

Circuitos Magnéticos

25 de marzo de 2015

Capítulo 1

Magnetismo

1.1. Conocimientos previos:

Operaciones Algebraicas.
Representación gráfica.
Elementos de la Tabla Periódica.
Funciones Trigonométricas.
Vectores.

1.2. Introducción. Objetivos :

Entender los efectos de los campos magnéticos y fuerzas magnéticas.
El espectro magnético de un imán.
Magnitudes y Unidades de medidas.
El Magnetismo tiene que ver con fenómenos de atracción y repulsión que se dan con los Imanes y los Materiales Ferromagnéticos.

1.3. Demostración:

1.3.1. El Magnetismo

El fenómeno del magnetismo fue descubierto por los Chinos alrededor del año 2637 A.C. Los imanes usados en sus brújulas primitivas se llamaban piedras guía. Desde el año 800 a.C. los Griegos ya tenían conocimiento sobre el magnetismo, descubrieron que la magnetita (Fe_3O_4) atrae fragmentos de hierro. Actualmente sabemos que tales imanes eran pedazos en bruto de un mineral de hierro llamado magnetita, como la magnetita tiene propiedades magnéticas en su estado natural, se le clasifica entre los imanes naturales.

La era científica del magnetismo comienza en el Año 1.600 con el Médico Ingles Gulian Willian Gilbert (1540-1603). La tierra misma es un imán gigante

—

El Magnetismo es la parte de la ciencia que trata de las propiedades de los campos magnéticos y de los cuerpos sometidos a su acción.

El estudio de las propiedades de los imanes, recibe el nombre de magnetismo.

El magnetismo tiene que ver con fenómenos de atracción y repulsión que se dan con los imanes y de los materiales que son atraídos por un imán.

Los Imanes son cuerpos que poseen la propiedad de atraer al hierro y sus derivados (Acero, fundición de hierro, trozos o limaduras de hierro) y otros metales como el Níquel, el Cobalto y el Cromo y determinadas aleaciones, Alnico (Al-Ni-Co), óxidos mixtos sinterizados (ferritas).

Todos los Imanes tienen dos propiedades :

- 1) Atraer al hierro y lo retienen. – Efecto de Fuerza –.
- 2) Si se pueden mover libremente, se sitúan en dirección Norte-Sur. –Efecto de Orientación–.

Los Tipos de imanes pueden ser :

1) Imanes Naturales : Es decir, son imanes que existen en la naturaleza, el más importante de ellos es la magnetita, llamada también piedra imán, que es un mineral de hierro - La Magnetita : óxido de hierro- óxido magnético Fe_3O_4 . La palabra Magnetita proviene de Magnesia, nombre de la provincia Griega donde se encontró magnetita, año 500 A.C.

2) Imanes Artificiales : Son cuerpos a los que se les ha comunicado artificialmente las propiedades magnéticas por distintos procedimientos. Son piezas de hierro que adquieren propiedades magnéticas. Los imanes Artificiales se dividen en :

a) Imanes Temporales : Son todos los constituidos por Hierro dulce – aleación de hierro-carbono con menos del 0,3 % de carbono –, que pierden sus propiedades magnéticas cuando cesa la causa imanadora (acción de un campo magnético), se denominan materiales magnéticos blandos. Ejemplos : Chapa magnética para Solenoide, Transformadores, Motores y Generadores.

b) Imanes Permanentes : Son todos los constituidos por Acero – aleación de hierro-carbono de 0,3 % al 3 % de carbono –, que conservan sus propiedades magnéticas cuando cesa la causa imanadora, se denominan materiales magnéticos duros. Para la construcción de imanes permanentes se utilizan aleaciones. Ejemplos : Acero-Tungsteno, Acero-Cobalto, Acero-Titanio, Hierro-Níquel-Aluminio-Cobalto (Alnico), imanes de tierras raras o aleaciones de tierras raras como el Cobalto-Samanca y el Boro de Hierro ,Neodimio -Nd-.

Las propiedades que poseen los imanes de atraer al hierro se presentan de forma más intensa en sus extremos, que se llaman Polos.

Se denomina polo Norte aquel que, si el imán puede moverse, se orienta hacia el Norte Geográfico.

Se denomina polo Sur aquel que, si el imán puede moverse, se orienta hacia el Sur Geográfico.

Cada imán posee un polo norte y un polo sur, el centro de un imán se denomina zona o línea Neutra. En esta línea son nulos los efectos magnéticos.

La acción mutua entre imanes nos deja claro que, polos del mismo nombre se repelen y polos de distinto nombre se atraen.

Recordemos ciertos fenómenos que alguna vez hemos observado :

- 1) Un imán atrae limaduras de hierro situadas a cierta distancia del imán. Siendo esta fuerza de atracción mayor en los extremos o polos del imán y disminuye hacia el centro, en el mismo centro del imán no hay atracción.

2) Si un imán en forma de barra se suspende por su centro sobre un soporte, en el que pueda girar libremente, uno de sus extremos se orienta hacia el polo norte geográfico de la tierra, el otro extremo se orienta hacia el sur. Si movemos el imán de su posición, vuelve a recobrarla por sí mismo. El extremo que se orienta hacia el polo norte geográfico, se le da el nombre de polo norte del imán y al extremo contrario polo sur del imán.

3) Las líneas de imanación o líneas que seguirán las limaduras de hierro situadas en la proximidad del imán, se dirigen del polo norte al polo sur por el exterior del imán, y del polo sur al polo norte por su interior.

4) Si se acercan dos imanes por sus polos, se observa el comportamiento mutuo de dos imanes, del mismo nombre, estos imanes tienden a repelerse y separarse entre sí.

5) Si se acercan dos imanes por sus polos, se observa el comportamiento mutuo de dos imanes, de distinto nombre, estos imanes tienden a atraerse, a acercarse entre sí. Si observamos las líneas magnéticas veremos que, en el primer caso tienen sentidos contrarios, mientras en el segundo caso las líneas magnéticas tienen el mismo sentido.

6) Si un imán se parte, cada uno de los trozos forma un nuevo imán. Cada una de éstas forma un nuevo imán con sus polos correspondientes.

7) Las propiedades magnéticas de los imanes se transmiten a los cuerpos situados en su campo de acción. A este fenómeno se le llama inducción magnética. Así, si se coloca un trozo de hierro dulce en las proximidades de un imán, se convierte a su vez en imán, atrae las limaduras de hierro.

8) Las propiedades magnéticas de los imanes disminuye por fuertes golpes, por elevación de la temperatura y llega a desaparecer espontáneamente, con más o menos rapidez, en el transcurso del tiempo.

9) Todos los cuerpos se dejan atravesar por las líneas de fuerza del campo magnético. Es decir que para el magnetismo no existen cuerpos aislantes.

1.3.2. Teoría molecular de los Imanes

Se admite que las sustancias ferromagnéticas están constituidas por moléculas magnéticas o imanes elementales. Si dividimos el imán en dos, las dos partes resultantes son dos imanes completos con sus polos correspondientes. Este proceso se puede repetir multitud de veces, hasta alcanzar lo que vendremos a llamar molécula magnética. Entonces un imán está compuesto de moléculas magnéticas o imanes elementales perfectamente orientadas con los polos respectivos del imán.

Un trozo de hierro sin imantar está compuesto de moléculas magnéticas o imanes elementales totalmente desordenados. Mediante un campo magnético exterior se orientan, tanto más cuanto más intensa sea la intensidad del campo magnetizante, hasta que todos los imanes elementales están orientados (estado de saturación magnética). Al cesar la acción del campo magnético exterior los imanes moleculares pueden desordenarse y/o desorientarse (caso del hierro dulce) pierden el material sus propiedades magnéticas, o quedar orientados (caso del acero), conservando sus propiedades magnéticas; en este caso aparece una especie de rozamiento interno entre las moléculas magnéticas que dificulta el retorno al estado inicial una vez orientadas y magnetizadas. Las propiedades magnéticas de los imanes se ven alteradas por la temperatura, el hierro puro

pierde totalmente su magnetismo por encima de los $600^{\circ}C$ – Llamada Temperatura de Curie – al enfriarse se recupera las característica y/o propiedades magnéticas.

Por otro, si golpeamos fuertemente un trozo de acero imantado se pueden modificar sus propiedades magnéticas, esto se debe a que los golpes pueden cambiar el orden de las moléculas magnéticas.

1.3.3. Campo Magnético de un Imán.

El campo magnético es el espacio, próximo al imán, en el cual son apreciables los fenómenos magnéticos originados por dicho imán; o sea es la región del espacio donde se hacen sensibles las fuerzas o acciones magnéticas. Campo magnético terrestre, campo natural que existe en la tierra.

1.3.4. Líneas de Fuerza del Campo Magnético.

El campo magnético se representa por líneas cerradas, llamadas líneas de fuerza, a las que se les da un sentido. En un imán las líneas de fuerza salen por el polo norte recorren el espacio exterior y entran por el polo sur, el sentido de circulación de las líneas por el interior del imán es de sur a norte. Estas líneas representan la forma del campo magnético. Las acciones magnéticas son más intensa donde las líneas de fuerza están más juntas. La visualización de las líneas de campo magnético resulta muy interesante, ya que conociendo su dirección podemos determinar la polaridad del campo magnético. Además la mayor o menor concentración de esas líneas nos indica lo intenso que es el campo magnético en una determinada zona. Se observa como se orientan las limaduras de hierro puestas sobre un papel, a las que se acerca un imán por la parte inferior. Las líneas materializadas por las limaduras de hierro se denominan líneas de fuerza y el conjunto de estas recibe el nombre de espectro magnético del imán. Las líneas de fuerza nunca se cortan. El campo magnético se manifiesta en los tres planos, tres dimensiones. En el espectro magnético, las líneas de fuerza están más juntas en los polos en los que la atracción es mayor, y por el contrario, están más separadas donde la fuerza magnética es pequeña. Todos los cuerpos se dejan atravesar por las líneas de fuerza del campo magnético. Es decir, que para el magnetismo no existen cuerpos aislantes. El magnetismo de un imán se envejece.

Observamos que cuando acercamos dos imanes por sus polos iguales, las líneas de campo se repelen; si acercamos dos imanes por sus polos opuestos, las líneas de campo se establecen en la misma dirección y se suman.

1.3.5. Espectro Magnético.

Para trazar las líneas del campo magnético de un imán, se puede proceder :

a) Mediante una aguja imantada o imanada (Brújula). Se va situando en diferentes puntos alrededor del imán. Cada una de las situaciones dada a la aguja somete a la misma a un par, por lo que se orientará tangencialmente a la línea de fuerza que pasa por dichos puntos, es decir, en la posición de equilibrio en el que el par es nulo. Uniendo mediante un trazo continuo los diferentes puntos obtenidos, se consigue el dibujo de las líneas de fuerza.

b) Mediante una hoja de papel espolvoreada de limaduras de hierro. Se toma un imán sobre el que se coloca una hoja de papel y se espolvorea con limaduras de hierro, procurando que las limaduras de hierro queden uniformemente repartidas por toda la superficie del papel. Cada grano de limadura se convierte así en un imán que se orienta, al igual que la aguja imanada, según la componente de la línea de fuerza del imán en el punto en que se encuentra dicha limadura. El conjunto de limaduras, que se atraen por sus polos adyacentes de signo contrario, forman cadenas que dibujan sobre el papel las líneas de fuerza del imán.

Si colocamos dos imanes en una posición cualquiera (una con relación a la otra) se aprecia con claridad cómo las líneas tienden a unir a los polos de distintos nombre y separar a los polos iguales.

1.3.6. Magnitudes Fundamentales - Unidades de Medidas

Relacionar las magnitudes fundamentales básicas de un campo magnético con sus unidades de medida.

1.3.6.1. Flujo Magnético :

El campo magnético Φ se representa a través de las líneas de fuerza. La cantidad de estas líneas de fuerza se le denomina flujo magnético. Se representa por la letra Griega Φ Phi, su unidad de medida es en el sistema C.G.S. es el Mx - Maxwell y en el sistema M.K.S. (Sistema Internacional) es el Wb - Weber. La relación entre estas unidades, entre los dos sistemas es :

$$1Wb \longrightarrow 10^8 Mx \quad (1.1)$$

1.3.6.2. Inducción Magnética :

La inducción magnética B se define como la cantidad de líneas de fuerza del campo magnético que atraviesan perpendicularmente la unidad de superficie. Se representa por la letra B , la fórmula es :

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (T) \quad (1.2)$$

Su unidad de medida es en el sistema C.G.S. es el G - Gauss y en el sistema M.K.S. (Sistema Internacional) es el T - Tesla. La relación entre estas unidades, entre los dos sistemas es :

$$1T \longrightarrow 10^4 G \quad (1.3)$$

Existe una inducción de una Tesla cuando el flujo de un Weber atraviesa perpendicularmente una superficie de un metro cuadrado.

$$1T = \frac{1Wb}{1m^2} \quad (1.4)$$

o en el C.G.S.

$$1G = \frac{1Mx}{1cm^2} \quad (1.5)$$

Concepto físico de densidad de flujo magnético :

La dirección de la inducción magnética B en cualquier sitio, es la dirección a la cual apunta la aguja de una brújula colocada en dicha posición y representar este campo magnético gráficamente utilizando líneas de campo magnético.

Una superficie de un metro cuadrado es atravesada por un campo magnético de un Weber : La inducción magnética es de 1 Tesla.

Todo lo visto en inducción magnética es para planos perpendiculares a las líneas del campo magnético, pero si forman un cierto ángulo como en la figura, caso b o como en el caso c , es necesario multiplicar por el coseno del ángulo formado respecto a la perpendicular. La inducción magnética que realmente obtenemos en el plano o la espira colocada sobre el será :

$$B = \frac{\Phi}{S \cdot \cos \alpha} \quad (T) \quad (1.6)$$

En la figura se puede observar que el plano a, es atravesado por mayor número de líneas de fuerza que el caso b o que el caso c.

1.4. Conclusión:

Con la lectura del capítulo el Alumno tendrá más claro los conceptos de : Magnetismo, imanes, polos y líneas neutra de un imán, teoría molecular de los imanes, campo magnético, espectro magnético, prácticas con imanes, unidades de medidas. Si frotamos, siempre en el mismo sentido un trozo de acero de forma alargada con un imán natural se obtiene un nuevo imán, en este caso será un imán artificial . Cuando acercamos un imán a una serie de clavos de hierro, observamos que se atraen unos a otros, pero cuando retiramos el imán, los clavos no se atraen; si los clavos son de acero, éstos se siguen atrayendo, aunque sea con menos fuerza. Estas experiencias nos indican que, la imantación del hierro es temporal y la imantación del acero permanente(imantación de cuerpos por proximidad de un imán).

Gauss

Maxwell

Wilhelm Eduard Weber - Alemán- 1804/1894.

Tesla Nikola - Croata- 1856/1943. Se lo considera una de las personas más innovadoras y de gran inventiva en la historia de la ciencia.

1.5. Aplicaciones:

Las aplicaciones de los imanes son fundamentalmente en la vida del ser humano.

La Brújula, es una aguja (magnética) imantada que puede girar libremente en su eje central. Si dejamos girar libremente a la aguja imantada de una brújula, esta se orienta Norte-Sur terrestre (rosa de los vientos) de aquí proviene el nombre de los polos de un imán; La tierra es un imán gigante, Uso para la navegación

1.5.1. Aplicaciones Prácticas

Con un imán acerca a sus proximidades algunos objetos como, una moneda, punta de hierro, punta de acero, un trozo de cobre y todo aquello que se te ocurra. ¿ Cuáles fueron los objetos que atrajo el imán hacia sí ?.

Si tomamos un imán e intentamos acercar diferentes objetos metálicos, podremos observar que este atrae con fuerza solo aquellos objetos que sean de hierro o acero, hierro y sus derivados y algunas otras aleaciones metálicas como el níquel y el cobalto. A estos materiales que son atraídos por el imán se los conoce por el nombre de materiales ferromagnéticos.

Colgar un imán tipo varilla del medio ver que pasa?.

Las aplicaciones de los imanes es muy amplia y son muy variadas, ya que con ellos se pueden producir fuerzas mecánicas consideradas, se pueden utilizar como :

Separadores magnéticos de no magnéticos.

Como pequeños generadores - Dínamos.

Micrófonos.

Altavoces.

Aparatos de medidas analógicas.

Efecto protector magnético en la distribución del flujo.

Como pequeños motores eléctricos de corriente continua.

Interruptor magnético normalmente cerrado, para sistemas de alarma.

En el año 1.930 se crea el imán Alnico, más poderoso que el hierro.

Fabricación de las cintas magnéticas \uparrow, \downarrow ; un sí , un no ; un uno, un cero; construyendo un dispositivo de memoria o sea deposito de datos, cero-norte, uno-sur.

En el año 1950 se introduce la fabricación de la ferrita (oxido de hierro) bajo costo.

En el año 1970/80, llegaron los imanes de tierras raras o aleaciones de tierras raras como el Cobalto-Samanca; el Boro de Hierro, Neodimio (Nd), son 100 veces más potentes que el hierro.

En la Universidad de Florida se encuentra el imán mas poderoso de la tierra, calibrado en 45 Tesla es un millón de veces mayor al de la tierra, en este se levita una rana (son 90 % de agua) y el agua es Diamagnetismo.

Movimiento sin fricción por la atracción y repulsión.

Concepto de acoplamiento magnético.

Transferencia de fuerzas de torsión de un componente a otro sin que haya ningún contacto físico.

El cojinete magnético, no hace contacto con otras partes, por lo tanto no hay desgaste, lo que seria la levitación magnética.

La montaña de superman (juego) es la aplicación del motor sincrónico lineal, si sincronizamos la alternancia de los polos con el movimiento del tren obtenemos un impulso constante.

La levitación magnética ocurre en forma vertical, si colocamos dos imanes tipo toroide (rosquilla) en contra polo sobre un eje no magnético estos levitarán.

Propulsión de naves espaciales.

Toma de Huellas Dactilares magnéticas, el polvo que se aplica sobre la superficie está recubierto de un material orgánico que se adhiere a residuos grasos que la huella dactilar deja, una brocha magnética recoge el polo excedente, haciendo que la huella sea visible.

Capítulo 2

ELECTROMAGNETISMO

2.1. Conocimientos previos:

El Magnetismo.

2.2. Introducción. Objetivos :

Entender los efectos del Electromagnetismo.

El espectro magnético del electromagnetismo.

Magnitudes y Unidades de medidas.

El Electromagnetismo tiene que ver con fenómenos magnéticos que aparecen cuando los conductores y bobinas son recorridas por una corriente eléctrica. Para conseguir campos magnéticos más intensos que los conseguidos por los imanes, utilizamos bobinas fabricadas con conductores eléctricos (Cobre -Cu-, Aluminio -Al-), que al ser recorridos por una corriente eléctrica desarrollan campos magnéticos, cuya intensidad depende fundamentalmente de la intensidad de la corriente y del número de espiras de la bobina.

En el año 1819 el científico Danés Hans Christian Oersted (1777-1851) Físico-Químico, descubrió una relación entre el magnetismo y la corriente eléctrica. Encontró que una corriente eléctrica que circula por un conductor produce un campo magnético alrededor de éste.

La regla de la mano derecha es un medio fácil de determinar la relación entre el flujo de corriente en un conductor eléctrico (alambre) y la dirección de las líneas de fuerza magnética alrededor de él.

Tómese el alambre portador de la corriente con la mano derecha, extendiendo el pulgar a lo largo del alambre y los otros cuatro dedos a su alrededor. Si el pulgar apunta en la dirección de la corriente en el alambre, los otros dedos estarán apuntando en la dirección de las líneas de fuerza alrededor del conductor.

La correspondencia entre la electricidad y el magnetismo fue descubierta, en el transcurso de una demostración en una conferencia del científica Oersted. Descubrió que una corriente eléctrica en un alambre desviaba la aguja de una brújula cercana. Los físicos Michel Faraday y Joseph Henry demostraron, de manera independiente, relaciones adicionales entre la electricidad y el magnetismo, mostrando que es posible crear una corriente eléctrica en un circuito ya sea moviendo un imán cerca de él o variando la corriente de algún circuito cercano,

esto demuestra que una variación en un campo magnético crea un campo eléctrico. Luego el teórico del científico Maxwell demuestra, lo contrario es cierto, que un campo eléctrico que varía crea un campo magnético.

2.3. Demostración:

2.3.1. Campo Magnético creado por un conductor eléctrico cuando es atravesado por una corriente eléctrica.

La corriente eléctrica al circular por un conductor rectilíneo crea, alrededor del conductor, un campo magnético cuyas líneas de fuerza son circunferencias concéntricas en cada plano perpendicular al conductor y su sentido es el que corresponde al giro de un sacacorchos que avance en el sentido de la corriente figura ..

Si nosotros espolvoreamos limaduras de Hierro sobre una hoja de papel que es atravesada por un conductor por donde circula una corriente eléctrica, observamos que las limaduras se orientan y forman un espectro magnético de forma circular. Esto demuestra que cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, a su alrededor aparece un campo magnético. Observando el espectro del campo magnético se puede apreciar que las líneas de fuerza toman la forma de círculos Concéntricos que se cierran a lo largo de todo el conductor. Si situamos varias brújulas alrededor del conductor, estas se orientan tal como se indica en la figura..

Como sabemos que las líneas de fuerza en la brújula salen del polo norte y entran por el polo sur, el sentido de dichas líneas lo apunta el polo norte de la misma. Si ahora cambiamos el sentido de la corriente eléctrica, las brújulas giran 180° , por lo que con ella cambia, también, el sentido de las líneas de fuerza. Para determinar el sentido de las líneas de fuerza, se aplica la regla del sacacorchos o de Maxwell que dice :

El sentido de las líneas de fuerza, concéntricas al conductor, es el que indicaría el giro de un sacacorchos que avanzase en el mismo sentido que la corriente - para aplicar correctamente esta regla se emplea el sentido convencional de la corriente. También se pueden representar las líneas de fuerza del campo magnético en un plano perpendicular al conductor. Para ello se dibuja la sección recta y circular del conductor, indicando con una cruz la corriente que entra en el papel y con un punto la corriente que sale del papel (Regla de la Flecha \rightarrow). En las siguientes figuras se muestra el aspecto del campo magnético de una corriente saliente y de una entrante, una vez aplicada la regla de la flecha.

La inducción magnética B del campo magnético producido por el conductor en un punto p alejado del centro del conductor una distancia d , tomada perpendicularmente, se hace mas grande al aumentar la intensidad de corriente eléctrica. Por el contrario, y como es de esperar, dicha intensidad de campo disminuye según nos alejamos del conductor como se observa en la figura.

La inducción en el aire o en el vacío se calcularía mediante la ley de Biot y Savart :

$$B_0 = \frac{\mu_0}{2\pi} * \frac{I}{d} \quad (T) \quad (2.1)$$

Donde:

B_0 = Inducción magnética en el vacío (T).
 I = Intensidad de la corriente eléctrica (A).
 d = Distancia perpendicular al conductor (m).
 μ_0 = Permeabilidad del vacío ($\frac{H}{m}$)

La permeabilidad del vacío o en el aire es una constante de proporcionalidad y que posee un valor igual a :

$$\mu_0 = 4\pi,10^{-7} \quad \left(\frac{H}{m}\right) \quad \text{o} \quad \left(\frac{Tm}{A}\right) \quad (2.2)$$

2.3.2. Inducción Magnética en un conductor en forma de una Espira o de un Anillo .

Un conductor recto produce un campo magnético muy disperso y por tanto, muy débil. La forma de conseguir que el campo magnético sea más fuerte es disponer el conductor, si se dobla formando un lazo o espira, en forma de anillo, se producen dos efectos, primero: las líneas del campo magnético son más densas dentro de la espira, aunque el número total de líneas es el mismo que para el conductor recto, segundo: todas las líneas en el interior de la espira se suman por tener la misma dirección. El sentido de las líneas de fuerza de una parte del conductor se suma al del otro, para formar un campo magnético mucho más intenso en el centro de la espira figura.. Se puede apreciar el efecto de concentración de las líneas de campo en el centro del anillo al que, en otras ocasiones, se le ha realizado el espectro magnético con limadura de hierro, como en la figura.. La inducción magnética producida por una espira en el centro de la misma es directamente proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica - I -, e inversamente proporcional a su radio - r -. La inducción en el aire o en el vacío en el centro de una espira se calcula mediante la expresión.

$$B_0 = \frac{\mu_0}{2} * \frac{I}{r} \quad (T) \quad (2.3)$$

2.3.3. Inducción Magnética en el interior de una Bobina o de un Solenoide.

Para reforzar el campo magnético de una espira se dobla el conductor formando varias espiras sucesivas, lo que constituye una bobina, ésta cuya longitud l es mayor que su radio r se llama solenoide, el campo magnético de cada espira se suma al de la siguiente, concentrándose éste en el centro de la misma. El campo magnético resultante es uniforme en el centro de la espira y mucho más intenso que en el exterior, el campo magnético en el interior de la espira, bobina y/o solenoide es perpendicular al plano de las mismas. En los extremos de la bobina se forman polos magnéticos, figura.. Para determinar el sentido de las

líneas de fuerza se aplica la regla del sacacorchos, de la flecha, de la mano derecha con circulación de la corriente eléctrica convencional, de la mano izquierda con circulación de la corriente eléctrica real. Una vez determinado este sentido, bien fácil es determinar los polos de la bobina, el polo norte estará situado en el extremo por donde salen las líneas de fuerza, y el sur por donde entran.

Cuanto mayor es la intensidad de la corriente y mayor es el número de espiras que tiene la bobina, mayor será la inducción magnética en el interior de la bobina, sin embargo al aumentar la longitud de la bobina las líneas de fuerza se dispersan y la intensidad del campo se hace más pequeña. La inducción magnética en un punto p situado en el eje del interior de la bobina de N espiras y de longitud l , con núcleo de aire, cuando fluye una intensidad de corriente por ella I , se calcula por la expresión.

$$B_0 = \mu_0 * \frac{N \cdot I}{l} \quad (T) \quad (2.4)$$

2.3.4. Flujo Magnético.

En un campo magnético uniforme, el flujo magnético a través de una superficie perpendicular a las líneas de fuerza es el producto de la inducción magnética por la superficie.

$$\Phi = B * S \quad (Wb) \quad o \quad (Mx) \quad (2.5)$$

2.3.5. Permeabilidad Magnética.

Se puede comprobar experimentalmente que al introducir en el núcleo de una bobina una barra de hierro, se aprecia un notable aumento de las propiedades magnéticas de dicha bobina. Por esta razón, siempre que deseemos producir campos magnéticos intensos utilizaremos núcleos de hierro, como es el caso de los Electroimanes. Cuando se introduce en el núcleo de una bobina una sustancia ferromagnética, se aprecia un aumento de las líneas de fuerza en el campo magnético a esta propiedad se la define por la permeabilidad magnética del material μ_r .

La permeabilidad magnética del material es el poder que posee la sustancia ferromagnética de multiplicar las líneas de campo, se trata de la permeabilidad relativa μ_r con respecto al aire o vacío μ_0 .

Este fenómeno lo podemos explicar valiendonos de la teoría molecular de los imanes: La bobina con núcleo de aire produce un número determinado de líneas de fuerza. Al introducir un trozo de hierro, este se ve sometido a la acción de estas líneas de fuerza y sus moléculas magnéticas tienden a orientarse. El núcleo de hierro es ahora un imán temporal que refuerza la acción del campo magnético original.

En la práctica es más común utilizar la permeabilidad magnética absoluta μ , esta nos relaciona la intensidad de campo H que produce la bobina, con el nivel de inducción magnética alcanzado al introducir una sustancia ferromagnética en

el núcleo de la bobina. La relación entre la inducción magnética y la intensidad de campo que la origina se llama permeabilidad magnética absoluta μ .

$$\mu = \frac{B}{H} \quad \left(\frac{H}{m} \right) \quad (2.6)$$

o lo que es

$$B = \mu \cdot H \quad (T) \quad (2.7)$$

Pero en la mayoría de los casos no se da la permeabilidad magnética absoluta de la sustancia μ , sino su relación con respecto a la permeabilidad magnética del vacío, cuya magnitud se llama constante magnética y se representa por μ_0 , donde se puede apreciar el poder multiplicador de la permeabilidad de un material y/o sustancia.

La permeabilidad del aire o el vacío es

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad \left(\frac{H}{m} \right) \quad (2.8)$$

con esta expresión relacionamos la permeabilidad absoluta con la relativa. La relación de la permeabilidad de un material a la del espacio libre, vacío y/o aire, se llama permeabilidad relativa, es decir

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2.9)$$

En general, para materiales ferromagnéticos, $\mu_r \geq 100$, y para materiales no magnéticos, $\mu_r = 1$.

Los datos obtenidos en los ensayos de magnetización de diferentes sustancias se pueden apreciar en la tabla.. con estos datos es posible comprobar que la permeabilidad de un material no es constante, la permeabilidad se hace mas pequeña según nos acercamos a los niveles de saturación magnética, su valor promedio se mide en el punto en que comienza el quiebre a formarse (saturación), tal como se aprecia en la figura.. .A modo de ejemplo en la tabla se aprecian la permeabilidad relativa inicial y la inducción magnética de saturación de aleaciones utilizadas como materiales magnéticos en ciertas aplicaciones en la tabla ..

Hagamos notar que si en el campo magnético no hay materiales ferromagnéticos, se puede considerar la constante magnética μ_0 como factor constante de proporcionalidad entre la intensidad magnética y la inducción magnética, es decir,

$$B = \mu_0 \cdot H \quad (2.10)$$

En el sistema SI las unidades B y H son definidas independientemente en virtud de dos diferentes leyes de electromagnetismo, por eso, a la constante

magnética se le atribuye un valor numérico exacto

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{H}{m} \right) \quad (2.11)$$

2.3.6. Sustancias y/o Materiales Ferromagnéticas.

Un electrón que se desplaza por la órbita circular alrededor del núcleo del átomo es equivalente a la corriente circulante; por eso, debido al movimiento de partículas cargadas en el interior de los átomos y las moléculas todas las sustancias poseen propiedades magnéticas. Dentro de átomos y moléculas todas las sustancias aparentan fluir las corrientes circulares - corrientes moleculares de Amper - . Cada una de estas corrientes crea cierto campo magnético. Pero en la mayoría de las sustancias el sentido de estas corrientes internas es desordenado, debido a lo cual en estas sustancias está ausente el campo magnético exterior. Según sea el comportamiento de las sustancias en los campos magnéticos exteriores - por ejemplo, en un campo creado en el interior de una bobina de alambre por la que circula la corriente- éstas se dividen en sustancias Paramagnéticos (proximidad, semejanza) por acción del campo magnético exterior producen su propio campo magnético dirigido en sentido del campo exterior y por lo tanto éste se intensifica y Diamagnéticos (separación) durante la imantación exterior surge un campo magnético propio, dirigido opuestamente con relación al campo exterior y que por esta causa debilita un poco el campo principal. Son sustancias que tienen una permeabilidad mucho mayor que la del vacío y dependiente de la inducción magnética - Hierro, Cobalto, Níquel, y sus aleaciones con Carbono, Acero y otros metales y aleaciones comerciales como el Alnico, Permalloy - . Estas sustancias son fuertemente atraídas por un imán. La permeabilidad de estas sustancias se calcula multiplicando la permeabilidad del vacío o el aire por un coeficiente μ_r , dependiente de la inducción y del material, que se denomina permeabilidad absoluta.

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \left(\frac{Tm}{A} \right) \quad (2.12)$$

2.3.7. Sustancias y/o Materiales Paramagnéticos.

Las sustancias Paramagnéticos poseen la permeabilidad magnética mayor a uno $\mu > 1$. En estos se incluyen; el Aluminio (Al), el Platino (Pt), el Manganeseo (Mg) y el Cromo (Cr). Su permeabilidad relativa es ligeramente mayor que uno. Por ejemplo la permeabilidad del Aluminio $\mu = 1,000023$.

2.3.8. Sustancias y/o Materiales Diamagnéticos.

Las sustancias Diamagnéticos poseen la permeabilidad magnética menor a uno $\mu < 1$. En estos se encuentran; el Bismuto (Bs), el Antimonio (At), el Cobre (Cu), el Zinc (Zn), el Mercurio (Mu), el Oro (Or) y la Plata (Pt). Su permeabilidad relativa es menor que uno. Por ejemplo la permeabilidad del Cobre $\mu = 0,99991$.

Por lo cual en la mayoría de los cuerpos Paramagnéticos y Diamagnéticos se distingue poco de la unidad, por eso en los cálculos electrotécnicos esta diferencia

se puede despreciar y considerar la permeabilidad magnética de todos estos cuerpos igual a la unidad.

2.3.9. Intensidad de Campo Magnético.

La intensidad de campo magnético es la relación entre la inducción magnética y la permeabilidad del medio material en el que se ha establecido el campo, la intensidad de campo magnético se representa por la letra H y su expresión es

$$H = \frac{B}{\mu} \quad \left(\frac{Av}{m} \right) \quad (2.13)$$

2.3.10. Intensidad de Campo Magnético en el interior de un Solenoide.

La intensidad de campo magnético (H), es una magnitud que nos indica lo intenso que es el campo magnético en el interior de la bobina independientemente de si su núcleo es de aire o de cualquier otra sustancia. La expresión para su cálculo es.

$$H = \frac{N.I}{l} \quad \left(\frac{Av}{m} \right) \quad (2.14)$$

Si introducimos una sustancia ferromagnética como el hierro en el núcleo de una bobina, las líneas de fuerza del campo magnético se conducen con facilidad a través del mismo y se extienden por su interior, para el cálculo de la intensidad del campo magnético en el interior de la bobina se tendrá en cuenta ahora la longitud media l del núcleo ferromagnético.

2.3.11. Curva de Magnetización. Saturación Magnética.

Cuando se somete una sustancia a la acción de una intensidad de campo magnético creciente H , la inducción magnética B que aparece en ella también aumenta en una relación determinada que no es constante $B = f(H)$, por lo que es de gran utilidad conocer la curva de magnetización, que representa el valor de la inducción en función de la intensidad de campo en cada material, como esta relación es relativamente compleja y no puede ser expresada por una fórmula sencilla, por eso en los cálculos prácticos se utilizan las Tablas de inducción magnética en función de la intensidad magnética, compuestas para los materiales ferromagnéticos normalizados, o bien la representación gráfica de esta dependencia, la curva de imanación, el aspecto de tal curva se determina por las propiedades magnéticas del material. En la figura se muestra el montaje que podría realizarse para la toma de datos en un ensayo para la obtención de la curva de magnetización de un determinado material magnético. La magnitud de la inducción magnética B depende de la estructura y el estado magnético de la sustancia.

En la curva de la figura se ha representado la relación $B - H$, de un hierro dulce. En ella se puede apreciar que para valores de intensidad de campo de hasta $200 \frac{Av}{m}$ tramo lineal, la inducción crece proporcionalmente hasta $1,2 T$. A

partir de este punto aparece un punto de inflexión en la curva, y a aumentos de la intensidad de campo les corresponden aumentos pequeñísimos de inducción magnética. A partir de ese punto se dice que el hierro ha alcanzado la saturación magnética.

Para explicar el fenómeno de la saturación magnética se puede recurrir a la teoría molecular de los imanes, cuando se introduce en una bobina un núcleo de una sustancia ferromagnética y se hace circular una corriente eléctrica por dicha bobina, aparece un campo magnético en su interior de intensidad H , que orienta un cierto grado las moléculas magnéticas de dicha sustancia, lo que refuerza el campo magnético con una inducción B . Un aumento de la intensidad de la corriente trae como consecuencia un aumento de H ; esto hace orientarse un poco más las moléculas magnéticas, lo que se ve reflejado en un nuevo aumento de la inducción. Si seguimos aumentando la intensidad de corriente y con ella H , llega un momento en que las moléculas magnéticas están ya totalmente orientadas y por mucho que se aumente la intensidad del campo, este ya no se ve reforzado. Se ha alcanzado la saturación magnética. En la figura se ha incluido la curva de magnetización del aire, donde se observa un pequeño crecimiento pero constante de la inducción magnética alcanzada respecto a la intensidad de campo de la bobina.

2.3.12. Susceptibilidad Magnética.

2.3.13. Histeresis Magnética.

Histéresis significa retrasarse o quedarse atrás, es decir, el flujo magnético en un núcleo de hierro se atrasa con respecto a los incrementos o decrementos de la fuerza magnetizante, fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa. Se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

El estudio de la histéresis tiene una gran importancia en los materiales magnéticos. Es la propiedad que presentan las sustancias ferromagnéticas de conservar parte de su magnetismo cuando, después de imanadas, se anula el campo magnético imanador. El valor de la inducción magnética que conserva la sustancia se llama magnetismo remanente. La intensidad de campo magnético imanador, en sentido contrario al de la primera imanación, para el cual se anula el magnetismo remanente, se llama fuerza coercitiva. El conjunto de valores de inducción magnética que adquiere un material ferromagnético en función de la intensidad de campo magnético imanador alterno se llama ciclo completo de Histeresis o lazo de Histeresis. Este fenómeno se considera debido al rozamiento de los imanes moleculares de la sustancia que giran para orientarse. Este rozamiento origina una pérdida de potencia que se manifiesta en forma de calor y se denomina Pérdida por Histéresis, esta pérdida se produce en todos aquellos casos en los que una sustancia ferromagnética está sometida a una imanación alternativa. La potencia perdida por histéresis es proporcional al área del ciclo de histéresis y al volumen del material, cuanto mayor es el área y mayor la superficie mayor será la pérdida por Histéresis. Si nos fijamos en el ciclo, esta área aumenta en gran manera cuando el campo coercitivo es grande, por tal razón, cuando se eligen materiales ferromagnéticos para la construcción de aparatos que van a funcionar con corriente alterna, se procura que posean un campo coercitivo lo más pequeño posible; sin embargo para la fabricación de imanes

permanentes se eligen materiales que posean un campo coercitivo lo mas grande posible. Estas perdidas también aumentan con el aumento de la frecuencia de la fuente de tensión de alimentación - cuantos mas ciclos de histéresis se den por segundo, mas calor se producirá. También la histéresis puede explicarse por la teoría molecular de los imanes : al someter a un trozo de hierro a un campo alterno, las moléculas magnéticas se ven forzadas a girar en uno y otro sentido, por lo que se produce una especie de rozamiento molecular que genera calor. Este calor es mas intenso cuanto mas se resistan las moléculas a cambiar de posición.

La figura muestra el aspecto de la curva de magnetización de una sustancia ferromagnética cuando es sometida a intensidades de campos magnéticos alternos. En el punto 0 la sustancia no ha sido magnetizada nunca y en consecuencia, la inducción magnética 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 el valor de la intensidad de corriente en la bobina por lo que se reduce la intensidad de campo; 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, remanencia o magnetismo residual del material magnético 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 , conocido con el nombre de campo coercitivo del material. En el tramo c-d se sigue aplicando una intensidad de campo negativo , con lo que se consigue 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, ver figura...Cundo la corriente eléctrica en una bobina se invierte miles de veces por segundo, la Histeresis puede ocasionar una considerable pérdida de energía. De este modo se obtiene la curva cerrada que se llama ciclo y/o lazo de histéresis. Su superficie es proporcional a la energía consumida en un ciclo de remagnetización de una unidad de volumen del material ferromagnético. Si al construir el ciclo de histéresis la inducción magnética se expresa Tesla y la intensidad en Amper por metro, la unidad de superficie de la curva corresponderá a

$$Sup = B.H \quad (T * \frac{A}{m} = \frac{V.s}{m^2} * \frac{A}{m} = \frac{V.A.s}{m^3} = \frac{J}{m^3}) \quad (2.15)$$

En las condiciones de remagnetización cíclica trabajan los núcleos de transformadores, las maquinas y aparatos de corriente alterna. Para disminuir en lo posible las pérdidas por histéresis es deseable utilizar materiales ferromagnéticos con el lazo relativamente muy estrecho de histéresis, entre tales materiales figura la chapa de acero electrotécnico. Pero para los imanes permanentes mejor es emplear un material magneticamente duro con gran fuerza coercitiva e inducción magnética remanente, por lo tanto, con un ancho lazo de histéresis, figura

2.3.14. Sistemas de Unidades Magnéticas.

El sistema de unidades magnéticas SI, determina las unidades de magnitudes magnéticas por las unidades eléctricas y mecánicas correspondientes a base de las leyes del Electromagnetismo.

La intensidad del campo magnético H se mide en Amper por metro ($\frac{A}{m}$). Un Amper por metro es la intensidad del campo magnético creado por la corriente de intensidad de 12,56 (A) o 4π (A) que circula por un conductor rectilíneo infinitamente largo a la distancia de un metro de su eje. Las dimensiones de la unidad ($\frac{A}{m}$) y su definición se dan a base de la ley de corriente total.

La unidad del flujo magnético Φ es el Weber (Wb). El flujo magnético es de un Weber si al decrecer el flujo magnético hasta cero por segundo en el circuito acoplado a este flujo se produce la fuerza electromotriz de inducción igual a un Volt; por tanto, ($Wb = V.s$). Las dimensiones de la unidad y su definición están dadas a base de la ley de inducción electromagnética.

La inducción magnética se mide en Tesla (T). Un Tesla es la inducción de un campo magnético uniforme en que el flujo magnético a través de la superficie de un metro cuadrado $1m^2$ perpendicular al sentido del campo, es igual a un Weber (Wb). Por consiguiente ($T = \frac{Wb}{m^2}$).

La fuerza magnetizante fmm se mide en Amper por vueltas, basándose en la ley de corriente total.

La permeabilidad magnética absoluta μ y la constante magnética del vacío y/o aire μ_0 se miden en Ohm por segundo por metro. Ya que $\mu = \frac{B}{H}$, resulta que la permeabilidad magnética debe medirse en

$$\frac{T}{\frac{A}{m}} = \frac{Wb.m}{m^2.A} = \frac{V.s}{A.m} = \frac{\Omega.s}{m} \quad (2.16)$$

La inductancia L se mide en Henrios (H). El circuito tiene la inductancia de un Henrio, cuando la corriente de un Amper de intensidad produce un flujo de un Weber, acoplado a este circuito. Ya que

$$H = \frac{Wb}{A} = \frac{V.s}{A} = \Omega.s \quad (2.17)$$

la unidad de μ es ($\frac{H}{m}$).

En el sistema SI, debido a la elección correspondiente de la unidad, las formulas de las leyes de electromagnetismo no contienen ningún coeficiente constante. Este sistema es normalizado - racionalizado -.

Pero, a su lado, se admite el uso de las unidades magnéticas del sistema magnético no normalizado C.G.S. y la constante magnética μ_0 , o sea, la permeabilidad magnética del vacío adimensional y tomada igual a la unidad. En este sistema la unidad de la intensidad magnética H se mide en Oersted (Oe).

$$1 \frac{A}{m} = 4\pi.10^{-3} \quad (Oe) \quad (2.18)$$

El flujo magnético Φ se mide en Maxwell (Mx), $1Wb \rightarrow 10^8 Mx$.

La inducción magnética B se mide en Gauss (Gs), $1T \rightarrow 10^4 Gs$.

La fuerza magnetizante Fmm se mide en Gilbert (Gb), $1A \rightarrow 0,4\pi Gb$.

La inductancia L se mide en centímetros (cm), $1H \rightarrow 10^9 cm$.

Al usar las unidades del sistema C.G.S. μ_0 hay que tener en cuenta que las formulas de electromagnetismo en este sistema no son racionalizadas y contienen el coeficiente 4π .

En el sistema SI la unidad de la intensidad del campo magnético también es

$$B \quad \left(\frac{N}{A.m} \right) \quad (2.19)$$

$$\mu_0 = \frac{N}{A^2} \quad (2.20)$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} \quad (2.21)$$

Definimos la unidad de la intensidad de campo magnético, como el campo creado por una corriente cuya densidad lineal sea de un Amper por metro

$$H \quad \left(\frac{\frac{N}{A.m}}{\frac{N}{A^2}} = \frac{N.A^2}{N.A.m} = \frac{A}{m} \right) \quad (2.22)$$

La unidad de intensidad en el SI recibe el nombre de $\left(\frac{A}{m} \right)$ Amper por metro.

2.4. Conclusión:

La mayor parte de los aparatos eléctricos dependen directa o indirectamente del magnetismo y/o del electromagnetismo.

En el año 1819 Cristian Oersted - Dinamarca- Demuestra que el campo magnético puede obtenerse con corriente eléctrica (corriente directa).

En el año 1820 Michal Faraday (1791-1867) Inglaterra - Demuestra que con un campo magnético variable puede obtenerse una corriente eléctrica.

Henry Joseph (1797-1878) Estadounidense. Físico y Matemático. Demuestra la relación entre la electricidad y el magnetismo independientemente de Faraday.

Dos grandes secretos del universo: El magnetismo en movimiento puede producir corriente eléctrica y que la corriente eléctrica puede producir magnetismo.

La Relación : Electricidad- Magnetismo-Movimiento, es tan íntima que dos de ellas producen el tercero.

El movimiento del imán produce una fuerza electromagnética en el espiral que hace que la corriente fluya por el cable o sea :

- a) El movimiento y el magnetismo producen electricidad en el Generador.
- b) La electricidad y el magnetismo producen el movimiento de un Motor.

En el año 1860– James Clerk Maxwell (1831-1879) Escoces. Llego a las ecuaciones de Maxwell, la base de nuestra comprensión del electromagnetismo, base de la tecnología moderna.

2.5. Aplicaciones:

Instrumento para medir la densidad de flujo magnético en Gauss y/o Tesla.

2.5.1. Aplicaciones Prácticas

Motor.

Generador.

Transformador.

La ferrita en su empleo mas común como núcleos en el centro de los devanados de los transformadores de radiofrecuencia (RF).

Altavoz.

Relevador.

Desplazador del eje ferromagnético.

Aplicaciones médicas: formación de imágenes por resonancia magnética.

Capítulo 3

CIRCUITO MAGNÉTICOS

3.1. Conocimientos previos:

Electromagnetismo

3.2. Introducción. Objetivos :

El Alumno sabrá definir El circuito Magnético, características fundamentales.

Magnitudes asociadas al circuito magnético.

Ley fundamental del circuito magnético.

Clasificación de los circuitos magnéticos serie y paralelo.

Cálculo de los circuitos magnéticos.

3.3. Demostración:

El circuito magnético es la región del espacio ocupada por el flujo magnético, representado por líneas de fuerza cerradas. Según los materiales utilizados en los circuitos magnéticos, estos pueden ser :

Los homogéneos se caracterizan porque el material utilizado en todo el circuito es el mismo.

Los heterogéneos se caracterizan porque el material utilizado en todo el circuito magnético es de diferentes cualidades magnéticas.

Se puede comparar un circuito magnético con un circuito eléctrico, lo que da mayor claridad a las relaciones de magnitudes magnéticas.

3.3.1. Fuerza Magnetomotriz.

La fuerza magnetomotriz F_{mm} , es la capacidad que posee la bobina de generar líneas de fuerza en un circuito magnético. La F_{mm} aumenta con la intensidad de la corriente que fluye por la bobina y con el número de espiras de ésta.

$$F_{mm} = N.I \quad (Av) \quad (3.1)$$

3.3.2. Reluctancia Magnética.

La reluctancia magnética de un material R nos indica si este deja establecer las líneas de fuerza en mayor o menor grado. Los materiales no ferromagnéticos, como el aire, poseen una reluctancia muy elevada. La reluctancia es una característica propia de cada material magnético. La reluctancia es inversamente proporcional a la permeabilidad magnética, por lo que en la construcción de circuitos magnéticos hay que procurar que los entrehierros sean lo más pequeño posible, la reluctancia aumenta con su longitud y disminuye con la permeabilidad y la superficie transversal del núcleo - fórmula similar a la resistencia de un conductor - .

$$R = \frac{l}{\mu \cdot S} \quad \left(\frac{Av}{Wb} \right) \quad (3.2)$$

3.3.3. Ley de Corriente Total.

La ley de corriente total determina la intensidad del campo magnético en función de las corrientes que lo crean.

En el primer caso : La intensidad del campo magnético H de un conductor rectilíneo largo a la distancia x de su eje será :

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot x} = \frac{I}{l} \quad (3.3)$$

aquí $l = 2\pi x$, es la longitud de la circunferencia circunscripta alrededor del conductor de radio x . En todos los puntos de esta circunferencia, debido a la simetría del sistema, la intensidad del campo magnético es la misma, mientras que la propia circunferencia coincide con la línea magnética circunscripta alrededor del conductor. El campo magnético del conductor se crea por la fuerza magnetizante de la corriente eléctrica I . En el sistema SI se suele considerar la fuerza magnetizante igual a la corriente, o sea, $Fmm = I$, por tanto $H = \frac{Fmm}{I}$, o bien $Fmm = H \cdot l$.

En el segundo caso : El cálculo de la intensidad del campo magnético dentro de un anillo homogéneo (toroide) de cualquier material arrollado de alambre aislado. En este caso las líneas magnéticas tienen la forma de circunferencias encerradas dentro de la sección del anillo, las líneas magnéticas de espiras individuales, en sus espacios, están dirigidas al encuentro unas a otras y se compensan mutuamente. El flujo magnético se concentra dentro del anillo. La longitud de una línea magnética media $l_m = 2\pi \cdot R_m$ y la fuerza magnetizante es igual al producto de la corriente eléctrica por el número de espiras del anillo $F = I \cdot n$, ya que cada espira aumenta la fuerza magnetizante en una magnitud I , por lo tanto en el anillo

$$H = \frac{I \cdot n}{2\pi \cdot R_m} = \frac{Fmm}{l_m} \quad (3.4)$$

Alrededor del conductor y dentro del anillo a lo largo de la línea magnética el campo ha sido igual. Pero en la mayoría de los dispositivos electrotécnicos la intensidad a lo largo de la línea magnética, varía según sean las condiciones en sus partes - sección, longitud y material -

En casos semejantes todo el camino cerrado del flujo magnético, llamado circuito magnético, se divide, en lo posible en un número pequeño de n porciones.

Dentro de los límites de cada una de las porciones la intensidad H_k se puede considerar constante.

Si el campo se crea por una bobina de n espiras, recorrida por la corriente, para este caso, mas importante, la ley de corriente total será :

$$F = I.n = H_1.l_1 + H_2.l_2 + + H_n.l_n = \sum_{k=1}^n H_k.l_k \quad (3.5)$$

de donde la fuerza magnetizante F - la “ presión” en el sistema para establecer líneas de fuerza magnética está determinada por la fuerza magnetomotriz aplicada, la cual está directamente relacionada con el número de vueltas y la corriente de la bobina magnetizante - es igual a la suma de las tensiones magnéticas en las porciones individuales del circuito magnético.

En el caso de un circuito magnético homogéneo la ley de corriente total es :

$$I.n = H.l \quad (3.6)$$

3.3.4. Clasificación de un circuito magnético.

Según la disposición del núcleo magnético, los circuitos magnéticos se pueden clasificar en circuito serie o circuito paralelo. Para lo cual tenemos que definir que todo lo dicho en la resolución de circuitos eléctricos es aplicable en la resolución de los circuitos magnéticos. Por extensión de las leyes de Ohm y de Hopkinson, estamos en condiciones de afirmar :

En los circuitos serie existe un único flujo magnético que se establece en todas las partes del circuito por igual. Sin embargo, aparecen diferentes fuerzas magnetomotrices en cada parte diferente del circuito.

En los circuitos paralelo o derivados aparecen diferentes caminos y/o ramas por donde se puede establecer las líneas de campo. Sin embargo, la fuerza magnetomotriz es igual para los circuitos derivados.

Primero : En un lugar de encuentro, la suma de los flujos magnéticos es nula - LKI.

$$\sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i = 0 \quad (3.7)$$

Segundo : En una malla, la suma de las Fmm es igual a la suma de los productos flujo magnético por la reluctancia; o la suma de las Fmm es igual a la suma de las caídas de tensión magnética en la malla - LKV.

$$\sum_{i=1}^{i=n} Fmm_i = \sum_{r=1}^{r=n} \Phi.R_r \quad \sum_{i=1}^{i=n} Fmm_i = \sum_{mg=1}^{mg=n} V_{mg} \quad (3.8)$$

Tercero : Varias reluctancias en serie se suman

$$R = \sum_{r=1}^{r=n} R_r \quad (3.9)$$

Cuarto : Varias reluctancias en paralelo

$$\frac{1}{R_t} = \sum_{r=1}^{r=n} \frac{1}{R_r} \quad (3.10)$$

3.3.5. Cálculo de un circuito magnético.

Los amperios-vuelta necesarios para obtener determinado flujo en un circuito magnético son la suma de los amperios-vueltas necesarios para las distintas partes que lo constituyen. Los amperios-vuelta necesarios para cada parte del circuito magnético se hallan multiplicando la intensidad de campo en esa parte por su longitud.

$$H.l = I.n \quad (3.11)$$

La intensidad de campo magnético en las distintas partes del circuito magnético se calcula de la forma siguiente.

a) Intensidad de campo magnético en el hierro : La permeabilidad de las sustancias ferromagnéticas no es constante, por lo que la relación entre la inducción magnética y la intensidad de campo magnético en los distintos materiales viene dada en tablas o curvas llamadas de magnetización figura..., gráficamente se obtiene para cada material, según la inducción magnética los amperios-vuelta por unidad de longitud - expresado en Av/m.

b) Intensidad de campo en el aire o entrehierro : Se halla dividiendo la inducción magnética por la permeabilidad del aire.

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{B}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 800,000.B \quad \left(\frac{Av}{m}\right) = 8,000.B \quad \left(\frac{Av}{cm}\right) \quad (3.12)$$

En el entrehierro la intensidad de campo, en Amperio-vueltas por centímetro, es el producto de la inducción en Tesla por 800.000, que es equivalente al producto de la inducción en Gauss por 8.000.

3.3.6. Ley de Hopkinson.

3.4. Conclusión:

3.5. Aplicaciones:

3.5.1. Aplicaciones Prácticas

Los Electroimanes. Según como se disponga el núcleo de los Electroimanes, estos pueden ser de culatas o de núcleo móvil. En los Electroimanes el núcleo suele ser de un material ferromagnético con un bajo campo coercitivo, de tal forma que solo se imanta cuando las bobinas son recorridas por una corriente eléctrica. En los dos tipos de Electroimanes, la parte móvil es atraída hacia el núcleo mientras alimentamos la bobina con corriente eléctrica. Las aplicaciones de los Electroimanes son muy variadas, exponemos algunos de los mas relevantes :

- Frenos magnéticos.
- Electroválvulas.

Timbres.

Sistemas que separan los materiales magnéticos de los no magnéticos.

Relés y contactores

Magnetoresistencia, cabeza lectora del disco duro de un ordenador personal.

Etiquetado Magnético, para evitar el robo de artículos en grandes almacenes.

Bibliografía

- [1] Física - Volumen II - Séptima Edición - Serway/Jewett - Cengage.
- [2] Física II - Electromagnetismo - Primer Edición - Morelli Gerardo - Univer-sita.
- [3] Electromagnetismo - Primer Edición - Edminister Joseph - McGraw Hill.
- [4] Fundamentos de Electricidad - Primera Edición - Gussow Milton - McGraw Hill.
- [5] Fundamento de Electrotecnia - Primera Edición - Kasatkin A. - MIR.
- [6] Electrotecnia - Décima Edición - Trasanco José - Paraninfo.
- [7] Electrotecnia - Primera Edición - Pablo Alcalde - Paraninfo.
- [8] Introducción al Análisis de Circuitos - Decimosegunda Edición- Boylestad Robert - Pearson.
- [9] Materiales Electrotécnicos -
- [10] Circuitos Eléctricos - Spinadel -
- [11] Circuitos Magnéticos
- [12] Materiales Magnéticos - Editor Sarmiento Jorge
- [13] Materiales Magnéticos -
- [14] Los Circuitos Magnéticos - Sobrevilla -
- [15] El Campo Magnético - E.P. 4 - Siemens
- [16] El circuito Magnético - E.P. 20 - Siemens
- [17] El Magnetismo - Orrego - Paraninfo
- [18] Campo Magnético - Colección CEAC -
- [19] Magnetismo y Circuitos Magnético - Robbins-Miller
- [20] Magnetismo y Electromagnetismo - Thomas Floyd
- [21] Circuitos Magnéticos - Alfa omega
- [22] Maquinas Eléctricas - Sexta Edición - Fitzgerald A. -McGraw Hill.

[23] Elementos Magnetoresistivos - E.P. 34 - Siemens.

[24] Circuitos Magnéticos -