



GOBIERNO DEL ESTADO DE
VERACRUZ
2024 - 2030

SEV
SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN
DE VERACRUZ

SEMSys
SUBSECRETARÍA DE
EDUCACIÓN MEDIA
SUPERIOR Y SUPERIOR

TEBAEV
Telebachillerato de Veracruz

Dirección General de Telebachillerato

Temas selectos de física II

Yoko Denisse Uriarte Dorantes
Luis Amilca Andrade Morales

GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Norma Rocío Nahle García
Gobernadora del Estado de Veracruz

Claudia Tello Espinosa
Secretaria de Educación de Veracruz

David Agustín Jiménez Rojas
Subsecretario de Educación Media Superior y Superior

Dirección General de Telebachillerato

Director General
Irving Ilhuicamina Mendoza Ruiz

Subdirectora Técnica
Piedad Alcira Hernández Pérez

Jefe del Departamento Técnico Pedagógico
Noel Abraham Velázquez Viveros

Jefa de la Oficina de Planeación Educativa
Ana Flora Angulo Morales

Equipo editorial

Coordinación editorial
Mauro Morales Arellano

Asesoría académica
Samuel Fiscal Pólito

Asesoría pedagógica
Alma Ortiz Mejía

Corrección y estilo
Bertha Isabel Álvarez Vera

Diseño editorial
Greisy del Carmen Ramos de la Cruz

Formación
Ricardo Hernández Segovia

Fotografía de la portada
Zaida Ruth García Montes

Temas selectos de física II

Segunda edición: 2026
ISBN: 978-607-725-575-8

D. R. © 2026. Secretaría de Educación de Veracruz
Km 4.5 Carretera federal Xalapa-Veracruz
Col. Rubi Animas, C.P. 91193, Xalapa, Veracruz
Telebachillerato de Veracruz

Impreso en México

Queda prohibida la reproducción total o parcial de la presente obra.

Nota. Adaptado de meta AI.

Módulo 1

Electromagnetismo

Progresión

1. Aplica sus conocimientos sobre fuerzas magnéticas, campos magnéticos e inducción electromagnética, analizando situaciones hipotéticas y reales, para comprender los fenómenos electromagnéticos presentes en su entorno para reproducirlos a través de prototipos, trabajando en forma colaborativa, metódica y organizada, mejorando su pensamiento crítico y creativo.

Metas de aprendizaje

- Utiliza cuerpos con carga eléctrica dentro de un campo magnético, analizando de forma crítica las fuerzas electromagnéticas, asociando su comportamiento con fenómenos electromagnético producidos en su entorno.
- Muestra la intensidad y variación de un campo magnético, y analiza los campos producidos por conductores eléctricos, para conocer los elementos que contribuyen a su variación y su influencia en los distintos fenómenos electromagnéticos en su entorno, favoreciendo su propio pensamiento crítico.
- Aplica las leyes de Faraday y Lenz, a través del cambio de flujo magnético en conductores cerrados para obtener el voltaje y la corriente inducida y asociar éstos a fenómenos electromagnéticos presentes en su entorno, trabajando en forma colaborativa, metódica y organizada en la construcción de algún prototipo que ejemplifique fenómenos electromagnéticos.

Categorías y subcategorías

Campos magnéticos.

Naturales.

Artificiales.

Fuerza magnética.

Sobre cuerpos con carga eléctrica.

Sobre conductores con corriente eléctrica.

Experimento Oersted.

Campos magnéticos.

En conductores de corriente eléctrica.

Ley de Ampere.

En diferentes tipos de conductores.

Momento de torsión en conductores en forma de espira.

Fuerza magnética entre conductores paralelos.

Inducción electromagnética.

Flujo magnético.

Ley de Faraday.

Ley de Lenz.

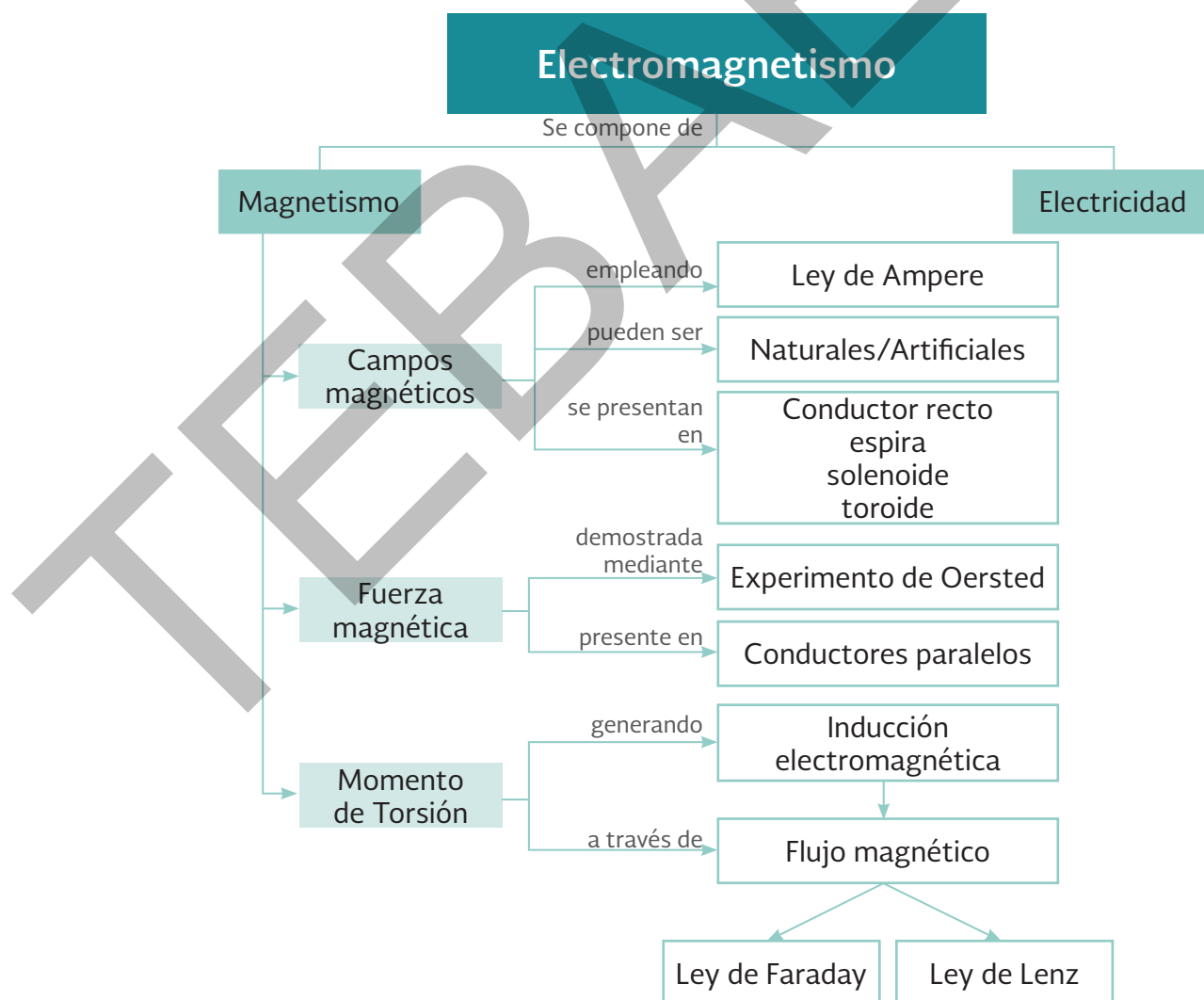
Aplicaciones electromagnetismo.

Introducción

Estimado estudiante, este primer bloque te permitirá distinguir las características de los campos magnéticos naturales y artificiales, examinar las fuerzas magnéticas que actúan sobre cuerpos con carga eléctrica, explicar las características de los campos magnéticos que se producen debido a conductores eléctricos con diferente forma y analizar las fuerzas que actúan sobre conductores paralelos. Se favorecerá el pensamiento crítico, aportarás ideas en la Solución de problemas promoviendo tu creatividad y te relacionarás de forma colaborativa mostrando disposición al trabajo metódico y organizado. Con ello serás capaz de asociar el comportamiento de un cuerpo con carga eléctrica dentro de un campo magnético, a los fenómenos electromagnéticos producidos en tu entorno, identificando los elementos que contribuyen a su variación, y aplicando los principios y leyes como las de Faraday y Lenz en las múltiples aplicaciones del electromagnetismo.

Esquema 1.1

Mapa conceptual del módulo1.



Nota. Elaboración propia.

Exploro mis saberes

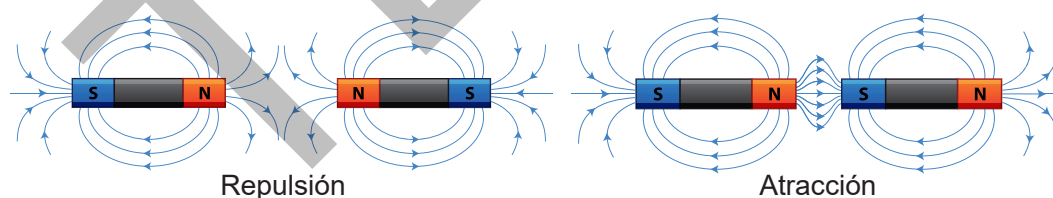
I. De manera individual, responde los siguientes cuestionamientos.

1. Menciona tres ejemplos en los que utilizas un imán.
2. Describe lo que ocurre cuando intentas unir dos polos iguales en un par de imanes.
3. ¿Cuál es la relación que existe entre la electricidad y el magnetismo?
4. Menciona tres electrodomésticos que funcionen con una bobina.
5. ¿Qué importancia tiene el uso de transformadores en tu comunidad?

Campos magnéticos

El estudio del electromagnetismo implica analizar al magnetismo generado por la electricidad. Este es un fenómeno que empleamos cotidianamente en nuestro hogar, ya que los motores de algunos electrodomésticos funcionan con bobinas, también en el uso de imanes para sujetar algún recordatorio en el refrigerador, en el uso de brújulas, en las bocinas, y en un contexto de modernidad más amplio, en el funcionamiento de los trenes que **levitan**.

Figura 1.1
Fuerzas de repulsión y de atracción en imanes.



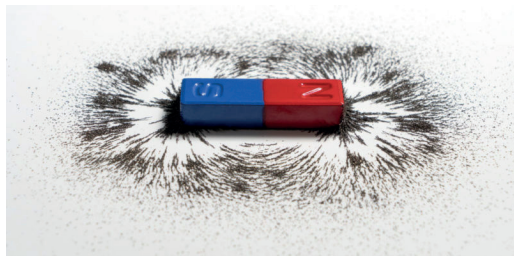
Nota. Adaptado de *El campo magnético de los polos iguales se atraen*, [Vector], por brgfx, s/f (https://www.freepik.es/vector-gratis/campo-magnetico-polos-iguales-atraen_17621964.htm#fromView=search&page=1&position=5&uuid=6b1f54ba-08ea-4b95-8c8d-4d8f483c843a&query=campos+magneticos). Todos Los Derechos Reservados.

En la antigüedad, en Grecia, se observaron los primeros fenómenos magnéticos del óxido de hierro conocido como Magnetita; material descubierto en Magnesia, ciudad antigua de Grecia. Fue en el año 550 a.C. cuando Tales de Mileto observó que la magnetita podía atraer pequeños trozos de hierro, a lo que se le llamó magnetismo. A los materiales que poseen esta propiedad se les conoce como imanes.

Levitar
Elevarse en el espacio sin intervención de agentes físicos conocidos.

Figura 1.2

Representación gráfica del campo.



Nota. Adaptado de *Campo magnético* [Fotografía], por Coluccio, E., 2025 (https://concepto.de/campo-magnetico/?utm_source=chatgpt.com).

Los imanes pueden ser naturales (como en el caso de la magnetita) o artificiales (obtenidos a partir de aleaciones de hierro). Estos materiales poseen dos polos, como se ve en la figura 1.1, norte y sur; pueden producir una fuerza de atracción cuando queremos unir dos imanes y sus polos son diferentes, o fuerza de repulsión cuando intentamos unirlos por el mismo polo.

Los imanes producen un campo magnético a su alrededor, el cual se define como la región que lo rodea, en donde se producen sus efectos magnéticos. Es posible apreciar el campo magnético mediante líneas de flujo o curvas que tienen la característica de no cruzarse, se aglomeran en donde el campo es mas intenso y siempre forman líneas cerradas y continuas, tal como se muestra en la figura 1.2.

Naturales

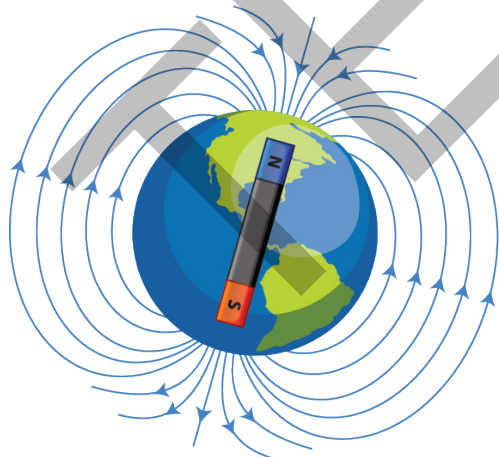
Un campo magnético natural es aquel que producen los imanes naturales, considerados así porque se dan sin necesitar algún proceso realizado por el hombre. Por ejemplo, tenemos el campo magnético terrestre, el que produce la electricidad estática, o el producido por los campos eléctricos presentes en las nubes.

Artificiales

El campo magnético artificial se produce cuando se realizan aleaciones de hierro generando nuevos imanes. También lo podemos obtener a partir de corrientes eléctricas producidas por fuentes de voltaje; por ejemplo, los electroimanes.

Figura 1.3

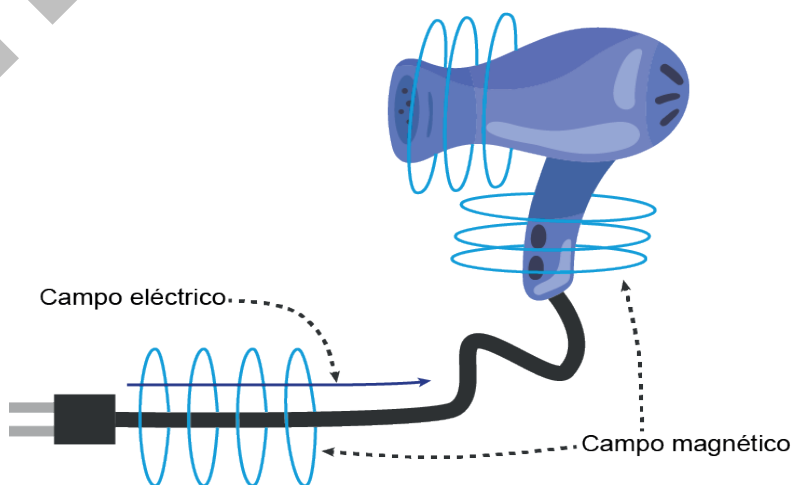
Ejemplo de campo magnético natural.



Nota. Adaptado de *Diagrama que muestra el campo magnético en blanco* [Vector], por brgfx, s/f (https://www.freepik.es/vector-gratis/diagrama-que-muestra-campo-magnetico-blanco_5837896.htm#fromView=search&page=1&position=23&uuid=6e883f03-37e3-4ac4-adcd-0f91885ffa95&query=campo+magnetico+natural).

Figura 1.4

Ejemplo de campo magnético artificial.



Nota. Adaptado de *Icono de secador de pelo* [Vector], por studiogstock, s/f (https://www.freepik.es/vector-gratis/icono-secador-pelo_136479972.htm#fromView=search&page=1&position=1&uuid=e04634c7-8814-4952-a5fd-ad8c243ac16f&query=secadora+y+cable).

Fuerza magnética

La fuerza magnética que experimenta un cuerpo con carga eléctrica, depende de la velocidad con que éste se dirija al campo magnético. Para conocer la dirección de la fuerza magnética de una carga de prueba se emplea la “Regla de la mano derecha”; en la figura 1.5 se muestra que el dedo medio indica la dirección de la fuerza magnética (F), el dedo índice indica la dirección del campo magnético (B) y debe formar un ángulo de 90° con respecto al dedo medio, y finalmente el dedo pulgar indica la dirección de la velocidad de la carga (v).

Analizaremos dos casos, la fuerza magnética que experimenta un cuerpo y, por otra parte, la de un conductor de corriente.

Sobre cuerpos con carga eléctrica

La fuerza magnética se determina matemáticamente con la expresión

$$F = q \cdot v \cdot B$$

En donde “ F ” representa la fuerza magnética medida en Newton (N), “ q ” es la carga con unidades de Coulomb (C), “ v ” es la velocidad con la que se mueve la carga medida en m/s , y “ B ” representa la **densidad de flujo magnético** o inducción magnética, siendo su unidad la Tesla (T) la cual se obtiene al dividir el Newton entre Coulomb por metros sobre segundo.

$$\frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{Ns}{Cm}$$

En el caso en que el cuerpo se mueva con algún ángulo respecto a la horizontal, empleamos la ecuación de la siguiente forma:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta$$

Es importante recordar, de tu curso de Física II, que las cargas eléctricas son muy pequeñas por lo que se emplean prefijos para abreviar su escritura.

Tabla 1.1 Prefijos y sus valores.

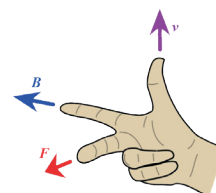
Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
Yotta	Y	$\times 10^{24}$	Deci	d	$\times 10^{-1}$
Zetta	Z	$\times 10^{21}$	Centi	c	$\times 10^{-2}$
Exa	E	$\times 10^{18}$	Mili	m	$\times 10^{-3}$
Peta	P	$\times 10^{15}$	Micro	μ	$\times 10^{-6}$
Tera	T	$\times 10^{12}$	Nano	n	$\times 10^{-9}$
Giga	G	$\times 10^9$	Pico	p	$\times 10^{-12}$
Mega	M	$\times 10^6$	Femto	f	$\times 10^{-15}$
Kilo	k	$\times 10^3$	Atto	a	$\times 10^{-18}$
Hecto	h	$\times 10^2$	Zepto	z	$\times 10^{-21}$
Deca	da	$\times 10^1$	Yocto	y	$\times 10^{-24}$

Nota. Elaboración propia.

¿Sabías que...?

El planeta Tierra es un imán gigante que posee un campo geomagnético, es decir, el campo de fuerza magnética natural que rodea a la Tierra. Esto se debe a la combinación de la rotación planetaria y el movimiento del hierro fundido en el núcleo del planeta.

Figura 1.5
Regla de la mano derecha.



Nota. Elaboración propia.

Densidad de flujo magnético o campo magnético, es una magnitud vectorial que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento, y se expresa en Teslas.

Ejemplos

1. Una carga de $3\mu C$ se mueve a una velocidad de $8 \times 10^5 m$ perpendicular a un campo magnético de $0.58T$ ¿Qué fuerza magnética recibe la carga?

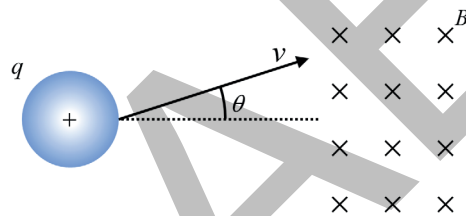
Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$B = 0.58T$ $q = 3\mu C = 3 \times 10^{-6} C$ $v = 8 \times 10^5 m/s$ $F = ?$	$F = q \cdot v \cdot B$	$F = (3 \times 10^{-6} C)(8 \times 10^5 m/s)(0.58T)$ $F = 1.392 N$

2. Un protón, cuya carga es de $1.6 \times 10^{-19} C$ se mueve a $2.5 \times 10^6 m/s$, se introduce en un campo magnético de $1.25T$, a 30° respecto a la línea horizontal. Determina el valor de la fuerza magnética que experimenta.

Figura 1.6

Protón entra a campo magnético con un ángulo.



Nota. Elaboración propia.

Solución

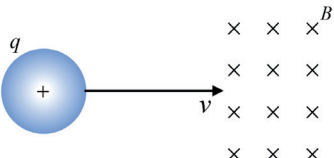
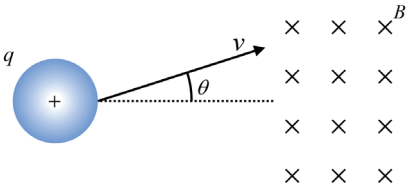
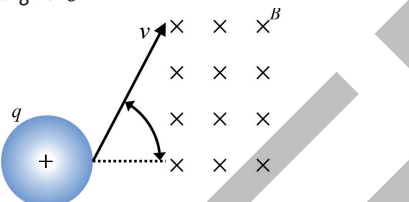
Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$B = 1.25T$ $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ $v = 2.5 \times 10^6 m/s$ $\theta = 30^\circ$ $F = ?$	$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$	$F = (1.6 \times 10^{-19} C)(2.5 \times 10^6 m/s)(1.25T)$ $F = 2.5 \times 10^{-13} N$

Aplico lo aprendido

Con ayuda de tu profesor resuelve los siguientes ejercicios.

Observa atentamente cada figura. Considera los datos de la tabla y determina la fuerza magnética que experimenta cada carga según sea el caso.

Imagen	Datos	Fuerza magnética
Figura 1.7 Protón entra horizontal a campo magnético. Nota. Elaboración propia.	$q = 1.6 \times 10^{-19} C$ $B = 1.25T$ $v = 2.5 \times 10^6 m/s$	

Imagen	Datos	Fuerza magnética
Figura 1.8 Protón entra horizontal a campo magnético.  Nota. Elaboración propia.	$q = 5.6 \text{ mC}$ $B = 2.5 \text{ T}$ $v = 3500 \text{ m/s}$	
Figura 1.9 Protón entra a campo magnético con un ángulo θ.  Nota. Elaboración propia.	$q = 4 \mu\text{C}$ $B = 0.05 \text{ T}$ $v = 2590 \text{ m/s}$ $\theta = 36^\circ$	
Figura 1.10 Protón entra a campo magnético con un ángulo θ  Nota. Elaboración propia.	$q = 9 \mu\text{C}$ $B = 0.15 \text{ T}$ $v = 6900 \text{ m/s}$ $\theta = 62^\circ$	

Sobre conductores con corriente eléctrica

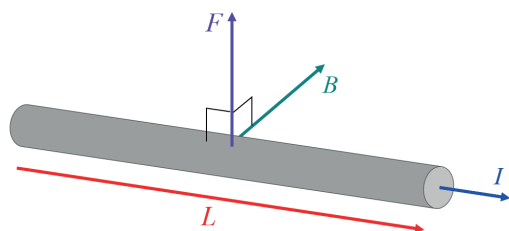
La fuerza magnética también se puede presentar en conductores de corriente eléctrica, que depende directamente de la longitud del conductor y la intensidad de corriente que pasa por él. Esta fuerza es generada por el campo magnético que se encuentra perpendicular al conductor.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$F_m = B \cdot I \cdot L$$

Figura 1.11

Ejemplo de campo magnético natural.



Nota. Elaboración propia.

En donde “ F ” representa la fuerza magnética medida en Newton (N), “ B ” representa el campo magnético cuya unidad es la Tesla (T), “ I ” es la intensidad de corriente eléctrica con unidades de Ampere (A) y “ L ” es la longitud del conductor medida en metros (m).

Cuando el conductor se coloca con cierto ángulo perpendicular al campo magnético, entonces la ecuación matemática que empleamos es la siguiente

$$F_m = B \cdot I \cdot L \cdot \sen \theta$$

Ejemplos

1. Determina la fuerza magnética que experimenta un trozo de alambre de cobre con 25 cm de longitud por el que circula una corriente de 2A, al ser introducido perpendicularmente a un campo magnético de 1.25T.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$L = 25\text{ cm} = 0.25\text{ m}$ $B = 1.25\text{ T}$ $I = 2\text{ A}$ $F = ?$	$F_m = B \cdot I \cdot L$	$F = (2\text{ A})(0.25\text{ m})(1.25\text{ T})$ $F = 0.625\text{ N}$

2. Por un alambre recto circula una corriente de 1.5 A, este se introduce a un campo magnético de 0.75T formando un ángulo de 58°. Si la fuerza que recibe es de 0.0072N, ¿cuál es la longitud de dicho alambre?

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$F = 0.0072\text{ N}$ $B = 0.75\text{ T}$ $I = 1.5\text{ A}$ $\theta = 58^\circ$ $L = ?$	$F_m = B \cdot I \cdot L \cdot \sen \theta$ $L = \frac{F_m}{IB \sen \theta}$	$L = \frac{0.0072\text{ N}}{(1.5\text{ A})(0.75\text{ T}) \sen 58^\circ}$ $L = \frac{0.0072\text{ N}}{0.9540\text{ AT}}$ $L = 7.54 \times 10^{-3}\text{ m}$

Aplico lo aprendido

En tu libreta de actividades responde las siguientes preguntas.

1. ¿Cuál debe ser la longitud de un alambre recto por el que circula una corriente de 3A , cuando se introduce en un campo magnético de 1.15T y experimenta una fuerza magnética de 0.0925N?
2. Determina la fuerza que recibe un alambre recto de 2.50m por el que circula una corriente de 9A al ser introducido por un campo magnético de 3.8T.
3. Un conductor recto mide medio metro, y se le hace pasar una corriente de 1.5A. Cuando se introduce en un campo magnético con un ángulo de inclinación de 50° experimenta una fuerza magnética de $6.75 \times 10^{-3} \text{ N}$ ¿cuál es la magnitud del campo magnético al que se introduce el conductor?

Experimento Oersted

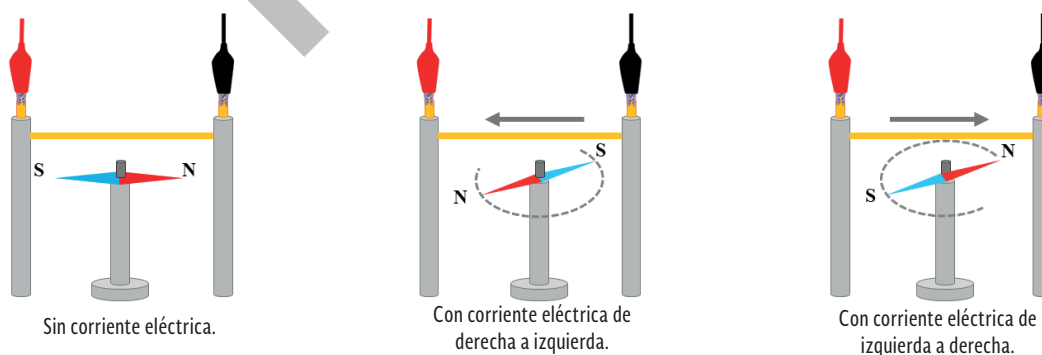
El físico y químico Danés, Hans Christian Oersted (1777-1851) mostró la relación que existe entre los campos magnéticos y las cargas eléctricas en movimiento. Su experimento consiste en acercar una **brújula** a un alambre por el que circula corriente eléctrica provocando que la dirección de ésta cambie, es decir, la aguja deja de apuntar al norte geográfico y apunta al cable conductor.

La importancia de este fenómeno radica en que demostró la unión que existe entre la electricidad y el magnetismo.

Brújula

Instrumento para orientarse que consiste en una caja en la cual hay una aguja imantada que gira libremente sobre un eje y que señala siempre el norte magnético.

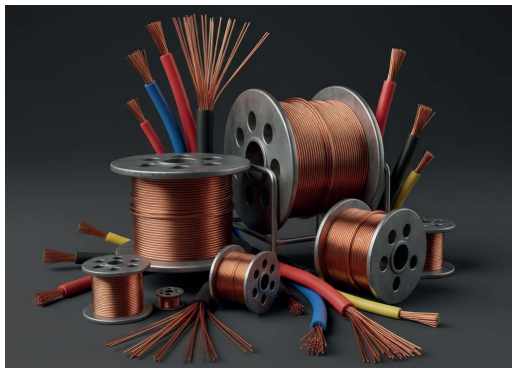
Figura 1.12
Experimento realizado por Oersted.



Nota. Elaboración propia.

Figura 1.13

Conductores de corriente eléctrica.



Nota. Adaptado de Meta Al.

Campos magnéticos

Ahora que sabemos que es posible generar un campo magnético a partir de la corriente eléctrica, de acuerdo al experimento de Oersted, así como la fuerza que producen en un objeto cercano a dicho campo, es momento de determinar cómo son estos campos y la relación que tienen con la intensidad de corriente eléctrica y sus dimensiones.

En conductores de corriente eléctrica

Los campos magnéticos que se producen a partir de un conductor de corriente eléctrica, como en el experimento de Oersted, se pueden analizar como si se tratara del campo producido por un imán, de tal forma que sea posible observar sus efectos.

Este campo magnético depende de algunos elementos de los conductores como su longitud, su radio, el número de espiras, etc. Es importante mencionar que los conductores que mencionaremos tienen forma simétrica, es decir, si los dividiéramos con un eje vertical pasando por el centro, entonces ambos lados serían iguales.

Ley de Ampere

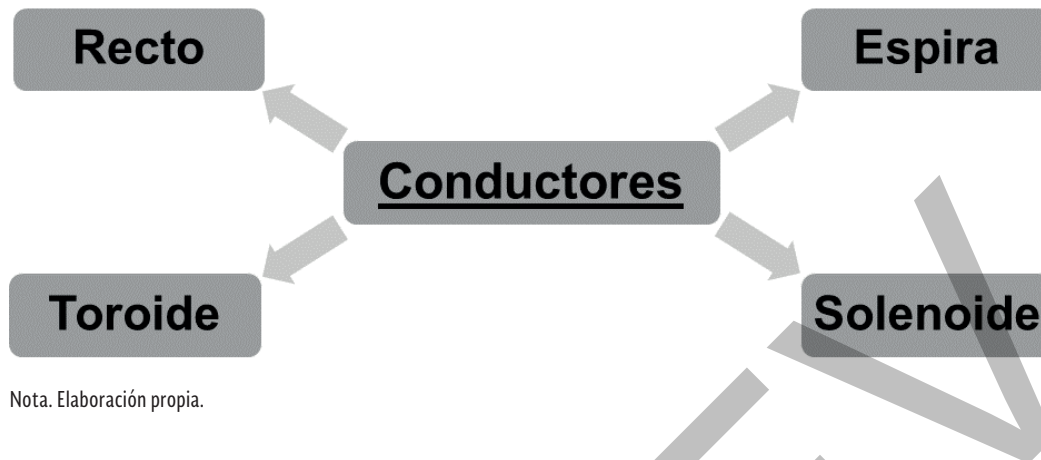
El físico Frances André Marie Ampere (1775-1836) realizó diversos experimentos que lo llevaron a ser considerado el fundador del electromagnetismo. Explicó la existencia de imanes permanentes producidos por corriente eléctrica superficial, conocida como corriente amperiana. Descubrió que alrededor de un alambre conductor existe un campo magnético y forma líneas de fuerza a su alrededor en forma de círculos. Esta ley es importante ya que ha permitido que se desarrollen mejores motores basados en generadores de campo magnético, también para explicar su funcionamiento a partir de su forma y de la corriente que circula por ellos.

La intensidad del campo magnético es directamente proporcional a la corriente eléctrica e inversamente proporcional a la distancia en cualquier punto del conductor. Su expresión matemática es:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

Gracias a la ley de Ampere es posible determinar la intensidad de campo magnético o densidad de flujo magnético en diferentes conductores.

Figura 1.14
Diferentes tipos de conductores.



Nota. Elaboración propia.

En diferentes tipos de conductores

Con la Ley de Ampere es posible calcular el campo magnético que produce un conductor de corriente eléctrica. Analizaremos cuatro casos en donde es posible aplicar dicha ley, ya que cumplen con tener forma simétrica y circula por ellos una corriente.

Recto

La densidad de flujo magnético o campo magnético en un conductor recto y largo por el que circula una intensidad de corriente eléctrica, que se encuentra a una distancia perpendicular, tal como se muestra en la figura 1.15, se determina por medio de la ecuación:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

Como ya lo hemos mencionado, “B” representa la densidad de flujo medido en Tesla, “I” es la corriente eléctrica en Ampere, “r” es la distancia que hay entre el conductor y el punto en donde se desea conocer la densidad de flujo en unidades de metro, y “μ” es la **permeabilidad** del medio que rodea al conductor. El valor de la permeabilidad en el vacío, aire o cualquier medio no magnético es de

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

Permeabilidad
Capacidad de modificar la densidad de flujo de un campo magnético.

La razón de la permeabilidad de un material magnético respecto al valor al vacío, se conoce como **permeabilidad relativa** y se determina con la ecuación:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Para nuestro análisis, emplearemos esta propiedad para clasificar a los materiales magnéticos en tres grupos, y no para los cálculos al determinar densidad de flujo; ya que numéricamente utilizaremos la permeabilidad en el vacío. Los materiales magnéticos se pueden dividir en:

Materiales magnéticos

Diamagnéticos

$$\mu_r < 1$$

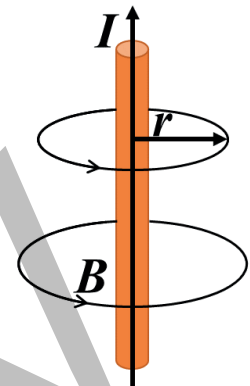
Paramagnéticos

$$\mu_r > 1$$

Ferromagnéticos

Altos μ_r
Hierro, Níquel

Figura 1.15
Densidad de flujo en un conductor recto.



Nota. Elaboración propia.

Figura 1.16
Clasificación de los materiales magnéticos.



Diamagnéticos
Plata, estaño, zinc o cobre.

Paramagnéticos
Aluminio, platino o titanio.

Nota. Adaptado de *Jarra de cobre* [Imagen generada por AI], por SerenityArt, s./f. (<https://pixabay.com/es/illustrations/jarra-de-cobre-9844475/>).

Nota. Adaptado de *Propiedades del titanio en implantes dentales* [Imagen], por estudidentalbarcelona, 2018 (<https://estudidentalbarcelona.com/propiedades-del-titanio-en-implantes-dentales/>).

Nota. Adaptado de *láminas de zinc curvadas para techos* [Fotografía], por wzppgi.com, 2025 (<https://wzppgi.com/es/galvanized-metal-roof/>).

Nota. Adaptado de *Qué tan dañino es usar papel aluminio para los alimentos* [Fotografía], por infobae, 2025 (<https://www.infobae.com/resizer/v2/NGGRGIKITNFIFALN6UWYSWEDU4.jpg?auth=960a2e982e53864cd496c62cb70a618ba0ac52dc2212ba03055150a9389daa3a&smart=true&width=992&height=558&quality=85>).

Nota. Adaptado de *Anillo de platino* [Imagen generada por Meta AI].

Nota. Adaptado de *Lata con tapa semiabierta* [Imagen generada por Meta AI].

Nota. Adaptado de *Cubiertos de plata* [Imagen generada por Meta AI].

Ejemplos

1. Por un conductor recto circula una corriente de 3 A. Determina el valor del campo magnético en el vacío en un punto perpendicular ubicado a 15 cm.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$I = 3 \text{ A}$ $r = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$	$B = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}\right)(3 \text{ A})}{2\pi (0.15 \text{ m})}$ $B = \frac{(37.68 \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}})}{0.942 \text{ m}}$ $B = 4 \times 10^{-6} \text{ T}$

2. ¿Cuál es la distancia que hay entre un conductor y cierto punto en el que existe una densidad de flujo de $8 \times 10^{-5} \text{ T}$, si se encuentra en el aire y circula una corriente de 9 A?

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$B = 8 \times 10^{-5} \text{ T}$ $I = 9 \text{ A}$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}$ $r = ?$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ $r = \frac{\mu_0 I}{2\pi B}$	$r = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}\right)(9 \text{ A})}{2\pi (8 \times 10^{-5} \text{ T})}$ $r = \frac{113.04 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m}}{5.024 \times 10^{-4} \text{ T}}$ $r = 0.0225 \text{ m}$ $r = 2.25 \text{ cm}$

Aplico lo aprendido

En tu libreta de actividades responde a las siguientes cuestiones.

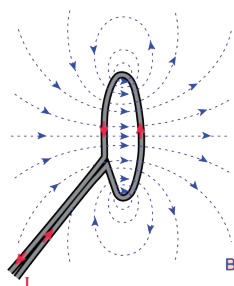
1. Un alambre largo y recto conduce 6 A en el aire. ¿Cuál es el valor de la densidad de flujo en el vacío, a un punto localizado a medio metro?
2. Determina el campo magnético que existe en un punto que se encuentra en el aire a 5 cm de un conductor recto y largo por el que circulan 9 A.
3. Calcula la densidad de flujo en un punto que se encuentra en el vacío a 1.5 m de un alambre largo y recto por el que pasa una corriente de 30 A.
4. La corriente que circula por un conductor largo y recto es de 35 A. ¿A qué distancia del conductor se experimenta un campo magnético de 0.085 T en el vacío?

Espira

Espira

Cada una de las vueltas de una hélice o de una espiral.

Figura 1.17
Campo Magnético en una Espira.



Nota. Adaptado de *Magnetic field of current loop* [Imagen], por University of Georgia, s.f. (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/curloo.html>).

Un transformador es un dispositivo en el que, a partir de corriente eléctrica, se genera campo magnético a partir de bobinas; éstas se forman de hilo conductor enrollado de acuerdo a la forma que posean, generalmente son circulares, y se les llama espiras.

Primero analizaremos el caso de una sola **espira**, es decir, de una sola vuelta de hilo conductor. La dirección por el campo magnético, debido a la corriente que circula por la espira, se determina mediante la regla de la mano derecha, previamente explicada.

La ecuación matemática que nos permitirá determinar el campo magnético que produce es la siguiente

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

En donde “**B**” representa el campo magnético o la densidad de flujo medido en Tesla, “**I**” es la corriente eléctrica en Ampere, “**r**” es el radio de la espira en unidades de metro, y “ μ_0 ” es la permeabilidad del medio (vacío o aire) con un valor de

$$4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$$

Si se desea conocer el valor del campo en el centro de una bobina en el aire o en el vacío, formada de cierto número de espiras o vueltas de alambre conductor, entonces empleamos la ecuación:

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

En donde el factor que se agrega a la ecuación es “**N**” que representa el número de vueltas de una bobina.

Ejemplos

1. Una espira circular mide 80 mm de diámetro y por ella circula una corriente de 12A ¿Cuál es el valor del campo magnético en el vacío, que produce en su centro?

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$d = 80mm$ $r = 40mm = 0.04m$ $I = 12A$ $\mu_v = 4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$	$B = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(12A)}{2(0.04m)}$ $B = \frac{150.72 \times 10^{-7} T \cdot m}{0.08m}$ $B = 1.884 \times 10^{-4} T$

- Una bobina circular está elaborada de 100 vueltas de alambre y mide de radio 10 cm. Determina la corriente que debe circular por la bobina para que en su centro se produzca un campo magnético de $5.3 \times 10^{-3} \text{ T}$ en el vacío.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$N = 100$ vueltas $r = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ $\mu_v = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}$ $B = 5.3 \times 10^{-3} \text{ T}$ $I = ?$	$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$ $I = \frac{2rB}{\mu_0}$	$I = \frac{2(0.1\text{m})(5.3 \times 10^{-3} \text{ T})}{4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}}$ $I = \frac{1.06 \times 10^{-3} \text{ mTA}}{4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm}}$ $I = 843.94 \text{ A}$

Aplico lo aprendido

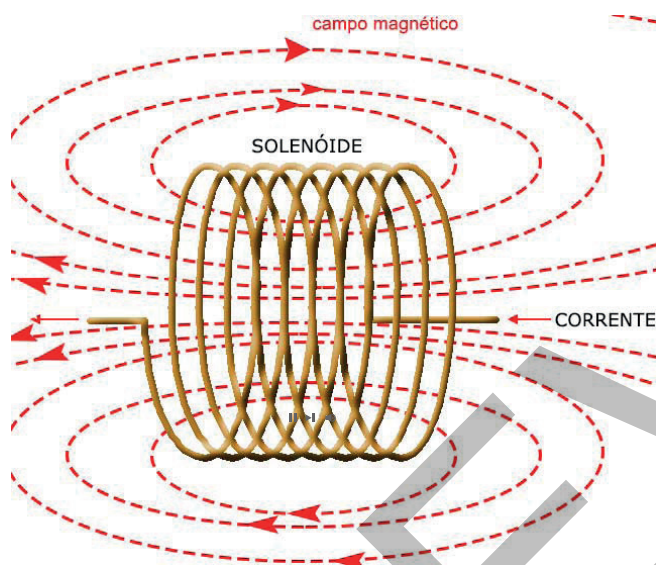
Con ayuda de tu profesor resuelve los siguientes ejercicios.

- Considera una espira circular en el aire, que mide 2.5 cm de radio y por ella circula una corriente de 250 A. Determina el valor del campo magnético que se produce en su centro.
- En una espira circular se transporta una corriente de 85 A. ¿Cuál es el valor del campo magnético en el vacío, que produce en su centro si tiene 9 cm de diámetro?
- Una bobina circular está elaborada con 250 vueltas de alambre y mide 10 cm de diámetro. Determina la corriente que debe circular por la bobina para que en su centro se produzca un campo magnético de $8 \times 10^{-4} \text{ T}$ en el vacío.
- Determina el número de espiras que forman parte de una bobina, si en su centro se presenta un campo magnético de 0.025 T. Considera que cada espira está en el aire, tiene un diámetro de 12 cm y por ella circula una corriente de 32 A.

Solenoide

Es posible determinar el campo magnético de un solenoide a partir de su longitud y de la corriente que circula por él. Llamaremos solenoide al dispositivo que se obtiene de enrollar un alambre en forma de hélice y hacer circular corriente eléctrica por él. Las líneas de campo magnético que se forman en él son similares a las que se forman con un imán. Para conocer la dirección del campo que producen se emplea la regla de la mano derecha.

Figura 1.18
Solenóide.



Nota. Adaptado de *Solenóide común* [Imagen], por Braga, N., 2016 (https://www.incb.com.mx/images/sampled/mec/mec0006_0004.jpg).

Solenóide

Bobina formada por un alambre enrollado en espiral sobre una armazón cilíndrica, que se emplea en diversos aparatos eléctricos.

El campo magnético en el vacío o en el aire, de un solenoide se determina con la ecuación:

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

Recordemos que “B” representa el campo magnético o la densidad de flujo medido en Tesla, “I” es la corriente eléctrica en Ampere, “N” es el número de espiras que forman el solenoide, “L” es su longitud en metros, y “ μ_0 ” es la permeabilidad del medio (vacío o aire) con un valor de

$$4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$$

Ejemplos

1. Un solenoide elaborado con 2500 espiras y con núcleo de aire, tiene una longitud de 30 cm. Determina la densidad de flujo magnético si se hace pasar una corriente de 45 A.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$N = 2500$ vueltas $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$ $I = 45 A$ $L = 30 cm = 0.3 m$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$	$B = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(2500 \text{ vueltas})(45 A)}{0.30 m}$ $B = \frac{0.1413 Tm}{0.3 m}$ $B = 0.471 T$

2. ¿Cuál es la longitud de un solenoide, si al pasar una corriente de 12 A se produce un campo magnético de 4 T. Considera que contiene 85 vueltas y tiene núcleo de hierro, cuyo valor de permeabilidad relativa es de 1.2×10^4 .

Solución

Antes de realizar el cálculo de la longitud del solenoide, es necesario de terminar el valor de la permeabilidad, empleando la ecuación:

$$\mu_0 = \frac{\mu}{\mu_r}$$

Realizando el despeje obtenemos:

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

Ahora hacemos los cálculos correspondientes:

$$\mu = (1.2 \times 10^4) \left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A} \right)$$

$$\mu = 0.015 T \frac{m}{A}$$

El valor obtenido es el que se utilizará para determinar la longitud del solenoide.

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$N = 85$ vueltas		
$\mu = 0.015 T \frac{m}{A}$	$B = \frac{\mu NI}{L}$	$L = \frac{(0.015 T \frac{m}{A})(85)(12 A)}{4 T}$
$B = 4 T$	$L = \frac{\mu NI}{B}$	$L = \frac{15.3 T m}{4 T}$
$I = 12 A$		$L = 3.82 m$
$L = ?$		

Aplico lo aprendido

Con ayuda de tu profesor resuelve los siguientes ejercicios.

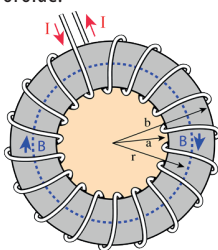
1. Determina el campo magnético en un solenoide formado por 550 vueltas, cuyo núcleo es de aire y tiene una longitud de un metro. Considera que circula por él una corriente de 45 A.
2. Por un solenoide circula una corriente de 12 A. ¿Cuál es el valor del campo magnético que produce si tiene una longitud de 70 cm y está formado por 380 vueltas. Considera que su núcleo es de aire.

- Un Solenoide con núcleo de aire, formado de 120 espiras, produce un campo magnético de 1.5 T cuando circula por él una corriente de 9 A. ¿Cuál es el valor de su longitud?
- Tomando en cuenta los datos del ejercicio #3, ¿Cuál debe ser su longitud si el núcleo es de hierro (permeabilidad relativa de 1.2×10^4)?
- Determina la corriente que circula por un solenoide con núcleo de aire, que mide 2 m de longitud y está integrado por 2000 espiras. El solenoide produce un campo magnético de $8.5 \times 10^{-4} T$.

Toroide

Superficie generada por una curva cerrada al girar alrededor de un eje contenido en su plano y que no la corta.

Figura 1.19
Campo magnético en un Toroide.



Nota. Adaptado de *Toroid – Magnetic Field lines* [Imagen], por Georgia State University, s.f. (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/toroid.html>).

Toroide

Finalmente es posible determinar el campo magnético de un **toroide**; dispositivo en forma circular que se encuentra cubierto por espiras de un conductor, en el que se hace pasar corriente eléctrica produciendo dicho campo. En la figura 1.19 se muestra su forma y la trayectoria de las líneas del campo.

Al determinar el campo magnético de este dispositivo, debemos considerar su radio, ya sea el interior o el exterior; en la figura 1.19, la línea marcada con la letra “a” indica el radio interno y la línea “b” es el radio exterior. La ecuación matemática que se emplea es:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Recuerda que “B” representa la densidad de flujo o campo magnético medido en Tesla, “N” es el número de espiras o vueltas de alambre conductor que lo integran, “I” es la corriente eléctrica que circula por el toroide medida en Ampere, “r” es su radio (interno o externo) en unidades de metro, y “ μ_0 ” es la permeabilidad en el vacío o en el aire.

Ejemplos

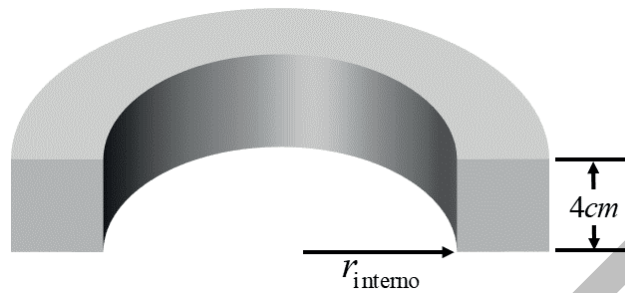
- Un toroide, con aire en su centro, está enrollado uniformemente con 600 vueltas de alambre conductor. El radio del círculo central es de 10 cm. ¿Cuál es valor del campo magnético en el radio interno cuando circula una corriente de 30 A?

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$N = 600$ $I = 30 A$ $r = 10 cm = 0.1 m$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$	$B = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(600)(30 A)}{2\pi (0.1 m)}$ $B = \frac{0.0226 T m}{0.628 m}$ $B = 0.0359 T$

2. Un toroide, en su sección transversal mide 4 cm de lado, y tiene un radio interno de 20 cm. Determina el flujo magnético en el vacío, que produce en su radio interno y en el externo. Considera que circula por él una corriente de 25 A y está formado por 425 espiras de alambre.

Figura 1.20
Corte en un toroide.



Nota. Elaboración propia.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$N = 425$ $I = 25 \text{ A}$ $r_{\text{interno}} = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$ $r_{\text{externo}} = 20 \text{ cm} + 4 \text{ cm}$ $r_{\text{externo}} = 24 \text{ cm} = 0.24 \text{ m}$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}$ $b = ?$	$B_1 = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r_{\text{interno}}}$ $B_2 = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r_{\text{externo}}}$	$B_1 = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}\right)(425)(25 \text{ A})}{2\pi (0.2 \text{ m})}$ $B_1 = \frac{0.0133 \text{ Tm}}{1.256 \text{ m}}$ $B_1 = 0.0105 \text{ T}$ $B_2 = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \frac{\text{m}}{\text{A}}\right)(425)(25 \text{ A})}{2\pi (0.24 \text{ m})}$ $B_1 = \frac{0.0133 \text{ Tm}}{1.507 \text{ m}}$ $B_1 = 8.825 \times 10^{-3} \text{ T}$

Aplico lo aprendido

Con ayuda de tu profesor resuelve los siguientes ejercicios.

- Determina el campo magnético en un toroide de 100 vueltas, cuyo radio interior en el vacío es de 8 mm y circula por él una corriente de 3 A.
- Un toroide con aire al centro, está enrollado uniformemente con 100 vueltas de alambre. El radio del círculo interno es de 4 cm. ¿Qué corriente circula por él si produce un campo magnético de $2.5 \times 10^{-3} \text{ T}$ en el círculo interior?

3. Un toroide, en su sección transversal mide 1.8 cm de lado, y tiene un radio interno de 2.5 cm. Determina el campo magnético en el vacío, que produce en su radio interno y en el externo. Considera que circula por él una corriente de 9 A y está formado por 730 espiras de alambre.

Momento de torsión en conductores en forma de espira

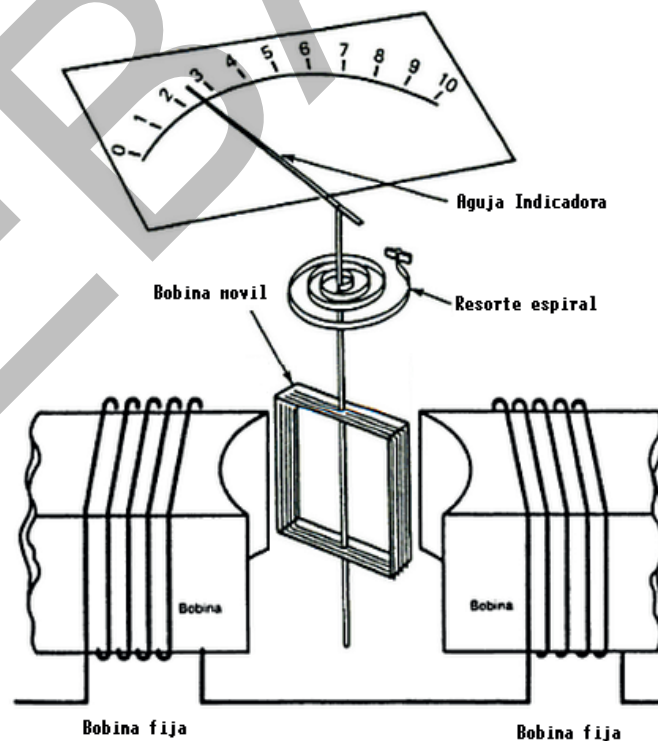
Momento de torsión

Tendencia a producir un cambio en el movimiento rotacional.

Ya hemos analizado el caso del campo magnético producido por una espira por la que circula cierta corriente eléctrica. Este campo genera un giro llamado **momento de torsión**, mismo que produce un giro en la espira alrededor del eje que pase por su centro de masa.

Este fenómeno es la base del funcionamiento del **galvanómetro**; instrumento capaz de medir pequeñas cantidades de corriente eléctrica. Su funcionamiento se basa en una aguja que se conecta, mediante un resorte, a una bobina de forma rectangular; se hace circular corriente eléctrica por la bobina y ésta empieza a girar, logrando desenroscar el resorte, y mover la aguja indicadora de corriente.

Figura 1.21
Elementos de un galvanómetro.



Nota. Adaptado de *Galvanómetros: electromecanismos de los instrumentos analógicos* [Imagen], por ElectricidadIPL.blogspot.com, s.f. (https://electricidadipl.blogspot.com/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html?utm_source=chatgpt.com).

Es posible determinar el momento de torsión de una espira mediante la ecuación:

$$\tau = N \cdot I \cdot A \cdot B \cdot \sin \theta$$

En donde “ τ ” es el momento de torsión y su unidad es Newton por metro (Nm), “N” representa el número de espiras, “I” es la corriente eléctrica que circula por la bobina en Ampere, “A” es el área de la sección de bobina en donde va colocada la espira en m^2 , “B” es el campo magnético o densidad de flujo que se produce medido en Tesla, y finalmente el factor “ $\sin \theta$ ” se aplica de acuerdo al ángulo de inclinación que presenta la espira.

La ecuación anterior se ocupa para cualquier espira plana, de cualquier forma y área. En el caso de una espira única, en donde el número de vueltas “N” es igual a uno, se emplea la ecuación:

$$\tau = I \cdot A \cdot B \cdot \sin \theta$$

Ejemplos

1. Por una espira circula una corriente de 3A; se encuentra dentro de una bobina de $2.5 \times 10^{-3} m^2$ de área y forma un ángulo de 30° . Si produce un campo magnético de $8.2 \times 10^{-3} T$, ¿Qué valor tiene el momento de torsión de la espira?

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$I = 3A$ $A = 2.5 \times 10^{-3} m^2$ $B = 8.2 \times 10^{-3} T$ $\theta = 30^\circ$ $\tau = ?$	$\tau = IAB \sin \theta$	$\tau = (3A)(2.5 \times 10^{-3} m^2)(8.2 \times 10^{-3} T) \sin 30^\circ$ $\tau = (6.15 \times 10^{-5} Nm) \sin 30^\circ$ $\tau = 3.075 \times 10^{-5} Nm$

2. Determina el número de espiras dentro de una bobina por la que circula una corriente de 18 A, área transversal de $0.075 m^2$ y se encuentra a 25° respecto al eje horizontal; considera que produce un campo magnético de 0.057 T y su momento de torsión es de 97.5 Nm.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$I = 18A$ $A = 0.075 m^2$ $B = 0.057 T$ $\theta = 25^\circ$ $\tau = 97.5 Nm$ $N = ?$	$\tau = N \cdot I \cdot A \cdot B \cdot \sin \theta$ $N = \frac{\tau}{I \cdot A \cdot B \cdot \sin \theta}$	$N = \frac{97.5 Nm}{(18A)(0.075 m^2)(0.057 T) \sin 25^\circ}$ $N = \frac{97.5 Nm}{0.325 Nm}$ $N = 300$ espiras

Aplico lo aprendido

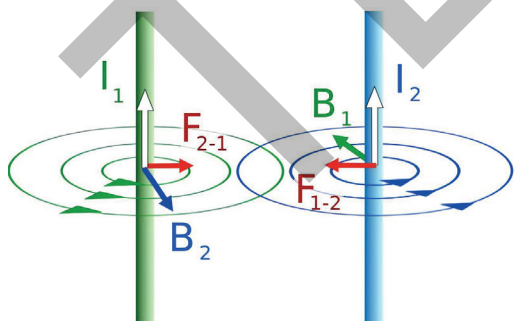
En tu libreta de actividades responde lo que a continuación se te pide.

1. Calcula el momento de torsión de una bobina cuya área es de 0.093 m^2 , produce un campo magnético de $8.4 \times 10^{-4} \text{ T}$ y está formado por 820 vueltas. Considera que circula una corriente de 3 A y se encuentran a 20° respecto al eje horizontal.
2. Tomando los datos del ejercicio anterior, determina el momento de torsión cuando produce sólo la mitad del campo magnético indicado, y lo hace con la mitad de espiras, es decir, con 410.
3. Una bobina contiene 180 espiras que giran a 30° produciendo un momento de torsión de 0.25 Nm. Calcula el área de la misma cuando circula una corriente de 90 A y produce un campo magnético de $9.7 \times 10^{-3} \text{ T}$.
4. ¿Cuál es el valor del campo magnético que produce una espira dentro de una bobina colocada a 90° con respecto al eje horizontal si genera un momento de torsión de 0.78 Nm cuando circula por ella una corriente de 120 A? Considera que el valor de su área es de 0.025 m^2 .

Fuerza magnética entre conductores paralelos

Sabemos que un conductor recto por el que circula corriente genera un campo magnético perpendicular a la fuerza magnética; ahora veremos qué ocurre cuando existen dos conductores y estos se colocan de forma paralela; en la figura 1.22 se muestran los elementos que intervienen en dichos conductores. Por cada uno circula una corriente, y cada uno de los dos genera su propio campo magnético, produciendo una fuerza magnética que experimentan mutuamente.

Figura 1.22
Fuerza magnética en conductores paralelos.



Nota. Adaptado de *Fuerza entre hilos conductores* [Imagen], por EDEA Junta de Andalucía, s./f. (https://edeajuntadeandalucia.es/bancorecursos/file/60da515c-4395-499a-a3af-9d8c95a58744/1/es-an_2020033112_9221444.zip/34_fuerza_entre_hilos_conductores.html).

Si la corriente eléctrica circula en cada conductor con el mismo sentido, la fuerza magnética es atractiva. Por el contrario, si las corrientes circulan en diferente sentido, entonces la fuerza magnética es repulsiva.

La ecuación que se emplea para determinar la fuerza magnética entre dos conductores paralelos es:

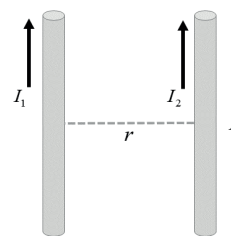
$$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{2\pi r}$$

La ecuación indica dos corrientes eléctricas debido a que cada conductor tiene su propio valor, “r” es la distancia que separa a los conductores en metros, “L” es la longitud de cada uno también en metros, finalmente “ μ_0 ” es la permeabilidad en el aire o vacío que hemos estado empleando.

Ejemplos

- Por un conductor recto circula una corriente de 2A y paralelamente se encuentra otro conductor con una corriente de 4A; ambas corrientes van en el mismo sentido. Se encuentran separados 5cm y están en el vacío. Determina la fuerza magnética que recibe cualquiera de los dos conductores. Cada conductor tiene una longitud de 0.6m.

Figura 1.23
Fuerza magnética entre conductores paralelos.



Nota. Elaboración propia.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$ $I_1 = 2A$ $I_2 = 4A$ $r = 5cm = 0.05m$ $L = 0.6m$ $F = ?$	$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{2\pi r}$	$F = \frac{\left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(2A)(4A)(0.6m)}{2\pi(0.05m)}$ $F = \frac{9.6 \times 10^{-7} Tm^2 A}{0.5m}$ $F = 1.92 \times 10^{-5} N$

Recuerda que $1T = 1N/Am$ en el modelo matemático siguiente, el proceso implica multiplicar los términos extremo por extremo, y medio por medio.

$$\left\langle \frac{\frac{Nm^2 A}{Am}}{\frac{m}{1}} = \frac{Nm^2 A}{Am^2} = N \right\rangle$$

- Determina la longitud que deben tener dos conductores paralelos que se encuentran separados 10cm en el vacío y reciben una fuerza magnética de $F = 5.2 \times 10^{-5} N$. Considera que por un conductor circulan 3A y por el otro 5A.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}$ $I_1 = 3A$ $I_2 = 5A$ $r = 10cm = 0.1m$ $F = 5.2 \times 10^{-5} N$ $L = ?$	$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{2\pi r}$ $L = \frac{2\pi \cdot r \cdot F}{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}$	$L = \frac{2\pi(0.1m)(5.2 \times 10^{-5} N)}{\left(4\pi \times 10^{-7} T \frac{m}{A}\right)(3A)(5A)}$ $L = \frac{3.265 \times 10^{-5} Nm}{1.884 \times 10^{-5} TmA}$ $L = 1.73m$

Al sustituir la equivalencia de $1T = 1 N / Am$, entonces las unidades se reducen multiplicando extremo por extremo, y medio por medio, para obtener el metro.

$$\left\langle \frac{\frac{Nm}{NmA}}{Am} = \frac{Nm^2 A}{NmA} = m \right\rangle$$

Aplico lo aprendido

Con ayuda de tu profesor, determina lo que se indica en la siguiente tabla, tomando en cuenta los datos que intervienen en dos conductores paralelos en el vacío y con las siguientes características:

Características de los conductores	Determinar:
$I_1 = 12 A$ $I_2 = 20 A$ $r = 55 mm$ $L = 20 cm$	Fuerza magnética
$I_1 = 3 A$ $I_2 = 2 A$ $r = 8 cm$ $F = 0.00072 N$	Longitud de los conductores
$I_1 = 9 A$ $I_2 = 12 A$ $r = 15 cm$ $L = 15 cm$	Fuerza magnética
$I_1 = 30 A$ $I_2 = 45 A$ $L = 0.9 m$ $F = 9.2 \times 10^{-5} N$	Distancia que separa a los conductores

Inducción electromagnética

Cuando un conductor se mueve respecto a un campo magnético genera corriente eléctrica; algo similar ocurre con una bobina que gira dentro de un campo magnético, lo que lleva a inducir una **fuerza electromotriz** (se abrevia “fem” y se representa por la letra “ ε ”) la cual da origen a una corriente alterna (CA). A este proceso se le conoce como inducción electromagnética, y es la base del funcionamiento de muchos aparatos, transformadores y generadores eléctricos

Este fenómeno físico fue descubierto por Michael Faraday en 1831, de forma experimental en la mitad de un anillo de hierro, enrolló un hilo conductor aislado y los extremos los fijó a una batería (bobina 1). En la otra mitad del anillo enrolló nuevamente hilo aislado y lo conectó a un galvanómetro (bobina 2). Observó que la corriente en la bobina 1 sólo afectaba a la bobina 2 cuando iniciaba o cuando interrumpía el paso de la corriente eléctrica.

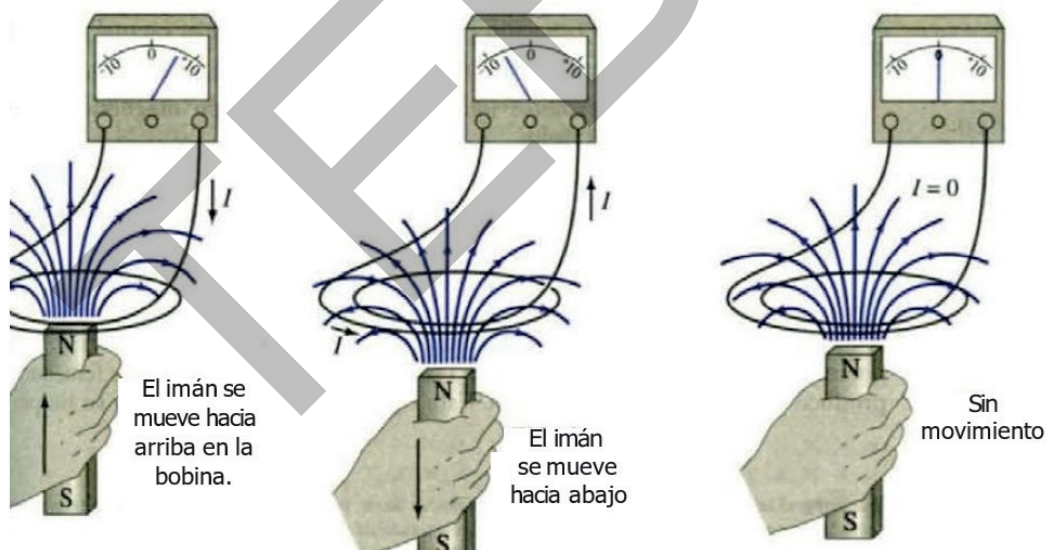
Faraday demostró que al introducir un imán a una bobina se produce una corriente alterna, y al sacarlo, se vuelve a producir, pero en sentido contrario.

La inducción electromagnética se puede analizar mediante la ley de Faraday y de Lenz, así como del flujo magnético que se produce en un conductor eléctrico.

Fuerza electromotriz

Trabajo que tiene que realizar un generador de electricidad, con el fin de mover la carga eléctrica a través de un circuito, tanto exterior, como interior al propio generador.

Figura 1.24
Experimento de Faraday



Nota. Adaptado de *Galvanómetros: electromecanismos de los instrumentos analógicos* [Imagen], por ElectricidadIPL.blogspot.com, s./f. (https://electricidadipl.blogspot.com/2014/06/galvanometros-electromecanismos-de-los.html?utm_source=chatgpt.com).

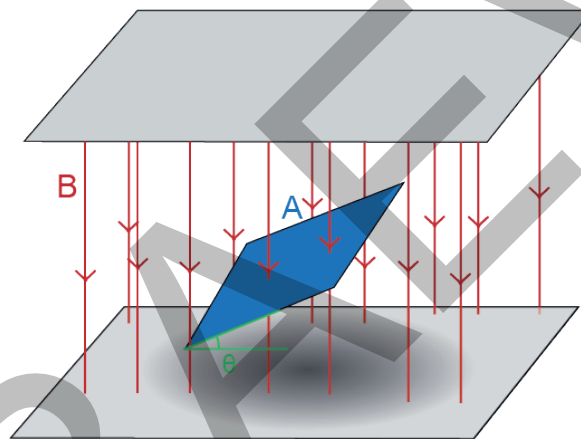
Flujo magnético

El flujo magnético en alguna sección del campo magnético se define como el número de líneas de flujo que pasan a través de una unidad de área perpendicular a dicha sección. Esta propiedad, en cualquier posición dentro del campo magnético, está estrechamente relacionada con la naturaleza del material y del medio presente.

La ecuación que define al flujo magnético es:

$$\Phi = B \cdot A$$

Figura 1.25
Representación del flujo magnético.



Nota. Adaptado de *Flujo magnético*[Imagen], por Khan Academy, s./f. (<https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-magnetic-flux>).

En donde “ Φ ” es el flujo magnético cuya unidad es el Weber (Wb), “B” es el campo magnético en Tesla y “A” es la sección de área en donde se requiere determinar el flujo magnético, medido en m^2 . En cuanto a la unidad Weber, cabe mencionar que un $Wb = T \cdot m^2$.

Cuando se requiere determinar el flujo magnético con cierto ángulo de inclinación, tal como se muestra en la figura 1.21, utilizamos la función trigonométrica seno, quedando de la siguiente manera:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \text{sen}\theta$$

Es posible determinar el cambio en el flujo magnético al variar el campo magnético o al variar el área. Entonces nuestra ecuación queda de la siguiente forma:

$$\Delta\Phi = \Delta B \cdot A$$

$$\Delta\Phi = \Delta A \cdot B$$

Ejemplos

1. Un conductor de área transversal de 0.035 m^2 forma un ángulo de 30° perpendicular al campo magnético, cuyo valor es de 0.42 T . Determina el flujo magnético al que se introduce el conductor.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$A = 0.035 \text{ m}^2$ $B = 0.42 \text{ T}$ $\theta = 30^\circ$ $\Phi = ?$	$\Phi = B \cdot A \cdot \sin \theta$	$\Phi = (0.42 \text{ T})(0.035 \text{ m}^2) \sin 30^\circ$ $\Phi = 7.35 \times 10^{-3} \text{ Wb}$

2. Determina el cambio en el flujo magnético generado por un conductor que genera un campo magnético de 0.046 T . Considera que el área es de 0.062 m^2 y experimentó un aumento en el campo magnético de 0.25 T .

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$B_1 = 0.046 \text{ T}$ $A = 0.062 \text{ m}^2$ $B_2 = 0.046 \text{ T} + 0.25 \text{ T}$ $= 0.296 \text{ T}$ $\Delta \Phi = ?$	$\Delta \Phi = \Delta B \cdot A$	$\Delta \Phi = (0.296 \text{ T} - 0.046 \text{ T})(0.062 \text{ m}^2)$ $\Delta \Phi = (0.25 \text{ T})(0.062 \text{ m}^2)$ $\Delta \Phi = 0.0155 \text{ Wb}$

Ley de Faraday

La fuerza electromotriz que resulta del movimiento de un conductor en un campo magnético, posee una dirección que depende de dicho movimiento, y una magnitud que es directamente proporcional a la rapidez con la que el conductor corta las líneas de flujo magnético y al número de espiras del conductor. El flujo magnético que cambia con una rapidez de un weber por segundo, **inducirá** una fem de 1 volt por cada espira que hay en el conductor. Matemáticamente se expresa como:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Inducir

Producir por inducción corriente eléctrica o energía magnética en un cuerpo o en un campo.

El signo negativo en la ecuación anterior, indica que la fuerza electromotriz se opone al cambio que la produce. Como ya lo hemos mencionado “ ε ” representa la fem inducida en unidades de Volt (V), “ $\Delta\Phi$ ” representa el cambio en el flujo magnético en Weber y “ Δt ” es el cambio en el tiempo en segundos. Cuando no hay variación del flujo magnético o del tiempo, la ecuación se emplea sin el símbolo delta (Δ).

Ley de Lenz

Heinrich Lenz (1804 – 1865), físico Ruso tuvo una aportación importante respecto a la inducción electromagnética, ya que estableció que la corriente inducida estará en sentido opuesto al que tiene al producirse. Es decir, el sentido de la corriente inducida es contrario al de la corriente que se requiere para provocar el movimiento del campo magnético.

Ejemplos

1. Una bobina de alambre tiene un área de 0.0072 m^2 y se coloca dentro de un campo magnético que se encuentra a 0.0098 T . Si al pasar 2.63 s el campo aumenta a 0.32 T ¿Cuál debe ser la fem inducida? Considera que la bobina tiene 120 espiras.

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$A = 0.0072 \text{ m}^2$ $B_i = 0.0098 \text{ T}$ $B_f = 0.32 \text{ T}$ $t = 2.63 \text{ s}$ $N = 120$ $\varepsilon = ?$	$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\Phi = \Delta B \cdot A$ $\Phi = (B_f - B_i) \cdot A$	$\Phi = (0.32 \text{ T} - 0.0098 \text{ T})(0.0072 \text{ m}^2)$ $\Phi = 1.598 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ $\varepsilon = -(120) \frac{1.598 \times 10^{-4} \text{ Wb}}{2.63 \text{ s}}$ $\varepsilon = -7.29 \times 10^{-3} \text{ V}$

2. Un solenoide de 300 espiras mide 30 cm de largo y 15 cm de ancho. Gira durante 40 min en un campo magnético de 0.55 T . ¿Qué cantidad de fuerza electromotriz se produce?

Solución

Datos	Fórmula	Sustitución y resultado
$L = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$ $a = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$ $A = ?$ $B = 0.55 \text{ T}$ $t = 40 \text{ min} \times 60 = 240 \text{ s}$ $N = 300$ $\varepsilon = ?$	$A = L \cdot a$ $\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\varepsilon = -N \frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t}$	$A = (0.30 \text{ m})(0.15 \text{ m})$ $A = 0.045 \text{ m}^2$ $\varepsilon = -(300) \frac{(0.55 \text{ T})(0.045 \text{ m}^2)}{240 \text{ s}}$ $\varepsilon = -(300) \left(1.031 \times 10^{-4} \text{ T} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$ $\varepsilon = -0.0309 \text{ V}$

Aplico lo aprendido

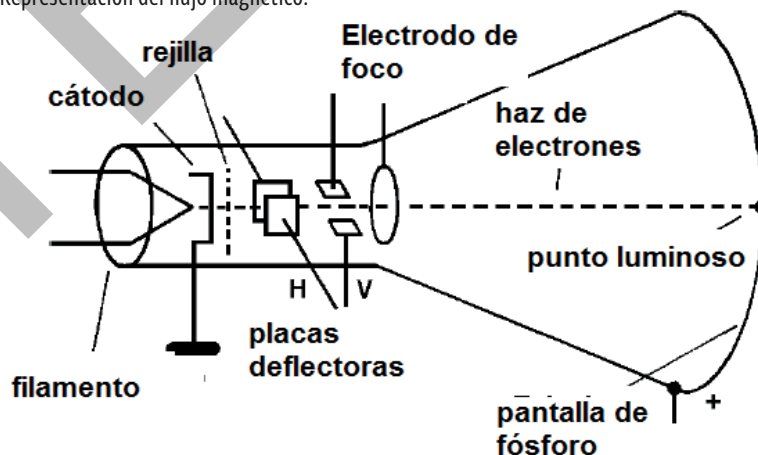
Con ayuda de tu profesor resuelve los siguientes ejercicios.

1. Determina la fem inducida de una bobina de 120 espiras y de un área de $6.5 \times 10^{-2} m^2$, que se coloca en un campo magnético de 1.25T. Después de medio minuto el campo magnético aumenta a 1.85T.
2. Calcula la fem que se induce en un alambre que forma un espira cuando éste se ve afectado por un flujo magnético que varía de 0.0025Wb a 0.0055Wb en un tiempo de $3.5 \times 10^{-3} s$.
3. Determina el tiempo en el que se lleva a cabo una variación del flujo magnético de $8.5 \times 10^{-4} Wb$, al desplazarse una bobina de 790 espiras entre los polos de un imán, generando una fem de 25V.
4. Considerando los datos del problema anterior, ¿Cuánto tiempo deberá transcurrir para que la bobina genere una variación del flujo magnético del doble que en dicho caso?

Aplicaciones del electromagnetismo

El electromagnetismo está presente en muchos aspectos de nuestro contexto. Ha marcado un gran avance en la tecnología y nos ha dado acceso a dispositivos que mejoran nuestra forma de vida. Permite transformar grandes cantidades de energía mecánica en energía eléctrica al hacer circular corriente eléctrica. A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones más importantes que este fenómeno tiene.

Figura 1.26
Representación del flujo magnético.



Nota. Adaptado de *Tubo de rayos catódicos*[Imagen], por Braga, N., s./f. (https://newtoncbraga.com.mx/curso-de-electronica/98-banco-de-informaciones-almanaque/7219-tubo-de-rayos-catodicos-alm153s?utm_source=chatgpt.com).

Tubo de rayos catódicos: estos instrumentos usan bobinas conductoras para producir un campo magnético que tiene la función de controlar el movimiento de un haz de electrones, mismos que permiten la generación de imágenes en pantallas de osciloscopios, televisiones o monitores; observa la figura 1.26 para visualizar como se acomodan sus elementos.

Báscula electrónica: la fuerza equilibrante es suministrada por bobinas conductoras de corriente, en el campo de un imán permanente; en la figura 1.27 se muestra un ejemplo. El peso del objeto se determina a partir de la corriente que pasa por la bobina.

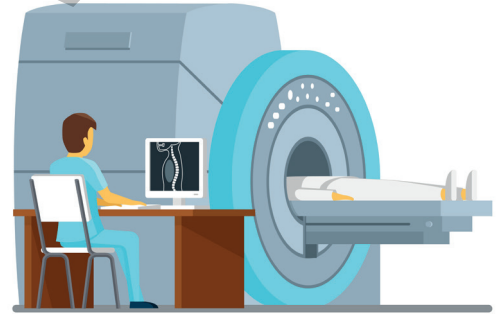
En medicina, el uso de resonancias magnéticas en medicina (por ejemplo la que se muestra en la figura 1.28), para el diagnóstico de enfermedades como la esclerosis múltiple, detección de aneurismas, etc. Se han realizado pruebas experimentales sobre técnicas hipotérmicas, que consisten en inyectar magnetita fluida en un tumor, y con un campo magnético externo, altera partículas de hierro elevando la temperatura del tumor hasta destruirlo.

Figura 1.27
Ejemplo de báscula electrónica.



Nota. Adaptado de *Báscula digital para cocina* [Imagen], por Yaqui, s./f. (<https://yaqui.com.mx/products/bascula-digital-para-cocina-capacidad-5-kg-15161-truper-pieza?srltid=AfmBOozHlwVzvhx6iPo71avnWneFF2UQq9qewMhCgcKCidbX1ufV0nE>).

Figura 1.28
Paciente al que le realizan una resonancia magnética.



Nota. Adaptado de *Diagnóstico y exploración por resonancia magnética* [Vector], por macrovector, 2025, (https://www.freepik.es/vector-gratis/diagnostico-exploracion-resonancia-magnetica-concepto-vector-salud-cuidado-paciente-resonancia-magnetica-diagnostico-resonancia-magnetica-hospitalaria-tecnologia-resonancia-magnetica-ilustracion-vectorial_13381426.htm#fromView=search&page=1&position=2&uuid=5760e95c-098c-4710-8aad-1375cdec0ec8&query=resonancia).

Actualmente se siguen haciendo estudios sobre las aplicaciones que tiene el electromagnetismo en nuestro entorno. Por ejemplo, en medicina, se hacen pruebas experimentales con microesferas magnéticas que se emplearían en las úlceras formadas en pacientes con diabetes y que regeneran el tejido a partir de imanes que atraen a estas microesferas contenidas de medicamento que están permanentemente en la herida del paciente. También se ha logrado desarrollar mejores sistemas de seguridad para aeropuertos.

Aplico lo aprendido

Con ayuda de tu profesor resuelve los siguientes ejercicios.

1. Un protón, cuya carga es de $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ se mueve a $1.25 \times 10^5 \text{ m/s}$, se introduce en un campo magnético de 0.085 T a 40° respecto a la línea horizontal. Determina el valor de la fuerza magnética que experimenta.
2. ¿Cuál debe ser la longitud de un alambre recto por el que circula una corriente de 3 A , cuando se introduce en un campo magnético de 0.0095 T y experimenta una fuerza magnética de 0.00625 N ?
3. Una bobina circular está elaborada de 1400 vueltas con alambre y mide 4.2 cm de radio. Determina la corriente que debe circular por la bobina para que en su centro se produzca un campo magnético de $2.7 \times 10^{-3} \text{ T}$ en el vacío.
4. Calcula el momento de torsión de una bobina cuya área es de 0.0425 m^2 , produce un campo magnético de $3.5 \times 10^{-4} \text{ T}$ y está formado por 360 vueltas. Considera que circula una corriente de 3 A y se encuentran a 32° respecto al eje horizontal.
5. Una bobina de alambre tiene un área de 0.0072 m^2 y se coloca dentro de un campo magnético que se encuentra a 0.0098 T . Si al pasar 2.63 s el campo aumenta a 0.032 T ¿Cuál debe ser la fem inducida? Considera que la bobina tiene 120 espiras.