

TK 25  
B4

"Polos iguales se repelen y polos distintos se atraen".

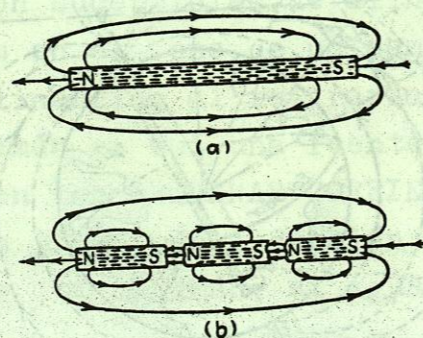


Fig. 17 Seccionamiento de un imán.

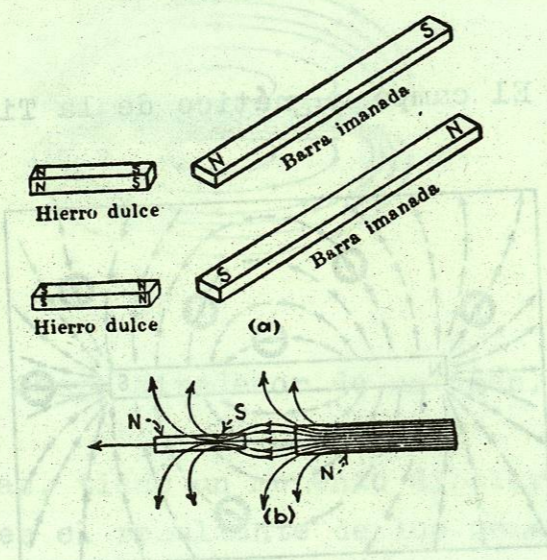


Fig. 18 Polos magnéticos inducidos.

Las propiedades mencionadas de los imanes pueden deducirse sin gran dificultad de los conceptos expuestos.

### 1.5 LA BOBINA O SOLENOIDE

Una bobina ( o solenoide) es un alambre largo enrollado en una hélice apretada y que lleva una corriente  $i$ . La Fig. 19 muestra un solenoide de espiras separadas y la Fig. 20 muestra el efecto de apretar dichas espiras. Obsérvese que al apretar las espiras, las líneas de inducción de la bobina se asemejan a las líneas de inducción de un imán. El campo magnético de la bobina es la suma vectorial de los campos producidos por todas las espiras. Un solenoide tiene momento dipolar ( la suma de los momentos de todas las espiras) y por lo tanto tenderá a orientar se al ser colocado en el seno de un campo magnético. Existe una sencilla REGLA DE LA MANO DERECHA PARA BOBINAS, para determinar el sentido del campo magnético o del momento dipolar magnético de una bobina:

" Tómesese la bobina en la mano derecha con los dedos apuntando en la dirección de la corriente que recorre la misma; el pulgar señalará hacia el polo norte de la bobina".

Esta sencilla regla será de gran utilidad en el análisis de circuitos magnéticos, y debe distinguirse la aplicación para CONDUCTORES de la aplicación para BOBINAS.

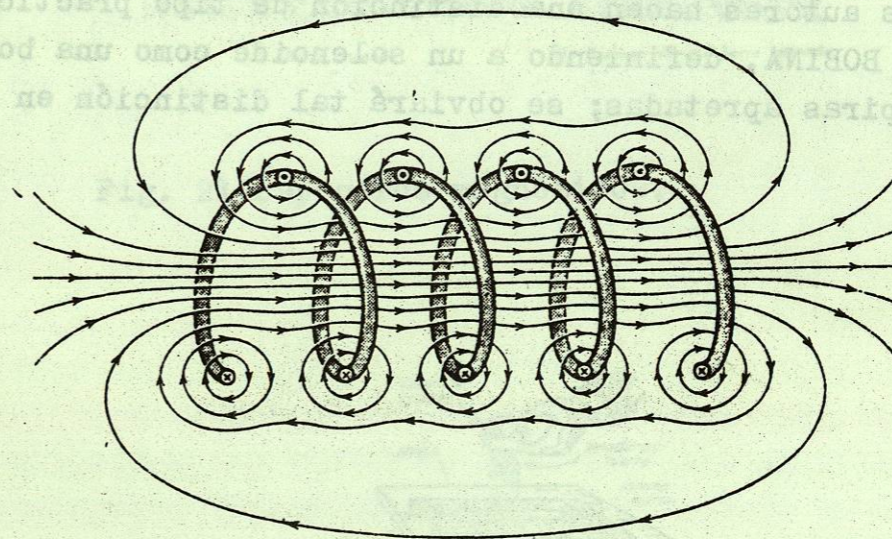


Fig. 19 Solenoide de espiras separadas.



TK 25  
B4

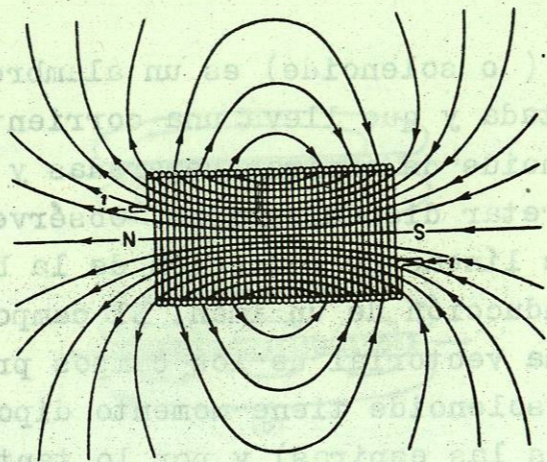


Fig. 20 Solenoide de espiras apretadas.

Cabe aclarar que el concepto "momento dipolar magnético" es útil para representar magnéticamente a un dispositivo como un vector de dirección SUR-NORTE, lo cual permite visualizar el comportamiento de dicho dispositivo en un campo magnético externo. Además, las expresiones analíticas que se estudian en un curso de Física están en función del momento dipolar magnético y no del vector campo magnético, el cual no representa analíticamente el comportamiento de una espira de corriente.

Algunos autores hacen una distinción de tipo práctico entre SOLENOIDE y BOBINA, definiendo a un solenoide como una bobina larga de espiras apretadas; se obviará tal distinción en este escrito.

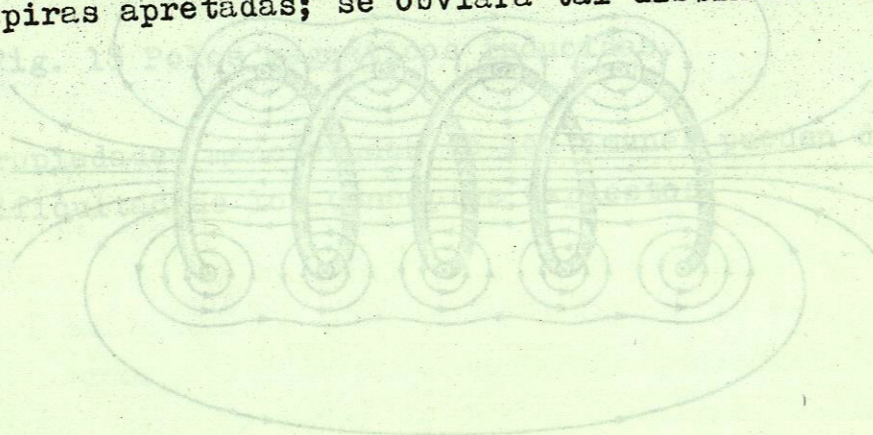


Fig. 19 Solenoide de espiras apretadas.

## 1.6 INDUCCION MAGNETICA Y FLUJO MAGNETICO

Las primeras manifestaciones de los fenómenos magnéticos se observaron en las propiedades de la piedra imán. Dicho material tiene la propiedad de atraer objetos de hierro con una intensidad que crece conforme su distancia a éstos disminuye. Se concluyó así que el imán estaba rodeado por un campo de fuerza magnética. Para obtener una idea de la distribución de dicho campo de fuerza se estudió lo que se llama el ESPECTRO MAGNETICO, que es una traza de la fuerza magnética obtenida espolvoreando limaduras de hierro sobre un cristal delgado colocado a su vez sobre un imán. El cristal, al igual que muchos otros materiales (papel, caucho, cobre, etc.) es MAGNETICAMENTE TRANSPARENTE, es decir, deja pasar la influencia de la fuerza magnética. La Fig. 21 ilustra el espectro magnético de una barra imanada. La Fig. 22 indica una forma simple de obtener un espectro magnético.

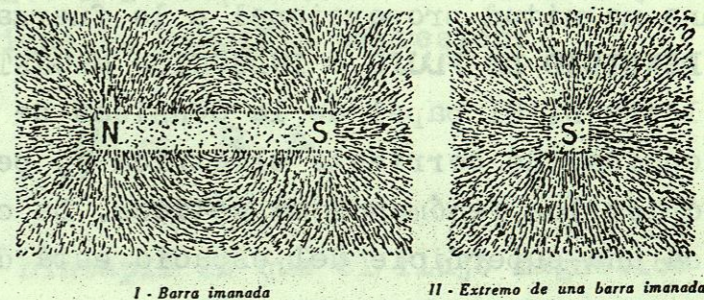


Fig. 21 Espectros magnéticos.

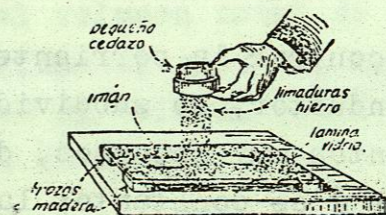


Fig. 22 Cómo se obtiene un espectro magnético.



TK 25  
B4

De el estudio de el espectro magnético se obtuvieron algunas conclusiones:

- a) La distribución no uniforme de la fuerza magnética alrededor del imán; existen regiones de alta intensidad de fuerza magnética denominados **POLOS**.
- b) Las limaduras de hierro se ordenan en lugares geométricos definidos, a los cuales se llamó **LÍNEAS DE FUERZA** o **DE INDUCCION**.
- c) La disposición de las líneas de fuerza en relación a los polos sugiere la existencia abstracta de un **FLUJO MAGNÉTICO**, al cual se le asignó convencionalmente el sentido **NORTE-SUR**, para el exterior del imán.
- d) Las líneas de fuerza se encuentran más espaciadas en las regiones de menor intensidad de fuerza magnética. sea, la fuerza es más intensa en las regiones de mayor **DENSIDAD DE FLUJO**.

De las conclusiones anteriores se escogió para caracterizar al campo magnético un vector de dirección tangente a las líneas de fuerza, de una magnitud proporcional a la fuerza magnética y se le denominó **DENSIDAD DE FLUJO** o **INDUCCION MAGNETICA**, representándose con la letra **B**. El papel de la densidad de flujo es análogo al de la densidad de corriente eléctrica **J**, permite manejar a nivel microscópico los fenómenos magnéticos. La corriente total que atraviesa una superficie del espacio está definida por la ecuación:

$$i = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad 1.4$$

que indica que para encontrar la corriente total que atraviesa una sección **S** de un conductor, se subdivide dicha sección en un número grande de elementos muy pequeños, de tal manera que en cada elemento el vector **J** es constante; la magnitud de la corriente que atraviesa el elemento de superficie normalmente es:

$$di = J dA \cos \theta = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad 1.5$$

Integrando sobre toda la superficie **S** se obtiene la Ec 1.4.

En forma análoga, el flujo magnético total que atraviesa una sección dada del espacio queda definido por:

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad 1.6$$

Si para la sección **S** considerada el vector **B** es constante ( las líneas de inducción son paralelas y están igualmente espaciadas):

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B dA \cos \theta = B \cos \theta \int dA$$

$$\phi = B A \cos \theta \quad 1.7$$

donde **B** es la magnitud de **B**, **A** es el área de la sección ( superficie) considerada, y  $\theta$  es el ángulo entre **B** y la normal al área de la sección. Así, si las líneas de inducción atraviesan normalmente a la superficie en cuestión (  $\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$  ) se obtiene la sencilla expresión:

$$\phi = B A \quad 1.8$$

Se hace hincapié en que el flujo magnético no es algo material, es una cantidad definida por **ANALOGIA** para relacionar el campo magnético con el espacio macroscópico en el que actúa. Por ejemplo, en Mecánica de los Fluidos, al tratar de describir un flujo por una tubería se puede obtener una expresión analítica para la velocidad de cada partícula de fluido al pasar por una sección dada; sería un punto de vista microscópico. Pero para tener una idea del volumen total de fluido ( punto de vista macroscópico) se define el gasto **Q**, análogo matemático del flujo magnético, que es el volumen total de fluido que atraviesa una sección por unidad de tiempo:

$$Q = \int_S \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

donde:  
V - Velocidad  
Q - Gasto en volumen.



TK25  
B4

Como ya se mencionó, la densidad de flujo o inducción magnética es un vector, y al asignar a cada punto del espacio donde existe un campo magnético un vector de inducción magnética, se define un campo vectorial. Surge en este punto una cuestión, ¿Cuál es la necesidad de manejar dos vectores, H y B, que representan ambos al mismo campo magnético? Históricamente, el vector inducción magnética fue el que se definió inicialmente para caracterizar al campo magnético, como se observa en la introducción de este artículo. Los físicos desarrollaron ecuaciones para expresar la acción de un campo magnético sobre cargas móviles, espiras de corriente, el campo generado por un solenoide, etc; pero al tratar de expresar el campo magnético en presencia de materiales ferromagnéticos, sucede que, como éstos alinean sus momentos dipolares al ser excitados por un campo externo, fenómeno al que se denominó IMANACION POR INDUCCION al estudiar las propiedades de los imanes, las ecuaciones analíticas para la inducción magnética en cada punto toman una forma en extremo difícil de manejar ( véase: Reitz, J.R. y Milford, F.J., FUNDAMENTOS DE LA TEORIA ELECTROMAGNETICA, Ed. UTEHA, México, 1972, pp 206). Se hizo necesario entonces definir un tercer vector magnético ( el primero es la inducción magnética B y el segundo el momento dipolar M) denominado INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO, EXCITACION MAGNETICA, o simplemente CAMPO MAGNETICO, representado por la letra H y con la finalidad de simplificar el estudio del comportamiento de los materiales ferromagnéticos. Las propiedades de H se definen en el artículo 1.1.

Las unidades para H, B,  $\phi$  y algunos factores de conversión se encuentran en la tabla I. Es importante mencionar también que, para un punto dado del espacio, en un medio determinado, los vectores H y B no son independientes:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad 1.9$$

Donde  $\mu$  es la PERMEABILIDAD del medio en el que se localiza el punto dado. Posteriormente se tratará con mayor detenimiento el estudio de la permeabilidad.

Una de las ecuaciones de Maxwell para el electromagnetismo es la LEY DE GAUSS DEL MAGNETISMO:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad 1.10$$

Verbalmente: el flujo magnético total que atraviesa cualquier superficie CERRADA es igual a cero; es decir, el número de líneas de inducción que entra a una superficie cerrada es igual al número de las que salen de ella. Las líneas de inducción, por lo tanto, son LINEAS CERRADAS.

De la ley de Gauss del magnetismo se obtiene una importante conclusión: ES IMPOSIBLE CREAR POLOS MAGNETICOS AISLADOS. ( Recuerdese la propiedad que tienen los imanes de formar nuevos imanes al ser seccionados).