

Actuadores de nitinol aplicados en la mimetización del sistema de propulsión de peces con median paired fin

Giorgio Mackenzie Cruz Martínez¹

Juan Carlos Ávila Vilchis¹

Adriana H. Vilchis González¹

RESUMEN

Este artículo presenta una propuesta original para diseñar actuadores empleando una aleación con memoria de forma *shape memory alloy* conocida como *nitinol*. La aplicación se centra en el uso de estos actuadores en un robot que mimetiza a los organismos poseedores de aletas de locomoción tipo *median paired fin*.

Palabras clave: aleación con memoria de forma, locomoción median paried fin, materiales inteligentes, nitinol, actuadores.

ABSTRACT

In this paper an original actuator design is presented using a particular shape memory alloy called *nitinol*. The application is focused on the use of these actuators in a robot that mimetize some organisms having median paired fin as locomotion system.

Key words: shape memory alloy, median paried fin locomotion, intelligent materials, nitinol, actuators.

¹ Facultad de Ingeniería, UAEM. giorgio_x_@hotmail.com, jc.avila.vilchis@hotmail.com, hvigady@hotmail.com

El hombre, al intentar emular a los organismos que se encuentran en la naturaleza, abrió la puerta a la robótica como disciplina formal, la cual se ha especializado conforme se han sofisticado los conocimientos y se han particularizado sus aplicaciones. Esta revolución tecnológica es impulsada por la necesidad de contar con máquinas eficientes que hagan más rápido y de mejor manera aquellos trabajos monótonos y peligrosos, que transporten productos rápidamente y de forma segura, que lleguen a lugares lejanos, pequeños o, incluso, a los que están dentro del cuerpo humano para que realicen tareas delicadas y de precisión. Para lograrlo se ha hecho uso del ingenio humano y de materiales resistentes, livianos y de alta durabilidad para sustituir huesos, tendones, músculos y/o piel; con ello, se han implementado mecanismos (robots) que realizan eficientemente las tareas para las que han sido diseñados.

Aunque en las últimas décadas existe un crecimiento exponencial en cuanto a descubrimientos y avances tecnológicos relacionados con la robótica, aún no se ha podido igualar la destreza de los humanos al caminar, de las aves al volar o de los peces al nadar, por mencionar sólo algunos campos de aplicación. Estas brechas podrán cerrarse en la medida en que se resuelvan los problemas considerados como abiertos de la robótica y dentro de los que se pueden mencionar tres de los más significativos: 1) las fuentes de energía compactas de alta duración; 2) los músculos sintéticos ligeros y durables, fabricados de materiales inteligentes que desplacen a motores y actuadores neumáticos e hidráulicos, y 3) la redundancia sensorial que permite el diseño de sistemas tolerantes a fallas. Para esto son importantes los trabajos de investigación; además, se vuelve necesario romper los paradigmas acerca de materiales y tecnologías convencionales para dar paso a nuevas tendencias que, en algunos años, puedan modificar favorablemente el funcionamiento de los robots.

Este trabajo considera aspectos de mimetización de organismos vivos y el empleo de materiales inteligentes como actuadores. El primero se enfoca en la forma en que se desplazan los organismos subacuáticos que utilizan las aletas median paired fin (MPF) como locomoción, dentro de los que se encuentran todos los peces rayiformes y algunos moluscos. Existen trabajos que han empleado diferentes tecnologías para lograr el objetivo mencionado: desde arreglos mecánicos con servomotores, hasta materiales con memoria de forma, como polímeros electroactivos (Low, 2009).

Para el segundo aspecto se seleccionó el nitinol, un material inteligente dentro de las aleaciones con memoria de forma. Este material es barato y se conocen sus especificaciones técnicas, lo que permite obtener parámetros de diseño y no hacer una caracterización exhaustiva; aunque, a pesar de tener varios años en el mercado, no se ha consolidado como un reemplazo de actuadores convencionales; sin embargo, su aplicación en robótica es viable para sistemas de control de bajo costo (Peirs, Reynaerts & Brussel, 2001).

Los materiales inteligentes activos o multifuncionales son capaces de responder de modo reversible y controlable ante diferentes estímulos externos, físicos o químicos, modificando alguna de sus propiedades. Por su sensibilidad o actuación, estos materiales pueden ser utilizados para el diseño y desarrollo de sensores, de actuadores y/o de productos multifuncionales. Las nuevas tecnologías, como la microelectrónica, y la posibilidad de diseñar y sintetizar estructuras orgánicas poliméricas con propiedades activas predefinidas permiten entender las aplicaciones y resaltar las propiedades de este tipo de materiales (Matellanes, Cuevas, Clemente & Allué, 2003).

Existe una importante diversidad en las arquitecturas de robots cuya intención es mimetizar el tipo de nado de los organismos que presentan aletas MPF. El objetivo de este trabajo es diseñar un robot acuático que contenga actuadores de nitinol que permitan el movimiento de aletas MPF, las cuales proporcionarán el sistema de locomoción del robot. Para esto es necesario realizar una serie de consideraciones que delimiten el prototipo, por lo que es importante definir aspectos dimensionales y de forma del robot, así como la configuración de sus actuadores y los grados de libertad que permitirán que la aleta genere un movimiento.

La propuesta incluye un sistema electrónico formado por una interfaz teleoperada (módulo de comunicación) y el sistema de control (mando y potencia). El sistema está constituido de dos partes: un sistema mecánico y un sistema electrónico, siendo únicamente el primero el que se discute en este artículo.

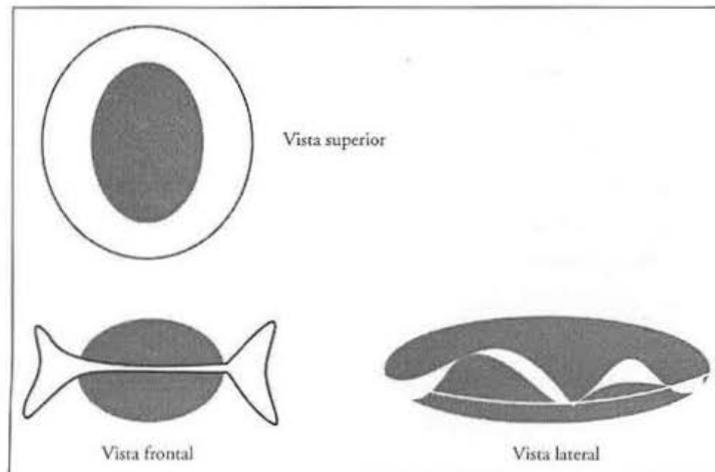
PROPUESTA DEL SISTEMA MECÁNICO

Las características siguientes son consideradas en todos los sistemas que mimetizan organismos que utilizan las MPF como medio de locomoción:

- La forma hidrodinámica que poseen estos organismos (sepia, lenguado y mantarraya) se logra al mantener sus cuerpos comprimidos en la parte superior e inferior; al ser vistos desde arriba, lucen con una forma elíptica.
- La ubicación de las aletas que se encuentran a los costados y a todo lo largo del organismo pueden tener distintos contornos mediante los cuales es posible generar una onda aproximadamente sinusoidal en ambas aletas. Este movimiento es el causante de su propulsión.

Así se definen en forma general los organismos con MPF, que corresponde a la constitución que tienen los robots que los mimetizan, como se ilustra en la figura 1.

Figura 1
FORMA DE LOS ORGANISMOS QUE UTILIZAN LOCOMOCIÓN CON ALETAS
MEDIAN PAIRED FIN

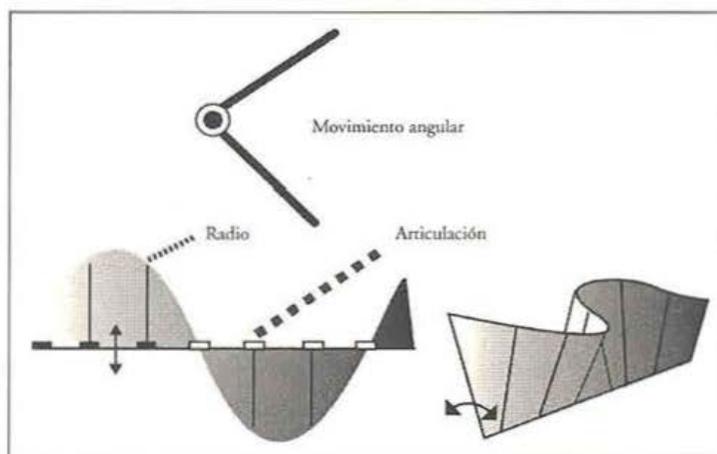


La estructura fisiológica que permite el movimiento de las aletas depende de cada organismo. Por ejemplo, en los moluscos (sepias y calamares), los músculos que generan la ondulación están dentro de la aleta, moviéndose por cambios de presión en el fluido que se encuentra dentro de ellos.

En el caso de los peces, como algunas rayas y los peces cuchillo, las aletas están formadas por radios rígidos, interconectados por una membrana. Su movimiento se da a través de los músculos que se encuentran en el cuerpo del pez y se unen en la base de dichos radios. Este punto actúa como pivote de la articulación con los ejes vertical y horizontal. Los radios tienen dos ángulos de giro, como se muestra en la figura 2.

La propuesta de locomoción del robot tiene la forma de los organismos que poseen MPF y se enfoca en las aletas formadas por radios rígidos movidos por músculos articulados en su base. Dando seguimiento a los trabajos de Punning, Mart, Maarja y Alvo (2004) y Yamamura, Takagi, Luo, Aska y Hayakawa (2005), la aleta se dividirá en ocho partes, cada una correspondiente a un radio que estará limitado a un único grado de libertad, suficiente para lograr la propulsión (figura 2).

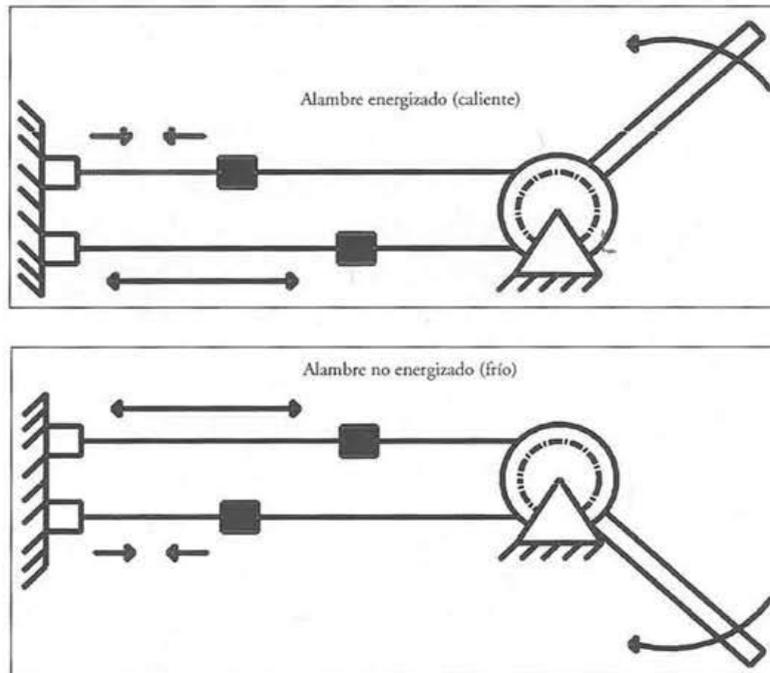
Figura 2
MOVIMIENTO ONDULATORIO PARA ALETAS MPF
CON RADIOS RÍGIDOS LIMITADOS A UN GRADO DE LIBERTAD



El actuador se basa en un alambre de nitinol comercial con una longitud de 1 m de largo y un grosor de 0.00152 m. De acuerdo con las especificaciones técnicas, su trabajo útil es de 0.5% de la longitud total para garantizar 100 000 ciclos de trabajo con una carga de 330 gr. Esto significa que es posible obtener una longitud de carrera de 5 cm por cada metro de longitud.

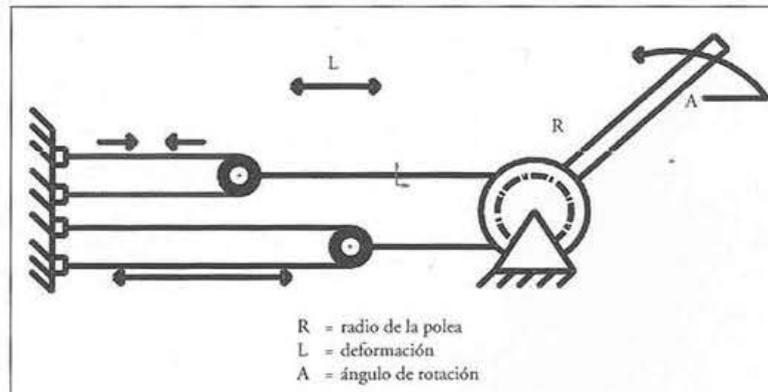
El actuador funciona mediante dos alambres que se desempeñan en forma antagónica; mientras uno trabaja a tensión, el otro trabaja a compresión. Ambos alambres están colocados en forma paralela y están unidos, a través de una polea que representa el punto de giro y de apoyo, al radio que formará la aleta (pivote). Esta configuración simula la composición de los músculos y articulaciones en los peces. La figura 3 muestra los dos alambres sujetos en cada uno de sus extremos y conectados entre sí por medio de una banda montada en una polea fija. También aparece el estado energizado en que se encuentra uno de los alambres –trabajo a compresión–, mientras que el otro está en estado de tensión, con lo que se obtiene un movimiento angular en la polea.

Figura 3
ACTUADOR DE NITINOL EN TRABAJO ANTAGÓNICO



Esta primera configuración requería que el cuerpo del robot tuviera la longitud del alambre actuador, por lo que fue necesario buscar una distribución más eficiente para su empaquetamiento. Para reducir el espacio, se diseñó un sistema de poleas en las cuales el alambre pudiera correr libremente durante su contracción y elongación, siendo la parte media de la longitud de dicho alambre el punto donde se conecta, mediante una banda, a otro alambre, logrando el movimiento antagónico, como se puede observar en la figura 4.

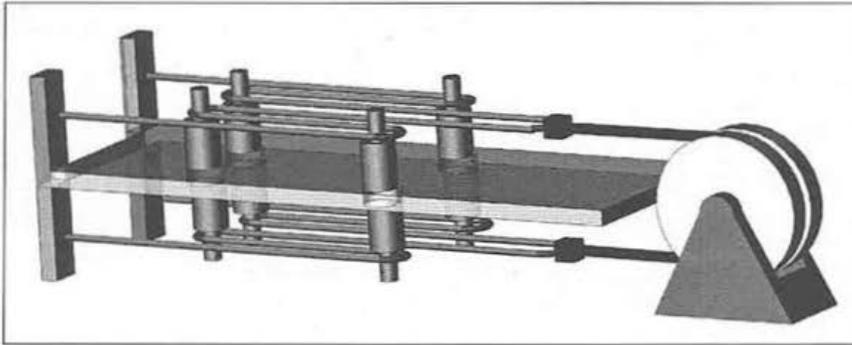
Figura 4
CONFIGURACIÓN EN ANTAGONISMO CON SUJECCIÓN EN LOS EXTREMOS



Partiendo del ensamble anterior se logra reducir el espacio que ocupa el alambre actuador con varios dobleces montados sobre una serie de poleas y se tiene como ventaja el calibre del mismo. Se propone, así, la arquitectura que se muestra en la figura 5.

Figura 5

SISTEMA DE POLEAS PARA REDUCIR ESPACIO EN EL EMPAQUETAMIENTO DEL ACTUADOR

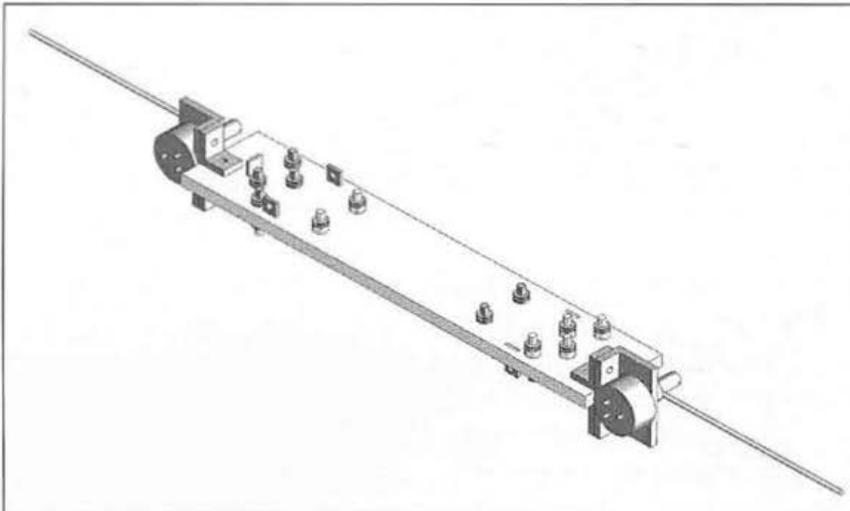


Por las condiciones de diseño de un robot rayiforme, se necesita que las aletas sean simétricas con su eje vertical, lo que significa que debe existir un radio derecho y uno izquierdo, cada uno con su respectivo actuador.

El actuador simétrico que permitirá el movimiento de los dos radios (derecho e izquierdo) está integrado por cuatro alambres de nitinol dispuestos en dos pares antagonistas, unidos por una banda que transmitirá el movimiento a la polea, que, a su vez, será la base del radio de la aleta. Los alambres actuadores estarán montados en una serie de poleas en diferentes niveles, de tal forma que no haya obstrucción al momento de elongarse y de contraerse, como se detalla en la figura 6.

Figura 6

ACTUADOR SIMÉTRICO

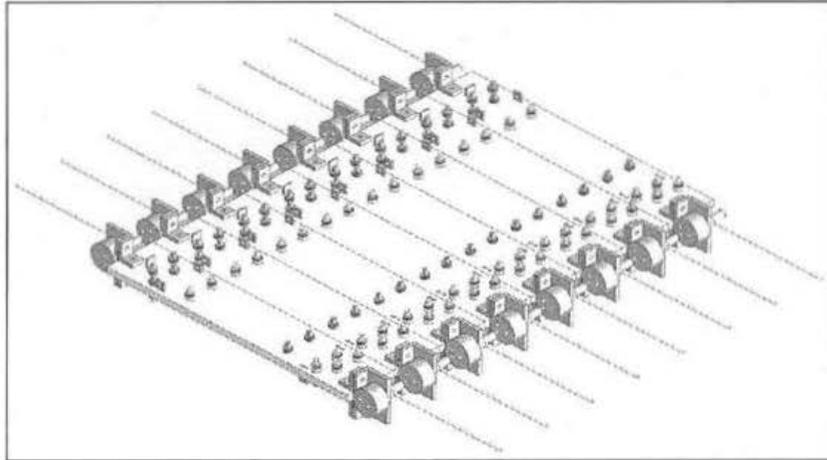


Para calcular el radio de la polea por la que pasa la banda que une a los alambres de nitinol, se consideraron dos datos de diseño: la deformación del alambre en forma lineal y la cantidad de movimiento de la aleta (ángulo de giro) (ver figura 4). La medición de la deformación se obtuvo de un encoder lineal acoplado y el resultado fue de 17 mm a 19 V. El rango de movimiento se propone de $\pm 60^\circ$, obteniéndose un radio de la polea de 6.49 milímetros.

Los actuadores simétricos son el elemento más importante de la propuesta mecánica del robot, ya que ocho de ellos en serie le dan forma y brindan la estructura que soporta a todas las partes y módulos que incluye el sistema. El ensamble se muestra en la figura 7.

Figura 7

DIAGRAMA QUE ILUSTRAR LA UTILIZACIÓN
DE TODOS LOS ACTUADORES PARA DAR FORMA AL ROBOT

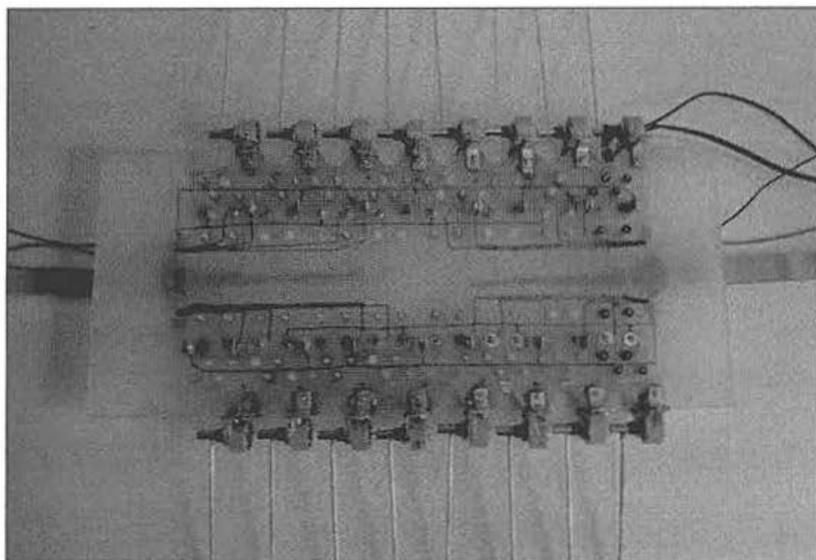


El prototipo desarrollado (figura 8) fue maquinado sobre una lámina de polipropileno de alta densidad y de 6 mm de grosor. También se observa el juego compuesto de ejes y poleas maquinados en Nylamid, y los sujetadores de los alambres nitinol y sensores que fueron fabricados a partir de aluminio AL16. Además, se aprecia el ensamble de los ejes concéntricos a las poleas mayores; estos ejes forman parte, al mismo tiempo, del sensor de posición, que se encarga de medir el desplazamiento angular de los radios que formarán las aletas del pez.

77

Figura 8

PROTOTIPO DEL ROBOT SUBACUÁTICO ARMADO CON LOS ACTUADORES SIMÉTRICOS



CONCLUSIONES

Se ha presentado una propuesta para utilizar alambres de nitinol en el diseño de actuadores para la mimetización del sistema de locomoción de un pez tipo raya con MPF. El actuador simétrico permite implementarse de forma modular dando paso a mecanismos más complejos. Las primeras pruebas muestran el sistema electrónico que ha permitido obtener un rango de movimiento de $\pm 60^\circ$ a una frecuencia de 0.1 Hz. Aunque se han realizado pruebas experimentales, éstas serán reportadas en otro artículo; sin embargo, se ha logrado reproducir el movimiento de un median paired fin.

Dentro de los trabajos futuros se encuentra el diseño de la capa que cubrirá los sistemas mecánico y electrónico, que permitirá al robot pez raya realizar pruebas en un medio acuático, así como la generación de la onda sinusoidal que garantizará su desplazamiento.

REFERENCIAS

- Low, K. H. (2009). Modelling and parametric study of modular undulating fin rays for fish robots. *Mechanism and Machine Theory*, 44, 615-632. Recuperado el 5 de septiembre de 2010, de <http://www.cadfamily.com/download/Standard/Robot/Modelling%20and%20parametric%20study%20of%20modular%20undulating%20fin%20rays%20for%20fish%20robots.pdf>
- Matellanes, L., Cuevas, J. M., Clemente R. & Allué, S. (2003). *Materiales y estructuras inteligentes*. Recuperado el 19 de enero de 2010, de <http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=2971>
- Peirs, J., Reynaerts, D. & Van Brussel, H. (2001). The 'true' power of SMA micro-actuation. *Proceeding of the 12th Micromechanic Europe Workshop MME 2001*. Cork, Ireland, 217-220. Recuperado el 5 de septiembre de 2010, de www.mech.kuleuven.be/micro/pub/sma/Paper_MME_2001.pdf
- Punning, A., Mart, A., Maarja, K. & Alvo, A. (2004, septiembre). Towards a biomimetic EAP robot. *Proceeding of TAROS 2004: Towers Autonomous Systems Systems*, University of Essex. Recuperado el 20 de agosto de 2010, de http://www.netbell.ee/anton_etal_camera_ready4.pdf
- Yamamura M., Takagi, K., Luo, Z. W., Aska, K. & Hayakawa, Y. (2005, junio). Aquatic locomotion robot using IPMC. *WorldWide ElectroActive Polymers (Artificial Muscles) Newsletter*, 7(1), 20-22. Recuperado el 13 de agosto de 2010, de <http://eap.jpl.nasa.gov/>