

CAMPO MAGNÉTICO

El campo ELÉCTRICO y el campo MAGNÉTICO comparten características en común, pero son DIFERENTES. El campo eléctrico puede ser generado por una carga eléctrica en reposo y puede afectar a otra carga eléctrica también en reposo respecto a la primera. En cambio el CAMPO MAGNÉTICO solamente puede ser generado y puede actuar sobre cargas eléctricas que se encuentren en movimiento.

El campo magnético es una magnitud vectorial, que la representaremos como \vec{B} , y en el sistema internacional de unidades se mide en TESLA (T).

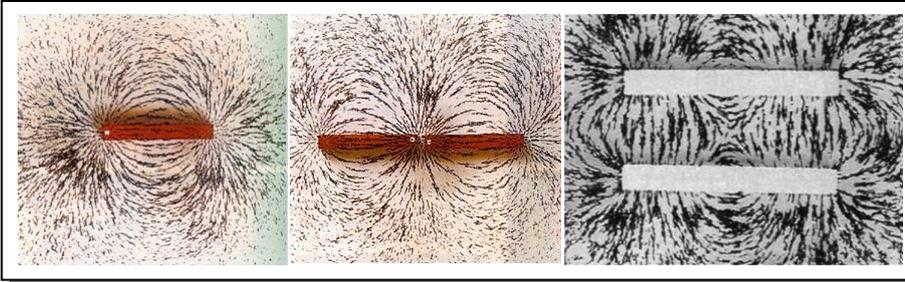
IMANES:

El magnetismo comenzó (hace más de 2000 años) con el estudio de las propiedades de ciertas piedras que atraían al hierro, las cuales se encontraban en la región de Magnesia. La **magnetita**, que es el nombre de este mineral, es un imán natural. Los griegos ya conocían sus propiedades.

También se pueden obtener un imán artificial mediante corrientes eléctricas o magnetizando un trozo de hierro. Todos los imanes poseen lo que se denomina POLOS, llamados NORTE y SUR.



Al desparramar limaduras de hierro sobre un imán (por ejemplo con forma de barra), se puede observar que cerca de los extremos hay más limaduras que en la zona central. La zona central se llama neutra y los extremos polos, donde el campo magnético del imán es más intenso.



Al contrario de lo que sucede con las cargas eléctricas, los polos de un imán no se pueden separar. Al partir un imán a la mitad, tendremos dos imanes más pequeños, cada uno con sus polos N y S.



Al colocar dos imanes con sus polos opuestos enfrentados se atraerán entre sí. En cambio, si los colocamos con sus polos iguales enfrentados, se rechazarán entre sí.



MATERIALES MAGNÉTICOS:

El comportamiento de los materiales en presencia de un campo magnético sólo puede explicarse a partir de la mecánica cuántica, ya que se basa en una propiedad del electrón conocida como espín. Se clasifican fundamentalmente en los siguientes grupos:

- **Ferromagnéticos:** constituyen los imanes por excelencia, son materiales que pueden ser magnetizados permanentemente por la aplicación de campo magnético externo. Por encima de una cierta temperatura se convierten en paramagnéticos. Como ejemplos más importantes podemos citar el hierro, el níquel, el cobalto y aleaciones de éstos.
- **Paramagnéticos:** cada átomo que los constituye actúa como un pequeño imán pero se encuentran orientados al azar de modo que el efecto magnético se cancela. Cuando se someten a la aplicación de un \mathbf{B} adquieren una imanación paralela a él que desaparece al ser retirado el campo externo. Dentro de esta categoría se encuentran el aluminio, el magnesio, titanio, el wolframio o el aire.
- **Diamagnéticos:** en estos materiales la disposición de los electrones de cada átomo es tal que se produce una anulación global de los efectos magnéticos. Bajo la acción de un campo magnético externo la sustancia adquiere una imanación débil y en el sentido opuesto al campo aplicado. Son diamagnéticos por ejemplo el bismuto, la plata, el plomo o el agua.

LA BRÚJULA:

Consiste en un pequeño imán que puede girar respecto a su centro, orientándose en la misma dirección y sentido del vector campo magnético en ese lugar. Por medio de una brújula se puede explorar una región del espacio para detectar la presencia de un campo magnético y para determinar su dirección y sentido en caso de que exista.

Si se encuentra únicamente bajo la acción del campo magnético de la Tierra, se orienta según la dirección Norte – Sur.



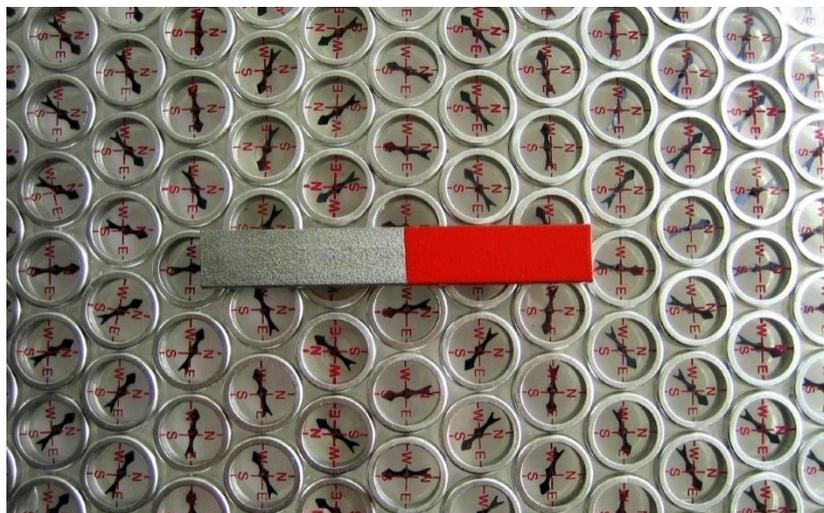
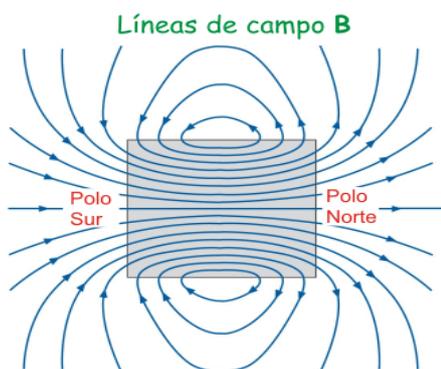
LÍNEAS DE CAMPO MAGNÉTICO:



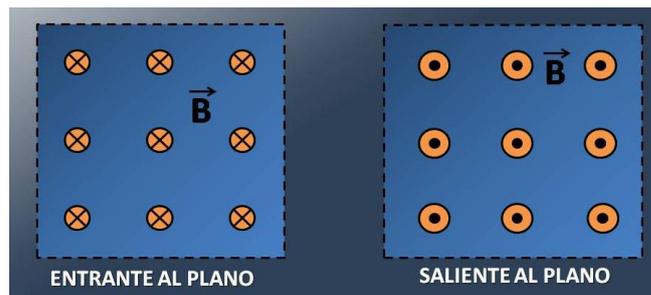
En la zona del espacio donde la brújula experimenta acción de fuerzas que la orientan en una dirección y sentido definidos, existe CAMPO MAGNÉTICO. Las limaduras de hierro también se orientan con cierta simetría en la región de campo magnético, permitiendo una “visualización” del mismo, es lo que se conoce como “espectro de líneas de campo magnético” o “espectro de líneas de inducción magnéticas”.

El campo magnético se puede describir mediante dichas líneas. El sentido de estas líneas es el sentido del vector \vec{B} , salen del polo Norte del imán y entran en el polo Sur. Las líneas de campo magnético son cerradas y se continúan dentro del imán y, además, nunca se cruzan entre sí.

La densidad de líneas es directamente proporcional al valor del campo magnético, esto implica que en los lugares donde el campo magnético es de mayor valor, las líneas de campo magnético estarán más juntas entre sí.

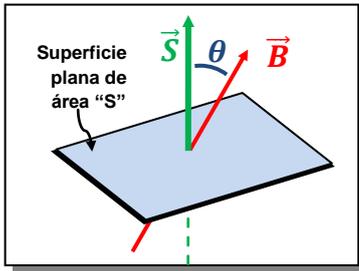
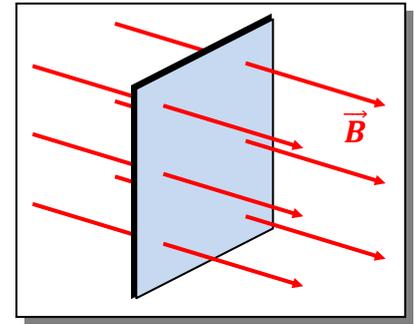


Para un campo magnético uniforme, las líneas de campo deben ser rectas, paralelas e igualmente espaciadas entre sí. La figura adjunta muestra este caso, para un campo perpendicular al plano de representación.



FLUJO DE CAMPO MAGNÉTICO:

El concepto de flujo es aplicable a cualquier campo vectorial. Ya hemos visto que un campo magnético lo podemos representar por sus líneas de campo. La magnitud flujo mide la cantidad de líneas de campo que pasan a través de una superficie.



El flujo de campo magnético se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

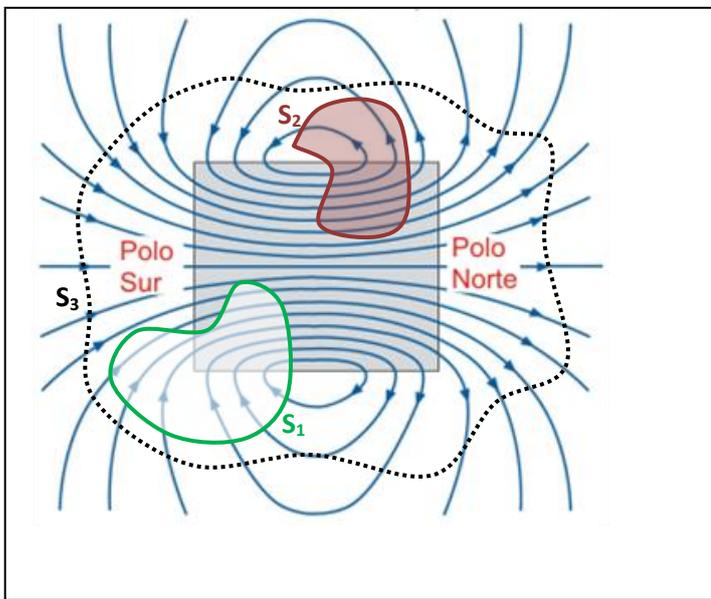
$$\Phi_B = |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos\theta$$

En donde:

- “ Φ ” es la letra “Fi” mayúscula del alfabeto griego.
- El vector “ \vec{S} ” lo denominamos VECTOR SUPERFICIE, siendo su valor igual al área de la superficie (expresada en “m²”) y su dirección perpendicular a la superficie.
- ¡CUIDADO! El ángulo “ θ ” es el que forma el campo magnético con el vector superficie.
- El Flujo de Campo Magnético es una magnitud escalar, pues se obtiene del producto escalar de 2 vectores.
- La **unidad de medida** del flujo de campo magnético en el sistema internacional es el producto de la unidad del campo magnético y de la unidad de superficie.

$$[\Phi_B] = T \cdot m^2 = \text{Weber(Wb)}$$

LEY DE GAUSS PARA EL CAMPO MAGNÉTICO:



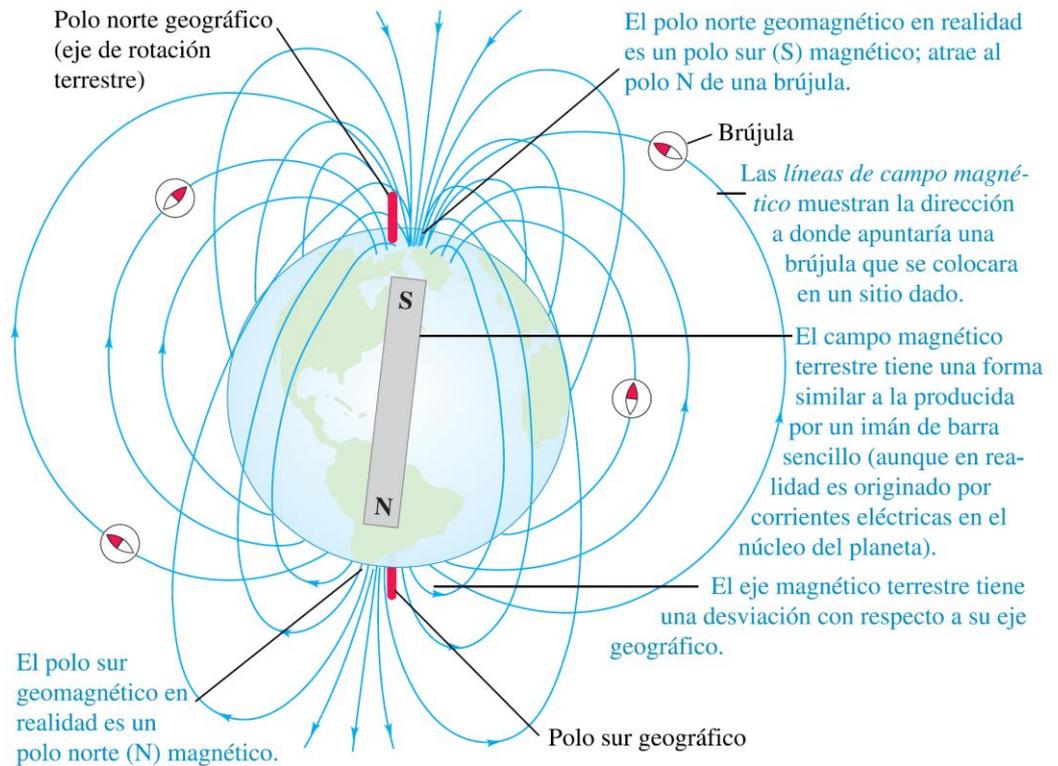
Para cualquiera de las superficies cerradas (Gaussianas) representadas en la figura, el flujo de campo magnético es nulo, pues la cantidad de líneas que entran en ellas igualan a las que salen. El flujo para una superficie cerrada siempre es cero.

La ley de Gauss para el campo eléctrico establece que el flujo de campo eléctrico a través de una superficie cerrada, es directamente proporcional a la carga eléctrica neta encerrada por la superficie.

Aplicada al campo magnético, la ley de Gauss fundamenta el hecho de que no es posible encontrar una “carga magnética” aislada, es decir un polo magnético aislado del otro.

EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE:

La Tierra se comporta como un gigantesco imán. El polo N de la aguja imantada apunta hacia el polo N geográfico de la Tierra. Como los polos de distinto nombre se atraen, se puede deducir que en las cercanías del polo N geográfico se encuentra el polo Sur magnético y en las proximidades del polo S geográfico se encuentra el polo N magnético. En la figura adjunta se representa un esquema del campo magnético de la Tierra.



FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UNA PARTÍCULA CARGADA EN MOVIMIENTO:

Una carga eléctrica en movimiento en una región donde exista campo magnético experimentará una fuerza magnética, llamada FUERZA DE LORENTZ:

$$F_B = q \cdot B \cdot v \cdot \text{sen} \alpha$$

IMPORTANTE:

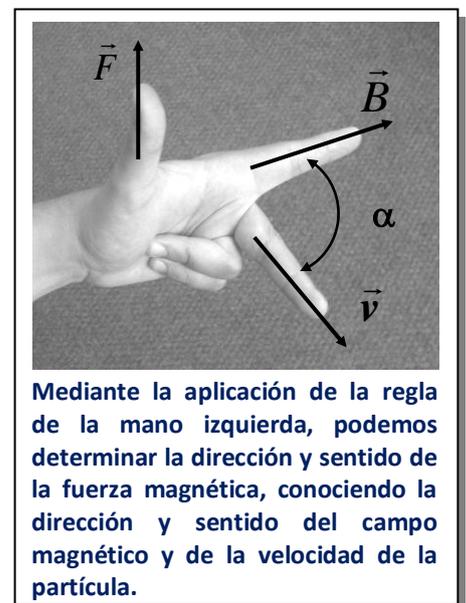
La ecuación es aplicable solamente para determinar el valor de la fuerza magnética aplicada. Para ello, no se debe ingresar el signo de la carga eléctrica en la ecuación.

Para determinar la dirección y sentido de la fuerza magnética se debe aplicar la regla de la mano izquierda, siempre que el signo de la carga de la partícula sea positivo. Cuando el signo de la carga sea negativo, se deberá invertir la magnitud que se determina.

La fuerza magnética siempre es perpendicular al vector campo magnético y a la velocidad.

El ángulo α es el formado entre el campo magnético y la velocidad de la partícula.

Cuando la partícula se mueva en dirección paralela al campo magnético, el ángulo podrá ser 0° o 180° , y en tal situación la fuerza magnética será nula, pues la función seno para estos ángulos vale cero.



MOVIMIENTO DE UNA PARTÍCULA CARGADA EN UNA REGIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME:

La fuerza magnética en todo momento es perpendicular a la velocidad de la partícula, no puede modificar la energía cinética de la partícula debido a que no realiza trabajo sobre la misma. Esto implica que el valor de la velocidad de la partícula cargada tendrá el MISMO VALOR. La trayectoria de la partícula dentro de la región de campo será un arco de circunferencia y, por lo tanto, experimentará un MCU, durante el cual actuará la fuerza magnética que tendrá dirección radial y sentido hacia el eje de giro.

En estas condiciones, la fuerza magnética aplicada será la fuerza centrípeta:

$$F_{magnética} = F_{centrípeta}$$

Recordemos que en un MCU la fuerza centrípeta se puede determinar:

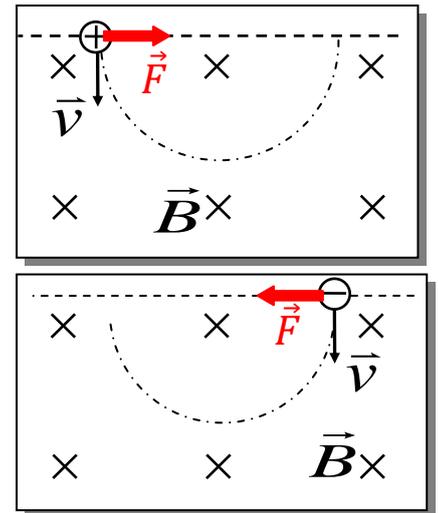
$$F_{centrípeta} = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

igualando con la ecuación de la Ley de Lorentz: $q \cdot B \cdot v \cdot \text{sen}\alpha = \frac{m \cdot v^2}{R}$

Si la partícula ingresa en forma perpendicular al campo magnético: $\text{sen}90^\circ = 1$, y operando con las velocidades (presentes en ambos lados de la igualdad):

$$q \cdot B = \frac{m \cdot v}{R}$$

Recordemos del curso anterior, que el período de movimiento para el MCU se calcula: $T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{v}$



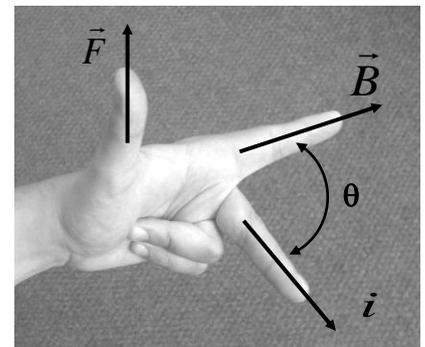
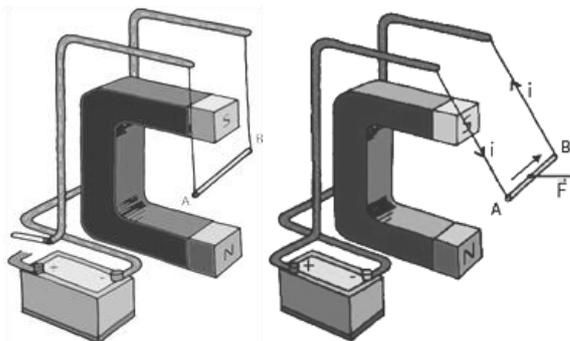
FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN CONDUCTOR RECTO QUE TRANSPORTA CORRIENTE:

Para DETERMINAR la **fuerza magnética** aplicada sobre un conductor recto que transporta corriente dentro de una región de campo magnético **uniforme**, debemos calcular el **valor** mediante la siguiente ecuación: $F_m = B \cdot i \cdot l \cdot \text{sen}\theta$

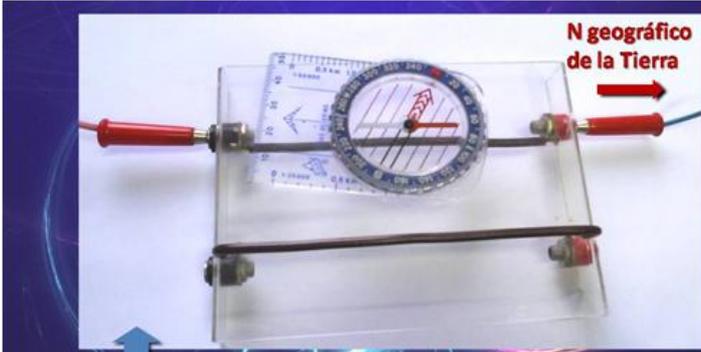
La **dirección** y el **sentido** se determinan mediante la aplicación de la "regla de la mano izquierda".

En la imagen puede verse cómo se aplica. Se colocan los dedos pulgar, índice y medio de manera que queden perpendiculares entre sí. El índice indica el sentido del campo magnético; el medio, la intensidad, y el pulgar da el sentido en que actúa la fuerza.

Aplica esta regla para verificar el sentido y la dirección de la fuerza magnética en la situación ilustrada.



CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UN CONDUCTOR RECTO Y MUY LARGO:



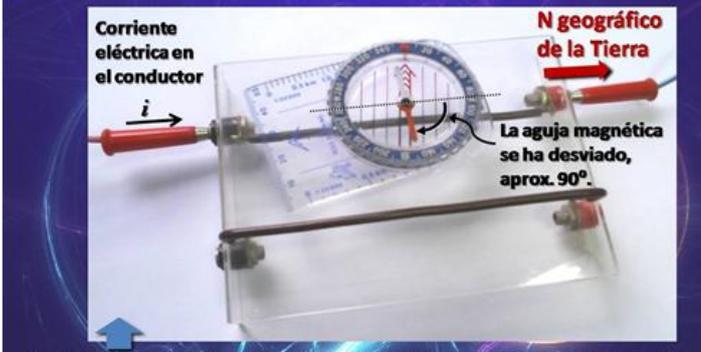
N geográfico de la Tierra

La aguja magnética inicialmente se encontraba orientada según el campo magnético terrestre. Teniendo la precaución de colocar el conductor recto paralelo a la dirección Norte-Sur.



Si el alambre no conduce corriente, la aguja de la brújula apunta hacia el norte.

$I = 0$

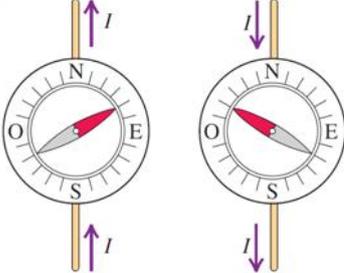


Corriente eléctrica en el conductor

N geográfico de la Tierra

La aguja magnética se ha desviado, aprox. 90°.

Si el alambre lleva corriente, la aguja de la brújula tiene una desviación, cuya dirección depende de la dirección de la corriente.



Al cerrar el circuito, la corriente eléctrica en el conductor hace posible que se desvíe la aguja magnética. Esto quiere decir que la corriente eléctrica en el conductor genera un campo magnético.

La relación entre el módulo del campo magnético “B” generado por un conductor recto y la intensidad de corriente “i” que circula por él, es directamente proporcional:

$$\Rightarrow B \propto i$$

La relación entre el módulo del campo magnético “B” generado por un conductor rectilíneo por el que circula corriente y la distancia “r” al conductor, es inversamente proporcional:

$$\Rightarrow B \propto 1/r$$

El módulo del campo magnético B en un punto ubicado a una distancia “r” de un conductor recto y muy largo por el que circula una intensidad de corriente “i” lo podemos determinar a partir de la expresión:

$$B = K \cdot \frac{i}{r}$$

K es la constante de proporcionalidad. Se encuentra relacionada con el medio en el cual se encuentra ubicado el conductor. En el caso del vacío su valor es $2,0 \times 10^{-7} \text{ T m/A}$.

Las limaduras de hierro en torno al cable nos muestran que las líneas de campo magnético son CIRCUNFERENCIAS con centro en el conductor.



Las líneas de campo conforman circunferencias concéntricas en el conductor.
La aguja magnética se orienta tangente a la línea de inducción.

La misma situación, pero ahora desde otro punto de vista:

Ahora vemos al conductor transportando corriente SALIENTE al plano

Para determinar la dirección y sentido del campo magnético creado por el conductor recto debemos aplicar la regla de la mano derecha:

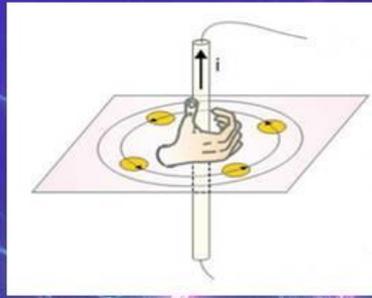
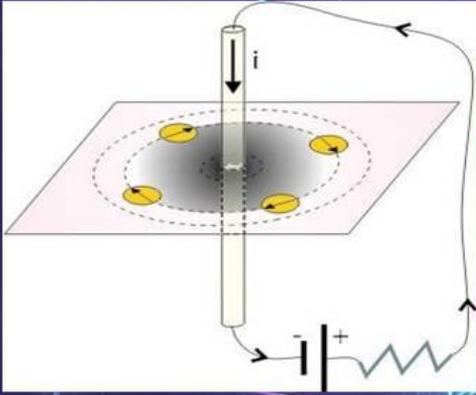
Conductor

DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE

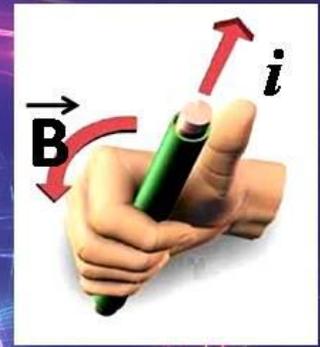
SENTIDO DEL CAMPO MAGNÉTICO

Determinación de la dirección del campo magnético por medio de la regla de la mano derecha.

Si invertimos el sentido de la corriente en el conductor...

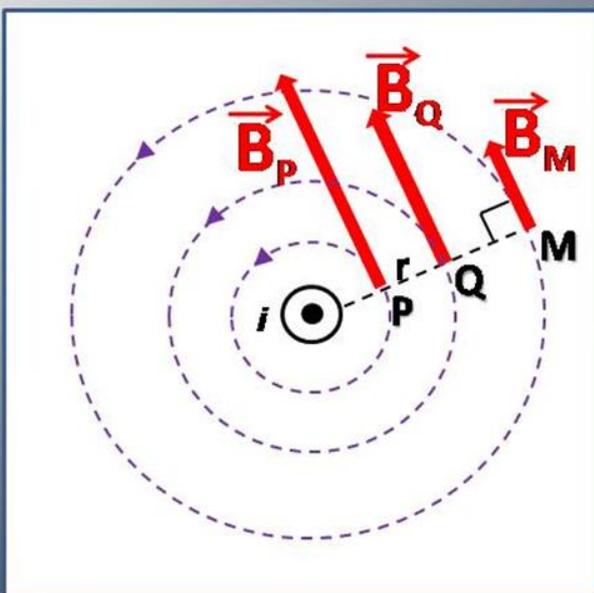


Se invierte el sentido del campo magnético



MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA **REGLA DE LA MANO DERECHA**, PODEMOS DETERMINAR EL SENTIDO DE LAS LÍNEAS DE CAMPO MAGNÉTICO.

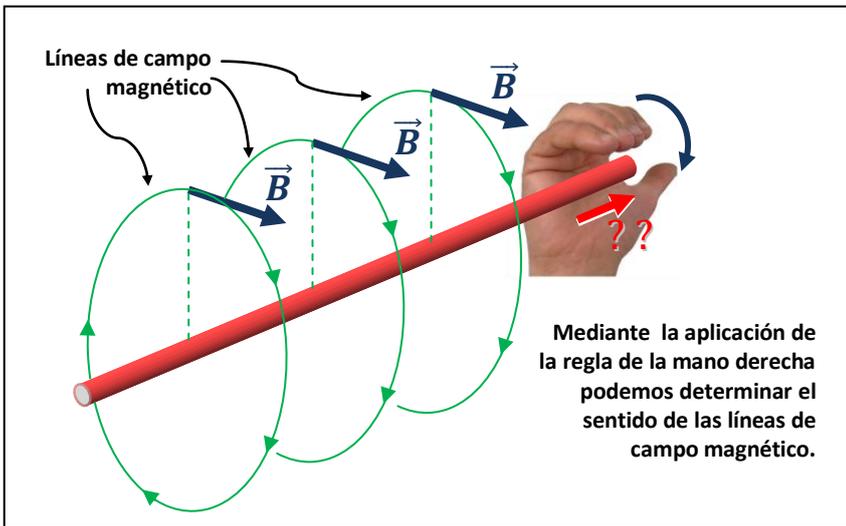
Colocamos el dedo pulgar sobre el conductor y apuntando en el sentido de la intensidad de corriente. Los otros cuatro dedos arrollados nos determinan el sentido de las líneas de campo .



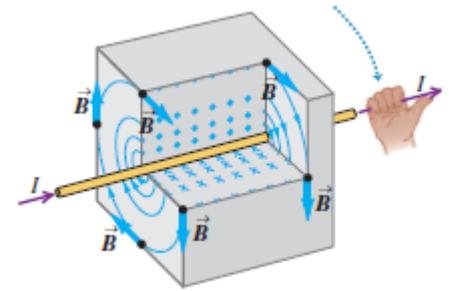
¿POR QUÉ LOS CAMPOS MAGNÉTICOS REPRESENTADOS POSEEN DIFERENTE LONGITUD?

El vector CAMPO MAGNÉTICO siempre es tangente a las líneas de inducción, en cualquier punto donde sea trazado.

Como las líneas de inducción son circunferencias, una tangente a las mismas en cualquier punto, será PERPENDICULAR al radio, tal como se muestra en la figura.



Cada línea de inducción posee centro en el conductor, y pertenece a un plano perpendicular al conductor.



SUPERPOSICIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN UN PUNTO:

EN CIERTAS SITUACIONES, ES FRECUENTE ENCONTRAR A MÁS DE UN CONDUCTOR GENERANDO CAMPO MAGNÉTICO EN UN LUGAR DEL ESPACIO.

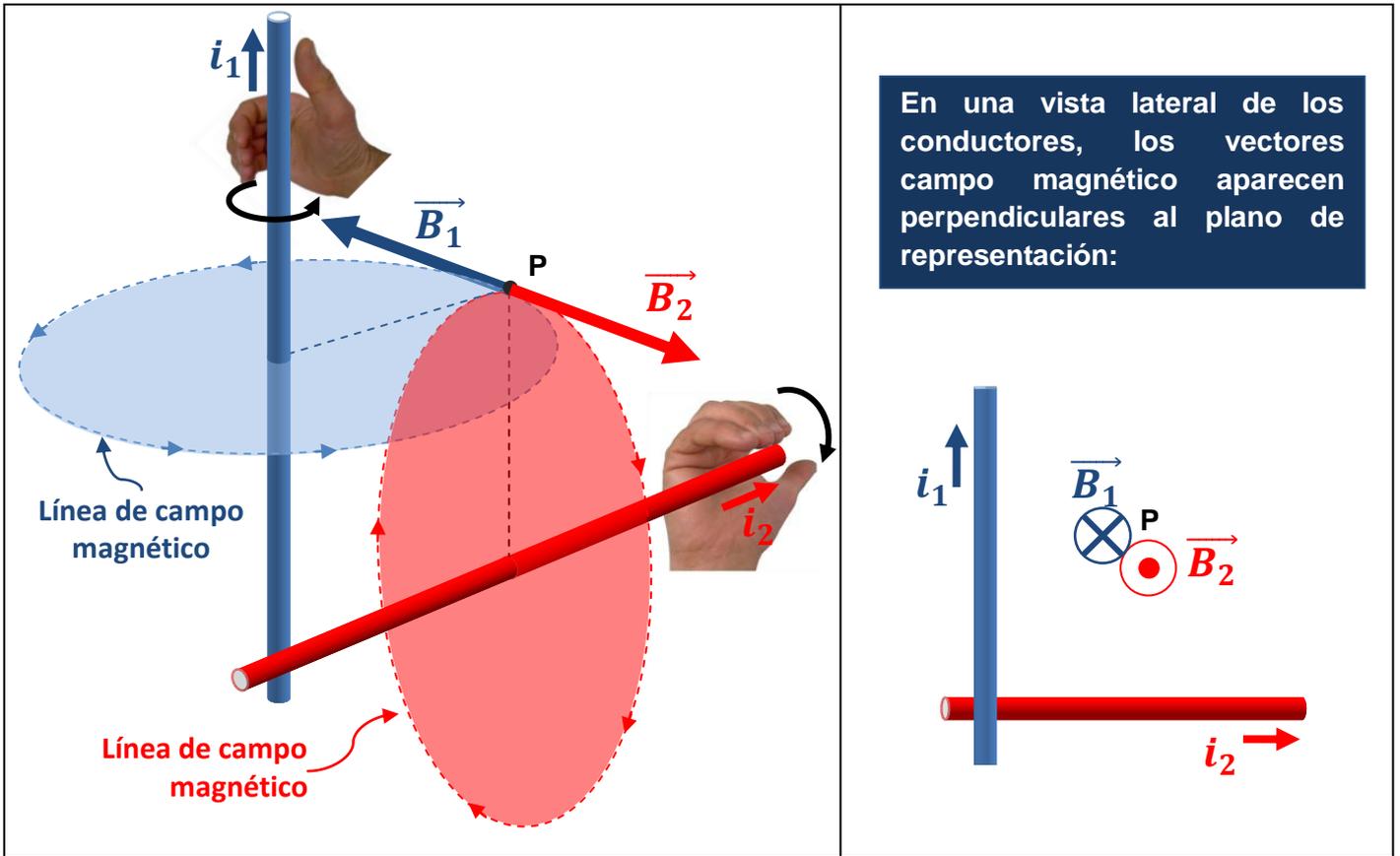
En tal caso, primero se determina el campo magnético generado por cada conductor por separado, tal cual ya hemos visto.

Luego, se procede a determinar el campo magnético resultante, sumando vectorialmente los campos magnéticos de cada conductor.

Aquí se muestran los campos aplicados en un punto A. Se ha resuelto este caso mediante el método del paralelogramo.

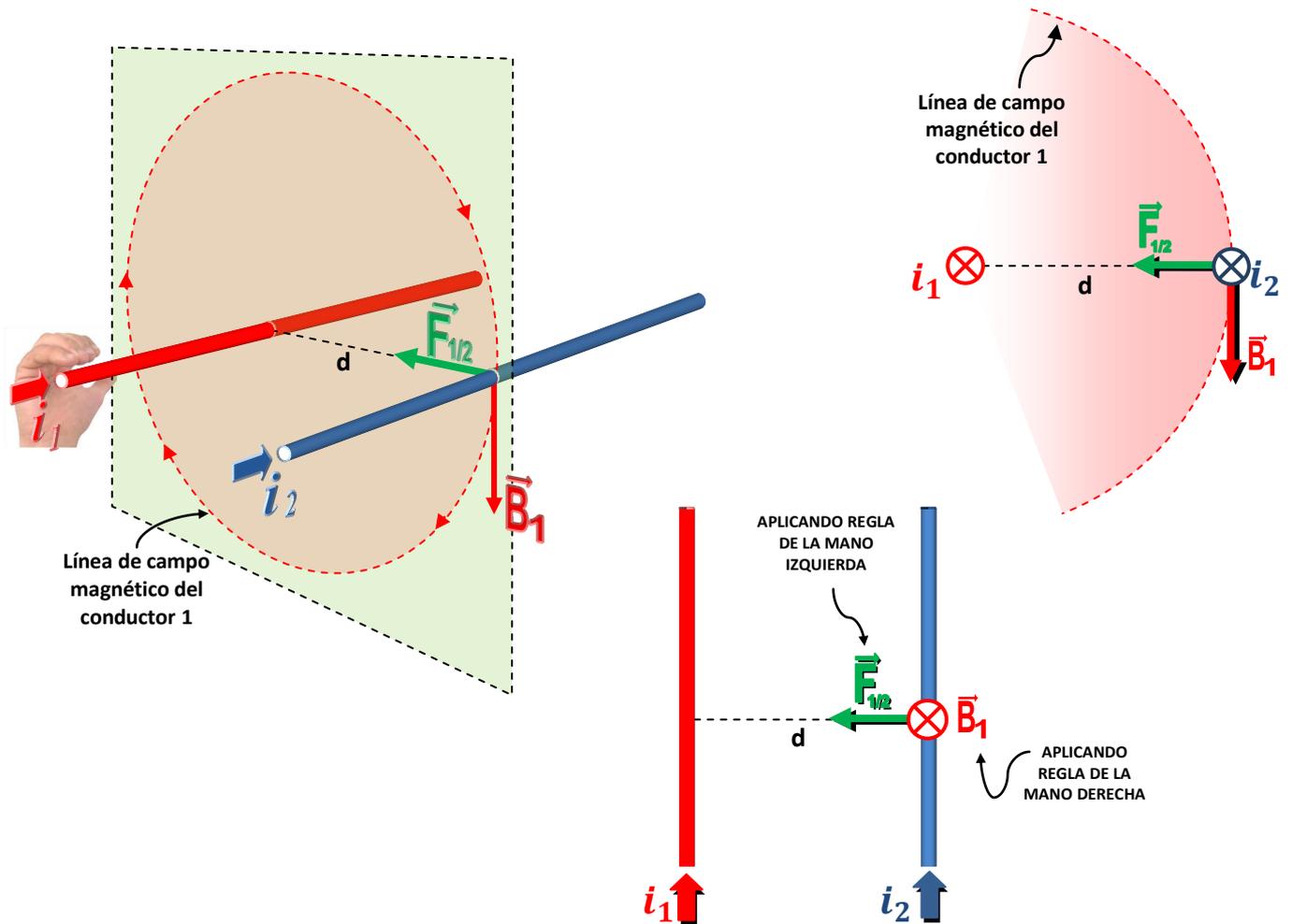
escala:
1 cm - $0,5 \times 10^{-5}$ T

A continuación se representa una situación en la que los dos conductores son perpendiculares entre sí. A igual distancia de los conductores se ubica el punto P. Si la corriente en cada conductor posee igual valor, los campos magnéticos creados por cada conductor se anularán entre sí:

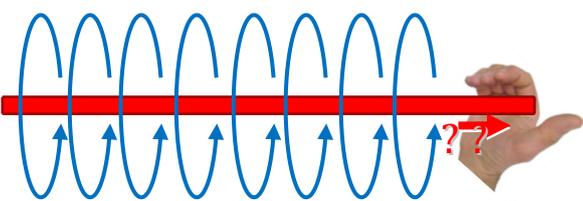


En una vista lateral de los conductores, los vectores campo magnético aparecen perpendiculares al plano de representación:

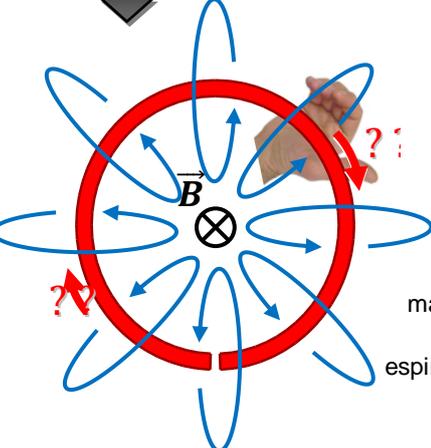
INTERACCIÓN MAGNÉTICA ENTRE DOS CONDUCTORES RECTOS:



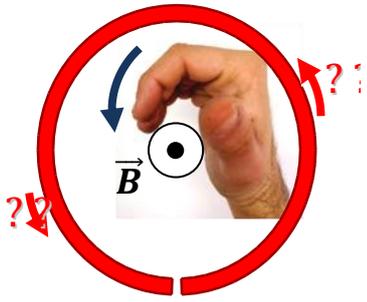
CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA ESPIRA CIRCULAR Y POR UN SOLENOIDE:

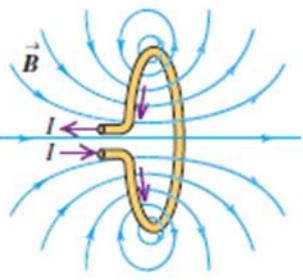


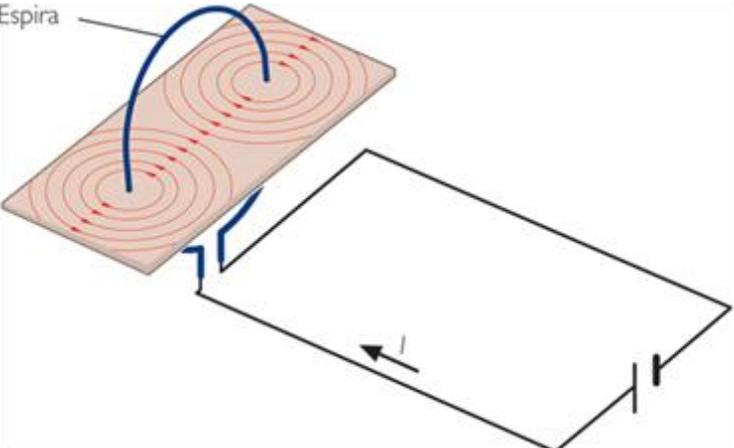
Al formar una espira con el conductor, las líneas de campo se acercan entre sí en el centro de la espira y se alejan en el exterior.



El campo magnético en el centro de la espira es entrante



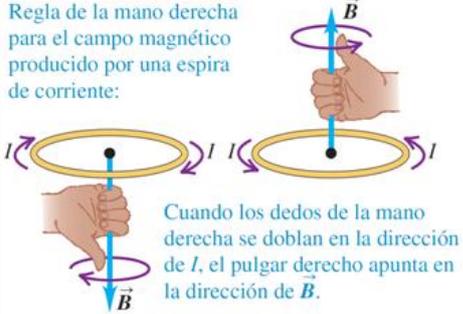




Para este conductor también es posible aplicar la regla de la mano derecha en forma inversa: rodeando la espira con la mano en el sentido de la corriente y el pulgar para el campo magnético.

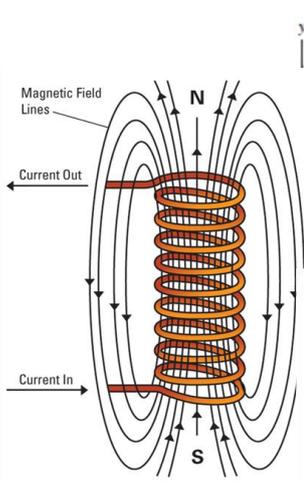
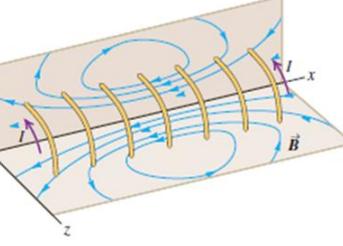
En el centro de la espira, el campo resulta perpendicular al plano determinado por la misma. Su valor será directamente proporcional a la intensidad de la corriente que la recorra e inversamente proporcional al radio de la espira.

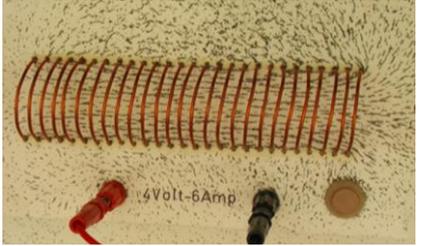
Regla de la mano derecha para el campo magnético producido por una espira de corriente:



Cuando los dedos de la mano derecha se doblan en la dirección de I , el pulgar derecho apunta en la dirección de \vec{B} .

Un solenoide es una bobina de forma cilíndrica, que se compone de N espiras circulares. Esto implica que el campo de la espira circular se multiplica por N el número de vueltas. La regla de la mano derecha se aplica de igual forma que para una espira: con la mano envolvemos el solenoide en el mismo sentido que la corriente y el dedo pulgar apunta en la dirección y sentido del campo magnético en el centro del solenoide.

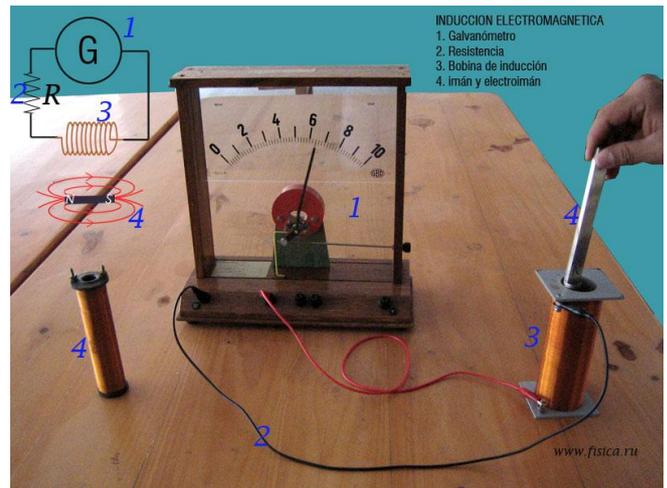





INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA:

Las corrientes eléctricas producen campos magnéticos. Veremos ahora cómo podemos generar corriente eléctrica por medio de un campo magnético. Los materiales que necesitamos son: una bobina, un imán, un galvanómetro (instrumento capaz de detectar pequeñas corrientes eléctricas en un circuito) y cables de conexión.

El dispositivo es muy sencillo, conectamos los extremos de la bobina a los bornes del galvanómetro. Obviamente que en estas condiciones el galvanómetro no indicará pasaje de corriente a través del circuito, debido a que no hay ningún generador conectado (no hay diferencia de potencial eléctrico aplicada y no circula corriente).



Ahora tomamos el imán y realizamos los siguientes procedimientos, siempre observando el galvanómetro...

- *Introducimos el polo norte del imán en la bobina. El galvanómetro detecta pasaje de corriente.*
- *Luego lo dejamos en reposo, dentro de la bobina. El galvanómetro no detecta pasaje de corriente.*
- *Retiramos el imán de la bobina. El galvanómetro detecta pasaje de corriente en sentido contrario al primer procedimiento.*

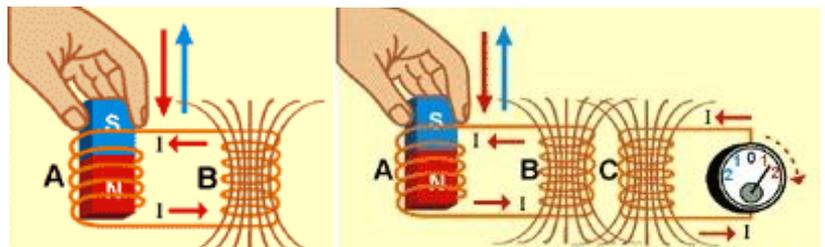
Cuando el polo sur entra y sale circula corriente por el circuito, pero en sentidos opuestos a cuando se introducía el norte y mientras el imán se mantuvo en reposo, la corriente fue nula.

Dejar el imán en reposo y mover la bobina hasta que el polo norte del imán quede dentro de ella es exactamente igual a cuando se introducía el polo norte.

Dejar el imán en reposo y mover la bobina hasta que el polo sur del imán quede dentro de ella es exactamente igual que cuando se introducía el polo sur.

En todos los casos en los que circula corriente, podemos observar que si el movimiento de imán respecto a la bobina es más rápido, el valor de intensidad indicado por el galvanómetro es mayor.

Las corrientes eléctricas generadas a partir de un campo magnético como fue realizado en esta experiencia, reciben el nombre de CORRIENTES INDUCIDAS.



El campo magnético generado por el imán (al cual llamaremos $\vec{B}_{inductor}$) atraviesa la bobina, existiendo flujo magnético a través de ella. Si acercamos o alejamos el imán respecto a la bobina, el módulo del campo inductor aumenta o disminuye, pasando lo mismo con el flujo magnético a través de la bobina: en estos casos fue en los que se observó pasaje de corriente.

Si el imán y la bobina permanecían en reposo uno respecto al otro, el flujo a través de ella no cambiaba. En este caso no se detectaba pasaje de corriente eléctrica.

Podemos entonces concluir que la presencia de una corriente inducida en el circuito, se debe a la variación en el flujo magnético a través de la bobina. A su vez, dicha variación se provocó a partir del movimiento relativo entre el imán y la bobina.

Al hacer variar el flujo de campo magnético a través de la bobina, lo que se produce o induce en ella es un diferencia de potencial eléctrico inducido en sus extremos, que denominamos f.e.m. inducida " \mathcal{E}_i "¹. Como consecuencia de esta f.e.m., se establece en la bobina la corriente eléctrica inducida, cuyo valor es proporcional a la f.e.m. y depende también de la resistencia eléctrica de la bobina.

¹ La fuerza electromotriz \mathcal{E} (fem) de una fuente se define como el trabajo realizado por el dispositivo por unidad de carga, por lo que las unidades de fuerza electromotriz son los voltios. Cuando decimos que un campo magnético genera una corriente eléctrica en un conductor, nos referimos a que aparece una fem (llamada fem inducida) de modo que las cargas del conductor se mueven generando una corriente (corriente inducida).

La ley que explica esta interacción entre la fuerza electromotriz inducida y el campo magnético es la **LEY DE FARADAY**.

La f.e.m. inducida en los extremos de una bobina de N espiras es directamente proporcional a la rapidez con la que cambia el flujo de campo magnético a través de ella:

$$\varepsilon_{ind} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- “ $\Delta\Phi$ ” es la variación del flujo magnético ($\Phi_{final} - \Phi_{inicial}$) y “ Δt ” es el tiempo en el que se produce dicha variación.
- “ N ” es el número de vueltas que posee la bobina.
- Las unidades:

$$[\varepsilon_{ind}] = \frac{\text{Weber(Wb)}}{\text{segundo(s)}} = \text{Volt(V)}$$

- El signo “-” que aparece en la ecuación, se debe a una relación existente entre la variación de flujo y el sentido de la corriente inducida, enunciado en la **LEY DE LENZ**.

Las corrientes que se inducen en un circuito, se producen en un sentido tal que sus efectos magnéticos se oponen a la causa que las originó.

Cuando acercamos o alejamos el imán de la bobina o espira, el flujo magnético dentro de ella varía, se produce una f.e.m. inducida (ε_i) y se establece una corriente eléctrica inducida (i_i).

Esta corriente inducida produce, al igual que todas las corrientes eléctricas, un campo magnético que recibe el nombre de campo magnético inducido ($\vec{B}_{inducido}$).

Según la Ley de Lenz, este campo se opone a la causa que lo produjo, en los ejemplos que hemos visto la causa fue introducir o sacar el imán de la bobina.

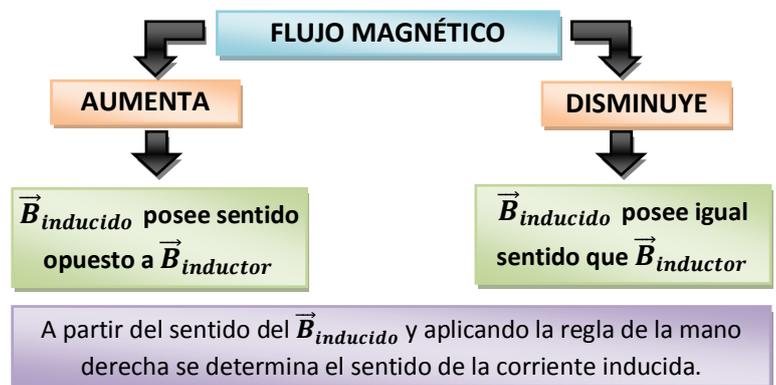
La Ley de Lenz puede ser explicada en una forma más general por el **Principio de Conservación de la Energía**. La producción de una corriente eléctrica inducida en la bobina, requiere la realización de un trabajo. En estos casos, el trabajo es realizado por quien introduce el imán en contra de las fuerzas magnéticas que aparecen entre la bobina y el imán. Cuando se acerca el imán, se realiza trabajo contra la fuerza de repulsión y cuando se aleja contra la fuerza de atracción. Si no existe desplazamiento relativo entre la bobina y el imán, no hay trabajo y no hay corriente inducida.

Para que se induzca f.e.m. inducida en una espira debe existir variación de flujo de campo magnético a través de ella. Como el valor del flujo se determina a partir de la ecuación:

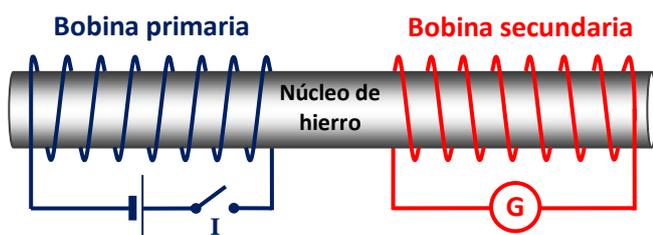
$$\Phi_B = |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \theta$$

cualquiera de las tres variables (campo magnético, área de la superficie o ángulo) que varíe, determinará una variación en el flujo magnético y por lo tanto inducirá f.e.m. y corriente eléctrica.

Según la Ley de Lenz, el campo magnético inducido (generado por la corriente inducida) se opone a la variación de flujo magnético que le dio origen. En el esquema vemos como determinar el sentido de la corriente inducida cuando el flujo aumenta y cuando disminuye.



Ejemplo de aplicación:



Indica el sentido de la corriente inducida en la bobina secundaria cuando el interruptor de la bobina primaria:

- Permanece abierto.
- Se cierra.
- Permanece cerrado.
- Se abre.