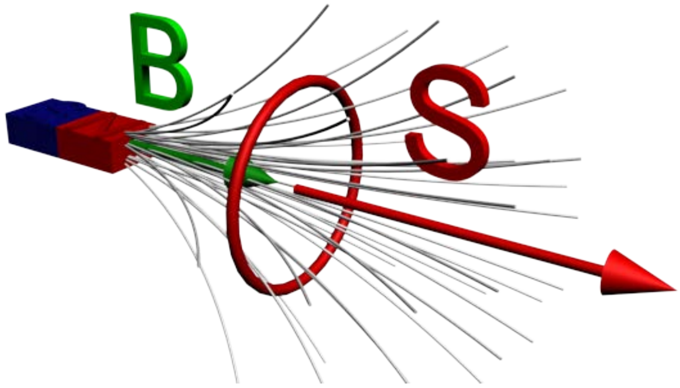
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

“La creación de electricidad”

EL FLUJO MAGNÉTICO, Φ

Supongamos que acercamos un imán recto a una espira circular.



El flujo magnético se define como el producto escalar entre la inducción magnética, B, y el vector superficie, S.

$$\boxed{\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}}$$

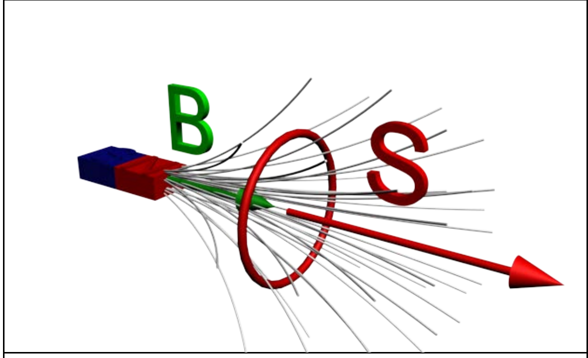
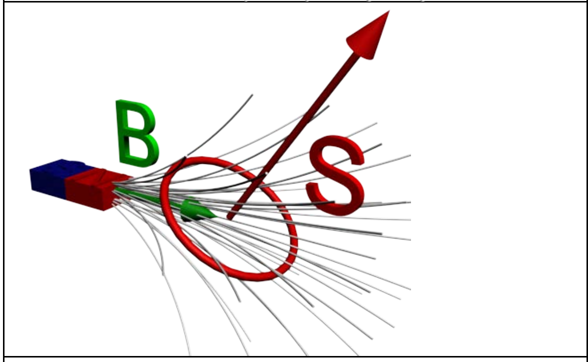
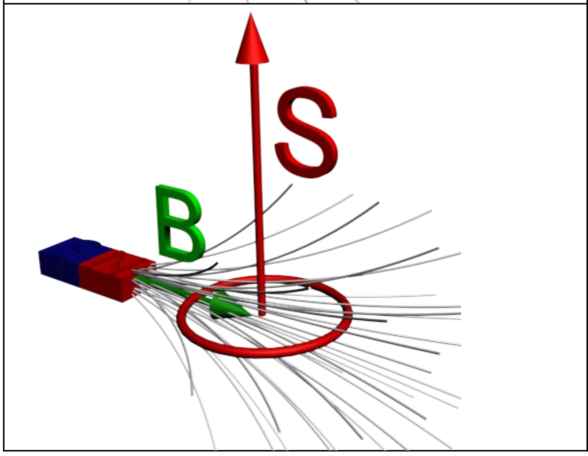
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\theta$$

La anterior definición es la definición más ortodoxa del flujo magnético. El flujo magnético, Φ, es en definitiva un número que resulta de un producto escalar **pero nos da una idea del número de líneas de campo magnético que atraviesan una superficie**. Esta definición, un poco más comprensible, es la que utilizaremos en la mayor parte del tema.

La unidad del flujo magnético en el sistema internacional es el **weber, Wb**.

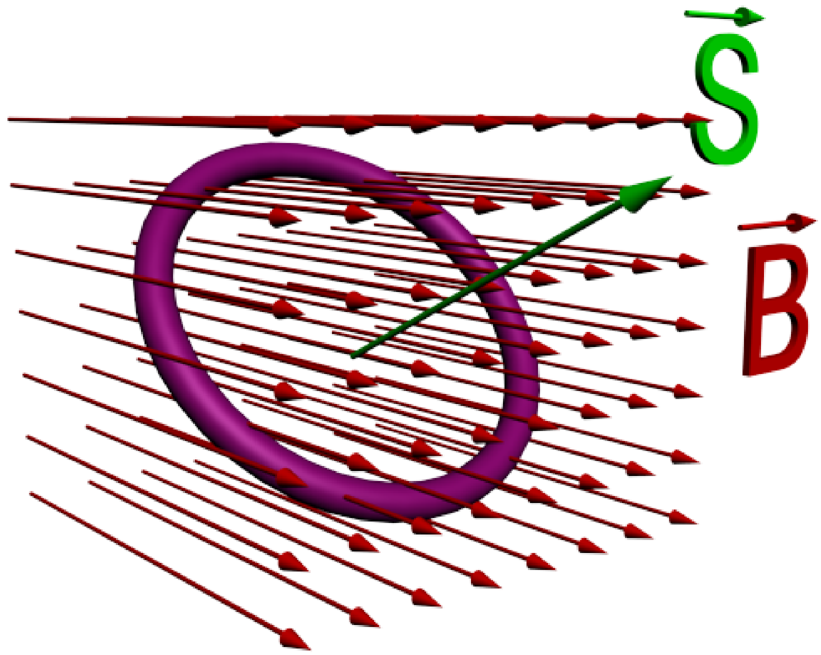
Podemos intuir que <u>parte</u> del campo magnético del imán que hemos acercado a la espira atraviesa la superficie de la espira.

Dependiendo de la posición relativa que adopte la espira el campo magnético que atraviesa su superficie será mayor o menor:

	Aquí podemos ver que el número de líneas de campo que atraviesan la superficie de la espira es máximo. Aquí B y S forman 0º, con lo que el flujo magnético será: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos 0º = B \cdot S$
	Aquí hemos girado la espira 60º. Se observa que el número de líneas de campo que atraviesa la espira ha disminuido. El flujo magnético se calculará de la siguiente manera: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos 60º$
	En este último caso hemos girado la espira de forma que el vector superficie, S, y el vector inducción magnética, B, forman 90º. Con esta orientación de la espira observamos que no existen líneas de campo magnético que atraviesen la espira. El flujo por tanto valdrá cero, tal y como se puede calcular con la fórmula de su definición: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos 90º = 0$

En resumen, el flujo magnético nos viene a decir el número de líneas de campo que atraviesa una superficie dada y el valor del flujo magnético, Φ, se calcula con la fórmula, $\Phi = B \cdot S \cdot \cos\Theta$.

Ejemplo 1: Una espira circular de radio 5 cm se encuentra en un campo magnético uniforme de valor B=4 T de forma que el vector superficie de la espira forma 30º con el vector inducción magnética, B. Calcula el flujo magnético, Φ, que atraviesa la espira.



Si aplicamos la fórmula para el cálculo de Φ:

Φ= B·S·cos Θ; Φ= 4 · (π·0,05^2)·cos30 = 0,027 Wb

Ejemplo 2: Por un solenoide de 10 cm de longitud y formado por 1000 espiras circulares de 4 cm de radio circula una corriente de 10 A. Suponiendo que el campo magnético del solenoide es uniforme en su interior y nulo en su exterior, calcula el flujo magnético a través de una espira de radio r_1= 2 cm, y de otra de radio r_2= 6 cm, colocadas perpendicularmente al eje del solenoide y con centro en éste.

Solución:

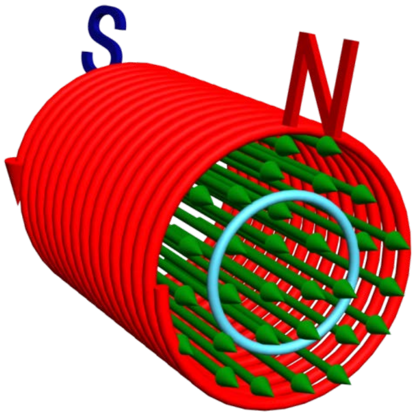
Calculemos en primer lugar el campo magnético creado por el solenoide:

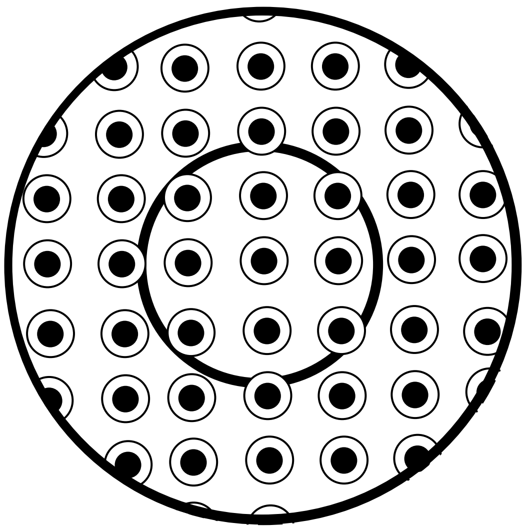
$$B = N \cdot \frac{2 \cdot K' \cdot I \cdot \pi}{a}$$

Sustituyendo:

$$B = 1000 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot \pi}{0{,}04} = 0{,}157\, T$$

Si ponemos delante del solenoide una espira de radio menor que el radio del solenoide sólo atravesará la espira parte del campo magnético generado por el solenoide tal y como se puede apreciar en los siguientes dibujos:





Solenoide visto de frente. La espira se encuentra en el centro. Se observa cómo la espira es atravesada sólo por parte del campo magnético generado por el solenoide.

Para calcular el flujo magnético que atraviesa la espira debemos utilizar la siguiente fórmula:

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

Pero hay que tener en cuenta que el valor de B es el que atraviesa la espira y no el total creado por el solenoide.

El valor de B por tanto será la parte proporcional que le corresponda a la superficie de la espira:

$$\mathrm{B} = \mathrm{B}_{\mathrm{total}} \cdot \frac{\text{Superficie de la espira}}{\text{Superficie del solenoide}}$$

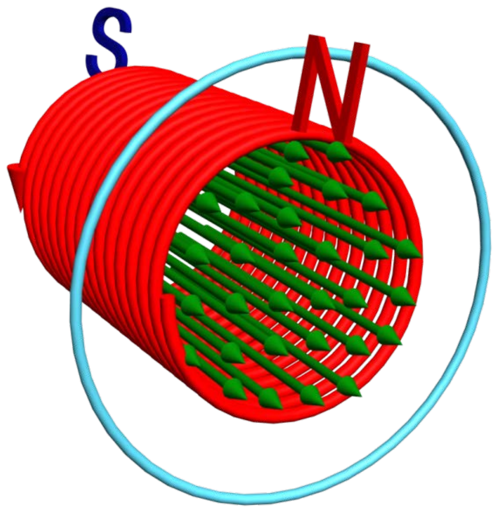
Sustituyendo:

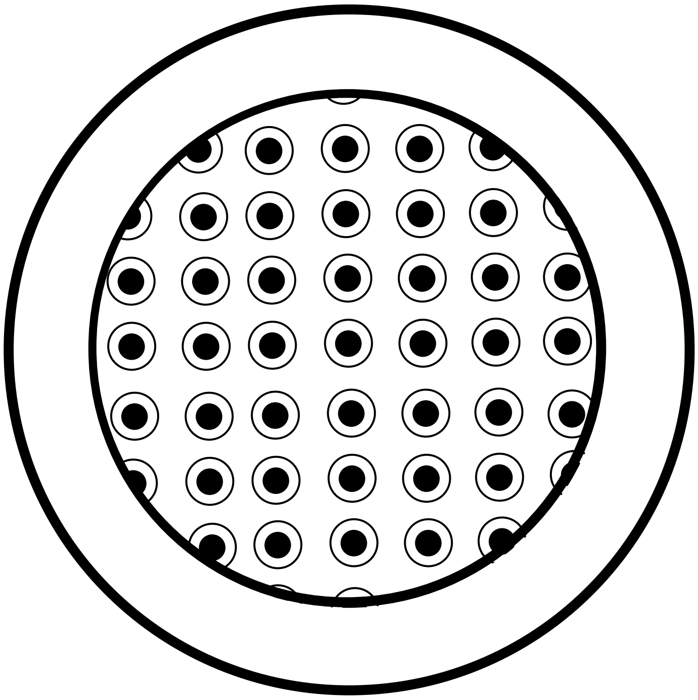
$$\mathrm{B} = 0{,}157 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}02^2}{\pi \cdot 0{,}04^2} = 0{,}039\ T$$

Luego:

$$\Phi = 0{,}039 \cdot \pi \cdot 0{,}02^2 \cdot \cos 0^{\circ} = 4{,}9 \cdot 10^{-5}\ \text{Wb}$$

En el caso de que la espira que pongamos delante del solenoide sea de radio r=6cm, todo el campo magnético generado por el solenoide atravesará la espira:





Así pues:

$$\Phi = 0{,}157 \cdot \pi \cdot 0{,}06^2 \cdot \cos 0º = 0{,}0018 \text{ Wb}$$

LEY DE FARADAY-LENZ

En 1832 Michael Faraday descubrió que si variaba con el tiempo el flujo magnético que atravesaba la superficie de una espira entonces se generaba una corriente eléctrica por dicha espira. Descubrió nada menos que la forma de generar electricidad tal y como la concebimos hoy en día.

El valor de esa fuerza electromotriz inducida (fem), ε, viene dado por la siguiente expresión:

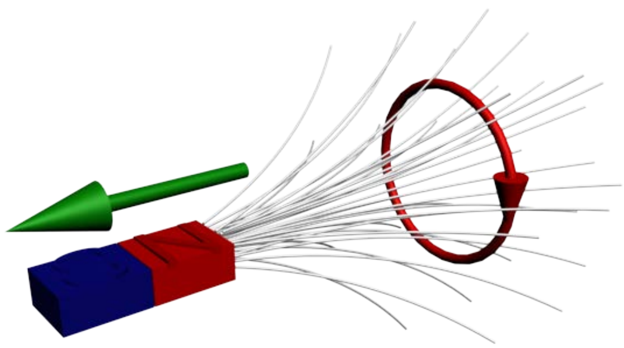
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

La fuerza electromotriz inducida, expresada en voltios, es el ritmo de cambio del flujo magnético. O dicho de otra manera, la fem coincide con la variación del flujo magnético con respecto al tiempo.

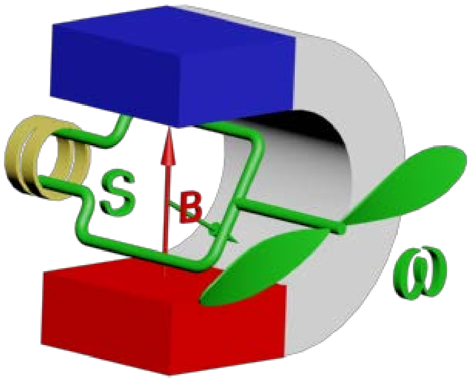
En definitiva, si observamos que el número de líneas de campo que atraviesa una superficie cambia entonces aparecerá una fem.

No olvidemos esto, si el flujo magnético cambia con el tiempo, se produce electricidad.

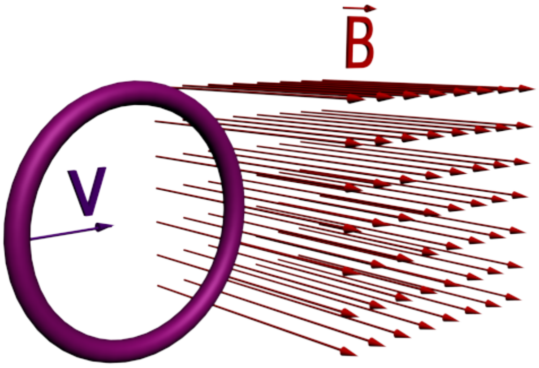
A continuación aparecen tres formas distintas de hacer variar el flujo magnético con el tiempo:



Cuando alejamos un imán de una espira observamos que el número de líneas de campo que atraviesan la superficie de la espira es cada vez mayor.
Como el flujo está cambiando continuamente se produce la fem.



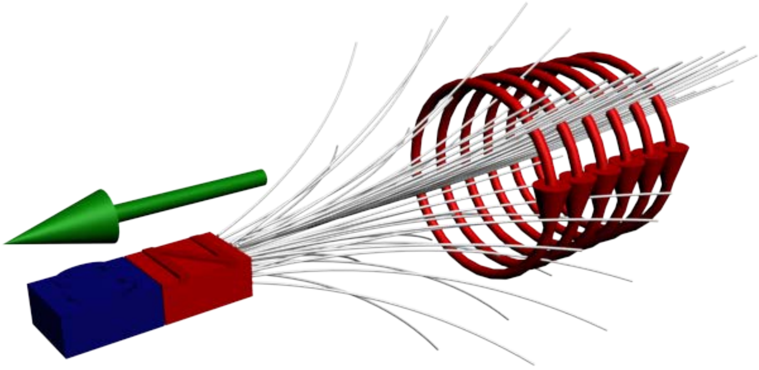
Aquí hacemos girar una espira cuadrada colocándole una hélice que será movida por el viento.
Como el flujo magnético cambia con el tiempo se producirá una fem.



Aquí se observa cómo una espira va a entrar en un campo magnético.
Mientras está entrando, el flujo magnético está cambiando y por tanto se generará una fem.
También ocurre mientras esté saliendo del campo magnético.
Mientras esté dentro no habrá cambio en el flujo y por tanto no se producirá fem.

Si en lugar de una sola espira tenemos una bobina formada por "N" espiras se producirá una fem inducida cuyo valor será:

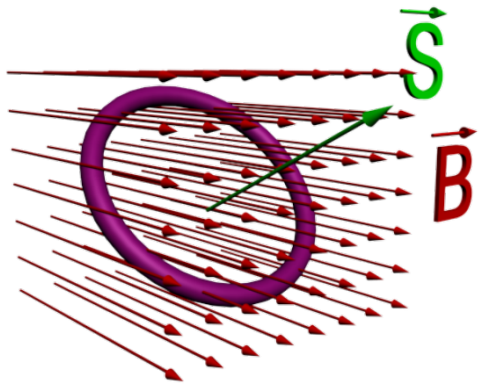
$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$



Ejercicio 2.

Una espira de radio 10 cm gira a razón de 20 rps (revoluciones por segundo) inmersa en un campo magnético uniforme. Si B= 6 T, calcula el valor de la fem en función del tiempo. Representa el valor de ε frente al tiempo.

Nos encontramos con el siguiente caso:



Es el caso de una espira que gira en un campo magnético.

Está claro que el flujo variará con el tiempo y por tanto se generará una corriente que circulará por la espira.

Veamos su valor:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(B \cdot S \cdot \cos\theta)}{dt}$$

Como B y S valen siempre lo mismo, son constantes, sale fuera de la derivada:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -B \cdot S \cdot \frac{d(\cos\theta)}{dt}$$

Teniendo en cuenta que la espira gira con una velocidad angular, ω, y que Θ=ω·t:

$$\varepsilon = -B \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{dcos(\omega \cdot t)}{dt}$$

$$\varepsilon = -B \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \omega \cdot (-sen\, \omega \cdot t)$$

$$\varepsilon = B \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \omega \cdot sen\, (\omega \cdot t)$$

Importante: Según la anterior expresión cuanto mayor sea B, ω y el radio de la espira mayor será el valor de la fem generada en la espira.

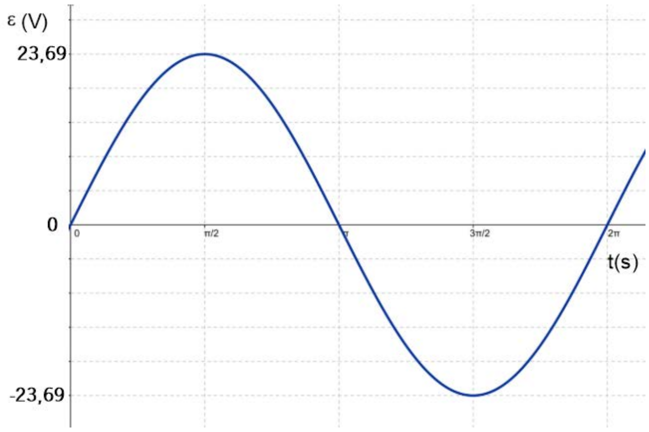
Si sustituimos por los valores del enunciado del problema:

$$\varepsilon = 6 \cdot \pi \cdot 0{,}1^2 \cdot 20 \frac{rev}{s} \cdot \frac{2\pi\, rad}{1\, rev} \cdot sen\, (20 \frac{rev}{s} \cdot \frac{2\pi\, rad}{1\, rev} \cdot t)$$

$$\varepsilon = 6 \cdot \pi \cdot 0{,}1^2 \cdot 20 \frac{rev}{s} \cdot \frac{2\pi\, rad}{1\, rev} \cdot sen\, (20 \frac{rev}{s} \cdot \frac{2\pi\, rad}{1\, rev} \cdot t)$$

ε= 23,69·sen(40·π·t); ε= 23,69·sen (t)

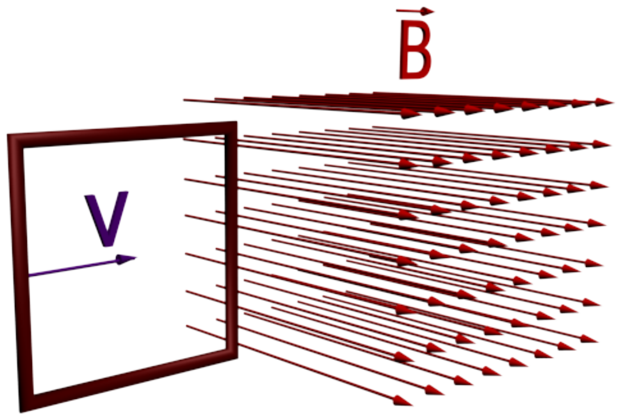
Si representamos esta función respecto del tiempo:

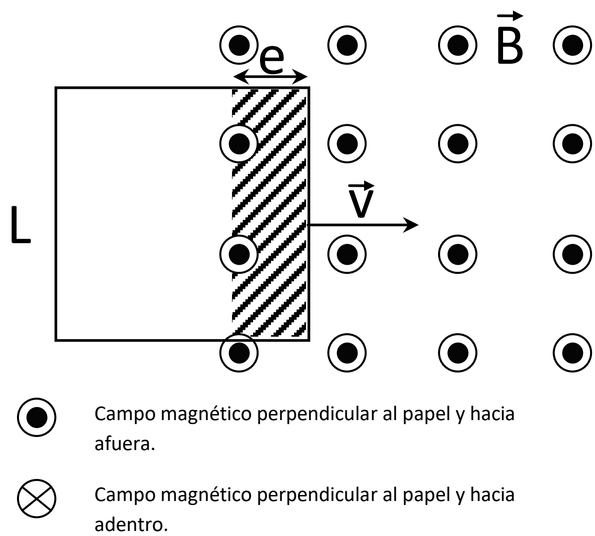


Ejercicio 3.

Una espira cuadrada de 30 cm de lado penetra en un campo magnético uniforme de valor, B=10 T con una velocidad constante de 2 m/s.

Calcula el valor de la fem inducida en la espira a) cuando está entrando en el campo magnético; b) cuando se mueve toda ella dentro del campo magnético; c) cuando está saliendo del campo magnético.





a) Cuando está entrando cada vez es mayor el número de líneas de campo que atraviesa la espira cuadrada por lo que se inducirá una fem de valor:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(B \cdot S \cdot \cos 0)}{dt}$$

El valor de S es siempre el mismo pero el valor del campo magnético que atraviesa la espira lo podemos representar como una fracción del máximo posible:

$$B_{efectivo} = B_{máximo} \cdot \frac{L \cdot e}{S_{total}} = B_{máximo} \cdot \frac{L \cdot v \cdot t}{S_{total}} = B_{máximo} \cdot \frac{L \cdot v \cdot t}{L \cdot L} = B_{máximo} \cdot \frac{v \cdot t}{L}$$

Siendo L la longitud del lado vertical de la espira.

Entonces:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(B_{máximo} \cdot \frac{v \cdot t}{L} \cdot L \cdot L)}{dt} = -B \cdot L \cdot v \cdot \frac{dt}{dt} = -B \cdot L \cdot v$$

Si sustituimos:

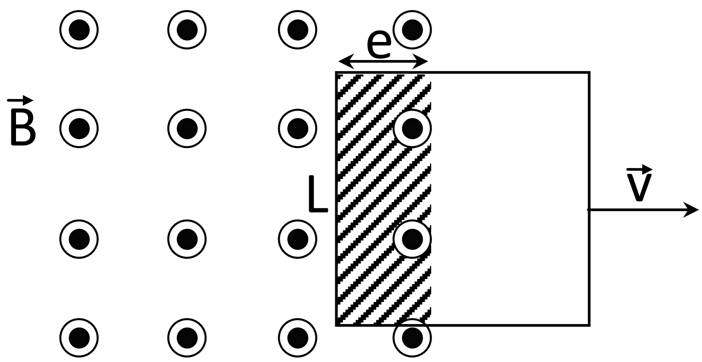
ε=- 10 · 0,3 · 2 = -6 voltios

b) Cuando toda la espira está inmersa dentro del campo magnético no habrá cambio en el flujo ya que siempre estará atravesada por el mismo número de líneas de campo.

Por lo tanto la fem inducida será cero.

ε = 0 voltios

c) Cuando la espira está saliendo del campo magnético



El valor de S es siempre el mismo pero el valor del campo magnético que atraviesa la espira es cada vez menor:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(B \cdot S \cdot \cos 0)}{dt}$$

El valor del campo magnético, B, que atraviesa la espira lo podemos representar como una fracción del máximo posible:

$$B_{efectivo} = B_{máximo} \cdot \frac{L \cdot e}{S_{total}} = B_{máximo} \cdot \frac{L \cdot v \cdot t}{S_{total}} = B_{máximo} \cdot \frac{L \cdot v \cdot t}{L \cdot L} = B_{máximo} \cdot \frac{v \cdot t}{L}$$

Siendo L la longitud del lado vertical de la espira.

Entonces:

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

Como el flujo es cada vez menor, la anterior derivada será negativa, luego:

$$\varepsilon = +\frac{d\Phi}{dt} = +\frac{d(B_{máximo} \cdot \frac{v \cdot t}{L} \cdot L \cdot L)}{dt} = +B \cdot L \cdot v \cdot \frac{dt}{dt} = \ +B \cdot L \cdot v$$

Si sustituimos:

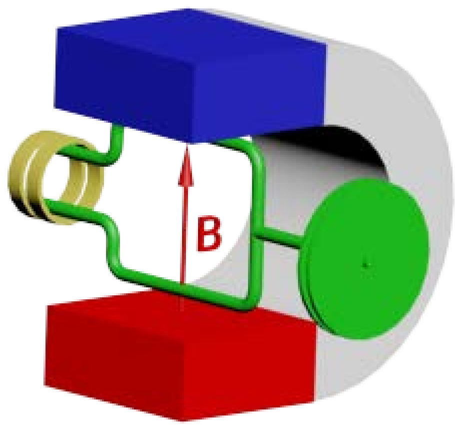
ε= 10 · 0,3 · 2 = 6 voltios

EL ALTERNADOR o DINAMO

El descubrimiento de Faraday es de los más importantes que se han producido. Descubrió nada menos que la forma de generar electricidad tal y como hoy día la conocemos en nuestros hogares.

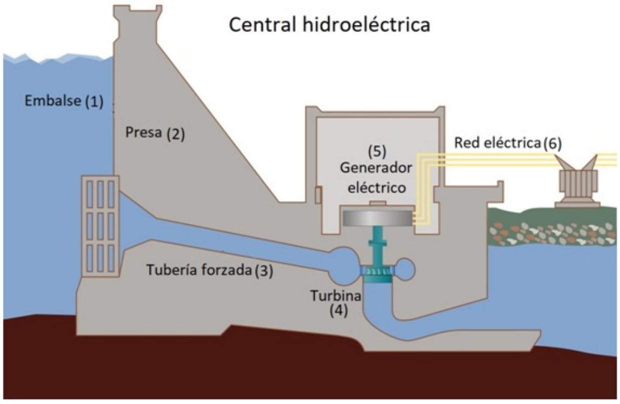
El aparato que genera electricidad se llama generador, alternador o dinamo.

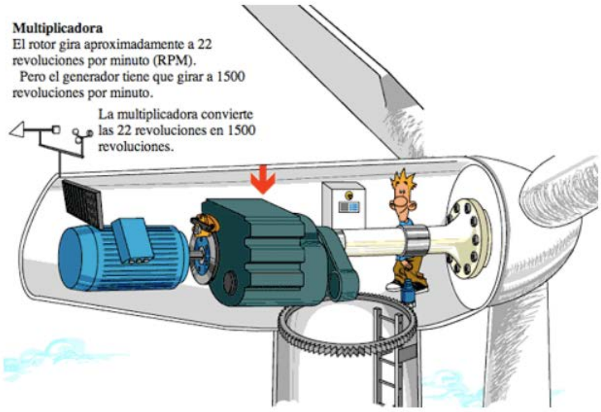
Alternador de un coche



Generador o alternador

A partir del descubrimiento de Faraday han habido mil y una formas ingeniosas de girar la espira. Una utiliza la corriente del agua, otra la fuerza del viento, otra el vapor de agua generado en una central térmica o nuclear.





Aerogenerador

LEY DE LENZ

La ley de Faraday-Lenz tiene en su expresión un signo (-). ¿Qué significa ese signo negativo?

El signo negativo es la contribución que hizo Lenz a la expresión

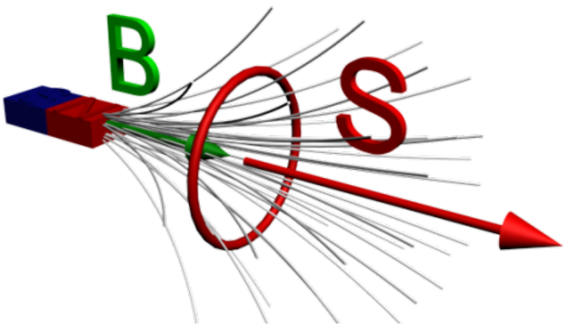
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

"La fem inducida crea un campo magnético que tiende a oponerse siempre a las variaciones del campo existente producido por la corriente original".

Y eso, ¿qué quiere decir? Pues más o menos que la espira siempre se va a oponer a los cambios.

Pongamos un ejemplo.

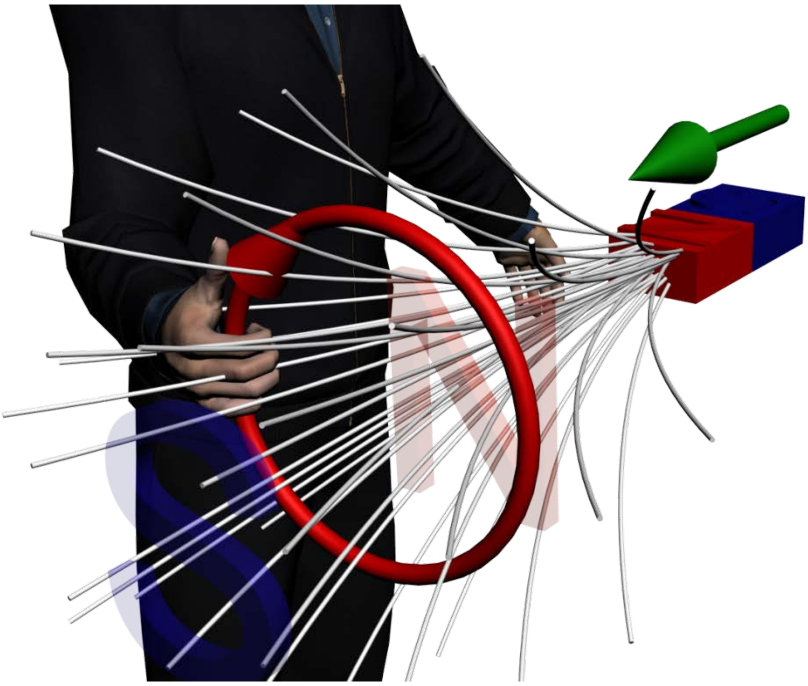
Supongamos que acercamos el polo norte de un imán a una de las caras de una espira.



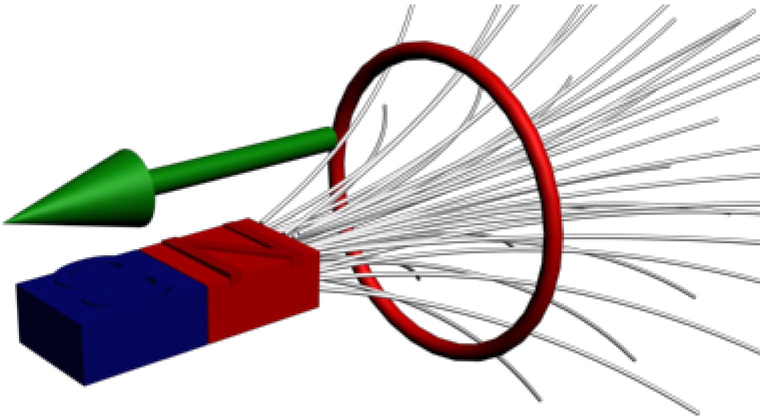
Observamos que el número de líneas de campo que atravesará la espira será cada vez mayor y por tanto se generará una fem inducida.

La corriente transformará a la espira en otro imán. Pues bien, la espira intentará evitar que siga aumentando el número de líneas de campo que la atraviesan. Eso lo conseguirá transformando la cara que mira al imán en cara norte para que, de esa manera, repela al imán e intente disminuir así las líneas de campo magnético.

Para que la cara que mire al imán se transforme en cara norte la corriente inducida debe circular, según miramos esa cara, en el sentido contrario a las agujas del reloj, tal y como se muestra a continuación:



Veamos ahora el caso contrario en el que el imán se aleja de la espira:

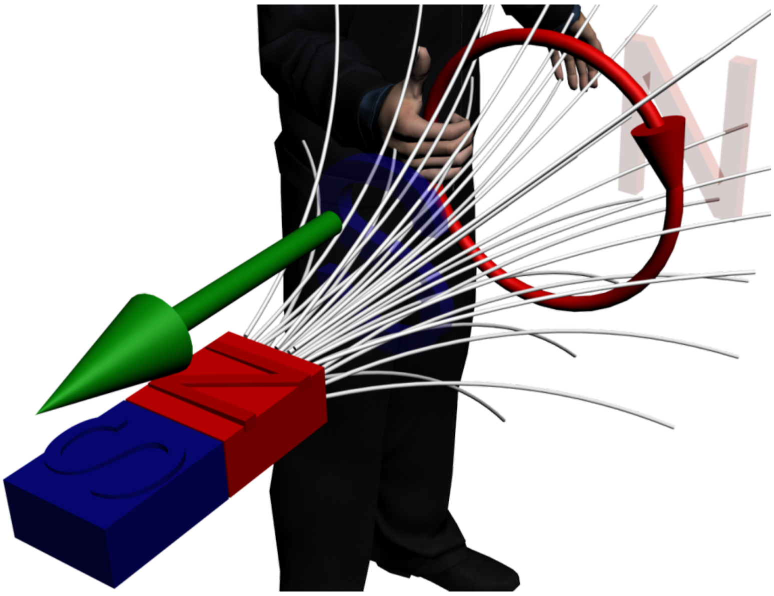


Aquí comprobamos que disminuye el flujo con el tiempo por lo que se generará una fem inducida.

Si disminuye el flujo la espira reaccionará de forma que intentará que el flujo no siga disminuyendo.

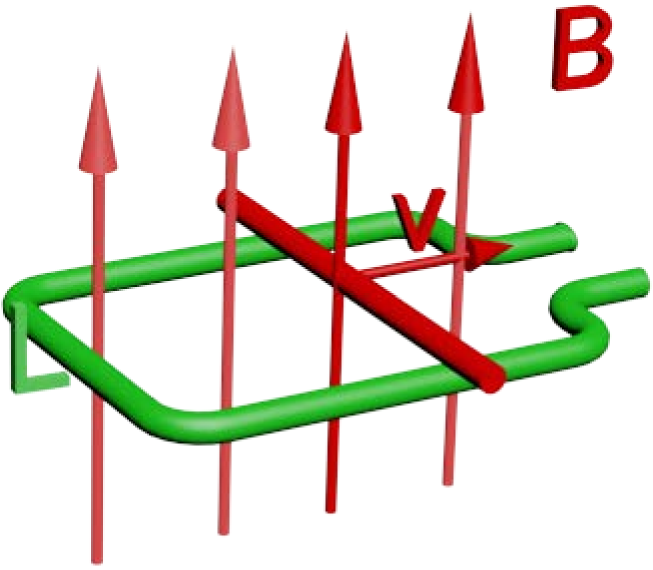
La cara que mira al polo norte del imán se transformará en cara sur para así atraer al imán que se aleja.

El sentido de la corriente inducida será el horario.



Existen otras muchas situaciones.

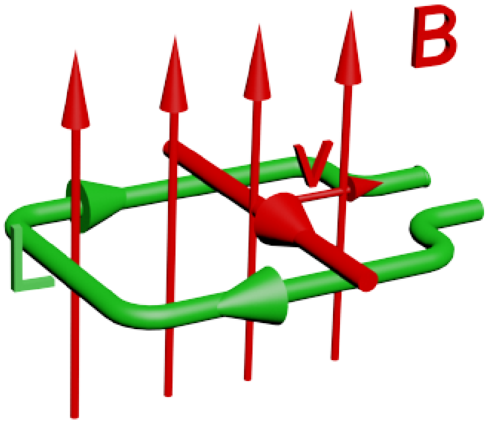
Veamos el caso de una espira abierta como la que aparece a continuación que se encuentra perpendicularmente dispuesta en un campo magnético y deslizamos por dos de sus lados opuestos una barra conductora.



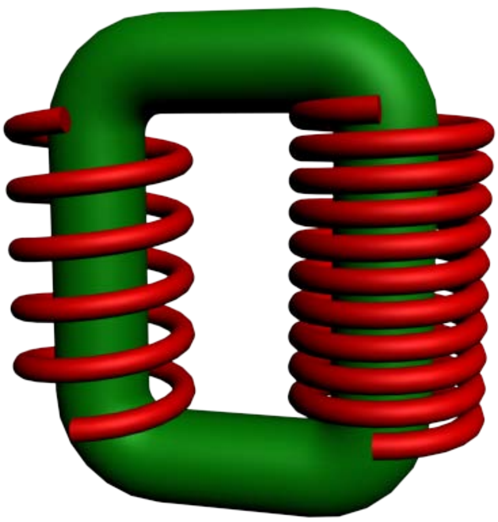
Tal y como está representado el dibujo, vemos que el flujo magnético que atraviesa la superficie creada por la barra móvil y la espira es cada vez mayor. Por lo tanto, como el flujo cambia con el tiempo se generará una fem inducida.

Por lo tanto, la espira reaccionará oponiéndose a que aumente el flujo con lo que intentará disminuir ese campo magnético convirtiendo la cara inferior de la espira en cara norte.

Si aplicamos la regla de la mano derecha, la corriente deberá circular en sentido horario vista desde arriba.



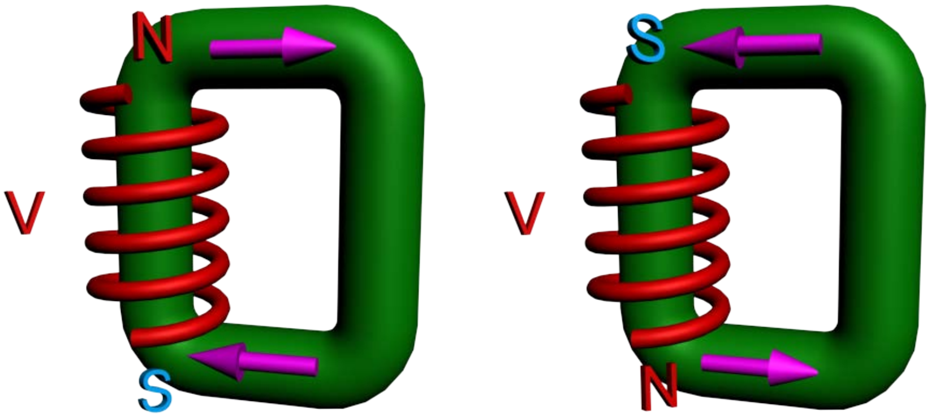
EL TRANSFORMADOR ELÉCTRICO



Un transformador eléctrico es un dispositivo que se utiliza para convertir un voltaje en otro. Se utiliza, por ejemplo, para transformar 220 voltios en 125 voltios o viceversa.

Fíjémonos en la bobina de la izquierda. ¿Qué pasaría si conectamos sus extremos a la corriente alterna de un enchufe doméstico?

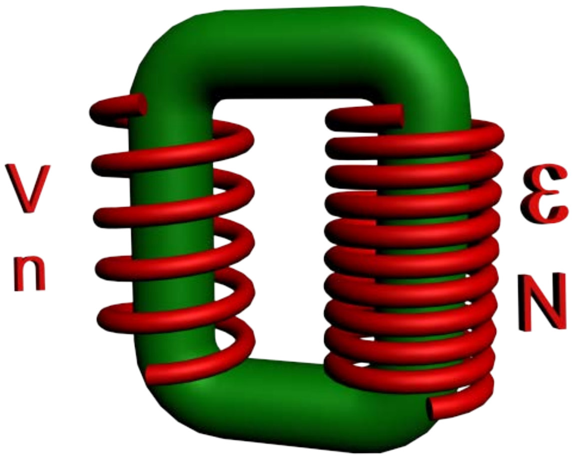
La corriente alterna se caracteriza porque cambia el sentido de la misma varias veces por segundo. Si la conectamos a una bobina ésta se convertirá en un electroimán cuyas caras norte y sur se invertirán constantemente.



Las líneas de campo circularán por el núcleo metálico cerrado.

Si colocamos una segunda bobina en la rama de la derecha ésta será atravesada por las líneas de campo que produce la bobina de la izquierda.

Tal y como hemos dicho, esas líneas de campo cambiarán de sentido, por lo que el flujo también variará con el tiempo y se producirá una fem inducida en la bobina de la derecha, ε.



El flujo magnético variará de la misma manera en ambas bobinas

La variación de flujo con el tiempo será la misma para la bobina de la derecha que para la bobina de la izquierda:

$$\frac{d\Phi_1}{dt} = \frac{d\Phi_2}{dt}$$

Teniendo en cuenta que:

$$V = -n \cdot \frac{d\Phi_1}{dt}$$

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\Phi_2}{dt}$$

se tiene que:

$$\boxed{\frac{V}{n} = \frac{\varepsilon}{N}}$$

Ejemplo: Conectamos el primario de un transformador a una corriente alterna de 220 V. Si el primario y secundario están formados por dos bobinas de 600 y 10000 espiras respectivamente, ¿qué voltaje se obtendrá en el secundario?

Solución:

Aplicando la ecuación

$$\frac{V}{n} = \frac{\varepsilon}{N}$$

Se tiene

$$\frac{220}{600} = \frac{\varepsilon}{10000}$$

ε = 3667 voltios

Un transformador ideal no consume energía por lo que la potencia que consume es igual a la potencia que puede suministrar:

$$P_1 = P_2$$

$$\boxed{V \cdot I_1 = \varepsilon \cdot I_2}$$