

ROBÓTICA Y PRÓTESIS INTELIGENTES

Jesús Manuel Dorador González

Jefe del Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería UNAM

dorador@servidor.unam.mx

Patricia Ríos Murillo, Itzel Flores Luna, Ana Juárez Mendoza

Pasantes en la carrera Ingeniería Mecánica, realizan su tesis en el Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería en el proyecto "Diseño de Prótesis Inteligentes".

RESUMEN

La sustitución por pérdida de miembros humanos por artefactos distintos a los naturales es una realidad desde hace más de dos mil años. Con el tiempo los inventos en los campos de la robótica, en particular de la biónica, han proporcionado al ser humano extremidades complementarias que cada día se perfeccionan. En este artículo, los autores, presentan los diversos experimentos electromecánicos que han realizado para avanzar en las etapas de su proyecto "Diseño de prótesis Inteligentes" y perfeccionar la construcción de una prótesis inteligente de miembro superior.

Palabras clave: Robots, Prótesis, Actuadores, Mioeléctrico, Materiales inteligentes.

ROBOTICS AND INTELLIGENT PROSTHESIS

ABSTRACT

The substitution of lost human limbs using external devices has been practised for more than two thousand years. Through time this external devices have evolved, entering into the fields of robotics, particularly in bionic devices. These have provided supplementary limbs to the amputee. This artificial limbs are being perfected every day. In this paper the authors present diverse electromechanical experiments that have been performed to develop the "Design of intelligent prosthesis" project and to improve the design and construction of an intelligent prosthetic device for the upper limb.

Keywords: Robotics, Prosthesis, Actuators, Myoelectric, Intelligent materials.

ROBÓTICA: ASISTENTES PARA EL SER HUMANO

Desde épocas muy remotas el hombre ha deseado construir máquinas que tengan forma de seres humanos y le ayuden a realizar las operaciones que no le gustan, las que le resultan aburridas o peligrosas. A diferencia de un empleado humano, una máquina nunca se cansaría ni se enfermaría y siempre estaría dispuesta a trabajar. Los elementos que pueden funcionar automáticamente se utilizan desde épocas tan remotas como la antigua Grecia, sin embargo, es hasta mediados del siglo veinte cuando se lograron materializar los primeros robots industriales.

Estos robots industriales distaban mucho de los sueños de poder contar con una máquina con forma de ser humano. Casi cincuenta años después de la aparición de los primeros robots se sigue trabajando en el diseño y fabricación de estas máquinas similares al ser humano. Algunos ejemplos de estos desarrollos se pueden consultar en las siguientes páginas:

QRIO	(http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/top_nf.html/)
ASIMO	(http://world.honda.com/ASIMO/)
Waseda University Humanoid	(http://www.humanoid.waseda.ac.jp/)

LA ROBÓTICA APLICADA AL SER HUMANO: BIÓNICA

En la década de los años 1970 se popularizaron las series de televisión "*El hombre nuclear*" y "*La mujer biónica*", en las que los protagonistas habían perdido algunos de sus miembros y éstos fueron sustituidos por elementos artificiales que les permitían tener poderes sobrehumanos, tales como una gran fuerza y velocidad, visión y oído con mucho mayor alcance que el de cualquier ser humano. Sin embargo, las prótesis reales para las personas que han sufrido la pérdida de una extremidad aún no han alcanzado los sueños manifestados en dichas **series televisivas**.

La biónica es, de acuerdo a una definición dada en 1960 por Jack Steele, de la U.S. Air Force, el análisis del funcionamiento real de los sistemas vivos y, una vez descubiertos sus secretos, materializarlos en los aparatos. Esta definición nos podría indicar que el primer ingeniero biónico fue Leonardo Da Vinci, quien estudió los principios de funcionamiento de los seres vivos para aplicarlos en el diseño de máquinas. Dado que las prótesis se utilizan para sustituir la extremidad perdida de una persona, los principios de funcionamiento que se deben estudiar para reproducirlos son precisamente los que tiene dicha extremidad, por lo que el diseño de prótesis es inherentemente una actividad de la ingeniería biónica.

Existen varias configuraciones de robots, de acuerdo al tipo de movimientos que pueden realizar. Los robots pueden ser "cartesianos", es decir que se mueven en línea recta y su volumen de trabajo es un prisma rectangular, los robots "cilíndricos" que se utilizan principalmente para ensamble y su volumen de trabajo es un cilindro. Los robots "esféricos" tienen un volumen de trabajo en forma de una sección una esfera. Los robots industriales más atractivos y que más se conocen son los que simulan los movimientos de un brazo humano, por lo que se les conoce como "brazos articulados", y sus aplicaciones son muy amplias debido a la facilidad que tienen para realizar movimientos complicados.

Las diversas configuraciones de los robots se pueden ver en la página de la **International Federation of Robotics**.

El brazo mecánico constituye la parte física que vemos del robot, es decir, el conjunto de mecanismos y motores que forman el brazo. El brazo está controlado por medio de una computadora que mueve cada una de las articulaciones para llevar la mano del robot a los lugares deseados. El robot cuenta con sensores que le indican a la computadora el estado del brazo mecánico, de manera que estas señales le indican la posición de las articulaciones. La unidad de potencia externa suministra de energía a los actuadores del robot. El órgano terminal es la herramienta que se fija al brazo para desarrollar una tarea específica.

El trasladar un manipulador industrial al uso directo por una persona para sustituir un miembro que le ha sido amputado no es sencillo. Aunque los principios de funcionamiento sean muy parecidos, hay que considerar aspectos adicionales, tales como el peso, el suministro de energía y la apariencia.

RESEÑA HISTÓRICA DE LAS PRÓTESIS

El avance en el diseño las de prótesis ha estado ligado directamente con el avance en el manejo de los materiales empleados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano.

Una prótesis es un elemento desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo del cuerpo humano afectado, por lo tanto, una prótesis para el paciente y en particular para el amputado, también colabora con el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto.

La primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a. C., fue encontrada en una momia egipcia; la prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo.

Con el manejo del hierro, el hombre pudo construir manos mas resistentes y que pudieran ser empleadas para portar objetos pesados, tal es el caso del general romano *Marcus Sergius*, que durante la Segunda Guerra Púnica (218-202 a. C.) fabricó una mano de hierro para él, con la cual portaba su espada, ésta es la primera mano de hierro registrada.

En la búsqueda de mejoras en el año de 1400 se fabricó la mano de *alt-Ruppin* construida también en hierro, constaba de un pulgar rígido en oposición y dedos flexibles, los cuales eran flexionados pasivamente, éstos se podían fijar mediante un mecanismo de trinquete y además tenía una muñeca movable. El empleo del hierro para la fabricación de manos era tan recurrente, que hasta *Goethe* da nombre a una de sus obras inspirado en el caballero germano *Götz von Berlichingen*, por su mano de hierro.



Figura 1. Mano de *alt-Ruppin* construida con hierro en el año 1400



Figura 2. Primer brazo artificial móvil

No es sino hasta el siglo XVI, que el diseño del mecanismo de las prótesis de miembro superior se ve mejorado considerablemente, gracias al médico militar francés *Ambroise Paré*, quien desarrolló el primer brazo artificial móvil al nivel de codo, llamado "*Le petit Loraine*" el mecanismo era relativamente sencillo tomando en cuenta la época, los dedos podían abrirse o cerrarse presionando o traccionando, además de que constaba de una palanca, por medio de la cual, el brazo podía realizar la flexión o extensión a nivel de codo. Esta prótesis fue realizada para un desarticulado de codo. Paré también lanzó la primera mano estética de cuero, con lo que da un nuevo giro a la utilización de materiales para el diseño de prótesis de miembro superior.

En el siglo XIX se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera en la fabricación de prótesis; los resortes contribuyen también al desarrollo de nuevos mecanismos para la fabricación de elementos de transmisión de la fuerza, para la sujeción, entre las innovaciones más importantes al diseño de las prótesis de miembro superior, se encuentra la del alemán *Peter Beil*. El diseño de la mano cumple con el cierre y la apertura de los dedos pero, es controlada por los movimientos del tronco y hombro contra lateral, dando origen a las prótesis autopropulsadas. Más tarde el Conde *Beafort* da a conocer un brazo con flexión del codo activado al presionar una palanca contra el tórax, aprovechando también el hombro contra lateral como fuente de energía para los movimientos activos del codo y la mano. La mano constaba de un pulgar móvil utilizando un gancho dividido sagitalmente, parecido a los actuales ganchos *Hook*.

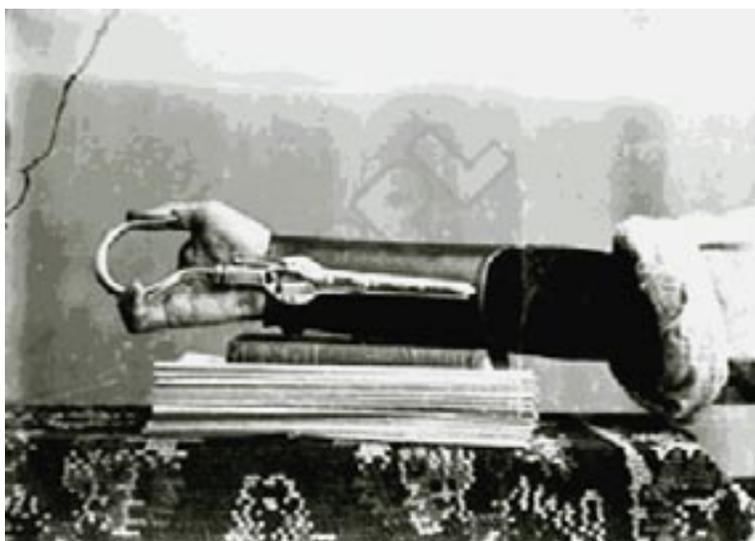


Figura 3. Prótesis de mano con pulgar móvil y gancho dividido sagitalmente

DISEÑO DE PRÓTESIS EN EL SIGLO XX

Para el siglo XX, el objetivo de que los amputados regresaran a su vida laboral, es alcanzado gracias a los esfuerzos del médico francés *Gripoulleau*, quien realizó diferentes accesorios que podían ser usados como unidad terminal, tales como anillos, ganchos y diversos instrumentos metálicos, que brindaban la capacidad de realizar trabajo de fuerza o de precisión.

En el año de 1912 Dorrance en Estados Unidos desarrolló el *Hook*, que es una unidad terminal que permite abrir activamente, mediante movimientos de la cintura escapular, además se cierra pasivamente por la acción de un tirante de goma. Casi al mismo tiempo fue desarrollado en Alemania el gancho *Fischer* cuya ventaja principal era que poseía una mayor potencia y diversidad en los tipos de prensión y sujeción de los objetos.

El origen de las prótesis activadas por los músculos del muñón se da en Alemania gracias a *Sauerbruch*, el cual logra idear como conectar la musculatura flexora del antebrazo con el mecanismo de la mano artificial, mediante varillas de marfil que hacía pasar a través de túneles cutáneos, haciendo posible que la prótesis se moviera de forma activa debido a la contracción muscular.

Es hasta 1946 cuando se crean sistemas de propulsión asistida, dando origen a las prótesis neumáticas y eléctricas. Un sistema de propulsión asistida es aquel en el que el movimiento es activado por algún agente externo al cuerpo.

Las prótesis con mando mioeléctrico comienzan a surgir en el año de 1960 en Rusia. Esta opción protésica funciona con pequeños potenciales extraídos durante la contracción de las masas musculares del muñón, siendo estos conducidos y amplificados para obtener el movimiento de la misma. En sus inicios, este tipo de prótesis solo era colocada para amputados de antebrazo, logrando una fuerza prensora de dos kilos.

Actualmente las funciones de las prótesis de mano están limitadas al cierre y apertura de la pinza, la diferencia entre éstas radican en el tipo de control que emplean, pero todas realizan básicamente las mismas actividades.

Entre los países con mayor avance tecnológico e investigación sobre prótesis, se encuentran Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Japón.

INVESTIGACIONES Y DESARROLLO RECIENTES EN DISEÑO DE MANOS

La mano realiza principalmente dos funciones; la presión y el tacto, las cuales permiten al hombre convertir ideas en formas, la mano otorga además expresión a las palabras, tal es el caso del escultor o el sordomudo. El sentido del tacto desarrolla totalmente la capacidad de la mano, sin éste nos sería imposible medir la fuerza prensora. Es importante mencionar que el dedo pulgar representa el miembro más importante de la mano, sin éste la capacidad de la mano se reduce hasta en un 40 por ciento.

Los principales tipos de presión de la mano son de suma importancia, ya que la prótesis deberá ser diseñada para cumplirlos. A continuación se muestran cuatro formas básicas de presión de la mano, que combinadas cumplen con todos los movimientos realizados por ésta, los cuales son: presión en pinza fina con la punta de los dedos, presión en puño, gruesa o en superficie, presión en gancho y presión en llave.



Figura 4. Formas básicas de presión de la mano

La mano de *Canterbury* [Dunlop, 2003] utiliza eslabones mecánicos movidos directamente para actuar los dedos en forma similar a la mano humana. El movimiento directo de los eslabones se utiliza para reducir los problemas que presentan otros diseños de manos. Cada dedo de esta mano tiene 2.25 grados de libertad, la parte fraccionaria se debe al mecanismo para extender los dedos que es compartido por cuatro dedos. Los motores de corriente directa tienen una reducción por engranes 16:1, su tamaño es de 65 mm de largo y 12 mm. de diámetro.

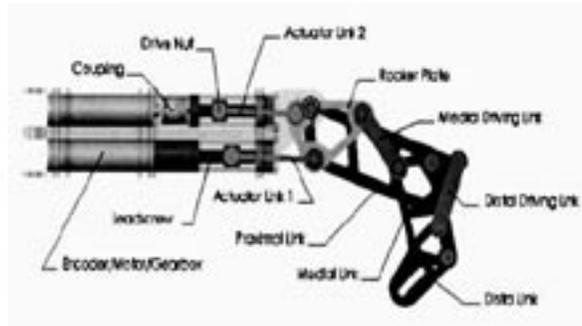


Figura 5. Mano de *Canterbury* que utiliza eslabones mecánicos movidos directamente

Los dedos cuentan con sensores de presión en cada articulación y en la punta de los dedos, lo que hace que cada dedo tenga cuatro sensores de presión, dos motores de corriente directa, dos encoders y un sensor de efecto Hall. El pulgar tiene solo un motor y tres sensores de fuerza, mientras que la palma tiene las funciones de abrir todos los dedos y la rotación del pulgar, lo cual implica dos motores, dos encoders, dos sensores de efecto Hall y tres sensores de fuerza. Todo esto da un total de 91 cables, por lo que se requirió un sistema de control distribuido utilizando un PsoC de Semiconductores Cypress. Este **microprocesador** actualmente solo es capaz de controlar la posición y velocidad, mientras que la cinemática y comandos complejos se calculan en una computadora.

El manipulador desarrollado en la Universidad de Reading, Inglaterra [Harris, Kyberd, 2003] propone el uso de cables Bowden (chicotes) dirigidos a cada unión como el medio para actuar los dos dedos de los que consta. Este diseño simplifica el control de la mano al eliminar el acoplamiento entre juntas y permite la traslación directa y precisa entre las juntas y los motores que mueven los cables. La cinemática de los dedos se simula con mayor precisión al permitir dos grados de libertad con el mismo centro de rotación en el nudillo más grande de la mano. Esta mano incluye sensores en las yemas de los dedos para incrementar la precisión en la sujeción.

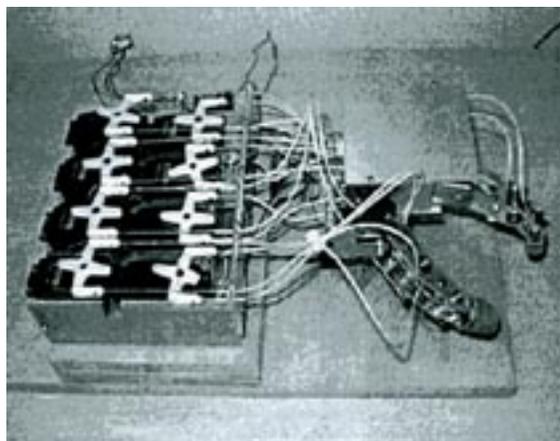


Figura 6. Manipulador construido en la Universidad de Reading



El manipulador antropomórfico teleoperado (MAT) diseñado en el departamento de ingeniería mecatrónica de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. cuenta con trece grados de libertad, de los cuales cuatro están en el pulgar y tres en cada uno de sus otros tres dedos. Esta mano fue diseñada específicamente para teleoperación, pero los principios utilizados se pueden extender al diseño de prótesis. La actuación de cada uno de los grados de libertad se realiza por medio de que funcionan como tendones, conectados a servomotores que no están montados sobre la mano, sino en un banco de actuadores. Para la instrumentación de este manipulador se utilizó un control PID.

Figura 7. Manipulador antropomórfico teleoperado

SISTEMAS PROTÉSICOS

Toda prótesis artificial activa necesita una fuente de energía de donde tomar su fuerza; un sistema de transmisión de esta fuerza; un sistema de mando o acción y un dispositivo prensor. En la elección de las prótesis a utilizar desempeña un papel trascendental el nivel de amputación o el tipo de displasia de que se trate.

Prótesis Mecánicas

Las manos mecánicas son dispositivos que se utilizan con la función de apertura o cierre voluntario por medio de un arnés el cual se sujeta alrededor de los hombros, parte del pecho y parte del brazo controlado por el usuario. Su funcionamiento se basa en la extensión de una liga por medio del arnés para su apertura o cierre, y el cierre o apertura se efectúa solo con la relajación del músculo respectivamente gracias a un resorte y tener una fuerza de presión ó pellizco. Estos elementos se recubren con un guante para dar una apariencia más estética, sin embargo se limita al agarre de objetos relativamente grandes y redondos ya que el guante estorba al querer sujetar objetos pequeños.

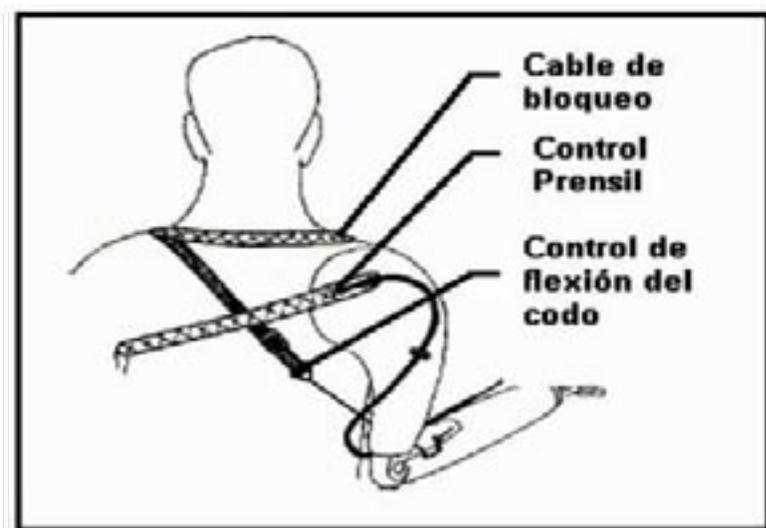


Figura 8. Elementos constitutivos de una prótesis mecánica

El tamaño de la prótesis y el número de ligas que se requiera dependiendo de la fuerza y el material para su fabricación varían de acuerdo a las necesidades de cada persona. Dado que estas prótesis son accionadas por el cuerpo, es necesario que el usuario posea al menos un movimiento general de: expansión del pecho, depresión y elevación del hombro, abducción y aducción escapular y flexión glenohumeral.

Prótesis Eléctricas

Estas prótesis usan motores eléctricos en el dispositivo terminal, muñeca o codo con una batería recargable. Éstas prótesis se controlan de varias formas, ya sea con un servocontrol, control con botón pulsador o botón con interruptor de arnés. En ciertas ocasiones se combinan éstas formas para su mejor funcionalidad. Se usa un socket que es un dispositivo intermedio entre la prótesis y el muñón logrando la suspensión de éste por una succión. Es más costosa su adquisición y reparación, existiendo otras desventajas evidentes como son el cuidado a la exposición de un medio húmedo y el peso de la prótesis.

Prótesis neumáticas

Estas prótesis eran accionadas por ácido carbónico comprimido, que proporcionaba una gran cantidad de energía, aunque también presentaba como inconveniente la complicación de sus aparatos accesorios y del riesgo del uso del ácido carbónico.

Prótesis mioeléctricas

Las prótesis mioeléctricas son prótesis eléctricas controladas por medio de un poder externo mioeléctrico, estas prótesis son hoy en día el tipo de miembro artificial con más alto grado de rehabilitación. Sintetizan el mejor aspecto estético, tienen gran fuerza y velocidad de prensión, así como muchas posibilidades de combinación y ampliación.

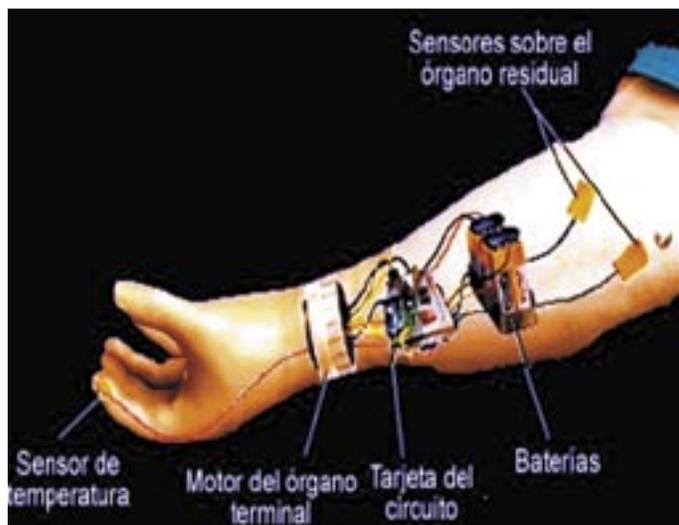


Figura 9. Configuración básica de una prótesis mioeléctrica

El control mioeléctrico es probablemente el esquema de control más popular. Se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica (EMG) que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña (5 a 20 μV) Un micro-voltio es una millonésima parte de un voltio. Para poner esto en perspectiva, una bombilla eléctrica típica usa 110 a 120 voltios, de forma que esta señal es un millón de veces más pequeña que la electricidad requerida para alimentar una bombilla eléctrica.

El uso de sensores llamados electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar la señal EMG. Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada después por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad.

Éste tipo de prótesis tiene la ventaja de que sólo requieren que el usuario flexione sus músculos para operarla, a diferencia de las prótesis accionadas por el cuerpo que requieren el movimiento general del cuerpo. Una prótesis controlada en forma mioeléctrica también elimina el arnés de suspensión usando una de las dos siguientes técnicas de suspensión: bloqueo de tejidos blandos-esqueleto o succión¹. Tienen como desventaja que usan un sistema de batería que requiere mantenimiento para su recarga, descarga, desecharla y reemplazarla eventualmente. Debido al peso del sistema de batería y de los motores eléctricos, las prótesis accionadas por electricidad tienden a ser más pesadas que otras opciones protésicas. Una **prótesis accionada por electricidad** proporciona un mayor nivel de tecnología, pero a un mayor costo.

Prótesis Híbridas

Una prótesis híbrida combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad en una sola prótesis. En su gran mayoría, las prótesis híbridas sirven para individuos que tienen amputaciones o deficiencias transhumerales (arriba del codo) Las prótesis híbridas utilizan con frecuencia un codo accionado por el cuerpo y un dispositivo terminal controlado en forma mioeléctrica (gancho o mano).

En la siguiente liga se puede ver una mano transcarpiana de última generación:

http://www.ottobock.com.mx/td_2_1_3_1.htm

Uso de materiales "inteligentes" en las prótesis

Hoy en día, el término "inteligente" se ha adoptado como un modo válido de calificar y describir una clase de materiales que presentan la capacidad de cambiar sus propiedades físicas (rigidez, viscosidad, forma, color, etc.) en presencia de un estímulo concreto.

Para controlar la respuesta de una forma predeterminada presentan mecanismos de control y selección de la respuesta. El tiempo de respuesta es corto. El sistema comienza a regresar a su estado original tan pronto como el estímulo cesa.

MATERIALES "INTELIGENTES"
Materiales con memoria de forma
Aleaciones con memoria de forma
Polímeros con memoria de forma
Cerámicas con memoria de forma
Aleaciones con memoria de forma, ferromagnéticas
Materiales electro y magnetoactivos
Materiales electro y magnetoreológicos
Materiales piezoeléctricos
Materiales electro y magnetorestrictivos

Materiales foto y cromoaactivos
Fotoactivos
Electroluminiscentes
Fluorescentes
Fosforescente
Cromoaactivos
Fotocrómicos
Termocrómicos
Electrocrómicos

Dentro de las aleaciones con memoria de forma (SMA), se encuentran los llamados alambres musculares, estos son alambres delgados de alta resistencia mecánica, contruidos con una aleación de Níquel y Titanio llamada comercialmente "Nitinol".

La adecuada selección de los actuadores durante el diseño de una prótesis, es una parte esencial para el éxito de ésta. Por tal motivo después de un análisis de las especificaciones de diseño requeridas en una prótesis de miembro superior, se observó que los alambres musculares podrían satisfacer las necesidades de los actuadores.

Se realizó un modelo funcional exclusivamente de la mano, dicha mano fue diseñada tomando como base las medidas de la mano derecha de un hombre adulto, mexicano de estatura promedio. El material utilizado para su fabricación fue Nylamid Autolubricado, debido a su baja densidad, alta resistencia y buena maquinabilidad que éste posee. El modelo consta de dieciséis piezas en total: la palma de la mano y cinco dedos. Los dedos Índice, medio, anular y meñique se componen de tres piezas (falange proximal, medial y distal), las cuales se encuentran unidas a la palma y entre sí por medio de articulaciones rotacionales. El dedo pulgar consta también de tres eslabones: dos falanges (proximal y distal) y una pieza que realizará la función del primer metacarpiano (hueso de la palma de la mano), esto permitirá realizar la acción oponente de este dedo. Por simplicidad de diseño, se decidió sustituir los demás metacarpianos por una sola pieza: la palma. La mano se encuentra normalmente abierta mediante resortes de compresión. En la figura 10 se muestran los huesos y articulaciones de la mano, en la figura 11 el modelado en CAD para el modelo de pruebas propuesto, y en la figura 12 el modelo funcional en el que se realizaron las pruebas.

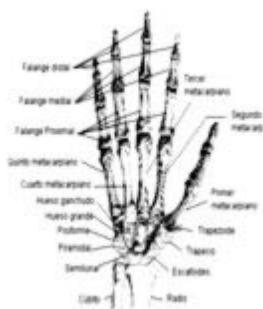


Figura 10. Huesos y articulaciones

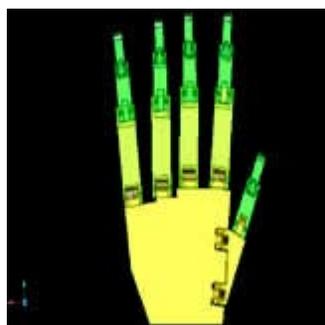


Figura 11. Modelo CAD



Figura 12. Modelo funcional

Principio de funcionamiento de la mano con alambres musculares

Con el fin de imitar la función de los músculos y tendones que intervienen en el movimiento de flexión de los dedos, se colocaron pequeños tramos de alambres musculares, amarrados a clavos colocados en cada articulación, de manera que al hacer pasar corriente a través de ellos, se realizara la contracción, permitiendo mover cada segmento, de la misma manera en que se mueven los eslabones en un robot manipulador.

Para facilitar el control del modelo, se seleccionaron algunas posiciones predeterminadas de la mano para utilizarlas en el control, dichas posiciones son accionadas mediante una cierta combinación de pulsos que estimulan a los actuadores de los eslabones involucrados. Se utilizó un control tipo "encendido-apagado", mediante un programa en Visual Basic, el cual presenta planos del modelo en seis diferentes posiciones. El usuario puede accionar los eslabones tanto de manera independiente como conjunta mediante las posiciones preestablecidas, al mismo tiempo que observa la simulación de el o los movimientos en el programa. También se colocó un tablero con *leds* que permite visualizar el correcto funcionamiento del programa, mostrando el o los actuadores que son activados.

Pruebas realizadas en el modelo funcional

Se realizó la programación de los movimientos deseados para obtener las posiciones mostradas en la figura 13 utilizando un microprocesador PIC que procesaba las instrucciones y enviaba las salidas correspondientes a la unidad de electrónica de potencia para alimentar a los alambres de Nitinol con la corriente eléctrica necesaria. Dado que no se conocía la cantidad de corriente que requeriría cada alambre, se utilizó una fuente variable.

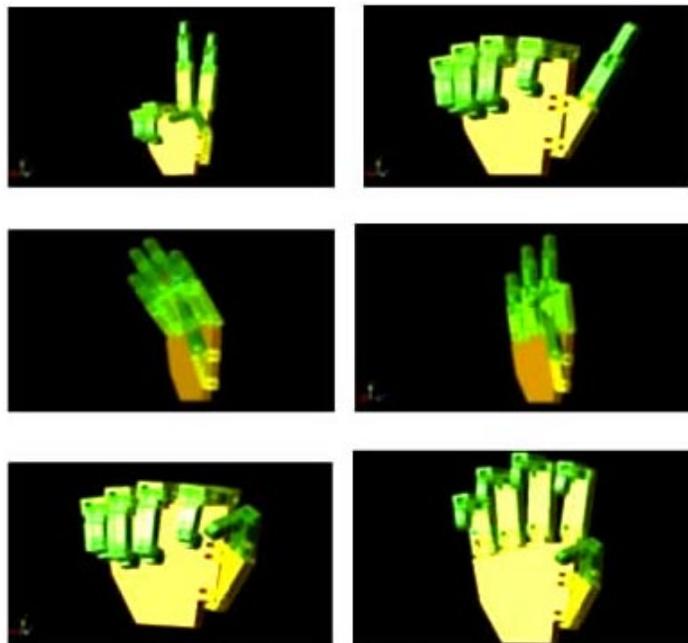


Figura 13. Programación de movimientos deseados

En el modelo funcional se utilizaron alambres musculares de 375 μm , es decir los de mayor diámetro existentes en el mercado, esto con el fin de obtener el mayor movimiento posible.

Resultados de las pruebas con nitinol

Al hacer funcionar el modelo se observó que el programa funcionaba adecuadamente, ya que se podía observar el encendido intermitente del conjunto de *leds* correspondientes al movimiento o posición en cuestión. A pesar que el programa funcionaba adecuadamente mandando los pulsos a cada actuador, éstos no conseguían ni siquiera el mínimo movimiento de los eslabones.

La cantidad consumida de corriente se acercaba a 1 Ampere por cada eslabón, así que si se requiere mover un solo dedo, esto equivaldría a un consumo de corriente casi a 3 Amperes. El alambre muscular se calentaba tanto que adquiría un color rojo vivo y quemaba la superficie del material. Este calentamiento ocurría casi inmediatamente que era mandado el pulso al actuador.

Proyectos de diseño de prótesis inteligentes en la F. I. UNAM

En el Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería se está llevando a cabo un proyecto cuyo fin último es el de desarrollar una prótesis inteligente de miembro superior. En la primera etapa se diseñó un manipulador con dimensiones y peso similares a las de una prótesis de antebrazo el cual tuvo como objetivo realizar el movimiento de pronosupinación de codo, teniendo como prioridad la precisión y no la fuerza en la prensión.

A la par se diseñó una mano articulada en la cual se realizaron experimentos con alambres musculares, contruidos de una aleación de Níquel y Titanio llamada "Nitinol", para realizar los movimientos y con esto lograr la aplicación en el diseño de prótesis.

Actualmente se está desarrollando un brazo manipulador con características similares a las de una prótesis, en las cuales los movimientos serán realizados por medio de servomotores como actuadores, tanto para los movimientos de la muñeca como para los cuatro dedos independientes de los que constará. Las señales de control se darán por medio de señales mioeléctricas y por medio de voz. Las señales serán procesadas en un microprocesador para realizar los movimientos de los actuadores correspondientes.

Para la segunda etapa se pretende diseñar y construir una prótesis de precisión en la prensión, utilizando para ello material con memoria de forma como actuadores. Para la experimentación se emplearán los polímeros electroactivos (PEA), donde se tratará de aprovechar la baja densidad y buenas propiedades electro-mecánicas que presenta este tipo de material.

Para el tercer año de desarrollo del proyecto se espera obtener el diseño de una prótesis de miembro superior actuada por medio de señales mioeléctricas y de voz, capaz de autoprogramarse para realizar actividades tanto de precisión como de fuerza. Esta prótesis será capaz de realizar las acciones de una prótesis mioeléctrica comercial, además de contar con movimientos separados en cuatro dedos, con lo cual tendrá una capacidad de actividades de precisión mayor. El socket con el cual se inserta la prótesis al muñón será autoajustable para adaptarse a los cambios de dimensión que con el cambio del tiempo sufre el muñón.

Conclusiones

Hay que recordar que al diseñar prótesis exitosa, se tienen varias especificaciones a cumplir, al necesitar potencias tan altas, y no tener la posibilidad de conseguir una fuente portátil que nos proporcione la potencia requerida y que además sea de bajo peso, tamaño y costo, nos encontramos ante el principal problema del uso de las aleaciones con memoria de forma, para esta aplicación en particular.

Los alambres musculares necesitan ser más estudiados y desarrollados para mejorar su funcionamiento en general, y de esta manera poder ser utilizados exitosamente en una prótesis de miembro superior. No se pueden despreciar las grandes ventajas que en general los materiales con memoria de forma posee, por tal motivo es necesario experimentar no solo con los alambres musculares de nitinol, si no con los otros tipos de materiales de memoria de forma existentes. En un futuro, con el adecuado control y corriente requerida, estos materiales podrían ser los más utilizados en las prótesis, resolviendo así el problema actual de los actuadores y como consecuencia mejorar la funcionalidad y estética de las prótesis de miembro superior.

Reconocimientos

Este trabajo se desarrolló en el marco de los proyectos PAPIIT IN104502 y PAPIIT IX106204, patrocinados por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

Bibliografía

Dunlop, G.R. "A distributed controller for the Canterbury hand", ICOM2003. International Conference on Mechatronics. Professional Engineering Publishing, London, UK, 2003.

Flores, Juárez, Castillo, Dorador. 2004. *Actualidad y tendencias en el diseño de prótesis de miembro superior*. Memorias del X Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Querétaro, México.

Gilbertson R. 2000. "Muscle Wires: Project Book", 3ª edición, Ed. Mondo Tronics, California.

Harris, M., P. Kyberd "Design and development of a dextrous manipulator", ICOM2003. International Conference on Mechatronics. Professional Engineering Publishing, London, UK, 2003.

Kutz. 2003. "Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design", McGraw-Hill, New York.

Ríos, Louth, Dorador. 2004. *Uso de materiales con memoria de forma para actuar los dedos de una prótesis de miembro superior*. Memorias del X Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Querétaro, México.

Trebes, Wolff, Röttege Groth. 1973. "Prótesis del Miembro Superior. Entrenamiento fisioterápico del amputado". Ediciones Toray, S.A. Barcelona. pp. 1- 40.

Viladot Perice. "Órtesis y Prótesis del Aparato Locomotor". (Completar bibliografía)

Vitali, Robinson, Andrews, Harris "Amputaciones y Prótesis". Ed. JIMS.