

# Tarea 2: Prótesis de Extremidades Superiores

Eimie Carolina Pereda Sánchez  
Gloria Rosalía Domínguez Azueta  
Luis Lauro García Hernández  
Jorge Luis Ávila Hernández

30 de agosto de 2022

## Resumen

Este documento tiene como objeto explicar.

**Palabras clave:** Biomecánica, evolucionado.

## 1. Introducción

La mano del hombre es una excelente herramienta, capaz de ejecutar innumerables acciones gracias a su función esencial: la prensión. Está dotada de una gran riqueza funcional que le procura una abundancia de posibilidades en las posiciones, los movimientos y las acciones.

Desde el punto de vista fisiológico, la mano representa la extremidad efectora del miembro superior. Sin embargo, esta no es sólo un órgano de ejecución, es también un receptor sensorial extremadamente sensible y preciso cuya información es indispensable para retroalimentar su propia acción.

En México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el número de personas amputadas se acerca a 780 mil, y en base a información proporcionada por la academia nacional de cirugía, el número de personas amputadas diariamente es de 75.

Las causas más frecuentes de amputaciones de extremidades superiores son: traumatismos y cáncer, seguidos de complicaciones referentes a enfermedades en el brazo derecho provocadas por accidentes laborales. El desarrollo en los últimos veinte años se ha traducido en dispositivos manuales más hábiles; sin embargo, los productos generados carecen de un equilibrio entre funcionalidad, durabilidad, apariencia estética y accesibilidad (precio), reto que aún existe en la actualidad. En objetivo de este artículo es hacer una revisión de literatura científica para analizar algunas prótesis de extremidades superiores enfocándonos específicamente en las prótesis de mano y dedo, comenzando por estudiar el mecanismo así como las ecuaciones necesarias para la elaboración del diseño, incluyendo la variedad de tipos de prótesis que existen tanto para mano como para dedo, además se consideran algunas prótesis comerciales de la actualidad, se profundiza la parte eléctrica que permite el funcionamiento de la prótesis, así como de los métodos de manufactura que son utilizados en varios diseños para su elaboración física.

## 2. Desarrollo

Las prótesis de miembro superior son aquellas que sustituyen parte o la totalidad del brazo humano. Estas se componen de tres partes, los efectores terminales, los intermediarios y los empalmes. La cohesión del conjunto y la estética están aseguradas por las piezas intermedias [4].

## 2.1. Diseño mecánico de prótesis

La literatura muestra un gran número de prótesis de miembro superior, cada una con diseños, formas, y agarres diferentes como se muestra en la figura 1, pero todas con el objetivo de permitirle al usuario realizar tareas de fuerza y precisión, algunas más eficientes que otras, el diseño del dispositivo terminal varía en su fuerza de activación, diseño estético y características de agarre dependiendo de la palma y los dedos[2]. Por otro lado, el estudio mecánico no solo se centra en el enfoque y uso de la fuerza en estos dispositivos, sino que también busca el uso de materiales que le brinden longevidad al dispositivo y satisfacción del usuario.



Figura 1: Prótesis tipo mano y gancho comercial 1) Diseño mano Hosmer, Investigación de Prótesis de ejército Laboratorio voluntariamente cerrada 2) Prótesis diseño mano Hosmes tipo gancho voluntariamente cerrada, Investigación de Prótesis de ejército Laboratorio 3) Prótesis tipo mano Hosmer, suave voluntariamente cerrada 4) Prótesis tipo mano otto Bock voluntariamente cerrada 5) Prótesis tipo gancho "pinza" voluntariamente cerrado 6) Modelo IOWA dedos de resorte [2].

El cuerpo humano es una unidad dinámica que se fracciona en una serie de componentes segmentales. Cada segmento está unido por una o más articulaciones que ayudan y también restringen su capacidad de movimiento, concepto denominado la teoría de los grados de libertad (GDL) del movimiento. Para el caso de la mano y los dedos, son articulaciones elipsoidales que permiten movimientos rotacionales hacia atrás y hacia delante, hacia arriba y hacia abajo, pero no permite rotación transversal, son consideradas del tipo 2 GDL. Este concepto es necesario tenerlo claro al momento de diseñar una prótesis de mano, dada la arquitectura óseo-muscular que tiene la mano que le permite realizar la acción de pellizco y de apretón.

Los movimientos de los dedos (Figura 2) se efectúan en torno a dos ejes principales: el eje transversal AA' en torno al cual se realizan los movimientos de Flexión-Extensión y el eje anterior-posterior BB' alrededor del cual se generan los movimientos de abducción-aducción[5]. Es necesario separar el estudio para el movimiento del pulgar (dedo bifalángico) al de los cuatro dedos restantes (dedos trifalángicos) debido a las condiciones falángicas antes mencionadas.

1. Movimiento de los Dedos Trifalángicos En estos últimos, por medio de las articulaciones metacarpofalángicas, es posible efectuar movimientos según tres ejes: flexión - extensión, abducción - aducción y rotación[5].
2. Movimiento del Dedo Pulgar. El pulgar es considerado el dedo más importante debido a su función como pinza. Gracias a este, la mano puede realizar una gran variedad de acciones y movimientos de manera precisa. Sus principales movimientos son cuatro, a partir de los cuales se puede generar una combinación y generar una amplia variedad de posibles movimientos[5].

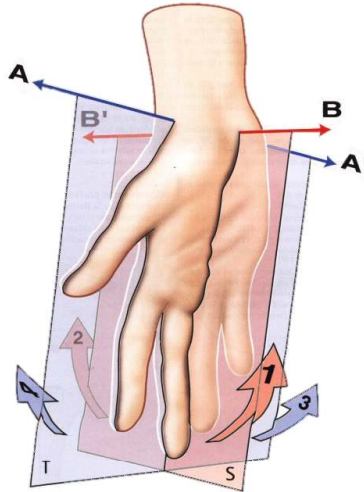


Figura 2: Movimientos y vistas de la mano. A y A': Vista laterales. B: vista anterior. B': vista posterior. Hacia la punta de los dedos: vista distal. Hacia la muñeca: vista proximal.

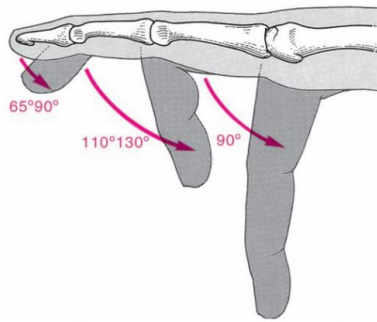


Figura 3: Movimiento de flexión – extensión de los dedos trifalángicos. Los ángulos de flexión de las falanges se indican en la figura.

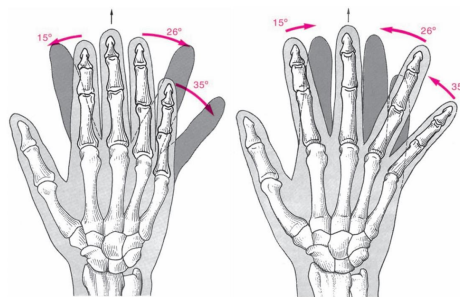


Figura 4: a) Movimiento de abducción de los dedos trifalángicos. b) Movimiento de aducción de los dedos trifalángicos.

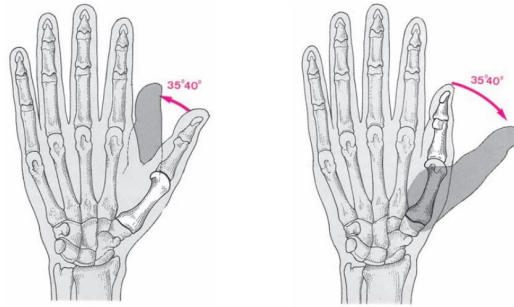


Figura 5: a) Movimiento de aducción del dedo pulgar. El dedo se dirige al encuentro de la cara lateral del dedo índice. b) Movimiento de abducción del dedo pulgar. El dedo pulgar se separa del dedo índice y de los otros dedos, ensanchando la paleta de la mano.

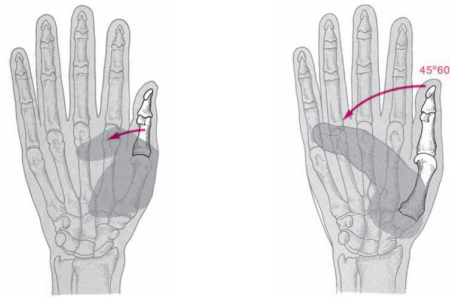


Figura 6: a) Flexión del dedo pulgar. b) Movimiento de oposición del dedo pulgar. El dedo pulgar es proyectado frente al dedo meñique.

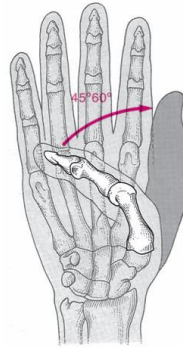


Figura 7: Reposición del dedo pulgar. El dedo pulgar regresa a la posición de aducción-extensión.

## 2.2. Ecuaciones

Existen pocos estudios acerca de la dinámica en prótesis de mano, debido a su complejidad matemática, a continuación se va a presentar uno de los trabajos más relevantes:

En 2009 Ruiz y asociados presentan un artículo en el congreso de la Asociación de México de control automático (AMCA), donde se exhibe el diseño, construcción y control de un dedo de 4 GDL impulsado por músculos neumáticos. En el estudio se analiza el movimiento de flexión-extensión y aducción-abducción, tratando de imitar a la mano humana. En primer lugar se establece el estudio de la cadena cinemática directa e inversa de los elementos o articulaciones empleando la metodología de D-H. Posteriormente se estudia la dinámica para encontrar la relación entre las fuerzas y los movimientos requeridos, para aquello se empleó la formulación general de Euler-Lagrange (1) del sistema que se muestra en la Figura 5. El modelo a desarrollar no se toman en cuenta los músculos neumáticos

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau$$

Donde:

$M(q)$  = matriz de inercias.

$$C(q, \dot{q})$$

= matriz de fuerzas centrífugas y de Coriolis.

$g(q)$  = vector de pares gravitacionales

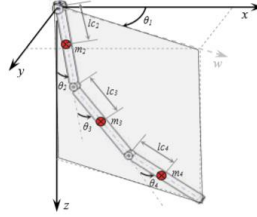


Figura 8: Dedo de cuatro GDL

### 2.3. Tipos de Prótesis

La primera prótesis de miembro superior se registra en el año 2000a. C, se encontró en una momia egipcia, se encontrósujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo. Después, se fabricóotra en el año 1400 de alt-Ruppin que se hizo con hierro. Constaba de un pulgar rígido en oposición y dedos flexibles, estos se podían fijar mediante un mecanismo de triquete con una muñeca movable[3].

Existen diversos tipos de prótesis de miembro superior, de acuerdo con cómo se las clasifica. Según la porción de miembro a sustituir se clasifica en:

1. Prótesis para amputación parcial como el de la figura 9 o total de la mano: en esta clasificación entran las amputaciones parciales de mano o desarticuladas de muñeca. Se subclasifican según el sitio de amputación [4].
  - a) Amputación del pulgar: solo se coloca si la amputación es a nivel de la falange proximal. La sujeción se realiza mediante una cinta alrededor de la muñeca o mediante valvas que rodean la zona palmar y dorsal de la mano [4].
  - b) Amputación de uno o varios dedos: similar a amputación del pulgar [4].
  - c) Amputación de los dedos índice al meñique: utilizan pilones de plásticos rígidos para realizar la base de oposición [4].
  - d) Amputación de metacarpianos distal y proximal: se coloca un mitón (dedos ligeramente flexionados sin separación) o una prótesis abierta de acero (utiliza el pulgar intacto como dispositivo de oposición)[4].
2. Prótesis para amputación del antebrazo: para amputaciones transradial o bajo codo y desarticulación de codo. La prótesis funcional se acciona mediante la fuerza de la musculatura del bíceps. Se utiliza el codo o el hombro como sostén [4].
3. Prótesis para la amputación del brazo: Para amputaciones transhumerales o sobre codo y desarticulado de hombro [4].
4. Prótesis para amputación de hombro: Para amputaciones interescapulotorácicos [4].



Figura 9: Prótesis parcial de mano

Según el accionamiento se clasifican en:

1. Prótesis cosméticas o pasivas: solamente tienen finalidad estética. Carecen de movimiento, pero son morfológicamente anatómicas. Replican fielmente el miembro a reemplazar, tanto forma y tamaño como detalles fisiológicos como pecas, venas, vello. Generalmente son de silicona o látex, y personalizadas, aunque existen estándar [4].
2. Prótesis mecánicas: son dispositivos de apertura y cierre mediante cables y cintas unidos al cuerpo. Solo abren y cierran a voluntad y necesitan energía propia del usuario para moverse. El sistema puede estar constituido por una mano, gancho u otro aparato de prensión. Son más utilizadas para amputaciones de bajo codo [4].
3. Prótesis mioeléctricas: estos dispositivos utilizan sensores mioeléctricos, que leen las corrientes eléctricas que envían las contracciones musculares. Estas prótesis pueden controlar movimientos de los dedos, muñeca y del codo. Suelen ser muy complejas y pesadas, hasta molestas para el usuario. Requieren de entrenamiento previo del usuario, pero ofrecen la máxima funcionalidad posible [4].

La empresa Bebionic presenta una prótesis elegante, utiliza tecnología de alta gama. Es precisa y fácil de usar, cuenta con 14 tipos de agarre de hasta 45kg para realizar los movimientos de los objetos[3].



Figura 6. Prótesis Bebionic Hand [15].

Figura 10: Prótesis de Bebionic

TouchBionics es otra empresa que se dedica a fabricar prótesis de mano, uno de sus más recientes proyectos se llama limb-ultra, cuenta con una tecnología i-mo que controla los gestos de una persona y además con una aplicación con tecnología Quick-Grips que le permite tener hasta 24 agarres en cuatro diferentes direcciones.

También se encuentra la prótesis Michelangelo, tiene un diseño natural y con una tecnología de primera. Esta prótesis cuenta con tres modos de posición y ofrece al usuario 7 diferentes tipos de agarre, así como una posición



Figura 11: Prótesis de TouchBionics



Figura 12: Prótesis Michelangelo

neutral y acción de la muñeca más natural.

La prótesis biónica i-limb es una de las más usadas en la actualidad e implementada en varios países, ya que cumple con la mayoría de los movimientos básicos de la mano que un ser humano realiza, facilitando al paciente el retorno a la vida laboral y mejorando sus condiciones de vida. sus dedos controlados independientemente, permiten realizar una gran cantidad de movimientos dado que el pulgar puede rotar hasta  $90^\circ$ , hacer pinza y realizar agarres de precisión y de potencia de diferentes formas.

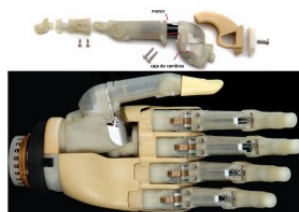


Figura 13: Prótesis i-limb

Prótesis CyberHand cuenta con una 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 ellos que al paciente con amputación puede sentir la presión y la temperatura a la que está sometida la prótesis [1].

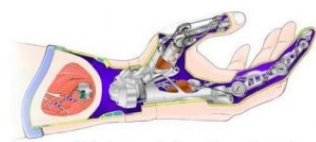


Figura 14: Prótesis CyberHand

## 2.4. Prótesis Electromecánica de Mano Controlada por Voz

El término de prótesis y de acuerdo con Jack Steele, la biónica es el análisis del funcionamiento real de los sistemas vivos para comprenderlos, y así poder crear aparatos que repliquen el movimiento.

Las prótesis se clasifican en:

1. Prótesis Mecánicas: son dispositivos cuya función es abrir y cerrar a través de un arnés que se encuentra colocado entre los hombros, parte del pecho y por el brazo.

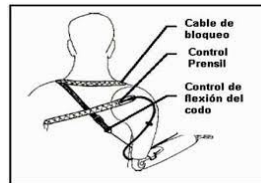


Figura 15: Prótesis Mecánicas

2. Prótesis eléctricas: son dispositivos que utilizan motores eléctricos para poder realizar el movimiento de la mano, muñeca con una batería recargable.

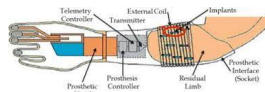


Figura 16: Prótesis eléctricas

3. Prótesis mioeléctricas: son prótesis eléctricas controladas por medio de un poder mioeléctrico, mejorando el aspecto estético, fuerza y velocidad.

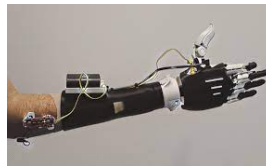


Figura 17: Prótesis mioeléctricas

### A. Selección de Materiales y Herramientas

Se tomó la decisión de utilizar el PLA por su definición de impresión estándar, bajo impacto ambiental, precio bajo, rapidez de solidificación, y cómoda manipulación al someterse a perforaciones y cortes. En este punto, se considera importante remarcar que la prótesis no será para realizar actividades de uso rudo o de alto impacto. Posteriormente, se definieron los componentes y entorno de desarrollo para la conexión electrónica y control de las partes electromecánicas de la prótesis. Fue esencial elegir una tarjeta programable, ya que estas cuentan con un código abierto, tienen gran cantidad de documentación y son sencillos de aprender a programar y conectar.

### B. Construcción electromecánica de la prótesis

El diseño fue elaborado en Blender y su movilidad (grados de libertad) fue verificado en Solidworks. Una vez obtenido un diseño funcional, se procedió a imprimir en 3D la prótesis de mano.

La figura A presenta la estructura principal de la prótesis. La figura B muestra el diseño del dedo pulgar seccionado de forma transversal. La figura C contiene el modelo de los dedos consecuentes al pulgar, el diseño de un



mismo dedo que se coloca escalonado para recrear los tamaños de los dedos para agilizar la impresión y la Figura D presenta el carrete de hilo que sirve para enrollar el nylon que atraviesa el interior de cada dedo [1].

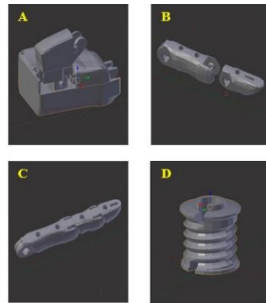


Figura 18: Modelado de los componentes básicos de la mano en blender

### 3. Conclusiones

Como conclusión de equipo aprendimos acerca de las prótesis de mano que hay actualmente aparte de que sabemos que en México hay gran parte de la gente con alguna amputación y que cada día hay cirugías como estas.

Investigamos algo acerca del diseño de prótesis que ha ido en constante cambio ya que desde inicios se veían poco estéticas y tampoco tenían un gran funcionamiento para la persona que la estaba usando. Es por eso que pusimos tipos de prótesis que hay hoy en día y podemos ver como la tecnología ha ido mejorando para el beneficio del ser humano y su vida cotidiana.

En otras partes del documento podemos ver que al momento de diseñar una prótesis se puede en softwares ya usados antes en materias anteriores como lo es el solidworks, además que se usan tarjetas programables como lo puede ser un arduino, micro, en este caso se optó por otro componente ya que tiene algunos beneficios mejores que los anteriores.

### Referencias

- [1] J Brito, M Quinde, D Cusco, and J Calle. Estudio del estado del arte de prótesis de mano, 2013.
- [2] Jasón Myyey Cruz Camacho. Desarrollo de una prótesis de mano para amputados parciales de bajo costo para uso en países en desarrollo, 2019.
- [3] G Encalada. Análisis cinemático y cinético de los mecanismos para una prótesis de mano y construcción de un prototipo utilizando el proceso de estereolitografía), 2018.
- [4] Martín Alejandro Gorosito. Prótesis funcional de miembro superior controlada a partir de dispositivo myo, Diciembre 2017.
- [5] Álvaro Basoalto Calvanese. Desarrollo de prótesis de mano con sistema de agarre adaptativo para uso general en amputaciones a nivel de desarticulación de muñeca.