

APUNTE:

ELECTRICIDAD-1

MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

Área de EET

Derechos Reservados
Titular del Derecho: INACAP
N° de inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual # _____. ____ de fecha ____-____-_____.
© INACAP 2002.

INDICE

MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO	4
Imanes.....	4
Ley de Interacción de los Polos Magnéticos.....	4
Campo Magnético	4
Imanes Permanentes	7
Electroimanes.....	7
Líneas de Campo Magnético o Líneas de Inducción Magnética	8
Teoría del Magnetismo del Hierro	9
Clasificación de los Materiales	10
Permeabilidad.....	10
Electromagnetismo.....	11
Dirección del Campo Magnético.....	12
Regla de la Mano Derecha	13
Campo Magnético en una Bobina	14
Flujo Magnético (ϕ).....	16
Inducción Magnética (B).....	16
Fuerza Magneto Motriz.....	16
Intensidad del Campo Magnético (H)	17
Reluctancia (\mathfrak{R}).....	17
Entrehierro.....	18
El Circuito Magnético.....	19
Ley del Circuito Magnético	19
Curva de Magnetización	19
Ciclo de Histéresis	20
Comportamiento de las Bobinas con Núcleo.....	21
Fuerza Magnética sobre un Conductor Recorrido por una Corriente	22
Principio del Motor	23
Fuerzas Magneticas sobre Conductores Paralelos	23

MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

Imanes

Se denomina imán a cualquier cuerpo que tiene la facultad de atraer trozos de hierro. El mineral de hierro llamado magnetita es un imán natural. Si se introduce este material en medio de limaduras de hierro, se verá que las limaduras se adhieren a este en forma de dos penachos en los lados opuestos de dicho trozo. Si después se extrae del mineral un trozo en forma de barra, de tal manera que sus extremos coincidan con los penachos de las limaduras, se obtiene lo que se llama un **imán de barra**. Un imán de barra se puede representar mediante la siguiente figura:



El lado señalado con la letra “N” denota el polo norte magnético y la letra “S” denota el polo sur magnético. Si el imán anterior se suspende de un hilo, el norte del imán (N) se orienta hacia el norte geográfico, y el sur del imán (S) se orienta hacia el sur geográfico. De aquí los nombres Norte y Sur para los polos magnéticos de un imán. Si se enfrentan dos imanes de barra por sus polos norte o por sus polos sur, se notará que se repelen; en cambio si se enfrenta un polo norte con un polo sur, los imanes se atraen. De aquí surge la llamada Ley de Interacción de los Polos Magnéticos.

Ley de Interacción de los Polos Magnéticos

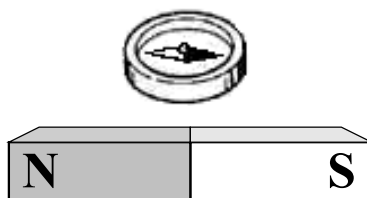
- ***Dos polos magnéticos del mismo nombre se repelen.***
- ***Dos polos de diferente nombre se atraen.***

Campo Magnético

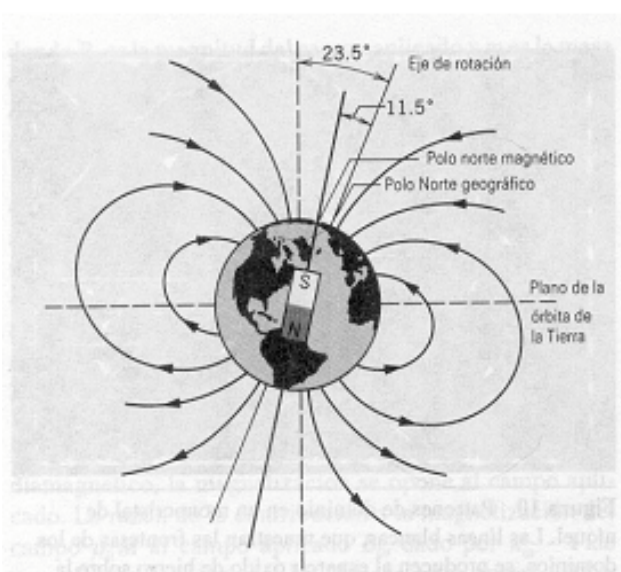
El campo magnético es la zona del espacio que rodea a un imán (y mas adelante veremos que también las corrientes eléctricas producen campos magnéticos) y en donde se manifiestan fuerzas de origen magnético. Al igual que el campo eléctrico el campo magnético es vectorial y se asocia a cada punto del espacio tanto en magnitud como en dirección.

No se pueden ver los campos magnéticos pero si se puede observar el efecto que producen.

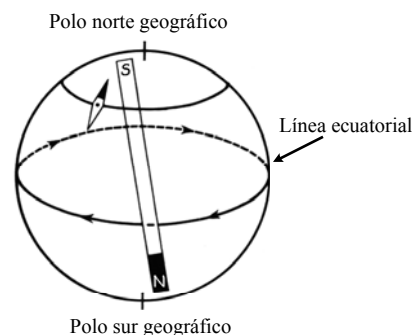
Si se acerca un trozo de hierro a un imán, el hierro se adhiere al imán. Si se acerca una brújula a un imán, esta se orienta en una dirección determinada. Estos dos fenómenos se producen porque los imanes producen un campo magnético en torno al espacio que los rodea.



La tierra misma es un imán gigantesco y produce un campo magnético. La brújula (inventada por los chinos hace mas de mil años) no es mas que un imán, que al igual que el imán de barra, se orienta en el campo magnético terrestre. El extremo de la brújula identificado como norte se orienta hacia el norte geográfico y el extremo de la brújula identificado como sur se orienta hacia el sur geográfico. Se comprenderá entonces (haciendo uso de la Ley de interacción de los polos magnéticos) que si la tierra es un imán debe tener su polo sur magnético en el norte geográfico y su polo norte magnético en el sur geográfico. Esto no es una paradoja, sino simplemente una ligera confusión entre los convenios geográfico y magnético.

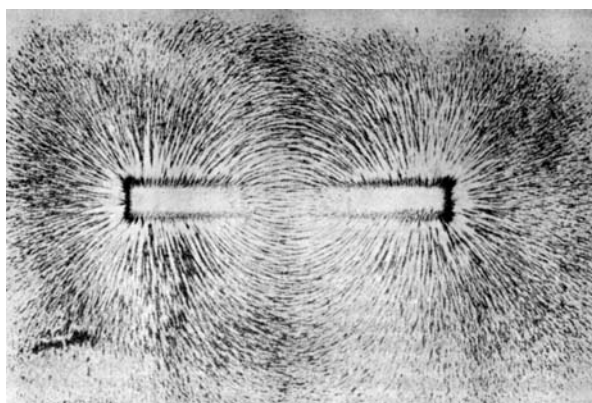


Representación simplificada del campo magnético de la Tierra cerca de su superficie.

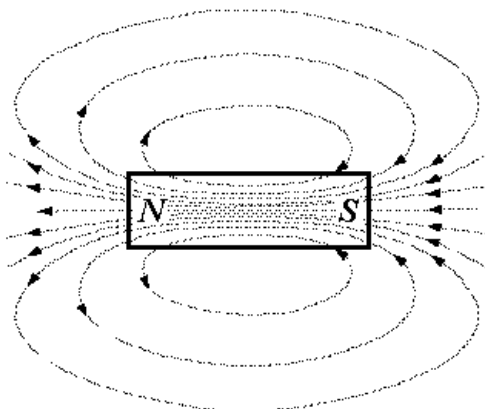


Aunque para nosotros es invisible, el campo magnético se puede ver esparciendo limaduras de hierro sobre una hoja de vidrio o de papel colocada sobre un imán con forma de barra. Las limaduras de hierro se alinean de acuerdo a la forma del campo magnético producido por el imán.

La siguiente figura muestra este efecto.



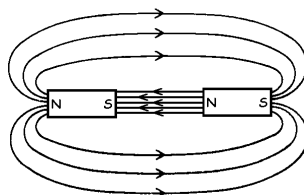
Lo anterior demuestra que el campo magnético producido por un imán de barra puede ser dibujado como se indica a continuación:



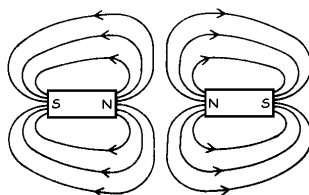
Las líneas que representan a los campos magnéticos reciben el nombre de **líneas de campo magnético** y se hablará de ellas mas adelante.

Al alinear dos imanes se pueden obtener los siguientes resultados:

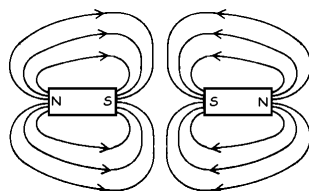
- a) Los campos magnéticos se unifican si están dispuestos de tal forma que el polo norte de un imán se enfrente al polo sur del otro:



b) Los campos magnéticos se dispersan si se enfrentan dos polos norte:



c) Los campos magnéticos se dispersan si se enfrentan dos polos sur:



Imanes Permanentes

Una pieza de hierro o acero se puede imanar (esto significa que adquiere las propiedades de un imán, es decir produce campo magnético) enrollando sobre ella un alambre conductor aislado y haciendo pasar por el una corriente.

Las distintas aleaciones magnéticas del hierro difieren ampliamente en el comportamiento de su estado magnético. El acero dulce recocido se imana muy fácilmente, pero pierde la mayor parte de su imanación tan pronto como desaparece la corriente que permitió magnetizarlos. Por el contrario, ciertos aceros duros especiales, tales como el acero al cobalto, requieren de muchas vueltas de alambre por donde circule una corriente para su imanación, pero conservan gran parte de su magnetismo cuando se suprime la corriente. Los imanes fabricados con estos aceros especiales se denominan **imanes permanentes**, y se emplean para gran variedad de fines, entre ellos, agujas para brújulas.

Electroimanes

Después del invento de la celda voltaica por Alessandro Volta (1725-1827) se hizo posible por primera vez producir corrientes eléctricas constantes a voluntad y estudiar los fenómenos asociadas a ellas. En 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851) descubrió que un alambre por el que fluye una corriente tiene propiedades similares a las de un imán permanente. En otras palabras, la corriente eléctrica producía un campo magnético en su entorno. Este descubrimiento hizo que el estudio del magnetismo recibiera un impulso enorme.

Como las corrientes eléctricas producen campos magnéticos entonces se pueden construir imanes aprovechando este efecto de las corrientes eléctricas.

El electroimán no es mas que una bobina enrollada sobre un núcleo magnético (el núcleo se usa para intensificar el flujo magnético) y por la cual se hace circular una corriente eléctrica. El imán así construido producirá un campo magnético solo cuando circule una corriente eléctrica por la bobina.

En la actualidad, se reconoce en general que todos los efectos magnéticos observados se deben a una de las dos fuentes básicas:

- El movimiento de la carga eléctrica como en una corriente eléctrica.
- Ciertas propiedades magnéticas intrínsecas de los constituyentes microscópicos de la materia.

Líneas de Campo Magnético o Líneas de Inducción Magnética

Los campos magnéticos (al igual que los campos eléctricos) se pueden representar mediante líneas que dan idea de la forma que tienen. Estas líneas reciben el nombre de líneas de Campo Magnético o Líneas de Inducción Magnéticas. Estas tienen las siguientes características:

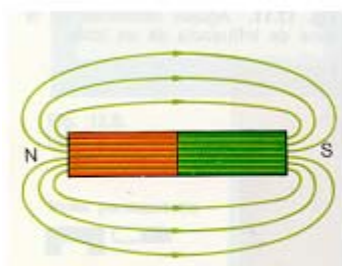
- Son líneas cerradas, es decir no tienen principio ni fin.
- Van de norte a sur por fuera del imán (o de la bobina).
- Van de sur a norte por dentro del imán (o de la bobina).

Cuanto más fuerte sea el imán, mayor será el número de líneas y el área cubierta por el campo..

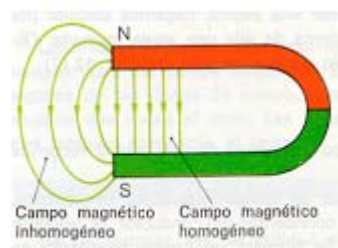
Un experimento sencillo utilizando limaduras de hierro esparcidas sobre una superficie de vidrio colocada sobre un imán o conductor recorrido por una corriente, permite visualizar la forma del campo magnético producido por estos elementos. Las limaduras se moverán para formar un diseño específico que describe el campo magnético, como se muestra en las siguientes figuras.



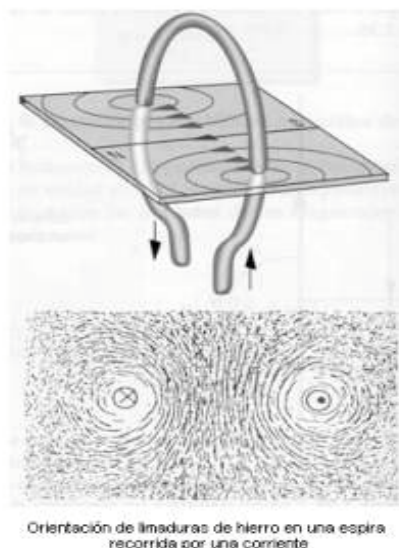
Distribución de limaduras de hierro en un imán permanente recto tipo barra (izquierda) y en un imán tipo herradura (derecha).



Espectro magnético de un imán permanente tipo barra.

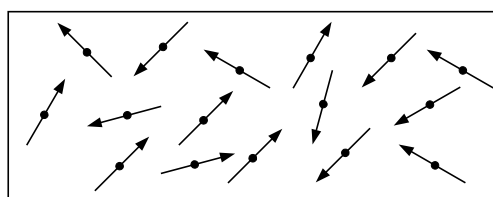


Campo magnético en un imán permanente tipo herradura



Teoría del Magnetismo del Hierro

Para poder explicar el comportamiento peculiar del hierro, se supone generalmente que los átomos de hierro equivalen a imanes naturales, cada uno de los cuales tiene sus propios polos norte y sur. En esta hipótesis, las propiedades magnéticas del hierro pueden hacerse visibles cubriendo una bandeja ancha con pequeñas agujas magnéticas muy próximas entre sí. Si la bandeja llena de agujas no está sujeta a la influencia de un campo magnético exterior, las agujas señalarán en todas direcciones, como se muestra en la siguiente figura:

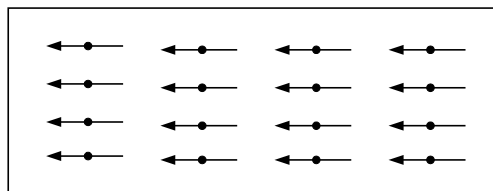


Material no magnetizado

La dirección de cada aguja magnética individual está determinada por las fuerzas de atracción y repulsión entre ella y todas las demás agujas que la rodean.

Como resultado de dichas fuerza, las agujas tienden a disponerse en grupos compactos, enfrentándose los polos norte y sur. La bandeja, en conjunto no muestra propiedades magnéticas y representa una barra de hierro no imanada.

Si introducimos la bandeja dentro de un largo solenoide (bobina) y hacemos pasar por este una corriente cuya intensidad aumente gradualmente, la corriente producirá un campo magnético que tiende a obligar a todas las agujas a orientarse en la misma dirección, paralela al eje del solenoide. Cuando se logra esta orientación se dice que el material se ha magnetizado, es decir, tendrá efectos magnéticos al igual que un imán.



Material magnetizado

Las moléculas de hierro deben sus campos magnéticos a corrientes eléctricas. Cada átomo contiene electrones giratorios, y un electrón giratorio puede considerarse equivalente a un minúsculo solenoide de una espira. En las sustancias no magnéticas, los campos producidos por los distintos electrones giratorios se neutralizan entre sí, de modo que no se origina campo magnético exterior.

Clasificación de los Materiales

La clasificación de los materiales como magnéticos o no-magnéticos se basan en las propiedades magnéticas del hierro. Sin embargo, como los materiales débilmente magnéticos pueden tener importancia en algunas aplicaciones, la clasificación incluye los siguientes tres grupos:

1. Materiales **ferromagnéticos**. Estos incluyen al hierro, acero, níquel, cobalto y aleaciones como el *alnico* y *permalloy*. Las **ferritas** son materiales no-magnéticos que tienen las mismas propiedades ferromagnéticas del hierro. Una ferrita es un material cerámico cuya permeabilidad relativa se encuentra entre 50 y 3000. Una aplicación común de la ferrita es en transformadores de radio frecuencia y en antenas de radio.
2. Materiales **paramagnéticos**. En éstos se incluye el aluminio, platino, manganeso y cromo. Su permeabilidad relativa es ligeramente mayor que la unidad ($\mu_r > 1$).
3. Materiales **diamagnéticos**. En éstos se encuentra el bismuto, antimonio, cobre, zinc, mercurio, oro y plata. Su permeabilidad relativa es menor que la unidad ($\mu_r < 1$).

Permeabilidad

La **permeabilidad** se refiere a la capacidad que tiene un material de concentrar el flujo magnético. Cualquier material que se magnetice fácilmente tiene una permeabilidad elevada. La medida de la permeabilidad de los materiales con referencia a la del aire o a la del vacío se llama **permeabilidad relativa**. El símbolo de la permeabilidad relativa es μ_r . La permeabilidad relativa es adimensional porque es el cociente entre dos permeabilidades:

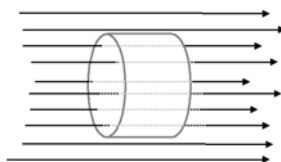
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

μ = permeabilidad magnética del material.

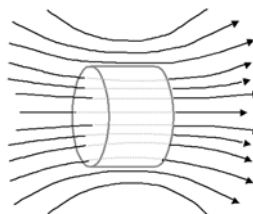
μ_0 = permeabilidad magnética del aire o vacío. $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

μ_r = Permeabilidad relativa del material magnético.

En la siguiente figura, un material se ha introducido dentro de un campo magnético. La cantidad de líneas de fuerza que pasan por la sección del material no afecta la cantidad de líneas sin la presencia del material, por lo tanto la permeabilidad relativa del material es igual a la unidad ($\mu_r=1$):



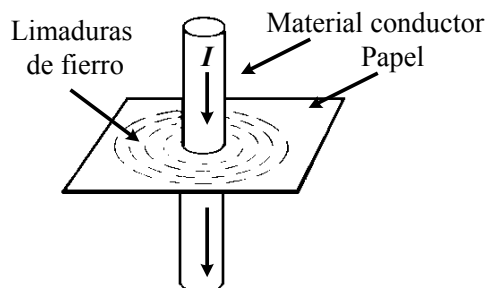
En la siguiente figura se ha introducido un material que *concentra* las líneas de fuerza del campo, por lo tanto el material debe poseer una permeabilidad relativa mayor que la unidad ($\mu_r > 1$):



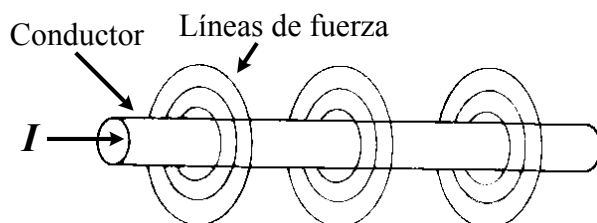
Electromagnetismo

En 1819 el científico danés *Oersted* descubrió una relación entre el magnetismo y la corriente eléctrica. Determinó que una corriente eléctrica que circula por un conductor produce un campo magnético alrededor de éste.

Si por un conductor se hace circular una corriente eléctrica, en torno al conductor se producirán líneas de inducción en forma de círculos concéntricos. La presencia de tales líneas de fuerza se pueden observar colocando, en un plano perpendicular a lo largo del conductor, un papel con limaduras de hierro. Las limaduras se orientarán de acuerdo a la dirección del campo magnético presente:

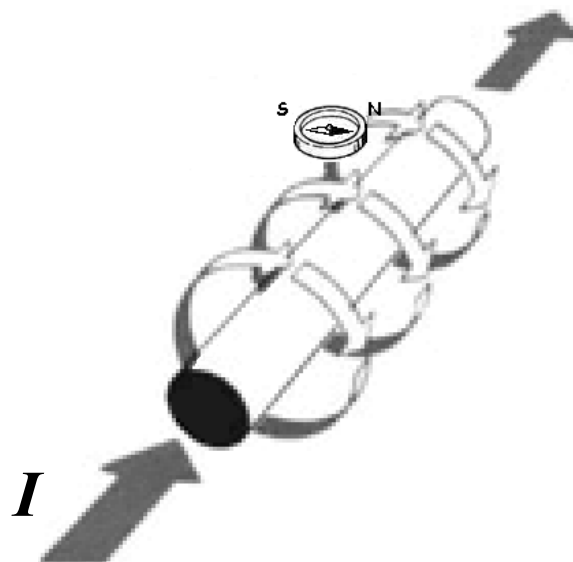


La siguiente figura muestra la representación del campo magnético en torno a un conductor recorrido por una corriente.

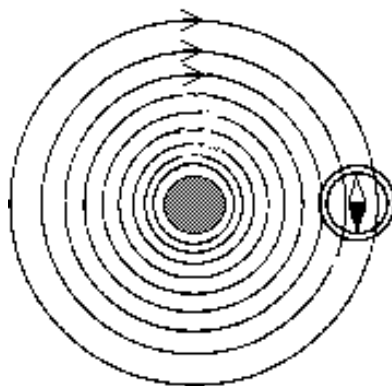


Dirección del Campo Magnético

La dirección del campo magnético producido por la corriente eléctrica se verifica mediante el uso de una brújula instalada en forma tangencial cerca del conductor, como se muestra en la siguiente figura:



Si observamos el conductor en un corte transversal, podremos verificar con la brújula que las líneas de fuerza consisten en círculos concéntricos alrededor del conductor. En la siguiente figura, la dirección de la corriente es entrando al plano del papel.



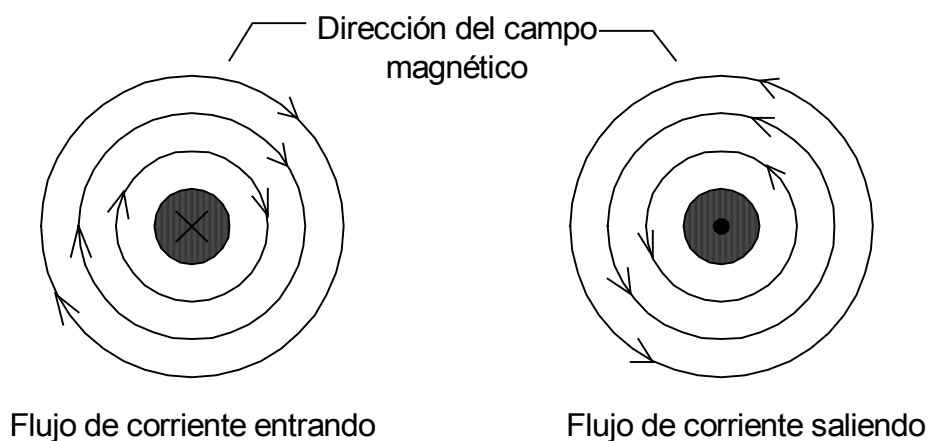
Regla de la Mano Derecha

La **regla de la mano derecha** es un método práctico para determinar la relación entre la dirección del flujo de corriente en un conductor y la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético alrededor de él.

Con la mano derecha, el pulgar se extiende en la dirección del flujo de corriente (sentido convencional) y los demás dedos cierran en la dirección del campo magnético alrededor del conductor.



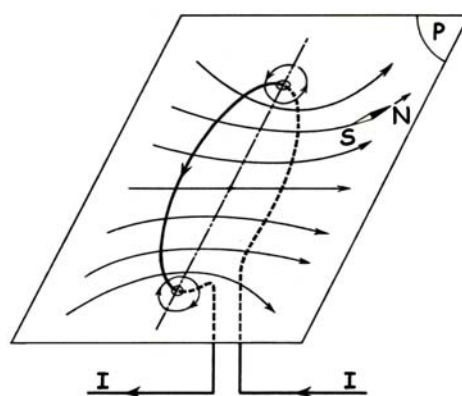
Si se observa el conductor de frente y se aplica la regla de la mano derecha, la dirección del campo magnético será el indicado en las siguientes figuras: (la cruz indica corriente entrando por el conductor y el punto indica corriente saliendo del conductor)



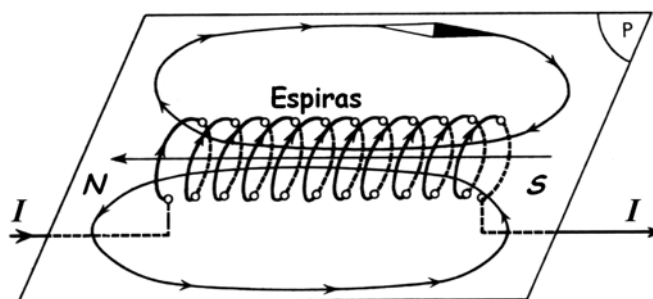
Campo Magnético en una Bobina

Si a un conductor recto se le dobla dándole la forma de espira, las líneas del campo magnético son más densas dentro de las espiras, aunque el número total es el mismo que para el conductor recto y además el campo se unifica por tener todas las líneas la misma dirección.

En la siguiente figura se muestra un plano P perpendicular al eje de una espira. Sobre el plano se han representado las líneas de fuerza del campo magnético producido por la corriente eléctrica I .

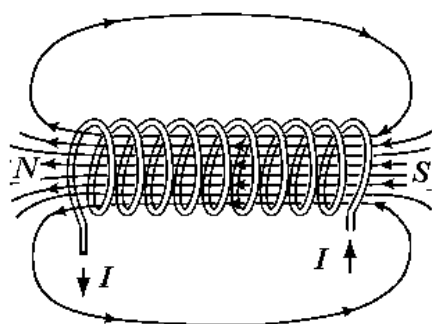


Se forma una bobina o solenoide de alambre conductor si hay más de una espira o vuelta. La siguiente figura muestra las líneas del campo magnético en un plano perpendicular P al eje de una bobina recorrida por una corriente eléctrica I .

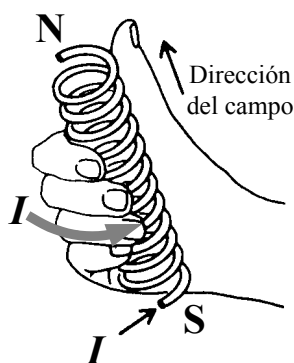


Al formar una bobina, los campos magnéticos de cada espira se unen para formar un campo magnético prácticamente único cuya magnitud es la suma del campo magnético producido por cada espira.

Si la bobina tiene gran número de vueltas, y las espiras están muy juntas entre sí, entonces el campo magnético producido por esta bobina, cuando por ella circule una corriente, se asemeja mucho al producido por un imán tipo barra. Esto significa que la bobina, al igual que el imán, posee polos magnéticos norte y sur en sus extremos. Las líneas de campo magnético irán del polo sur al polo norte por dentro de la bobina y del polo norte al polo sur por fuera de la bobina, igual que en el imán.



La dirección del campo magnético en la bobina depende de la dirección de la corriente por las espiras de la bobina. Para determinar la dirección del campo magnético de una bobina puede usarse la **regla de la mano derecha** como se muestra en la siguiente figura, en donde si se toma la bobina con la mano derecha, los dedos índice al meñique indican la dirección de la corriente (sentido convencional) por la bobina mientras que el pulgar indica la dirección del campo magnético por dentro de la bobina, lo que permite identificar los polos magnéticos de la misma (el pulgar indicará la ubicación del polo norte magnético en la bobina):



Regla de la mano derecha aplicada a bobinas

Flujo Magnético (ϕ)

La totalidad del grupo de líneas que salen del polo norte de un imán se llama **flujo magnético**. El símbolo del flujo magnético es la letra griega minúscula ϕ (*phi*) y su unidad en el sistema mks es el **webber** (Wb).

Inducción Magnética (B)

La inducción magnética es la **medida cuantitativa del campo magnético**, se denomina también **densidad de flujo magnético**.

La densidad de flujo magnético es la cantidad de flujo magnético por unidad de área. En el sistema mks la unidad es el **Tesla** (T). Un tesla (T) es igual a un webber por metro cuadrado (Wb/m²).

Si el área es perpendicular al flujo, la ecuación de la densidad de flujo magnético es:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

Donde:

B = densidad magnética en Tesla (T)

ϕ = flujo magnético en webbers (Wb).

A = área de la sección en metros cuadrados (m²)

Fuerza Magneto Motriz

El campo magnético producido por una bobina es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye por ella y a la cantidad de espiras que tenga.

El producto de la corriente por el número de vueltas de la bobina se conoce como **amperios-vuelta** y se denomina también **fuerza magnetomotriz (fmm)** o **transflujo**, entonces:

$$F_{mm} = N \cdot I$$

Donde:

F = fuerza magnetomotriz en amperios-vuelta.

N = número de espiras de la bobina.

I = intensidad de la corriente en amperios.

Intensidad del Campo Magnético (H)

La intensidad del campo magnético se simboliza por la letra H y es también denominada fuerza magnetizante.

Se puede considerar que los *amperios-vuelta* de una bobina por unidad de longitud constituyen una fuerza magnetizante que produce la densidad de flujo B .

En forma algebraica la intensidad del campo magnético es:

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

Donde:

H = intensidad del campo magnético en amper-vuelta por metro ($A\cdot v/m$).

N = número de vueltas de la bobina.

I = intensidad de la corriente en amperios (A).

l = largo de la bobina en metros (m).

Reluctancia (\mathfrak{R})

La oposición al flujo magnético se llama **reluctancia** o **resistencia magnética**, que se puede compara con la resistencia del circuito eléctrico.

El símbolo de la reluctancia es \mathfrak{R} . La reluctancia de un núcleo es directamente proporcional al largo e inversamente proporcional a la permeabilidad y a la sección. Además depende de la forma y de la distancia que exista entre los polos (*entrehierro*).

La permeabilidad del núcleo de un electroimán está dada por la siguiente ecuación:

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}$$

Donde:

\mathfrak{R} = reluctancia en amperios-vuelta por webber (A-v/Wb).

l = largo del núcleo en metros (m).

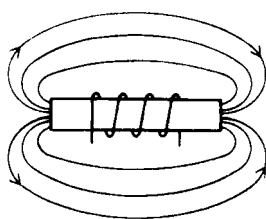
A = sección del núcleo en metros cuadrados (m^2).

μ_r = permeabilidad relativa del núcleo (adimensional).

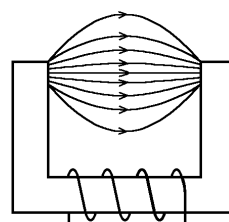
μ_0 = permeabilidad relativa del vacío ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

Entrehierro

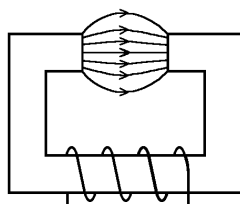
El **entrehierro** es el espacio que existe entre los polos de un imán o electroimán. En las siguientes figuras se muestran los niveles de reluctancia para electroimanes con diferentes formas. El caso que tiene la menor reluctancia es del núcleo toroidal puesto que no posee entrehierro.



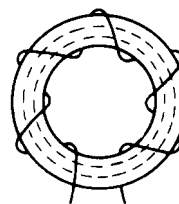
Reluctancia muy alta.



Reluctancia alta.



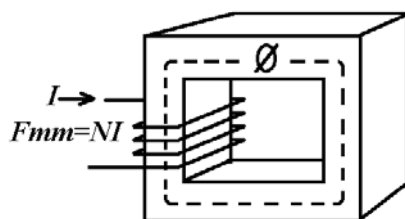
Reluctancia baja.



Núcleo toroidal,
reluctancia muy baja

El Circuito Magnético

Un circuito magnético donde se produce un flujo magnético (ϕ) producto de una *fuerza magnetomotriz* (fmm), puede compararse con un circuito eléctrico donde fluye una corriente eléctrica de intensidad I producto de una *fuerza electromotriz* (fem).



Ley del Circuito Magnético

La fórmula universal de la ley del circuito magnético se expresa de la siguiente forma:

$$\phi = \frac{Fmm}{\mathfrak{R}}$$

Donde:

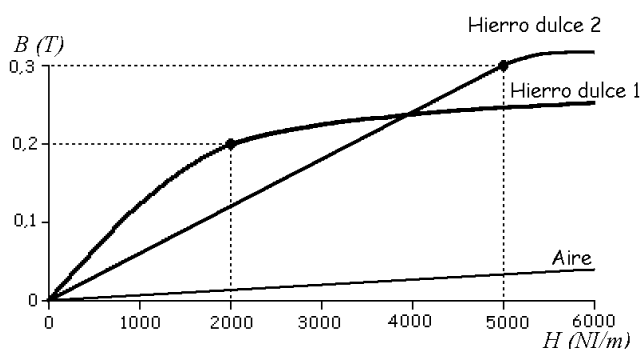
ϕ = flujo magnético.

Fmm = fuerza magnetomotriz.

\mathfrak{R} = reluctancia

Curva de Magnetización

La curva de magnetización se utiliza para mostrar cuanta densidad de flujo (B) se obtiene al aumentar la intensidad del campo (H).



En el gráfico anterior se muestran las curvas de magnetización de dos tipos de hierro y del aire. Nótese que la curva de magnetización para el aire es una recta y las de hierro no lo son. Esto se debe a que la relación entre B y H viene dada por la siguiente relación:

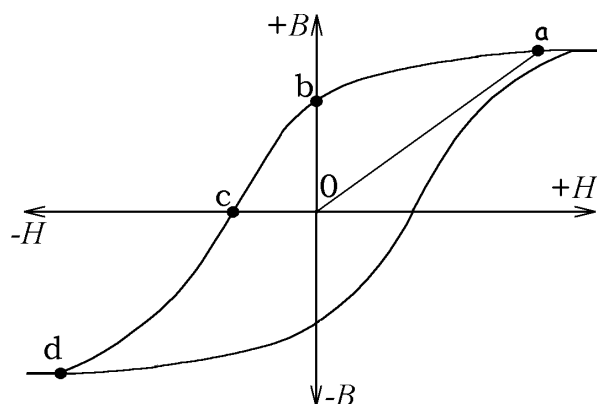
$$B = \mu_0 \mu_r H$$

Como para el aire o vacío $\mu_r = 1$ y μ_0 es una constante igual a $4\pi \times 10^{-7}$ entonces la ecuación anterior se transforma en la ecuación de la recta: $B = \mu_0 H$.

Sin embargo para los otros materiales la permeabilidad relativa no es la unidad y tampoco es constante ya que varía en un rango de valores dependiendo del estado de magnetización del material. Esta es la razón por la cual las curvas de magnetización tienen el aspecto mostrado en la gráfica anterior.

Ciclo de Histéresis

Histéresis significa retraso, es decir, el flujo magnético en un núcleo de hierro se atrasa con respecto a los incrementos o decrementos de la fuerza magnetizante. El ciclo de histéresis es una serie de curvas que muestran las características de un material magnético, como se muestra en la siguiente figura:



En la curva anterior, desde el punto **0** hasta el punto **a** se denomina **curva de primera magnetización**. En ésta se observa que a medida que aumenta la intensidad magnética (H), aumenta proporcionalmente la densidad magnética (B), hasta que se alcanza la **saturación** en el punto **a**, es decir, la densidad no se incrementa a pesar que la intensidad sigue aumentando.

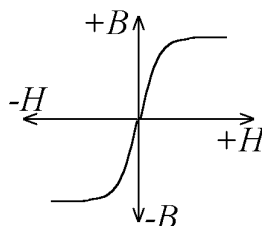
Desde el punto **a** al punto **b** se observa una reducción de la intensidad y consecuentemente hay una reducción de la densidad, sin embargo, la disminución de la densidad es menos significativa que la reducción de la intensidad. Así en el punto **b** la intensidad se hace cero pero sigue existiendo un valor de densidad. Esta cantidad de densidad residual se denomina también magnetismo **remanente**.

Desde el punto **b** hasta el punto **c** la intensidad aumenta en sentido opuesto. Nótese que para eliminar el magnetismo remanente ($B=0$), es necesario aplicar una intensidad de campo de igual magnitud pero opuesta que se denomina **fuerza coercitiva**. El valor de H que anula el magnetismo remanente se llama **campo coercitivo** (punto **c** en la curva de histéresis).

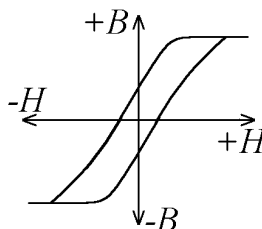
Desde el punto **c** hasta el punto **d** la densidad aumenta en forma opuesta hasta alcanzar nuevamente la saturación en el punto **d**.

Desde el punto **d** hasta el punto **a** se repite la curva en forma análoga a la del punto **a** hasta **d**.

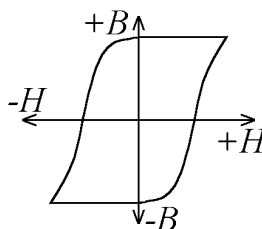
En la siguiente figura se muestra la curva de histéresis de un material que posee una remanencia muy baja o nula:



La siguiente figura muestra la curva de histéresis de un material que posee baja remanencia:



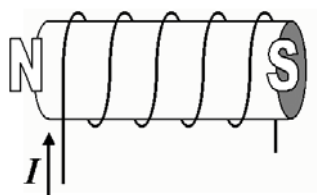
En la siguiente figura se muestra la curva de histéresis de un material con remanencia mayor que la del material de la figura anterior:



Comportamiento de las Bobinas con Núcleo

La inserción de un núcleo ferromagnético en el interior de la bobina aumenta el flujo magnético que atraviesa a la bobina. Esto se debe a que el núcleo se magnetiza contribuyendo al flujo de la bobina. La polaridad del núcleo es la misma que la de la bobina y depende de la dirección del flujo de la corriente y de la dirección del devanado o vuelta como se describió en la *regla de la mano derecha* para determinar la dirección del campo en una bobina.

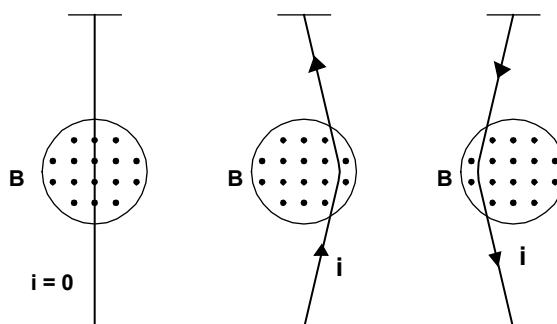
Una bobina con un núcleo ferromagnético se puede representar como se muestra en la siguiente figura, en donde se muestra la dirección de la corriente por las espiras y los polos producidos en los extremos del núcleo:



Fuerza Magnética sobre un Conductor Recorrido por una Corriente

Cuando una carga en movimiento atraviesa una zona del espacio en donde existe un campo magnético de densidad B , la carga experimenta una fuerza F perpendicular a la dirección del campo magnético.

La corriente eléctrica son cargas en movimiento, por consiguiente cuando por un conductor, colocado en un campo magnético, circula una corriente eléctrica, el conductor experimenta una fuerza de origen magnético. En la siguiente figura se muestra el efecto de esta fuerza:



Cuando la dirección de la corriente es perpendicular a la dirección del campo magnético, la magnitud de esta fuerza viene dada por la siguiente expresión:

$$F = i L B$$

Donde:

F = fuerza sobre el conductor en Newton

i = intensidad de corriente (en Amperios) por el conductor

L = longitud (en metros) de conductor inserto en el campo magnético.

B = densidad de flujo (en Tesla) del campo magnético

La dirección y sentido de la fuerza se puede obtener por medio de la **regla de la mano izquierda**. Para ello la mano izquierda se coloca de forma tal que el campo magnético incida sobre la palma de la mano, los dedos índice a meñique se colocan en la dirección de la corriente y el pulgar indicará la dirección de la fuerza.

En la siguiente figura se muestra la aplicación de esta regla para el caso de un conductor inserto en el campo magnético producido por un imán tipo herradura. La dirección de la fuerza será la dirección en que se moverá el conductor (indicado por el vector v en el dibujo)



Regla de la mano izquierda

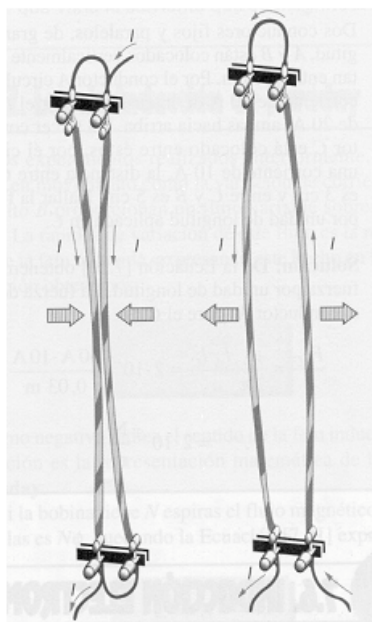
Principio del Motor

Si un conductor recto recorrido por una corriente se mueve dentro de un campo magnético por acción de una fuerza, una bobina, que no es mas que un conductor enrollado, también se mueve cuando está dentro de un campo magnético. Este es el principio de funcionamiento del motor eléctrico. Los motores poseen un conjunto de bobinas por donde se hace circular una corriente eléctrica. Las bobinas están enrolladas sobre una pieza giratoria que se llama **rotor**. Por acción de un campo magnético producido dentro del motor, las bobinas experimentan un torque que las hace girar, permitiendo que con esto gire el eje del motor.

Fuerzas Magneticas sobre Conductores Paralelos

En la práctica son muy frecuentes los conductores paralelos (uno al lado del otro), por ejemplo en las líneas de alimentación, en los devanados de motores y en las bobinas. Por dos conductores paralelos pueden circular corrientes del mismo sentido o de sentidos opuestos. Cuando esto ocurre cada conductor experimentará una fuerza debida al campo magnético producido por la corriente que circula por el otro conductor. La presencia de estos campos magnéticos hará aparecer fuerzas sobre los conductores, cuyas magnitudes vendrán dadas por la expresión ya indicada, y la dirección de estas dependerá del sentido de circulación de las corrientes.

Se cumplirá que si las corrientes son del mismo sentido los conductores se atraen y si las corrientes tienen sentidos opuestos, los conductores se repelen, como se indica en la siguiente figura:



Para comprobar la dirección de estas fuerzas, bastará aplicar la regla de la mano derecha para conocer la dirección del campo magnético sobre cada conductor y luego la regla de la mano izquierda para conocer la dirección de las fuerzas como se indica en la siguiente figura:

