

# IMANES COMO MODELOS ATÓMICOS BIDIMENSIONALES

Héctor G. Riveros R., Enrique Cabrera B., Mireya  
Gally J., Jorge Fujioka R. y Carlos Ruiz-Mejía

## ABSTRACT

The interactions of two-dimensional arrays of atoms are simulated with magnets floating on water. The magnets can be used to provide the repulsions at short distances, as well as the attractions at long distances. A computer program reproduces the movements of the magnets, and calculates the energy of any configuration.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades del gas ideal, o de los gases reales a bajas presiones, se obtienen a partir de la teoría cinética de los gases, considerando que los átomos se mueven como pelotas duras, sin ninguna fuerza de interacción entre ellos. La única fuerza admitida es la que se origina durante sus colisiones, las cuales se consideran elásticas. Si esto fuera cierto, ningún gas pasaría al estado líquido o sólido. Para justificar la formación de materia condensada, necesitamos fuerzas de atracción entre los átomos a largas distancias. Por otra parte, para justificar la poca compresibilidad de los sólidos (y líquidos) necesitamos una fuerza repulsiva a cortas distancias. Estos dos tipos de fuerzas se deben de compensar a una cierta distancia promedio, produciendo así las diferentes densidades que observamos en los materiales.

Conocemos que la interacción entre los átomos para formar moléculas corresponde a reacomodos de sus electrones más exteriores, o de valencia, formando los diferentes enlaces químicos que conocemos: coulombiano, covalente y metálico, en los cuales hay transferencia o compartición de cargas. Las moléculas polares presentan momentos dipolares permanentes, ya que no coinciden sus centros de carga positivos y negativos, haciendo que la energía de interacción dependa de la orientación. El reacomodo de las cargas es un resultado de la tendencia natural a la configuración con mínima energía. El concepto de energía evoluciona según vamos ampliando nuestro conocimiento de la naturaleza (Arons 1989).

Las moléculas a su vez, interaccionan para formar conglomerados, según las fuerzas entre ellas, y de acuerdo con los resultados de la mecánica cuántica. Aún en el caso de moléculas sin carga neta y sin momento dipolar permanente, existen momentos dipolares instantáneos, haciendo que se polaricen unas a otras, con lo

que se produce una energía de interacción que da origen a lo que llamamos enlace de Van der Waals.

En el caso de iones aislados, en la aproximación de carga puntual, el potencial de interacción varía como  $1/r$ ; en el caso de dipolos como  $1/r^2$ ; y como  $1/r^6$  para dipolos inducidos. El potencial repulsivo, que tiene su origen en el traslape de las nubes electrónicas, se suele representar como  $1/r^{12}$ , o con una función exponencial de la distancia. La figura 1 muestra el potencial de interacción calculado para la molécula de cloruro de sodio, como función de la distancia  $r$  entre los iones. Los parámetros del potencial repulsivo se tomaron del artículo de T.B. Douglas (Douglas 1963).

Conociendo el potencial de interacción entre las partículas, se puede calcular la configuración de mínima energía que tendrán sin agitación térmica. Para dos iones corresponde a la distancia que hace mínimo el potencial, o sea cuando la fuerza es cero sobre cada ión. La configuración de mínima energía corresponde a las interacciones de todos contra todos, lo que produce las configuraciones observadas. La estructura cristalina de la mayoría de los sólidos es debida, precisamente, a que corresponde a configuraciones de mínima energía.

Podemos demostrar la existencia de configuraciones de mínima energía, separadas por procesos con diferentes energías de activación, utilizando las propiedades de imanes flotando en agua. Aprovechando que la computadora se encuentra con suma frecuencia en los laboratorios (Collings y Greenslade, 1989; Beichner 1989), podemos calcular la energía, y observar en pantalla la simulación del movimiento de los imanes buscando la configuración de equilibrio.

Los imanes son dipolos magnéticos, los cuales podemos poner a flotar con su eje dipolar perpendicular a la superficie del agua. Si los dipolos están paralelos, se repelen entre sí; si están antiparalelos, se atraen. Para simular interacción entre átomos necesitamos una fuerza de atracción a largas distancia, y una repulsiva a cortas distancias. El problema es cómo lograr esto con imanes.

Imanes, y las fuerzas entre ellos, han sido discutidos anteriormente (Levin, 1984; Boyer, 1988; Lucas, 1986). Lehmann (1979) colocó imanes flotando en una mesa de aire, acomodados en una estructura cristalina.

Instituto de Física,  
UNAM, Apdo. Postal  
20-364, 01000  
México, D.F.,

Recibido:  
15 de enero de 1993

Aceptado:  
30 de marzo de 1993

Observó los efectos de átomos intersticiales, y sus modos de vibración. Sin embargo, no permitió que sus imanes se acomodaran libremente bajo la acción de un potencial circular, por lo que no vio las configuraciones aquí reportadas.

## 2. TEORÍA

El limitar el movimiento de los imanes a las dos dimensiones de la superficie de un líquido elimina las complicaciones asociadas a orientaciones arbitrarias en los dipolos. La magnitud  $B$  del campo magnético en un punto situado a una distancia  $r$  en el plano perpendicular a un dipolo magnético (imán)  $M$ , está dada por (Alonso y Finn, 1967):

$$B = \frac{\mu_0 M}{4\pi r^3} \quad (1)$$

y la energía potencial  $E_p$  de un dipolo magnético  $M$  en un punto en el que existe un campo magnético  $B$  es:

$$E_p = -M \cdot B = \frac{\mu_0 M^2}{4\pi r^3} \quad (2)$$

donde la segunda igualdad se obtuvo considerando la interacción entre dos dipolos iguales en magnitud y sentido. Invertir el sentido de uno de ellos implica agregar un signo menos en la energía correspondiente. La energía potencial entre imanes que se atraen es negativa. El símbolo  $r$  representa la distancia entre los imanes.

La magnitud de la fuerza  $F$  en cualquiera de los imanes es:

$$F = \frac{3\mu_0 M^2}{4\pi r^4} \quad (3)$$

obtenida calculando la fuerza sobre las corrientes que circulan en una espira cuadrada situada en un campo magnético no uniforme. La fuerza es de atracción o repulsión dependiendo de la orientación entre los dipolos.

Usando las ecuaciones (1)-(3) se pueden calcular las fuerzas y la energía en un sistema de dipolos interactuando, como una suma sobre todas las parejas posibles.

## 3. EXPERIMENTO

Para lograr que los imanes se muevan libremente, con el mínimo de fricción, se decidió colocarlos flotando en agua, lo cual se logra pegándolos en corchos. Pequeños imanes cerámicos de forma cilíndrica (diámetro = 10 mm y espesor = 4 mm), con su eje magnético paralelo al eje del cilindro, se pegaron en el centro de rodajas cilíndricas de corcho, cortadas de tapones de vino (diámetro = 23 mm y espesor = 4 mm). La mitad de los imanes se pegaron con el polo norte hacia arriba, y la otra mitad con el polo norte hacia abajo. Para distinguirlos, se pintaron unos de blanco, y los otros de rojo. Con estas dimensiones, los imanes flotan de manera

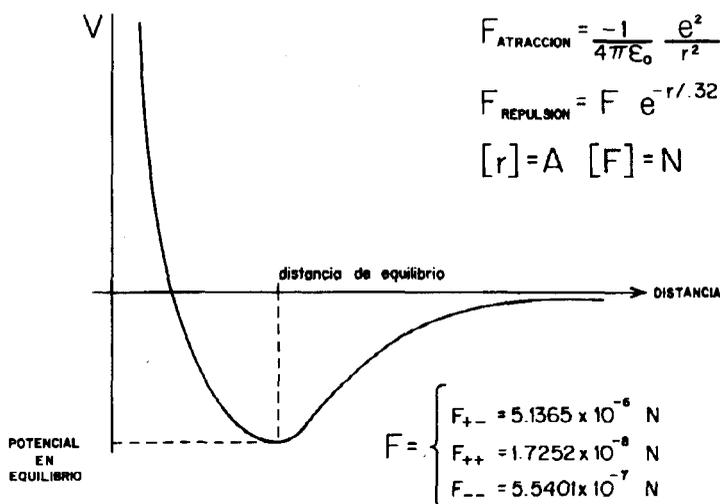


Figura 1. Potencial de interacción entre los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  como función de la distancia entre ellos.

estable con el imán debajo del corcho, colocando así el centro de gravedad debajo del centro de flotación.

Como recipiente utilizamos un recipiente de vidrio pyrex, de los usados para 'pays' (diámetro = 270 mm y profundidad = 30 mm), lo que permite utilizar un retroproyector para mostrar el sistema con audiencias grandes. Conviene entonces colocar los imanes de una orientación en cajas cilíndricas de plástico transparente, para que se distingan en la proyección. Llenando el recipiente con una capa de agua de 10 mm de espesor, los imanes flotan libremente.

## 4. MODELOS

### 4.1 Interacción iónica

Las propiedades de atracción y repulsión entre los imanes son muy semejantes a las de las cargas positivas y negativas, excepto que el exponente de la variación con la distancia  $r$  es mayor en una unidad. Si colocamos un mismo número de dipolos con el norte hacia arriba y hacia abajo, observamos que los que tienen orientaciones opuestas se atraen hasta que se ponen en contacto, lo que proporciona la fuerza de repulsión requerida para el equilibrio. La existencia de fuerzas de fricción entre los imanes puede impedir que se llegue a la configuración cuadrada de equilibrio. En este caso la configuración obtenida suele parecerse a la de un material amorfo. Para obtener una estructura ordenada (cristalina), basta con proporcionar un poco de energía térmica, agitando la superficie del agua para lograrlo. Se puede notar que solamente se encuentran en contacto imanes de polaridad opuesta. En este caso, la fuerza repulsiva la proporciona el contacto entre los imanes, por lo que para lograr equilibrio es necesario que entren en contacto. La figura 2 muestra algunas posibles configuraciones.

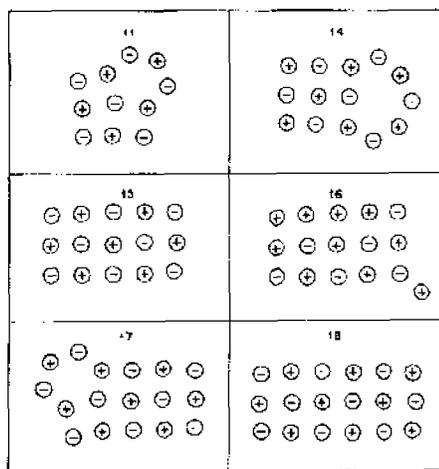


Figura 2. Posibles arreglos entre dipolos que se atraen, como si fueran iones de cargas opuestas.

#### 4.2 Interacción entre partículas que se repelen, en un pozo cuadrado de potencial

Colocando cualquier número de imanes iguales en el recipiente con agua, se alejan unos de otros, hasta que la pared del recipiente proporciona la fuerza de atracción necesaria para compensar la repulsión entre ellos. Es posible que la configuración obtenida no sea completamente simétrica, debido a que la fuerza de contacto con la pared puede tener componentes tangenciales debidas a la fricción. Agitando la superficie del agua se simula agitación térmica, lo que reduce las fuerzas de fricción, lográndose así la obtención de figuras simétricas.

Debido a que están flotando, cada imán se mueve

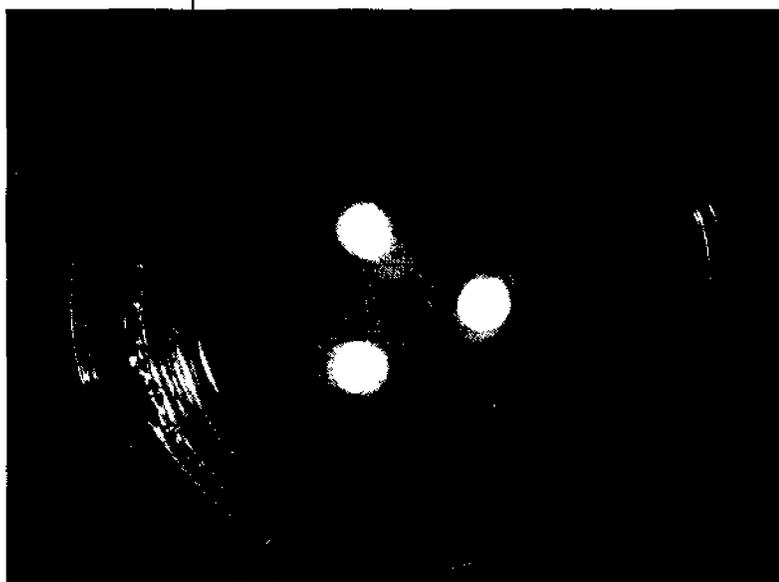


Figura 3. Fotografía estroboscópica de tres imanes flotando buscando el equilibrio ( $\Delta t = 0.1$  s).

hasta que la fuerza sobre cada uno de ellos es cero. Esto sucede cuando todos y cada uno de ellos se encuentran en el fondo de un pozo de potencial, o sea en un mínimo de la energía potencial del sistema. Se puede ver que cualquier posición es de equilibrio moviendo ligeramente uno cualquiera de los imanes, el cual regresa a su posición original, indicando la existencia de una fuerza de restitución.

Si desplazamos mucho al imán, pudiera ser que se moviera hacia otra configuración de equilibrio, causando un reacomodo de todo el sistema de imanes. En este proceso pueden reaparecer las fuerzas de fricción con las paredes. En este modelo la fuerza repulsiva la proporcionan los imanes, y la atractiva la constituye la interacción con la pared del recipiente, que constituye un verdadero pozo cuadrado de potencial.

Si pudiéramos lograr una fuerza magnética atractiva hacia el centro del recipiente, además de la repulsión entre los que se encuentran flotando, tendríamos un ejemplo completo de una fuerza atractiva a distancias largas, y repulsiva a distancias cortas. El siguiente modelo presenta una posible solución.

#### 4.3 Interacción entre partículas que se repelen, en un pozo suave de potencial

Colocando un anillo de 36 imanes fijos rodeando el recipiente de vidrio, con el polo norte hacia arriba, cualquier imán flotante que tenga el polo norte hacia arriba será repelido hacia el centro del recipiente por los 36 imanes de la periferia. En este punto las diferentes repulsiones se cancelan unas con otras. En el recipiente existe un campo de fuerzas central que hace que cualquier imán sea llevado al centro.

Si colocamos dos imanes flotando, con el polo norte hacia arriba, ambos son empujados hacia el centro por los imanes exteriores; pero como se repelen entre sí, ninguno de los dos queda en el centro. Se mantienen equidistantes del centro, a la distancia a la que la repulsión entre ellos compensa la atracción del pozo hacia el centro.

Colocando un tercer imán exactamente en el centro, se observa que los otros dos se alejan buscando el equilibrio, pero el equilibrio de tres imanes en línea es inestable, por lo que se relajan llegando al triángulo que corresponde al equilibrio estable. Si desplazamos de su posición a cualquiera de ellos, se regresa al triángulo original. En la figura 3 se muestra una fotografía estroboscópica en la que podemos apreciar el movimiento de tres imanes buscando el equilibrio, a partir de una posición inicial que no es de equilibrio.

Colocando un cuarto imán exactamente en el centro, teóricamente puede quedar en equilibrio estable, pero la práctica muestra que esto es muy difícil. Cuatro imanes se acomodan en un cuadrado equilátero. Cada uno se mueve hasta que la fuerza sobre cualquiera es nula.

Un quinto imán colocado rápidamente en el centro

del cuadrado mantiene su posición. Si lo colocamos en cualquier otro lugar, lo más probable es que se acomoden formando un pentágono regular. Tenemos claramente dos configuraciones diferentes, pero ambas con un mínimo en la energía potencial. Para pasar de una a otra es necesario empujar a algún imán en cierta dirección, y con una cierta energía mínima (energía de activación) para lograr la transición. Podemos observar la existencia de estados 'activados', de equilibrio inestable, en los que cualquier perturbación hace que se relajen a una u otra de las configuraciones estables.

Análogamente, seis imanes se pueden acomodar como pentágono centrado, o como hexágono regular. Sin embargo, se puede observar en la magnitud de la perturbación que la energía de activación necesaria para pasar del pentágono al hexágono es mayor que la requerida para pasar del hexágono al pentágono.

Siete imanes pueden acomodarse como hexágono centrado, o como heptágono regular, aunque esta última configuración no la hemos observado experimentalmente. Para ocho imanes la configuración de mínima energía es un heptágono centrado, tal como se puede observar en la figura 4; y para nueve es un heptágono con dos imanes en el centro.

Para un número mayor de imanes hay, en general, varias configuraciones posibles de equilibrio, una de las cuales será la de mínima energía y máxima estabilidad. La estabilidad de una configuración puede juzgarse según dos criterios. Según el primero, una configuración será más estable cuanto mayor sea la energía de activación necesaria para sacar a los imanes de los pozos de potencial en los que se encuentran. Según el segundo criterio, una configuración será más estable cuanto mayores sean las distancias a las que podamos alejar a los imanes de sus posiciones de equilibrio, y éstos regresen espontáneamente a sus posiciones originales. Con nuestro sistema de imanes flotantes es posible apreciar la estabilidad de una configuración, ya sea soplando sobre los imanes (*i.e.*, dándoles energía), o bien desplazando alguno de ellos de su posición de equilibrio.

Debido a la simetría radial del campo impuesto por los imanes exteriores, los imanes flotantes tienen tendencia a acomodarse en capas radiales, ocupadas por diferente número de ellos. Algunos arreglos son más simétricos que otros. Algunos de ellos son mostrados en la tabla 1.

Cuando tenemos muchos imanes, la distancia promedio entre ellos es aproximadamente la misma. Si sustituimos uno de los imanes por otro de diferente magnitud (mayor o menor), podemos ver el cambio en las distancias a su alrededor (mayor o menor). Esto es equivalente a la sustitución de un átomo impureza de diferente tamaño. Agregando muchos más, podemos simular una aleación formada por átomos de diferente tamaño.

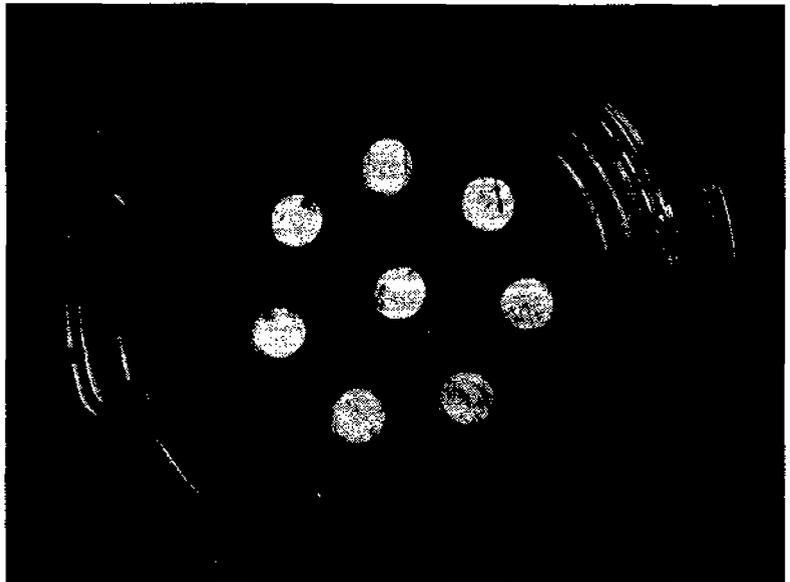


Figura 4. Configuración de equilibrio de ocho imanes flotantes.

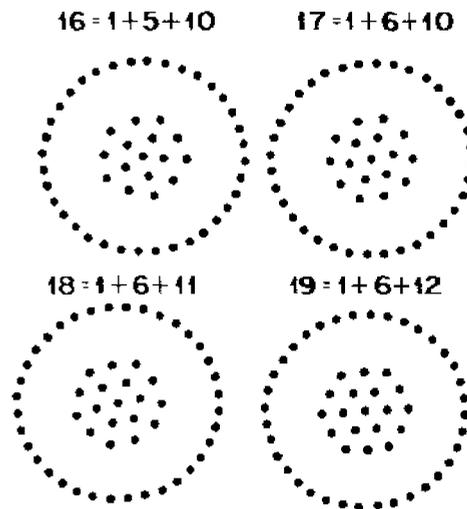


Figura 5. Posibles configuraciones de 16, 17, 18 y 19 imanes en un campo con simetría radial, dado por los 36 imanes exteriores.

Tabla 1. Número de imanes en cada capa, y número total de ellos.

Primera capa	segunda	tercera	cuarta	Total
1	6			7
3	9			12
5	10			15
1	5	10		16
1	6	12		19
1	7	14		22
1	6	12	18	37

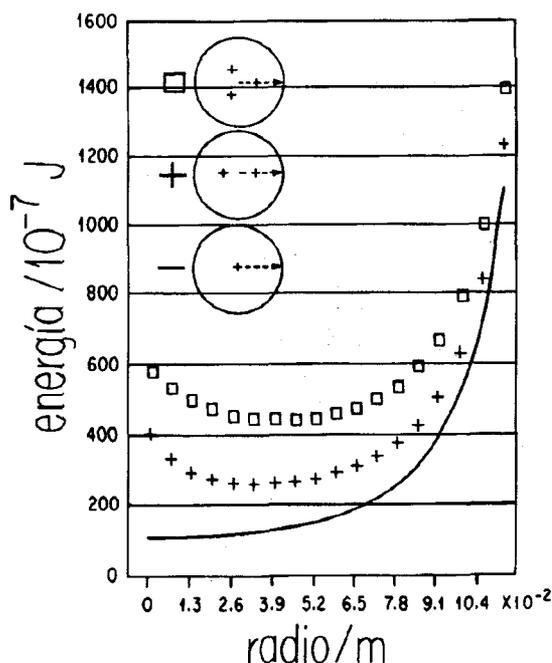


Figura 6. Energía magnética de imanes flotando, moviendo uno a lo largo de la línea mostrada en el recuadro. Un imán (línea continua), dos imanes (++++) y tres imanes (□□□□). El mínimo corresponde a la posición de equilibrio.

## 5. CÁLCULOS

Para calcular la energía de una configuración cualquiera, se requiere conocer las posiciones de los imanes y aplicar la ecuación (2) para cada pareja posible. Dado el número de imanes fijos (36) más los flotantes, es conveniente usar una computadora.

El programa de cómputo desarrollado requiere conocer el momento dipolar  $M$  de los imanes usados, el cual es igual a:

$$M = (8.37 + 0.08) \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

Este valor fue medido a partir de la fuerza de repulsión entre dos de ellos (Levin, 1984). A la computadora se le dan las posiciones de los 36 imanes fijos, y mediante el 'ratón' se coloca el número deseado de imanes flotantes, en una figura que representa al recipiente de vidrio en la pantalla del monitor de la computadora. Usando la ecuación (3) se calcula la fuerza sobre cada imán flotante, como suma de fuerzas con todas las parejas (al hacer esto estamos suponiendo que es válido el principio de superposición de fuerzas para la interacción de nuestros imanes). Se da un desplazamiento a cada imán flotante, proporcional a la fuerza vectorial sobre él, con lo que se obtienen nuevas posiciones. Este proceso se repite hasta que la fuerza sobre los imanes flotantes es inferior a un valor considerado despreciable, o sea aproximándonos a cero. Esto se conoce como el método del gradiente, ya que las partículas se mueven

siguiendo el gradiente del potencial. Dado que el desplazamiento es proporcional a la fuerza, el movimiento parece el de una partícula en un medio viscoso, simulando de modo natural el movimiento de los imanes en el agua.

Conociendo las posiciones de todos los imanes, es posible mediante la ecuación (2) calcular la energía potencial de la configuración, sea de equilibrio o no.

La figura 6 muestra cómo cambia la energía del sistema con uno, dos, y tres imanes flotando, como función de la distancia radial al centro del recipiente. Para un solo imán, se calculó para una línea radial con una inclinación  $\theta = 0^\circ$  (línea que va a dar a uno de los imanes exteriores), y para  $\theta = 5^\circ$  (línea que pasa entre dos imanes exteriores). Vemos una sola línea porque la energía es prácticamente la misma. El mínimo de la energía vale  $102 \times 10^{-7}$  J para  $r = 0$  m. Para  $r = 0.117$  m y  $\theta = 0^\circ$  la energía es de  $2054 \times 10^{-7}$  J, y para  $\theta = 5^\circ$  es de  $1905 \times 10^{-7}$  J. Los imanes fijos están en un círculo de radio  $r = 0.135$  m, y colocados cada  $10^\circ$ . La energía potencial de los imanes fijos es de  $2.344 \times 10^{-3}$  J, y no aparece en la figura. La que muestra la figura es solamente la energía de interacción entre los imanes flotantes y los fijos, más la interacción entre los flotantes. En el caso de más de dos imanes flotando, al desplazar a uno de ellos de su posición de equilibrio, los otros tienden también a moverse. Aunque es posible calcular la energía moviendo uno de los imanes, y dejando que el resto se relaje a sus nuevas posiciones de equilibrio, es difícil pensar un proceso en el que esto se pueda aplicar. En cambio, si pensamos que una partícula muy rápida colisiona con uno de los imanes, éste puede moverse a lo largo de una línea radial, dejando a los otros fijos en sus lugares. Los cálculos realizados suponen a todos los imanes fijos en su posición de equilibrio, y solamente uno de ellos desplazándose a lo largo de una línea radial, que pasa por la posición de equilibrio. De este modo la curva muestra el mínimo de energía correspondiente al equilibrio, y la distancia radial a la cual se produce. Ésas son las líneas mostradas en los recuadros de la parte superior izquierda.

En el caso de dos imanes, la coordenada de configuración que nos describe al sistema es la distancia radial del imán móvil. La energía mínima es de  $259 \times 10^{-7}$  J para  $r = 0.0325$  m. En el caso de tres imanes, conservamos fijos dos de ellos en sus posiciones de equilibrio, moviendo el tercero a lo largo de la línea radial mostrada en el recuadro. Esta distancia radial sirve como coordenada de configuración, aunque podrían definirse otras. La energía mínima es de  $440 \times 10^{-7}$  J para  $r = 0.039$  m.

La figura 7 muestra la energía para cuatro imanes flotando. La línea continua muestra un solo mínimo (con una energía de  $665 \times 10^{-7}$  J), mostrando que por ese proceso no puede lograrse la configuración de triángulo centrado. La línea hecha de cruces (+) muestra la energía de activación necesaria para que el

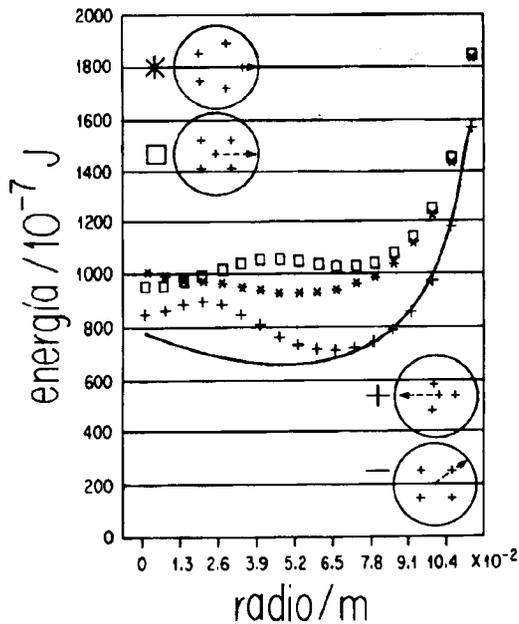


Figura 7. Energía magnética para 4 y 5 imanes flotando, suponiendo que uno de ellos se mueve a lo largo de la línea mostrada en el recuadro.

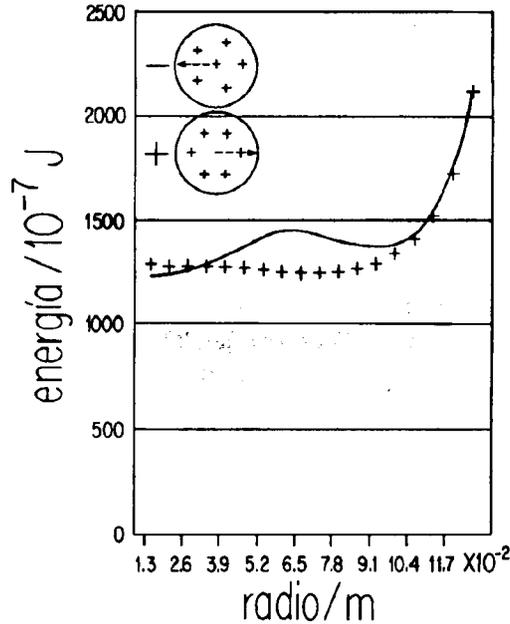


Figura 8. Energía magnética para un sistema de seis imanes flotando, suponiendo que uno de ellos se mueve a lo largo de la línea mostrada en el recuadro. Nótese la diferencia en energías de activación.

triángulo centrado se relaje en el cuadrado  $50 \times 10^{-7}$  J). En el caso de cinco imanes, la energía de activación para pasar del cuadrado al pentágono ( $100 \times 10^{-7}$  J) es mayor que para pasar del pentágono al cuadrado ( $75 \times 10^{-7}$  J). Soplando suavemente sobre el imán adecuado, podemos pasar de una configuración a la otra, usando desplazamientos radiales. El cuadrado (con un imán central) tiene una energía mínima de  $951 \times 10^{-7}$  J para  $r = 0$  m. El pentágono tiene una energía mínima de  $922 \times 10^{-7}$  J para  $r = 0.052$  m, menor que la del cuadrado.

La figura 8 muestra la energía para seis imanes flotando. El pentágono centrado tiene una energía mínima de  $1224 \times 10^{-7}$  J para  $r = 7$ . El hexágono tiene una energía mínima de  $1227 \times 10^{-7}$  J para  $r = 0.0585$  m. Vemos que aunque las energías son casi iguales, las energías de activación son completamente diferentes. Es más fácil pasar del hexágono al pentágono (energía de activación =  $40 \times 10^{-7}$  J), que el proceso inverso (energía de activación =  $225 \times 10^{-7}$  J), como puede verse soplando suavemente sobre el imán apropiado.

En lugar del círculo de imanes exteriores puede usarse una bobina por la que circule una corriente directa que produzca el campo magnético que los mantenga separados de la pared del recipiente. Modulando el campo con una componente de corriente alterna de la frecuencia adecuada, pueden observarse

los modos de vibración del sistema.

El confinamiento de las partículas puede usarse como un ejemplo bidimensional de una trampa de Paul (Wuerker, Shelton y Langmuir, 1959), con las cuales ha podido estudiarse el comportamiento de unas cuantas moléculas.

#### CONCLUSIONES

Observando el movimiento de imanes en el agua, se demuestra la tendencia de un sistema a llegar a un mínimo en la energía caracterizado por fuerza cero sobre cada imán, y una fuerza restauradora si se perturba ligeramente su posición.

Estas configuraciones de equilibrio son altamente simétricas como en los sólidos cristalinos. Permite mostrar la idea de energía de activación, y con los cálculos de computadora aclara el concepto de coordenada de configuración. Es abierto porque deja otras posibilidades a explorar. El complementar las demostraciones con programas de cómputo, permite explicar conceptos difíciles de entender sin usar ambos medios a la vez.  $\square$

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen sinceramente la ayuda recibida de Alfredo Sánchez y Jesús Armando Lara durante la elaboración de este trabajo.

### Información

Quienes deseen observar la simulación del movimiento de los imanes obtenida con el programa elaborado, pueden verla en el Museo de las Ciencias (*Universum*), en Ciudad Universitaria. Las personas interesadas pueden obtener una copia del programa (por cortesía de E. Cabrera y M. Gally) en el Instituto de Física, con H. Riveros.

### REFERENCIAS

Alonso, M. y Finn, E.J., *Fundamental University Physics*, Addison-Wesley, Reading MA, 1967.  
Arons, A.B., Developing the energy concept in introductory physics, *Phys. Teacher*, **27**, 506-517, 1989.  
Beichner, R.J., Applications of Macintosh microcomputers in introductory physics, *Phys. Teacher*, **27**, 348-353, 1989.  
Boyer, T.H., The force on a magnetic dipole, *Am. J.*

*Phys.*, **56**, 688-692, 1988.

Collings, P.J. y Greenslade, T.B., Using the computer as a laboratory instrument, *Phys. Teacher*, **27**, 76-84, 1989.

Douglas, T.B., Modification of the Born-Mayer potential function as applied to the crystalline alkali halides, *J. Chem. Phys.*, **38**, 2461-2466, 1963.

Lehmann, C., Structure and vibrational behavior of interstitial atoms in metals: An air table demonstration, *Am. J. Phys.*, **47**, 539-541, 1979

Levin, E., Magnetic dipole moment measurement, *Am. J. Phys.*, **52**, 248-250, 1984.

Lucas, P.A., Modifying Helmholtz coils to magnetically drive a small dipole, *Am. J. Phys.*, **54**, 666-667, 1986.

Wuerker, R.F., Shelton, H. y Langmuir, R.V., Electrodynamic containment of charged particles, *J. Appl. Phys.*, **30**, 342-349, 1991



### Revista Elementos



Universidad Autónoma  
de Puebla  
14 Sur 6301, CU  
Apartado Postal 406,  
72000, Puebla, Pue.



Tel. (22) 44 16 57



**Oficina:** Akzo Chemicals, S.A. de C.V.  
Insurgentes Sur 1106-7  
03720 México, D.F.  
Tels. 559.75.11 y 559.85.44  
Fax 559.40.07 Telex 1761204 Hexame

**Planta:** Km 20.7 Carr. México-Texcoco  
Los Reyes La Paz, Edo. México  
Tels. 855.29.10 y 855.28.11  
Fax. 855.58.48

**PERTENECE AL GRUPO :**

AKZO CHEMICALS, B.V.  
HOLANDA

AKZO CHEMICALS, INC.  
U.S.A.

**FABRICANTE DE ESPECIALIDADES QUIMICAS  
DE ALTA TECNOLOGIA  
PARA LAS INDUSTRIAS**

**De Plásticos y Polimerización**

Peróxidos Orgánicos  
Percarbonatos  
Azo Compuestos  
Pigmentos Dispersados para Poliester  
Película Separadora  
Persulfato de Potasio y Amonio

**De Pinturas y Tintas**

Octoatos metálicos  
Naftenatos y linoleatos  
Agentes Antinata  
Biocidas

**De Resinas**

Acido Fumárico  
Iniciadores de Polimerización  
Catalizadores de Cobalto

**De Aditivos para Alimentos**

Acido Fumárico Soluble  
Blanqueadores de Harina

**CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD - SERVICIO TECNICO**