

6.1. La estructura atómica de la materia

Todos los materiales están constituidos por átomos indivisibles, que se agrupan en moléculas, las cuales dan lugar a diferentes sustancias. Esta idea, que ya barruntaron algunos pensadores griegos como Leucipo y Demócrito (s. V AC) y que reaparece intermitentemente, pero de forma un tanto confusa, a lo largo de la historia, tomó carta de naturaleza a principios del siglo XIX y se debe al químico inglés John Dalton (1766-1844), quien dedicó gran parte de su vida a aislar los distintos átomos ordenándolos según sus propiedades. Esta labor dio la clave al químico ruso Dimitri Mendeleiev (1834-1907) para la construcción de su sistema periódico, en el que fue ordenando por columnas los átomos que tenían propiedades parecidas.

# TABLA PERIODICA

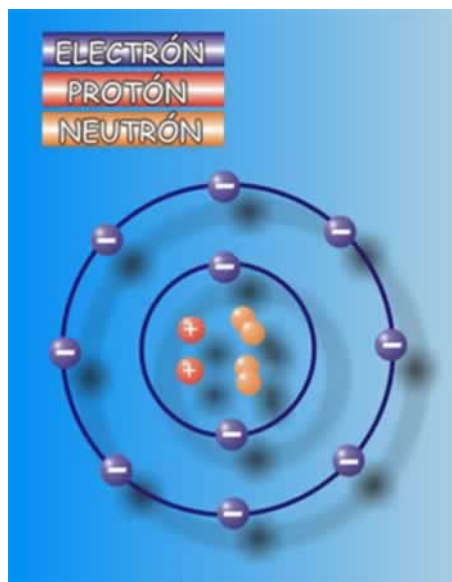
Descubridor: Klaus 1844  
 Peso Atómico: 101.07  
 Electrones por capas: 2-9-18-15+1  
 Configuración Electrónica: (Kr)4d<sup>5</sup> 5s<sup>1</sup>  
 Electronegatividad: 2.2  
 Fusión/ Ebullición(°C): 2250/3900

1A	2A												3A	4A	5A	6A	7A	0
H	Li												B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B	8B	8B	1B	2B	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										

44	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
RU	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

A finales del siglo XIX se descubrió que los átomos no eran indivisibles, sino que estaban constituidos, a su vez, por partículas cargadas eléctricamente, unas con carga positiva (a las que Ernest Rutherford denominó *protones*) y otras con carga negativa (a las que J.J. Thomson denominó *electrones*). Como ya se sabía que los átomos eran eléctricamente neutros, estaba claro que tenían que tener el mismo número de protones que de electrones. Este número era diferente para cada átomo y se le denominó *número atómico*.

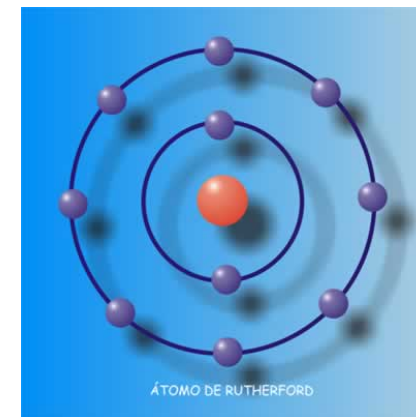
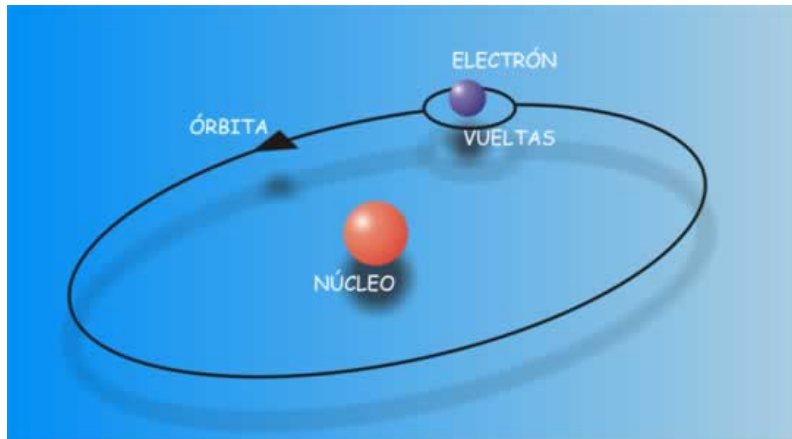


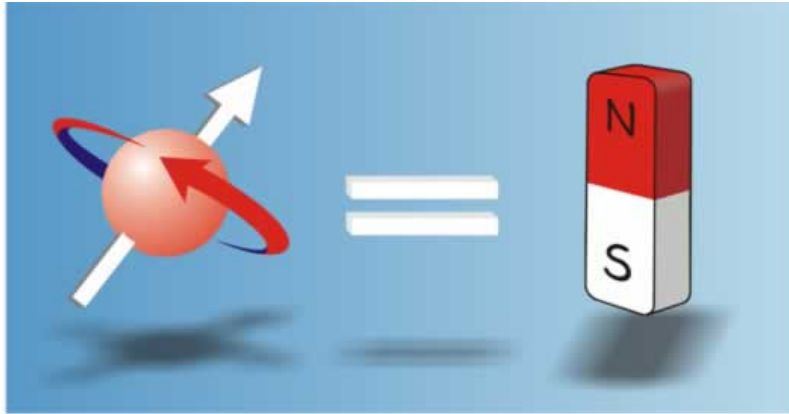
Pero ¿cómo se articulaban protones y electrones para formar un átomo? Los primeros años del siglo XX vieron diversas respuestas a esta pregunta (modelos atómicos). Aquí solamente hablaremos del modelo atómico de Rutherford, después mejorado por Niehls Bohr, que ha sido el modelo más útil y didáctico para explicar la relación entre la estructura de la materia y sus propiedades químicas, eléctricas ópticas y magnéticas.

El modelo de Rutherford- Bohr asemeja el átomo a un sistema solar microscópico. Los protones forman un núcleo positivo (después se descubrió que también había partículas neutras, *neutrones*) en el centro del átomo, a semejanza del sol, mientras que los electrones giran a su alrededor a semejanza de los planetas. Cada órbita admite un número fijo de electrones, de manera que los átomos, que contienen un número creciente de electrones van también llenando un número creciente de capas.

## 6.2. Tipos de materiales magnéticos

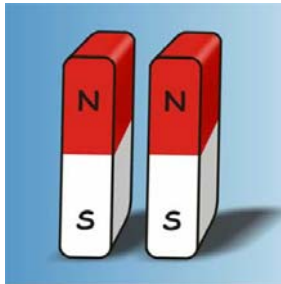
El magnetismo es una propiedad de los electrones. Por ser el electrón una partícula con carga, al girar en torno al núcleo produce un momento magnético llamado momento magnético orbita. Pero cada electrón está animado de un movimiento de giro sobre sí mismo, como puede verse en esta representación de un átomo de hidrógeno.



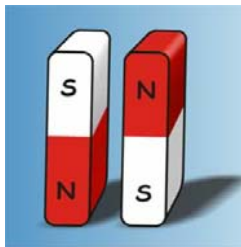


Este giro le confiere un momento magnético o momento bipolar, que recibe el nombre de spin.

Por lo tanto, las propiedades magnéticas de los átomos y de los materiales dependen de la forma en que se organicen los momentos magnéticos de sus electrones.



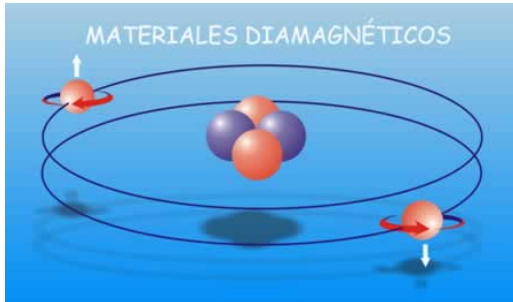
Los momentos de dos electrones se dice que son paralelos cuando sus direcciones están alineadas con los polos norte y sur de ambos hacia el mismo lado. Esta configuración no es estable, como sabe todo el que haya intentado mantener dos imanes en esta situación.



Esta situación evoluciona espontáneamente de forma que los imanes giran para enfrentar sus polos opuestos, lo que indica que esta última configuración es más estable o, lo que es lo mismo, de menor energía. En esta nueva situación los spines se dice que son antiparalelos, o que están apareados.

## Materiales diamagnéticos.

En la figura, se ha representado un átomo de helio. Los electrones tienen los spines apareados y, por lo tanto, no poseen momento magnético y no generan ningún campo.



Lo mismo les ocurre a los materiales que tienen un número par de electrones, todos ellos apareados, que reciben el nombre de diamagnéticos. En ausencia de un campo exterior sus átomos no tienen momento magnético pero bajo la influencia de un campo magnético aplicado, los electrones modifican su movimiento produciendo otro campo magnético débil en la dirección opuesta al aplicado, de manera que aparece una fuerza de repulsión entre la sustancia y el imán causante del campo. Todos los átomos tienen este comportamiento, que es independiente de la temperatura de la muestra, aunque solo se consideran diamagnéticos aquellos materiales que no presentan características paramagnéticas que los enmascaren.



Los elementos diamagnéticos más conocidos son el bismuto, el mercurio, la plata, el carbón, el plomo y el cobre.

**The most common diamagnetic elements are bismuth, mercury, silver, carbon, lead and copper**

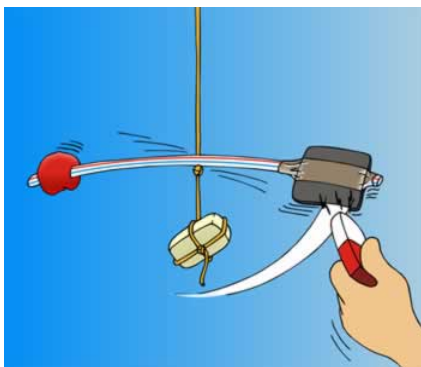


## Aplicación para el aula: Experimentemos

Para fijar ideas podemos realizar algunos experimentos sencillos para que los alumnos conozcan el comportamiento de los materiales diamagnéticos. A continuación presentamos algunos experimentos que pueden realizarse fácilmente en el aula. En todos ellos se emplean imanes de neodimio que producen un elevado campo magnético, por lo que se deben manejar con precaución. La mesa de trabajo debe ser de madera y sin estructura de hierro, y debe evitarse la presencia de objetos ferro magnético dentro del campo de acción de los imanes.



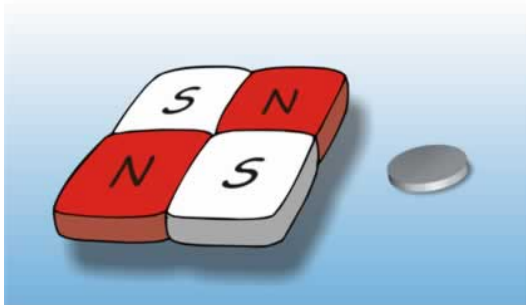
El primero de estos experimentos consiste en observar el diamagnetismo del agua. Para ello se prepara un vaso de plástico transparente de unos dos centímetros de altura, en el que se introduce un imán cúbico de neodimio de unos 15 milímetros de lado. El vaso de plástico se fabrica fácilmente a partir de una botella de plástico de las de refrescos de burbujas, sin más que utilizar una regla graduada y unas tijeras. El imán se puede comprar en Aimangz (<http://www.aimangz.com/>). A continuación colocamos el conjunto sobre una mesa que no vibre ni se mueva y llenamos el recipiente con agua hasta que justamente se cubra el imán. Debido al diamagnetismo del agua el imán lo repele, formándose una concavidad con la forma de la cara del imán en la superficie del agua que resulta evidente si se observa por reflexión de la luz. El efecto resulta cubrimos el imán con un trozo de plástico negro que podemos obtener a partir de hojas separadoras, aunque no es fundamental utilizarlo.



El siguiente experimento requiere una lámina de grafito pirolítico, material que se obtiene industrialmente por técnicas especiales. Puede comprarse por correo en scitoys, (<http://scitoys.com/>) y su precio no es elevado. Presenta una estructura de capas, fácilmente exfoliable, y en la dirección perpendicular al plano de estas capas es más diamagnético que el bismuto.

La primera operación consiste en construir una especie de balanza de torsión con una pajita de refresco, de una manera semejante a la que se empleó para construir el *versorium* de Gilbert. Se atraviesa la pajita con un hilo por su centro y se cuelga de un soporte adecuado. El hilo debe tener un nudo grueso para evitar que la pajita se deslice hacia abajo por él. Finalmente colgaremos del extremo inferior del hilo algún objeto ligero con el fin de mantenerlo vertical y con una cierta tensión. En uno de los extremos de la pajita sujetamos con cinta adhesiva un trozo de grafito pirolítico de manera que sus planos exfoliables se encuentren en la dirección perpendicular al suelo y paralelos a la pajita y nivelamos nuestra balanza con una cantidad apropiada de plastelina en el otro brazo, como indica la figura. Esperamos a que nuestro aparato quede en reposo, teniendo cuidado de que no haya corrientes de aire que lo muevan, aproximamos el imán de neodimio al grafito y observamos cómo aparece una fuerza de repulsión entre el imán y el grafito que obliga a girar a la balanza. Esto ocurre sea cual sea la cara del imán que acerquemos al grafito, lo que indica que el campo magnético induce en la parte próxima del grafito un polo magnético del mismo signo que el que se acerca. Si se aproxima un polo norte, aparece un polo norte en la parte del grafito más cercana al imán, y viceversa. Hay que hacer ver a los alumnos que en el caso de los materiales ferromagnéticos el efecto era el contrario. Si se acerca un polo norte del imán en el material se induce un polo sur que es fuertemente atraído.

Por último queremos presentar otro experimento que requiere igualmente un trozo de grafito pirolítico y cuatro imanes de neodimio como los utilizados en los experimentos anteriores. La primera operación consiste en colocar los cuatro imanes en la forma que indica la figura, con sus polos magnéticos alternados.



A continuación cortamos un trozo cuadrado de grafito de unos diez milímetros de lado y lo exfoliamos o lijamos con mucho cuidado hasta conseguir un espesor aproximado de medio milímetro. Como el peso específico del grafito es muy bajo (unas dos veces el del agua) el trozo que hemos cortado es lo suficientemente ligero para que levite sobre el imán de neodimio, como indica la figura. En nuestro experimento hemos construido un prisma transparente a partir de una hoja de plástico, para evitar que el grafito se salga del campo magnético del imán.



El resultado se puede ver en la figura adjunta

## Materiales paramagnéticos

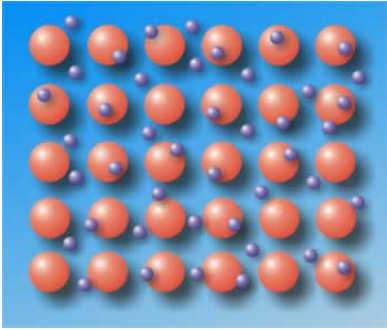


Se presenta en materiales que tienen un número impar de electrones (sin aparear) y que dan, por lo tanto, un momento magnético resultante no nulo. Existen varios modelos que explican los diferentes tipos de paramagnetismo que ocurren en los distintos tipos de materiales. El modelo de Langevin, por ejemplo, se aplica a sustancias con electrones localizados en sus propios átomos con un momento magnético que, debido a la agitación térmica, apunta en direcciones aleatorias dando lugar a un campo nulo en ausencia de campo externo.

Cuando se someten a la acción de un campo externo, los spines se orientan débilmente, modificando ligeramente su dirección tendiendo a alinearse con la del campo. El campo creado por el material, o campo inducido, es inversamente proporcional a su magnitud, siguiendo la ley de Curie.

A este tipo de materiales pertenecen las sales de los metales de transición, como el sulfato de cobre hidratado ( $\text{SO}_4\text{Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). En este caso los momentos magnéticos de los iones metálicos están rodeados por átomos o iones que impiden que interactúen entre sí, dando como resultado un material en el que los momentos vecinos no interactúan.





Existen otros modelos que contemplan materiales paramagnéticos con electrones itinerantes, como el modelo de Pauli. En este modelo los electrones no están unidos con sus propios átomos sino que pueden saltar de uno a otro formando una molécula colectiva. Esto da lugar a un gas de electrones libres o electrones itinerantes, que no interaccionan entre sí y que se mueven en una matriz de iones, como se indica en la figura.

Los spines de estos electrones itinerantes interaccionan con el campo externo, dando como resultado un desequilibrio energético entre los electrones cuyo spin se alinea con él (que tienen menor energía) y los de spin contrario (que tienen mayor energía). Como consecuencia el material disminuye su energía invirtiendo los spines antiparalelos al campo, dando como resultado un exceso de los electrones con spin paralelo al campo, lo que produce el paramagnetismo.

El uranio, el platino, el aluminio, el sodio y el oxígeno son elementos paramagnéticos.

Uranium, platinum, aluminum, sodium and oxygen are **paramagnetic elements**.

## Materiales ferromagnéticos

El ferromagnetismo es un fenómeno cooperativo, ya que no se da en átomos aislados. Tiene lugar en los materiales paramagnéticos del tipo anterior, es decir, que siguen el modelo de Pauli con sus átomos formando una red, pero en la que los spines de los electrones interaccionan de tal manera que se alinean paralelamente entre sí. La teoría clásica se debe a Weiss (1907) y postula un campo molecular en el interior de la sustancia como responsable de que los spines de los electrones que se hallan dentro de una cierta región, que hemos llamado un dominio, se orienten en la misma dirección, magnetizando el dominio a saturación. En el modelo de Heisenberg se postula una interacción entre los spines de los electrones vecinos, llamada interacción de canje, que los orienta paralelamente entre sí.

Estos materiales presentan dominios que, como hemos dicho, son regiones cuyos spines se orientan paralelamente entre sí. En el mismo material pueden aparecer dominios con sus spines orientados en direcciones diferentes. Estos dominios aparecen espontáneamente cuando la temperatura baja por debajo del punto de Curie, de la misma manera que un líquido se solidifica cuando su temperatura baja por debajo del punto de solidificación. Si se eleva la temperatura de la muestra, los momentos magnéticos de los electrones van sufriendo el efecto de la agitación térmica, disminuyendo el grado alineamiento de los mismos. Cuando la temperatura alcanza un valor crítico, la temperatura de Curie, la ordenación de los momentos magnéticos desaparece y el material deja de ser ferromagnético para convertirse en paramagnético. La transición de uno a otro estado es brusca, como lo es la del paso del hielo al agua o la del agua al vapor.



Elementos ferromagnéticos son los metales hierro, níquel y cobalto, así como las tierra raras gadolinio y disprosio.

Some ferromagnetic elements are iron, nickel, cobalt, gadolinium and dysprosium.

## Materiales antiferromagneticos

Se presenta en sustancias semejantes a las ferromagnéticas, pero en las que la interacción de canje tiene un valor negativo, produciendo un alineamiento antiparalelo entre los spines de electrones vecinos, lo que da como resultado que sus efectos se cancelen, comportándose el material como si fuese paramagnético. La temperatura de transición entre el estado antiferromagnético y el paramagnético se conoce como temperatura de Néel, en honor a su descubridor.



El único elemento antiferromagnético es el cromo.

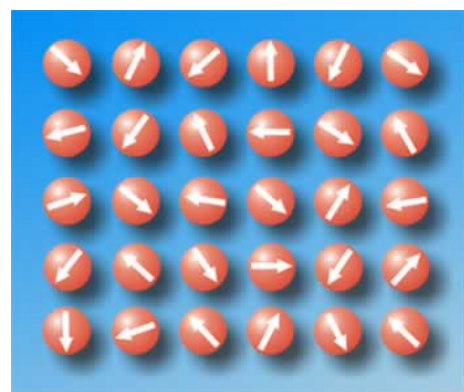
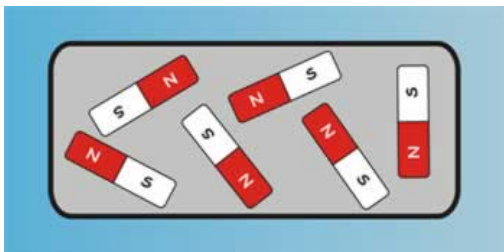


Llegados a este punto, disponemos de los datos necesarios para profundizar en los fundamentos del ferromagnetismo y los procesos que tiene lugar en estos materiales.



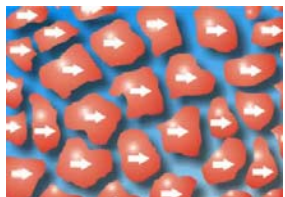
Hemos visto que si dividimos un imán en trozos, obtenemos siempre imanes más pequeños. Por pequeños que sean los trozos, todos poseen un polo norte y un polo sur. Por ello es lógico suponer que un imán está constituido por millones de imanes microscópicos (en realidad es un número mucho más elevado), que reciben el nombre de *dominios magnéticos*, cuyo tamaño es del orden de una décima a una centésima de milímetro.

Con este modelo podemos tratar de estudiar algunos fenómenos que no habíamos explicado, como la razón por la que el hierro y el acero se comportan diferentemente después de ser sometidos a un campo magnético, conservando la imanación el acero y perdiéndola el hierro cuando desaparece el campo magnético exterior. Para ver cómo se orientan estos dominios, podemos jugar con dos imanes bipolares, de los del tipo de barra. Veremos rápidamente que se colocan espontáneamente de manera que el polo norte de uno se una al polo sur del otro, y viceversa, indicando que es ésta la distribución de menor energía. Para colocarlos de manera que tengan los polos del mismo signo unidos, situación en la que el campo magnético de ambos se refuerza, debemos realizar un cierto trabajo para situarlos de esa forma y una fuerza considerable para mantenerlos así. En el caso de los dominios, la situación es la misma; éstos tienden a colocarse de manera que su energía sea mínima, lo que produce una distribución desordenada que da como resultado un campo magnético exterior nulo.

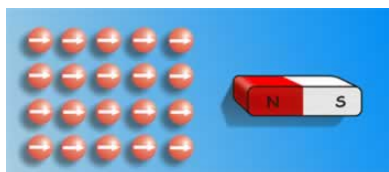


También podemos materializar el modelo de dominios de un material ferromagnético blando sin imanar, como el hierro dulce, colocando unas cuantas brújulas pequeñas en el fondo de una caja de cartón, en la forma representada en la figura. Como el campo magnético terrestre es mucho más débil que el creado por una brújula sobre las que se encuentran a su lado, estas se colocarán de manera que su energía sea mínima, produciendo una distribución desordenada cuyo campo total sea nulo fuera de la caja.

Si acercamos ahora un imán potente a la caja, observaremos que las brújulas se orientan de manera que sigan las líneas del campo creado por el imán, ordenándose de acuerdo con ellas. El campo total fuera de la caja será el resultado de sumar el campo del imán permanente y el producido por las agujas imantadas de las brújulas.

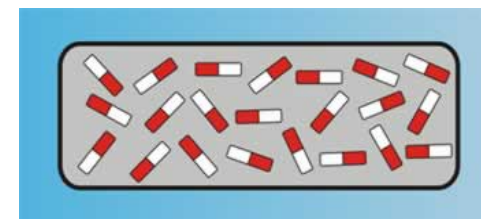


Pero en el momento que alejemos el imán volveremos a tener la misma distribución original en las brújulas, como ocurre cuando se queda sin campo magnético un trozo de hierro dulce. Las agujas de las brújulas han jugado el papel de dominios magnéticos, explicando por analogía lo que ocurre en la realidad. Nuestro modelo de dominios magnéticos funciona.



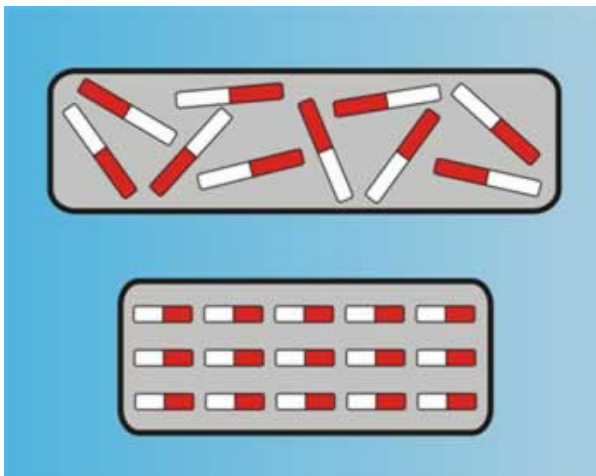
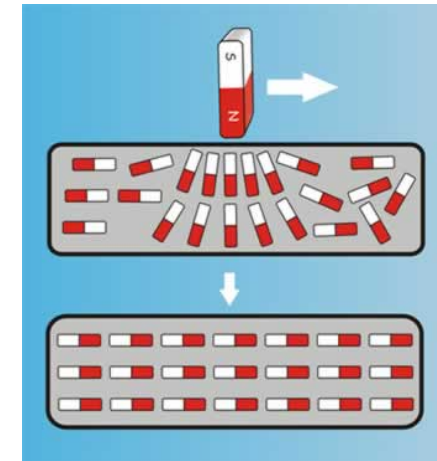
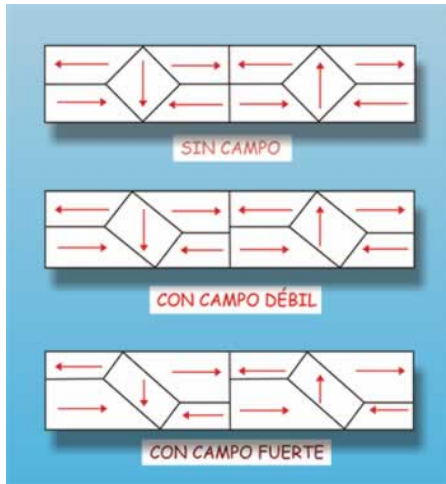
El comportamiento de los materiales magnéticamente duros, como el acero, sabemos que es distinto, ya que cuando se retira el imán permanente quedan imanados conservando un campo remanente. La razón para este comportamiento del material es fácilmente explicable con nuestro modelo. Como el lector habrá adivinado, la aparición del magnetismo remanente tiene que ser el resultado de que los dominios, por alguna razón, no vuelvan a su situación inicial desordenada, produciendo un campo magnético exterior. Este nuevo fenómeno se puede introducir en nuestro modelo añadiendo un nuevo ingrediente. En el caso del hierro dulce los dominios presentan formas esféricas de paredes lisas, de manera que pueden girar sobre sí mismos sin que aparezcan fuerzas de rozamiento con los dominios con los que están en contacto. En cambio, en el caso de materiales duros, los dominios pueden presentar formas irregulares y paredes rugosas, de manera que sea difícil que pierdan la ordenación producida por la presencia del campo magnético exterior. Como es lógico, la presencia de impurezas en una sustancia magnética, o de defectos cristalinos en la red, así como cualquier tipo de heterogeneidad debe dificultar la rotación de los dominios y por lo tanto producir el endurecimiento magnético del material.

Es fácil imaginarse el proceso de imanación por frotamiento de una muestra ferromagnética. En su estado inicial los dominios se encuentran desordenados, como se muestra en la figura.



Al ir desplazando un polo del imán permanente a lo largo de la pieza que queremos magnetizar, sus dominios van rotando para ordenarse siguiendo el campo.

Esta operación repetida puede llevar a la ordenación total de los dominios.



En realidad, en los procesos de magnetización tiene lugar, además de la rotación de los dominios, el crecimiento de los que están orientados en el sentido del campo exterior, a costa del tamaño de los demás, mediante el desplazamiento de las paredes que separan los dominios. Este proceso se ha representado en estas figuras.

El modelo de dominios de tamaño fijo es el modelo de Preisach, y es cuantitativamente equivalente al de desplazamiento de las paredes.

En algunos materiales la rotación de los dominios o la reducción de su número que acompaña a la magnetización producen una disminución de su volumen, fenómeno que recibe el nombre de *magnetostricción*.



De todo ese tratamiento teórico se deduce fácilmente que el campo máximo que un material imanado puede producir corresponde al que se obtiene con todos los dominios orientados en la misma dirección. Cuando un material alcanza esta situación decimos que está saturado.

En el caso de los materiales duros, la mayoría de los dominios conservan su orientación cuando desaparece el campo exterior, pero algunos de esos dominios pueden perder su orientación y producir una disminución del campo magnético total. El número de los dominios que se muevan es lo que determina la dureza del material. Como resultado de esta pérdida el magnetismo remanente suele ser menor que el que correspondería a la saturación.

Como veremos cuando tratemos el electromagnetismo, tanto los materiales duros como los blandos son importantes en las aplicaciones tecnológicas. Unos en la fabricación de imanes y otros en hierros de transformador. En el caso de los materiales que se emplean para almacenar información, como en los discos duros, será necesario que conserven las orientaciones de los dominios, pero que no requieran una energía muy elevada para reescribirlos. Son, pues, materiales intermedios.

Empleando este modelo podemos explicar fácilmente la transición de Curie, en la que el material pierde bruscamente su característica de ferromagnético al alcanzarse una temperatura crítica. Es fácil imaginarse cómo al elevarse la temperatura los spines electrónicos van adquiriendo mayor energía, que tiende a que sus ejes oscilen con amplitud creciente en torno a su posición de equilibrio. Si la agitación térmica aumenta por encima de un valor crítico, la tendencia al desorden vence a la fuerza ordenadora de la interacción de canje, perdiéndose la organización interna que hace que dentro de un dominio todos los spines sean paralelos, convirtiéndose en un material paramagnético al desaparecer la ordenación en dominios.



**Imán natural o piedra imán (Lodestone or loadstone)**

Fue el primer imán permanente que se conoció y utilizó. Produce campos magnéticos bajos, pero su resistencia a la desmagnetización es razonable, sin ser muy alta. Su composición química es  $Fe_3O_4$ , magnetita, un óxido de hierro ferromagnético.

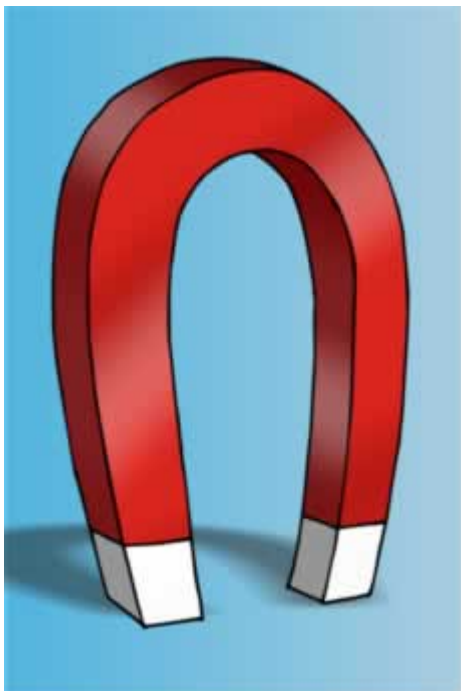


La imanación de estos minerales se produce por inducción, al ser sometidos al campo magnético generado por la corriente eléctrica de un rayo que caiga en sus proximidades. Es un fenómeno parecido al que se produce en el experimento de Oersted que hemos realizado. La corriente que pasa por el cable paralelo a la brújula, del orden de 2 a 3 amperios, genera un campo magnético perpendicular al campo terrestre, por lo cual la brújula cambia de orientación.

En el caso del rayo la corriente oscila entre 20.000 y 30.000 amperios, produciendo un campo magnético suficiente para saturar las piezas de magnetita que se encuentren en las proximidades.



## Imanes de aceros al carbón.



Estos materiales se desarrollaron en el siglo XIX. Producen campos más elevados que los imanes naturales, pero presentan menor resistencia a la desmagnetización por lo que es necesario darles formas alargadas, entre las cuales la más conocida es la de herradura.

Suelen tener trazas de otros metales con las que se forman carburos que precipitan en forma de impurezas. Estas impurezas obstruyen el movimiento de las paredes de los dominios magnéticos.

## Imanes de ALNICO.

Se desarrollaron hacia 1930 y presentan unas características magnéticas muy superiores a las del acero. Se llaman así porque están compuestos por aluminio, níquel y cobalto. Se fabrican por sinterización o por vaciado en molde de una mezcla formada por un 3 % de cobre, un 8 % de aluminio, un 14 % de níquel, un 24 % de cobalto y un 51 % de hierro. Tienen la ventaja de poseer buen precio, aunque no tienen mucha fuerza

El material presenta dos fases bien diferenciadas a las que debe sus características: agujas microscópicas de una aleación de hierro y cobalto, que es ferromagnética, en una matriz no magnética de aluminio y níquel. Son los que presentan mejor comportamiento a temperaturas elevadas, con un punto de Curie del orden de los 800 grados centígrados.

## Imanes de tierras raras.



Son imanes pequeños, unas diez veces más potentes que los de ALNICO. Los más modernos están fabricados a base de neodimio, hierro y boro, que están sustituyendo al sumerio y al cobalto, más frágiles, de precio más elevado y de mayor densidad, aunque con mayor resistencia a la oxidación. Son bastante frágiles y tienen poca resistencia a la corrosión por lo que van recubiertos con un baño de níquel o zinc, que les da una apariencia metálica.

Presentan alta resistencia a la desmagnetización y son los imanes más potentes del que puede disponerse a un precio asequible y se pueden fabricar con cualquier forma, pero no pueden trabajar a temperaturas por encima de los 200 grados centígrados.

Deben manejarse con precaución para evitar daños corporales, sobre todo cuando se están manipulando dos o más imanes ya que pueden pellizcar la mano y producir heridas.

### **Imanes cerámicos**



Se llaman así por su apariencia y sus propiedades físicas. Están compuestos por bario y estroncio, y suelen ser grises, de superficie lisa y de color gris oscuro. Se los fabrica dándoles cualquier forma, aunque los más comunes tienen forma cilíndrica con una figurita de plástico unida, empleándose para sujetar notas en las neveras. Son frágiles, pueden romperse si se caen o se acercan a otro imán sin el debido cuidado. Son conocidos bajo el nombre de ferritas, presentan alta resistencia a la corrosión y pueden utilizarse en un rango de temperaturas comprendido entre los 40 grados bajo cero y los doscientos cincuenta grados centígrados.

### **Imanes flexibles**

Se fabrican por inclusión de partículas magnéticas en un elastómero, como caucho o PVC. Son muy flexibles y se utilizan en publicidad, cierres para nevera, tiras para sujetar notas, etc. La superficie que está en contacto con la superficie a la que se adhiere está formada por una serie de bandas estrechas que alternan los polos norte y sur. De esta manera se consigue una región de campo relativamente intenso muy cerca de la superficie, pero que se anula a una distancia muy corta de ella, del orden de los cinco milímetros (más o menos el grosor de la piel de las carteras). De esta forma se evita que se borren las bandas magnéticas de los billetes de transporte y de las tarjetas de crédito.