

Unidad III

Campo magnético

Un campo magnético es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos. El campo magnético en cualquier punto está especificado por dos valores, la *dirección* y la *magnitud*; de tal forma que es un campo vectorial. Específicamente, el campo magnético es un vector axial, como lo son los momentos mecánicos y los campos rotacionales. El campo magnético es más comúnmente definido en términos de la fuerza de Lorentz ejercida en cargas eléctricas. *Campo magnético* puede referirse a dos separados pero muy relacionados símbolos B y H.

Los campos magnéticos son producidos por cualquier carga eléctrica en movimiento y el momento magnético intrínseco de las partículas elementales asociadas con una propiedad cuántica fundamental, su espín. En la relatividad especial, campos eléctricos y magnéticos son dos aspectos interrelacionados de un objeto, llamado el tensor electromagnético. Las fuerzas magnéticas dan información sobre la carga que lleva un material a través del efecto Hall. La interacción de los campos magnéticos en dispositivos eléctricos tales como transformadores es estudiada en la disciplina de circuitos magnéticos.

3.1. Magnetismo y campo magnético.

El magnetismo se presenta en la naturaleza de dos formas: magnetismo terrestre y la magnetita (óxido de hierro o piedra imán).

Existen imanes naturales, artificiales y electroimanes. Todos ellos tienen la característica de atraer materiales ferrosos. Los imanes tienen dos polos, llamados norte y sur, los del mismo tipo se repelen y los polos distintos se atraen.

Las brújulas son un tipo especial de imán, que se utilizan para orientarse geográficamente, utilizando el magnetismo terrestre.

3.2. Ley Biot – Savart.

La ley de Biot-Savart indica el campo magnético creado por corrientes eléctricas estacionarias.

En el caso de las corrientes que circulan por circuitos filiformes (o cerrados), la contribución de un elemento infinitesimal de longitud $d\vec{l}$ del circuito recorrido por una corriente I crea una contribución elemental de campo magnético, $d\vec{B}$, en el

punto situado en la posición que apunta el vector $\vec{U}r$ a una distancia r respecto de $d\vec{l}$, quien apunta en dirección a la corriente I:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, y \hat{r} es un vector unitario.

En el caso de corrientes distribuidas en volúmenes, la contribución de cada elemento de volumen de la distribución, viene dada por:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \vec{J} \times \vec{R}}{4\pi r^3} dv$$

donde \vec{J} es la densidad de corriente en el elemento de volumen

dv y \vec{R} es la posición relativa del punto en el que queremos calcular el campo, respecto del elemento de volumen en cuestión.

En ambos casos, el campo final resulta de aplicar el principio de superposición a través de la expresión:

$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

En la que la integral se extiende a todo el recinto que contiene las fuentes del campo.

La ley de Biot-Savart es fundamental en magnetostática tanto como la ley de Coulomb lo es en electrostática.

3.3. Fuerza magnética sobre una carga.

Es conocido que un conductor por el que circula una corriente sufre una fuerza en presencia de un campo magnético. Puesto que la corriente está constituida por cargas eléctricas en movimiento, empezaremos por estudiar la fuerza sobre una única carga.

Fuerza de Lorentz

Al observar experimentalmente cómo es la fuerza que un campo B ejerce sobre una carga eléctrica q se cumple que:

Si la carga está en reposo, el campo B no ejerce ninguna fuerza sobre ella.

La fuerza es máxima cuando la velocidad de la carga v y el campo B son perpendiculares y es nula cuando son paralelos.

La fuerza es perpendicular al plano formado por v y B .

La fuerza es proporcional al valor de la carga q y a la velocidad v .

Si la carga cambia de signo, la fuerza cambia de sentido

Resumiendo todos estos hechos, se concluye que la fuerza que un campo B ejerce sobre una carga eléctrica q que se mueve con una velocidad v viene dada por la expresión:

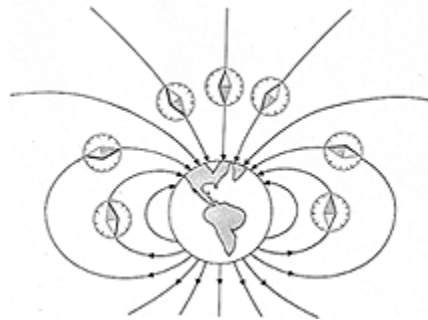
$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

3.4. Líneas campo magnético y flujo magnético.

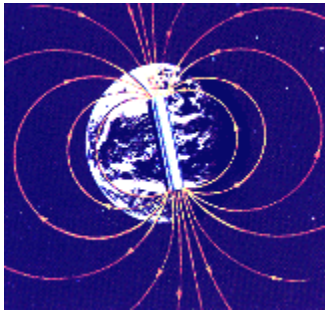
Las líneas del campo magnético describen de forma similar la estructura del campo magnético en tres dimensiones. Se definen como sigue. Si en cualquier punto de dicha línea colocamos una aguja de compás ideal, libre para girar en cualquier dirección (diferente a la aguja normal que permanece horizontal --estas agujas existen, vea al final de la página), la aguja siempre apuntará **a lo largo** de la línea de campo (dibujo inferior).

Las líneas de campo

convergen donde la fuerza magnética es mayor y se separan donde es más débil. Por ejemplo, en una barra imantada compacta o "**dipolo**", las líneas de campo se separan a partir de un **polo** y convergen en el otro y la fuerza magnética es mayor cerca de los polos donde se reúnen. El comportamiento de las líneas en el campo magnético terrestre es muy similar.



Las líneas de campo fueron introducidas por **Michael Faraday** (vea la [historia](#)), que las denominó "líneas de fuerza". Durante muchos años fueron vistas meramente como una forma de visualizar los campos magnéticos y los ingenieros eléctricos preferían otras formas, más útiles matemáticamente. Sin embargo no era así en el espacio, donde las líneas eran fundamentales para la forma en que se movían los electrones e iones. Estas partículas cargadas eléctricamente tienden **a permanecer unidas a las líneas de campo** donde se asientan, girando en espiral a su alrededor mientras se deslizan por ellas, como las cuentas de un collar (dibujo inferior).



3.5. Ley de Gauss para campo magnético.

La ley de Gauss del magnetismo establece que el flujo magnético a través de cualquier superficie cerrada siempre es cero:

Este enunciado se basa en el hecho experimental de que polos magnéticos aislados (o monopolos) nunca se han detectado e incluso no existen.

La siguiente figura (Figura 1) muestra el campo eléctrico asociado a una barra aislante que tiene cantidades iguales de carga positiva y negativa situadas en los extremos opuestos. Éste constituye un ejemplo de dipolo eléctrico.

La figura (Figura 2) muestra el caso análogo de un dipolo magnético, tal como la familiar barra imantada, con un polo norte en un extremo y un polo sur en el otro extremo.

En este nivel, los casos eléctrico y magnético son muy similares. De hecho, podríamos ser llevados a postular la existencia de polos magnéticos individuales análogos a las cargas eléctricas; tales polos, si existiesen, producirían campos

magnéticos (semejantes a los campos eléctricos producidos por las cargas) proporcionales a la intensidad de los polos e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia desde el polo. Como veremos, esta hipótesis no concuerda con el experimento.

Cortemos a la mitad los objetos de la figura (1) y (2) y separémoslos en dos piezas. La figura (3) y (4) muestra que los casos eléctrico y magnético ya no son semejantes. En el caso eléctrico, tenemos dos objetos que, si se les separa por una distancia suficientemente grande, pudieran considerarse como cargas puntuales de polaridades opuestas, cada una de las cuales produciría un campo característico de una carga puntual. Sin embargo, en el caso magnético no obtenemos polos norte y sur aislados, sino un par de imanes, cada uno de ellos con sus propios polos norte y sur. Esto es una diferencia importante entre los dipolos eléctricos y magnéticos: el dipolo eléctrico puede separarse en cada una de sus cargas (o "polos") constituyentes, pero el dipolo magnético no. Cada vez que tratamos de dividir a un dipolo magnético en polos norte y sur por separado, creamos un nuevo par de polos. Es un poco parecido a la acción de cortar un tramo de cuerda con dos extremos para tratar de obtener dos trozos de cuerda, cada uno de los cuales con sólo un extremo. Este efecto ocurre microscópicamente, hasta el nivel de cada átomo. Cada átomo se comporta como un dipolo magnético que tiene un polo norte y un polo sur, y hasta donde todavía sabemos, el dipolo, y no el solo polo aislado, parece ser la unidad fundamental más pequeña de la estructura magnética.

3.6. Ley de Ampere.

En física del magnetismo, la ley de Ampère, modelada por André-Marie Ampère en 1831,¹ relaciona un campo magnético estático con la causa que la produce, es decir, una corriente eléctrica estacionaria. James Clerk Maxwell la corrigió posteriormente y ahora es una de las ecuaciones de Maxwell, formando parte del electromagnetismo de la física clásica.

La ley de Ampère explica, que la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es igual a la corriente que lo recorre en ese contorno.

El campo magnético es un campo angular con forma circular, cuyas líneas encierran la corriente. La dirección del campo en un punto es tangencial al círculo que encierra la corriente.

El campo magnético disminuye inversamente con la distancia al conductor.

La **ley de Ampère-Maxwell** o **ley de Ampère generalizada** es la misma ley corregida por James Clerk Maxwell que introdujo la corriente de desplazamiento,

creando una versión generalizada de la ley e incorporándola a las ecuaciones de Maxwell.

Forma integral

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{d}{dt} \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

siendo el último término la corriente de desplazamiento.

siempre y cuando la corriente sea constante y directamente proporcional al campo magnético, y su integral (E) por su masa relativa.

Forma diferencial

Esta ley también se puede expresar de forma diferencial, para el vacío:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

o para medios material

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$