

UNIVERSIDAD ICESI
CURSO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO 2024 -1

CAMPO MAGNÉTICO EN UN TOROIDE

AUTORES:

KEVIN BANGUERO - A00369589
ISABELA LÓPEZ - A00398729
VALERIA RUIZ LÓPEZ - A00400230
SANTIAGO URREA - A00399725
JACOBO VARGAS - A00381095

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la física y la ingeniería, el campo magnético generado por un toroide con corriente eléctrica es un estudio fundamental. El Toroide es un dispositivo que se usa para crear un campo magnético casi uniforme que está compuesto por un alambre conductor enrollado alrededor de un anillo llamado *toro* el cual está hecho por un material **no conductor**, el campo magnético se genera cuando una corriente eléctrica fluye a través del cable o alambre. Este campo magnético podemos calcularlo a través de la ley de Ampère.

Por lo general, el campo magnético en el interior del toroide, (agujero) es considerablemente uniforme y vemos que sigue una dirección circular alrededor del eje del toroide. Pero cuando ya revisamos el comportamiento del campo magnético fuera del toroide puede variar significativamente.

La comprensión de este tema es crucial para diseñar y analizar dispositivos como los transformadores, inductores, solenoides y electroimanes, a su vez, para comprender fenómenos naturales como el magnetismo terrestre y la generación de campos magnéticos en el espacio.

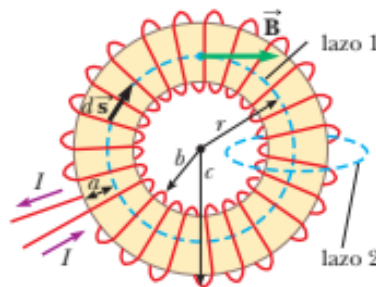


Figura 1. Esquema de un Toroide

Tomado de: Serway, Raymond A., y John W. Jewett. "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics." 7th ed., vol. 2, Brooks/Cole Cengage Learning, 2007.

II. DESARROLLO DEL PROBLEMA

Ahora bien, la pregunta que surge ahora es ¿Cómo se calcula entonces el campo magnético generado por el toroide?

Como antes se mencionó, la ley de Ampère tiene relevancia en este tema, ya que a partir de esta ecuación matemática se obtiene una expresión para el campo magnético del toroide. Esta ley está expresada de la siguiente manera:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 NI \quad (1)$$

Donde, μ_0 es la permeabilidad magnética, N es el número de vueltas del alambre conductor e I es la corriente en el toroide.

Esta expresión se puede expresar de tal manera que se trabaje con la magnitud del campo magnético y el vector ds (sin dirección, sólo sus magnitudes) multiplicándose por el coseno del ángulo formado entre ambos vectores (ver figura 1). De esta manera, el ángulo es 0 y podría ejecutarse el cálculo de la siguiente manera:

$$\oint B ds \cos(0^\circ) = \mu_0 NI \quad (2)$$

Al ser B (campo magnético) una constante, se puede sacar de la integral, obteniendo entonces la integral del vector ds que es igual al área del toroide, obteniendo entonces la expresión para el campo magnético. Así:

$$B \oint ds = \mu_0 NI$$

Como B (el campo magnético) es una constante dentro del toroide, se puede extraer de la integral, resultando en:

$$B 2\pi r = \mu_0 NI$$

Finalmente, despejando B, obtenemos:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (3)$$

De esta manera se evidencia que el campo magnético del toroide va a ser influenciado significativamente por el radio de esta estructura ya que depende de $1/r$. A su vez, también depende del número de vueltas que da el alambre conductor, observemos que entre mayor sea el valor de N, más cercano a 0 sería el campo magnético externo.

III. PROBLEMA

Problema 28, Capítulo 30, Serway.

Las bobinas magnéticas de un reactor de fusión tokamak tienen forma toroidal con un radio interno de 0.700 m y un radio externo de 1.30 m. El toroide tiene 900 vueltas de alambre de gran diámetro, cada una de las cuales lleva una corriente de 14.0 kA. Determine la magnitud del campo magnético en el interior del toroide a lo largo de a) el radio interno y b) el radio externo.

Campo magnético en el radio interno del toroide:

$$B = \frac{\mu_0(900)(14000A)}{2\pi(0.700m)}$$

$$B = \frac{\mu_0 9000000}{\pi}$$

Usamos la permeabilidad magnética:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

Entonces

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 9000000}{\pi}$$

$$B = \frac{18}{5} T$$

Campo magnético en el radio exterior del toroide:

$$B = \frac{\mu_0(900)(14000A)}{2\pi(1.30m)}$$

$$B = \frac{\mu_0 63000000}{13\pi}$$

Usamos la permeabilidad magnética:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

Entonces

$$B = \frac{126}{65} T$$

IV. CONCLUSIÓN

Para concluir, la comprensión de la ley de Ampère y su relación con la corriente eléctrica en el toroide revela cómo este dispositivo puede generar un campo magnético confinado, minimizando las pérdidas de energía fuera de su estructura. Este fenómeno tiene implicaciones prácticas fundamentales. Por ejemplo, los toroides se utilizan ampliamente en transformadores, donde su eficiencia en la confinación del campo magnético ayuda a reducir las pérdidas de energía durante la transformación de voltaje. Asimismo, actúan como filtros de línea al minimizar el ruido y las interferencias en los circuitos eléctricos. Además, los toroides se emplean en sistemas de almacenamiento de energía, donde pueden acumular energía en forma de campo magnético, funcionando de manera similar a un condensador en un campo eléctrico. A pesar de los desafíos en su diseño y fabricación, el estudio continuo de los toroides y sus aplicaciones promete seguir siendo una fuente de innovación.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Serway, Raymond A., y John W. Jewett. "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics." 7th ed., vol. 2, Brooks/Cole Cengage Learning, 2007.