

## Tema 7 PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA (RESUMEN)

Todas las sustancias tienen en común estar constituidas por átomos formados por un núcleo rodeado de electrones que describen órbitas cerradas. Éstos pueden considerarse como pequeñas espiras o dipolos magnéticos estando cada uno de ellos caracterizado por un momento magnético  $\vec{m}$  ( $\vec{m} = I\vec{S}$ ) suma del momento magnético orbital más el de spin. Sin embargo a pesar de que cada  $e^-$  posee un  $\vec{m}$  distinto de cero, en un átomo dicho valor puede ser nulo o poseer un valor permanente. Atendiendo a esto, los materiales pueden ser:

1. Paramagnéticos y ferromagnéticos, que poseen momentos magnéticos permanentes.
2. Diamagnéticos que no poseen momentos magnéticos permanentes.

### 1.- Imanación o Magnetización

Para describir desde el punto de vista macroscópico el estado magnético de la materia se introduce el vector imanación cuya magnitud es igual al momento magnético por unidad de volumen para una determinada sustancia.

$$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta v} = n \vec{m}$$

$$M = \frac{I_s S}{Sl} = \frac{I_s}{l} = j_s$$

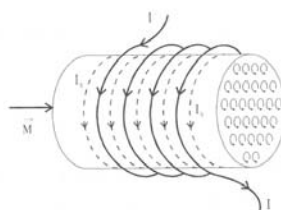


Fig. 8.1.- Corrientes circulares atómicas dentro de un material imanado, que se cancelan con las corrientes vecinas excepto en los puntos superficiales. El resultado es una corriente superficial semejante a la de un solenoide.

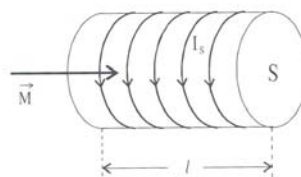


Fig. 8.2.- Cilindro de imanación uniforme para el estudio de la relación entre  $M$  y la corriente superficial por unidad de longitud.

Se expresa la imanación en función de la corriente superficial  $I_s$  de Ampère (suma de corrientes circulares microscópicas de un material imanado) que es semejante a la corriente real de los arrollamientos de un solenoide  $j_s$ , es la corriente superficial por unidad de longitud. Su significado es similar a la del módulo del vector polarización en dieléctricos  $P = \sigma_i$

### 2.- Excitación magnética o intensidad de campo magnético

Consideremos un solenoide circular por el que pasa una corriente  $I$  en cuyo interior tenemos una sustancia paramagnética. El campo magnético total del sistema será la suma de las dos contribuciones, es decir:

$$B = \mu_0(nI + M) = B_0 + \mu_0 M$$

ya que  $M = \frac{I_s}{l}$ . Se define una nueva magnitud  $H$ , excitación magnética o intensidad de campo magnético, para cuantificar solamente el efecto de la corriente externa  $I$  que circula por el solenoide. Dicha magnitud tendrá la misma dirección y sentido que  $B$  pero no considera el efecto de la corriente  $I_s$ . Se mide en A/m.

$$\frac{B}{\mu_0} = nI + M \Rightarrow \frac{B}{\mu_0} - M = nI = H$$

### 3.- Susceptibilidad y permeabilidad magnéticas

En los materiales magnéticos lineales como son los diamagnéticos y los paramagnéticos se comprueba que la imanación es directamente proporcional a la excitación magnética (corriente que la produce), así:

$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$  donde  $\chi_m$  es un coeficiente sin dimensiones que se denomina susceptibilidad magnética.

Así el campo magnético total en un solenoide que posea una sustancia de este tipo en su interior será:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu_0\mu_r\vec{H} = \mu\vec{H}; (\mu_r = 1 + \chi_m)$$

donde  $\mu$  será la permeabilidad magnética del material y la relación entre B y H queda como:

$$\vec{B} = \mu\vec{H}$$

### 4.- Clasificación de las sustancias desde el punto de vista magnético

Si  $\mu > \mu_0 \Rightarrow \chi_m > 0$  la sustancia es paramagnética.

Si  $\mu < \mu_0 \Rightarrow \chi_m < 0$  la sustancia es diamagnética

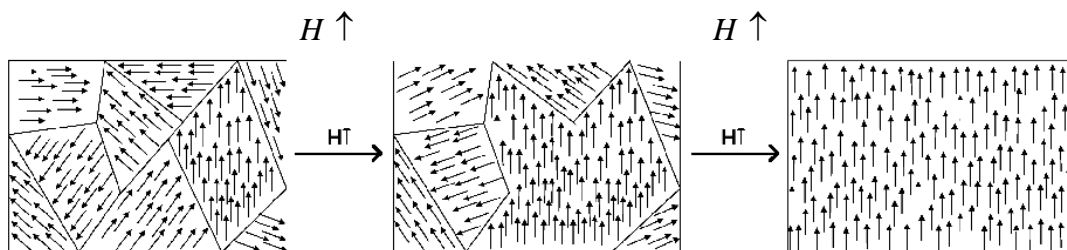
Si  $\mu \gg \mu_0 \Rightarrow \chi_m \gg 0$  la sustancia es ferromagnética.

### 5.- Ferromagnetismo

Las sustancias ferromagnéticas y sus aleaciones (Fe, Co, Ni) presentan efectos magnéticos fuertes, sus principales características son:

- El campo magnético en ellas puede ser miles de veces mayor que el campo externo aplicado.
- La relación entre  $\vec{M}$  y  $\vec{H}$  ya no es proporcionalmente lineal, ya que  $\chi_m$  y  $\mu$  no son constantes y dependen de  $\vec{H}$ .
- El comportamiento depende de los tratamientos previos (histéresis).

El ferromagnetismo tiene su origen en las intensas fuerzas que los momentos magnéticos atómicos ejercen entre sí, de modo que en una pequeña región de material los momentos se alinean entre si incluso sin campo externo, formando un dominio con un momento magnético diferente del de los dominios vecinos. Al aplicar un B externo los dipolos de los distintos dominios tienden a alinearse en la dirección del campo, produciéndose la imanación del material, la cual tiene lugar inicialmente por “corrimiento de fronteras”, de forma que los dominios con orientación igual o próxima a la de B aumentan su tamaño a expensas de los vecinos; cuando el campo aplicado se hace muy intenso, la sustancia se imana totalmente y se alcanza la saturación. Si posteriormente se anula el campo, el material no retorna al estado original, y queda una imanación remanente (imán permanente), para anular completamente la imanación hay que aplicar un campo de sentido contrario, campo coercitivo. El ferromagnetismo es una propiedad de la estructura cristalina por lo cual no se puede presentar en fluidos. Para los materiales ferromagnéticos existe una temperatura crítica, T<sup>a</sup> de Curie, por encima de la cual la agitación térmica destruye los dominios y el material pasa a ser paramagnético.



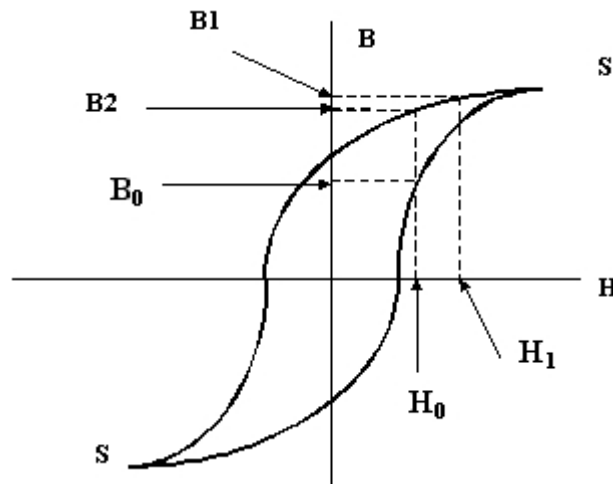
### 6.- Histéresis

Se produce histéresis al someter un núcleo ferromagnético a un campo creciente, los imanes (dipolos magnéticos) elementales giran para orientarse según el sentido del campo. Al decrecer el campo, la mayoría de los imanes elementales recobran su posición inicial, sin embargo, otros no llegan a alcanzarla debido a los rozamientos moleculares conservando en mayor o menor grado parte de su

orientación forzada, haciendo que persista un magnetismo remanente que obligue a cierto retraso de la inducción respecto de la intensidad de campo.

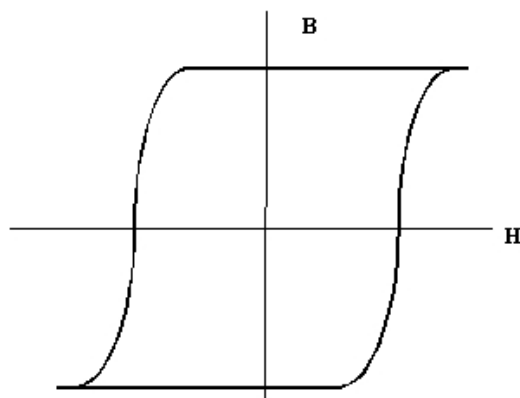
Estudiamos la imanación en un anillo toroidal de sustancia ferromagnética. Supongamos un campo externo  $\vec{H}$  debido a una corriente  $I$ , variable. Al ir aumentando  $H$  aumenta  $B$  hasta un valor de saturación (primera curva de imanación, que parte desde el origen) el cual se presenta cuando todos los dipolos están alineados. Si en estas condiciones se reduce paulatinamente  $H$  (es decir  $I$ ) los valores de  $B$  son superiores a los de la primera curva y cuando  $H = 0 \rightarrow B \neq 0$  no se anula, el campo obtenido se denomina campo remanente  $B_r$  que indica a la parte de la inducción magnética que queda en el núcleo cuando el campo que realizó dicha inducción es nulo. A este efecto se denomina histéresis, que en electrotecnia se define como el retraso de la inducción respecto al campo que lo crea.

Para anular el valor de  $B$  hay que someter al material a un campo en sentido opuesto ( $I$  contraria); el valor de  $\vec{H}$  para que  $\vec{B}$  sea nulo se denomina campo coercitivo  $H_c$ . Por encima de este valor  $\vec{B}$  cambia de sentido hasta alcanzar la saturación en sentido opuesto. Se llama campo coercitivo al campo de sentido contrario necesario para anular el magnetismo remanente.

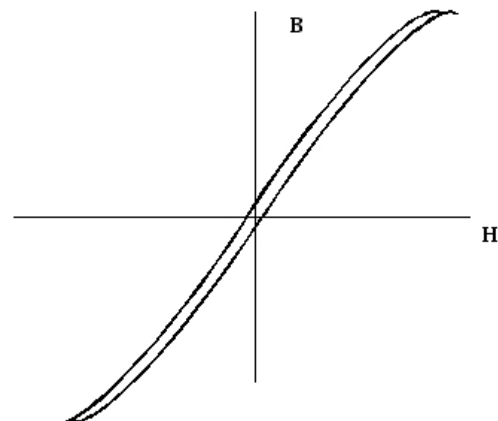


Para cada sustancia el ciclo de histéresis supone unas pérdidas de energía iguales al área encerrada por la curva. En función de cómo sea el ciclo las sustancias se clasifican en:

- a) Duras. Poseen un ciclo de histéresis ancho, con un magnetismo remanente alto y un campo coercitivo grande,. Se utilizan para imanes permanentes o para materiales magnéticos de grabación de datos (ej. acero).
- b) Blandas. Poseen un ciclo estrecho y se utilizan para núcleos de transformadores, o máquinas de corriente alterna de forma que aunque el campo cambie de sentido no se produzcan pérdidas muy grandes de energía (hierro dulce).



Duras

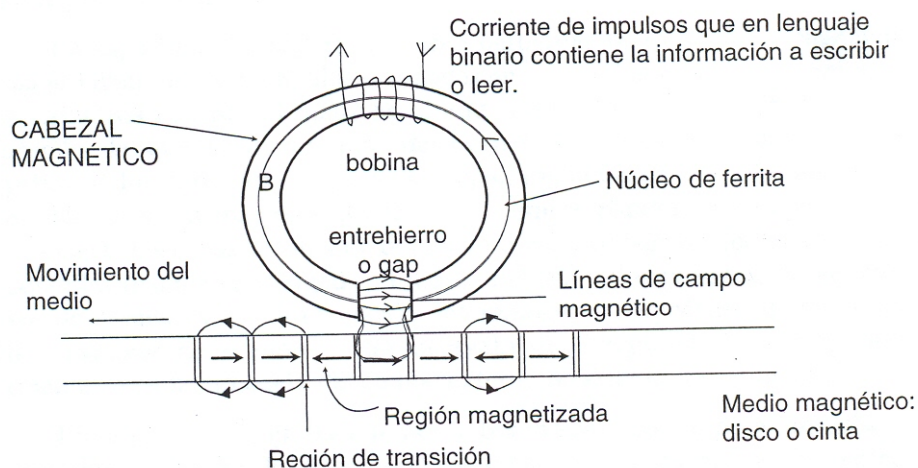


Blandas

## 8.-Proceso de grabación magnética

La histéresis magnética es el fenómeno que permite el almacenamiento de información en los diferentes soportes magnéticos como cintas de video y audio, discos duros o flexibles etc., en ellos el campo induce una magnetización de los dipolos magnéticos que se codifica como 0 o 1. Los materiales utilizados para la grabación magnética han de ser de alta remanencia magnética. La remanencia es fundamental ya que de nada sirve inducir el magnetismo sobre una superficie, si ésta queda desmagnetizada inmediatamente. Si no hay remanencia, tal cual se grabe la información, se borra.

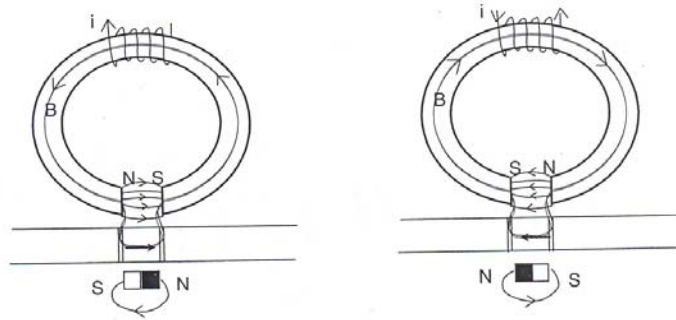
La información se graba sobre el soporte cuando éste pasa delante del electroimán. Esta señal magnética actúa reordenando las partículas ferromagnéticas que cubren la superficie del soporte, es decir, magnetizándolas conforme el soporte va pasando por delante del electroimán. El cabezal magnético, dispositivo capaz de leer y escribir, es un núcleo de ferrita en forma de herradura con sus dos polos ligeramente separados por una distancia muy pequeña denominada **entrehierro o gap**. El núcleo está rodeado por una bobina de forma que el sentido del campo en el entrehierro depende del de la corriente en la bobina. Las líneas de campo que cruzan el gap imantan las partículas ferromagnéticas de la superficie del soporte situado frente el. De esta manera es posible pasar de un estado magnético al opuesto en el ciclo de histéresis de la partícula y obtener dos posibles imanaciones asociadas a los estados 0 o 1. En la figura se representa esquemáticamente un cabezal magnético y un soporte magnético.



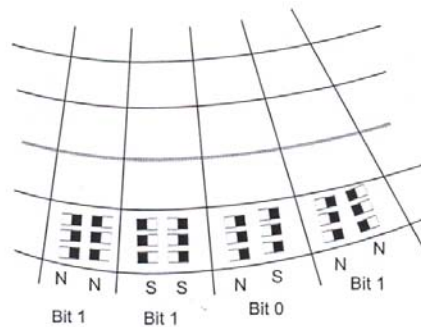
Describamos brevemente cómo se realizan los procesos de grabación y lectura sobre un disco duro.

### a) Grabación

Al grabar, la señal eléctrica se transforma en señal magnética. El cabezal grabador magnetiza la cinta según el patrón deseado (en función de la señal). En el proceso de grabación, por la bobina del cabezal pasan impulsos de corriente y en el núcleo se genera un incremento del campo magnético. Las líneas de campo cruzan el entrehierro imantando las partículas ferromagnéticas de la superficie del disco situada frente al gap, así las partículas se orientan quedando sus polos alineados según la dirección del campo. Como vemos en la figura desde el polo norte de una partícula del soporte se apunta al polo sur del cabezal y viceversa. Como la partícula puede presentar dos posibles estado de imanación, éstos se asocian a dos estados binarios de información 0 y 1. Las colecciones de datos se graban en círculos concéntricos al eje del disco llamados pistas.

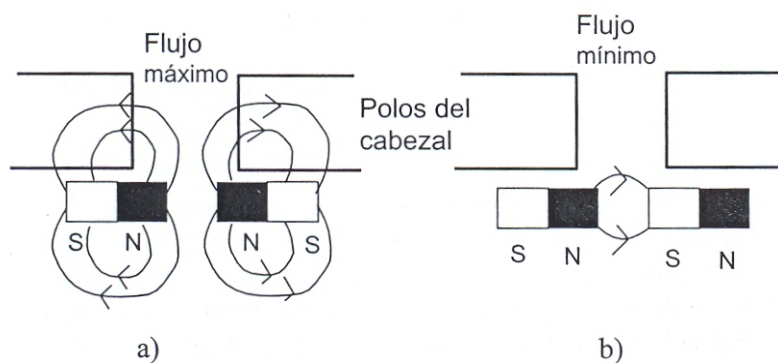


Cada una de estas se divide en un número igual de segmentos llamados sectores. En la figura se representa un disco duro con el número 1101



#### b) Lectura

Al reproducir, la señal magnética se transforma en señal eléctrica. Se desplaza el cabezal sobre la superficie del disco o soporte móvil que contiene las matrices de partículas imanadas situadas en diferentes pistas o sectores. El entrehierro del cabezal encuentra las pistas en mosaico matricial de pequeños imanes cuyos campos magnéticos van sucesivamente actuando sobre el cabezal. Se producen variaciones de flujo en el entrehierro del cabezal y se generan impulsos de inducción de flujo magnético en el gap del cabezal que dependerán de la orientación de los pequeños imanes. Si se encuentran con sus polos N o S enfrentados su flujo se dispersa y penetra en el gap y se genera un impulso de corriente asociado a un 1 (fig a). Cuando los polos de las partículas están orientados N con S, su campo magnético se concentra y no penetra en el gap. El flujo detectado es mínimo y se asocia con el valor 0 (fig b.).



#### 9.-Grabación óptica

Se fundamentan en la reflexión de un haz luminoso, generalmente láser, sobre un soporte. Emplean un cabezal láser como dispositivo de grabación y lectura y un soporte que suele ser de plástico sobre el que se inscriben marcas reconocibles. En el caso de los discos ópticos, la información se inscribe en la superficie donde se producen marcas extremadamente pequeñas, cóncavas o convexas conocidas como pits. Al enviar un láser sobre ellas, si la marca es cóncava el haz es reflejado al cabezal del láser y se genera un 1, o bien si

el láser diverge en una marca convexa no se detecta reflexión y se genera un 0. Si el soporte óptico es sólo de lectura se conoce como CD-ROM ( compact disk-read only memory) y si es de lectura y grabación DVD. Debido a la focalización extremadamente precisa del láser y que se pueden realizar inscripciones del orden de  $\mu\text{m}^2$ , se obtiene una altísima capacidad de almacenamiento de datos, además los cabezales láser tienen acceso muy rápido a la información.

