

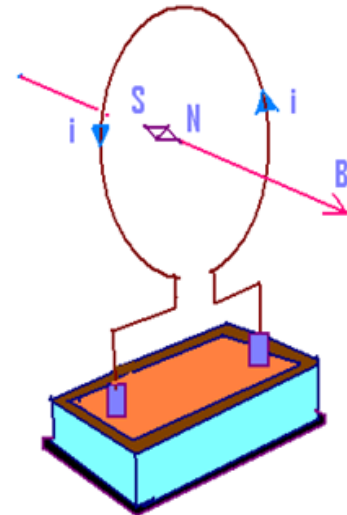


## 24 .2 Campo magnético en el centro de una espira circular:

**-Dirección y sentido del vector  $B$ :** Consideremos un conductor al cual se le dio la forma de una circunferencia, constituyendo lo que suele denominarse una *espira circular*. Si esta espira fuese recorrida por una corriente eléctrica, como muestra la figura 1, ya sabemos que dicha corriente establecerá un campo magnético existente en su centro.

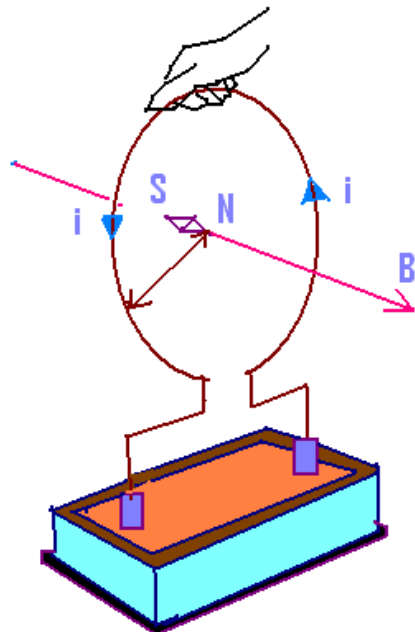
Para realizar este estudio, coloquemos una aguja magnética en el centro de la espira. Observando la orientación de esta aguja comprobamos que el vector  $B$  en este punto, es perpendicular al plano de la espira y tiene el sentido que se indica en la figura 1.

Si invertimos el sentido de la corriente comprobaremos que el vector  $B$  sigue perpendicular al plano de la espira, aunque ahora su sentido es el contrario. La regla práctica de Ampere puede usarse aquí también para determinar el sentido del campo magnético. En la figura 2, al emplear esta regla vemos que proporciona correctamente el



**Campo magnético originado en el centro de una espira circular por la cual pasa una corriente  $i$**

sentido del vector  $B$ , que coincide con el indicado en la figura 1



**La regla de ampere puede utilizarse para determinar el sentido de  $B$  también en este caso**

**-Factores que influyen en el valor de B:** Al analizar la magnitud, B, del campo magnético en el centro de una espira circular, se comprobó que su valor es proporcional a la intensidad de la corriente en la espira, como sucedió en el caso del conductor rectilíneo. Además, pudo comprobarse que cuanto mayor sea la espira, tanto menor será el valor del campo magnético en su centro o para decirlo con más precisión, se halló que B es inversamente proporcional al radio R de la espira. Entonces, en resumen, tenemos que

- 1) B es proporcional a  $i$
- 2) B es inversamente proporcional a R

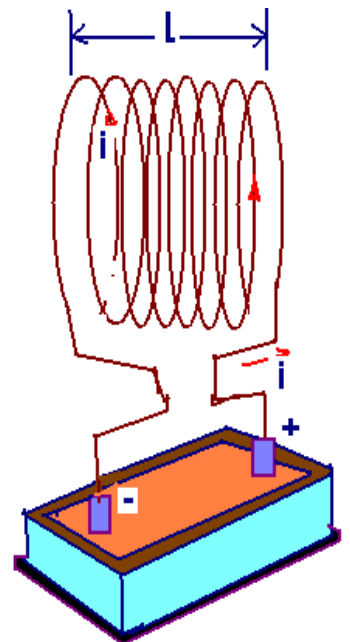
Entonces se concluye que la siguiente relación es válida para el valor del campo magnético en el centro de una espira circular.

$$B \propto \frac{i}{R}$$

### Campo magnético de un solenoide:

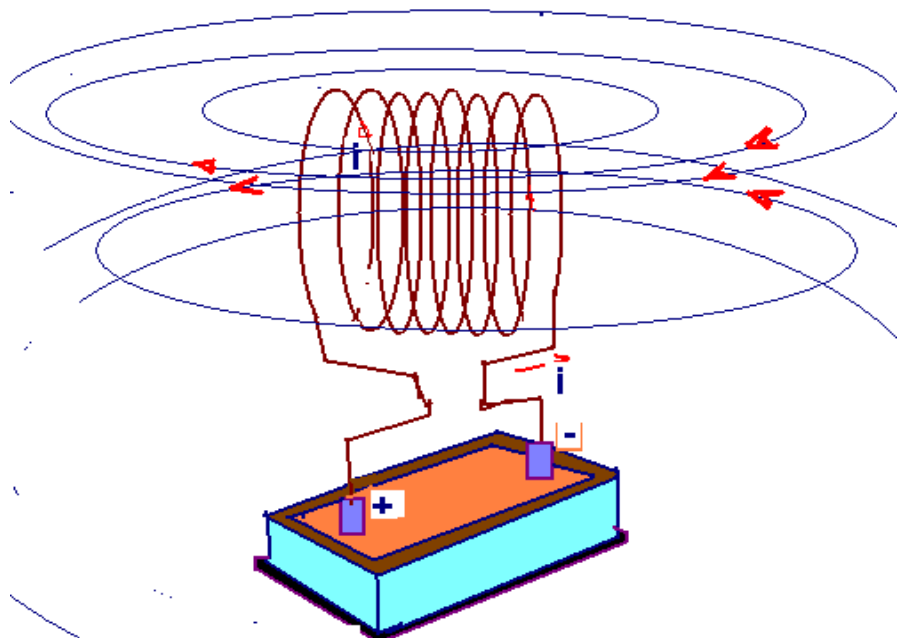
**-Qué es un solenoide:** Todo conductor enrollado de manera que forme un conjunto cilíndrico de N espiras sucesivas, prácticamente circulares, como el que se muestra en la Fig., se denomina solenoide. Este dispositivo se llama también, a veces, bobina, aunque en realidad “bobina” es un término más general que designa cualquier tipo de enrollamiento de un conductor.

**Figura muestra** Un solenoide esta constituido por un conductor dispuesto de manera que forme un rollo de espiras sucesivas.



**Figura :** Líneas de inducción del campo magnético producido por una corriente que circula por un solenoide.

Al conectar el solenoide a una batería, la corriente circulara por sus espiras, estableciendo un campo magnético en puntos tanto del interior como de la parte exterior de la bobina. En la Figura se muestran algunas líneas de inducción de este campo magnético. En



la foto de la Figura tenemos una “materialización” de estas líneas de inducción, la cual se obtuvo mediante limaduras de hierro distribuidas en el campo magnético.

Podemos observar que el campo magnético de un solenoide muestra una configuración muy parecida a la de un imán en forma de barra. Por tanto, un solenoide posee prácticamente las mismas propiedades magnéticas que un imán. Por ejemplo, un solenoide por el que pasa corriente, y que está colocado de manera que pueda girar libremente, se orientará en la dirección Norte-Sur. Además, sus extremos se comportan como los polos de un imán, como se representa en la figura, el extremo del cual emergen las líneas de inducción se comporta como polo norte, y el extremo por el cual regresan al solenoide, funciona como polo sur. Por este motivo, podemos decir que un solenoide es un electroimán, es decir, un imán obtenido por el paso de una corriente eléctrica en un conductor enrollado helicoidalmente, o como la rosca de un tornillo con diámetro uniforme.

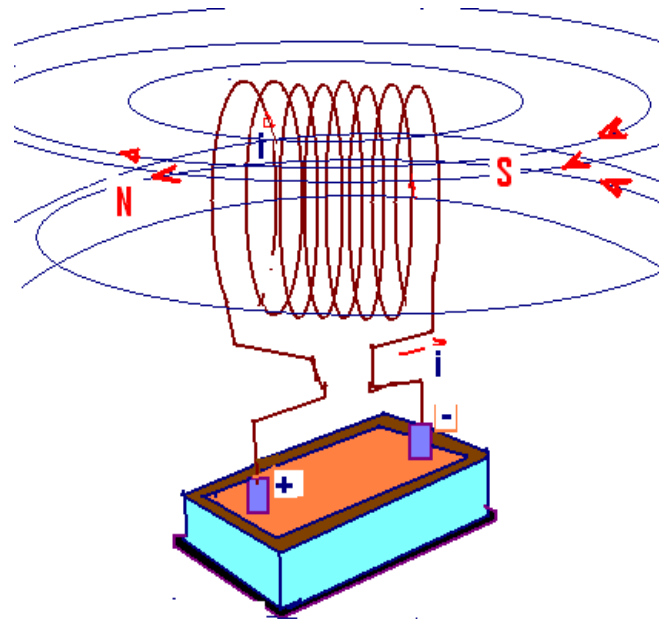
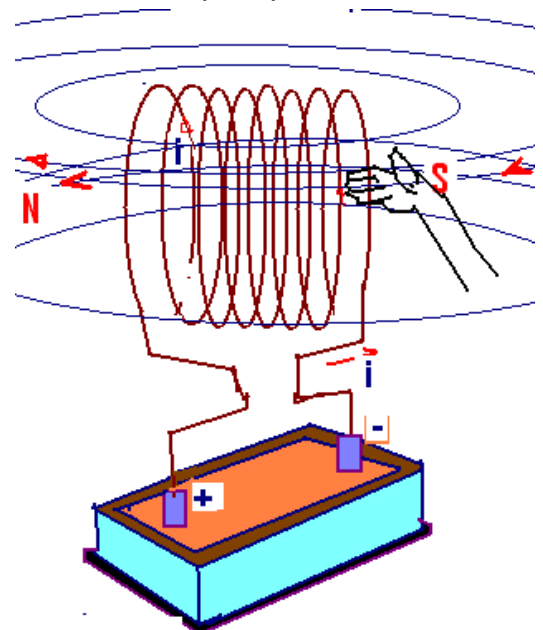


IMAGEN 24-12

**Figura 24-12** Materialización de las líneas de inducción del campo magnético creado por un solenoide, mediante el empleo de limaduras de hierro.

**-Dirección y sentido de B en el interior del solenoide:** Como podemos observar en la foto de la figura, las líneas de inducción en el interior del solenoide son paralelas a su eje; es decir, el vector B, en cualquier punto del interior de la bobina, presenta dicha dirección.

Para determinar el sentido de B en estos puntos, puede emplearse nuevamente la regla de Ampere. Si consideramos la espira de uno de los extremos de la bobina y situamos el pulgar en el sentido de la corriente, los demás dedos indicarán si las líneas de inducción en este extremo, entran o salen del solenoide. Por ejemplo, en la figura, los dedos indican que las líneas de inducción entran por el extremo S de la bobina, y por tanto, el campo magnético en el interior del solenoide se encuentra dirigido de S hacia N, como indica la Figura. Al invertir el sentido de la corriente en las espiras, el sentido del campo magnético en el interior del solenoide también se invertirá.



**La Figura muestra una** Aplicación de la regla de Ampere para la determinación del sentido de las líneas de inducción del campo magnético de un solenoide.

**-Factores que influyen en valor de B:** Consideremos un solenoide largo en comparación con el diámetro de sus espiras. Se observa que en puntos del interior de dicha bobina, no muy cercanos a sus extremos, el campo magnético es uniforme, es decir, el vector  $B$  es prácticamente el mismo en cualquiera de estos puntos.

Se observa (como sucede con los campos magnéticos estudiados en las secciones anteriores), que la magnitud de  $B$  en el interior del solenoide es proporcional a la intensidad de la corriente que circula en sus espiras. Además, existe otro factor importante, el cual influye en el valor de  $B$ : se trata del número de espiras por unidad de longitud, que vamos a representar por  $n$ . Este número se obtiene dividiendo el número total  $N$  de espiras entre la longitud  $L$  del solenoide (Fig. 24-10) es decir,  $n=N/L$ . Se observa que el valor de  $B$  en el interior del solenoide, es proporcional a  $n$ . Tenemos entonces que

- 1)  $B$  es directamente proporcional a  $i$
- 2)  $B$  es directamente proporcional a  $n$

Por consiguiente;  $B \propto ni$

Debemos llamar la atención hacia el hecho de que, contrariamente a lo que pudiera parecer, se ve que en el valor de  $B$  en el interior de un solenoide largo no influye el radio de sus espiras,

### RESUMEN:

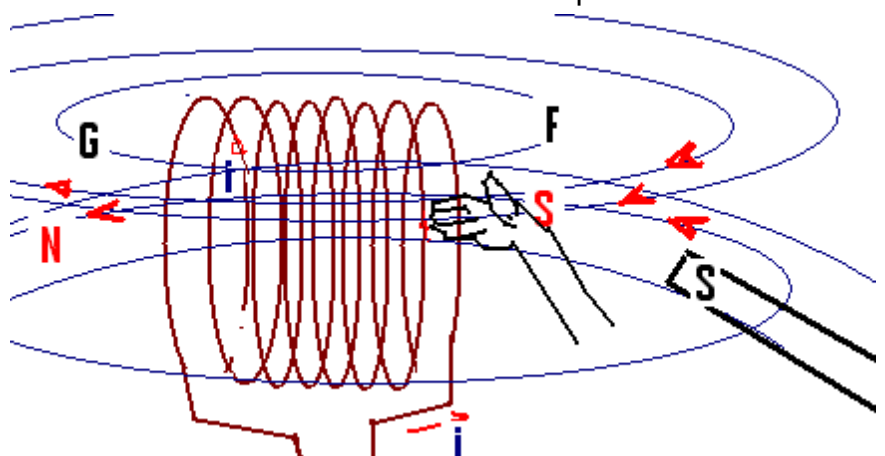
El campo magnético en el interior de un solenoide largo( en puntos alejados de sus extremos), es uniforme, paralelo al eje del solenoide, y orientado según el sentido que se obtiene mediante la regla de Ampere . La magnitud  $B$ , de este campo, es proporcional a la intensidad de la corriente ( $i$ ) en la espiras, y al número ( $n$ ) de estas últimas por unidad de longitud del solenoide; es decir,

$$B \propto ni$$

Ejemplo:

Por un solenoide FG circula una corriente en el sentido que se indica . Al acercar el extremo F del solenoide al polo sur de un imán I, ¿este polo será atraído o rechazado por dicho extremo?

Aplicando le regla de Ampere a una espira



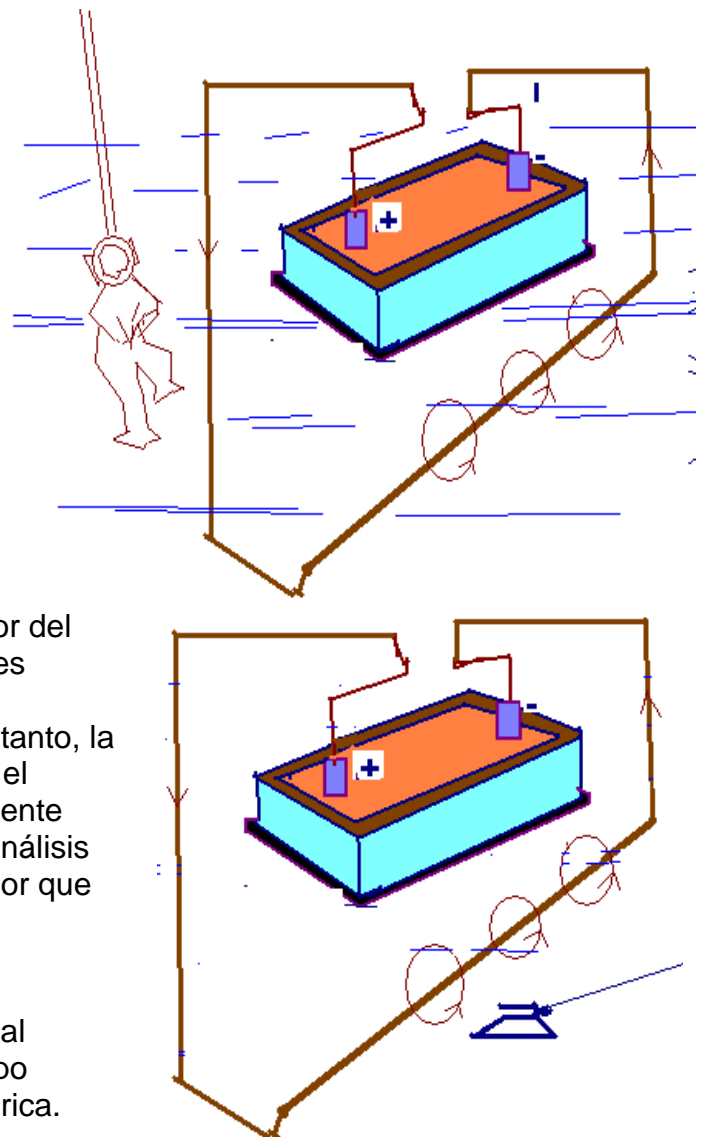
del extremo del solenoide, determinaremos el sentido del campo magnético en su interior. En la Figura 24-14, esta regla se aplicó a la espira del extremo G, mostrando que las líneas de inducción son salientes de dicho extremo. Entonces, G se comporta como un polo norte, y por consiguiente, F se comportaría como un polo sur. En estas condiciones, concluimos que el imán será repelido al acercar su polo sur al extremo F del solenoide.

### Influencia del medio en el valor del campo magnético:

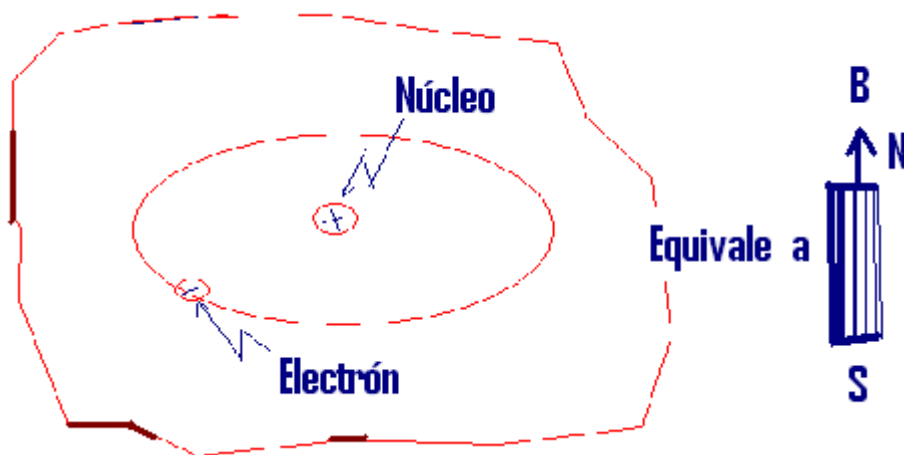
En las secciones anteriores analizamos los campos magnéticos creados por conductores de diversas formas, pero sin referirnos al medio en el cual estos alambres conductores se encontraban colocados. Sin embargo, es importante observar, que este estudio se realizó suponiendo a los conductores situados en el aire (rigurosamente hablando, los conductores deberían encontrarse en el vacío, pero la diferencia entre ambas situaciones – en aire o en vacío – es insignificante).

Supongamos ahora que un conductor se encuentra inmerso en un medio material, o que un objeto cualquiera es acercado a él. Experimentalmente puede comprobarse que, en estos casos, el valor del campo magnético que rodea al alambre es diferente del que existiría si el conductor estuviese solo y colocado en el aire. Por tanto, la presencia de un medio material modifica el campo magnético originado por una corriente eléctrica. A continuación realizamos un análisis de tal modificación tratando de explicar por que sucede.

**Figura** La presencia de un medio material provoca alteraciones en el valor del campo magnético creado por una corriente eléctrica.



**-Imantación de un material:** Cuando un campo magnético actúa en un medio material cualquiera, este medio sufre una modificación, y decimos que se imanta y imana (o bien, se magnetiza).

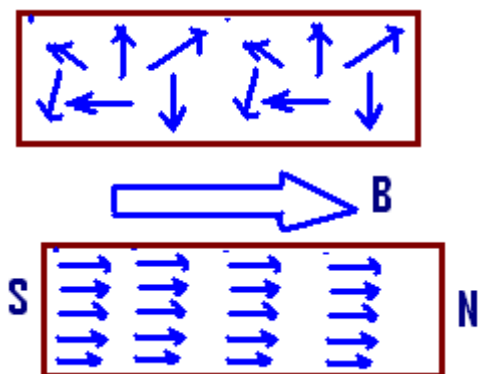


**Figura 24-16** Un átomo puede considerarse como un imán elemental

Para comprender en que consiste esta imantación debemos recordar que en el interior de cualquier sustancia existen corrientes eléctricas elementales, constituidas por los movimientos de los electrones en sus átomos. Estas corrientes elementales crean pequeños campos magnéticos, de manera que cada átomo puede considerarse como un pequeño cuerpo magnetizado, es decir, como un imán elemental.

En el interior de un material en su estado normal (no magnetizado), estos imanes elementales se encuentran orientados enteramente al azar, de manera que los campos magnéticos creados por los átomos de la sustancia no presentara ningún efecto magnético.

Pero si el material se colocara dentro de un campo magnético  $B$ , este campo actuaría sobre los imanes elementales tendiendo a orientarlos. En virtud de esta orientación, los campos magnéticos elementales de los átomos se refuerzan, y el material comienza a mostrar efectos magnéticos externos considerables. En estas condiciones decimos que la sustancia esta imantada o magnetizada, es decir, el material se convierte en un imán, con sus polos norte y sur bien localizados.



De manera que la transformación de un trozo de hierro común en un imán, ocurre debido simplemente a la orientación uniforme de los imanes elementales constituidos por los átomos del metal.

Ahora podemos entender porque, el campo magnético que rodea al conductor es alterado por la presencia de medios materiales.

En efecto, el campo magnético creado por la corriente provoca la imantación del medio material. En tal virtud, el campo de carácter magnético que rodea al



conductor pasa a ser una superposición del campo creado por la corriente y el campo originado por el material imantado. Como en el vacío (o en el aire) el campo magnético se debe únicamente a la corriente eléctrica, se explica por que la presencia de un medio material modifica el campo magnético que rodea a un conductor activo.

**- Materiales paramagnéticos y diamagnéticos:** Experimentos realizados por los científicos han demostrado que la presencia de gran parte de las sustancias existentes en la naturaleza, provoca una alteración muy pequeña en un campo magnético. Este se debe a que al ser colocadas en tal campo, dichas sustancias se imantan muy débilmente. Materiales como el papel, el cobre, el aluminio, el plomo, etc., se comportan de tal manera, siendo este el motivo por el cual no podemos construir imanes con ellos.

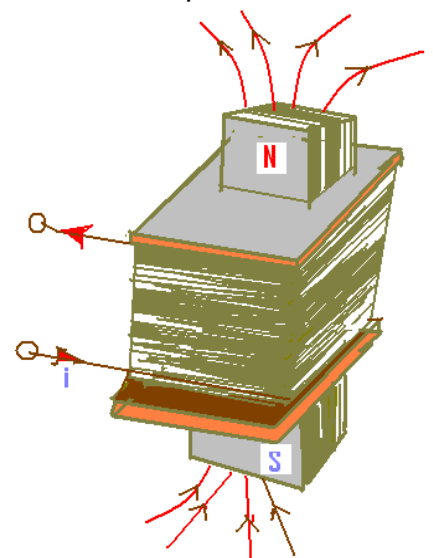
Un análisis más cuidadoso permite comprobar que estas sustancias pueden clasificarse en dos grupos diferentes:

- 1) *Sustancias Paramagnéticas:* son las que al ser colocadas en un campo magnético, se imantan de manera que provocan un pequeño aumento en el valor del campo magnético en un punto cualquiera. En tales sustancias, los imanes elementales tienden a orientarse en el mismo sentido del campo aplicado (Fig. 24-17b), y por tanto, el campo magnético establecido por ellas tendrá el mismo sentido que tal campo aplicado, haciendo que el campo resultante tenga un valor en poco mayor que el inicial. El aluminio, el magnesio, el platino, el sulfato de cobre, etc., son ejemplos bien conocidos de sustancias paramagnéticas.
- 2) *Sustancias Diamagnéticas:* Son las que al ser colocadas en un campo magnético sus imanes elementales se orientan en sentido contrario al del campo aplicado. De modo que establecen un campo magnético en sentido opuesto al de aquel, haciendo que el campo resultante tenga un valor un poco menor que el inicial. Podemos citar como ejemplos típicos de sustancias diamagnéticas a las siguientes: bismuto, cobre, agua, plata, oro, plomo, etcétera.

**- materiales ferromagnéticos:** un pequeño grupo de sustancias existentes en la naturaleza, presenta un comportamiento muy diferente del que acabamos de describir. Estas sustancias, denominadas sustancias ferromagnéticas, se imantan fuertemente al ser colocadas en un campo magnético, de manera que el campo que establecen es muchas veces más intenso que el campo aplicado. Puede comprobarse que en virtud de la presencia de una sustancia ferromagnética, el campo resultante puede volverse centenas, e incluso millares, de veces mayor que el campo magnético inicial.

Una bobina con núcleo de hierro constituye un electroimán.

Las sustancias ferromagnéticas son únicamente el hierro, el cobalto y el níquel, así como las aleaciones

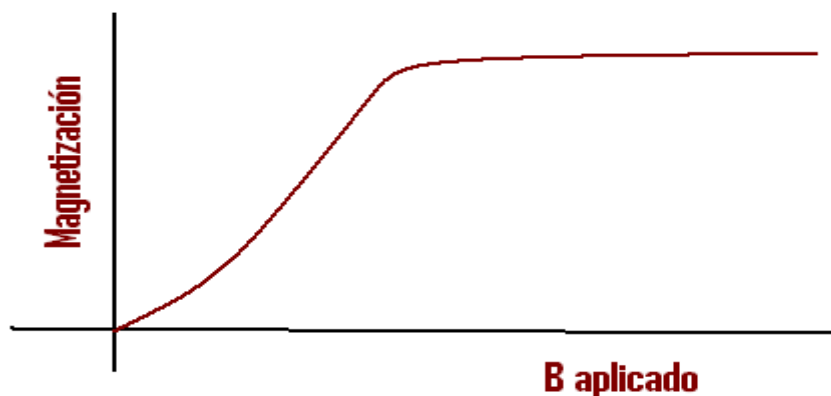


de estos elementos. Tal propiedad de las sustancias ferromagnéticas es aprovechada para obtener campos magnéticos de valor elevado. Por ejemplo, es muy común colocar una barra de hierro (mas bien, acero) en el interior de una bobina. En virtud de la imantación del metal, el campo magnético resultante obtenido de esta manera, es muchas veces mayor que el campo creado únicamente por la corriente que pasa por la bobina. Este conjunto (bobina + barra de acero) constituye entonces un electroimán poderoso, y a dicha barra central se le denomina núcleo del electroimán. Los electroimanes encuentran una gran variedad de aplicaciones en la ciencia y en la tecnología. Una de ellas es una grúa constituida por un potente electroimán, que se emplea para el levantamiento y transporte de cargas muy pesadas de metales férreos.

Como es fácil observar, el gran aumento que una sustancia ferromagnética, al ser imantada, provoca en el campo, se debe al alto grado de alineación que se produce en sus imanes elementales. Dicho alineamiento, o sea, la magnetización de las sustancias, es tanto mayor cuanto mas intenso sea el campo aplicado a ella, pudiendo llegar a una situación en la cual prácticamente todos sus imanes elementales se encuentran alineados en una misma dirección. En este caso, la magnetización de la sustancia alcanza su valor máximo, y luego, a partir de ahí, permanece constante, aunque se aumente el valor del campo magnético aplicado. Este comportamiento de una sustancia ferromagnética se ilustra con el gráfico de la Figura 24-20.

Como sería de esperar, la imantación de un material ferromagnético es tanto menos cuanto más alto sea su temperatura. De hecho, como sabemos, la elevación de la temperatura de un material provoca un aumento en la agitación térmica de sus átomos, dificultando entonces el alineamiento de los imanes elementales que constituyen. Por tanto, la elevación de la temperatura de un material ferromagnético dificulta o elimina su magnetización.

Diagrama que muestra el aumento de la magnetización de una sustancia ferromagnética con el aumento del campo  $B$  que provoca la imantación.



Así pues, podemos resumir el comportamiento magnético de la sustancias de la manera siguiente:



La gran mayoría de las sustancias existentes en ña naturaleza son paramagnéticas o diamagnéticas

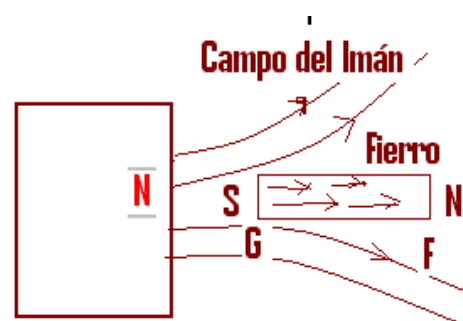
-**Sustancias paramagnéticas:** Son las que en presencia de un campo magnético, se imantan muy débilmente, haciendo que el valor del campo magnético sea ligeramente aumentado.

-**Sustancias diamagnéticas:** Son las que en presencia de un campo magnético, se imantan también débilmente, pero, sin embargo, hacen que el valor del campo magnético se vuelva ligeramente menor.

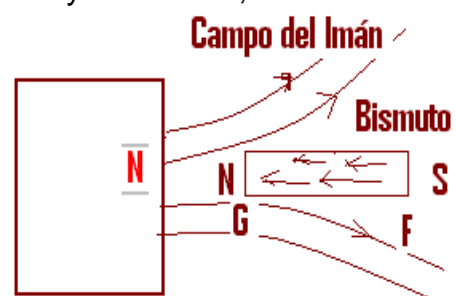
El hierro, el cobalto, el níquel, y sus aleaciones, son sustancias ferromagnéticas, las que sujetas a la acción de un campo magnético, se imantan fuertemente, haciendo que el campo magnético resultante sea muchas veces mayor que el campo aplicado.

-**Por qué un imán atrae un trazo de hierro:** Como se sabe, un pedazo de hierro cualquiera (por ejemplo, un clavo) es atraído por los polos de un imán.

Para comprender por que sucede esto, consideremos que un trozo de hierro, FG inicialmente no imantado, se coloca cerca del polo norte de un imán, como muestra la Figura . Como sabemos, el campo magnético del imán magnetiza a este material de manera que sus imanes elementales quedan alineados en el sentido del campo aplicado. En otras palabras, el trozo de metal se transforma en un imán, cuyos polos norte y sur se encuentran localizados, respectivamente, en los extremos F y G. De manera que el trozo de hierro es atraído por el polo norte del imán porque su extremo G, situado más cerca de este polo, es un polo sur.



Supongamos ahora que una barra de una sustancia diamagnética se aproxima al polo norte del imán. En este caso, como ya sabemos, la sustancia se magnetiza quedando sus imanes elementales orientados en sentido contrario al del campo aplicado, como muestra la Fig. De modo que el extremo G se comporta como un polo norte y la barra será repelida por el imán. Este hecho fue observado por primera vez, en el siglo pasado, por faraday. Al acercar una muestra de bismuto (sustancia diamagnética) a uno de los polos de un imán, hallo que era repelida por dicho polo, contrariamente a lo que sucedía con un trozo de hierro (como estaba acostumbrado a observar).



**-Qué es la histéresis magnética: Vimos** que una sustancia ferromagnética se imanta cuando se coloca en un campo magnético. Pero, un hecho muy conocido es que estas sustancias, al ser retiradas del campo magnético aplicado. Esta propiedad, característica de las sustancias ferromagnéticas, se denomina “histéresis magnética”.

La grafica de la figura ilustra el fenómeno de la histéresis. Obsérvese que cuando aumentamos el valor del campo magnético aplicando el material, su imantación aumenta en la forma descrita por la curva OM. Luego, al disminuir el valor del campo aplicado, vemos que la imantación disminuye siguiendo la curva MN. Entonces, cuando el campo aplicado se reduce a cero, aun queda en el material ferromagnético una imantación residual, representación por el valor ON.

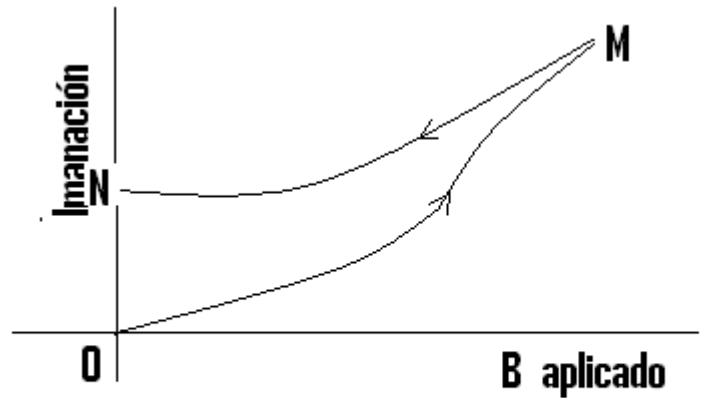
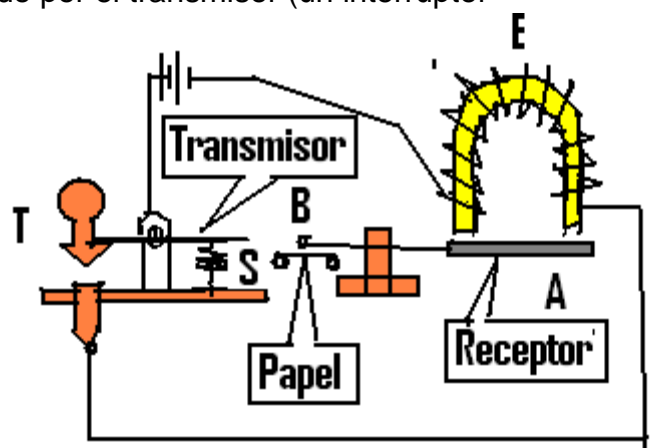


Diagrama que ilustra el fenómeno de histéresis en una sustancia ferromagnética.

Algunos materiales ferromagnéticos, como el “acero templado”, conservan una imantación residual considerable, es decir, presentan una histéresis muy acentuada. Por lo que estas sustancias se emplean en la construcción de imanes permanentes. Por otra parte, en ciertos dispositivos, por ejemplo un electroimán, es necesario que el núcleo de hierro pierda prácticamente toda su imantación cuando desaparece el campo magnético aplicado. Para la confección del núcleo de estos aparatos se utiliza un tipo especial de hierro, denominado “fierro dulce”, el cual presenta una histéresis muy reducida (prácticamente nula)

Observa en la figura que uno de estos telégrafos consta básicamente de dos partes: 1. Un circuito eléctrico formado por el transmisor (un interruptor manual), conectado en serie con una batería y un electroimán E, a cierta distancia. 2. Un dispositivo de palanca, el receptor, que en uno de sus extremos tiene una placa de fierro A, y en la otra, una pieza constituida por un estilete B que hace marcas de tinta sobre una tira de papel que se mueve debajo de él.



Al oprimir el interruptor T, el circuito eléctrico se cierra y una corriente comienza a circular en las espiras del electroimán E. El núcleo de fierro dulce de este electroimán se magnetiza y atrae la placa A. En este momento, el estilete B se apoya sobre el papel, marcando en él el signo respectivo, en tanto el interruptor T se encuentre cerrado. Cuando se suelta T, el resorte S hace que el circuito se interrumpa. Por consiguiente, el núcleo del electroimán pierde su imantación, y la placa A, al dejar de ser atraída, regresa a su posición normal de equilibrio. Por tanto, en estas condiciones el estilete B dejara de tocar el papel.

Es fácil advertir que si T se mantiene oprimido pierde un tiempo corto o uno largo, se marcaran un punto o una raya, respectivamente, en el receptor. Aun cuando la distancia entre el transmisor y el receptor pueda ser de muchos kilómetros, la transmisión de cada signo (punto o raya) ¡se hace de manera casi instantánea!