



Evaluación, análisis y aplicaciones
mecatrónicas de alambres musculares.

Evaluation, analysis and mechatronic
applications of muscle wires

Miguel Ángel Barrón-Castelán¹, Roberto Alemán-Alemán¹, José
Federico Chong-Flores¹, Samuel Mar-Barón¹, Mario Gómez-García¹

¹ Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.

Recibido: 12-11-2017

Aceptado: 07-12-2017

Autor corresponsal: Miguel Ángel Barrón-Castelán miguel.barron@itcm.edu.mx

DOI: 10.63728/riisds.v3i1.303

Resumen

En este trabajo, se realizó la evaluación de los denominados alambres musculares de diversos calibres, experimentando las corrientes mínimas que causan una deformación, ya sea contracción o dilatación en su longitud; así como las corrientes máximas a las cuales ya no hay una respuesta en este sentido o inclusive su destrucción permanente. Posteriormente a esta evaluación y análisis del comportamiento de los alambres musculares se experimentó con dos diferentes modelos mecánicos básicos; con la intención de simular el comportamiento motriz de ciertas partes del cuerpo; que aunque electrónicamente son sencillos, requieren un correcto análisis del comportamiento y comprensión de los sistemas a emular; obteniéndose hasta una carga máxima de un poco más de 400 gramos con arreglos de alambres musculares; de tal manera que, se puede concluir que los alambres musculares pueden ser utilizados en sistemas mecatrónicos en la industria del entretenimiento, o quizás como parte del diseño de manos robóticas siempre que no se requiera sostener o transportar mayor peso del que el arreglo de alambres musculares pueda soportar.

Palabras clave:

Alambres musculares, robot, modelos.

Abstract:

In this research, the evaluation of so-called muscle wires of various calibers was performed, experiencing the minimum currents that cause a deformation, either contraction or dilation in its length; as well as the maximum currents to which there is no longer any response in this sense or even its permanent destruction. After this evaluation and analysis of the behavior of the muscle wires, we experimented with two different basic mechanical models; with the intention of simulating the motor behavior of certain parts of the body; Although electronically they are simple, they require a correct analysis of the behavior and understanding of the systems to be emulated; obtaining up to a maximum load of a little more than 400 grams with arrangements of muscular wires; in such a way that, it can be concluded that the muscle wires can be used in mechatronic systems in the entertainment industry, or perhaps as part of the design of robotic hands whenever it is not required to hold or carry more weight than the arrangement of muscle wires can bear.

Key words:

Muscle wires, robot, models.

Introducción

López. (2013) afirma. “El Nitinol es una aleación equiatómica de níquel-titanio, que tiene la capacidad de reducir su dimensión longitudinal cuando se calienta. Pertenece al grupo de aleaciones con memoria de forma (Shape Memory Alloys; SMAs” (p. 36). Por lo tanto al contar con esta característica de contraerse bajo un

incremento de temperatura, a los alambres fabricados con Nitinol, también se les conoce como alambres musculares, debido al comportamiento semejante al de un músculo. Cuando este se encuentra por debajo de la temperatura de transición, tiene un límite elástico muy bajo y puede ser deformado con bastante facilidad en cualquier forma nueva que se requiera sin presentar algún daño permanente o degradación del mismo. Si la aleación es calentada sobre su temperatura de transición, experimentará un cambio en la estructura cristalina que lo llevará a retomar su forma original. Durante este proceso de recuperación de forma, el material genera fuerzas muy grandes, esto provee un mecanismo único para el accionamiento remoto.

Esta aleación presenta particularmente, muy buenas propiedades eléctricas y mecánicas, resistencia a la fatiga y resistencia a la corrosión. Usado como actuador es capaz de hasta un 10% (5% recomendable) de recuperación de tensión y en cuanto al estrés de restauración soportado es de 50,000 psi con muchos ciclos de trabajo óptimo (GILBERSTON 2013). Por ejemplo, un alambre de Nitinol con un diámetro de 0.020" (508µm), es capaz de soportar hasta 16 libras (7.25 Kg), capacidad considerable para el grosor del cable. Este material se comporta como una resistencia, esto hace posible que pueda ser accionado eléctricamente por el calentamiento generado debido al efecto Joule.

Normalmente estas aleaciones están diseñadas para trabajar a temperatura ambiente (alrededor de 20°C), por esta razón comercialmente se manejan dos temperaturas de transición, la de baja temperatura a 70°C (LT-Low Temperature) y alta temperatura 90°C (HT-High Temperature). Tanto las propiedades de memoria de forma y la superelasticidad que presenta el Nitinol, son debido a la transformación martensítica termoelástica entre la fase de austenita y una fase martensita. El conjunto de estas propiedades hace de este material capaz de recuperar una forma predeterminada sin sufrir una deformación permanente, además puede ser deformado elásticamente hasta un ocho o diez por ciento. También es una aleación muy resistente a la corrosión, presenta buena biocompatibilidad (Interacción entre un sistema biológico vivo y un material introducido en este) y una buena citotoxicidad.

El Nitinol tiene las siguientes propiedades: transformación martensítica termoelástica, memoria de forma simple, memoria de forma doble, superelasticidad, pseudoelasticidad y capacidad de amortiguamiento (Castillo 2011). El alambre muscular se activa con un nivel de corriente específico, por esto es necesario tener un circuito de control adecuado para la aplicación en la cual se planea usar el alambre muscular, el cual debe tener una fuente de poder y un sistema de control. El objetivo general de esta investigación es estudiar el comportamiento de los alambres musculares así como analizar sus posibles aplicaciones en el campo de la mecatrónica y de manera más minuciosa se pueden mencionar como objetivos específicos, los siguientes: analizar el comportamiento y desempeño de los alambres musculares, registrar los resultados obtenidos, determinar los rangos de operación de los alambres musculares y diseñar mecanismos capaces de emular el comportamiento del sistema locomotor humano, así como lograr el máximo aprovechamiento de la movilidad presentada por los alambres musculares, siempre buscando emular un comportamiento lo más aproximado a lo orgánico.

Materiales y Métodos

Existen actualmente una amplia gama de aleaciones con memoria de forma (o SMA, por sus siglas en inglés), cada una cuenta con propiedades particulares, pero todas compartiendo la característica que les permite recobrar su forma. De estas aleaciones la más común comercialmente, es la fabricada con níquel y titanio (Ni-Ti), nombrada NITINOL. (Dynalloy.Inc, 2012). Se comercializa en forma de alambres bajo el nombre de Flexinol, más comúnmente llamados alambres musculares, debido a su capacidad elástica y de contracción que presentan. Por lo tanto el primer paso que se ha de realizar es la comprobación de los parámetros de interés del material. El kit consiste en diez cables presentados en cinco calibres diferentes: 037 μm , 050 μm , 100 μm , 150 μm y 250 μm en los dos diferentes tipos que ofrecen: de alta temperatura (HT) y de baja temperatura (LT).

La primera prueba realizada consistió en energizar el alambre calibre 250 tipo HT, ya que fue el primer contacto con el material y este calibre soporta un flujo de corriente mayor (1 Amp.), con esto se evita dañar el material por un excesivo flujo de corriente debido a que fue el primer experimento con estos materiales.

Al ser energizado pierde su forma de alambre presentando un movimiento asimétrico provocado por la contracción y ya que no hay fuerza que le permita regresar a su forma original, se mantiene deformado. Otra particularidad que presentó el alambre de este calibre fue el incremento excesivo de temperatura que sufrió al ser activado (77 °C), ya que inclusive dañó la superficie donde este fue fijado, la cual era de plástico grueso.

Se procedió a realizar la activación de los alambres musculares utilizando una fuente de corriente variable, como se muestra en la figura 1; en cuyo display se puede observar la cantidad de corriente que fluye por el material hasta que este alcanza el punto de activación.



Figura 1. Corriente consumida por el alambre muscular de 150 μm

Fuente: Los Autores

En la tabla 1 se muestran resultados obtenidos, de algunas experimentaciones realizadas con alambres musculares de 250, 150 y 100 μm respectivamente; específicamente en cuanto a la corriente de activación así como a la temperatura al inicio del experimento y al momento de la activación del alambre muscular:

Tabla 1. Valores reales obtenidos de la experimentación.

Fuente: Los autores

Calibre	Corriente de reacción (A)	Temperatura Inicial ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura Final ($^{\circ}\text{C}$)
250 (HT)	0.65	23.5	63
150 (HT)	0.38	23.5	50.5
100 (HT)	0.183	23.5	43

Con estos valores de referencia es posible considerar, los aspectos importantes a tomar en cuenta para la aplicación del alambre muscular en dispositivos mecatrónicos. También es importante tener en cuenta el incremento de temperatura máximo del material, pues estaría en contacto con dispositivos electrónicos, los cuales pueden ser afectados por este fenómeno. Entonces debido a que la cantidad de corriente necesaria para activar los alambres musculares de calibre 250 μm y 150 μm , es elevada es necesario tomar en cuenta que no solo se usará un alambre muscular, sino un arreglo de estos; lo que incrementará aún más la cantidad de corriente necesaria para ponerlos en operación, esto los hace ineficientes para su aplicación en el tipo proyectos donde se busca aplicarlos.

En la figura 2, se ilustra el esquema del modelo 1 basado en un brazo humano.

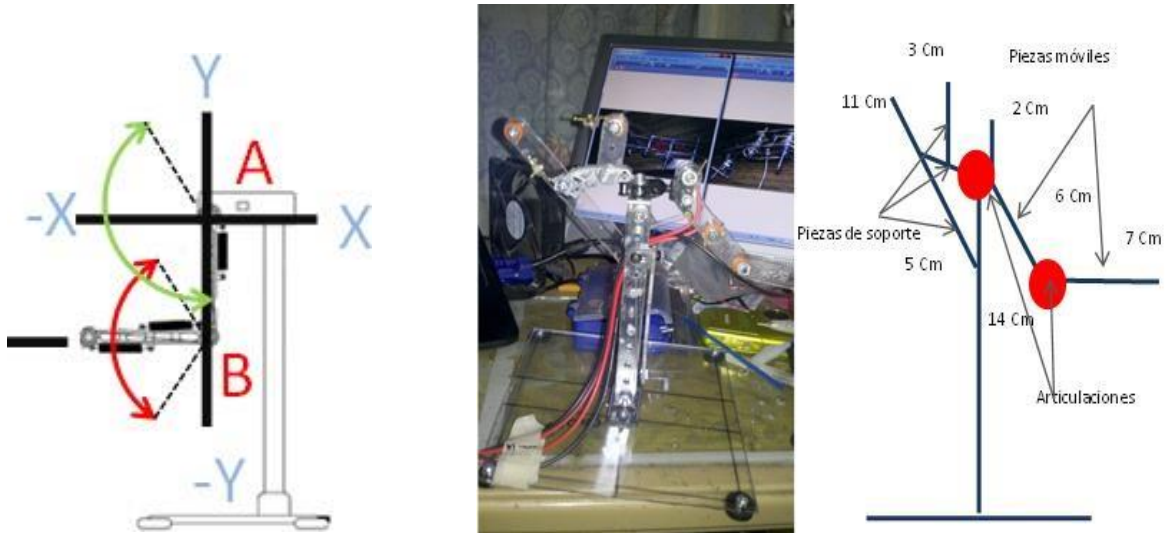


Figura 2. Diseño, arquitectura y dimensiones del modelo 1.

Fuente: Los autores

En la figura 3, se muestra el modelo II , basado en un dedo humano.

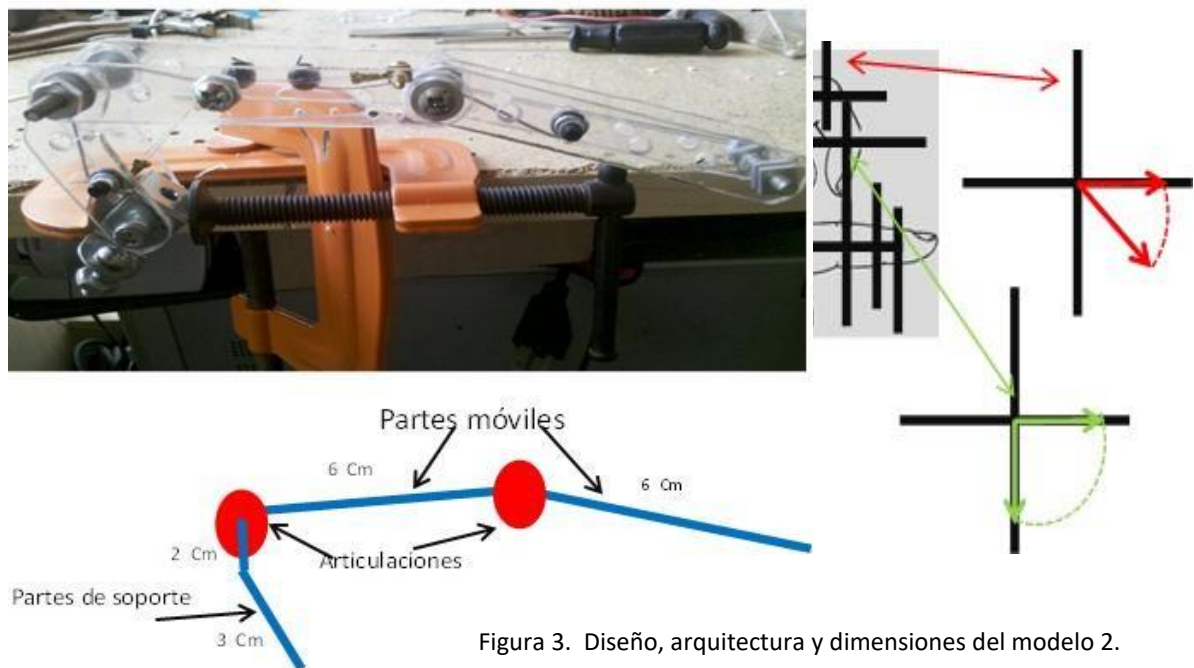


Figura 3. Diseño, arquitectura y dimensiones del modelo 2.

Fuente: Los autores

Montaje de los alambres musculares.

Lo interesante de la recuperación de la forma en los alambres musculares, es la fuerza que produce el material durante su proceso de recuperación, fuerza que si es aprovechada de la manera correcta junto con la capacidad de recuperación, puede generar movimientos útiles en dispositivos mecánicos. Si uno de los

extremos del alambre es fijado y el otro se deja libre, podrá observar un movimiento lineal de recuperación, (160gr para calibre 100 μ m, de 7.5 cm de largo). Los modelos están basados en el aprovechamiento de ese fenómeno.

El primer modelo está compuesto de tres partes móviles, como se muestra en las figuras 2 y 4; las cuales presentan movimientos sobre el eje de las Y, y con el apoyo de las articulaciones será posible interpretar que lo único necesario sería un actuador, el cual proporcione la energía para realizar dicho movimiento. La articulación superior consiste en un movimiento lineal ascendente, del cual se recupera por medio de un resorte

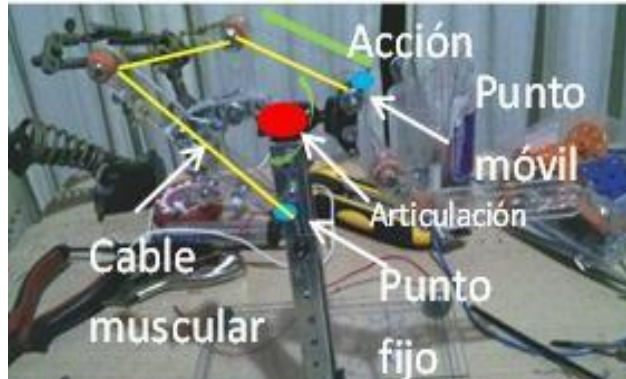


Figura 4. Montaje de los alambres en los modelos musculares montados.

Fuente: Los autores.

Ambos arreglos montados en el modelo dos, como se muestra en las figuras 3 y 5; consisten en un par de alambres musculares conectados bajo la configuración en paralelo; esto para incrementar la fuerza de contracción generada, pero las características y comportamiento de estos son diferentes a las presentadas en el modelo uno.

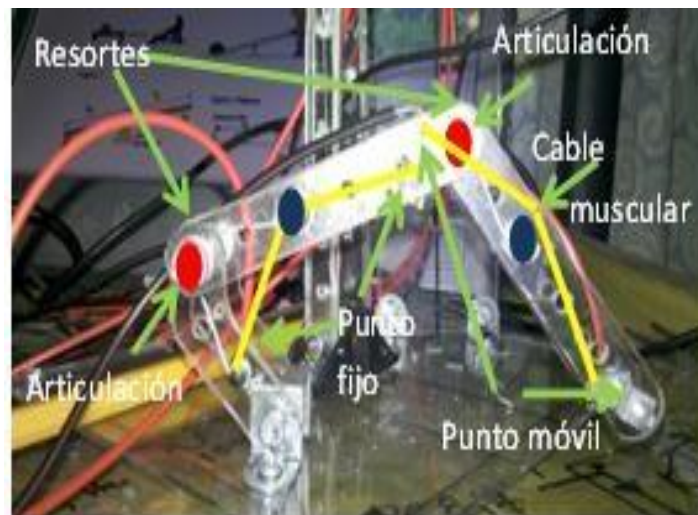


Figura 5.- Montaje de alambres musculares en modelo II.

Fuente: Los autores.

Para el caso particular de este diseño se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 2. Cálculo de corriente y resistencia por tipo de arreglo.

Fuente: Los autores.

Arreglo en paralelo	7 Ω	180 mA
Arreglo en serie	27 Ω	360 mA

Circuito de control.

Como sabe, el control de los alambres musculares se basa en la capacidad de poder controlar el flujo de corriente a través de estos, algo similar a un estado On (flujo de corriente) y otro Off (Sin flujo), el cual deberá ser conmutado de tal manera que evite el sobrecalentamiento del alambre muscular. En otras palabras lo que se necesita es un interruptor capaz de manejar altas velocidades de conmutación y altas cantidades de corriente.

Resultados y discusión

El resultado más importante obtenido de este trabajo ha sido el cumplimiento de los objetivos establecidos, debido que al tratarse de un material nuevo en esta área, solo se contaban con datos teóricos y no había bases prácticas para su aplicación. Se conocieron las capacidades y rangos de fuerza, carga, movilidad y contracción reales del mismo, permitiendo con esto su consideración para futuros proyectos, donde puedan sustituir a actuadores, servomotores o motores CD., esto debido a la flexibilidad de adaptación que presentan. Mediante los modelos realizados, se comprendió porque se le conocen como alambres musculares y que si estos son conectados de manera adecuada y acompañados de un estudio más profundo del sistema locomotor, lograrán emularlo sin problema alguno.

Una de las problemáticas que al principio de la investigación se planteaba era el consumo excesivo de corriente por alambre muscular, cuestión que fue resuelta al encontrar que si estos son conectados en arreglos en serie, el consumo de corriente no será ningún problema, además de incrementar su capacidad de contracción.

En la figura 6, se muestra una relación de valores prácticos obtenidos con respecto a los valores teóricos conocidos. Material: Alambre muscular calibre 100 μ m y de una longitud de 7.5 cm. Se tomaron los valores teóricos como el 100%.

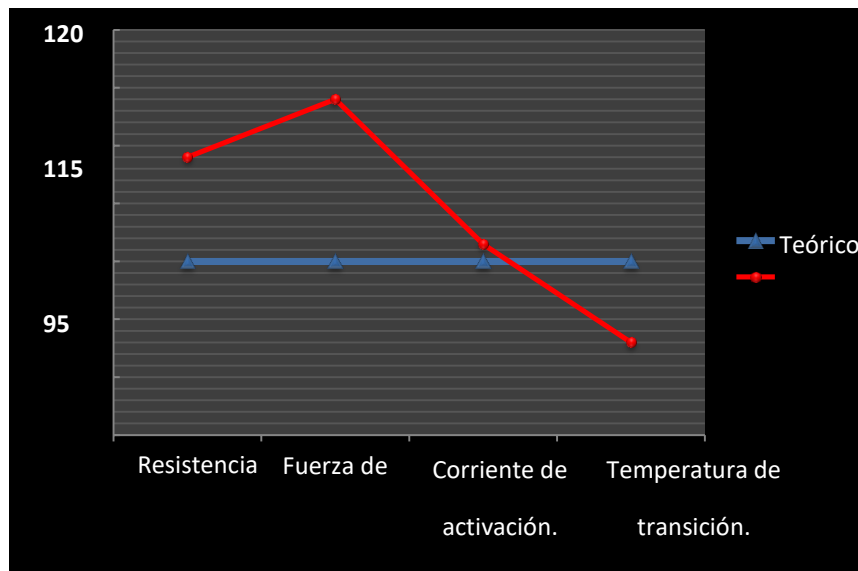


Figura 6.- Resultados obtenidos para el alambre calibre 100 μ m

Fuente: Los autores.

En la tabla 3 se resume un comparativo de fuerza generada servomotor, motor paso a paso y alambre muscular.

Tabla 3.- Comparativo entre 3 actuadores

Fuente: Los autores.

Actuador	Corrientes	Voltage	Fuerza generada	Peso
Servo motor Ax-12	900mA	10 V	16 Kgf.cm	55 gr
Alambre muscular 100µm	180mA**	12 V	163gr.µm≈1630Kg.cm *	1 gr
Motor Paso a paso 42BYG006	800mA	12 V	1.6 Kgf.cm	200 gr

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos y el conocimiento adquirido durante la investigación que se realizó sobre estos materiales, es posible afirmar que los alambres musculares son una buena opción como actuadores, considerando siempre los rangos máximos de operación de estos, también pueden ser una buena alternativa en la realización de sistemas robóticos pequeños, debido a su tamaño compacto ya que existe calibre de alambre muscular más pequeños, por ejemplo pueden ser una buena opción en la llamada Robótica BEAM.

Se puede afirmar que la eficiencia de los alambres musculares como actuadores, se incrementa directamente con la cantidad de alambres musculares y el tipo de arreglo que se utilice. Por lo tanto la eficiencia de estos será relativa a la complejidad del sistema donde se planea implementarlos.

En cuanto a su aplicación en los dispositivos realizados, la eficiencia de los alambres musculares fue suficiente para la generación de movimiento efectivo, con buena capacidad de respuesta, así como de carga y recuperación, sin alcanzar límites excesivos de consumo de corriente.

Referencias bibliográficas.

CASTILLO R., Felipe. (2011) Nitinol un biomaterial con memoria de forma. Tesis M. Universidad Nacional Autónoma de México. Dep. de Ing. 91 p.

Dynalloy.Inc, (2012) Technical characteristics of flexinol actuador wires. Dynalloy. Inc. Bentley Circle, Tustin California.

GILBERSTON, Roger. (2013). Muscle Wires Project Book A ands-on. Guide to Amazing Robotic Muscle that Shorten When Electrically Powered. C.A. Mondo-Tronics. San Rafael, CA.

LÓPEZ P., Luis A. (2013) Síntesis y caracterización de nanopartículas y películas delgadas por métodos físicos a partir de aleaciones con efecto de memoria de forma. Tesis Dr. Cien. Esp. Ing. Mec. .Universidad Autónoma de Nuevo León. Fac. Ing. Mec. Y Elec, 149p