientes de Foucault

Páginas Webs consultadas:

Corrientes de Foucault

<http://www.regulator-cetrisa.com/esp/magnetism.php?section=foucault>

Corrientes de Foucault

http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3234/html/5_corrientes_de_foucault.html

Corrientes de Foucault

http://www.ecured.cu/index.php/Corriente_de_Foucault

Corrientes de Foucault

<http://www.dte.uvigo.es/recursos/inductivos/INDUCTIVOS/electromagnetismo/foucault.htm>

Corrientes de Foucault

<http://www.ifent.org/lecciones/cap07/cap07-09.asp>

Experiencias de las corrientes de Foucault

<http://experimentoscaseros.net/2012/02/experimento-impresionante-corriente-de-foucault/>

Realizaremos una experiencia que consiste en retardar la velocidad de caída libre de un objeto. En nuestra experiencia el objeto que va a caer se trata de un imán y su caída la hará por el interior de un tubo de cobre.

El material necesario es:

- a) Un tubo de cobre.
- b) Imanes de neodimio (Se trata de un imán permanente hecho de una aleación de neodimio, hierro y boro. Los imanes de neodimio son los más poderosos tipos de imanes permanentes hechos por el hombre).

Colocamos el tubo de cobre en forma vertical y dejamos caer el imán.

Se puede apreciar que el imán cae lentamente dentro del tubo.

Explicación de lo acaecido: Cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, se inducen en el primero unas ***corrientes, denominadas de Foucault,*** que a su vez generan electroimanes (Un electroimán es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente). Estos últimos, crean un campo magnético opuesto al campo magnético que los generó.

En nuestro caso, el campo magnético variable lo proporciona el imán, al caer. El conductor, es simplemente el tubo de cobre.

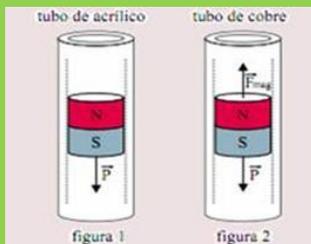
Dentro de este tubo se generan los pequeños electroimanes que con su campo magnético opuesto al del imán de neodimio, van frenando su caída.

Es decir, por un lado tenemos la fuerza de gravedad que trata de acelerar el imán hacia abajo, y, por otro lado, la fuerza magnética opuesta que trata de frenarlo.

Si un conductor metálico macizo es atravesado por un flujo magnético variable se engendran en su interior unas corrientes, llamadas corrientes de Foucault, que reaccionan contra el campo que las induce

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

y tienden a oponerse a la variación del flujo en el interior del metal. La ley de las corrientes de Foucault plantea que esta tiende a oponerse a la causa que la produce. Es decir, *si una corriente atraviesa a un conductor se van a originar una serie de corrientes que van a oponerse a la variación del flujo magnético.*



El tubo acrílico no crea un campo magnético razón por la cual sobre el imán solo actúa la fuerza PESO. En el caso del tubo de cobre, el campo magnético que este crea hace posible mediante las fuerzas de Foucault que sobre el imán en caída libre actúen dos fuerzas:

- a) Una fuerza magnética.
- b) El peso del imán.

De esta forma podemos ralentizar la velocidad de caída.

Estas corrientes, en su formación, van a producir una serie de pérdidas debidas al efecto Joule. Pero no obstante tienen una aplicación útil desde el punto de vista industrial. Así sucede en los hornos eléctricos de inducción.

Para disminuir el desarrollo de las corrientes de Foucault se emplea el sistema de construir los núcleos de hierro en lugar de macizos, mediante chapas o láminas superpuestas, aisladas unas de las otras con barniz o papel. La intensidad de la corriente inducida disminuye y las pérdidas alcanzan así un valor admisible.



5.- Autoinducción. Corrientes autoinducidas

Autoinducción. Corrientes de autoinducción

<http://fisicayquimicaenflash.es/autoinducccion/induc08.htm>

Autoinducción. Corrientes de autoinducción

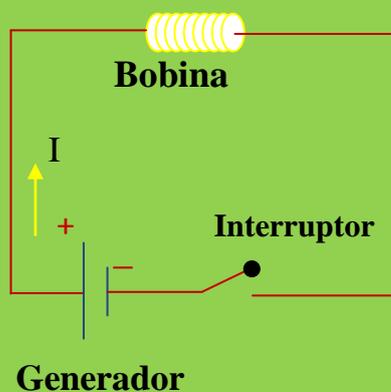
http://chopo.pntic.mec.es/jmillan/Apuntes_power_point/electromagneti/smo/inducccion_electromagnetica.pdf

Autoinducción. Corrientes de autoinducción

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electmagnet/inducccion/autoinducccion/autoinducccion.htm>

En un circuito existe una *corriente* que produce un *campo magnético* ligado al *propio circuito* y que varía cuando lo hace la *intensidad*. Por tanto, cualquier circuito en el que exista una corriente variable producirá una fem inducida que denominaremos *fuerza electromotriz autoinducida*.

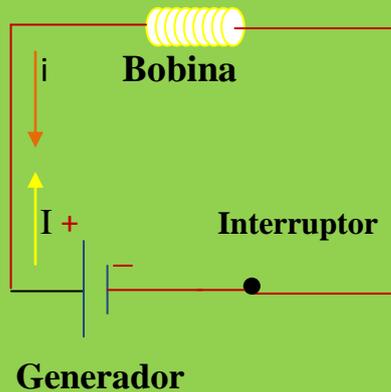
Supongamos el siguiente circuito:



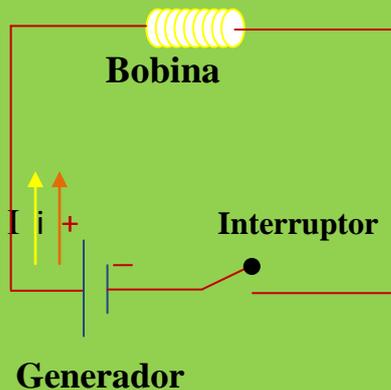
Cuando cerramos el circuito (lo ponemos en marcha), se produce un campo magnético en la bobina. Pasamos desde un flujo de valor *CERO* a un *flujo máximo*, es decir, existe una *variación del flujo* que *influirá en la bobina* creando una *corriente inducida*. A este fenómeno se le conoce como *Autoinducción*.

El sentido de la corriente inducida tenderá a oponerse a la causa que la produce (ley de Lenz). Cuando existe un aumento de flujo magnético aparecerá una corriente inducida de sentido contrario:

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA



Cuando abrimos el circuito (ya no funciona), el valor de flujo magnético pasa de un valor máximo a un valor cero, en estas circunstancias la corriente de autoinducción cambia de sentido y se suma al sentido de la corriente normal del circuito:



Del valor de la intensidad de "***I***" dependerá el valor de la ***autoinducción*** puesto que dicha intensidad influye directamente en el valor del campo magnético \vec{B} . El flujo del campo magnético, \vec{B} , que atraviesa el circuito ***es directamente proporcional a la intensidad de corriente que atraviesa el circuito.*** Matemáticamente:

$$\Phi = K \cdot I (1)$$

La constante de proporcionalidad K depende de:

- Forma de la bobina.
- Superficie limitada por la bobina.
- Número de espiras de la bobina

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Cuando las variaciones del flujo magnético se producen en un tiempo Δt , el valor de la fuerza electromotriz autoinducida es:

$$\varepsilon = - d\Phi/dt \quad (2)$$

$$\varepsilon = - \Delta\Phi/\Delta t \quad (3)$$

Llevando la ecuación (1) a la ecuación (2):

$$\varepsilon = - K \cdot \Delta I/\Delta t \quad (4)$$

La constante K , propia de la bobina, recibe el nombre de *Coefficiente de Autoinducción* o *Inductancia*.

$$\varepsilon = - L \cdot \Delta I/\Delta t$$

Siendo " L " el Coeficiente de Autoinducción.

La unidad del coeficiente de autoinducción es el henrio (H), en el S.I.

El henrio lo podemos definir como *la autoinducción de un circuito en el que una corriente cuya intensidad varía 1 amperio en cada segundo produce por autoinducción una fuerza electromotriz de 1 voltio*.

Supongamos un solenoide de longitud L y sección S , constituido por N espiras y por el que circula una intensidad variable. En el interior del solenoide no existe un núcleo magnético.

El valor del campo magnético quedó establecido:

$$B = \mu_0 \cdot (L \cdot I)/L$$

Al variar la intensidad, la ecuación anterior nos dice que también variará el campo magnético y por tanto el flujo:

$$d\Phi = dB \cdot S = \mu_0 \cdot N \cdot dI/dt \cdot S$$

Si nos vamos a la ecuación (2) obtendremos la fuerza electromotriz autoinducida:

$$\varepsilon = - N \cdot d\Phi/dt = - N \cdot (\mu_0 \cdot N \cdot dI \cdot S/L)/dt$$

$$\varepsilon = - \mu_0 \cdot N^2 \cdot S/L \cdot dI/dt$$

De esta última ecuación el coeficiente de autoinducción del solenoide es:

$$L = \mu_0 \cdot N^2 \cdot S/L$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En donde recordemos que μ_0 es la permeabilidad magnética en el vacío con un valor de:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} = 4\mu \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Si en el interior de solenoide introducimos un núcleo de material magnético el valor de L será:

$$L = \mu \cdot N^2 \cdot S/L'$$

en donde “ μ ” es la permeabilidad magnética del núcleo.

Ejercicio resuelto

Por un circuito pasa una intensidad de corriente de 30 A. Al abrir dicho circuito se origina en él una fuerza electromotriz de 70 V. Determinar el coeficiente de autoinducción del circuito sabiendo que se tardan 0,003 segundos en abrirlo.

Resolución

La fuerza electromotriz autoinducida viene dada por la ecuación:

$$\varepsilon = -L \cdot \Delta I / \Delta t \rightarrow L = -\varepsilon \cdot \Delta t / \Delta I$$

$$L = -70 \text{ V} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ s} / 30 \text{ A} = -7 \cdot 10^{-3} \text{ henrios}$$

Ejercicio resuelto

Determinar la fuerza electromotriz autoinducida en un solenoide perteneciente a un circuito por el que transcurre una intensidad de 15 A durante un tiempo de 0,004 s. El coeficiente de autoinducción del solenoide es de 0,4 henrios.

Resolución

La ecuación de la FEM autoinducida viene dada por:

$$\varepsilon = -L \cdot \Delta I / \Delta t$$

$$\varepsilon = -0,4 \text{ H} \cdot 15 \text{ A} / 0,004 \text{ s} = -1500 \text{ V}$$



Ejercicio resuelto

Tenemos un circuito en el que se produce una fuerza electromotriz autoinducida de 10 V cuando, y de forma uniforme, pasamos de una intensidad de 0 a 5 A en un tiempo de 0,15 s. Determinar el coeficiente de autoinducción del circuito.

Resolución

Hemos establecido que la fuerza electromotriz autoinducida viene dada por la ecuación:

$$\varepsilon = - L \cdot \Delta I / \Delta t$$

Despejando L:

$$L = - \varepsilon \cdot \Delta t / \Delta I$$

Si sustituimos valores en esta última ecuación:

$$L = - 10 \text{ V} \cdot 0,15 \text{ s} / (0 - 5) \text{ A} = \mathbf{0,3 \text{ henrio}}$$

Ejercicio resuelto

Por una bobina de 600 espiras pasa una corriente continua de 3,2 A y produce en dicha bobina un flujo magnético de $2,5 \cdot 10^{-5}$ Wb. El flujo se anula 0,05 s después de interrumpir la corriente. Determinar el coeficiente de autoinducción de la bobina.

Resolución

El coeficiente de autoinducción viene dado por la ecuación:

$$L = - \varepsilon \cdot \Delta t / \Delta I \quad (1)$$

Por otra parte:

$$\varepsilon = - N \cdot \Delta \Phi / \Delta t \quad (2)$$

Si pasamos la ecuación (2) a la (1):

$$L = - (- N \cdot \Delta \Phi / \Delta t) / \Delta I = N \cdot \Delta \Phi / (\Delta t \Delta I)$$

$$L = 600 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb} \cdot 3,2 \text{ A} / 0,05 \text{ s}$$

$$L = 96000 \cdot 10^{-5} \text{ H} = \mathbf{0,96 \text{ H}}$$



Se acabó

A. Zaragoza López