

Tema 22.- FUENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO

Los campos magnéticos difieren de los campos eléctricos en varios aspectos. Son producidos por cargas que se mueven con respecto al observador, como las corrientes eléctricas, en lugar de ser producidos por cargas en reposo. Además, las líneas de campo magnético son cerradas, es decir, no empiezan en un punto y terminan en otro, sino que, de alguna manera, se enrollan con la trayectoria de las cargas en movimiento o corrientes eléctricas. Las primeras observaciones sobre campos magnéticos creados por corrientes fueron realizadas por Oersted, quien descubrió que una aguja imantada que puede girar alrededor de un eje, y está próxima a un hilo conductor por el cual circula una corriente, tiende a colocarse con su eje longitudinal perpendicular al conductor. Experiencias posteriores realizadas por Biot y Savart, y por Ampère, condujeron a unas relaciones por medio de las cuales se puede calcular el campo magnético en cualquier punto del espacio que rodea un circuito por el cual circula una corriente.

• Campo magnético producido por una corriente. Ley de Biot-Savart

La contribución $d\mathbf{B}$ de un elemento infinitesimal de corriente $I d\mathbf{l}$ al campo magnético en un punto del espacio viene dada por la ley de Biot-Savart:

$$d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4} \frac{I d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{u}}_r}{r^2}$$

El campo magnético resultante se obtiene por la forma integral de la ley de Biot-Savart:

$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4} \frac{I d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{u}}_r}{r^2}$$

μ_0 es la permeabilidad del vacío ($4 \times 10^{-7} \text{ m kg C}^{-2}$).

• Cálculo del campo magnético mediante la ley de Biot-Savart

(i) *Corriente rectilínea e indefinida:* A una distancia r del conductor, el campo vale:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 r}$$

las líneas de campo son circunferencias concéntricas con la corriente rectilínea y perpendicular al plano de las mismas.

(ii) *Espira circular:* Si el radio de la espira es a y transporta una corriente I , el campo magnético en un punto de su eje a una distancia R de su centro es:

$$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2 (a^2 + R^2)^{3/2}}$$

(iii) *Solenoides muy largos:* El campo magnético en el eje del solenoide de longitud L con N vueltas en total y lejos de los bordes del solenoide es:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

(iv) *Solenoides infinitos:* Sólo hay campo en el interior del solenoide y si tiene n vueltas por unidad de longitud el campo es $B = \mu_0 n I$.

• Fuerzas entre corrientes. Definición de amperio

El valor de la fuerza por unidad de longitud que se ejercen entre sí dos conductores rectilíneos indefinidos, paralelos, separados una distancia R , por los que circulan corrientes de intensidades I e I' viene dada por:

$$f = \frac{\mu_0 I I'}{2 R}$$

El amperio, unidad de corriente eléctrica, se define en función de la fuerza por unidad de longitud entre los conductores. El amperio es aquella corriente que si se mantiene en dos conductores rectilíneos y paralelos de longitud infinita y sección transversal circular despreciable, situados en el vacío con una separación de un metro, produce entre estos dos conductores una fuerza igual a $2 \times 10^{-7} \text{ N}$ por metro de longitud.

• Flujo del campo magnético y ley de Gauss para el campo magnético

Se define el flujo del campo magnético a través de una superficie S como la integral de superficie del vector campo magnético extendida a toda la superficie:

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

En el Sistema Internacional el flujo magnético se expresa en una unidad denominada **weber** (Wb):

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T m}^2$$

La ley de Gauss para el campo magnético establece que el flujo magnético a través de una superficie cerrada es nulo, de acuerdo con la inexistencia de monopolos magnéticos, ya que los polos magnéticos siempre aparecen por pares:

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

Esto implica que las líneas del campo magnético son cerradas sobre sí mismas. Esta ley de Gauss es válida no sólo para campos estacionarios, sino para cualquier tipo de campo magnético.

• Ley de Ampère para el campo magnético

La ley de Ampère establece que la circulación del campo magnético a lo largo de una línea cerrada L que enlaza las corrientes I_1, I_2, I_3, \dots depende únicamente de las corrientes que atraviesan una superficie delimitada por la línea cerrada:

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$$

donde $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ es la corriente enlazada por la línea cerrada L .

Cuando se aplica la ley de Ampère consideramos que la corriente es positiva si pasa a través de la línea L en el sentido indicado por el dedo pulgar, cuando se utiliza la regla de la mano derecha para indicar la forma en que está orientada la trayectoria, y negativa en el sentido opuesto.

La ley de Ampère sólo es válida si las corrientes son continuas.

• Cálculo del campo magnético mediante la ley de Ampère

La ley de Ampère puede usarse para obtener el campo magnético producido por distribuciones de corriente con gran simetría, tales como un conductor largo y rectilíneo tanto si es filiforme como si es cilíndrico o un solenoide infinito. El campo magnético en el interior de un solenoide largo de vueltas apretadas, con n vueltas por unidad de longitud, y por el que circula una corriente I , viene dado por:

$$B = \mu_0 n I$$

• BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- [ALONSO, 1995] *Cap. 24: Corrientes eléctricas, Cap. 26: El campo magnético*
 [GETTYS, 1991] *Cap. 27: Fuentes del campo magnético.*
 [TIPLER, 1999] *Cap. 29: Fuentes del campo magnético.*