

01.08. Campo magnético Ley de Biot-Savart

Damián Gulich^{1,2}

¹Departamento de Ciencias Básicas,
Facultad de Ingeniería, UNLP

²Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp)

Índice

- 1 Campo magnético
- 2 Ley de Biot y Savart
- 3 Fuerzas magnéticas

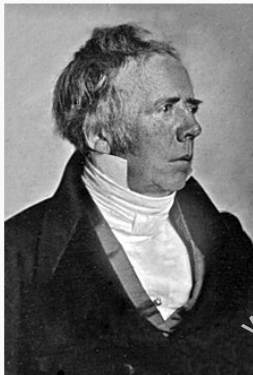
© Damián Gulich
www.damiangulich.com.ar

Campo magnético de corrientes

- Hasta 1819 se sabía que la fuente del campo magnético eran los materiales naturalmente “imantados” (piedra imán).
- Se lo detectaba por la desviación de la aguja de una brújula ubicada en las cercanías del imán (cualitativo).
- Los imanes naturales poseen dos “polos” llamados NORTE y SUR que ejercen fuerzas entre si:
 - Polos iguales se repelen
 - Polos distintos se atraen.
- No es posible obtener un polo aislado: cada vez que se parte un imán, se vuelven a observar dos polos.

La experiencia de Oersted

Hans Christian Ørsted



Born 14 August 1777
Rudkøbing, Denmark

Died 9 March 1851 (aged 73)
Copenhagen, Denmark

Nationality Danish

- En 1819, Hans Oersted descubre que la aguja de una brújula se desvía en presencia de un conductor que lleva una corriente eléctrica (cualitativo).
- Realiza experiencias sobre la fuerza mutua que se ejercen dos conductores rectilíneos largos en función de la corriente que llevan.

El campo magnético \vec{B}

Fuente del campo magnético: cargas en movimiento \iff corriente eléctrica ¿Cómo depende el campo magnético (\vec{B}) de parámetros tales como corriente, distancia, etc?

- 1820: Jean-Baptiste Biot y Félix Savart realizaron experimentos cuantitativos para relacionar la fuerza ejercida por una corriente sobre un imán “de prueba”.
- Como el campo magnético se mide por la fuerza que ejerce sobre un objeto de prueba, le asignaremos carácter vectorial: $\vec{B}(\vec{r})$.

El campo generado por un elemento de corriente

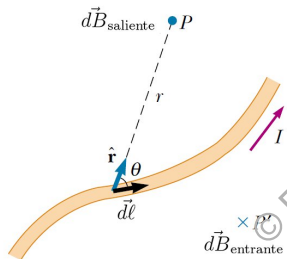
Dado un sistema de referencia, y sea I la corriente que sigue una cierta trayectoria.

Decimos que $I d\vec{\ell}$ es un *elemento de corriente*.

Algunos hechos experimentales sobre el pequeño aporte de campo $d\vec{B}$ generado:

- $\|d\vec{B}\| \propto \frac{1}{r^2}$ donde r es la distancia desde el elemento de corriente al punto de observación. \vec{r} es el versor en la dirección de \vec{r} .
- $\|d\vec{B}\| \propto I d\ell$
- $\|d\vec{B}\| \propto \sin(\theta)$ donde θ es el ángulo entre $I d\vec{\ell}$ y \vec{r} .

Ley de Biot y Savart



Ley de Biot-Savart

$$d\vec{B}(P) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^2} \quad (1)$$

donde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$.

La unidad de \vec{B} es entonces el *tesla* (T). Otras formas del tesla son

$$\text{T} = \frac{\text{N}}{\text{Cm/s}} = \frac{\text{N}}{\text{Am}}$$

El campo total en un punto debido a una corriente

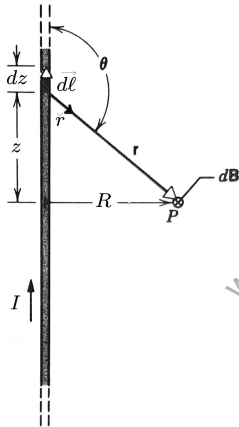
Conocido $d\vec{B}$ por (1), que es el campo generado por un elemento de corriente en un punto P podemos encontrar el campo total \vec{B} sumando todas las pequeñas contribuciones:

$$\vec{B}(P) = \oint d\vec{B}(P) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{\text{circuito}} \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^2} \quad (2)$$

Algunos valores típicos

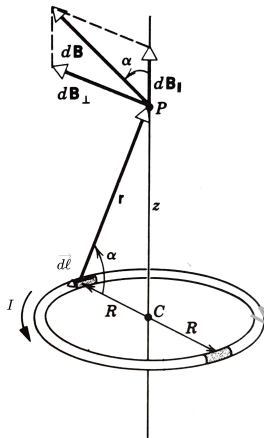
Ubicación	Campo magnético [T]
Sup. estrella de neutrones	10^8
Cerca de imán superconductor	5
Cerca de electroimán grande	1
Cerca de un pequeño imán de barra	10^{-2}
En la superficie de la Tierra	10^{-4}
En el espacio interestelar	10^{-10}
En una sala blindada magnéticamente	10^{-14}

El campo magnético a una distancia R de un alambre infinito



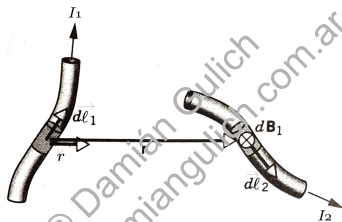
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \hat{\phi}$$

El campo magnético sobre el eje de una espira de corriente



$$\vec{B}(0; 0; z) = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \hat{z}$$

Conocido un campo magnético \vec{B} , la fuerza que experimenta una corriente



Supongamos que se conoce el campo *total* \vec{B}_1 que una corriente I_1 produce en el punto por el que pasa un elemento de corriente $I_2 d\vec{\ell}_2$. La pequeña fuerza que experimenta ese elemento de corriente es

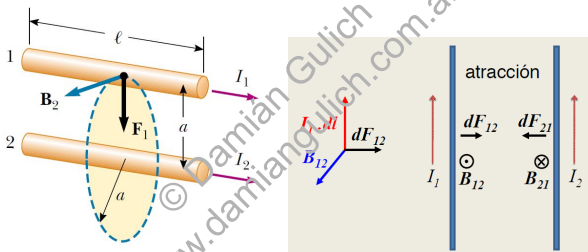
$$d\vec{F}_{21} = I_2 d\vec{\ell}_2 \times \vec{B}_1 \quad (3)$$

La fuerza total será

$$\vec{F}_{21} = \int_{\text{circ. 2}} I_2 d\vec{\ell}_2 \times \vec{B}_1$$

Fuerza magnética entre conductores rectilíneos con corrientes paralelas

El campo \vec{B}_2 es constante sobre todo el recorrido del conductor 1.

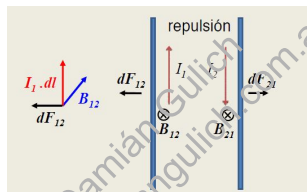


$$\vec{F}_{12} = \int d\vec{F}_{12} = \int_{\text{circ. 1}} I_1 d\vec{\ell}_1 \times \vec{B}_2 = I_1 \vec{\ell} \times \vec{B}_2$$

esta fuerza es atractiva (apunta hacia el alambre 1). La fuerza \vec{F}_{21} también es atractiva respecto del conductor 1.

Corrientes paralelas se atraen.

Fuerza magnética entre conductores rectilíneos con corrientes antiparalelas



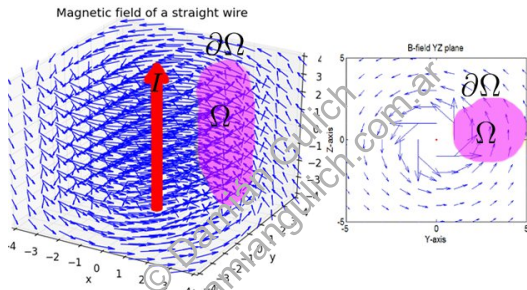
Si la corriente I_2 circula al revés que en el caso anterior, entonces el campo \vec{B}_2 apunta al revés que en el caso anterior, aunque sigue siendo igual en magnitud sobre todo el recorrido de I_1 . Ahora

$$\vec{F}_{12} = \int d\vec{F}_{12} = \int_{\text{circ. 1}} I_1 d\vec{\ell}_1 \times \vec{B}_2 = I_1 \vec{\ell} \times \vec{B}_2$$

es una fuerza que apunta hacia el lado opuesto del conductor 2, es decir, que es una fuerza repulsiva. La fuerza \vec{F}_{21} también es repulsiva respecto del conductor 1.

Corrientes antiparalelas se repelen.

La Ley de Gauss para el campo magnético



- Las líneas de campo magnético no empiezan ni terminan en ningún punto.
- El número de líneas que entra a una superficie cerrada es igual al número de líneas que salen ($\Phi_{\vec{B}}(\partial\Omega) = 0$).

Ley de Gauss integral para el campo magnético

$$\oiint_{\partial\Omega} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (4)$$

La Ley de Gauss para el campo magnético (2)

Por el teorema de Gauss $\oiint_{\partial\Omega} \vec{B} \cdot d\vec{A} = \iiint_{\Omega} \nabla \cdot \vec{B} dV$ que por el lado derecho de (4) da 0.

Ley de Gauss diferencial para el campo magnético

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (5)$$

Es decir, que no hay fuentes puntuales para \vec{B} en el electromagnetismo clásico.

Preguntas

Preguntas

© Damían Gulich
www.damiangulich.com.ar