

Protesis de Mano

Oziel Alberto Torres Villarreal, Carlos Antonio Caballero Padilla,
Nestoe Eliud Cano Garcia, Jorge Enrique Flores Gonzalez,
Heber Adrian Casillas Gutierrez, Victor Alan Cabazos Ramiresz

2 de septiembre de 2022

1. Introducción

Este documento intentara detallar información acerca de las prótesis de mano, abarcando una gran cantidad de temas de interés empezando desde lo mas básico, que son, que tipos hay, los costos, tipos, etc.; hasta temas mas complicados como lo son los elementos de una prótesis electromecánica, el concepto de grados de libertad en una mano y aplicación del método de Denavit- Hartenberg para las articulaciones de la mano, así como distintas simulaciones de esfuerzos todo esto apoyándonos de artículos relacionados que se encuentran citados al final del documento.

Como sabemos las prótesis pueden ser de mucha ayuda para aquellas personas que debido a un accidente o por defectos en el nacimiento tengan una complicación en su cuerpo, existe una gran variedad de prótesis, de pie, de piernas, órganos, brazos, etc. Pero en este documento nos vamos a centrar únicamente en las prótesis de manos que a mi parecer es una de las partes del cuerpo humano más complicadas, debido a la cantidad de venas y sistema nervioso que pasa desde la muñeca hasta la punta de los dedos, sumado a eso, cada dedo cuenta con al menos 3 articulaciones independientes, las prótesis de mano son sin duda un gran reto para la tecnología actual y aunque gracias a la impresión 3D se haya reducido su costo el grado de dificultad y la tecnología de control mantienen un precio elevado en estas, todo esto se discutirá mas a fondo en el desarrollo del documento.

2. Desarrollo

2.1. Biomecánica de la mano

La disposición anatómica de la mano permite entender su gran versatilidad en la manipulación de objetos y ajustes posicionales de acuerdo a las necesidades en la ejecución de patrones funcionales. Correlacionar sus unidades arquitectónicas con el complejo biomecánico de cada una de ellas, permite entender que la función prensil de la mano depende de la integridad de la cadena cinética de huesos y articulaciones extendida desde la muñeca hasta las falanges distales, y que el compromiso de sus arcos longitudinales o transversales altera la morfología de la mano e implica la ruptura de un ensamblaje coordinado necesario para la realización de agarres de fuerza y de precisión.

Patrones Funcionales esta compleja organización anatómica y funcional de la mano converge en la prensión. La función prensil de la mano depende de la integridad de la cadena cinética de huesos y articulaciones extendida desde la muñeca hasta las falanges distales. La interrupción en los sistemas de arcos transversales y longitudinales resulta en inestabilidad, deformidad y pérdida de función. Los patrones de función prensil son movimientos en los que se agarra un objeto y éste se mantiene en parte o de forma completa dentro de la superficie de la mano. La eficiencia de la función prensil depende de: La eficacia de la primera articulación carpometacarpiana y, en menor grado, de la cuarta y quinta MCF. La rigidez relativa de la segunda y tercera articulaciones carpometacarpianas. La estabilidad de los arcos longitudinales del pulgar de los otros dedos.

Los agarres de fuerza son aquellos en los cuales los dedos están flexionados en las tres articulaciones, el objeto se encuentra entre los dedos y la palma, el pulgar se aduce y queda posicionado sobre la cara palmar del objeto, hay una ligera desviación cubital y se realiza una ligera dorsiflexión para aumentar la tensión de los tendones flexores.

Los agarres de precisión son aquellos utilizados para la manipulación de pequeños objetos entre el pulgar y las caras flexoras de los dedos, la muñeca se posiciona en dorsiflexión, los dedos permanecen semiflexionados y el pulgar se aduce y se opone. Los agarres de precisión se clasifican de acuerdo a las partes de las falanges utilizadas para soportar el objeto que se está manipulando, así: pinza terminal, pinza palmar, pinza lateral o de llave, pinza de pulpejo o cubita [1].

2.2. Antecedentes

Diversos autores confirman que las manos han permitido la evolución del ser humano, significado un importante rol en el desempeño físico e intelectual. Se sabe de dicha importancia desde la antigüedad, motivo por el cual se han hecho múltiples intentos por suplir las funciones de las manos de las personas incapacitadas para usarlas. La primera prótesis de mano encontrada data del 2000 a.C., fue encontrada en una momia egipcia. La prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo. La misma tenía una función meramente estética, era una prótesis rígida y con la mano tallada en madera. No fue hasta el año 200 a.C. que se encontraron prótesis funcionales. Se encontraron diseños que permitan levantar objetos, con el pulgar en oposición o con ganchos. Las mismas se construyeron de hierro y otros materiales. A partir del año 1400 aparecen diseños de prótesis móviles. Se encontraron algunos que poseían los dedos flexibles, los cuales eran flexionando pasivamente, pudiendo fijarse mediante un mecanismo de trinquete y poseyendo además una muñeca flexible [2].

2.3. Tipos de prótesis

En la elección de la prótesis apropiada desempeña un papel fundamental el nivel de amputación o el tipo de displasia que se requiera tratar. Dependiendo de los requerimientos de cada paciente, se decide el tipo de dispositivo que mejor se adapte a las características de este. Según el tipo de actuador utilizado ya sea mecánica, eléctrica, neumática, híbrida, etc [6].

- **Mecánica:** Las prótesis de mano mecánicas son dispositivos que se usan con la función de cierre o apertura a voluntad, controlados por medio de un arnés que se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y del brazo. Solo pueden ser utilizados para el agarre de objetos relativamente grandes y redondos debido a la poca precisión del mecanismo.
- **Eléctrica:** Utilizan motores eléctricos en los dispositivos terminales, muñeca y codo, con una batería recargable. Es posible controlarlas de varias formas: servo control, un botón pulsador o un interruptor con arnés. El precio de adquisición es elevado. Existen además otras desventajas inherentes al mantenimiento más complejo, la baja resistencia a medios húmedos y el peso.
- **Neumática:** Accionadas por medio de ácido carbónico comprimido, que proporciona una gran cantidad de energía. Aunque, presenta como inconveniente las complicaciones de sus aparatos y accesorios, y el riesgo en el uso del ácido carbónico. Su desarrollo fue interrumpido debido a las dificultades técnicas presentadas.
- **Híbrida:** Combinan la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad. Este concepto es ampliamente utilizado en las prótesis transhumerales (amputación por encima del codo), donde por lo general el codo es accionado por el cuerpo y el dispositivo terminal (gancho o mano) es de accionamiento mioeléctrico.

2.4. Prótesis comerciales

I-Limb Quantum

I-Limb Quantum es la mano mioeléctrica multiarticulada más avanzada de Össur. El diseño incluye dígitos de titanio para un aumento del 50 % en la carga de transporte, hasta un 30 % más de fuerza de agarre y un aumento de velocidad del 30 % para mejorar el movimiento natural, la fuerza y la funcionalidad. Precisión, la mano biónica i-Limb Quantum tiene cinco dedos motorizados de forma independiente con un pulgar giratorio electrónicamente para lograr la máxima destreza, coordinación y delicadeza. Potencia, a medida para su propia fuerza de agarre y velocidad, que varían en función de sus necesidades y estilo de vida específicos. Control por músculo, los activadores son señales musculares específicas que indican a la mano biónica i-Limb Quantum que active un agarre específico. Control por gestos, el control por gestos accionado mediante la tecnología iMo emplea gestos sencillos para activar diferentes agarres. Control por aplicación, Quick Grips Pro proporciona el acceso instantáneo a 24 My Grips preprogramados y 12 My Grips personalizados, lo que permite una gran versatilidad y flexibilidad en la personalización de la mano biónica para una serie de actividades diarias. Control por proximidad, Los Grip Chips son pequeños dispositivos activados por Bluetooth que permiten a los usuarios activar cualquier agarre disponible con solo mover la mano biónica i-Limb Quantum cerca de un objeto en donde se haya colocado un Grip Chip.

Mano bebionic EQD de ottobock

Cómoda, intuitiva y precisa: la mano bebionic revoluciona la vida y las capacidades de las personas con amputación de todo el mundo. Desde ejecutar tareas sencillas, como atarse los cordones, hasta la recuperación del control y de la autoestima. Con 14 tipos de agarre y posiciones de la mano seleccionables, la mano artificial bebionic permite ejecutar sin problema actividades cotidianas como comer, llevar bolsas o abrir las puertas, encender luces y usar un teclado. Unos motores individuales en todos los dedos permiten un control preciso de la mano y un agarre natural y coordinado. Gracias al control proporcional de la velocidad, usted mantiene el control de las tareas que exigen máxima precisión. La mano está disponible en dos tamaños diferentes y con tres variantes de muñeca, por lo que puede adaptarse a las necesidades personales. En combinación con el reconocimiento de patrones de Ottobock, el sistema de control Myo Plus brinda a la mano bebionic posibilidades totalmente nuevas para movimientos naturales e intuitivos sin necesidad de cambiar de modo [9].

2.5. Mecanismos de los dedos

Las prótesis de manos suelen utilizar eslabones mecánicos movidos directamente para actuar sobre los dedos de forma similar a la mano humana. El movimiento directo de los eslabones se utiliza para reducir algunos problemas que presentan otros diseños de mano. Cada dedo de esta mano tiene 2.25 grados de libertad; la parte fraccionaria se debe al mecanismo compartido para extender los cuatro dedos. Los motores de corriente directa tienen una reducción por medio de engranajes con una relación de transmisión 16:1. Los dedos cuentan con sensores de presión en cada articulación y en su parte distal, lo que totaliza cuatro sensores de presión por cada dedo, dos motores de corriente directa y un sensor de efecto Hall. El pulgar tiene solo un motor y tres sensores de fuerza, mientras en la palma se encuentran los motores encargados de abrir y cerrar todos los dedos y de la rotación del pulgar; para un total de dos motores, dos encoders, dos sensores de efecto Hall y tres sensores de fuerza. Todo esto resulta en un total de 91 cables por lo que se requirió un sistema de control distribuido utilizando un PsoC de Semiconductores Cypress. Este microprocesador solo es capaz de controlar la posición y velocidad, mientras que el resto de la cinemática y demás comandos complejos se calculan por aparte en un PC.[5].

2.6. Costos

Sin lugar a duda, el precio es un factor que separa a una persona amputada de las manos biónicas. Una prótesis de mano en impresión 3D, netamente mecánica y limitada al cierre y apertura de la mano, puede tener un costo de alrededor de \$2.000 a \$5.000 USD. En el caso de prótesis más avanzadas, el precio está en el rango de los \$20.000 a \$60.000 USD dependiendo de la funcionalidad, materiales y estética de la prótesis. Una prótesis como la de BrainCo cuesta \$10.000 USD, un precio bajo gracias a la impresión 3D.

Ejemplos de prótesis y precio La prótesis bebionic con gran parentesco en sus componentes mecánicos a la I-limb, construida por Steeper RS tiene la finalidad de emular la funcionalidad de la I-limb pero a un costo más reducido aproximadamente \$10.000 dólares. La última versión bebionic 3, tiene movimientos articulados en las falanges en todos los dedos; con el pulgar en oposición que se coloca manualmente en dos posiciones, permitiéndole obtener catorce posiciones diferentes con los que se consigue agarres precisos. La prótesis bebionic es controlada por la contracción de los músculos del paciente afectado, tiene cinco actuadores lineales independientes que incorporan cinco velocidades de alta con motores de fuerza y diseñado para un bajo consumo de energía.

La prótesis biónica de CyberHand es una con tecnología moderna y costosa, ya que se conecta los electrodos de la prótesis a las terminaciones nerviosas de la mano de la persona amputada mediante una cirugía, permitiéndole recoger la información del cerebro mediante sensores, es por ello que al paciente con amputación puede sentir la presión y la temperatura a la que está sometida la prótesis, en la Figura 11 se muestra la prótesis CyberHand[3].

2.7. Prótesis electromecánica

Las prótesis electromecánicas hacen uso de diferentes mecanismos, al igual que de dispositivos eléctricos, como lo pueden ser los motores, servomotores, baterías y otros elementos como lo son los dispositivos de control. En sí, 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.

Podemos considerar los siguientes tres tipos de prótesis en la categoría de prótesis electromecánicas[8]:

- **Prótesis eléctricas:** hacen uso de motores eléctricos en el dispositivo terminal, muñeca o codo con una batería recargable. Estas prótesis se controlan de varias formas, ya sea con un servocontrol, control con botón pulsador o botón con interruptor de arnés.
- **Prótesis mioeléctricas:** 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. Son estéticas, tienen gran fuerza y velocidad de prensión, así como muchas posibilidades de combinación y ampliación. El control mioeléctrico se basa en que siempre que un músculo se contrae o flexiona, se genera una pequeña señal eléctrica (EMG). Para leer esta señal se hace uso de electrodos sobre la piel los cuales registran esta señal.
- **Prótesis híbridas:** combinan las dos prótesis anteriores, es decir, combinan la acción del cuerpo junto con el accionamiento por electricidad. 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.

2.7.1. Elementos de prótesis electromecánicas

Una prótesis electromecánica debe de tener mecanismos los cuales permiten el movimiento, elementos los cuales generen algún movimiento como lo son los motores y servomotores, al igual que un sistema de control, en algunos casos son por medio de interruptores o pulsadores, mientras que en otros casos es por medio de drivers o sistemas de microcontroladores, para hacer uso de este último también se requiere del uso de sensores, los cuales proporcionan información acerca de los movimientos realizados. La selección de cada uno de los elementos dependerá del diseño y necesidades requeridas, sin embargo, a continuación, se presentan algunos elementos utilizados para el desarrollo de una prótesis mioeléctrica[4, 8].

- Material utilizado: Polímero PLA.
- Servomotores MG996R.
- Sensor Myo ArmBand de la compañía Thalmic Labs.
- Microcontrolador Arduino UNO.

2.8. Artículo relacionado

Para el siguiente apartado tomamos en cuenta el Artículo: “ Diseño conceptual de una prótesis de mano ”, por Jorge Arenas Moles [7] el cual invitamos a leer, es un artículo bastante completo en el cual se analiza el mercado de las prótesis para conocer las prestaciones de las prótesis actuales y después compararlas con las necesidades de los clientes para así observar en que se puede mejorar y/u optimizar. También se analiza a detalle la biomecánica de una mano humana y termina con el diseño a partir de una maqueta funcional de una prótesis de mano utilizando la impresión 3D.

2.8.1. Simulación

Anexo 6: Geometría utilizada para el cálculo de la cinemática directa

Ejes utilizados para la aplicación del método de Denavit-Hartenberg. En negro, se muestran los ejes globales del sistema, bajo los cuales están referenciadas las posiciones y orientaciones de cada una de las puntas de los dedos. En rojo, se muestran los ejes locales de cada movimiento articular, necesarios para la determinación de los parámetros del método. Se han representado para el dedo III (en referencia a los sistemas trifalángicos) y para el dedo I (como sistema bifalángico).

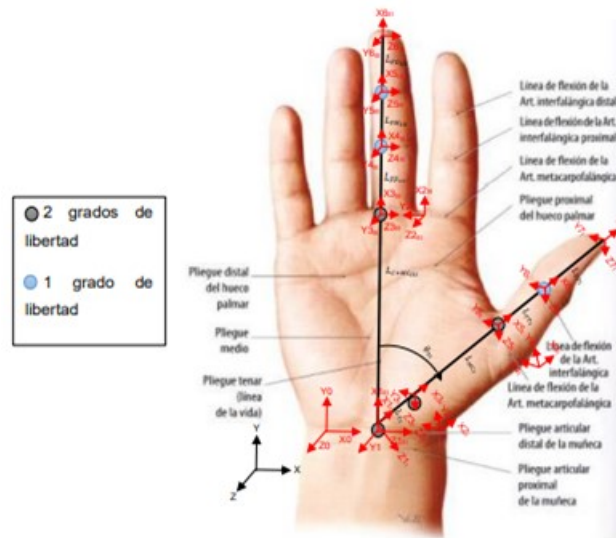


Figura 1: Imagen representativa de la aplicación del método de Denavit-Hartenberg en una mano.

En la imagen se pueden visualizar los ejes utilizados para la aplicación del método de Denavit-Hartenberg. En negro, se muestran los ejes globales del sistema, bajo los cuales están referenciadas las posiciones y orientaciones de cada una de las puntas de los dedos. En rojo, se muestran los ejes locales de cada movimiento articular, necesarios para la determinación de los parámetros del método. Se han representado para el dedo III (en referencia a los sistemas trifalángicos) y para el dedo I (como sistema bifalángico).

Anexo 8: Resultados de las simulaciones mediante el método de los elementos finitos Recopilación de los resultados de las simulaciones numéricas realizadas para cada caso de estudio. Se muestran, a nivel gráfico, los desplazamientos y las tensiones de Von Misses obtenida.

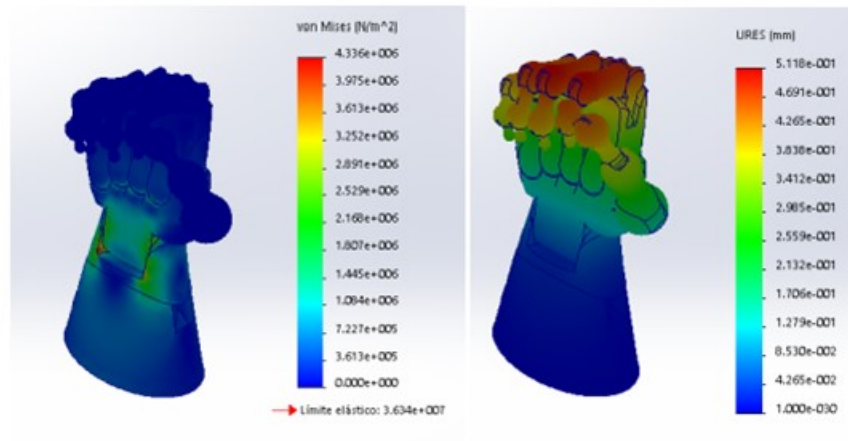


Figura 2: Tensiones de Von Misses y desplazamientos para el caso de flexión palmar[7].

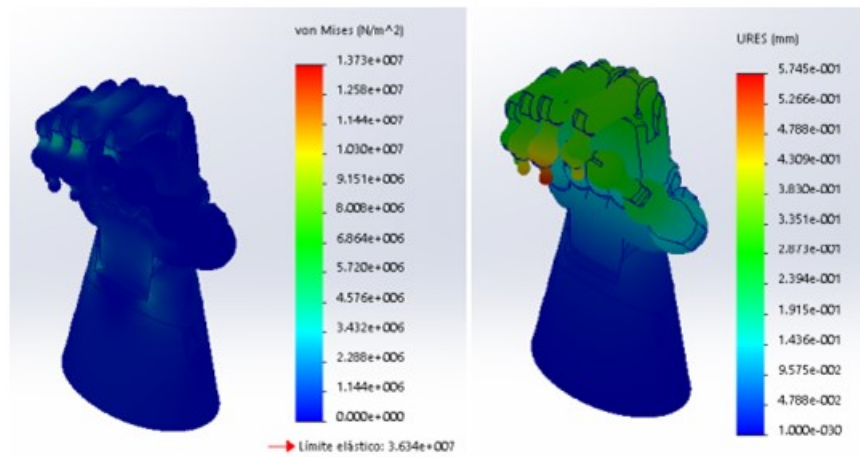


Figura 3: Tensiones de Von Misses y desplazamientos para el caso de flexión dorsal[7].

3. Conclusión

Como pudimos observar en el trabajo, una prótesis de mano es muy compleja comparada con otros sistemas articulados, llegan a tener muchos grados de libertad y varias articulaciones para intentar mimetizar el movimiento natural de una mano. También pudimos ver los componentes electrónicos que las componen, los servomotores o motores a pasos que pueden llevar y no hay que olvidar que, aunque no se haya hablado mucho de ello durante el documento, la programación que deben de tener los controladores para que el movimiento sea lo mas fluido posible. También a lo largo del trabajo podemos observar los precios que rondan las prótesis, que pueden ir desde unos \$2.000 hasta los \$60.000 dólares. Me parece muy interesante como es el diseño de una prótesis y la serie de pasos que se tiene que llevar a cabo para realizar una eficientemente, siento que este tipo de avances tecnológicos son de gran ayuda para muchas personas y pienso que si bien ahora estas prótesis tienen un precio algo elevado, siento que conforme se vayan logrando más avances en la tecnología y se vaya sofisticando cada vez mas el diseño, estas prótesis serán cada vez mas accesibles e incluso puede que en un futuro una prótesis termine siendo incluso mas eficiente que una mano humana por poner un ejemplo.

Referencias

- [1] Cooper C. Fundamental of hand therapy. mosby), diciembre 2007.
- [2] Universidad Nacionar Autonoma de Mexico. Reseña historica de las protesís), octubre 2018.
- [3] EsMachina. Prótesis de mano en la actualidad (2021), Enero 2020. URL <https://www.esmachina.com/que-es-protesis-de-mano-tipos-y-precios/#:~:text=Una%20pr%C3%B3tesis%20de%20mano%20en%20impresi%C3%B3n%203D%2C%20netamente,la%20funcionalidad%2C%20materiales%20y%20est%C3%A9tica%20de%20la%20pr%C3%B3tesis>.
- [4] Jesús Manuel Dorador González. Robótica y prótesis inteligentes, Enero 2004. URL https://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01_enero.pdf.
- [5] David Cusco John I. Calle Jofre L. Brito, Marlon X. Quinde. Estudio del estado del arte de las prótesis de mano. *Ingenius*, 9°(unknown):60–61, 2013.
- [6] Jair L Loaiza and Nelson Arzola. Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano. *Dyna*, 78(169): 191–200, 2011.
- [7] Jorge Arenas Moles. Diseño conceptual de una prótesis de mano, Febrero 2018.
- [8] Luis Vidal-Portilla Luz Angélica García-Villalba Pedro Antonio Hurtado-Manzanera, David Luviano-Cruz. Diseño y construcción de un prototipo de prótesis mioeléctrica, Junio 2017.
- [9] Lisandro Puglisi and Héctor Moreno. Prótesis robóticas. *Revista del Departamento de Automática e Informática Industrial*, pages 1–2, 2006.