



Fenómenos de Electromagnéticos (Parte No. 1)

Objetivos de la unidad: Experimentar y describir correctamente algunos fenómenos magnéticos y electromagnéticos, analizando y utilizando las leyes físicas que les ayuden a explicar sus propiedades y valorar su aplicación en la vida cotidiana.

Indicadores de Logros:

4.1 Indaga y explica con interés el origen del campo magnético de la Tierra y el de algunos materiales del entorno.

4.2 Representa, analiza y explica adecuadamente la Ley de Gauss para el magnetismo.

4.3 Interpreta y resuelve con persistencia problemas relacionados con la fuerza magnética.

4.4 Describe con interés las fuentes del campo magnético y su acción sobre campos y corrientes eléctricas.

4.5 Resuelve con seguridad problemas para calcular el campo magnético

4.6 Explica correctamente el origen atómico del campo magnético

4.7 Indaga y clasifica con certeza los distintos tipos de imanes determinando sus propiedades: atracción, repulsión, inducción, fuerza, polarización, entre otras.

4.8 Explica y valora la importancia de la integración de los fenómenos eléctricos y magnéticos en las aplicaciones tecnológicas.

4.9 Explica con interés y curiosidad las leyes de Faraday y Lenz y sus aplicaciones para el desarrollo tecnológico

4.10 Calcula con seguridad el flujo magnético que pasa a través de un espiral

4.11 Experimenta y explica con interés el fenómeno de autoinducción.

4.12 Indaga, construye bobinas y explica con interés la generación de corriente alterna utilizando las leyes de Faraday y Lenz

4.13 Indaga y describe con interés los diferentes tipos de transformadores, funcionamiento y usos en la vida cotidiana.

4.14 Indaga, explica y construye con creatividad aparatos electromagnéticos: motor eléctrico, timbres, electroimán, generadores y otros.

Magnetismo

A muchas personas les ha interesado el comportamiento de los imanes y desde hace ya más de un siglo el conocimiento y aplicación de los mismos, ha permitido el descubrimiento y elaboración de la Teoría de electromagnetismo.

Para conocer algunos datos básicos sobre este interesante tema analiza el siguiente texto:

Desde tiempos remotos, el hombre conocía las piedras imanes de la región de Magnesia. El estudio de las propiedades de estas piedras se llamó magnetismo.

Durante siglos se consideró que los fenómenos magnéticos y eléctricos eran de naturaleza diferente, sin nexo; pero en la primavera de 1820 el científico danés Hans Christian Oersted (1777-1851), preparando una de sus clases de física, realizó una observación muy sencilla: una corriente eléctrica cambia la orientación de una brújula.

El 20 de julio de 1820, Oersted comunicó al mundo científico, en un breve escrito en latín, que había descubierto el puente entre la electricidad y el magnetismo. Este fue el punto de partida para que científicos como André Ampère y Michael Faraday, elaboraran la teoría del electromagnetismo.

Relación del magnetismo y la electricidad

El magnetismo está tan íntimamente ligado y es tan importante para la electricidad que a menudo se llaman gemelos. La electricidad depende tanto del magnetismo, que sin él, muy pocos de nuestros modernos aparatos serían posibles. Sin la ayuda del magnetismo sería imposible generar y transmitir energía en cantidades suficientemente grandes como para cubrir las necesidades de la industria y nuestros hogares.

Magnetismo, imanes y materiales magnéticos

Generalmente se define el magnetismo como la propiedad o poder de un material para atraer y retener piezas de hierro y acero. Aunque se considera el magnetismo como “el estudio de todas las propiedades y acciones de los imanes y materiales magnéticos.

Se define un imán como un cuerpo que tiene la propiedad de la polaridad y el poder de atraer el hierro y el acero.

Materiales magnéticos son aquellos que son atraídos por un imán; pueden o no tener el poder de atraer a otros materiales magnéticos.

Esta definición nos lleva a la conclusión de que todos los imanes son materiales magnéticos, pero no todos los materiales magnéticos son imanes.

Campo magnético.

Las propiedades del imán no se limitan al imán en sí, sino que también influyen en la zona que los rodea. Esto se puede demostrar, espolvoreando limadura de hierro sobre un cristal o sobre un papel y colocar una barra imantada. Las limaduras de hierro tomarán una posición especial, se ordenan en líneas concéntricas.

Consigue un imán y haz la experiencia: espolvorea la limadura de hierro sobre un cristal o sobre un papel ¿Qué ocurre?

Principios del magnetismo y pruebas que apoyan a cada principio.

Principio	Prueba
1. Los imanes atraen ciertos materiales; estos materiales se llaman materiales magnéticos	Reúne pedazos pequeños de materiales diversos como: plástico, madera, vidrio, papel, metal. Acerca uno y otro extremo de un imán alternante a los materiales y observa que efecto tiene sobre alguno de ellos, La prueba sugiere que los imanes atraen ciertos materiales que contienen hierro, acero, níquel y cobalto. A estos materiales se les llama: <u>magnéticos</u> .
2. Los imanes tienen dos regiones llamados polos, donde se concentra su fuerza de atracción o magnetismo.	Prueba qué parte de un imán de barra o de herradura atrae con más fuerza los materiales magnéticos. Notarás que son extremos a los cuales se les da el nombre de polos magnéticos.
3. El magnetismo parece "atravesar" los materiales que no son magnéticos.	Coloca un imán suspendido en un soporte. En la base del soporte amarra un clip con un hilo muy delgado de modo que entre el clip y el imán quede un espacio de $\frac{1}{2}$ centímetro. Por ese espacio coloca delgadas láminas de diversos materiales: vidrio, papel, madera aluminio, hierro, plástico, etc. Solo el hierro provoca cierto efecto sobre el clip. ¿Por qué?
4. El hierro y el acero no imantados (no magnetizados) se pueden magnetizar o imantar.	Toma un clavo de hierro, o una aguja de coser ropa y frótala con el extremo de un imán, hazlo en un mismo sentido, unas 100 veces. Luego prueba si el clavo o la aguja atraen limaduras de hierro.
5. Los imanes están rodeados de campos magnéticos	Para observarlo se esparcen finas limaduras de hierro.
6. Algunos compuestos químicos son magnéticos, estos compuestos químicos contienen hierro.	Las piedras imán son piedras naturales que contienen ciertos minerales de hierro y oxígeno. Por lo general, el magnetismo de los imanes naturales es muy débil. Introduce un imán en tierra suelta y seca, puedes estar seguro/a que las partículas que se pegan al imán son óxido de hierro. Ahora, corta pequeños pedazos de cinta magnetofónica, acércales el imán

	y notarás que las atrae porque estas cintas son fabricadas de plástico recubierto por una delgada capa de óxido de hierro.
--	--

¿Cómo se genera el magnetismo?

¿De dónde vienen los imanes?

La palabra magnetismo tiene su origen en Magnesia, una pequeña ciudad de Grecia antigua. Se cuenta que fue en ese lugar donde se encontraron, hace unos 2000 años, ciertas piedras que atraían objetos metálicos. A esas piedras se les llamó por primera vez piedras imán o magnetita. La composición química de la magnetita es un mineral conocido como óxido de hierro (Fe_3O_4).

Años más tarde se descubrió que la magnetita tenía propiedades de orientación geográfica. Al colocar un trozo del material colgando de un hilo, este daba vueltas hasta apuntar cada extremo de la piedra hacia el polo norte y el polo sur de la Tierra. Es así como se construyó la brújula, para poder orientarse en las largas travesías en el mar.

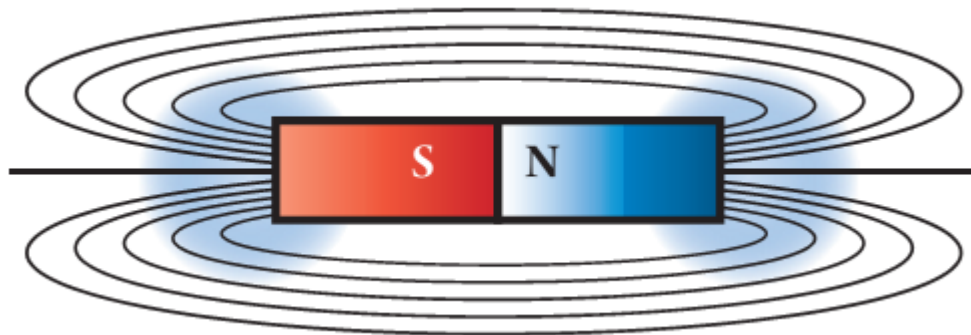
¿Qué es el magnetismo?

Es la propiedad de ciertos cuerpos, denominados imanes, que consiste en atraer objetos metálicos tales como el hierro, el níquel y el cobalto.

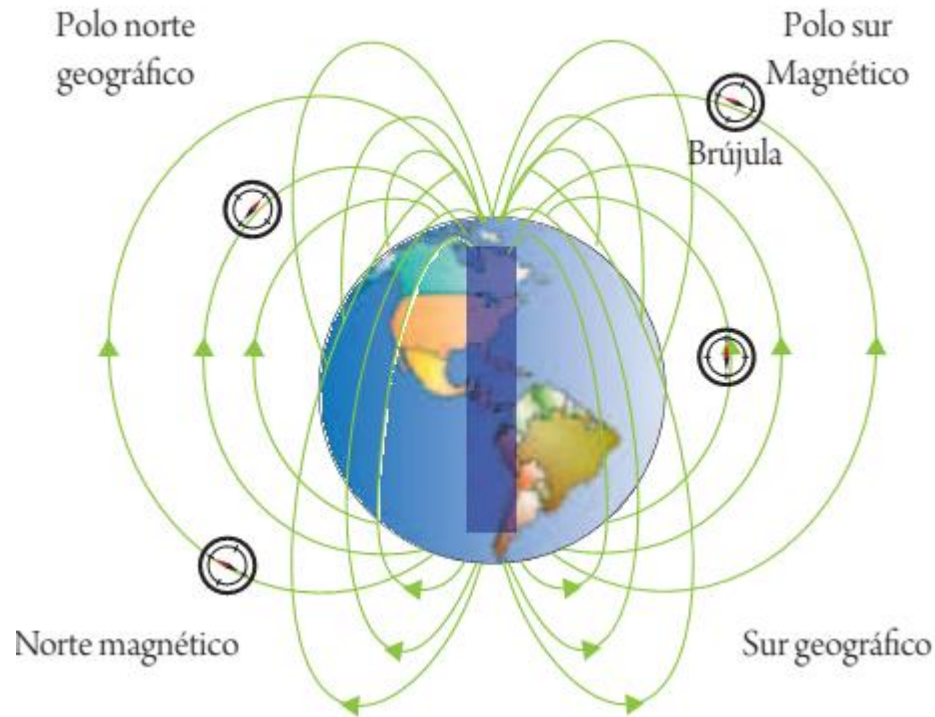
Un imán es un material capaz de producir un campo magnético exterior y atraer ciertos cuerpos. Existen imanes naturales como la magnetita e imanes artificiales, los cuales se obtienen de otros materiales.

Campo magnético

Un imán está formado por dos polos magnéticos denominados norte y sur, por orientarse según los polos geográficos de la Tierra. Es en los polos magnéticos donde se concentra la atracción de un imán. La región del espacio donde un imán ejerce su fuerza de atracción se llama campo magnético. Este campo es invisible, pero se puede representar mediante líneas que van del polo magnético Norte al polo Sur, en el exterior del imán.



En el siguiente esquema se puede observar la relación de los polos geográficos de la Tierra y los polos magnéticos del imán.



Propiedades Magnéticas de la Materia

Las propiedades macroscópicas magnéticas de los materiales son consecuencia de los momentos magnéticos de los electrones de los elementos que constituyen el material. Cada electrón tiene un momento magnético debido al movimiento alrededor del núcleo (momento magnético orbital) y una propiedad cuántica del electrón = el spin. La forma en que resulta la distribución de los momentos magnéticos en el material, determinará su característica magnética.

- Diamagnéticos: No hay dipolos magnéticos permanentes. Permeabilidad menor que 1. Ejemplos: Mercurio, Plata, oro, óxido de aluminio.
- Paramagnéticos: Hay dipolos magnéticos permanentes, pero están orientados aleatoriamente. Permeabilidad baja. Ejemplos: Aluminio, sulfato de Mn, Sodio, Titanio.
- Ferromagnéticos: Hay dipolos magnéticos permanentes, distribuidos en dominios. Permeabilidad alta. Ejemplos: Cobalto, níquel, Fe (en estructura BCC)

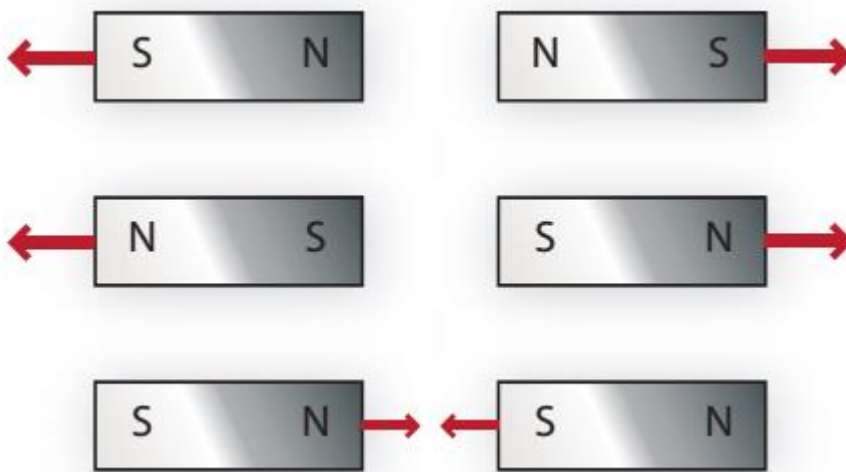
Atracción y repulsión de los imanes

El magnetismo es producido tanto por imanes naturales como artificiales. Además de la capacidad para atraer metales, los imanes poseen una propiedad llamada polaridad.

Dicha propiedad se explica de la siguiente manera:

Cuando el polo magnético norte de un imán se acerca al polo magnético norte de otro, se repelen entre sí, y cuando se acercan polos opuestos, se atraen. En conclusión: polos magnéticos iguales se repelen y polos magnéticos opuestos se atraen.

¿Qué pasa si se rompe un imán? Sorprendentemente, cada pedazo roto se convertirá en otro imán completo. Si de nuevo se rompen los dos pedazos se formarán cuatro imanes con sus características, iguales al primero.



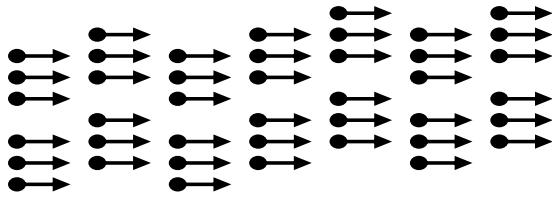
Origen atómico del magnetismo

El magnetismo, al igual que la electricidad, tiene su origen en el movimiento de los electrones en los átomos.

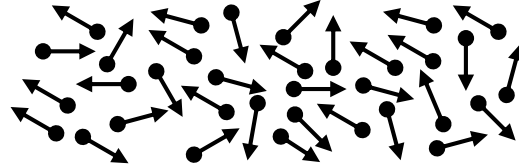
Existen dos tipos de movimiento en los electrones, el del spin y el orbital. De acuerdo a esto, el magnetismo es una propiedad relacionada con la electricidad, por el movimiento de las cargas.

Un campo eléctrico es creado por una carga eléctrica: un electrón (o un protón). Se genera así una atracción o repulsión entre cargas. Ocurre que un electrón tiene 2 movimientos: gira en órbitas en torno del núcleo (traslación) y también gira sobre su eje (rotación) Este movimiento de rotación se conoce como **espín**. Ambos movimientos generan las propiedades magnéticas (magnetismo)

Microscópicamente se observa que los átomos en un material magnetizado se ordenan en pequeñas regiones (de aproximadamente 1 mm) llamadas **dominios**. Cada dominio se comporta como un imán independiente con sus respectivos polos. En un material no magnetizado, estos dominios se encuentran sin ningún orden, al azar, de manera que sus efectos magnéticos se anulan mutuamente. Sin embargo, cuando los dominios se ordenan, el material adquiere magnetismo.



Aquí los dominios están ordenados, por lo que el material está magnetizado.



Aquí los dominios no están ordenados, por lo que el material **NO** está magnetizado

Leyes de Coulomb y Gauss para el magnetismo

► **Ley de Coulomb.** Ya establecimos que entre los polos magnéticos se establecen fuerzas de atracción o repulsión, tal como ocurre con las cargas eléctricas. La fuerza de atracción o repulsión magnética es posible calcularla mediante la ley de Coulomb. Charles de Coulomb estableció una ecuación para determinar la fuerza de atracción (o repulsión) entre cargas eléctricas. En este caso, la fuerza es directamente proporcional a la magnitud de las cargas e inversamente proporcional a la separación entre ellas. Para el caso del magnetismo, Coulomb estableció una relación semejante, y es la siguiente: **la fuerza ejercida entre dos polos magnéticos es directamente proporcional al producto de sus masas magnéticas e inversamente proporcional al cuadrado de la separación entre ellas.**

Matemáticamente se expresa así:
$$F = \frac{\mu m_1 m_2}{d^2}$$

En la ecuación anterior, μ es la constante de proporcionalidad llamada **permeabilidad magnética** y su valor, en el sistema internacional, es de $10^7 \frac{kg m^3}{s^2 weber^2}$ ó $10^7 \frac{N m^2}{weber^2}$

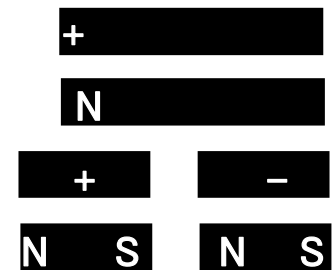
El weber (W) es la masa magnética (cantidad de magnetismo) El weber tiene unidades de newton-metro/amperio: N-m/A. Como en el caso de cargas eléctricas, aquí F es la magnitud de la fuerza, por lo que no interesa el sentido. Es decir que no interesa si es de atracción o repulsión.

Ejemplo:

- Encontrar la fuerza magnética entre 2 imanes cuyas masas magnéticas son de 10 webers y 20 webers y están separadas por 1 000 cm.

► **Ley de Gauss.** En la figura aparecen un dipolo eléctrico (con sus cargas distribuidas en los extremos) y un dipolo magnético. Si partimos por la mitad el dipolo eléctrico, tendremos lo siguiente: un segmento con carga positiva y un segmento con carga negativa, como se muestra. Sin embargo, al partir por la mitad el dipolo magnético (imán) aparece un nuevo dipolo; es decir, un nuevo imán con sus respectivos polos norte y sur. Si estos segmentos los partimos de nuevo, aparecerán nuevos dipolos magnéticos; y así sucesivamente.

Por lo tanto no cabe duda que existe una diferencia entre un campo eléctrico y un campo magnético. Esta diferencia se expresa matemáticamente en la ley de Gauss. Para un dipolo eléctrico, si existe una carga eléctrica neta igual a cero a través de una superficie **A** (superficie gaussiana), el flujo del campo eléctrico (Φ_E) es cero; pero si



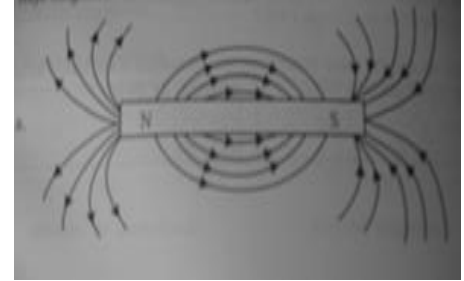
existe una carga eléctrica neta distinta de cero, el flujo del campo eléctrico (Φ_E) se expresa de la siguiente manera: $\Phi_E = \Sigma EA \leftarrow$ ley de Gauss.

Para el flujo magnético existe una ecuación similar $\Phi_B = \Sigma BA$

Como en el caso de la carga eléctrica neta, podría decirse que, para la ecuación anterior, sólo si la carga *magnética* neta es cero, el flujo magnético es cero. Sin embargo el flujo magnético **siempre** es cero. Es decir que: $\Phi_B = \Sigma BA = 0$

Ocurre que siempre es cero debido a que no existe superficie que encierre una carga magnética, pues en cada segmento o corte aparece con un polo norte y un polo sur: aparece como un nuevo imán.

La ley de Gauss para el magnetismo queda expresada así: **el flujo neto del campo magnético que pasa a través de cualquier superficie cerrada es cero.**



Fuerzas magnéticas

Una carga en movimiento en presencia de un imán experimenta una fuerza magnética denominada **F_m**, la cual hace desviar su trayectoria. Si la corriente eléctrica es un movimiento continuado de cargas, entonces el conductor por donde circula corriente eléctrica sufrirá el efecto de las fuerzas magnéticas (F_m) que se ejercen sobre las cargas eléctricas móviles en su interior, por la acción del campo magnético.

Si la corriente es en línea recta y de longitud **L**, la expresión matemática para la fuerza magnética es la siguiente: **F_m = IBLsen Φ**

Donde

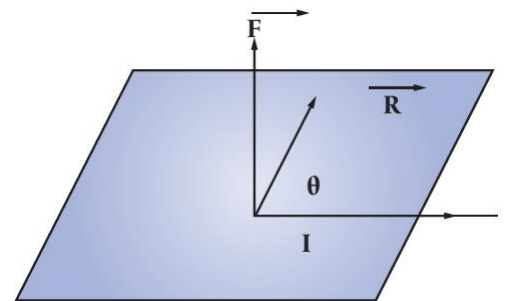
F_m = fuerza magnética en Newton (N)

I = intensidad de la corriente en amperes (A)

B = intensidad de campo magnético, expresado en weber/m²

L = longitud del alambre, en metros (m)

Φ = ángulo que forma la corriente con el vector campo



En el Sistema Internacional, la intensidad de campo magnético (B) se expresa en Tesla (T) o weber/m²

1 Wb/m² = N / Am = 1 Tesla

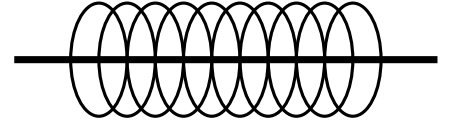
Ejemplo de aplicación:

- Un alambre de 0.2 m de longitud, se encuentra en ángulo recto a un campo magnético cuya inducción magnética es de 0.08 N/ A. m. la corriente que circula por el alambre es de 8 A ¿Qué fuerza actúa sobre el alambre?

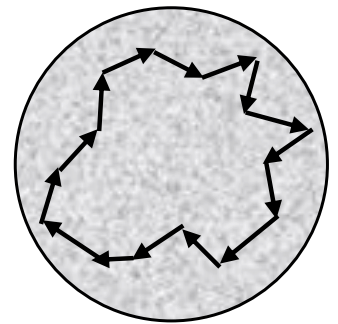
- Un alambre de 0.02 m de largo transmite una corriente de 4 A y se encuentra en ángulo de 90 ° con un campo magnético con un valor de inducción magnética de 6.25 N/ A.m. Encuentra la fuerza que actúa sobre el alambre

► La ley de Ampere.

El físico y químico danés, Oersted, trabajando con alambres conductores de electricidad, observó que uno de los alambres, colocado sobre una brújula, provocaba que la aguja se moviera al paso de la corriente. Posteriormente este científico demostró que cualquier alambre con corriente se encuentra rodeado por un campo magnético. Luego de posteriores experimentos, Oersted concluyó lo siguiente: **el campo magnético producido por la corriente eléctrica en un conductor recto, se manifiesta por líneas de fuerza o de campo en forma de círculos alrededor del centro del conductor.**



En todos los puntos del círculo, el campo magnético es el mismo. Evidentemente, cuanto más cerca se está del conductor, más intenso es dicho campo. Luego de estos descubrimientos el científico francés, Ampere, relacionó de una manera más general la corriente que pasa por un conductor y el campo magnético alrededor de él. Para conseguirlo estableció una trayectoria no circular alrededor del conductor y dividió esta trayectoria en pequeños segmentos de longitud: ΔL . Al sumar el producto de cada uno de estos segmentos por el campo magnético (**B**) en cada punto, obtenemos el producto de μ_0 por la intensidad de la corriente **I** que pasa a través de cualquier superficie limitada por la superficie cerrada.



El valor μ_0 se conoce como constante magnética o constante de permeabilidad. En el vacío o en el aire se tiene que, en el Sistema Internacional (SI),

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ teslas-metro/amperio = $4\pi \times 10^{-7}$ T-m/A. O también:
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ newton-metro²/ weber² = $4\pi \times 10^{-7}$ N-m²/W².

Como el valor de π es 3.14, se tiene que $\mu_0 = 4(3.14) \times 10^{-7} = 12.56 \times 10^{-7} = 1.25 \times 10^{-6}$.

Matemáticamente la ley de Ampere se expresa así: $\Sigma B \Delta l = \mu_0 I$

En esta ecuación, la sumatoria de todos los Δl nos da el total de la trayectoria, que se conoce como **espira amperiana**.

La ley de Ampere es otra de las 4 ecuaciones de Maxwell.

Algunos valores típicos (en teslas) de campos magnéticos:

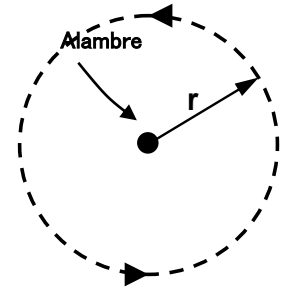
Cerca de la superficie de una estrella de neutrones	10^8	En la superficie terrestre	10^{-4}
Cerca de un imán superconductor	5	En el espacio interestelar	10^{-10}
Cerca de un electroimán grande	1	En un cuarto con protección magnética	10^{-14}
Cerca de un pequeño imán de barra	10^{-2}		

► **Ley de Ampere en un punto fuera de un alambre.** Podemos aplicar Ampere para calcular el campo magnético existente a una distancia **d** respecto de un alambre por el que circula una corriente **I**.

Ejemplo: A través de un alambre (cilíndrico) se desplaza una corriente de 2 amperios. Calcular el campo magnético a 20 cm del alambre.

Solución. Se tiene un punto a 20 cm. Es decir que la espira es de 20 cm de radio (0.2 m). Al aplicar Ampere, el factor Δl es el perímetro de la espira, es decir $2\pi r$, ya que se trata de un círculo. Por lo tanto tenemos:

$$B\Delta l = \mu_0 I \rightarrow B(2\pi r) = \mu_0 I \rightarrow B = \mu_0 I / (2\pi r) = 1.25 \times 10^{-6} (2) / (6.28 \times 0.2) \\ \rightarrow B = 2 \times 10^{-6} \text{ T.}$$



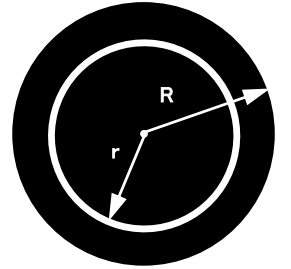
► **Ley de Ampere dentro de un alambre.** Cuando se desea calcular el campo magnético dentro del mismo alambre conductor, se considera el radio, R , de la sección transversal del alambre y su área; así como el área a la distancia r a la que se desea calcular el campo magnético. Evidentemente $R \geq r$. En estos casos, la ley de Ampere se expresa así:

$B(2\pi r) = \mu_0 I (\pi r^2 / \pi R^2)$ Aquí $I(\pi r^2 / \pi R^2)$ es la fracción de la corriente que pasa por la sección de interés.

Pero como π se elimina en el cociente, obtenemos:

$B(2\pi r) = \mu_0 I \left(\frac{r^2}{R^2}\right)$ Observemos también que se elimina un r , pues aparece en ambos miembros. Es decir que obtenemos $B(2\pi) = \mu_0 I \left(\frac{r}{R^2}\right) = B(6.28) =$

$$\mu_0 I \left(\frac{r}{R^2}\right) \text{ Al despejar } B, \text{ obtenemos: } B = \frac{\mu_0 I \left(\frac{r}{R^2}\right)}{6.28} \text{ Como } 1/6.28 = 0.16, \text{ obtenemos:} \\ B = 0.16 \mu_0 I \left(\frac{r}{R^2}\right)$$



Ejemplo: Por un alambre de sección transversal de 4 mm de diámetro fluye una corriente de 30 amperios. Calcular el campo magnético a 1.5 mm del centro del alambre.

Solución. Comencemos por convertir los mm a metros. $1\text{m}=1000\text{mm} \rightarrow 1\text{mm}=0.001\text{m}$.

Por lo tanto: $1.5\text{mm} = 0.0015\text{m}$. Este es el radio menor: $r = 0.0015\text{m}$. El radio mayor, R , lo sacamos del diámetro. Diámetro = 4 mm $\rightarrow R = 2\text{mm} \rightarrow R = 0.002\text{m}$

Apliquemos la ecuación:

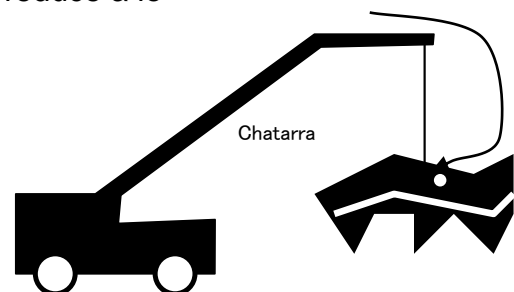
$$B = 0.16 \mu_0 I (r/R^2) = 0.16 (1.25 \times 10^{-6}) (30) (0.0015/0.002^2) = 0.00225 \rightarrow B = 0.00225 \text{ T}$$

► **Ley de Ampere en un solenoide ideal.**

Un solenoide es un imán formado por un hilo metálico, enrollado en forma de espiral, por el cual circula una corriente eléctrica. Si el solenoide es ideal, su longitud es mucho mayor que su radio, de manera que la ley de Ampere se reduce a lo siguiente: $B = \mu_0 n I$



Electroimán



En esta ecuación, n es el número de espiras o vueltas.

El electroimán es un dispositivo que consiste en un solenoide en cuyo interior se coloca un núcleo de hierro. Si una corriente eléctrica recorre la bobina, se crea un fuerte campo magnético en su interior, paralelo a su eje. Los electroimanes se aplican a frenos y embragues electromagnéticos. En los ciclotrones se utilizan enormes electroimanes con núcleos de varios metros de diámetro. Un ciclotrón es un acelerador de partículas. También se utilizan potentes electroimanes para levantar hierro y chatarra.

Actividad:

Calcular el campo magnético generado por una corriente de 10 amperios que circula por un alam-

bre. Las distancias son:

- a. $\ell = 5$ cm ____ b. $\ell = 6$ cm ____ c. $\ell = 7$ cm ____ d. $\ell = 8$ cm ____ e. $\ell = 9$ cm ____
f. $\ell = 10$ cm ____ g. $\ell = 11$ cm ____ h. $\ell = 12$ cm ____ i. $\ell = 13$ cm ____
j. $\ell = 14$ cm ____ k. $\ell = 15$ cm ____ l. $\ell = 16$ cm ____ m. $\ell = 17$ cm ____
n. $\ell = 18$ cm ____

Actividad: Por un alambre de sección transversal de 6 mm de diámetro fluye una corriente de 50 amperios. Calcular, a partir del centro del alambre, el campo magnético a las distancias de:

- a. 0 mm ____ b. 0.3 mm ____ c. 0.6 mm ____ d. 0.9 mm ____
e. 1.2 mm ____ f. 1.5 mm ____ g. 1.8 mm ____ h. 2.1 mm ____
i. 2.4 mm ____ j. 2.7 mm ____ k. 3 mm ____

Inducción electromagnética

La inducción electromagnética es el fenómeno que produce una fuerza electromotriz conocida como f.e.m (voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético. Fue Hans Christian Oersted, físico danés, quien a través de un experimento (1820) descubrió la relación entre el magnetismo y la electricidad. Al empujar una brújula, cerca de un circuito eléctrico, observó con asombro que la brújula daba una vuelta de 90° y se colocaba perpendicular al alambre. Oersted repitió varias veces el experimento confirmando el fenómeno.



Poco tiempo después del hallazgo de Oersted, el científico francés André Marie Ampere descubrió que el campo magnético podía aumentarse enrollando el alambre conductor en forma de bobina.

Ley de Faraday

El científico inglés Michael Faraday, en 1831 después de realizar numerosos experimentos encontró la forma de obtener corriente eléctrica inducida en un circuito, producida por un campo magnético, fenómeno que se denomina hoy en día **inducción electromagnética**.

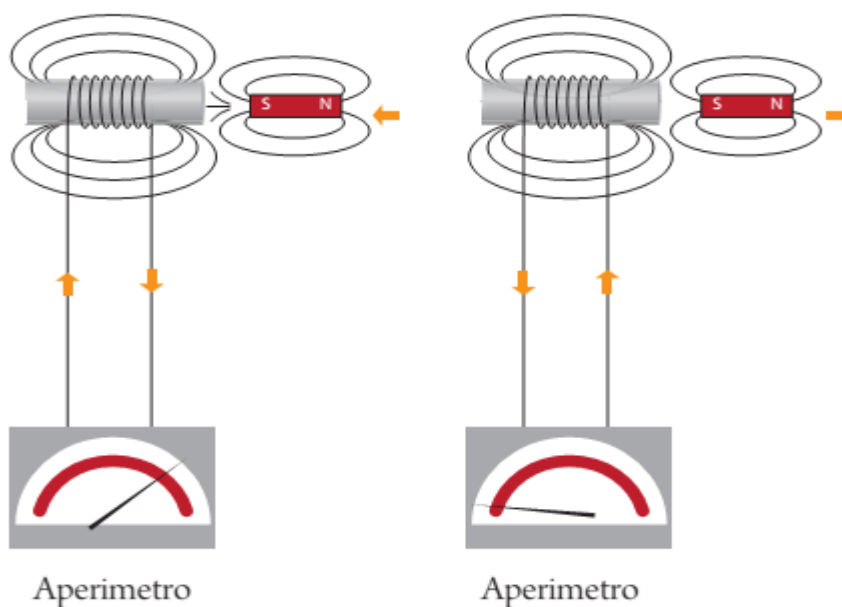
Faraday al experimentar con una bobina y un imán observó lo siguiente:

- Al permanecer inmóviles el imán y la bobina, no hay producción de corriente inducida.
- Al acercar el imán a la bobina se origina inmediatamente una corriente que se puede detectar en el amperímetro.
- El sentido de la corriente está en función de la cercanía o lejanía del imán.
- La corriente inducida será más intensa al avanzar más rápido el imán.

De acuerdo a sus observaciones Faraday estableció la ley que se enuncia así:

“Siempre que se produzca una variación de flujo magnético ($\Delta\Phi$) a través de un circuito, al alejar y acercar el imán de una espira aparecerá en el mismo circuito una fuerza electromotriz (ϵ) inducida.”

Matemáticamente: $\epsilon = I\Delta\Phi/\Delta t$

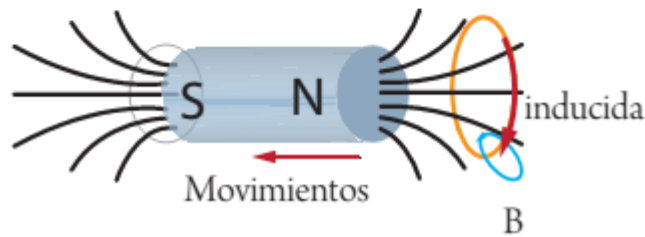
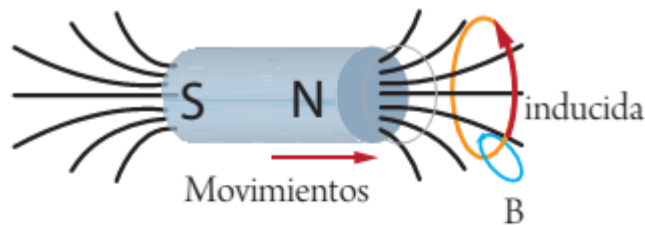


La inducción electromagnética es el principio fundamental por medio del cual operan los transformadores, generadores y motores eléctricos.

Ley de Lenz

Después de los experimentos de Faraday, el científico ruso Lenz dio a conocer su ley sobre el sentido de la corriente inducida. Las observaciones de Lenz se resumen en los siguientes puntos:

- Al acercar un imán a una espira, la corriente inducida circula en sentido tal que el campo magnético que produce tiene un sentido contrario al campo magnético del imán.
- Cuando el imán se aleja, la corriente inducida cambiará de sentido, teniendo el campo magnético creado el mismo sentido que el campo magnético del imán



Inductores.

Los inductores son dispositivos formados por una bobina (solenoides) por donde circula una corriente alterna, generando en su interior un campo magnético variable que induce una fem. Podemos calcular la inductancia de una bobina si conocemos el flujo magnético Φ que pasa por las espiras y la corriente que pasa por la bobina (I). Si L es la inductancia, entonces tenemos que: $L = n\Phi/I$ Siendo n el número de espiras. La unidad de inductancia en el SI es el henry (en honor a Lenz) Un inductor tiene una inductancia de 1 henry (1H) si induce una fuerza electromotriz (fem) de un voltio

Actividad: Un imán se aleja y se acerca a una espira de un solenoide. Se produce un flujo magnético de 2 W al acercarlo, y un flujo de 7 W al alejarlo. Calcular la fem (ϵ) inducida en la espira si el cambio ocurre en un tiempo de: $\epsilon = I\Delta\Phi/\Delta tI$

- a. 1 s _____ b. 0.9 s _____ c. 0.8 s _____ d. 0.7 s _____ e. 0.6 s _____
 f. 0.5 s _____ g. 0.4 s _____ h. 0.3 s _____ i. 0.2 s _____ j. 0.1 s _____

Actividad: Calcular la inductancia en una bobina por la que circula una corriente de 1 amperio si el flujo magnético es de 2 webers y el número de espiras es: $L = n\Phi/I$

a. 100 _____ b. 125 _____ c. 150 _____ d. 175 _____ e. 200 _____
f. 225 _____ g. 250 _____ h. 300 _____ i. 400 _____ j. 500 _____

Transformadores

La energía eléctrica se puede transportar por medio de conductores, pero también se puede transportar por el vacío, es decir, transferirse de un dispositivo a otro a través de transformadores eléctricos. Estos aparatos funcionan por medio de la inducción electromagnética y están constituidos por dos bobinas llamadas “primario y secundario” colocadas sobre un núcleo de hierro.

Las bobinas corresponden a la entrada o salida del circuito. Los transformadores tienen diversos usos: en las casa se utilizan para aumentar o disminuir el voltaje suministrado por la compañías de electricidad.

Circuitos de corriente alterna

La mayoría de fuentes de electricidad que hacen funcionar las máquinas industriales y los electrodomésticos que se usan en la vida cotidiana suministran corriente alterna.

Para aprovechar bien este tipo de corriente se requiere usar ciertos dispositivos, provistos de componentes tales como: resistencias, condensadores y elementos de inducción. De acuerdo a ello existen dos tipos de circuito de corriente alterna, y son:

La corriente alterna “AC” se caracteriza porque circula durante un tiempo en un sentido y después en sentido opuesto, volviéndose a repetir el mismo ciclo en forma constante. Esto hace que su polaridad se invierta periódicamente, haciendo que la corriente fluya alternativamente en una dirección y luego en la otra.

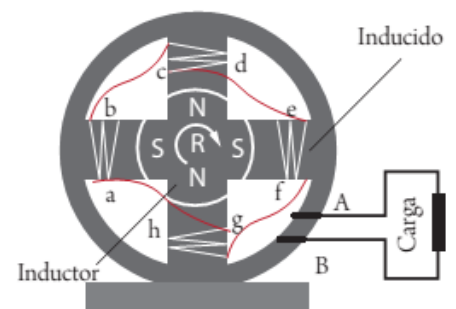
La corriente eléctrica que nos proporcionan las compañías de electricidad es corriente alterna. Para aprovechar bien este tipo de corriente los equipos eléctricos que se utilizan tienen ciertos dispositivos especiales tales como los resistores y los condensadores.

Los resistores o resistencias son dispositivos que se usan para inducir una resistencia eléctrica entre dos puntos de un circuito. Son útiles para generar calor en planchas y calentadores, entre otros.

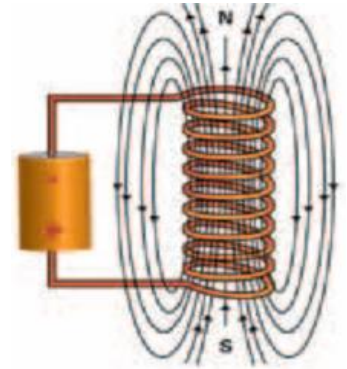
Los condensadores son dispositivos que se encargan del almacenaje de energía eléctrica debido a la presencia de un campo eléctrico en su interior.

Los circuitos de corriente alterna son de dos tipos:

- a) *El circuito con resistencia:* Está formado por un alternador y una resistencia simple. Un alternador es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, generando mediante una inducción, una corriente alterna. Consta de dos partes: el inductor que se encarga de crear un campo magnético y el inducido que es el conductor, el cual es atravesado por las líneas de fuerza del campo magnético. El alternador es una pieza clave del sistema eléctrico de los automóviles.



- b) *Circuitos con solenoide*: Este circuito consta de un alternador y solenoide o bobina. Los solenoides son dispositivos en forma de alambre enrollado para formar una bobina cilíndrica, que se encarga de generar un campo eléctrico en presencia de una corriente eléctrica. Al aparecer este campo magnético, el dispositivo se transforma en un imán cuyas aplicaciones se aprovechan en circuitos eléctricos como los que activan los motores de arranque de vehículos



El motor eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica en mecánica. Por sus notables ventajas, ha sustituido a otras fuentes de energía. Básicamente un motor eléctrico está formado por: un electroimán llamado inductor, y un circuito eléctrico que puede girar alrededor de un eje y se le llama rotor. ¿En dónde se pueden usar los motores eléctricos? Te sorprenderán las utilidades que tienen estos dispositivos:

Bombas para agua, licuadoras, lavadoras, ventiladores, secadoras de pelo, entre otros.

Generadores eléctricos

Estos son dispositivos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica. Se denominan también dínamos. Un generador consta básicamente de las siguientes partes:

1. Un inductor, puede ser un imán o electroimán.
2. Una armadura que consiste en una espiral de alambre suspendida entre los polos de un imán
3. Anillos colectores que se encuentran en el extremo de la espira y giran junto con ella.

► **Consumo de energía eléctrica.** Cuando estudiamos el efecto Joule, establecimos que $P = RI^2$. En esta ecuación, P es la potencia (energía/tiempo). Cuando trabajamos en voltios, amperios y ohmios, la potencia viene dada en watt (w) o vatios (v). Precisamente los watts que consumimos en el tiempo es lo que nos cobran las compañías de alumbrado eléctrico; es decir, los watts-tiempo. El watt es una cantidad muy pequeña, por lo que se usa el kilowatt (Kw); y como tiempo se usa la hora (h). En resumen pagamos a la compañía eléctrica los Kw-h consumidos.

Por otra parte, en nuestro país, por el consumo de 100 Kw-h, se pueden pagar distintas cantidades (dólares). Eso dependerá del tipo de tarifa que se tenga. Para el caso, la tarifa **residencial** paga 0.1036 dólares por Kw-h (septiembre 2007, CAEES). Además, el estado subsidia el consumo menor de 100 Kw-h.

Es oportuno recordar el caso del calentador del ejemplo 14 de esta unidad. Su potencia era de 1512.5 vatios o watts; es decir, 1.51 Kw. Supongamos que se mantiene encendido por 10 horas. En tal caso consumirá 15.1 Kw-h.

Ejemplo:

Resolver cada caso.

1. En una casa con tarifa residencial (de CAEES), se tiene un calentador como el del caso del ejemplo 14, de esta unidad. Cuánto deberá pagar su propietario si permanece encendido 20 horas al mes.

2. En un día una persona mantiene encendido 6 focos de 60 w cada uno durante un promedio de 5 horas; un televisor de 120 w durante 12 horas; un microonda de 800 w durante 15 minutos; una olla arrocera de 700 w durante 30 minutos; una plancha de 850 w durante 42 minutos. Calcular lo que ha consumido (dólares) en ese día.

Solución. 1. El calentador del ejemplo 14 tiene una potencia de 1512.5 vatios o watts; es decir, 1.51 Kw. Multipliquemos esta cantidad por veinte y obtenemos los Kw-h: $1.51 \times 20 = 30.2 \rightarrow$ Consumo = 30.2 Kw-h. Total a pagar: $30.2 \times 0.1036 = 3.128$ Pagará 3.128 dólares \rightarrow 3 dólares con 12 ó 13 centavos.

Solución. 2. Consumo en Kw-h:

6 focos: $6 \times 60 \times 5 = 1800 \rightarrow 1800 \text{ w-h} \rightarrow 1800/1000 = 1.8 \rightarrow 1.8 \text{ Kw-h}$

TV: $120 \times 12 = 1440 \rightarrow 1440 \text{ w-h} \rightarrow 1.44 \text{ Kw-h}$

Microonda: $800 \times 15/60 = 200 \text{ w-h} \rightarrow 0.2 \text{ Kw-h}$

Olla. $700 \times 30/60 = 350 \text{ w-h} \rightarrow 0.35 \text{ Kw-h}$

Plancha: $850 \times 42/60 = 595 \text{ w-h} \rightarrow 0.595 \text{ Kw-h}$

Total de Kw-h = $1.8 + 1.44 + 0.2 + 0.35 + 0.595 = 4.385 \rightarrow 4.385 \text{ Kw-h}$.

Costo = $4.385 \times 0.1036 = 0.4542 \rightarrow 0.4542 \text{ dólares} \rightarrow 45 \text{ ó } 46 \text{ centavos}$. Por lo tanto, en el mes consumirá aproximadamente 13 ó 14 dólares.

Actividad: Nota: para cada caso, la tarifa y potencia de cada equipo es el dado en el ejemplo 20. Calcular el consumo (dólares) por día de 10 personas si consumen:

a. calentador 2 h; 5 focos 4 horas c/u; TV 4 horas; microonda 30 min; olla 20 min; plancha 15 min _____

b. 7 focos 4 horas c/u; TV 6 horas; microonda 10 min; olla 30 min; plancha 24 min _____

c. calentador 90 min; 7 focos 5 horas c/u; TV 5 horas; microonda 24 min; olla 12 min; plancha 15 min _____

d. calentador 90 min; 6 focos 4 horas c/u; TV 6 horas; microonda 12 min; olla 24 min; ~~plancha~~ plancha 30 min _____

e. calentador 120 min; 5 focos 4 horas c/u; TV 7 horas; microonda 15 min; olla 24 min; plancha 39 min _____

f. calentador 15 min; 4 focos 4 horas c/u; TV 5 horas; microonda 15 min; olla 12 min; plancha 24 min _____

g. calentador 0 min; 4 focos 4 horas c/u; TV 3 horas; microonda 0 min; olla 12 min; plancha 24 min _____

h. calentador 0 min; 3 focos 4 horas c/u; TV 2 horas; microonda 0 min; olla 12 min; plancha 39 min _____

i. calentador 2 h; 12 focos 6 horas c/u; TV 7 horas; microonda 48 min; olla 45 min; plancha 60 min _____

j. calentador 5 h; 14 focos 6 horas c/u; TV 10 horas; microonda 60 min; olla 45 min; plancha 60 min _____

Actividad: Cinco propietarios de fábricas poseen la tarifa llamada *gran demanda de baja tensión*, cuyo costo por Kw-h es 0.1058. Cada fábrica posee 4 máquinas: A, B, C y D. Calcular el costo diario si las máquinas trabajan 8 horas al día, y la potencia de cada máquina en cada fábrica es:

a. A: 12 Kw, B: 18 Kw, C: 20 Kw y D: 8 Kw _____

b. A: 15 Kw, B: 20 Kw, C: 12 Kw y D: 10 Kw _____

c. A: 18 Kw, B: 22 Kw, C: 17 Kw y D: 15 Kw _____

d. A: 20 Kw, B: 25 Kw, C: 22 Kw y D: 24 Kw _____

e. A: 25 Kw, B: 35 Kw, C: 30 Kw y D: 40 Kw _____

Discusión: El propietario de un edificio (tarifa residencial), con el fin de economizar energía eléctrica, cambia todos focos de 60 w por focos ahorradores de energía de sólo 12 w. Si en promedio los focos pasan 5 horas encendidos, calcular el ahorro diario (\$) en los casos siguientes:

a. cambió 45 focos _____ b. cambió 47 focos _____ c. cambió 50 focos _____

d. cambió 55 focos _____ e. cambió 60 focos _____ f. cambió 65 focos _____

g. cambió 68 focos _____ h. cambió 70 focos _____ i. cambió 75 focos _____