

**APUNTE:**

**ELECTRICIDAD 3º AÑO**

**MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO**

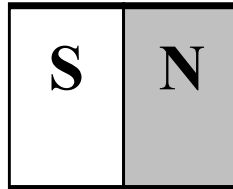


**EET N° 460 Guillermo Lehmann**  
Rafaela - Santa Fe

# 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. . 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

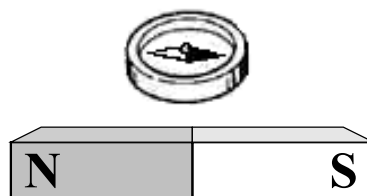
- *Dos polos magnéticos del mismo nombre se repelen.*
- *Dos polos de diferente nombre se atraen.*

## Campo Magnético

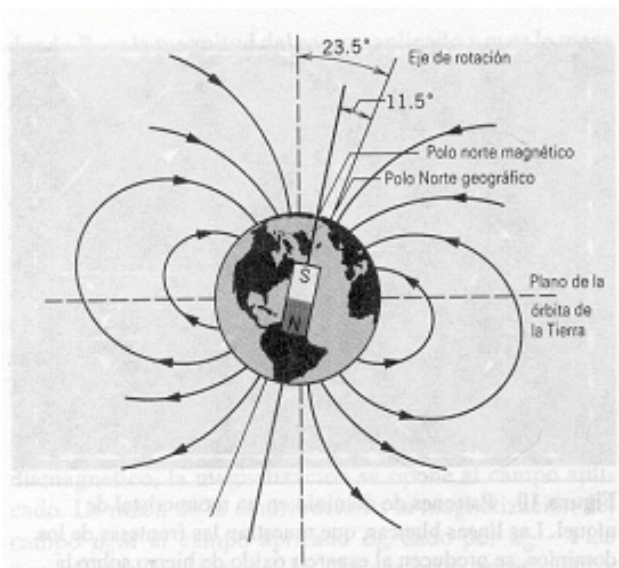
El campo magnético es la zona del espacio que rodea a un imán ( y mas adelante veremos que también las corrientes eléctricas producen campos magnéticos) y en donde se manifiestan fuerzas de origen magnético. Al igual que el campo eléctrico el campo magnético es vectorial y se asocia a cada punto del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

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

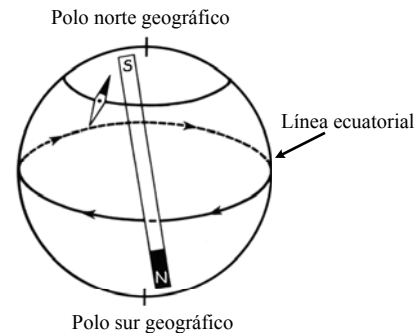
Si se acerca un trozo de hierro a un imán, el hierro se adhiere al imán. Si se acerca una brújula a un imán, esta se orienta en una dirección determinada. Estos dos fenómenos se producen porque los imanes producen un campo magnético en torno al espacio que los rodea.



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.

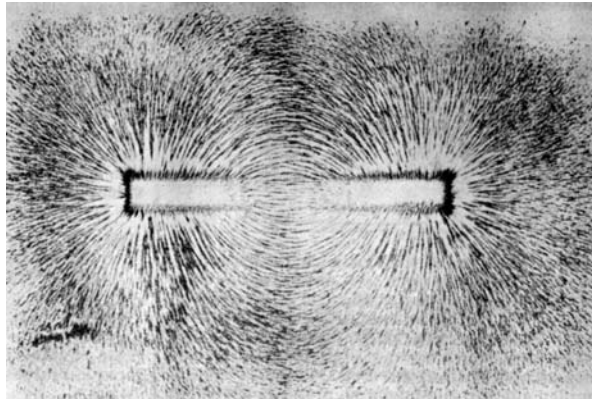


Representación simplificada del campo magnético de la Tierra cerca de su superficie.

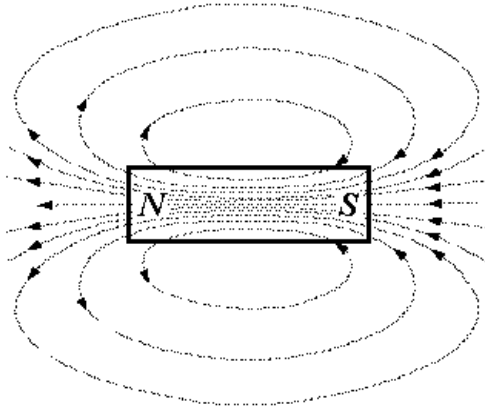


Aunque para nosotros es invisible, el campo magnético se puede ver esparciendo limaduras de hierro sobre una hoja de vidrio o de papel colocada sobre un imán con forma de barra. Las limaduras de hierro se alinean de acuerdo a la forma del campo magnético producido por el imán.

La siguiente figura muestra este efecto.



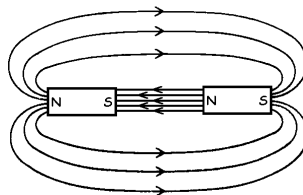
Lo anterior demuestra que el campo magnético producido por un imán de barra puede ser dibujado como se indica a continuación:



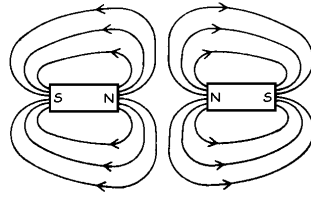
Las líneas que representan a los campos magnéticos reciben el nombre de **líneas de campo magnético** y se hablará de ellas mas adelante.

Al alinear dos imanes se pueden obtener los siguientes resultados:

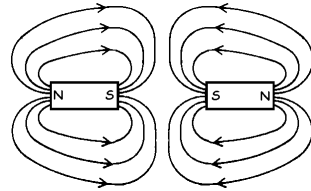
- a) Los campos magnéticos se unifican si están dispuestos de tal forma que el polo norte de un imán se enfrente al polo sur del otro:



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.

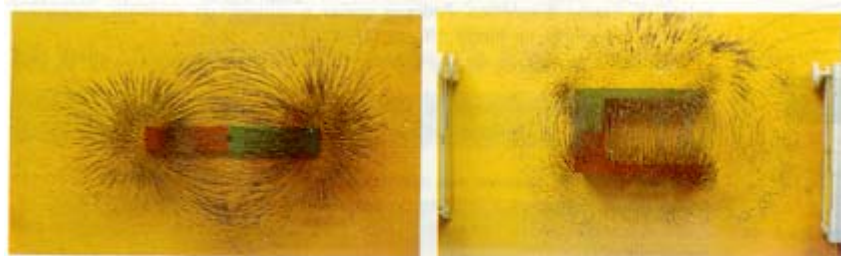
## Líneas de Campo Magnético o Líneas de Inducción Magnética

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:

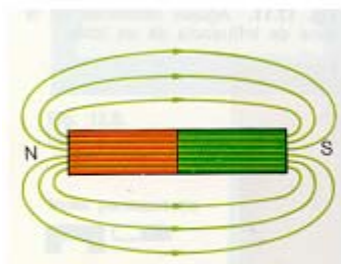
- a) Son líneas cerradas, es decir no tienen principio ni fin.
- b) Van de norte a sur por fuera del imán ( o de la bobina ).
- c) Van de sur a norte por dentro del imán ( o de la bobina ).

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

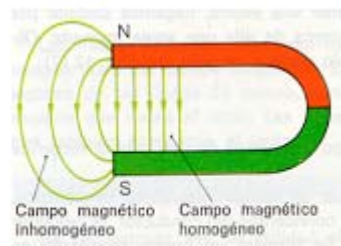
Un experimento sencillo utilizando limaduras de hierro esparcidas sobre una superficie de vidrio colocada sobre un imán o conductor recorrido por una corriente, permite visualizar la forma del campo magnético producido por estos elementos. Las limaduras se moverán para formar un diseño específico que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



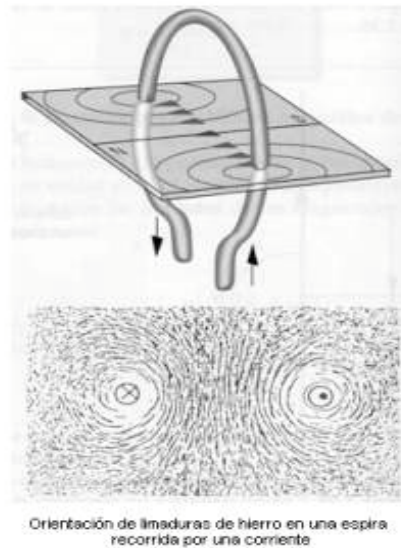
Distribución de limaduras de hierro en un imán permanente recto tipo barra ( izquierda ) y en un imán tipo herradura ( derecha ).



Espectro magnético de un imán permanente tipo barra.

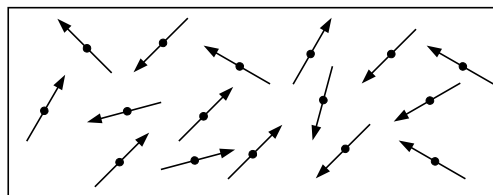


Campo magnético en un imán permanente tipo herradura



### 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 si. 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:

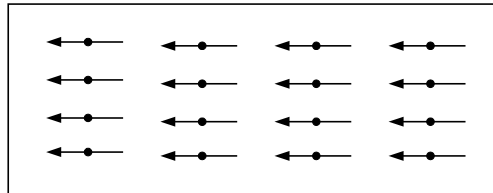


Material no magnetizado

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  $\mu_r$ . La permeabilidad relativa es adimensional porque es el cociente entre dos permeabilidades:



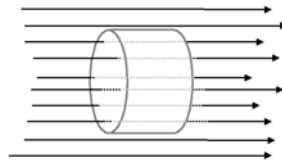
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$\mu$  = permeabilidad magnética del material.

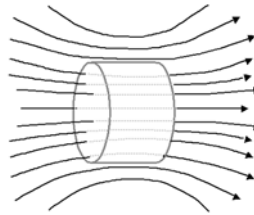
$\mu_0$  = permeabilidad magnética del aire o vacío.  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m

$\mu_r$  = 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 ( $\mu_r=1$ ):



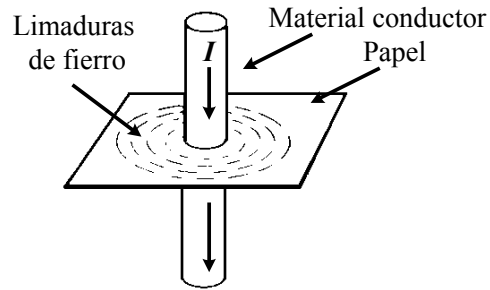
En la siguiente figura se ha introducido un material que *concentra* las líneas de fuerza del campo, por lo tanto el material debe poseer una permeabilidad relativa mayor que la unidad ( $\mu_r > 1$ ):



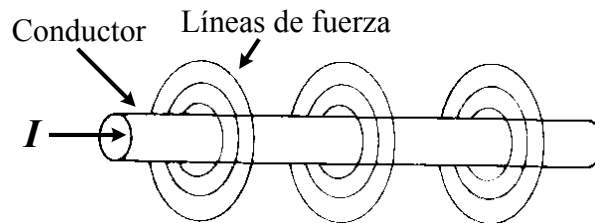
## Electromagnetismo

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:

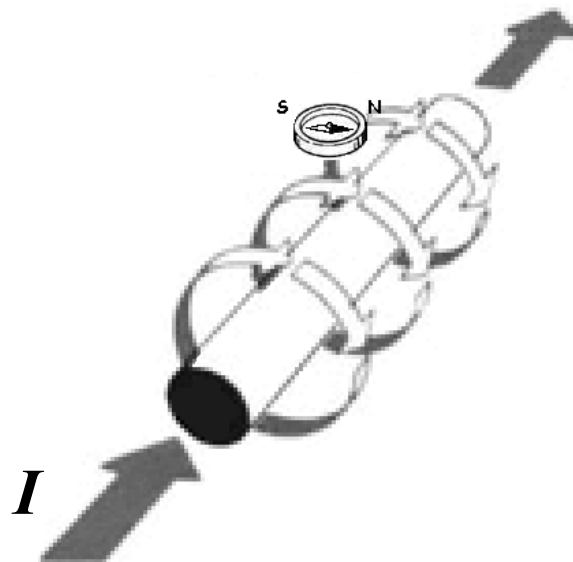


La siguiente figura muestra la representación del campo magnético en torno a un conductor recorrido por una corriente.

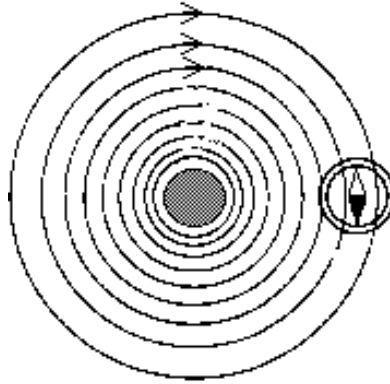


### Dirección del Campo Magnético

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.



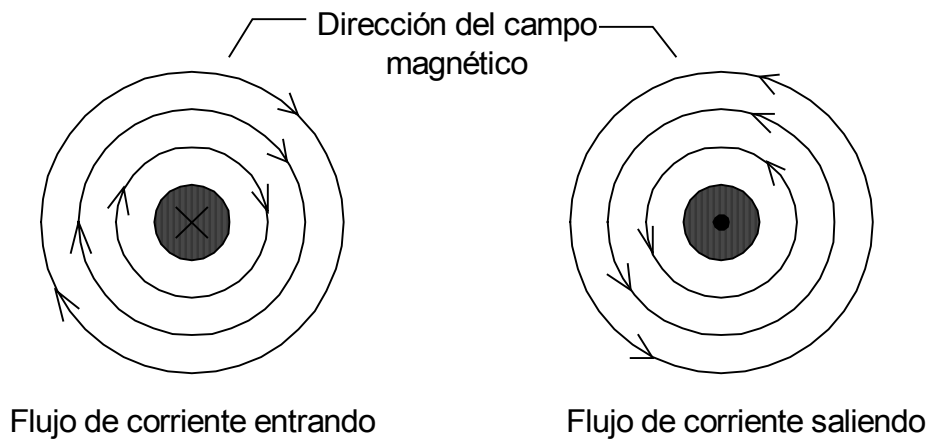
### Regla de la Mano Derecha

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.



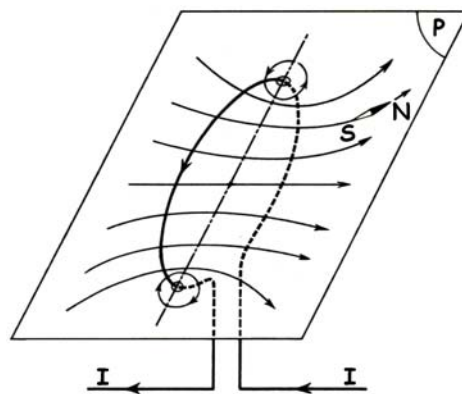
Si se observa el conductor de frente y se aplica la regla de la mano derecha, la dirección del campo magnético será el indicado en las siguientes figuras: ( la cruz indica corriente entrando por el conductor y el punto indica corriente saliendo del conductor)



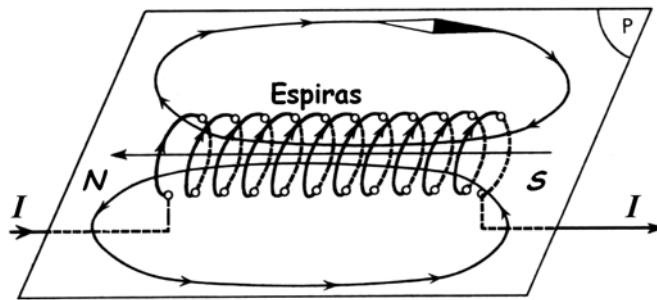
### Campo Magnético en una Bobina

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  $I$ .

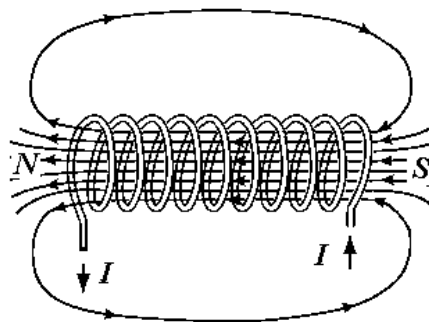


Se forma una bobina o solenoide de alambre conductor si hay más de una espira o vuelta. La siguiente figura muestra las líneas del campo magnético en un plano perpendicular  $P$  al eje de una bobina recorrida por una corriente eléctrica  $I$ .

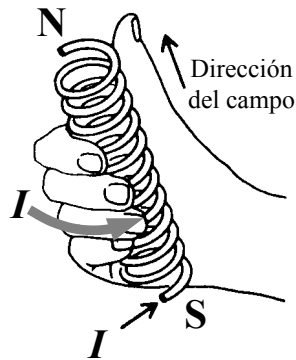


Al formar una bobina, los campos magnéticos de cada espira se unen para formar un campo magnético prácticamente único cuya magnitud es la suma del campo magnético producido por cada espira.

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):

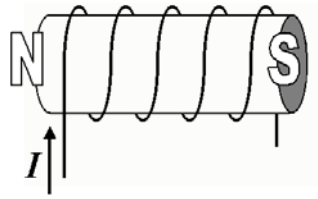


Regla de la mano derecha aplicada a bobinas

### 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.

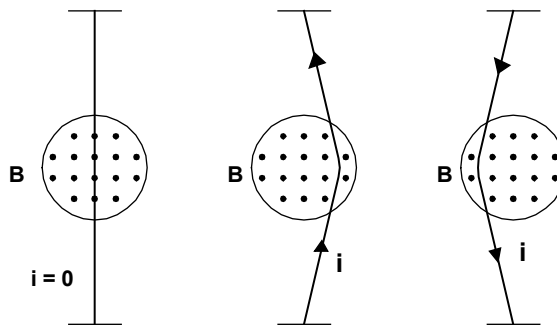
Una bobina con un núcleo ferromagnético se puede representar como se muestra en la siguiente figura, en donde se muestra la dirección de la corriente por las espiras y los polos producidos en los extremos del núcleo:



### 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

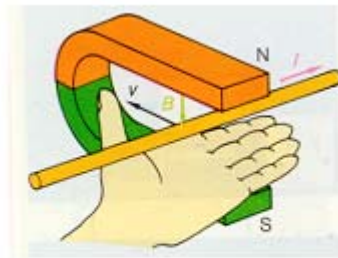
$i$  = intensidad de corriente (en Amperios) por el conductor

$L$  = 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.