4. ELECTROMAGNETISMO

4.3. CAMPO MAGNÉTICO

4.3.1. Fuentes de campo magnético

El fenómeno del magnetismo ya era conocido por los griegos a través de la magnetita o piedra imán. Se observa que ciertas sustancias como la magnetita ejercen a su alrededor una fuerza que se manifiesta como la posibilidad de atraer y orientar en el espacio algunas partículas metálicas. De forma análoga a lo que vimos en el estudio del campo eléctrico, el hecho de que un imán ejerza una fuerza de acción a distancia sobre las partículas metálicas lo podemos interpretar diciendo que el imán crea a su alrededor un campo de fuerzas que llamamos **campo magnético**.

En el siglo XIX también se observó como la aguja de una brújula (metálica) se desviaba de su posición original al situarse en la proximidad de un conductor por el circulaba una corriente. Se dedujo pues que una corriente eléctrica también crea un campo magnético. En particular, nos vamos a centrar en el cálculo del campo magnético que crea una corriente. En la región del espacio en la que son observables fenómenos magnéticos decimos que existe un campo magnético cuya intensidad se denomina comúnmente **vector campo magnético** y se representa por $\vec{B}$.

4.3.2. Fuerza de Lorentz

Un imán o corriente eléctrica perturban el espacio que les rodea dando origen a un campo magnético caracterizado en cada punto por un vector $\vec{B}$. Al igual que el campo eléctrico el campo magnético se hace visible por la fuerza que ejerce sobre otros sistemas, por ejemplo sobre una carga eléctrica. Sobre la fuerza que un campo magnético ejerce sobre una carga puntual de valor q se encuentran los siguientes resultados experimentales:

- si la carga q está en reposo no se observa interacción alguna
- si la carga q posee una velocidad $\vec{v}$ aparece una fuerza magnética que es proporcional a q, $\vec{v}$ y $\vec{B}$ y dirección perpendicular a $\vec{v}$ y $\vec{B}$

Estos resultados experimentales matemáticamente se traducen en la siguiente expresión para la fuerza que un campo magnético $\vec{B}$ ejerce sobre una carga eléctrica puntual q que se mueve a una velocidad $\vec{v}$:

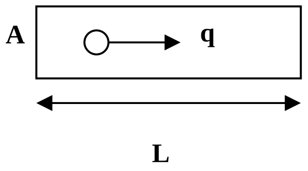
$$\vec{F} = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$$

La unidad de campo magnético es la tesla (T). Esta unidad es bastante grande, una unidad usada corrientemente, es el gauss (G) que está relacionada con el tesla por 1G=10^{-4} T. Finalmente, si en la misma región del espacio en la que existe el campo $\vec{B}$ existe también un campo eléctrico definido por $\vec{E}$, entonces cualquier carga q que se mueva con una velocidad $\vec{v}$ no paralela a $\vec{B}$ estará sometido a una fuerza total que será:

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$$

4.3.3. Fuerza magnética sobre un hilo conductor

Si introducimos un conductor recorrido por una corriente continua de intensidad I en un camo magnético $\vec{B}$, ¿sufrirá alguna fuerza magnética? Es evidente que sí, ya que una corriente eléctrica no es más que un flujo de cargas: las resultante de las fuerzas magnéticas que actúan sobre todas las cargas es la fuerza magnética que el campo ejerce sobre la corriente.



$$\vec{F} = \left(n^{o}\, c\arg as\right) q\vec{v}\times\vec{B} = nLAq\vec{v}\times\vec{B}$$

A: sección transversal del hilo conductor
L: longitud del hilo conductor
N: número de cargas por unidad de volumen

Definimos un vector $\vec{L}$ de la siguiente manera:
Módulo: longitud del hilo conductor
Dirección y sentido: los de la intensidad de corriente I a través del hilo

La expresión de la fuerza sobre un hilo conductor permanece invariable si el producto vectorial se realiza con el vector $\vec{L}$ que acabamos de definir:

$$\vec{F} = nLAq\vec{v}\times\vec{B} = nAqv\vec{L}\times\vec{B} = I\left(\vec{L}\times\vec{B}\right)$$

Para los siguientes casos:

- el hilo no es rectilíneo sino que tiene una forma irregular
- el valor del campo magnético no es constante en todo el hilo conductor

tenemos que dividir el hilo en pequeños elementos infinitesimales de longitud dL tales que cada uno de ellos pueda considerarse rectilíneo o el campo magnético se constante, a cada elemento infinitesimal le asociamos el vector $d\vec{L}$ calculamos la fuerza que el campo magnético ejerce sobre cada elemento infinitesimal y sumamos a todos los elementos infinitesimales en que hemos dividido el hilo:

$$d\vec{F} = I\left(d\vec{L}\times\vec{B}\right) \Rightarrow \vec{F} = \int I\left(d\vec{L}\times\vec{B}\right)$$

4.3.4. Cálculo del campo magnético

En 1820, el físico danés Oersted observó que el aguja de una brújula se desviaba cuando se encontraba cerca de un hilo conductor recorrido por una corriente, lo cual era indicio de la presencia de un campo magnético en las proximidades del conductor y de que este campo solo podía estar creado pro la corriente. Vamos a empezar calculando el campo creado por una corriente elemental, tan solo una carga puntual en movimiento:

<u>Campo creado por una carga puntual en movimiento:</u>

<u>Ley de Biot y Savart</u>

Supongamos que una carga positiva de valor q se desplaza con una velocidad $\vec{v}$. En un instante dado, en un punto P situado a una distancia r la carga dicha carga crea un campo magnético que es proporcional al valor de la carga a la velocidad con la que se mueve e inversamente proporcional a la distancia del punto P a la carga. Esto matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\vec{B} = K'q\frac{\vec{v}\times\vec{u}}{r^2}$$

siendo:

- $\vec{u}$ un vector unitario dirigido desde la carga que crea el campo hasta el punto P donde estamos calculando el campo

- $K' = \frac{\mu_0\mu_r}{4\pi}$ donde $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\frac{T\times m}{A}$ es la permeabilidad magnética del vacío y μ_r es la permeabilidad magnética relativa del medio en el que se encuentre la carga. Siempre trabajaremos con las cargas en el vacío, por lo que $\mu_r = 1$ y por tanto $K' = 10^{-7}\frac{T\times m}{A}$.

<u>Campo creado por una corriente eléctrica:</u>

<u>Ley de Biot y Savart</u>

Para calcular el campo magnético creado por un hilo conductor en un punto P lo razonable sería multiplicar la expresión anteriormente deducida para el campo magnético creado por una carga por el número de cargas contenidas en el hilo conductor. Esto no es posible porque no todas las cargas del interior del conductor crean el mismo campo en el punto P ya que si el valor de r ni el vector unitario valen lo mismo para todas las cargas del interior del conductor. Por tanto, para calcular el campo creado por un hilo conductor lo dividimos en elementos infinitesimales tan pequeños que el campo creado en el punto P tenga el mismo valor para todas las cargas contenidas en dicho elemento infinitesimal de longitud. Para cada elemento infinitesimal de longitud el campo magnético será el producto de la expresión anteriormente deducida por el número de cargas contenidas en dicho elemento infinitesimal. El campo total creado por el hilo conductor será la suma de los campos magnéticos creados por cada uno de los elementos infinitesimales de longitud en que hemos dividido el hilo conductor:

$$d\vec{B} = (n^o\, c\arg as)K'q\frac{\vec{v}\times\vec{u}}{r^2} = nAdLK'q\frac{\vec{v}\times\vec{u}}{r^2}$$

De nuevo, definimos un vector $d\vec{L}$ como hemos hechos anteriormente y la expresión queda escrita:

$$d\vec{B} = nAvK'q\frac{d\vec{L}\times\vec{u}}{r^2} = K'I\frac{d\vec{L}\times\vec{u}}{r^2} \Rightarrow \vec{B} = \int K'I\frac{d\vec{L}\times\vec{u}}{r^2}$$

4.3.5. Ley de Ampere

Al igual que con el campo eléctrico podemos representar gráficamente el campo magnético mediante las líneas de campo. La fuente fundamental de los campos magnéticos es la corriente eléctrica.

Los campos magnéticos que surgen de las corrientes no se originan o terminan en puntos del espacio, sino que forman bucles cerrados que rodean la corriente. Las líneas de campo magnéticos debidos a un conductor largo y rectilíneo, portador de corriente, rodean en círculo al conductor. Por ejemplo, si el conductor es rectilíneo y muy largo, las líneas de campo son circunferencias centradas en el hilo y situadas en planos perpendiculares a él

Supongamos una región del espacio donde existe una determinada distribución de corriente que está creando un campo magnético caracterizado en cada punto por el vector $\vec{B}$. Si en dicha región del espacio tomamos una curva cerrada y evaluamos el producto escalar $\vec{B} \bullet d\vec{r}$ a lo largo de la curva obtendremos que es igual a la permeabilidad magnética del vacío por la corriente I que atraviesa la superficie que delimita la curva cerrada. Matemáticamente la ley de Ampère se expresa:

$$\oint_C \vec{B} \bullet d\vec{r} = \mu_0 I$$

Aspectos importantes de la ley de Ampère:

1) la ley de Ampère se cumple siempre
2) nos va a ser útil para calcular el campo magnético que crean determinadas distribuciones de corriente y que sería mucha más complicado calcular mediante la ley de Biot y Savart
3) la distribuciones de corriente deben tener suficiente simetría como para que el vector $\vec{B}$ pueda ser despejada de la integral. Al igual que la ley de Gauss, de la ley de Ampère solo se puede deducir el módulo del campo magnético y previamente debemos tener alguna información sobre cómo es el campo magnético creado por dicha distribución de corriente

Puesto que de la ley de Ampére se deduce que la circulación del campo magnético a lo largo de una línea cerrada no es necesariamente nula, el campo magnético no es conservativo. La ley de Ampére es en cierto modo el equivalente en el campo magnético de la ley de Gauss para el eléctrico: nos permite calcular con cierta facilidad el campo magnético audio tenemos un alto grado de simétrica, ya que en estos casos la integral de línea podrá escribirse como el producto del módulo del campo por una cierta longitud.