

MAGNETISMO

¿Qué son los imanes?

Los imanes pueden ser naturales o artificiales, o bien, permanentes o temporales. Un imán natural es un mineral con propiedades magnéticas. Un imán artificial es un cuerpo de material ferromagnético al que se ha inducido propiedades magnéticas.

Las propiedades magnéticas son más acusadas en los extremos del imán, que se denominan **polos magnéticos, polo Norte (N) y polo Sur (S)**. Del mismo modo que cargas eléctricas del mismo signo se repelen y de distinto se atraen, **imanes que se acercan por polos iguales se repelen y si se acercan por polos opuestos se atraen**. Es imposible aislar un único polo magnético, de modo que, si un imán se parte en dos, en cada trozo vuelve a haber un polo Norte y uno Sur.

Podemos clasificarlos como sigue:

Imanes naturales: la magnetita es un potente imán natural, tiene la propiedad de atraer todas las sustancias magnéticas. Su característica de atraer trozos de hierro es natural. Es un mineral de hierro constituido por óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4) que debe su nombre de la ciudad griega de Magnesia. Se presenta de forma masiva granular o granos sueltos. También en forma de cristales octaédricos.

Imanes artificiales permanentes: las sustancias magnéticas que al frotarlas con la magnetita, se convierten en imanes, y conservan durante mucho tiempo su propiedad de atracción.

Imanes artificiales temporales: aquellos que producen un campo magnético sólo cuando circula por ellos una corriente eléctrica. Un ejemplo es el electroimán.

Un poco de historia del **Magnetismo**

Se dice que por primera vez se observaron en la ciudad de Magnesia en Asia Menor, de ahí el término magnetismo. Sabían que ciertas piedras atraían el hierro y que los trocitos de hierro atraídos, atraían a su vez a otros. Estas se denominaron imanes naturales. Fue Oersted quien evidenció en 1820 por primera vez que una corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor. En el interior de la materia existen pequeñas corrientes relacionadas al movimiento de los electrones que contienen los átomos; cada una de ellas origina un microscópico imán. Cuando estos pequeños imanes están orientados en todas direcciones sus efectos se anulan mutuamente y el material no presenta propiedades magnéticas; y en cambio, si todos los imanes se alinean, actúan como un único imán y se dice que la sustancia se ha magnetizado.

Materiales magnéticos

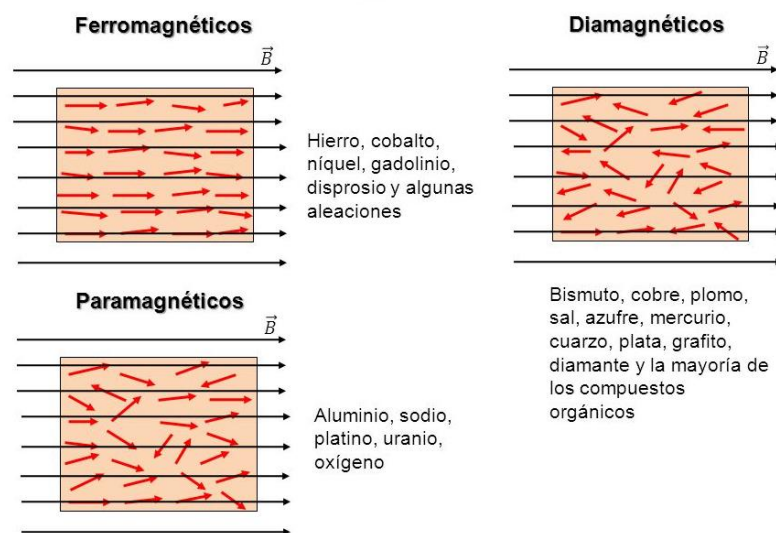
El comportamiento de los materiales en presencia de un campo magnético sólo puede explicarse a partir de la mecánica cuántica, ya que se basa en una propiedad del electrón conocida como espín. Depende de la estructura del material y, particularmente, de la configuración electrónica. Cada electrón es, por su naturaleza, un pequeño imán. Ordinariamente, innumerables electrones de un material están orientados aleatoriamente en diferentes direcciones, pero en un imán casi todos los electrones tienden a orientarse en la misma dirección, creando una fuerza magnética grande o pequeña dependiendo del número de electrones que estén orientados. Además del campo magnético intrínseco del electrón, algunas veces hay que contar también con el campo magnético debido al movimiento orbital del electrón alrededor del núcleo. Este efecto es análogo al campo generado por una corriente eléctrica que circula por una bobina.

Se clasifican principalmente en los siguientes grupos:

- **Ferromagnéticos:** Alineación masiva de los dipolos magnéticos electrónicos con el campo externo. El efecto permanece una vez eliminado el campo externo aplicado (imanes permanentes). Constituyen los imanes por excelencia, son materiales que pueden ser magnetizados permanentemente por la aplicación de campo magnético externo. Por encima de una cierta temperatura (temperatura de Curie) se convierte en

paramagnéticos. Como ejemplos más importantes podemos citar el hierro, el níquel, el cobalto y aleaciones de éstos.

- **Paramagnéticos:** Alineación parcial de los dipolos magnéticos con el campo magnético externo. Cada átomo que los constituye actúa como un pequeño imán, pero se encuentran orientados al azar de modo que el efecto magnético se cancela. Cuando se someten a la aplicación de un campo magnético adquieren una imanación paralela a él que desaparece al ser retirado el campo externo. Dentro de esta categoría se encuentran el aluminio, el magnesio, el titanio, el wolframio o el aire.
- **Diamagnéticos:** Momentos magnéticos orbitales inducidos se alinean en sentido opuesto al campo externo aplicado. En estos materiales la disposición de los electrones de cada átomo es tal que se produce una anulación global de los efectos magnéticos. Bajo la acción de un campo magnético externo la sustancia adquiere una imanación débil y en el sentido opuesto al campo aplicado. Son diamagnéticos por ejemplo el bismuto, la plata, el plomo o el agua.



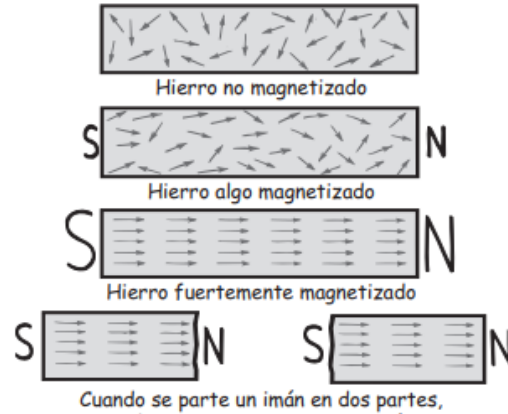
Dominios magnéticos

El campo magnético de un átomo individual de hierro es tan intenso que las interacciones entre átomos adyacentes hacen que grandes grupos de ellos se alineen entre sí. A esos grupos de átomos alineados se les llama dominios magnéticos. Cada dominio está formado por miles de millones de átomos alineados. Los dominios son microscópicos, y en un cristal de hierro hay muchos. Como el alineamiento de los átomos de hierro dentro de los dominios, los dominios mismos se pueden alinear entre sí.

Sin embargo, no cualquier trozo de hierro es un imán. Eso se debe a que en el hierro ordinario los dominios no están alineados. Imagina un clavo de hierro: los dominios en él están orientados al azar. Sin embargo, muchos de ellos se inducen a alinearse cuando se acerca un imán. (Es interesante escuchar, con un estetoscopio amplificado, el cliqueo de los dominios que se están alineando en un trozo de hierro, cuando se le acerca un imán fuerte) Cuando retiras el clavo del imán, el movimiento térmico ordinario hace que la mayor parte o todos los dominios del clavo regresen a un ordenamiento aleatorio. Sin embargo, si el campo del imán permanente es muy intenso, el clavo puede conservar algo de magnetismo permanente propio, después de separarlo del imán. Los imanes permanentes se fabrican simplemente colocando piezas de hierro o de ciertas aleaciones de hierro en campos magnéticos intensos. Las aleaciones del hierro se comportan en formas distintas: el hierro suave es más fácil de magnetizar que el acero, lo cual ayuda a que en el hierro común todos los dominios entren en alineamiento. Otra forma de fabricar un imán permanente consiste en frotar un trozo de hierro con un imán. El frotamiento alinea los dominios en el hierro. Si se deja caer un imán permanente, o si se calienta, algunos de los dominios se impulsan hacia afuera del alineamiento y se debilita el imán.



Vista microscópica de los dominios magnéticos en un cristal de hierro. Cada dominio consiste en miles de millones de átomos de hierro alineados. Las flechas apuntan en direcciones distintas, lo cual indica que esos dominios no están alineados entre sí.



Trozos de hierro en etapas de magnetización sucesivas. Las flechas representan los dominios. La punta es un polo norte, y la cola es un polo sur. Los polos de los dominios vecinos neutralizan sus efectos entre sí, excepto en los dos extremos de una pieza de hierro.

Características de las fuerzas magnéticas

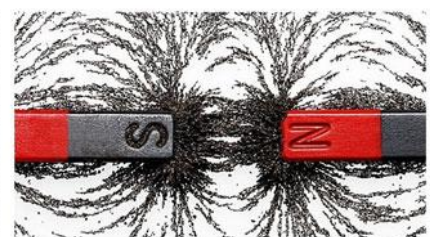
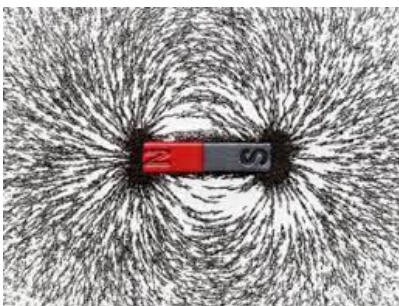
Un imán sólo ejerce fuerzas magnéticas sobre cierto tipo de materiales, en particular sobre el hierro. Las fuerzas magnéticas son fuerzas de acción a distancia, es decir, se producen sin que exista contacto físico entre los dos imanes o entre el imán y el objeto magnético. Esta circunstancia, que incentivó la imaginación de los filósofos antiguos por su difícil explicación, contribuyó más adelante al desarrollo del concepto de campo de fuerzas.

Experiencias con imanes y dinamómetros permiten sostener que la intensidad de la fuerza magnética de interacción entre imanes disminuye con el cuadrado de la distancia.

Espectros magnéticos

Cuando se espolvorea en una cartulina o en una lámina de vidrio, situadas sobre un imán, limaduras de hierro, éstas se orientan de un modo regular a lo largo de líneas que unen entre sí los dos polos del imán. Lo que sucede es que cada limadura se comporta como una pequeña brújula que se orienta en cada punto como consecuencia de las fuerzas magnéticas que soporta. La imagen que forma este conjunto de limaduras alineadas constituye el espectro magnético del imán.

El *espectro magnético* de un imán permite no sólo distinguir con claridad los polos magnéticos, sino que además proporciona una representación de la influencia magnética del imán en el espacio que le rodea. Así una pareja de imanes enfrentados por sus polos de igual tipo dará lugar a un espectro magnético diferente al que se obtiene cuando se colocan de modo que sean los polos opuestos los más próximos. Esta imagen física de la influencia de los imanes sobre el espacio que les rodea hace posible una aproximación relativamente directa a la idea de campo magnético.



El campo magnético

El hecho de que las fuerzas magnéticas sean fuerzas de acción a distancia permite recurrir a la idea física de campo para describir la influencia de un imán o de un conjunto de imanes sobre el espacio que les rodea. Al igual que en el

caso del campo eléctrico, se recurre a la noción de *líneas de fuerza* para representar la estructura del campo. En cada punto las líneas de fuerza del campo magnético indican la dirección en la que se orientará una pequeña brújula (considerada como un elemento de prueba) situada en tal punto. Así las limaduras de hierro espolvoreadas sobre un imán se orientan a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético correspondiente y el espectro magnético resultante proporciona una representación espacial del campo. Por convenio se admite que las líneas de fuerza salen del polo Norte y se dirigen al polo Sur.

Inducción magnética

En el año 1820, Oersed observó que la aguja de una brújula colocada debajo o arriba de un conductor rectilíneo giraba hasta colocarse perpendicular al mismo cuando circulaba una corriente eléctrica. La experiencia probó que las corrientes eléctricas producían efectos magnéticos o sea originaban un campo magnético en el espacio que rodea al conductor con la siguiente notable diferencia: las limaduras se orientaban formando círculos en cuyo centro se encontraba el conductor, las líneas de fuerza magnética son cerradas, no proceden de una fuente y no terminan en un sumidero. Podemos decir que la corriente eléctrica se comporta como un remolino con las líneas de fuerza. Los campos magnéticos ejercen fuerzas sobre las cargas en movimiento.

La intensidad del campo magnético

Como sucede en otros campos de fuerza, el campo magnético queda definido matemáticamente si se conoce el valor que toma en cada punto una magnitud vectorial que recibe el nombre de *intensidad de campo*. La intensidad del campo magnético, a veces denominada *inducción magnética*, se representa por la letra B y es un vector tal que en cada punto coincide en dirección y sentido con los de la línea de fuerza magnética correspondiente.

La unidad del campo magnético en el S.I. es el tesla (T) y representa la intensidad que ha de tener un campo magnético para que una carga de 1 C, moviéndose en su interior a una velocidad de 1 m/s perpendicularmente a la dirección del campo, experimentase una fuerza magnética de 1 newton.

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N}/1 \text{ C} \cdot 1 \text{ m/s}$$

Aunque no pertenece al S.I., con cierta frecuencia se emplea el gauss (G): $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$

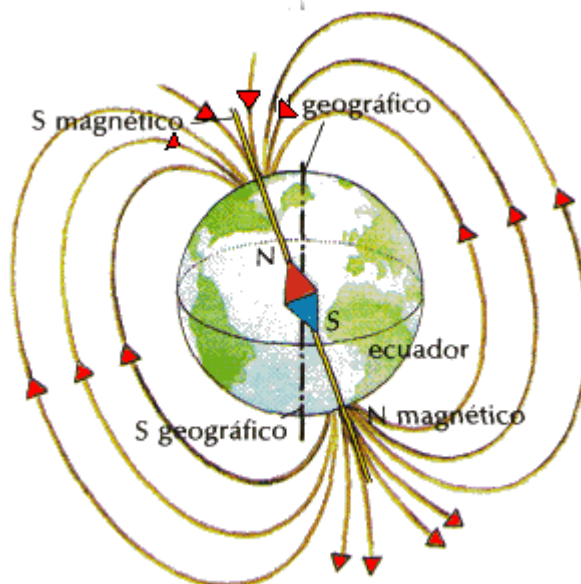
La Tierra es un imán

El hecho de que una brújula se orienta siempre con su polo Norte magnético apuntando hacia el Norte geográfico de la Tierra fue observado por primera vez por el médico y científico inglés Gilbert en el año 1600 por lo que se concluye que **la Tierra funciona como un gigantesco imán permanente**. La razón por la que la Tierra (y otros planetas) producen un campo magnético es todavía objeto de controversia, aunque es admitido que está relacionado con la existencia de iones y material ferromagnético en el núcleo y con la velocidad de rotación.

Como los polos opuestos se atraen, significa que el Polo Norte geográfico de la Tierra es en realidad el Polo Sur magnético y viceversa (en realidad no coinciden exactamente, están separados unos 1800 km). Las líneas de campo magnético terrestre salen entonces del Polo Sur geográfico y entran por el Polo Norte, y la intensidad del campo es en promedio de 0.5 G (0.3 G en el ecuador y 0.7 G en los polos).

Mediante el estudio de rocas de ferromagnéticos, se conoce que la orientación del campo magnético terrestre se ha invertido a lo largo de los años: en los últimos cinco millones de años se han producido más de veinte inversiones, la más reciente hace 700.000 años. Actualmente la fuerza del campo magnético terrestre ha disminuido un 10% en los últimos 160 años según algunos científicos de la Unión Geofísica Americana (AGU), por lo que se piensa que se puede producir una nueva inversión en unos 2000 años.

La existencia del campo magnético terrestre nos protege de las radiaciones del espacio, ya que las partículas cargadas quedan atrapadas en las líneas campo magnético. Además, este hecho provoca las **auroras boreales y australes**, ya que debido a colisiones de estas partículas con los iones de gases que hay en la atmósfera, se producen emisiones de energía en el espectro visible generando imágenes de colores. Aquí tienes algunas fotos de este fenómeno tan espectacular.



Experiencia de Oersted

En 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851) observó que la aguja magnética se desvía siempre que pase una corriente por un cable cercano. Oersted llegó a la conclusión de que una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético. De esta forma, **se demostró por primera vez que la Electricidad y el Magnetismo están relacionados.**

Campo magnético creado por un conductor

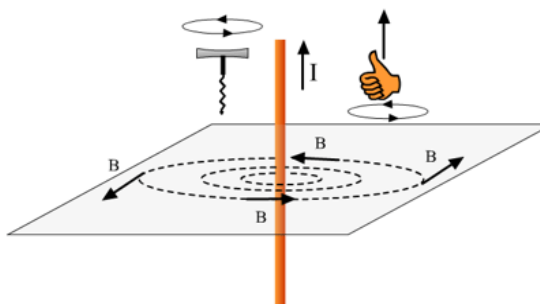
El valor del campo magnético creado por un hilo por el que circula una corriente de intensidad I en un punto situado a una distancia r viene dado, por (fórmula de Biot-Savart):

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

- Las líneas de campo son **circunferencias** concéntricas al hilo, situadas en un plano perpendicular al mismo.
- El **sentido de las líneas de campo** es el de giro de un sacacorchos que avanza en el sentido de la corriente.
- El **vector campo magnético** es tangente a las líneas de campo y de su mismo sentido.
- La **intensidad del campo magnético** es directamente proporcional a la intensidad que circula e inversamente proporcional a la distancia al conductor.

μ es la **permeabilidad magnética** del medio. Recoge la mayor o menor facilidad del medio para transmitir el campo magnético. Para el vacío o el aire el valor es el mismo:

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$



A
Ve