

PROPIEDADES MAGNÉTICAS

El magnetismo es el fenómeno por el cual los materiales muestran una fuerza atractiva ó repulsiva ó influyen en otros materiales, ha sido conocido por cientos de años. Sin embargo, los principios y mecanismos que explican el fenómeno magnético son complejos y refinados y su entendimiento fue eludido hasta tiempos relativamente recientes. Muchos de nuestros dispositivos modernos cuentan con materiales magnéticos; estos incluyen generadores eléctricos y transformadores, motores eléctricos, radio y TV., teléfonos, computadores y componentes de sistemas de reproducción de sonido y video.

El hierro, algunos aceros y la magnetita son ejemplos bien conocidos de materiales que exhiben propiedades magnéticas. No tan familiar sin embargo, es el hecho de que todas las sustancias están influenciadas de una u otra forma por la presencia de un campo magnético.

1. CONCEPTOS BÁSICOS:

1.1 Campos Magnéticos.

La presencia de un campo magnético rodeando una barra imanada de hierro se puede observar por la dispersión de pequeñas partículas de hierro espolvoreadas sobre un papel colocado encima de una barra de hierro.

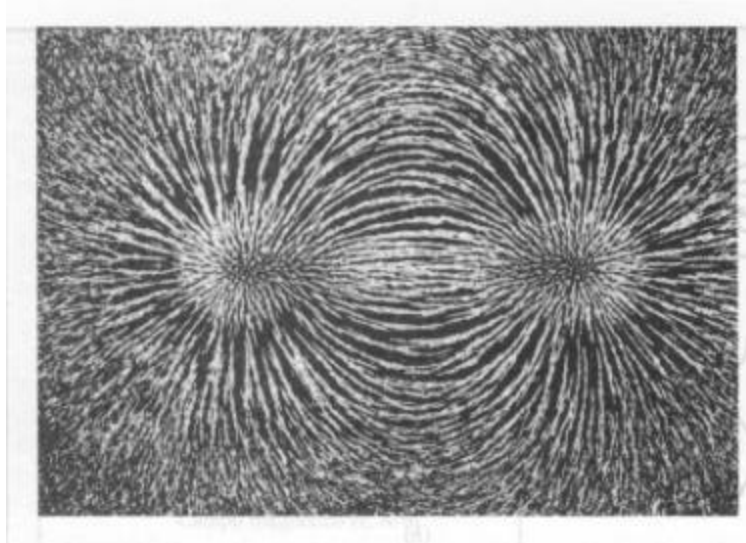


Figura 1. Forma del campo magnético formado por partículas magnéticas espolvoreadas sobre una superficie afectada por una barra imanada

La figura generada por dichas partículas muestra que la barra imanada tiene dos polos magnéticos y las líneas del campo magnético salen de un polo y entran en el otro. En general el magnetismo presenta una naturaleza dipolar; siempre hay dos

polos magnéticos ó centros del campo magnético, separados una distancia determinada.

Los campos magnéticos también son producidos por conductores portadores de corriente. La figura 2 muestra la formación de un campo magnético alrededor de una larga bobina de hilo de cobre, llamada selenoide, cuya longitud es mayor que su radio.

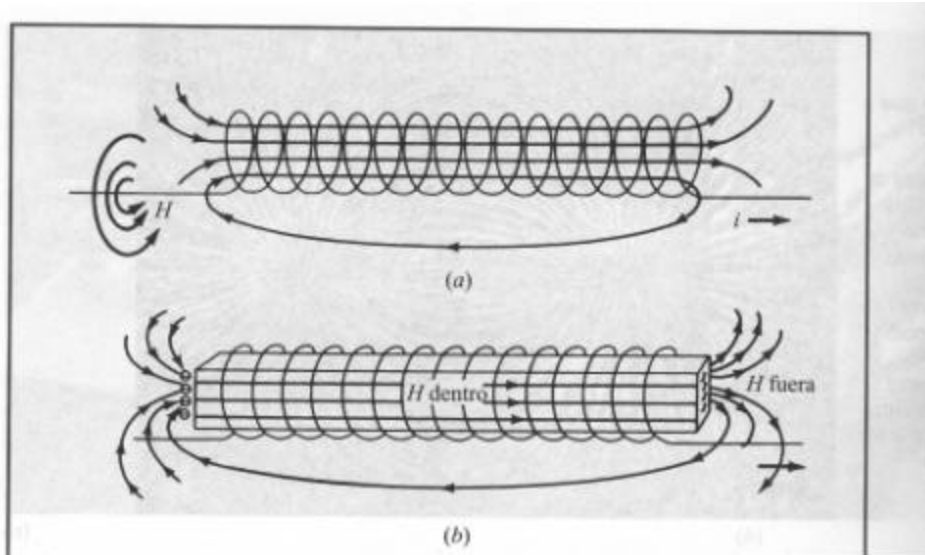


Figura 2. Selenoide con y sin barra imantada en su interior

Para un selenoide de n vueltas y longitud L , la intensidad del campo magnético H es:

$$H = \frac{0.4\pi ni}{L}$$

n : número de vueltas.

i : corriente.

L : longitud del alambre.

$[H] = \text{Amp/m}$ ó Oersted (Oe)

$$1\text{Amp} / \text{m} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$$

1.2 Inducción Magnética.

Si se coloca una barra de hierro desimantada dentro del selenoide, se obtiene que el campo magnético exterior al selenoide es mayor con la barra imantada dentro del selenoide, (ver figura 2). El aumento del campo magnético fuera del

solenoides se debe a la suma del campo generado por el solenoide y el campo magnético externo a la barra imantada. El nuevo campo magnético resultante se denomina inducción magnética ó densidad del flujo ó simplemente inducción y se denota por B.

La inducción B es la suma del campo aplicado H y el campo externo proveniente de la imanación de la barra dentro del solenoide. El momento magnético inducido por unidad de volumen debido a la barra se denomina intensidad de imanación o simplemente imanación y se denomina por M. en el SI de unidades:

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M = \mu_0 (H + M)$$

donde μ_0 es la permeabilidad en el espacio libre

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ tesla. Metro/A } \text{ Tm/A}$$

$$1\text{T} = 1\text{Wb} / \text{m}^2 = 1\text{V.s} / \text{m}^2$$

la unidad de B en el SI es la tesla ó el Wb/m².

La unidad cgs para B es la Gauss y para H es el Oe.

Tabla 1. Magnitudes magnéticas y sus unidades

Magnitud magnética	Unidades SI (mks)	Unidades cgs
B (inducción magnética)	Weber/metro ² (Wb/m ²) o tesla (T)	Gauss (G)
H (campo aplicado)	Amperio / metro (A/m)	Oersted (Oe)
M (imanación)	Amperio / metro (A/m)	
Factores numéricos de conversión:		
1 A / m = $4\pi \times 10^{-3}$ Oe		
1 Wb / m ² = 1.0 x 10 ⁴ G		
Constante de permeabilidad: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m/A		

1.2 Permeabilidad Magnética.

Cuando colocamos un material ferromagnético dentro de un campo magnético, aumenta la intensidad del campo magnético. Este incremento en la imanación se mide mediante una cantidad llamada permeabilidad magnética μ , definida como:

$$\mu = B / H$$

Si el campo magnético se aplica al vacío,

$$\mu_0 = B / H \quad \text{donde } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm / A}$$

Algunas veces es conveniente describir el comportamiento magnético de un sólido en términos de su permeabilidad relativa μ_r , dada por:

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

$$\text{y } B = \mu_r \mu_0 H.$$

Los materiales magnéticos que son fácilmente imanados tienen alta permeabilidad magnética.

1.3 Susceptibilidad Magnética.

Dado que la imanación de un material magnético es proporcional al campo aplicado, el factor de proporcionalidad llamado susceptibilidad magnética X_m , se define como:

$$X_m = M / H$$

2. TIPOS DE MAGNETISMO.

Los tipos de magnetismos se originan por el movimiento de la carga eléctrica básica: el electrón. Cuando los electrones se mueven por un hilo conductor se genera un campo magnético alrededor del hilo.

Las propiedades magnéticas macroscópicas de los materiales, son consecuencia de los momentos magnéticos asociados con electrones individuales. Cada electrón en un átomo tiene momentos magnéticos que se originan de dos fuentes. Una está relacionada con su movimiento orbital alrededor del núcleo; siendo una carga en movimiento, un electrón se puede considerar como un pequeño circuito cerrado de corriente, generando un campo magnético muy pequeño y teniendo un momento magnético a lo largo de su eje de rotación (Figura 3)

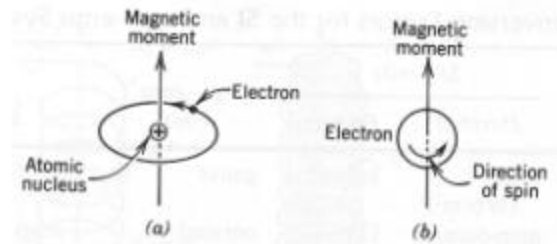


Figura 3. Los dos mecanismos a los que el electrón debe su campo magnético

Cada electrón además se puede considerar rotando alrededor de su eje; el otro momento magnético se forma de la rotación (spin) del electrón el cual se dirige a lo largo del eje de rotación y puede estar hacia arriba ó hacia abajo, según sea la dirección de rotación del electrón. En cualquier caso, el dipolo magnético o momento magnético debido al spin del electrón es el magnetón de Bohr, $\mu_B = 9.27 \times 10^{-24} \text{A.m}^2$. el magnetón de Bohr puede ser positivo o negativo dependiendo del sentido de giro del electrón. En una capa atómica llena, los electrones están emparejados con electrones de spin opuesto, proporcionando un momento magnético neto nulo ($+\mu_B - \mu_B = 0$) por esta razón los materiales compuestos de átomos que tienen sus orbitales o capas totalmente llenas, no son capaces de ser permanentemente magnetizados. Aquí se incluyen los gases inertes así como algunos materiales iónicos.

Los tipos de magnetismo incluyen diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo. Además el antiferromagnetismo y el ferrimagnetismo se consideran subclases de ferromagnetismo. Todos los materiales exhiben al menos uno de estos tipos y el comportamiento depende de la respuesta del electrón y los dipolos magnéticos atómicos a la aplicación de un campo magnético aplicado externamente.

2.1 Diamagnetismo

Es una forma muy débil de magnetismo que es no permanente y persiste solo mientras se aplique un campo externo. Es inducido por un cambio en el movimiento orbital de los electrones debido a un campo magnético aplicado. La magnitud del momento magnético inducido es extremadamente pequeña y en dirección opuesta al campo aplicado. Por ello, la permeabilidad relativa μ_r es menor que la unidad (solo muy ligeramente) y la susceptibilidad magnética, es negativa; o sea que la magnitud del campo magnético B dentro de un sólido diamagnético es menor que en el vacío. El diamagnetismo produce una susceptibilidad magnética negativa muy débil, del orden de $\chi_m = 10^{-6}$. cuando un

material diamagnético se coloca entre polos de un electromagneto fuerte, es atraído hacia las regiones donde el campo es débil.

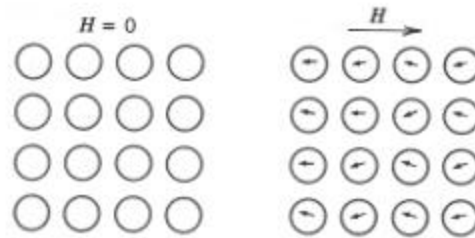


Figura 4. Esquema de los dipolos en un material diamagnético

La figura ilustra esquemáticamente la configuración del dipolo magnético atómico para un material diamagnético con y sin campo externo; aquí las flechas representan momentos dipolares atómicos.

El diamagnetismo se encuentra en todos los materiales pero solo puede observarse cuando otros tipos de magnetismo están totalmente ausentes. Esta forma de magnetismo no tiene importancia práctica.

2.2 Paramagnetismo

Para algunos materiales sólidos cada átomo posee un momento dipolar permanente en virtud de la cancelación incompleta del spin electrónico y/o de los momentos magnéticos orbitales. En ausencia de un campo magnético externo, las orientaciones de esos momentos magnéticos son al azar, tal que una pieza del material no posee magnetización macroscópica neta. Esos dipolos atómicos son libres para rotar y resulta el paramagnetismo, cuando ellos se alinean en una dirección preferencial, por rotación cuando se le aplica un campo externo.



Fig. 5. Esquema de los dipolos magnéticos en un material paramagnético

Estos dipolos magnéticos actúan individualmente sin interacción mutua entre dipolos adyacentes. Como los dipolos se alinean con el campo externo, ellos se engrandecen, dando lugar a una permeabilidad relativa μ_r , mayor que la unidad y a una relativamente pequeña pero positiva susceptibilidad magnética. El efecto del paramagnetismo desaparece cuando se elimina el campo magnético aplicado.

Los susceptibilidades magnéticas para los materiales paramagnéticos se consideran NO MAGNÉTICOS, porque ellos exhiben magnetización solo en presencia de un campo externo.

2.3 Ferromagnetismo.

Ciertos materiales poseen un momento magnético permanente en ausencia de un campo externo y manifiestan magnetizaciones muy largas y permanentes. Estas son las características del ferromagnetismo y este es mostrado por algunos metales de transición Fe, Co y Ni y algunos elementos de tierras raras tales como el gadolinio (Gd).

En una muestra sólida de Fe, Co ó Ni, a temperatura ambiente los espines de los electrones 3d de átomos adyacentes se alinean, en una dirección paralela por un fenómeno denominado imanación espontánea. Esta alineación paralela de dipolos magnéticos atómicos ocurre solo en regiones microscópicas llamadas Dominios Magnéticos.

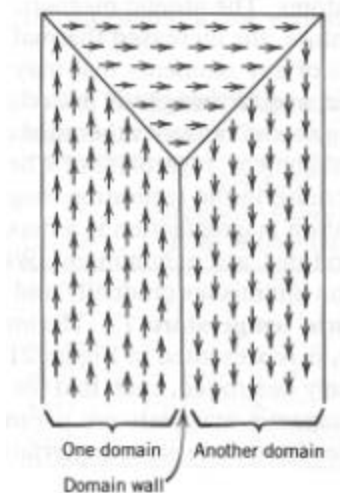


Fig. 6. Esquema de los dominios magnéticos en un material ferromagnético

Si los dominios están aleatoriamente orientados entonces no se genera imanación neta en una muestra.

En una muestra ferromagnética, los dominios adyacentes están separados por bordes de dominios ó paredes a través de las cuales cambia gradualmente la dirección de la magnetización.

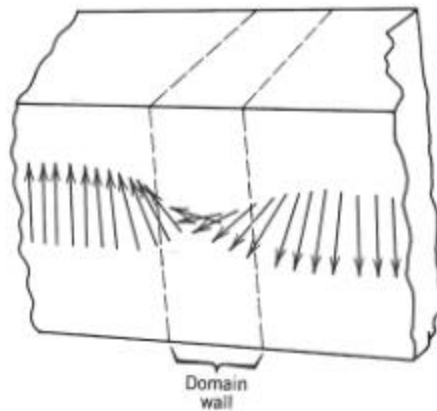


Fig. 7 Forma como varían de dirección los dominios en un material ferromagnético en sus límites o paredes

Dado que los dominios son microscópicos, en una muestra macroscópica habrá un gran número de dominios y pueden haber diferentes orientaciones de magnetización. La magnitud del campo M para el sólido completo, es el vector suma de las magnetizaciones de todos los dominios, siendo la contribución de cada dominio de acuerdo a su fracción de volumen. Para las muestras no magnetizadas el vector suma ponderado de las magnetizaciones de todos los dominios es cero.

En los materiales ferromagnéticos la inducción se ve notoriamente incrementado con la intensidad del campo. Una grafica de B vs H ilustra este comportamiento.

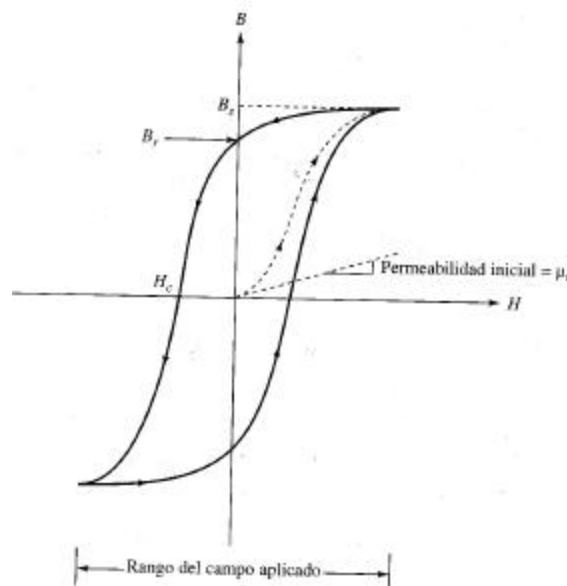


Figura 8. Gráfica H vs B en un material ferromagnético

Inicialmente la muestra se encontraba desmagnetizada, con $B=0$ en ausencia de campo. La aplicación inicial del campo genera un ligero aumento en la inducción comparable con el de los materiales paramagnéticos. Sin embargo un pequeño aumento del campo, genera un pronunciado aumento de la inducción con un mayor aumento de la intensidad del campo. La intensidad de inducción alcanza la inducción de saturación, B_s . En este momento los dominios, por medio de rotaciones se orientan con respecto al campo H . Gran parte de esta inducción se mantiene tras la desaparición del campo, la inducción cae hasta un valor no nulo, inducción remanente B_r , con un campo magnético $H=0$. Para eliminar esta inducción remanente, el campo debe ser invertido. Así B se reduce a cero cuando se alcanza un campo coercitivo H_c . Al continuar aumentando la magnitud del campo invertido el material puede saturarse de nuevo ($-B_s$) y aparece una inducción remanente cuando el campo es eliminado. Este camino reversible puede ser recorrido continuamente mientras el campo aumente y disminuya cíclicamente entre los extremos indicados, este ciclo se conoce como ciclo de Histéresis.

2.4 Antiferromagnetismo

En presencia de un campo magnético, los dipolos magnéticos de los átomos de los materiales antiferromagnéticos se alinean por si mismo en direcciones opuestas.

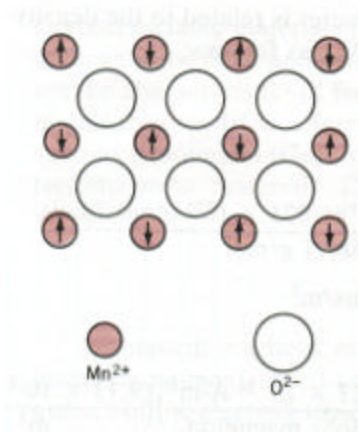
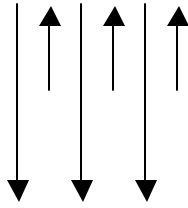


Fig. 9. Orientación de los dominios magnéticos en un material antiferromagnético

2.5 Ferrimagnetismo

En algunos materiales cerámicos, iones diferentes poseen distinta magnitud para sus momentos magnéticos y cuando estos momentos magnéticos se alinean en forma antiparalela, se produce un momento magnético neto en una dirección. Este tipo de materiales se llaman ferritas. Estas ferritas tienen baja conductibilidad y son útiles para muchas aplicaciones eléctricas.



Efecto de la temperatura

A cualquier temperatura por encima de los 0°K , la energía térmica hace que los dipolos magnéticos de un material ferromagnético se desvíen de su perfecto alineamiento paralelo. Finalmente, al aumentar la temperatura, se alcanza una temperatura a la cual el ferromagnetismo de los materiales ferromagnéticos desaparece completamente y el material se torna paramagnético. Esta temperatura es denominada temperatura de Curie. Si el material se enfría por debajo de la temperatura de Curie, los dominios ferromagnéticos se vuelven a formar y el material recupera su ferromagnetismo.