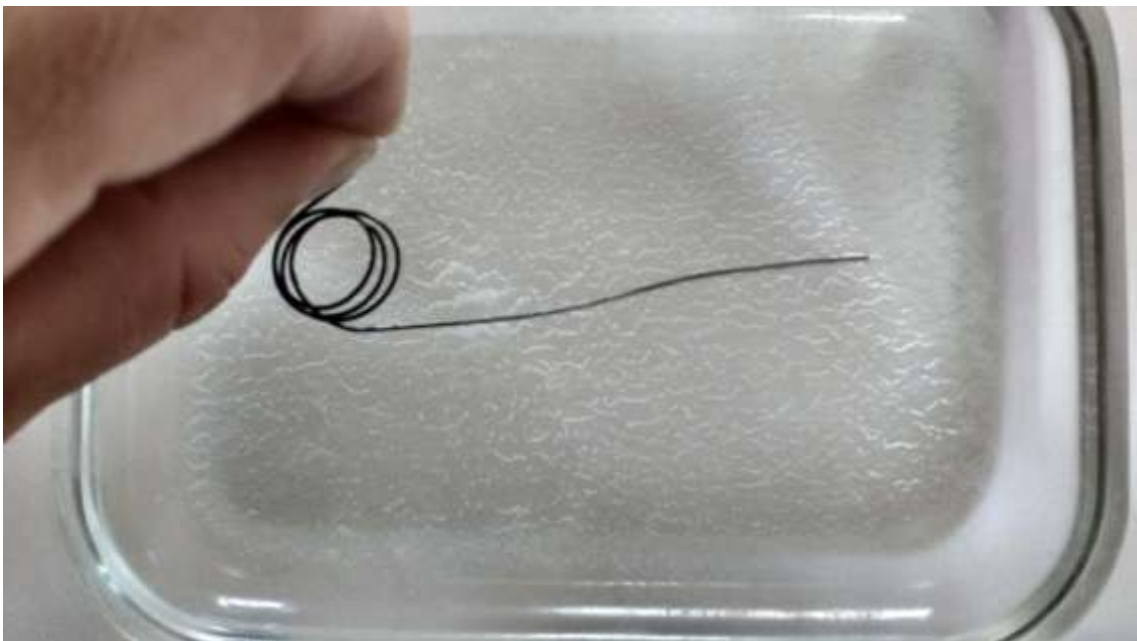


# ***ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA***

## ***El Nitinol en Acción***



*Autor: Jorge Yáñez González*

*Profesor de Física y Química en el IES Sulayr (Pitres, Granada). Actualmente trabajo en el Departamento de Educación y Formación del Parque de las Ciencias de Granada*

*E-mail: [fygenelsulayr@gmail.com](mailto:fygenelsulayr@gmail.com)*

## **RESUMEN**

La Química asociada al desarrollo de nuevos materiales está abriendo nuevas posibilidades tecnológicas al ser humano. El conocimiento de la estructura interna de la materia, y su modificación, son la clave para todos estos nuevos materiales. Desde la industria automovilística hasta la biomedicina se están beneficiando de estos nuevos avances. Uno de los ejemplos más claros son las *Aleaciones con Memoria de Forma*. En el presente artículo se muestra una de ellas, el Nitinol, junto una propuesta experimental para trabajar con él.

## **PALABRAS CLAVE**

Nitinol, Aleación, Química de materiales.

## **NITINOL: ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA**

### **Introducción**

Aunque se empezaron a conocer en la década de los años 30 del siglo pasado, los llamados materiales inteligentes son una de las aportaciones de la Química con más proyección actual en la industria (desde la biomédica a la automovilística). Pero, *¿podemos llamar inteligente a algo que no está vivo?...*

En la actualidad, el término *inteligente* se aplica a cualquier objeto o material que cumpla necesariamente estas cuatro características:

- De forma intrínseca, los materiales inteligentes poseen en su estructura físico-química sensores que les permiten reconocer determinados estímulos externos.
- Los materiales inteligentes poseen en su estructura *actuadores* que responden de una manera determinada (la diseñada por el fabricante) frente a esos estímulos externos.
- El tiempo de respuesta de un material inteligente frente al estímulo es relativamente corto.
- Cuando el estímulo desaparece, el material inteligente regresa a su estado original.

En función del estímulo frente al cual son capaces de reaccionar y de la respuesta que producen, los materiales inteligentes se clasifican en tres grandes grupos:

- *Materiales Electro y Magnetoactivos*: presentan cambios en sus propiedades frente a la presencia o aplicación de un campo eléctrico o magnético.
- *Materiales Foto y Cromoactivos*: presentan cambios en sus propiedades frente a la presencia de luz. También son aquellos materiales capaces de emitir luz bajo la influencia de algún elemento externo.
- *Materiales con Memoria de Forma*: aquellos capaces de recuperar una forma prediseñada incluso después de haber sido sometidos a deformaciones de gran intensidad.

Además, también hay materiales inteligentes capaces de dar una respuesta frente a cambios en el grado de humedad, pH, disolvente, presión, ... Su campo de actuación se está ampliando rápidamente y ahí radica la gran importancia que están tomando.

### *Aleaciones con memoria de forma*

Una aleación es una mezcla homogénea de dos o más metales, como es el caso del bronce (cobre y estaño), el latón (cobre y cinc) o la alpaca (cinc, cobre y níquel). También uno de los elementos que forma la aleación puede ser no metálico como es el caso del acero (hierro y carbono). Las propiedades físicas y químicas de las aleaciones son, en general, similares a las de los metales, sin embargo sus propiedades mecánicas tales como dureza, ductilidad o tenacidad pueden ser muy diferentes, y es ahí donde reside el interés de estos materiales.

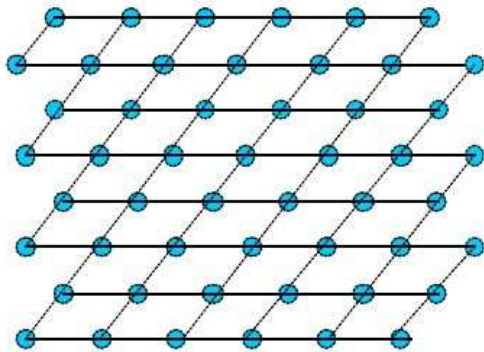
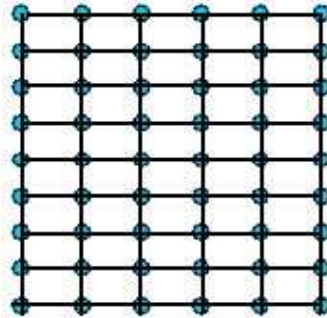
Los primeros estudios sobre *Aleaciones con Memoria de Forma* datan de la década de los años 30 del siglo XX. Estos estudios se refieren a aleaciones de oro y cadmio y también de cobre y cinc. Sin embargo, hasta la década de los años 60 de ese mismo siglo no se producirá una revolución en el estudio de la Química de Materiales con el descubrimiento del Nitinol.

En las *Aleaciones con Memoria de Forma* sus propiedades especiales se basan en la transición que se produce entre dos fases sólidas del material. La fase de baja temperatura recibe el nombre de *Martensita* y la fase de alta temperatura recibe el nombre de *Austenita*.

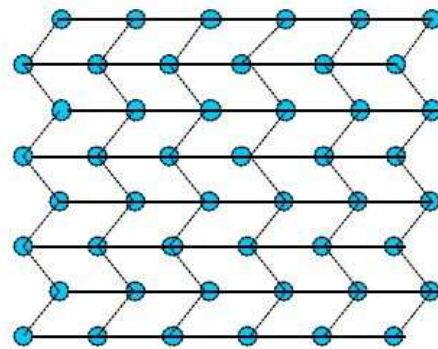
En general, las *Aleaciones con Memoria de Forma* tienden a estar en la fase *Austenita* a altas temperaturas, mientras que a bajas temperaturas tiende a estar en la fase *Martensita*. La estructura de la aleación en la fase *Martensita* consiste en una serie de planos que pueden ser desplazados, y por tanto, puede ser deformada. Cuando la aleación es calentada hasta su fase *Austenita*, los planos vuelven a desplazarse hasta sus posiciones originales y se recupera la forma inicial.

En la imagen de la página siguiente se muestra de forma esquemática, y en dos dimensiones, la transformación desde la fase *Austenita* hasta la fase *Martensita* por efecto de la temperatura. Es importante no olvidar que la red cristalina de una aleación es tridimensional, y por tanto, esto ocurre en todas las direcciones del espacio. Básicamente, se produce un deslizamiento de los planos de átomos que constituyen la aleación. Para este deslizamiento existen dos mecanismos: por desplazamiento (el cambio será irreversible) y por maclado (el cambio será reversible). Este último es el que prevalece mayoritariamente en las *Aleaciones con Memoria de Forma*.

### Fase Austenita



Fase Martensita por desplazamiento



Fase Martensita por Maclado

Desde el punto de vista microscópico, la inmensa mayoría de las propiedades de las *Aleaciones con Memoria de Forma* son diferentes en sus dos fases. Esto hace que según se va produciendo el paso de una a otra no solo cambie su estructura sino también otras propiedades como la elasticidad o la resistencia a la corrosión. Como se ha indicado, el cambio de temperatura es el responsable del cambio de fase. Pero es importante indicar que este cambio de temperatura no se produce a un valor determinado sino dentro de un rango de temperatura que, en general, establece el fabricante en función de las características que se quiere que posea la *Aleación con Memoria de Forma*.

Entre las *Aleaciones con Memoria de Forma*, podemos destacar:

- Las que tienen como base al níquel y al titanio. Reciben el nombre genérico de Nitinol y presentan grandes propiedades mecánicas como ductibilidad, estabilidad térmica o resistencia a la corrosión.
- Las que tienen como base el cobre. Tienen la ventaja de ser más baratas y soportan un mayor rango de temperaturas.

- Las que tienen como base el platino. Son las que están centrando las investigaciones en la actualidad por su alta biocompatibilidad. Ejemplos son  $Pt_3Al$  o  $Fe_3Pt$ .

Son amplias las aplicaciones de las *Aleaciones con Memoria de Forma*. Por ejemplo, en un aparato de ortodoncia, se le imparte a alta temperatura (fase *Austenita*) la forma curva que se desea sigan los dientes. Después, a baja temperatura (fase *Martensita*), cuando el metal es flexible, se moldea de modo que se ajuste a la boca del paciente que va a utilizarlo. Cuando se inserta el aparato en la boca y se calienta a la temperatura del cuerpo, el metal pasa a la fase rígida y ejerce una fuerza contra los dientes al tratar de recuperar su forma original.

Otras aplicaciones de las *Aleaciones con Memoria de Forma* son: conexiones herméticas para conducciones hidráulicas y neumáticas, sistemas de control mecánico, activadores eléctricos y térmicos o en procesos especiales de soldadura. Por sus propiedades de superelasticidad también se emplean en monturas de gafas y antenas móviles. También por esta propiedad de superelasticidad, estas aleaciones se utilizan en dispositivos de cirugía no invasiva y biomedicina, ya que permiten generar grandes deformaciones en el material que se recuperan cuando se elimina la carga. Esta propiedad posibilita aplicaciones en dispositivos como las prótesis tubulares que restablecen la capacidad de flujo de cualquier conducto corporal afectado por un estrechamiento.

### ***El nitinol, un ejemplo de Aleación con Memoria de Forma***

Entre 1961 y 1962, el ingeniero naval William J. Buechler estaba trabajando en el Laboratorio Naval de Ordnance en la búsqueda de una aleación óptima para la fabricación de los conos de punta del misil SUBROC. Finalmente, encontró una aleación de níquel y titanio con las propiedades deseadas: alto punto de fusión y una gran resistencia al impacto. Casi jugando con esta aleación, William J. Buechler descubrió que si golpeaba una barra fría contra el suelo se producía un sonido sordo. Por el contrario, si calentaba la barra y volvía a golpearla el sonido era más parecido al de una campana. El ingeniero naval sabía que la propagación del sonido en un metal está directamente relacionada con su estructura. Por tanto, la aleación de níquel y titanio debería presentar estructuras distintas a distintas temperaturas. Había nacido el Nitinol: *Níquel, Titanio, Navy Ordnance Laboratory*.

Sin embargo, William J. Buechler no descubrió que esta nueva aleación poseía memoria de forma. Raymond Willer, que formaba parte del grupo de trabajo de Buechler, hizo una demostración de la gran flexibilidad del Nitinol frente a un grupo de directivos de la empresa. Uno de ellos, David Muzzey, decidió ver qué ocurría cuando un hilo de Nitinol se sometía a la acción del calor. Para ello, tomó el mechero que utilizaba para fumar en pipa y calentó el hilo. Ante la sorpresa de todos, el hilo recobró su forma original. El interés por esta nueva sustancia química tomó una dirección completamente nueva.

En general, los componentes fabricados con *Aleaciones con Memoria de Forma*, como el Nitinol, son alambres, tubos, flejes, barras, láminas, etc. y siguen los mismos pasos de fabricación. Primero se alean en vacío, es decir, en un ambiente sin oxígeno y completamente inerte; se trabajan en caliente y posteriormente se trabajan en frío. Por último, nuevamente se tratan en caliente para finalizar el proceso de adiestramiento y conseguir las propiedades finales.

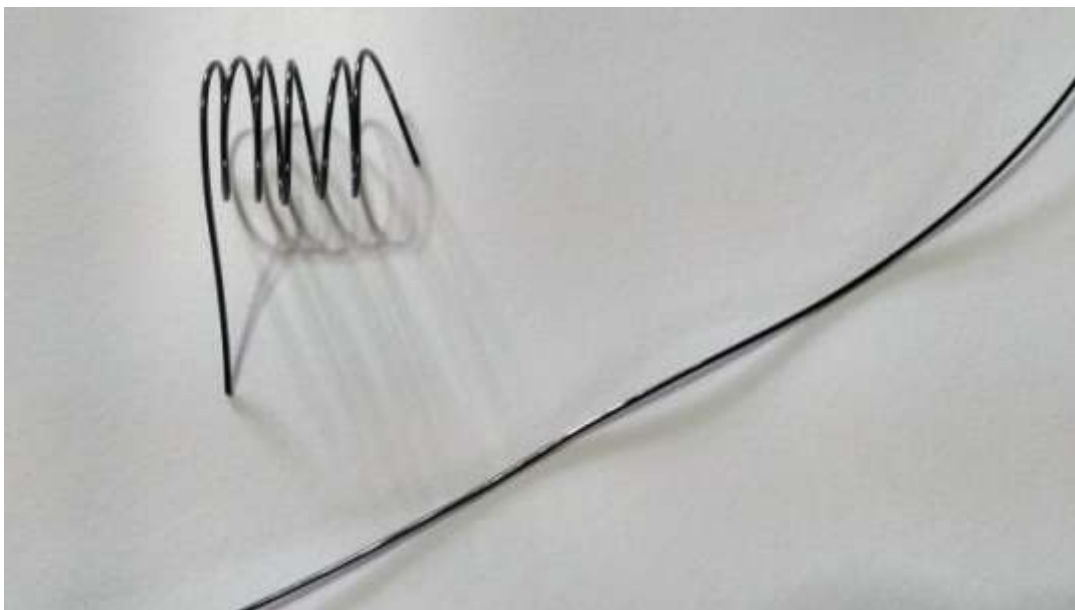
En el caso del Nitinol la transición entre sus dos formas, *Austenita* y *Martensita*, se produce entre 30° y 50°C. Como la estructura en forma *Martensita* está constituida por una serie de planos que pueden ser desplazados, puede ser deformada. La estructura *Martensita* tiene 24 variantes posibles para realizar esta transformación, y por ello, puede ser deformada prácticamente en cualquier dirección. Cuando la aleación se calienta, y vuelve a su forma *Austenita*, los planos se deslizan de nuevo hasta sus posiciones y la estructura vuelve a su forma original. De esta forma el Nitinol parece “recordar” su forma original.

#### ***Una propuesta de trabajo experimental: El Nitinol en acción***

Puede verse un vídeo de todo el proceso experimental en la siguiente dirección:

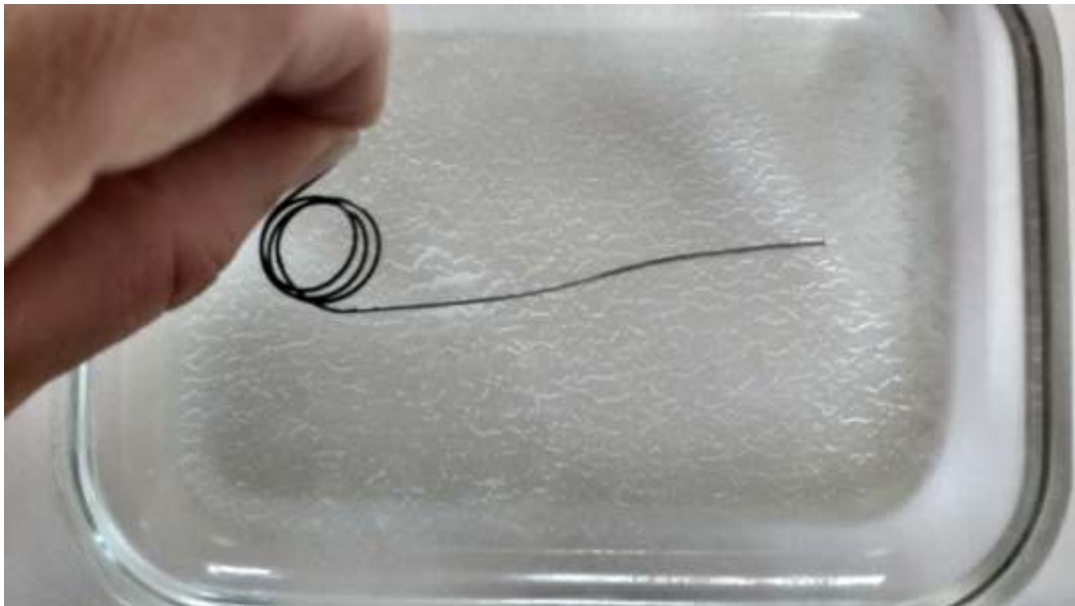
<https://www.youtube.com/watch?v=jr8SN7hLna4>

El Nitinol es un material fácil de adquirir y a un precio relativamente asequible. Además, por sus propias características físico-químicas puede volver a ser usado de forma aceptable durante un tiempo relativamente elevado. En general, la forma más común de adquirirlo en el mercado es en forma de hilo (0,5 mm de diámetro) y sin forma preestablecida, es decir, lineal.



En primer lugar, se toma un hilo de Nitinol y se observa la facilidad que presenta a la deformación manteniendo la forma. Como se observa en la figura de la página anterior, partiendo de un hilo recto se puede moldear la figura deseada (en este caso, un muelle). En estos momentos, el Nitinol se encuentra en la fase *Martensita*, es decir, los planos de átomos pueden desplazarse, y por tanto, ser deformados (en nuestro caso, como muelle).

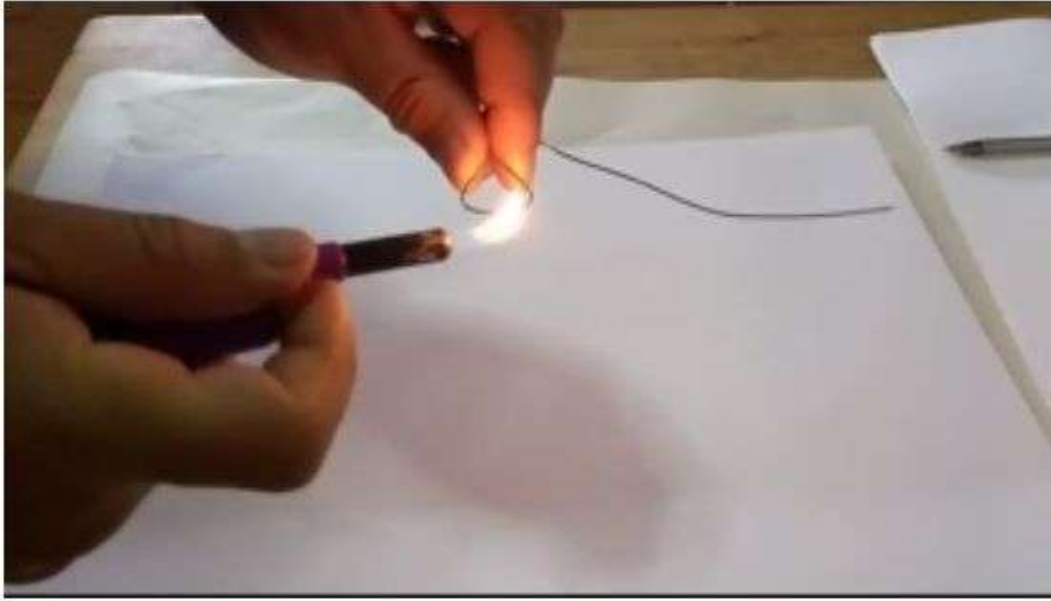
Como la temperatura de transición es relativamente baja (30 -50 °C), un recipiente con agua caliente nos servirá para poner de manifiesto el efecto memoria. Llenamos el recipiente con el agua caliente, introducimos lentamente nuestro muelle de Nitinol y observamos cómo éste se va “deshaciendo” a una forma rectilínea según lo sumergimos. En estos momentos, por efecto del calor, el Nitinol se encuentra en la fase *Austenita* y “recuerda” su estructura inicial volviendo a ella por desplazamiento de los planos de átomos. Al enfriarse, pasa a la fase *Martensita* pero manteniendo la estructura lineal.



En la imagen superior puede observarse como el alambre de Nitinol recupera de forma paulatina su forma original según se va introduciendo en el agua caliente.

Sin embargo, la utilidad de esta *Aleación con Memoria de Forma*, o de cualquier otra, sería muy limitada si únicamente pudiéramos trabajar con hilo rectos. Si queremos que el alambre de Nitinol mantenga cualquier otra estructura la forma de operar es bastante sencilla. Basta con acercar el hilo de Nitinol a una llama (vela, mechero,...). Cuando se observa que disminuye la resistencia del hilo, por efecto del calor, se moldea a la forma deseada (fase *Austenita*) que se mantendrá cuando se enfríe (fase *Martensita*).





Como se ha indicado, una vez moldeado se deja enfriar. Ahora, la fase *Austenita* estará dispuesta en la forma que se desea y será la que se recupere frente a un foco de calor. A baja temperatura, podemos volver a deformar la fase *Martensita*, y por acción del agua, volver a recuperar la estructura diseñada.

En el siguiente conjunto de imágenes se observa la nueva estructura del hilo de Nitinol, su deformación y la recuperación de su forma tras ser introducido en un recipiente con agua caliente.



#### ***Notas sobre el procedimiento***

- A mayor temperatura del agua, por encima de 50°C, el cambio de fase se producirá de forma más rápida.
- El cambio de fase puede observarse también con otras fuentes de calor como un mechero o una estufa de aire caliente.
- La transición de fase puede observarse conectando el alambre a una batería de 9 V. El cambio también es rápido y es una forma de poner de manifiesto el Efecto Joule en una corriente eléctrica.

### ***Notas de seguridad***

- Las propias de trabajar con fuentes de calor: agua o mechero.

### ***Bibliografía***

- “Química. La ciencia central”. Brown, LeMay y Bursten. Novena Edición. Editorial Pearson Educación.

### ***Webgrafía***

- <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6863/07Sf107de14.pdf?sequence=7>
- [http://www.metalactual.com/revista/15/aleaciones\\_con\\_memoria.pdf](http://www.metalactual.com/revista/15/aleaciones_con_memoria.pdf)
- <http://nptel.ac.in/courses/112107088/module1/lecture34/lecture34.pdf>