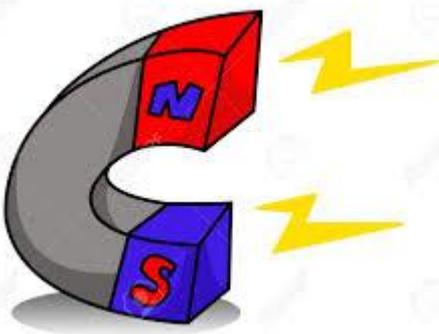


MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

IMANES:

Se conoce como imán a un cuerpo de cualquier material capaz de producir un campo magnético y atraer hacia sí o ser atraído hacia otro imán o hacia cualquier otro cuerpo de hierro, cobalto u otros metales ferromagnéticos. Es un material con propiedades ferromagnéticas naturales o artificiales, que generan un campo magnético continuo.

Los imanes son algunas de las primeras manifestaciones que el ser humano descubrió del magnetismo, conocido desde la antigüedad clásica pero comprendido recién en el siglo XIX, cuando se supo que la mayoría de los elementos y compuestos conocidos demostraban un cierto nivel de magnetismo.

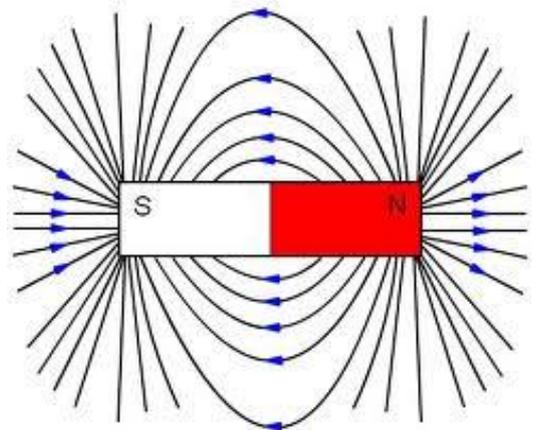


Los imanes son cuerpos cargados magnéticamente, que generan un campo magnético a su alrededor orientado en base a dos polos: negativo (Sur) y positivo (Norte). Estos polos se atraen con sus opuestos (positivo-negativo) pero repelen a sus iguales (positivo-positivo o negativo-negativo). La línea que junta ambos polos se llama eje magnético.

La fuerza que desarrollan los polos pueden ser representadas con líneas de trazo discontinuas, estas se llaman líneas de fuerza. Por convención se dice que las líneas de fuerza van del polo norte hacia el polo sur

El magnetismo de los imanes es producto de una disposición particular de los electrones (partículas subatómicas con carga negativa) que componen la materia, que se encuentran alineados en torno a una misma dirección, propiciando un flujo eléctrico uniforme. Por ese motivo la introducción de energía en la materia (magnetismo intenso de tipo contrario o calor que eleve mucho la temperatura) destruye el magnetismo, ya que altera el delicado balance de los electrones.

En el caso de los imanes inducidos (las sustancias magnetizadas) el efecto es similar: al someterse a un campo magnético por contacto, sus electrones se ordenan un mismo sentido y reproducen el campo magnético durante algún tiempo.

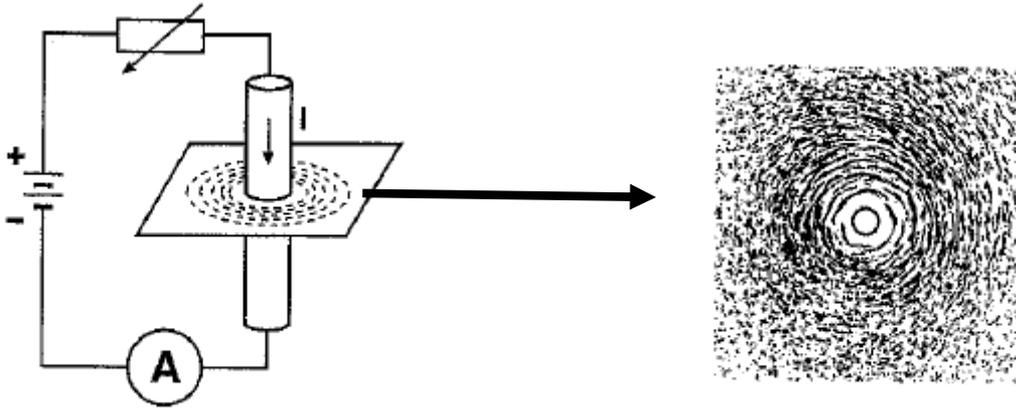


Tipos de imanes:

- Imanes naturales: Compuestos generalmente por mezclas de magnetita (ferrofelita o morpholita, compuesta por óxidos férricos) y otros minerales terrestres, poseen naturalmente sus propiedades magnéticas. Los principales yacimientos de magnetita se hallan en Suecia, Noruega, Francia, Bretaña y Portugal
- Imanes artificiales permanentes. Materiales sensibles al magnetismo que, tras ser frotados con magnetita, replican sus propiedades ferromagnéticas durante un largo período de tiempo hasta eventualmente perderlas.
- Imanes artificiales temporales. Materiales sensibles al magnetismo que, tras ser frotados con magnetita, replican sus propiedades ferromagnéticas, solo que por un período muy breve de tiempo.

CAMPO MAGNETICO CREADO POR UN CONDUCTOR CUADO ES ATRAVEZADO POR UNA CORRIENTE: (Hans Christian Orsted)

Si colocamos un plano perpendicular al conductor donde está circulando una corriente, y le colocamos limaduras de hierro, Podremos ver que estas se ordenan y forma un espectro electromagnético de forma ciclar.

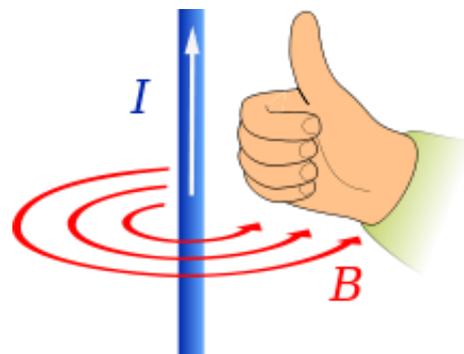


Siempre que haya cargas eléctricas en movimiento, se formara un campo magnético.

Esto demuestra que cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, a su alrededor aparece un campo magnético. Observando el espectro del campo se puede decir que las líneas de fuerza son circulares concéntricas al conductor.

Si situamos varias agujas imantadas alrededor del conductor, podremos observar que su orientación depende del sentido de la corriente. Para determinar el sentido de las líneas de fuerza de una forma sencilla se aplica la regla del sacacorchos o de **Maxwell** (fue quien unifico todas las teorías entre la electricidad y el magnetismo en 4 formulas).

“el sentido de las líneas de fuerza, concéntricas al conductor, es el que indicara el giro de un sacacorchos que avance en el mismo sentido que la corriente”



- Para aplicar correctamente la regla, de debe emplear el sentido convencional de la corriente (de + a -)

La intensidad del campo magnético desarrollado por el conductor depende fundamentalmente de la intensidad que fluye por el conductor. A mayor intensidad de corriente mayor intensidad de campo

Campo magnético en un conductor en forma de anillo:

Un conductor rectilíneo produce un campo magnético muy débil. La forma de conseguir que este sea más fuerte es disponiendo del conductor en forma de anillo. El sentido de las líneas de fuerza de una parte del conductor se sumará al del otro. Formando un campo mucho más intenso en el centro de la espira.

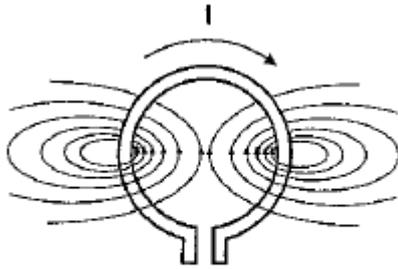
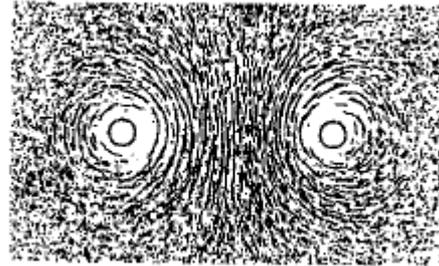


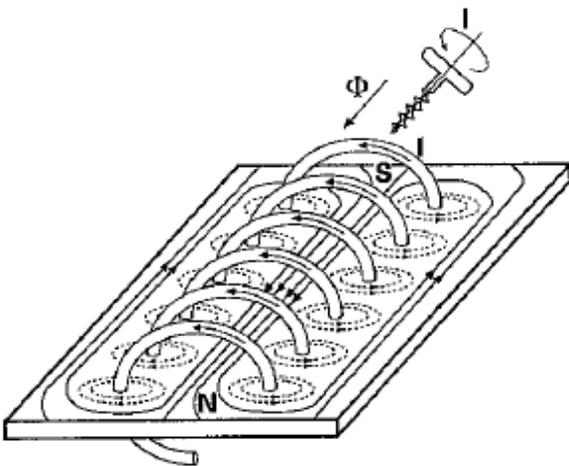
Figura 10.11.



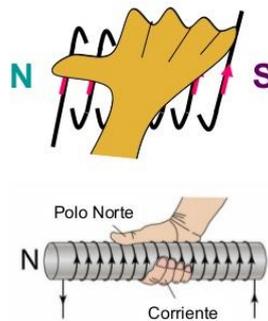
Campo magnético formado por una bobina:

En una bobina, el campo magnético de cada espira (vuelta) se suma al siguiente, concentrándose éste en el centro de la misma. En los extremos de la misma se forman los polos magnéticos.

Para determinar el sentido de las líneas de fuerza se aplica la regla del sacacorchos, pero de otra forma. Basta con girar el sacacorchos, en el mismo sentido de giro que la corriente eléctrica por las espiras (siempre con la mano derecha). El sentido de avance indica el sentido de las líneas de fuerza. Una vez determinado esto. Es fácil identificar los polos. El NORTE estará situado en el extremo donde salen las líneas de fuerza y el sur donde entran.



La regla de la mano derecha (para polos)



Rodee la bobina con la mano **derecha**.

Los dedos se colocan en la dirección en que la corriente eléctrica fluye alrededor de la bobina.

El pulgar apunta hacia el polo norte de la bobina.

MAGNITUDES MAGNETICAS:

Al igual que para definir el comportamiento de un circuito eléctrico utilizamos las magnitudes eléctricas, para definir los campos electromagnéticos utilizaremos magnitudes magnéticas.

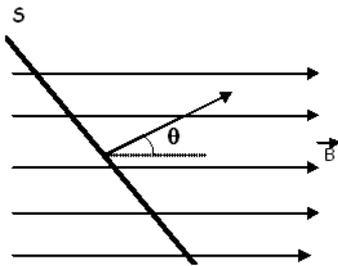
FLUJO MAGNETICO ϕ (fi):

A la cantidad de líneas de fuerza que salen por un polo se le denomina flujo magnético. Es una magnitud escalar (que queda definido con su número y su magnitud, que no es vectorial).

Podríamos decir que **indica el número de líneas de fuerza que atraviesan una superficie cualquiera** en el interior de un campo magnético, lo que sería una medida de la cantidad de magnetismo.

- Su unidad de medida en SI (sistema internacional) es el **Weber [Wb]**
- Su unidad de medida en el sistema cgs es el **Maxwell [MX]**
- La relación que existe entre ambos es **1 Wb = 1*10⁸ Mx**

Si la inducción magnética es uniforme, podemos decir que:



$$\phi = B * S * \cos \alpha$$

Cabe aclarar que si la superficie (S) estaría perpendicular $\cos \alpha = 1$

INDUCCIÓN MAGNETICA (B):

Nos indica la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan perpendicularmente la unidad de superficie. Podemos decir que **nos indica la densidad de líneas de fuerza, o lo concentradas que están** en una parte del campo magnético.

Se dice que existe una inducción de un tesla cuando el flujo de un Weber atraviesa perpendicularmente una superficie de un metro cuadrado.

Es el vector (modulo y dirección) del campo magnético,

- Su unidad de medida en SI (sistema internacional) el Tesla (T)
- Su unidad de medida en el sistema cgs es el Gauss (Gs)
- La relación que existe entre ambos es **1 T = 1*10⁴ Gs**

$$B = \frac{\phi}{S}$$

E.E.T.P. N° 460 "GUILLERMO LEHMANN"
6° "B" MÁQUINAS ELÉCTRICAS"

Ejercicio 1: ¿Cuál será la inducción magnética existente en la cara plana de un polo de un imán recto de 30 cm² atravesado por un flujo magnético de 0.009 Wb? Expresar el resultado en [T]

Ejercicio 2: ¿Cuál será el flujo magnético existente en el campo magnético producido por una bobina si esta tiene un núcleo de 20 cm² y la inducción magnética en la misma es de 1,5 T?

FUERZA MAGNETOMOTRIZ F

Es la capacidad de producir flujo magnético entre dos puntos en un circuito magnético. Si lo llevamos a la práctica sería por ejemplo la capacidad de una bobina de generar líneas de fuerza. En este caso la fuerza aumenta con la cantidad de líneas de fuerza y el número de vueltas. Esta magnitud es comparable o análoga al voltaje en un circuito eléctrico.

$$F = N * I$$

- Su unidad de medida es el Ampervuelta [Av]
- N = número de espiras
- I = intensidad de corriente

Ejercicio 3: para el funcionamiento de un electroimán se necesita una fuerza magnetomotriz de 500Av. Indicar dos posibilidades de conseguirlo.

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO (H):

Los campos magnéticos generados por las corrientes y que se calculan por la ley de Ampere o la ley de Biot-Savart, se caracterizan por el campo magnético B medido en Teslas. Pero cuando los **campos generados pasan a través de materiales magnéticos que por sí mismo contribuyen con sus campos magnéticos internos**, surgen ambigüedades sobre que **parte del campo proviene de las corrientes externas, y que parte la proporciona el material en sí**. Como práctica común se ha definido otra cantidad de campo magnético, llamada usualmente "intensidad de campo magnético".

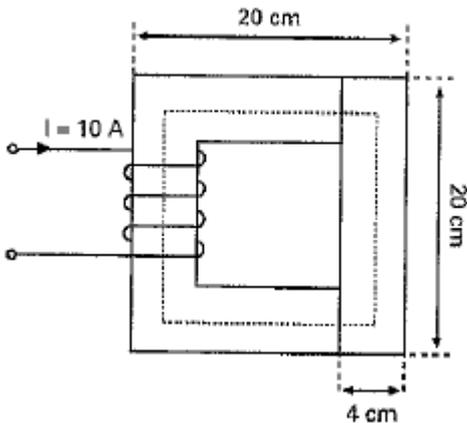
De manera ejemplificadora podemos decir que contamos con una bobina y un núcleo. Donde:

$$H = \frac{N * I}{L}$$

- H = Intensidad del campo en ampervuelta/metro [Av/m]
- N = número de espiras de la bobina.
- I = Intensidad de corriente (A)
- L = longitud de la bobina o núcleo medio (m)

A medida que la bobina o el núcleo posea mayor longitud se dispersan más las líneas de fuerza, esto hacen que estén menos concentradas.

Ejercicio 4: calcular la intensidad del campo en el interior de la bobina. Número de espira de 300 y la corriente 10 A



Nota: para resolver este ejercicio la primera duda que se plantea es que longitud de bobina tomar, bien como esta expresado en la definición no es solo longitud de bobina sino su núcleo asociado. Ahora ¿qué longitud de núcleo debemos tomar?

En este caso ¿podríamos decir el perímetro exterior del núcleo? ¿El perímetro interior del núcleo?

Debemos tomar el perímetro medio del núcleo. El cual está marcado con línea de puntos en la figura.

RELUCTANCIA (R):

Es la capacidad de un material de dejarnos establecer líneas de fuerza en mayor o menor grado. Los materiales no ferromagnéticos como el aire poseen una reluctancia muy alta. Análogamente podemos decir que es comparable a la resistencia eléctrica en un circuito eléctrico. Dada la ley de **Hopkinson** es análoga a la ley de Ohm:

$$R = \frac{F}{\Phi}$$

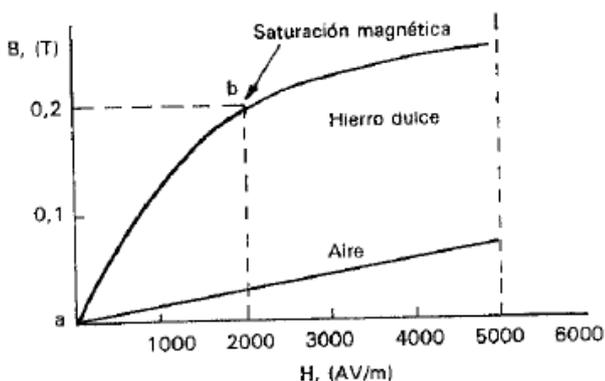
➤ Donde la unidad es el **Av/Wb**

Ejercicio 5: Calcular la reluctancia que posee un núcleo de un electroimán si al hacer circular 5 A por la bobina de 1000 espiras se ha establecido un flujo magnético de 5 mWb.

CURVA DE SATURACIÓN MAGNETICA:

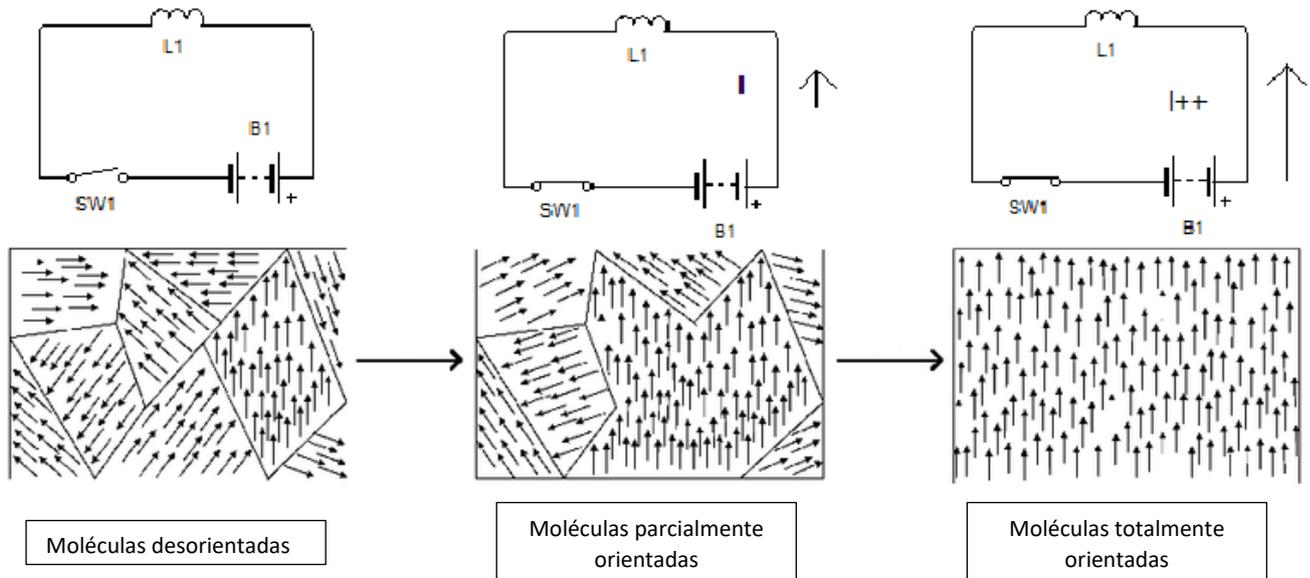
Cuando se somete una sustancia a la acción de un campo magnético creciente H, la inducción magnética que aparece en la misma aumenta en una relación determinada. Por lo general esta relación (B-H) no es constante, por lo que es de gran utilidad conocer la curva de magnetización, que presenta el valor de la inducción en función de la intensidad de campo de cada material.

Curva de magnetización del hierro vs aire:



- Observando la curva del hierro dulce, podemos decir que para valores de intensidad de campo de hasta 2000 Av/m (tramo a-b) crece proporcionalmente hasta 0,2 T (cuasi una relación lineal) a partir de ese punto de inflexión en la curva para grandes aumentos de H hay pequeños incrementos de B. Por lo que podemos decir que en el punto b se ha alcanzado la **Saturación Magnética**.
- Observando la curva del aire podemos ver pequeños aumentos, pero constantes de inducción magnética alcanzada respecto de intensidad de campo de la bobina.

Para explicar este fenómeno de la saturación magnética podemos concurrir a la teoría molecular de los imanes; cuando se introduce en una bobina un núcleo de una sustancia ferro magnética y se hace circular una corriente por dicha bobina, aparece un campo magnético en su interior, de intensidad H que orienta en cierto grado las moléculas magnéticas de dicha sustancia, lo que refuerza el campo con una inducción B. Un aumento de I (corriente eléctrica) trae como consecuencia un aumento de H, lo que hace orientarse un poco más las moléculas magnéticas y por ende hay un aumento de la inducción. Si seguimos aumentando I con esto también aumenta H pero llega un momento que las moléculas magnéticas están ya totalmente orientadas y por mucho que se aumente H este ya no se ve reforzado.



PERMEABILIDAD MAGNÉTICA:

Experimentalmente podemos comprobar que, con diferentes núcleos de bobinas, se pueden mejorar o empeorar las propiedades magnéticas de dicha bobina. Si deseamos mejorar estas propiedades utilizaremos siempre materiales ferrosos, ej. Hierro.

Cuando introducimos un núcleo de una sustancia ferromagnética en una bobina se aprecia un aumento de líneas de fuerza en el campo magnético. Si llamamos B_0 a la inducción magnética que produce el electroimán con núcleo de aire, y B a la inducción magnética conseguida por la sustancia ferromagnética tenemos que:

$$B = \mu_r * B_0$$

μ_r es el poder que posee el núcleo de multiplicar las líneas de campo. A este parámetro se lo conoce como permeabilidad. En este caso se llama **permeabilidad relativa**, ya que es con respecto al aire o vacío.

Nuevamente podemos aplicar, como en el caso anterior, la teoría molecular de los imanes, donde las moléculas del material ferroso ahora se transforman en un imán temporal que refuerza la acción del campo magnético original.

En la práctica se suele utilizar el concepto de **permeabilidad absoluta (μ)**. Esta relación la intensidad de campo que produce la bobina con el nivel de inducción magnética alcanzado al introducir la sustancia ferromagnética en el núcleo.

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

**E.E.T.P. N° 460 "GUILLERMO LEHMANN"
6° "B" MÁQUINAS ELÉCTRICAS"**

Las unidades de permeabilidad en el SI se dan en Henrrios/metro (H/m).

Cada sustancia tiene su propio coeficiente de permeabilidad, mientras mayor es este, mejores propiedades magnéticas poseerán estas sustancias. La permeabilidad no es constante y depende de los niveles de inducción a los que se someta.

Permeabilidad del aire o vacío es SI: $\mu_0 = 4 \pi * 1*10^{-7} \text{ H/m}$

Con la siguiente expresión podemos relacionar la permeabilidad relativa y absoluta.

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

Ejemplo: determinar la permeabilidad absoluta y relativa que aparece en el núcleo de hierro de un electro imán si se ha medido un flujo magnético de 5 mWb. Los datos que se conocen son N = 500 espiras, I = 15 A; la longitud media del núcleo = 30 cm, superficie recta del núcleo = 25cm²

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,005}{0,0025} = 2 \text{ T}$$

La intensidad de campo en la bobina es:

$$H = \frac{N \cdot I}{L} = \frac{500 \cdot 15}{0,3} = 25.000 \text{ Av/m}$$

La permeabilidad absoluta es entonces:

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{2}{25.000} = 0,00008 \text{ H/m}$$

La permeabilidad relativa:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{0,00008}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} = 64$$

Conclusión: con el núcleo de hierro las líneas de campo son 64 veces mayor que con el de aire.

Ejercicio 6: una bobina con 300 espiras, una longitud de 24 cm y armada sobre un cilindro de 35 cm² de sección. Determinar la inducción (el flujo magnético alcanzado) si el núcleo es de aire y se hace circular una corriente de 20 A.

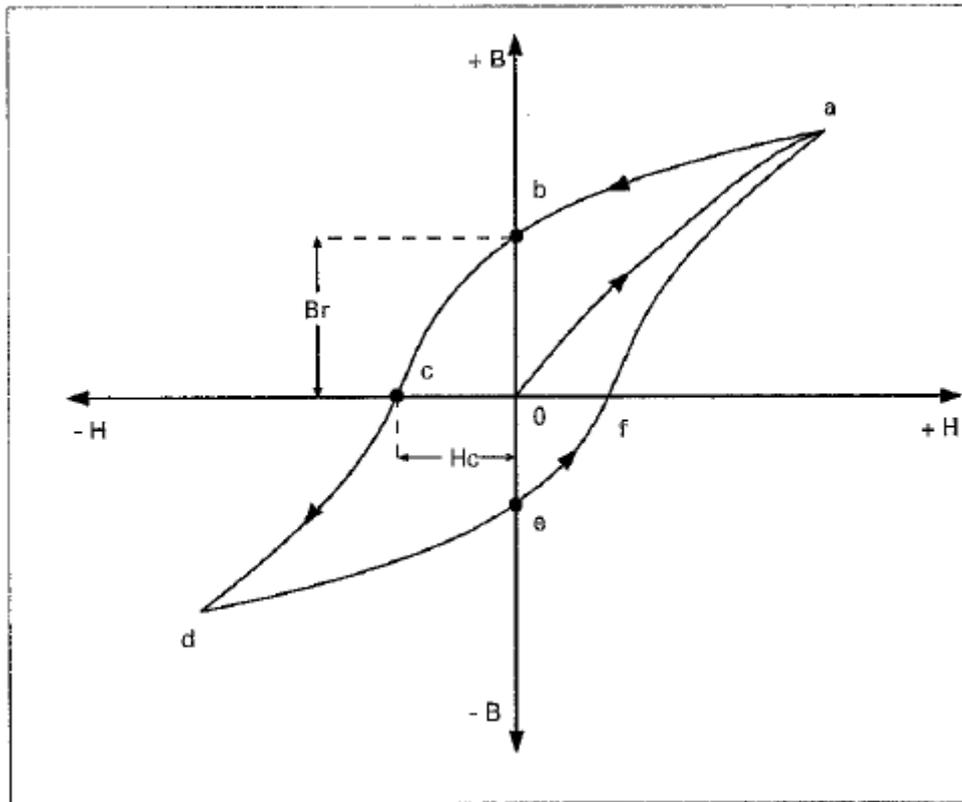
Tabla de ensayos de magnetización:

B (T)	H (Av/m)		
	Hierro Forjado	Chapa Normal	Chapa al silicio
0,1	80	50	90
0,3	120	65	140
0,5	160	100	170
0,7	230	180	240
0,9	400	360	350
1,1	650	675	530
1,3	1000	1200	1300
1,5	2400	2200	5000
1,6	5800	3500	9000
1,7	7000	6000	15500
1,8	11000	10000	27500
1,9	17000	16000	
2	27000	32000	

E.E.T.P. N° 460 "GUILLERMO LEHMANN"
6° "B" MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Ejercicio 7: con la ayuda de la tabla, comprobar que la permeabilidad no es constante. Tomar como ejemplo la chapa silicio y calcular la permeabilidad para los siguientes niveles de inducción: a) 0,7 T b) 1,3 T c) 1,8 T

HISTERESIS MAGNETICA Y CURVA CARACTERISITCA.



El estudio de la histéresis tiene una gran importancia ya que este fenómeno produce pérdidas en los núcleos de los electroimanes cuando son sometidos a la acción de campos magnéticos alternos. Estas pérdidas se transforman en calor y reducen el rendimiento de los dispositivos con circuitos magnéticos, como transformadores, motores y generadores.

La palabra histéresis significa remanencia. Después de someter una sustancia ferromagnética a la acción de un campo magnético, cuando este desaparece, la sustancia manifiesta todavía cierto nivel de inducción magnética, que recibe el nombre de **magnetismo remanente**.

En el punto 0 la sustancia no ha sido magnetizada nunca y en consecuencia, la inducción es nula.

En el tramo $(0 - a)$ se va aumentando la intensidad de campo H , con lo que se consiguen valores crecientes de inducción hasta llegar a la saturación.

En el tramo $(a - b)$ se va reduciendo la intensidad de campo en la bobina. La inducción también se reduce, pero no en la misma proporción que antes. En el punto b se ha anulado la intensidad de campo, sin embargo, la sustancia manifiesta todavía un cierto magnetismo remanente B_r .

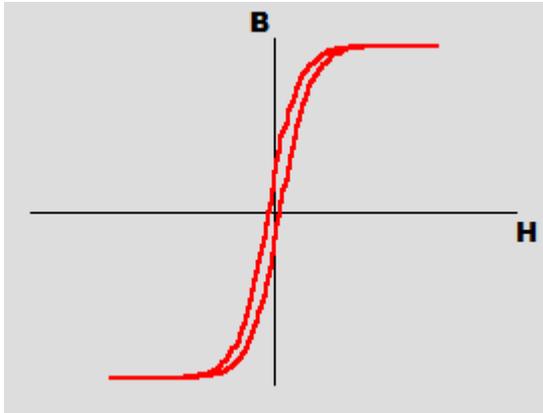
En el tramo $(b - c)$ se invierte el sentido del campo magnético (esto se consigue invirtiendo el sentido de la corriente eléctrica que alimenta la bobina del ensayo). En el punto c la inducción es cero. Se ha conseguido eliminar por completo el magnetismo remanente. Para ello, ha habido que aplicar una intensidad de campo (H_c), conocida por el nombre de **campo coercitivo**.

En el tramo $(c - d)$ se sigue aplicando una intensidad de campo negativo, con lo que se consiguen niveles de inducción negativos hasta alcanzar la saturación.

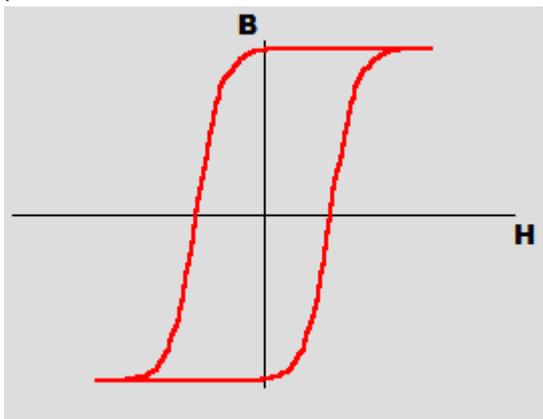
En los tramos $(d - e)$, $(e - f)$ y $(f - a)$ se completa el ciclo de histéresis. La curva no pasa otra vez por el punto 0 debido a la histéresis.

Este fenómeno tiene su aspecto positivo y negativo, depende para que se lo quiera utilizar:

- Si quisiéramos construir un transformador necesitamos que el área de "hoja" (H_c) sea lo más pequeña posible para que tengamos la menor cantidad de perdidas posible ya que trafo es alimentado con corriente alterna lo que deriva en campos magnéticos alternos.

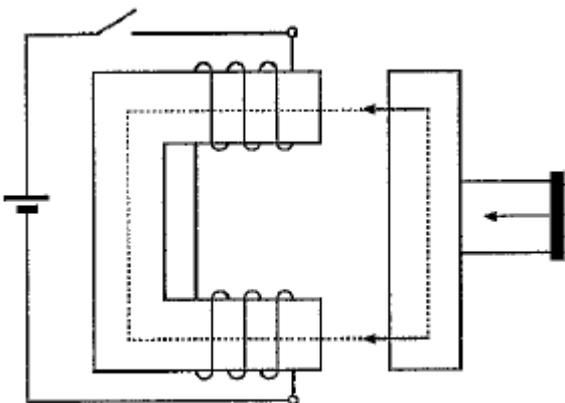


- Si quisiéramos construir un imán permanente necesitaríamos que el área de la "hoja" (H_c) sea lo más grande posible para asegurarnos que el material quede con una magnetización lo más grande posible permanentemente.



ELECTROIMANES:

Un electroimán consiste en un núcleo de hierro rodeado de una bobina, que se imanta a voluntad cuando le hacemos pasar una corriente eléctrica y se desimanta en el momento que interrumpimos esta corriente



La fuerza con la que atrae un electroimán a una pieza de hierro móvil (armadura) a través del aire o entrehierro se puede calcular con la ayuda de la siguiente expresión:

$$F = 40000 * B^2 * S$$

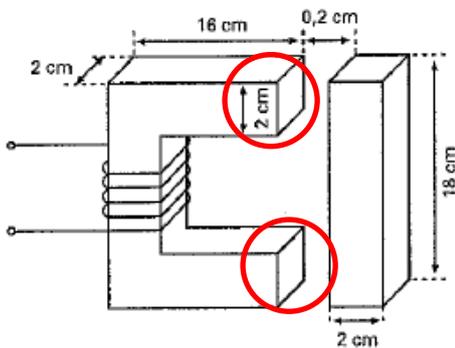
F = fuerza de atracción en Kpa

B = inducción en el núcleo en T

S = superficie de contacto entre núcleo y el hierro móvil en m^2

E.E.T.P. N° 460 "GUILLERMO LEHMANN"
6° "B" MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Ejemplo: determinar la fuerza con la que atraerá el electroimán a la armadura de hierro si la inducción que aparece en el núcleo es de 1.5 T



En este caso la superficie de contacto es:

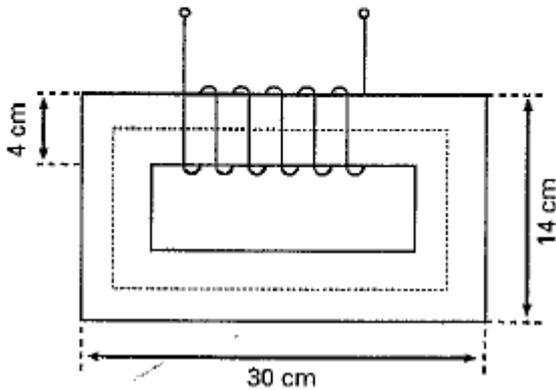
$$S = 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 2 \text{ (superficies)} = 8 \text{ cm}^2 = 0.0008 \text{ m}^2$$

$$F = 40000 \times 1.5 \times 0.0008 \text{ m}^2 = 72 \text{ Kpa}$$

ACTIVIDADES PRACTICAS:

Ejercicio 8:

En la figura se muestran las dimensiones de un circuito magnético fabricado con chapa al silicio. Se necesita obtener un nivel de inducción magnética de 1,3 T. Calcular la corriente que tendrá que recorrer la bobina si ésta posee 750 espiras.



Ejercicio 9:

Si sabemos que por un solenoide vacío de 5 cm circula una corriente eléctrica de 12 A y el campo magnético creado en su interior es 0.1 T. ¿De cuántas espiras está compuesto el solenoide?

Ejercicio 10:

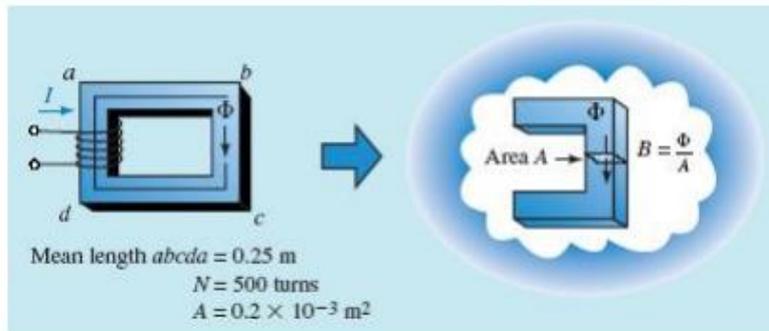
Una intensidad de 4 A circula por un solenoide de 25 cm de longitud conformado por 3200 espiras de 5 cm de radio. Determinar:

- El campo magnético en el interior del solenoide si este está completamente vacío.
- El campo magnético en el interior del solenoide si en el interior de este hay un material con permeabilidad magnética relativa $\mu_r = 1150$.
- La longitud del alambre que se ha utilizado para fabricarlo.

E.E.T.P. N° 460 "GUILLERMO LEHMANN"
6° "B" MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Ejercicio 11:

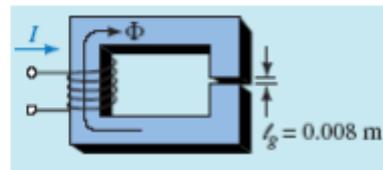
En el núcleo de material magnético de la figura se desea establecer un flujo $\Phi = 0,1 \times 10^{-3} \text{ Wb}$, calcular la corriente I que debe circular por la bobina.



- Utilizar la tabla B-H, el material utilizado es Hierro forjado.
- Mean length: distancia media del núcleo.

Ejercicio 12:

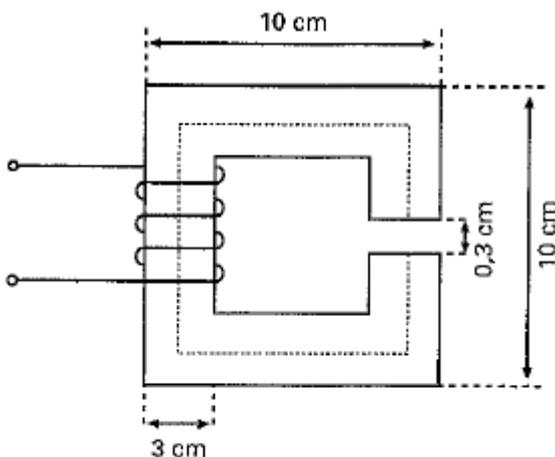
Al núcleo del problema anterior se le practica un entrehierro $l_g = 0,008 \text{ m}$, como se muestra en la figura que sigue. Calcular en cuanto se debe incrementar la corriente para mantener el flujo constante del problema 1.. Desprecie el flujo de dispersión.



- A la longitud del núcleo se le debe restar el entrehierro.
- B es lo mismo en el aire y en el hierro (uso tabla B-H para sacar la del hierro)
- H del aire mediante formula permeabilidad.
- Sumo las intensidades H hierro y H aire.

Ejercicio 13:

El circuito magnético está fabricado de hierro forjado. Se desea obtener en el entre hierro (espacio sin hierro donde las líneas de campo se tienen que establecer con gran dificultad por el aire) una inducción magnética de 0.9 T . Suponiendo que todo el flujo se conduce por dicho entre hierro y no se dispersa, determinar la intensidad de corriente que habrá que proporcionar a la bobina de 500 espiras



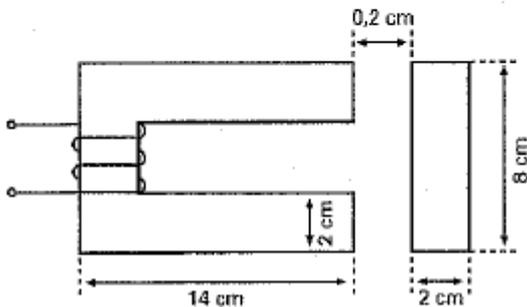
- Para este ejercicio utilizar la tabla de B-H.
- B es lo mismo en el aire y en el hierro.
- Como la fuerza magnetomotriz cambia en el aire... lo que se debe hacer es hallar las dos F (del hierro y del aire), la segunda se puede hacer mediante la fórmula de permeabilidad.

Ejercicio 14:

Se desea conseguir que el electroimán de la Figura 10.20 desarrolle una fuerza de atracción de 2,88 Kp. Teniendo en cuenta que el núcleo está fabricado con hierro forjado y que la bobina posee 344 espiras, calcular la intensidad de corriente eléctrica para conseguirlo.

Ejercicio 15:

El circuito magnético de la Figura 10.25 está fabricado con chapa magnética normal. Se desea obtener en el entrehierro una inducción magnética de 1,1 T. Suponiendo que todo el flujo se conduce por dicho entrehierro y que no se dispersa, determinar el número de espiras con la que habrá que fabricar la bobina si se quiere suministrar una corriente de 2 A.



Ejercicio 16:

Determinar la fuerza con la que atraerá un electroimán a la armadura de hierro si la inducción que aparece en el núcleo es de 1,3 T y la superficie total de contacto entre el núcleo y el hierro móvil es de 4 cm².

Ejercicio 17:

Un núcleo de acero con una inducción de 1,2 T posee una permeabilidad de $4 \cdot 10^{-3}$ H/m. La longitud de la bobina es de 25 cm y la superficie recta del núcleo es de 5 cm². Calcular el flujo magnético, la intensidad de campo y la fuerza magnetomotriz.

Ejercicio 18:

Se desea conseguir que el electroimán de un contactor desarrolle una fuerza de atracción al bloque de contactos móviles de 2 Kp. Teniendo en cuenta que el núcleo está fabricado con hierro forjado, que la bobina posee 1.000 espiras y que las dimensiones y forma del circuito magnético de dicho electroimán son las que se muestran en la Figura 10.26, calcular la intensidad de corriente eléctrica para conseguirlo.

