TEMA 9

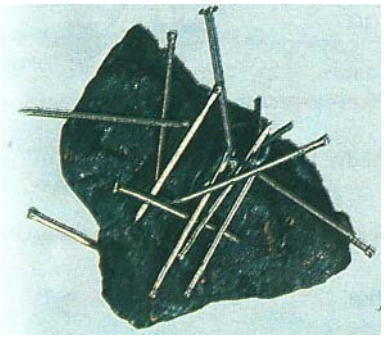
CAMPO MAGNÉTICO

MAGNETISMO Y ELECTRICIDAD

Las fuerzas características de los imanes se denominan fuerzas magnéticas. El desarrollo de la física amplió el tipo de objetos que sufren y ejercen fuerzas magnéticas. Las corrientes eléctricas y, en general, las cargas en movimiento se comportan como imanes, es decir, producen campos magnéticos. Siendo las cargas móviles las últimas en llegar al panorama del magnetismo han permitido, sin embargo, explicar el comportamiento de los imanes, esos primeros objetos magnéticos conocidos desde la antigüedad.

Antecedentes históricos

El término magnetismo tiene su origen en el nombre que en la época de los filósofos griegos recibía una región del Asia Menor, entonces denominada Magnesia; en ella abundaba una piedra negra o piedra imán capaz de atraer objetos de hierro y de comunicarles por contacto un poder similar.



A pesar de que ya en el siglo VI a. De C. se conocía un cierto número de fenómenos magnéticos, el magnetismo como disciplina no comienza a desarrollarse hasta más de veinte siglos. Gilbert (1544-1603), Ampére (1775-1836), Oersted (1777-1851), Faraday (1791-1867) investigaron sobre las características de los fenómenos magnéticos.

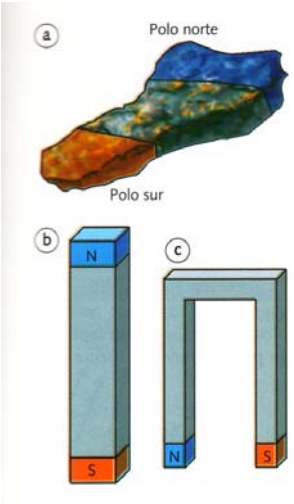
Los fenómenos magnéticos habían permanecido durante mucho tiempo en la historia de la ciencia como independientes de los eléctricos. Pero el avance de la electricidad por un lado y del magnetismo por otro, preparó la unión de ambas partes de la física en una sola, el electromagnetismo, que reúne las relaciones mutuas existentes entre los campos magnéticos y las corrientes eléctricas. James Clark fue el científico que cerró ese sistema de relaciones al elaborar su teoría electromagnética.

IMANES

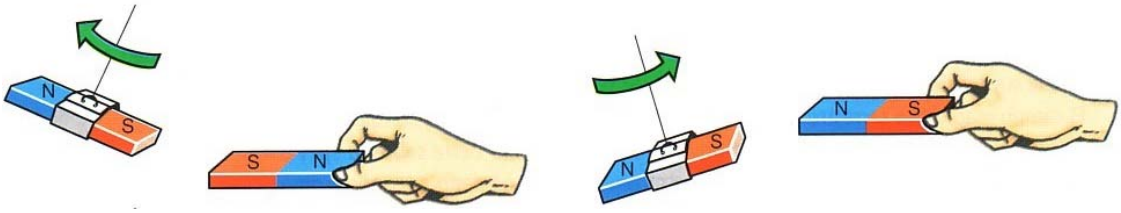
Polos magnéticos

El estudio del comportamiento de los imanes pone de manifiesto la existencia en cualquier imán de dos zonas extremas o *polos* en donde la acción magnética es más intensa.

Para distinguir los dos polos de un imán se les denomina polo norte y polo sur, esto sucede en todos los imanes, independientemente de la forma que tenga.



Los *polos magnéticos* de un imán no son equivalentes, como lo prueba el hecho de que enfrentando dos imanes idénticos se observen atracciones o repulsiones mutuas según se aproxime el primero al segundo por uno o por otro polo.

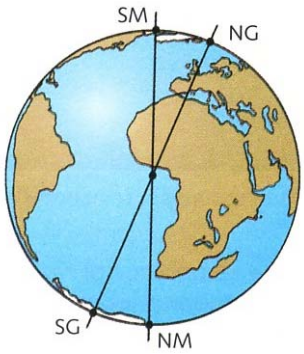


Las experiencias con imanes ponen de manifiesto que polos del mismo tipo (N-N y S-S) se repelen y polos de distinto tipo (N-S y S-N) se atraen. Esta característica del magnetismo de los imanes fue explicada por los antiguos como la consecuencia de una propiedad más general de la naturaleza consistente en lo que ellos llamaron la «atracción de los opuestos».

Polos magnéticos y polos geográficos

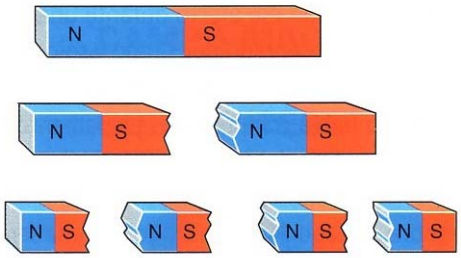
Esta referencia geográfica está relacionada con el hecho de que la Tierra se comporte como un gran imán.

Las experiencias con brújulas indican que los polos del imán terrestre se encuentran próximos a los polos Sur y Norte geográficos respectivamente. Por tal motivo, el polo de la brújula que se orienta hacia el Norte terrestre se denomina polo Norte y el opuesto constituye el polo Sur. Tal distinción entre polos magnéticos se puede extender a cualquier tipo de imanes.



Imposibilidad de aislar los polos de un imán

Otra propiedad característica del comportamiento de los imanes consiste en la imposibilidad de aislar sus polos magnéticos. Así, si se corta un imán recto en dos mitades se reproducen otros dos imanes con sus respectivos polos norte y sur. Y lo mismo sucederá si se repite el procedimiento nuevamente con cada uno de ellos. No es posible, entonces, obtener un imán con un solo polo magnético semejante a un cuerpo cargado con electricidad de un solo signo. Dicha experiencia fue efectuada por primera vez por Petrus Peregrinus, sabio francés que vivió sobre 1270 y a quien se debe el perfeccionamiento de la brújula, así como una importante aportación al estudio de los imanes.



Fuerzas magnéticas

A diferencia de lo que sucede con una barra de ámbar electrizada por frotamiento la cual atrae hacia sí todo tipo de objetos con la condición de que sean ligeros, un imán ordinario sólo ejerce fuerzas magnéticas sobre cierto tipo de materiales, en particular sobre el hierro. Este fue uno de los obstáculos que impidieron una aproximación más temprana entre el estudio de la electricidad y el del magnetismo.

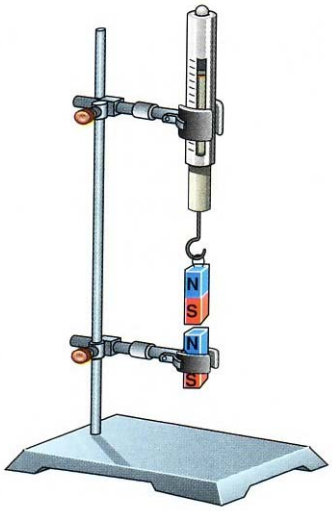
Las fuerzas magnéticas son fuerzas de acción a distancia, es decir, se producen sin que exista contacto físico entre los dos imanes. Esta circunstancia, que excitó la

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.

Representando por F_m la fuerza magnética, por r la distancia y por ~ el símbolo de la proporcionalidad directa, tal propiedad se expresa en la forma:

$$F_m \sim \frac{1}{r^2}$$



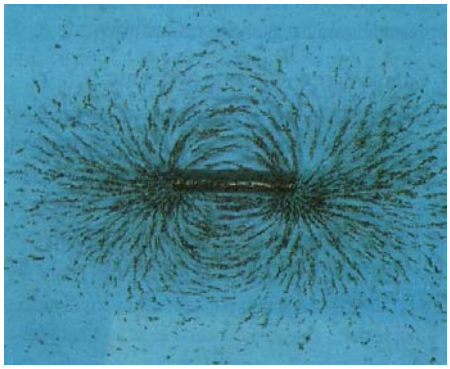
En la figura se muestra cómo se coloca en la parte superior un dinamómetro, aparato destinado a medir fuerzas que lleva un muelle alojado en su interior que se alarga de forma proporcional a la la fuerza ejercida en el gancho adosado en la parte inferior, marcando el valor correspondiente al estiramiento en una escala adosada.

Situando fijo el dinamómetro con un imán en su extremo y posicionando el brazo inferior, que sostiene otro imán, a distintas alturas se puede medir la variación de la fuerza de atracción de ambos imanes en función de la distancia entre ellos.

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.

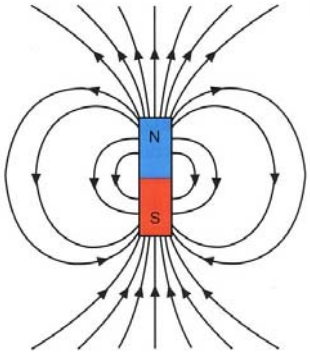
Esta imagen física de la influencia de los imanes sobre el espacio que les rodea hace posible una aproximación relativamente directa a la idea de campo magnético.

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.

Líneas de fuerza del campo magnético

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 orientaría una pequeña brújula 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.



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. Las brújulas, al alinearse a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético, indican la dirección y el sentido de la intensidad del campo **B**.

La intensidad del campo magnético, a veces denominada inducción magnética, o campo 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 SI 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.

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

Aunque no pertenece al SI, con cierta frecuencia se emplea el gauss (G):

$$1\ T = 10^{4}\ G$$

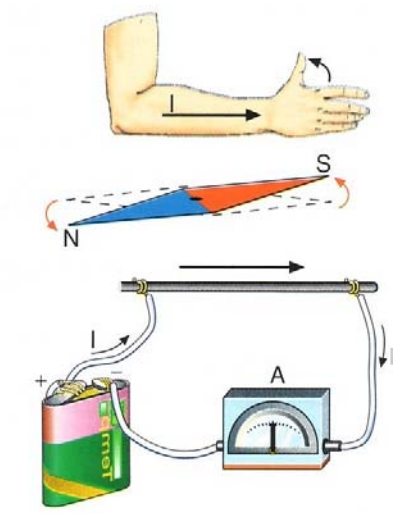
CAMPOS MAGNETICOS DEBIDOS A LA CIRCULACIÓN DE CORRIENTE

Aun cuando los filósofos griegos presintieron que las fuerzas eléctricas y las magnéticas tenían un origen común, la experimentación desarrollada desde Gilbert (1544-1603) en torno a este tipo de fenómenos no reveló ningún resultado que indicara que un cuerpo cargado en reposo es atraído o repelido por un imán.

Experiencia de Oersted

A pesar de su similitud, los fenómenos eléctricos parecían independientes de los fenómenos magnéticos. Esta era la opinión de los colegas de Christian Oersted (1777-1851) y probablemente la suya propia hasta que un día de 1819, al finalizar una clase práctica en la Universidad de Copenhague, fue protagonista de un descubrimiento que lo haría famoso.

Al acercar una aguja imantada a un hilo de platino por el que circulaba corriente advirtió, perplejo, que la aguja efectuaba una gran oscilación hasta situarse perpendicular al hilo. Al invertir el sentido de la corriente, la aguja invirtió también su orientación.



La aguja de la brújula se desvía al pasar corriente por un conductor disponiéndose tal como lo haría el dedo pulgar si situásemos el brazo paralelo al conductor con la corriente entrando por el codo.

Este experimento, considerado por algunos como fortuito y por otros como intencionado, constituyó la primera demostración de la relación existente entre la electricidad y el magnetismo: Aunque las cargas eléctricas en reposo carecen de efectos magnéticos, las corrientes eléctricas, es decir, las cargas en movimiento, crean campos magnéticos y se comportan, por lo tanto, como imanes.

1.- Campo magnético debido a una corriente rectilínea

La repetición de la experiencia de Oersted con la ayuda de limaduras de hierro dispuestas sobre una cartulina perpendicular al hilo conductor rectilíneo, pone de manifiesto una estructura de líneas de fuerza del campo magnético resultante, formando circunferencias concéntricas que rodean al hilo.

Módulo del campo debido a un conductor rectilíneo

Experiencias más detalladas indican que la intensidad del campo **B** depende de:

- El medio en que se encuentra el conductor, μ representa una constante característica del medio que recibe el nombre de permeabilidad magnética. En el vacío su valor es $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ T · m/A.

- La intensidad que circula por el conductor, siendo tanto mayor cuando mayor es la intensidad de corriente *I* .

- La distancia al conductor, cuanto menor es la distancia *r* al hilo mayor es la intensidad de campo.

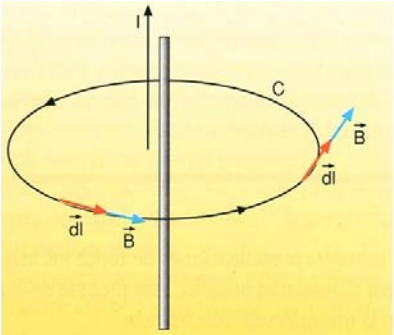
Todo lo cual queda englobado en la ecuación:

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

No olvides que la intensidad de campo magnético, al igual que vimos en el tema anterior al estudiar el campo eléctrico, es una magnitud vectorial; por lo cual, para quedar completamente definida hemos de determinar su módulo, obtenido a través de la aplicación de la ecuación que acabamos de detallar, su dirección y su sentido.

Dirección del campo magnético debido a un conductor rectilíneo

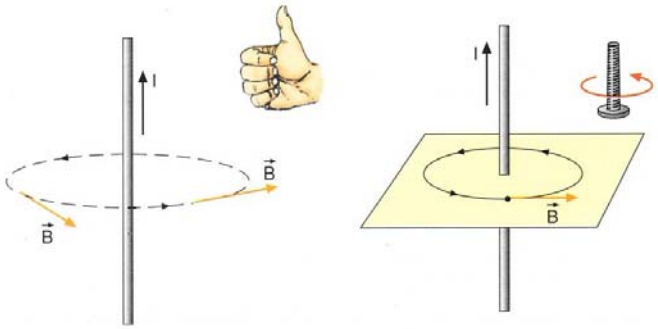
La dirección del vector B es siempre tangente a la línea de campo según de detalla a continuación:



Sentido del campo debido a un conductor rectilíneo

El sentido de las líneas de campo magnético o inducción B generada al circular corriente a través de un conductor rectilíneo puede determinarse aplicando la regla de la mano derecha que aparece representada en la figura que se detalla a continuación.

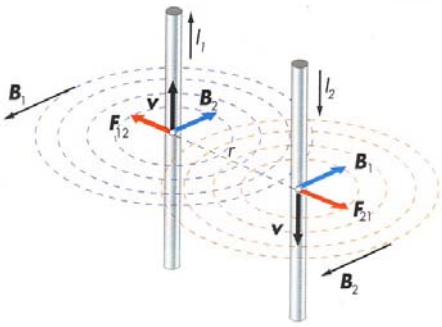
Otro método sería el conocido como regla del tornillo o del sacacorchos que consiste en pensar hacia dónde se desplazaría éste al hacerlo girar de modo que avanzase en el sentido de la corriente.



En la figura anterior se muestra cómo hemos de colocar la mano derecha con el pulgar extendido y dirigido hacia en sentido en que circula la corriente, marcando así los restantes dedos el sentido de las líneas de campo magnético.

Intensidad de campo entre dos conductores rectilíneos paralelos

Si en lugar de tener un conductor, disponemos dos conductores rectilíneos paralelos con corrientes que circulan en el mismo sentido los campos generados son dos vectores que van en la misma dirección y sentidos opuestos, por lo cual, para componerlos habrá que restarlos; mientras que si las corrientes circulan es sentidos opuestos habrá que sumarlos.



2.- Campo magnético debido a una espira circular

Módulo del campo debido a una espira

La experimentación sobre los factores que influyen en el valor de la intensidad de campo *B* en el interior de la espira muestra que éste depende de:

- Las propiedades del medio que rodea la espira (reflejadas en su permeabilidad magnética μ)
- La intensidad de corriente *I* que circula por la espira
- Valor del radio *R* de la espira

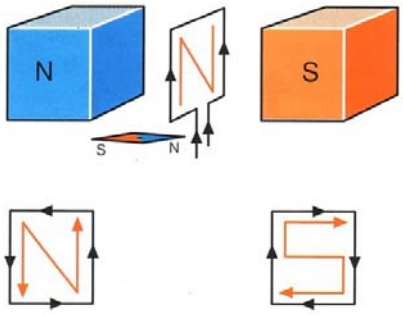
Todo ello se recoge en la siguiente ecuación:

$$B = \frac{\mu I}{2R}$$

Dirección y sentido del campo magnético

El estudio del espectro magnético debido a una corriente circular, completado con la información que sobre el sentido del campo creado ofrecen pequeñas brújulas, indica que las líneas de fuerza del campo se cierran en torno a cada porción de la espira como si ésta consistiera en la reunión de pequeños tramos rectilíneos. En conjunto, el espectro magnético resultante se parece mucho al de un imán recto con sus polos norte y sur.

La cara norte de una corriente circular, considerada como un imán, es aquella de donde salen las líneas de fuerza y la cara sur aquella otra a donde llegan dichas líneas.

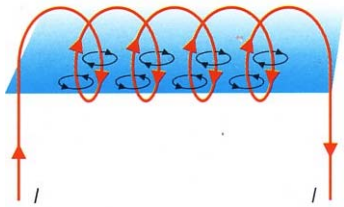


Una cara es norte cuando un observador situado frente a ella ve circular la corriente (convencional) de derecha a izquierda y es sur en el caso contrario.

3.- Campo magnético debido a un solenoide

Un solenoide o bobina es, en esencia, un conjunto de espiras iguales y paralelas dispuestas a lo largo de una determinada longitud que son recorridas por la misma intensidad de corriente.

Su forma es semejante a la del alambre espiral de un bloc.



Módulo del campo debido a una bobina

El estudio experimental de la intensidad del campo magnético **B** debido a un solenoide en un punto cualquiera de su interior pone de manifiesto que una mayor proximidad entre las espiras produce un campo magnético más intenso, lo cual se refleja en la expresión de *B* a través del cociente N/L, siendo N el número de espiras y L la longitud del solenoide. Dicha expresión viene dada por la ecuación:

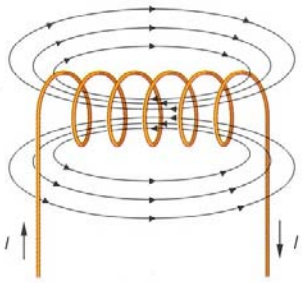
$$B = \mu I \frac{N}{L}$$

El cociente N / L representa el número de espiras por unidad de longitud, siendo su valor tanto mayor cuanto más apretadas están las espiras en el solenoide.

Dirección y sentido del campo magnético

El espectro magnético del campo creado por un solenoide se parece más aún al de un imán recto que el debido a una sola espira.

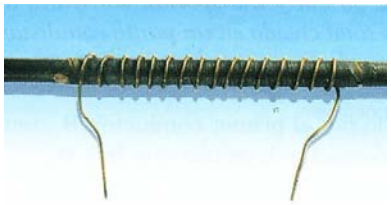
La regla que permite relacionar la polaridad magnética del solenoide como imán con el sentido convencional de la corriente que circula por él es la misma que la aplicada en el caso de una sola espira.



Electroimán

El hecho de que *B* dependa del valor de μ, y por tanto de las características del medio, sugiere la posibilidad de introducir en el interior del solenoide una barra de material de elevado y conseguir así un campo magnético más intenso con la misma intensidad de corriente *I*.

Este es precisamente el fundamento del electroimán, en el cual una barra de hierro introducida en el hueco del solenoide aumenta la intensidad del campo magnético varios miles de veces con respecto al valor que tendría en ausencia de tal material.



Los timbres, los teléfonos, las dinamos y muchos otros dispositivos eléctricos y electromecánicos utilizan electroimanes como componentes. Sus características de imanes temporales, que actúan sólo en presencia de corriente, amplía el número de sus posibles aplicaciones.

MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS EN UN CAMPO MAGNÉTICO

Los campos eléctricos y magnéticos desvían las trayectorias de las cargas en movimiento, pero lo hacen de modos diferentes:

Acción del campo eléctrico sobre una carga

Una partícula cargada que se mueve en un campo eléctrico (como el producido entre las dos placas de un condensador plano dispuesto horizontalmente) sufre una fuerza eléctrica F_e en la misma dirección del campo E que curva su trayectoria. Si la partícula alcanza el espacio comprendido entre las dos placas según una dirección paralela, se desviará hacia la placa + si su carga es negativa y hacia la - en caso contrario, pero siempre en un plano vertical, es decir, perpendicular a ambas placas. Dicho plano es el definido por los vectores v y E.

Acción del campo magnético sobre una carga

Si las dos placas del condensador se sustituyen por los dos polos de un imán de herradura, la partícula sufre una fuerza magnética F_m que según la regla de la mano izquierda es perpendicular a los vectores v y B. En este caso la trayectoria de la partícula cargada se desvía en el plano horizontal.

1.- Fuerza sobre una carga

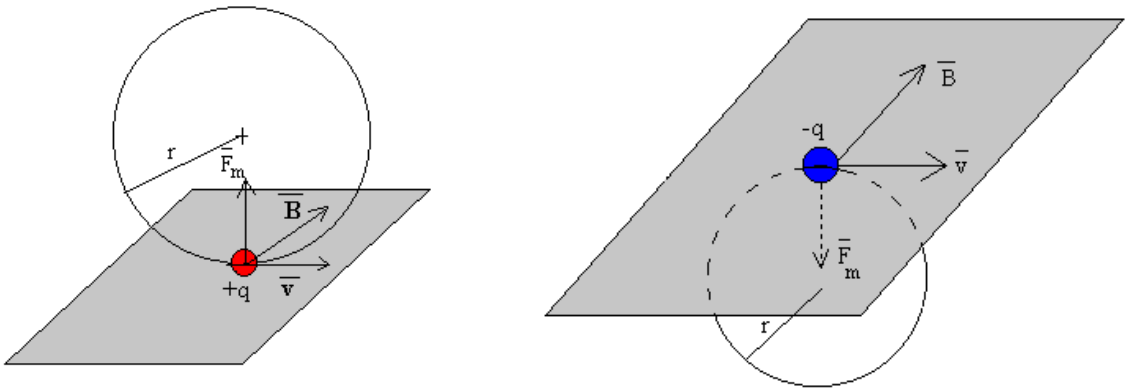
De la observación experimental de lo que le sucede a una carga q en movimiento en presencia de un campo magnético se desprende lo siguiente: si la carga estuviera en reposo no se apreciaría ninguna fuerza; sin embargo, si la carga q se mueve dentro del campo creado por un imán se observa cómo su trayectoria se curva, lo cual indica que una fuerza magnética F_m se está ejerciendo sobre ella.

Fuerza de Lorentz

Del estudio experimental de este fenómeno se deduce que:

- F_m es tanto mayor cuanto mayor es la magnitud de la carga q y su sentido depende del signo de la carga.
- F_m es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad *v* de la carga q.

- F_m se hace máxima cuando la carga se mueve en una dirección perpendicular a las líneas de fuerza y resulta nula cuando se mueve paralelamente a ella.
- La dirección de la fuerza magnética en un punto resulta perpendicular al plano definido por las líneas de fuerza a nivel de ese punto y por la dirección del movimiento de la carga *q*, o lo que es lo mismo, F_m es perpendicular al plano formado por los vectores B y v.



Como verás el sentido en que describe la trayectoria circular la partícula depende del signo de la carga, girando en sentido horario si es negativa y en sentido opuesto si es positiva.

Las conclusiones experimentales anteriormente reseñadas quedan resumidas en la siguiente expresión conocida como **Fuerza de Lorentz** o fuerza debida al campo magnético que actúa sobre una carga:

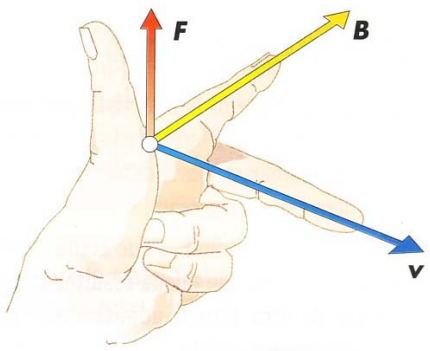
$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen} \cdot \vartheta$$

Donde B representa el módulo o magnitud de la intensidad del campo y ϑ el ángulo que forman los vectores v y B.

Dirección y sentido de la fuerza de Lorentz

Dado que F_m, v y B pueden ser considerados como vectores, es necesario además reunir en una regla lo relativo a la relación entre sus direcciones y sentidos: el vector F_m es perpendicular al plano formado por los vectores v y B y su sentido coincide con el de avance de un tornillo que se hiciera girar en el sentido que va de v a B (por el camino más corto).

Dicha regla, llamada del tornillo de Maxwell, es equivalente a la de la mano izquierda, según la cual las direcciones y sentidos de los vectores Fm, v y B vienen dados por los dedos pulgar, índice y corazón de la mano izquierda dispuestos en la forma que se muestra en la figura adjunta.



Movimiento de una carga en un campo magnético

Como ya hemos dicho anteriormente la actuación de la fuerza de Lorentz supone una desviación de la carga según una trayectoria circular.

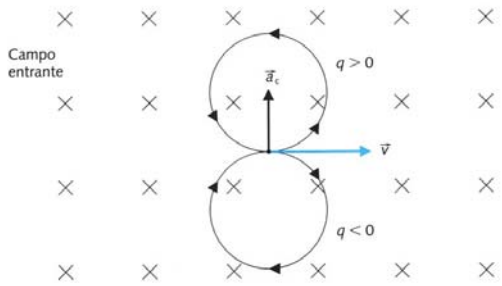
Como ya sabrás siempre que un cuerpo gira actúa sobre él la fuerza centrífuga, es decir:

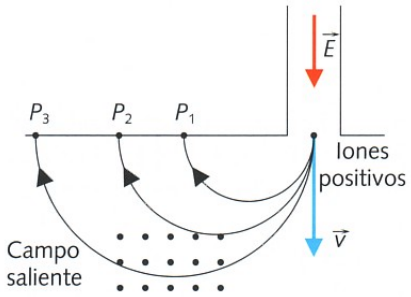
$$F_m = F_C$$

Pudiendo así calcular el radio de la trayectoria que describe la carga al adentrarse en el seno del campo magnético.

$$q \cdot v \cdot B \text{ sen } \delta = m \cdot v^2 / r$$

Como puedes ver en las dos figuras que se detallan a continuación hemos dibujado las líneas de campo magnético perpendiculares a la hoja a través de cruces si el campo es entrante y de puntos si es saliente; esto nos permite dibujar sobre el papel la trayectoria circular que describiría una partícula al adentrarse en el campo .





Asimismo, si deseásemos conocer el periodo (T), o tiempo que tardaría la carga en completar una revolución bastaría con pensar que el movimiento circular que describe es un movimiento uniforme, por lo tanto, como la trayectoria es circular y la longitud de una circunferencia es 2.π. r quedaría:

$$v = e / t = 2.\pi. r / T$$

2.- Fuerza sobre un conductor rectilíneo

Una carga en movimiento en presencia de un imán experimenta una fuerza magnética F_m que desvía su trayectoria. Dado que la corriente eléctrica supone un movimiento continuado de cargas, un conductor por donde circula corriente sufrirá, por la acción de un campo magnético, el efecto conjunto de las fuerzas magnéticas que se ejercen sobre las diferentes cargas móviles de su interior.

Fuerza del campo magnético sobre un conductor rectilíneo

Si la corriente es rectilínea y de longitud l, la expresión de la fuerza magnética, conocida como **ley de Laplace** toma la forma:

$$F_m = I \cdot B \cdot L \cdot \text{sen}\,\vartheta$$

Siendo: I la intensidad de corriente, B la intensidad de campo y ϑ el ángulo que forma la corriente con el vector campo.

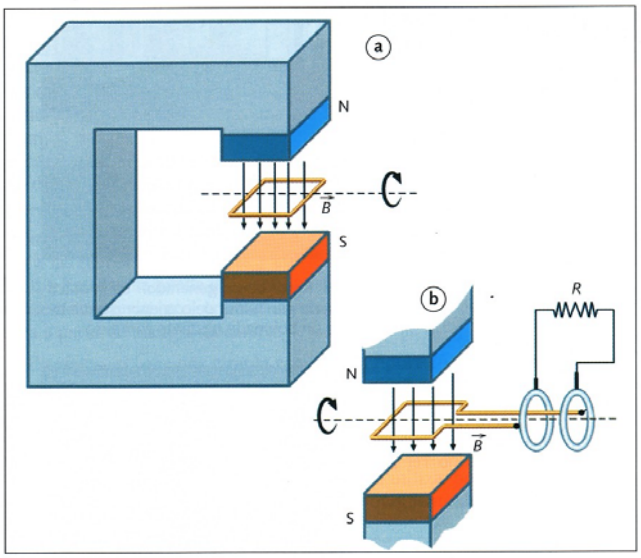
Dirección y sentido

La dirección y el sentido de la fuerza magnética F_m se obtiene aplicando la regla de la mano izquierda, con el dedo pulgar representando la dirección de la fuerza magnética F_m, el índice el campo magnético B y el dedo corazón la corriente I.

3.- Fuerza magnética sobre una espira

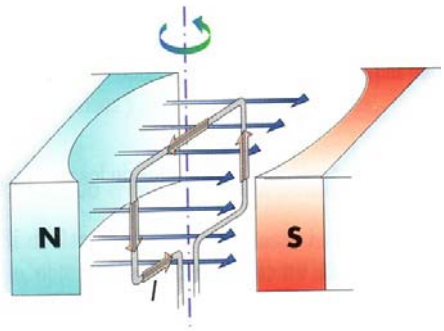
Cuando se sitúa una espira o bobina en el seno de un campo magnético actúa un par de fuerzas cuyo Momento le hace girar.

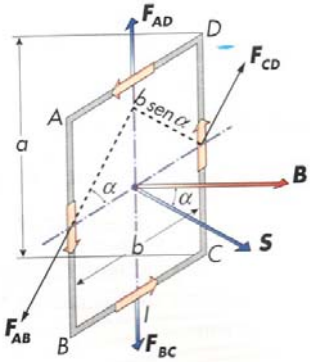
Una espira con forma rectangular por la que circula una corriente cuando es situada en el interior de un campo magnético, como el producido por un imán de herradura, sufre un conjunto de acciones magnéticas que producen en ella un movimiento de giro o rotación, hasta situarla dispuesta paralelamente a la dirección del campo B.



Justificación del fenómeno

La explicación de este fenómeno puede efectuarse aplicando la ley de Laplace a cada uno de los tramos rectilíneos de la espira.





Supóngase que como se muestra en la figura adjunta, la espira puede girar en torno a un eje que es perpendicular a las líneas de fuerza.

La espira rectangular está formada por dos pares de segmentos rectilíneos paralelos entre sí, un par horizontal y otro vertical de longitudes a y b.

Cuando se aplica la regla de la mano izquierda a los segmentos horizontales se advierte que las fuerzas magnéticas correspondientes resultan verticales y opuestas por tanto ambas fuerzas se anulan y no producen ningún efecto.

Las fuerzas sobre los segmentos verticales son opuestas y paralelas y están contenidas en un plano horizontal, constituyendo por tanto un par de fuerzas y originando un giro que hace que la espira se sitúe perpendicularmente a las líneas de fuerza. En tal situación también estas otras fuerzas actuantes se anulan mutuamente y el cuadro permanece en equilibrio.

La expresión del momento del par de fuerzas que actúa sobre la espira es:

$$M = B \cdot I \cdot a \cdot b \cdot \text{sen}\ \varphi = B \cdot I \cdot S \cdot \text{sen}\ \varphi$$

Donde :

- B es la inducción magnética en teslas (T) . Si en lugar de una espira tuviésemos una bobina deberemos multiplicar por el número de espiras ya que como hemos dicho antes el campo de la bobina es la suma de los campos producidos en torno a cada espira, es decir, cuantas más espiras tengamos en la bobina más intenso será el campo magnético generado.

- I es la intensidad que circula por la espira en amperios (A)

- *S* es la superficie de la espira en m^2, por tratarse de un rectángulo sería (a. b). Si se tratara de una espira circular $S = \pi \ r^2$

- φ es el ángulo existente entre el vector superficie, perpendicular a ésta, y las líneas del campo magnético.

- El momento del par de fuerzas se mide en N. m ya que por definición momento es el producto de una fuerza aplicada a una cierta distancia del eje de giro.

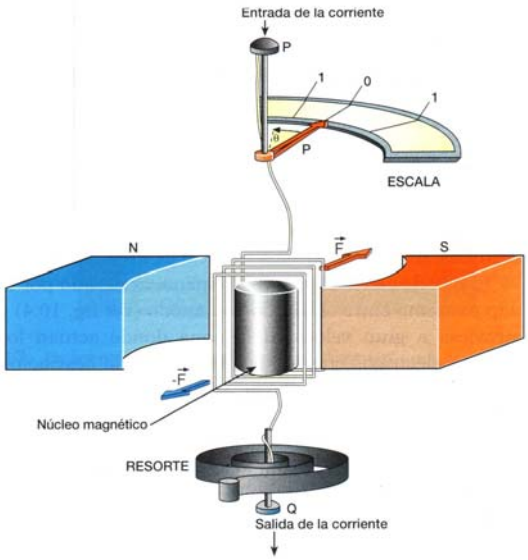
Aplicaciones:

1.- Galvanómetro de cuadro móvil

El galvanómetro de cuadro o bobina móvil se basa en el fenómeno anteriormente descrito. La expresión del momento M de la fuerza magnética aplicada a una bobina de N espiras resulta de multiplicar por el número de espiras el momento de una sola, es decir:

$$M = N \cdot B \cdot I \cdot S \cdot \text{sen}\ \varphi$$

Como verás el momento M y la intensidad de corriente I son directamente proporcionales.



En un galvanómetro de cuadro móvil una aguja cuyo extremo señala una escala graduada se mueve junto con una bobina, y un resorte en espiral se opone a cualquier

movimiento de giro, manteniendo la aguja, en ausencia de corriente, en el cero de la escala.

Si se hace pasar por la bobina una corriente eléctrica, el par de las fuerzas magnéticas deforman el resorte oponiéndose al par recuperador de éste. Cuando sus momentos respectivos se igualan, la aguja se detiene en una posición que estará tanto más desplazada del origen de la escala cuanto mayor sea la intensidad de corriente que circula por el galvanómetro.

2.- Motor eléctrico

Aun cuando una bobina por la que circula una corriente eléctrica puede girar por la acción de un campo magnético, dicho giro es transitorio y acaba cuando el plano de la bobina se sitúa perpendicularmente al campo.

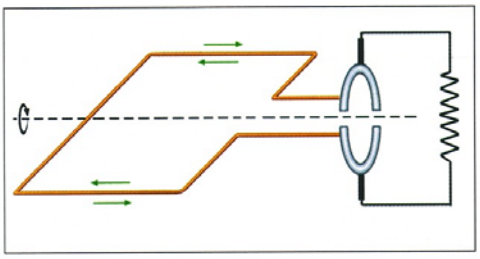
Para conseguir un movimiento de rotación continuado es necesario que en cada media vuelta se invierta el sentido de la corriente que circula por la bobina, con lo que el nuevo par actuando en el sentido del movimiento provoca la siguiente media vuelta y así sucesivamente.

Aun cuando en la posición de la bobina perpendicular a las líneas de fuerza el momento es nulo, dicha orientación es sobrepasada debido a la inercia de la bobina en movimiento, lo que permite que el nuevo par entre en acción.

Motor de corriente continua

En un motor de corriente continua la bobina está arrollada sobre un cilindro formado por láminas de hierro; este conjunto constituye el rotor.

El elemento conmutador encargado de invertir en cada media vuelta el sentido de la corriente eléctrica que circula por la bobina, está formado por dos piezas semicilíndricas o delgas, aisladas eléctricamente entre sí, solidarias al rotor y en contacto con unas varillas de grafito o escobillas, cuya misión es mantener el paso de la corriente del generador a la bobina.

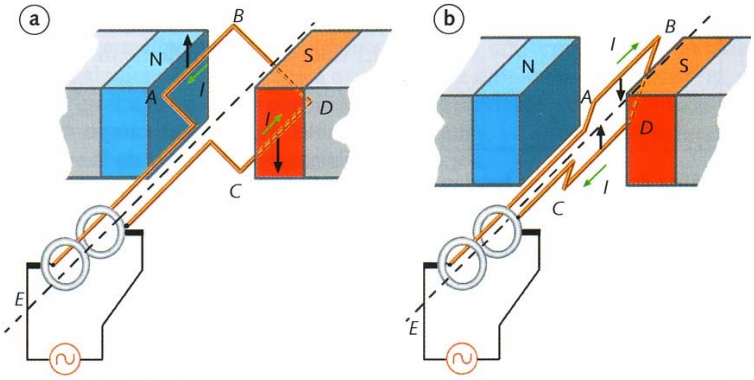


Con frecuencia el campo magnético es producido por un electroimán alimentado también por corriente eléctrica.

Motor de corriente alterna

La corriente alterna, que es la empleada habitualmente para usos domésticos e industriales, se caracteriza porque invierte su sentido de modo alternativo a razón de

50 veces por segundo, lo cual hace innecesario el conmutador. Por tal motivo, los motores que funcionan con corriente alterna disponen de unos anillos colectores completos y no partidos en dos mitades aisladas como en los motores de corriente continua.

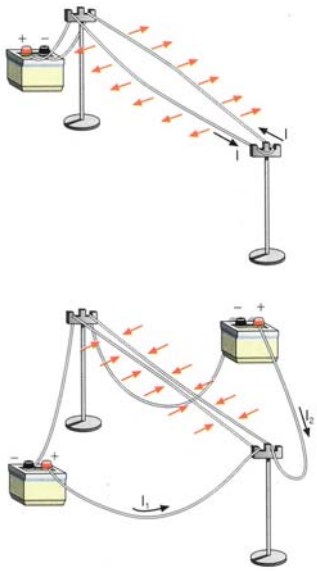


FUERZASMAGNÉTICAS ENTRE CONDUCTORES

Las corrientes eléctricas en presencia de imanes sufren fuerzas magnéticas, pero también las corrientes eléctricas y no sólo los imanes producen campos magnéticos; de modo que dos corrientes eléctricas próximas experimentarán entre sí fuerzas magnéticas de una forma parecida a lo que sucede con dos imanes.

Fuerzas entre conductores paralelos próximos

Si disponemos un montaje como el que se detalla a continuación podremos observar cómo al situar dos conductores paralelos se atraen cuando las corrientes respectivas tienen el mismo sentido y se repelen cuando sus sentidos de circulación son opuestos.



Determinación de la fuerza magnética ente conductores

La fuerza magnética entre corrientes paralelas es directamente proporcional a la longitud del conductor y al producto de las intensidades de corriente e inversamente proporcional a la distancia *r* que las separa, dependiendo además de las características del medio, esto se refleja en la expresión que se detalla a continuación:

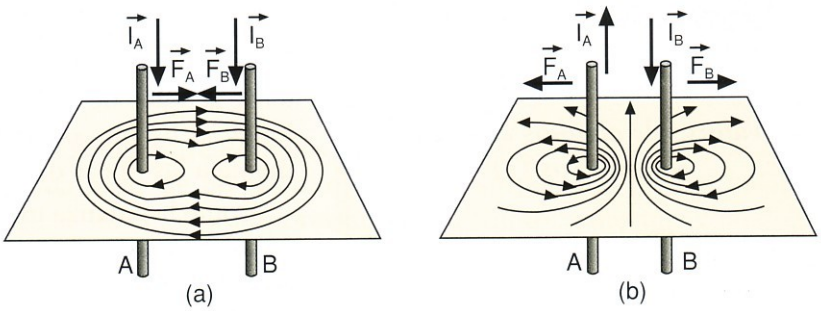
$$F_{1\to 2} = \mu \frac{I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

A la vista de la fórmula anterior cabe destacar tres observaciones:

1.- La fuerza de atracción o repulsión establecida entre ambos conductores será tanto menor cuanto mayor sea la distancia entre éstos (r).

2.- La fuerza será tanto mayor cuanto mayor sea la longitud de los conductores (L).

3.- La fuerza que ejerce el primer conductor sobre el segundo es la misma que la que ejerce el segundo sobre el primero y será de atracción si ambas corrientes circulan en el mismo sentido y de repulsión si circulan en sentidos opuestos.



El estudio gráfico que se muestra en la figura indica que tales fuerzas de igual magnitud tienen sentidos opuestos. Se trata, por tanto, de fuerzas de acción y reacción que definen la interacción magnética entre las corrientes .

A nivel ejercicios:

a) Cuando no se especifique en el enunciado el sentido de circulación de las corrientes hemos de estudiar los dos casos posibles. Así pues si las corrientes circulan en el mismo sentido se atraerán con la fuerza calculada y si circulan en sentidos opuestos se repelerán con la misma fuerza.

b) Si en algún caso no se detalla la longitud de los conductores objeto de nuestro estudio deberemos despejar de la expresión anterior y calcularemos la fuerza por unidad de longitud entre los dos conductores:

$$F / L = \mu \; I_1 \; I_2 / 2 .\pi. r$$

EL MAGNETISMO NATURAL

El magnetismo de la materia

El hecho de que los campos magnéticos producidos por los imanes fueran semejantes a los producidos por las corrientes eléctricas llevó a Ampère a explicar el magnetismo natural en términos de corrientes eléctricas.

Teoría clásica (Ampère)

Según este físico francés, en el interior de los materiales existirían unas corrientes eléctricas microscópicas circulares de resistencia nula y, por tanto, de duración indefinida; cada una de estas corrientes produciría un campo magnético elemental y la suma de todos ellos explicaría las propiedades magnéticas de los materiales.

- En los imanes las orientaciones de esas corrientes circulares serían todas paralelas y el efecto conjunto sería máximo.
- En el resto, al estar tales corrientes orientadas al azar se compensarían mutuamente sus efectos magnéticos y darían lugar a un campo resultante prácticamente nulo.
- La imanación del hierro fue explicada por Ampère en la siguiente forma: en este tipo de materiales el campo magnético exterior podría orientar las corrientes elementales paralelamente al campo de modo que al desaparecer éste quedarían ordenadas como en un imán.

Teoría actual

De acuerdo con los conocimientos actuales sobre la composición de la materia, los electrones en los átomos se comportan efectivamente como pequeños anillos de corriente.

Junto a su movimiento orbital en torno al núcleo, cada electrón efectúa una especie de rotación en torno a sí mismo denominada espín; ambos pueden contribuir al magnetismo de cada átomo y todos los átomos al magnetismo del material.

En la época de Ampère se ignoraba la existencia del electrón; su hipótesis de las corrientes circulares se adelantó en tres cuartos de siglo a la moderna teoría atómica, por lo que puede ser considerada como una genial anticipación científica.

Materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos

El hierro es el material magnético por excelencia, pues en contacto con un imán y, en general, cuando es sometido a la acción de un campo magnético, adquiere propiedades magnéticas, esto es, se imana o magnetiza.

El tipo de materiales que como el hierro presentan un magnetismo fuerte reciben el nombre de sustancias ferromagnéticas. Junto con el hierro, el níquel, el cobalto y algunas aleaciones son sustancias ferromagnéticas

Los materiales que por el contrario poseen un magnetismo débil se denominan paramagnéticos o diamagnéticos según su comportamiento. El estaño, el aluminio y el platino son ejemplos de materiales paramagnéticos, y el cobre, el oro, la plata y el cinc son diamagnéticos

Permeabilidad magnética

Para establecer si una sustancia es ferromagnética, diamagnética o paramagnética basta con conocer la permeabilidad magnética absoluta del medio (μ) y compararla con la del vacío ($\mu_0 = 4.\ \pi.\ 10^{-7}$) aplicando la siguiente relación :

$$\mu' = \mu / \mu_0$$

Permeabilidad absoluta:

Si atendemos al valor de la permeabilidad absoluta (μ) veremos que:

- Las sustancias ferromagnéticas se caracterizan porque poseen una permeabilidad magnética μ elevada, del orden de 10^2 a 10^6 veces la del vacío μ_0 .
- En las sustancias paramagnéticas el valor de μ es ligeramente mayor que el del μ_0
- En las diamagnéticas es ligeramente menor. Por tal motivo el magnetismo de este tipo de sustancias es inapreciable a simple vista.

Permeabilidad relativa:

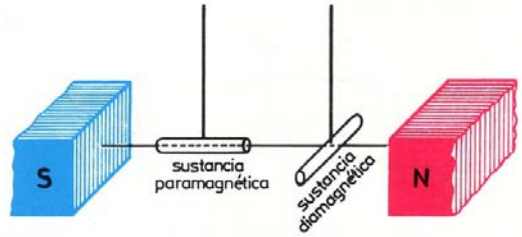
Si el valor de la permeabilidad relativa del medio (μ´) es:

- muy superior a 1 será ferromagnético
- mayor que 1 será paramagnético
- menor que 1 será diamagnético

Orientación de los materiales en un campo magnético

Todas las sustancias sometidas a la acción de un campo magnético adquieren propiedades magnéticas y se orientan en dicho campo.

Las sustancias paramagnéticas lo hacen situándose con su eje mayor paralelo a las líneas de campo magnético y las diamagnéticas con su eje mayor perpendicular a la dirección del campo.



Influencia de la temperatura en las propiedades magnéticas de la materia

Un material ferromagnético acaba perdiendo sus propiedades magnéticas cuando se calienta. Esta pérdida es completa por encima de una determinada temperatura, característica para cada metal, conocida como **punto de Curie**.

En cambio, en los materiales no metálicos paramagnéticos la influencia de la temperatura es opuesta pues al aumentar la temperatura disminuye la intensidad del momento magnético inducido.

APLICACIONES

En los últimos cien años han surgido numerosas aplicaciones del magnetismo y los materiales magnéticos como es el caso del electroimán, base del motor eléctrico y del transformador.

El desarrollo de nuevos materiales ha influido notablemente en el campo de la informática; es posible fabricar memorias de computadora utilizando “dominios burbuja“.

Estos dominios son pequeñas regiones de magnetización paralelas o antiparalelas a la magnetización global del material; según que el sentido sea uno u otro la burbuja indica un 1 ó un 0, por lo que actúa como dígito en el sistema binario empleado por los ordenadores.

Los materiales magnéticos también son componentes importantes de las cintas y discos para almacenar datos.