

TK25  
B4

Un estudio cuantitativo de la distribución de campo magnético involucra conceptos de la Teoría Electromagnética, aún en sus casos más simples, y queda por lo tanto fuera de los objetivos de éste capítulo.

### 1.3 FUERZAS SOBRE CARGAS EN MOVIMIENTO EN EL SENO DE UN CAMPO MAGNETICO

Se dice que existe un campo magnético en un punto si ( además de la fuerza electrostática o gravitacional) se ejerce una fuerza sobre una carga móvil que pase por dicho punto.

La fuerza gravitacional entre cargas eléctricas es despreciable comparada con la fuerza eléctrica, dada la pequeña magnitud de sus masas, y a su vez, el campo eléctrico producido por corrientes es tan pequeño en la mayoría de los casos prácticos, que su efecto puede despreciarse. La expresión analítica que relaciona al campo magnético con la fuerza que produce sobre una carga móvil es la siguiente:

$$\vec{F} = q_0 \mu_0 \vec{V} \times \vec{H} \quad 1.1$$

- Donde:
- F = fuerza ( N )
  - V = velocidad ( m/seg) de la carga móvil
  - H = campo magnético ( Lenz)
  - q<sub>0</sub> = carga eléctrica de la partícula en movimiento
  - μ<sub>0</sub> = Permeabilidad del espacio vacío

para cargas en el vacío o en el aire. Comparándola con la expresión para la fuerza que experimenta una carga en un campo eléctrico:

$$\vec{F} = q_0 \vec{E} \quad 1.2$$

se observa una diferencia fundamental, mientras que la fuerza eléctrica actúa siempre en la dirección del campo eléctrico, la fuerza magnética actúa en una dirección perpendicular al plano formado por la velocidad instantánea y el campo magnético; por lo tanto, un campo magnético altera el movimiento de una partícula modificando su trayectoria y el módulo de su velocidad permanece intacto.

Una corriente eléctrica es una cantidad grande de cargas en movimiento, y por lo tanto, un conductor que transporta corriente en el seno de un campo magnético experimentará una fuerza que es la resultante de las fuerzas individuales que actúan sobre cada carga que se mueve. Aplicando la Ec. 1.1 y otras ecuaciones básicas de la teoría electromagnética ( como la ley de Biot-Savart), pueden obtenerse expresiones analíticas para las fuerzas que experimentan distintas configuraciones de conductores que transportan corriente. Sin embargo, se posterga éste estudio para un curso de máquinas eléctricas rotativas y se expondrán sólo las conclusiones de índole cualitativa.

Una forma cualitativa de analizar las fuerzas sobre conductores debidas a los campos magnéticos consiste en definir la existencia de una energía potencial magnética. Un sistema se estabiliza ( entra en equilibrio estable) cuando su energía potencial tiene un valor mínimo. Un sistema inestable es aquel que experimenta fuerzas internas que tienden a modificar la posición de sus elementos. La energía potencial de un sistema formado por dos o más elementos que generan campo magnético es menor mientras la configuración total del campo magnético es más próxima a las configuraciones individuales de campo magnético. Considérese por ejemplo la Fig. 7 de éste capítulo. Existen dos elementos en el sistema, uno que genera un campo magnético horizontal y que se supone tan grande que no se ve afectado por la presencia del conductor, y el otro elemento es el conductor mismo. Puede observarse que la interrelación de ambos elementos distorsiona sus respectivos campos, y se generan entonces fuerzas que tienden a reestablecer la configuración original de campo magnético para cada elemento. El conductor experimenta así una

TK25  
B4

fuerza que tiende a "expulsarlo" del campo magnético horizontal. Otro ejemplo se presenta en la Fig. 9, que representa la configuración de campo magnético en la vecindad de dos conductores que transportan corriente en el mismo sentido. En este ejemplo

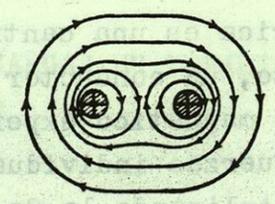


Fig. 9 Campo magnético en torno a dos conductores paralelos; corrientes paralelas.

se ve que la única forma de que la configuración del sistema se asemeje a las configuraciones individuales, es que ambos conductores ocupasen el mismo lugar del espacio, y esto es lo que tiende a suceder, ya que surgen fuerzas de atracción entre ambos conductores. Para la Fig. 10 surgen fuerzas de repulsión entre ambos conductores. De lo anterior se inducen dos sencillas reglas:

" Los conductores por los que circulan corrientes de igual dirección tienden a atraerse; los conductores que transportan corrientes en sentidos opuestos, tienden a repelerse".

" Todos los circuitos eléctricos tienden a adoptar una posición tal que haga que las corrientes que circulan por ellos sean paralelas y del mismo sentido".

Si un conductor por el que circula una corriente forma una curva cerrada, produce un campo análogo al que representa la Fig. 8. Experimentalmente se demuestra que al acercar una brújula a dicha espira conductora, la brújula se orienta en la dirección del eje de la espira. De este experimento se tomó la convención de asignar una polaridad ~~por~~ NORTE a la parte de un dispositi

tivo ( en este caso una espira de corriente constante) del cual emanan las líneas de inducción ( el campo magnético es tangente a dichas líneas), y una polaridad SUR a la parte por la que las líneas entran al dispositivo. Estas polaridades se asignaron por

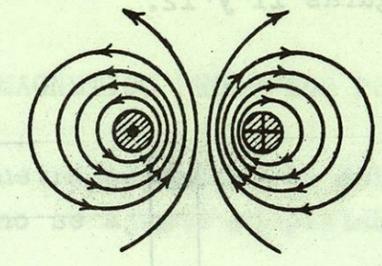


Fig. 10 Campo magnético en torno a dos conductores paralelos; corrientes antiparalelas.

similitud con la forma en que la misma brújula se orientaría en el campo magnético de la Tierra. De este sencillo experimento se infirieron las reglas de la mano y del tornillo. Se dice entonces que el campo magnético va de norte a sur, aunque esta es una expresión parcialmente cierta, ya que en el interior de la espira considerada el campo va de sur a norte. Así, si el campo magnético generado por un dispositivo es de dirección uniforme, puede representarse anotando las letras N y S en las regiones en que el campo sale o entra al dispositivo respectivamente, o puede representarse también dicho campo por un vector con la orientación de las líneas de inducción y de una magnitud equivalente al campo magnético resultante; a dicho vector se le denomina MOMENTO DEL DIPOLO MAGNETICO, se le representa con la letra M y su magnitud queda definida así:

$$\vec{M} = i \vec{A} \quad 1.3$$

Donde: i - Corriente que conduce la espira  
A - Vector área de la espira

TK 25  
B4

No se entrará en detalles con respecto a la Ec. 1.3, ya que no se le utilizará en cálculos; se le incluye únicamente para dar cabalidad a la definición del momento dipolar. Puede decirse, cualitativamente, que una espira de corriente, al situarse en el seno de un campo magnético uniforme, tiende a orientarse de tal forma que su momento dipolar sea paralelo al vector de campo magnético. Véase las figuras 11 y 12.

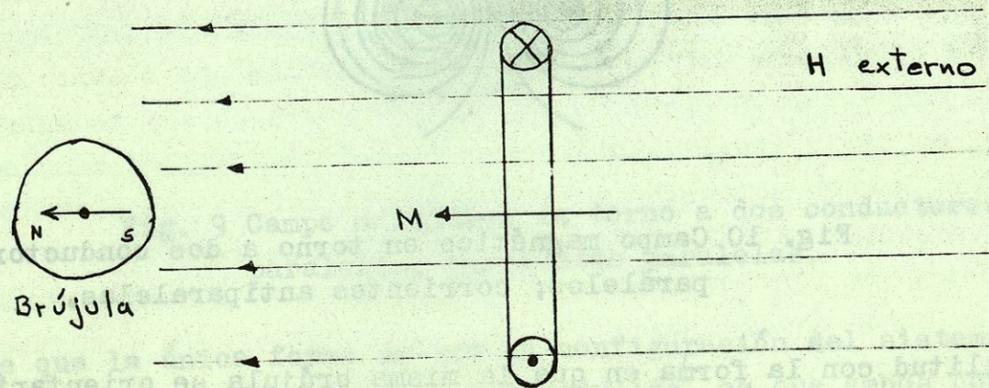


Fig. 11 Espira de corriente alineada con el campo magnético externo ( sistema estable).

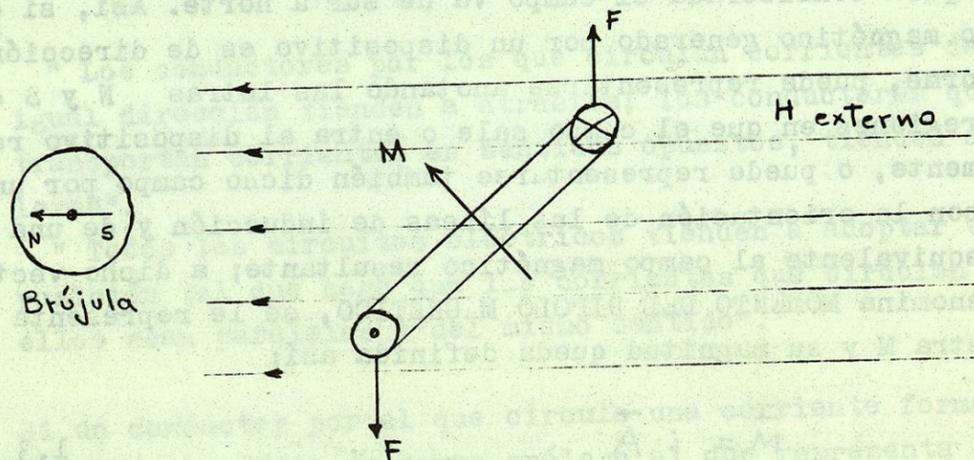


Fig. 12 Fuerzas que tienden a alinear a la espira de corriente con el campo externo ( el sistema es inestable).

Nótese que el momento dipolar de una espira es un vector que tiene un sentido igual al del campo magnético en el interior de la espira y que el momento dipolar equivalente de un conjunto de espiras será la suma vectorial de sus momentos dipolares individuales.

#### 1.4 EL CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UN IMAN

La Fig. 13 ilustra el modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno. Este modelo no se ajusta completamente a la realidad ( la

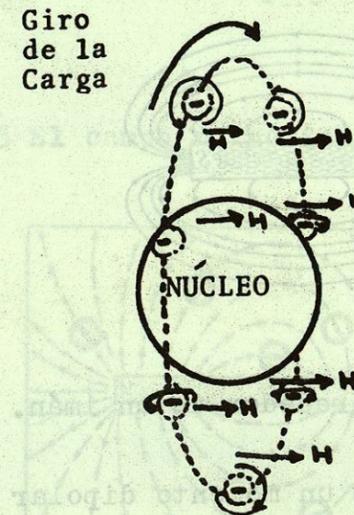


Fig. 13 Modelo del átomo de hidrógeno.

órbita del electrón no es exactamente circular y no gira éste en un solo plano), pero su estudio contribuye a esclarecer el comportamiento magnético de la materia. Puede considerarse al electrón en movimiento como una corriente que circula en una espira, definida por la trayectoria, en un sentido contrario al que el electrón recorre su órbita. Aplicando la regla de la mano derecha a dicha espira de corriente, o directamente la mano izquierda al electrón en movimiento, se obtiene el sentido del campo magnético generado por el movimiento de traslación del electrón alrededor del núcleo. Se concluye entonces que el átomo de hidrógeno tiene un momento dipolar magnético, y que al