



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIME

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Tarea 2 Prótesis de Mano

Melanie Sofía Sánchez Barbosa, Manuel Exiquio Barrera Suárez, Fatima Montserrat Castro Nuñez, Seini Armando Ramos Durán, Emiliano Covarrubias Saldaña.

August 30, 2022

Abstract

This short research covers some important points related to hand and finger prosthesis. Aiming to highlight hand and finger prosthesis importance and complexity, some of the included topics are: the mechanisms behind a hand prosthesis; kinds of hand prosthesis, where diverse purpose prosthesis are presented; manufacturing methods, including 3D printing, fast manufacturing, photopolymerization, among others; mechanics behind a human finger; and a patient experience after using a prosthesis for part of their arm and their whole hand.

Resumen

Esta pequeña investigación abarca algunos puntos importantes relacionados a las prótesis de mano y de dedo. Apuntando a resaltar la importancia y complejidad de las prótesis, se incluyen algunos temas, los cuales son: los mecanismos detrás de una prótesis de mano; tipos de prótesis de mano, donde se muestran prótesis de propósito diversos; métodos de manufactura, incluyendo manufactura aditiva, manufactura rápida, fotopolimerización, entre otros; la mecánica detrás de un dedo humano; y la experiencia de un paciente después de utilizar una prótesis para una parte de su brazo y su mano completa.

1 Introducción

Cada una de las partes de nuestro cuerpo forman parte de "todo" mucho más complejo, un humano funcional, el cual acostumbra hacer uso de su cuerpo para completar sus tareas de la vida cotidiana. Sin embargo, por diversas circunstancias, existen los casos en los que una persona no cuenta con alguna parte de su cuerpo, lo que generalmente limita sus capacidades físicas.

Enlistar todas las actividades físicas que implican el uso de la mano y/o los dedos podría parecer infinito, lo mismo sucedería al ahora pensar en todas las restricciones que nacen al no contar total o parcialmente con la mano y/o dedos, y es aquí donde surge la necesidad de la creación de prótesis, capaz de imitar algunas de las funciones reales de una mano y/o dedo.

En la investigación presente se incluyen diversos aspectos acerca de las prótesis de mano y algunos detalles en cuanto a las prótesis de dedo. Dentro de las áreas que se abarcan son: mecanismos de las prótesis de mano; tipos de prótesis de mano, donde se habla desde prótesis meramente estéticas, hasta aquellas diseñadas para el más alto rendimiento en actividades específicas; métodos de manufactura, incluyendo manufactura aditiva, manufactura

rápida, fotopolimerización, fusión de lecho de polvo, inyección de aglutinante, inyección de material, laminación de hojas, extrusión de material, y deposición directa de energía; mecanismos de un dedo; así como también una experiencia real de una persona que ya ha utilizado una de estas prótesis.

2 Desarrollo

2.1 Mecanismos de las prótesis de mano

La articulación de la muñeca tiene dos grados de libertad de movimientos. Esto significa que necesita una junta universal. Y, por supuesto, ya que soporta la totalidad de cualquier esfuerzo que se hace con la mano (más el propio peso de ella), requiere de actuadores potentes. Los dedos también tienen dos grados de libertad en su articulación con la palma (llamada metacarpofalángica en nuestra anatomía, ya que articula la falange proximal con el hueso metacarpiano). Uno de los movimientos (el lateral, que nos permite abrir los dedos) es muy limitado, pero el otro (llamado de flexión) es extremadamente amplio. El pulgar tiene una movilidad excepcional —por esto es absolutamente clave en las habilidades de manipulación—, y los otros cuatro dedos se mueven de manera limitada en sentido lateral, aunque su capacidad de flexión (para abrir y cerrar la mano) es muy buena. Esta capacidad de flexionar así los dedos es, claro, muy importante para la habilidad que tenemos de atrapar objetos y mantenerlos con seguridad [1].



Figura 1: Mecanismo NAIST.

2.1.1 Mecanismo de ejemplo

La mano NAIST tiene 4 dedos (ver fig. 1), que en conjunto suman 12 grados de libertad de movimiento (movimientos posibles). Cada dedo tiene 3 grados de libertad; dos de ellos en la articulación del dedo con la palma y uno en la falange media del dedo (la falange del extremo del dedo o zema"se mueve en conjunto con la falange media). Todos los actuadores están incluidos en la palma. Las articulaciones se mueven gracias a engranajes especialmente diseñados, que no utilizan alambres como tendones. La forma en que se ha solucionado el mecanismo reduce las restricciones de espacio para colocar los actuadores y proporciona un buen acceso para el mantenimiento.

2.1.2 Mecanismos de engranajes

Generalmente, debido a que la articulación MP tiene 2 grados de libertad, es difícil mover la articulación de la falange PIP con un mecanismo ubicado en la palma de la mano, enlazado mecánicamente de algún modo. Por lo tanto, en los mecanismos convencionales de mano robótica los motores para las articulaciones PIP/DIP se incluyen en la propia articulación del dedo. Esto impone una gran restricción de tamaño, por lo que no se pueden utilizar

motores con suficiente fuerza. Esto era una dificultad que se debía superar para lograr suficiente fuerza en la yema del dedo, aunque la fuerza de torsión común en la articulación MP fuese suficiente. En el concepto de diseño de la mano NAIST, los 3 actuadores están dentro de la palma; el motor 1 es para aducción/abducción de la articulación MP (movimiento lateral del dedo en la palma), el 2 para flexión/extensión de MP (flexión del dedo completo), y el 3 para flexión/extensión de PIP (flexión de las falanges media y la del extremo del dedo; son los engranajes dorados). En la articulación MP se conjugan dos juegos diferentes de movimiento, producidos por tres engranajes cónicos. El eje de salida del motor 3 pasa a través del engranaje y de la polea que están unidas al motor 2 (ver fig. 2).

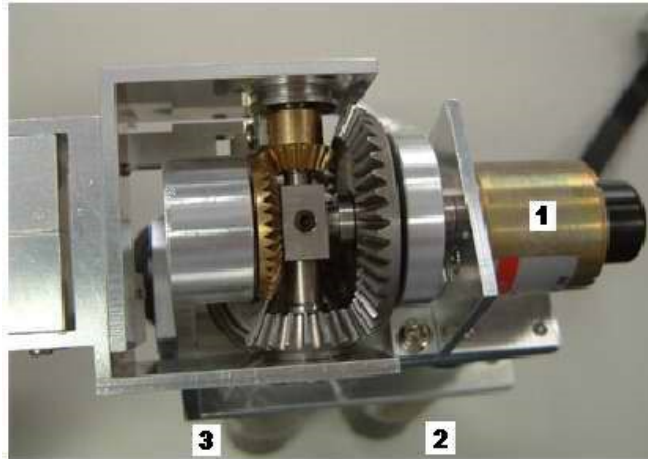


Figura 2: Caja de engranajes y motores.

2.2 Tipos de prótesis de mano

Existen diferentes tipos de prótesis para dedo y/o mano, donde dependiendo de las preferencias del paciente, lo que requiera, y lo recomendado por los especialistas, las características de dichas prótesis pueden cambiar. De acuerdo con [2] existen 5 opciones de prótesis parciales para mano, éstas son: prótesis pasivas, prótesis impulsadas por el cuerpo, prótesis eléctricas, prótesis de actividad específica, y prótesis híbridas. A continuación, en base al mismo autor, se detallará más sobre cada una de éstas.

2.2.1 Prótesis pasivas

Las prótesis pasivas ayudan a mejorar la funcionalidad en la vida cotidiana pero no cuentan con la habilidad activa de sujetar y liberar. Las opciones pasivas abarcan réplicas estéticas de dedos, articulaciones de dedo multifuncionales, e incluso dedos de titanio con flexión en ambas articulaciones, con el tope "natural" para brindar una mejora funcional. Para amputaciones de pulgar, existen pulgares de uso rudo y de uso medio, que pueden ser asegurados en cierta posición para un agarre seguro. Dependiendo de la preferencia personal, una prótesis pasiva parcial de mano puede ser terminada en una amplia variedad de formas, desde diseños coloridos y contemporáneos, hasta piel de silicona con apariencia similar a la real y buscando empatar el color de piel del paciente (ver fig. 3).

2.2.2 Prótesis impulsadas por el cuerpo

Existen 3 tipos de prótesis impulsadas por el cuerpo, para amputaciones parciales de mano: conducidas por articulaciones, controlada por cables, y conducidas por muñeca. Este tipo de prótesis puede ser muy duraderas y generalmente tienen una apariencia de ser de tecnología de punta (ver fig. 4). Uno de sus grandes beneficios de funcionalidad es que la fuerza ejercida por la prótesis es directamente controlada usando la muñeca del paciente, o la porción restante de su mano, lo cual hace el movimiento y control sentirse mucho más natural.

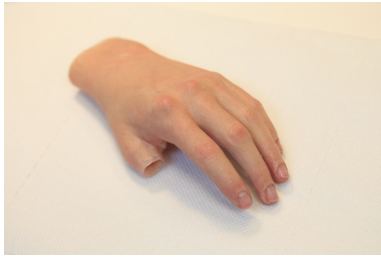


Figura 3: Interpolation for Data 1



Figura 4: Interpolation for Data 2



Figura 5: Interpolation example

2.2.3 Prótesis eléctricas

Las prótesis eléctricas contienen pequeños motores dentro de cada uno de los dedos para generar el movimiento. Son controladas usando electrodos o resistores que detectan el movimiento de los músculos en la porción restante de la mano o muñeca (ver fig. 5). La cantidad de fuerza que los dedos eléctricos ejercen es variable y controlada por el usuario para así asegurar que la fuerza de sujeción aplicada es la adecuada para cada situación. Así como con las prótesis pasivas, guantes estéticos están disponibles en muchas presentaciones que de igual forma pueden ser fabricados para emparejar el color de piel del paciente.

2.2.4 Prótesis de actividad específica

Las prótesis de actividad específica son diseñadas para trabajo, deportes y hobbies donde una prótesis pasiva o de propósito general podría ser dañada o no trabajaría como se requiera. Mientras que las prótesis de actividad específica están diseñadas para brindar la mejor funcionalidad en actividades pesadas, como lo pueden ser halterofilia, ciclismo de montaña, incluso carpintería (ver fig. 6).

2.2.5 Prótesis híbridas

Las prótesis híbridas combinan elementos de dos o más de las opciones de prótesis vistas, con el objetivo de mejorar las habilidades funcionales del paciente (ver fig. 7). Dado que cada paciente es un caso diferente, busca y necesita algo único, una solución híbrida puede considerarse que asegura que el paciente tendrá las herramientas necesarias para recuperar su funcionalidad.



Figura 6: Interpolation for Data 1

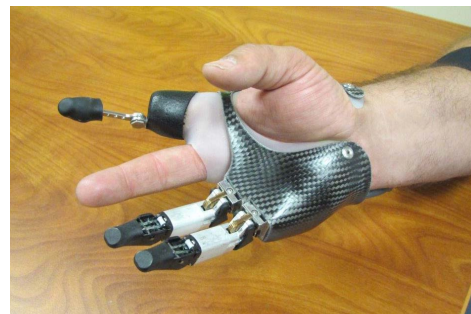


Figura 7: Interpolation for Data 2

2.3 Métodos de manufactura

2.3.1 Historia.

El uso de las primeras prótesis de miembro superior nos conduce a la antigua cultura egipcia, en el año 2000 a.C., donde arqueólogos encontraron una momia egipcia, con una prótesis de mano que estaba sujeta al antebrazo. Durante la segunda guerra Púnica (218-202 a. C.) se fabricó una prótesis de mano para el general romano Marcus Sergius, esta prótesis estaba fabricada de hierro, la misma que tenía como finalidad portar objetos pesados. Ya para el siglo XIX, se comienza a utilizar una variedad de materiales como el cuero, polímeros naturales, hierro, resortes y la madera, en la fabricación de prótesis de mano estéticas, así como también el desarrollo de nuevos mecanismos que faciliten los movimientos de los dedos en relación con nuevos elementos de transmisión, que permitirían la sujeción [3].

2.3.2 Manufactura aditiva (AM).

La Manufactura Aditiva es un término que describe a todas aquellas tecnologías utilizadas para materializar objetos tridimensionales a partir de modelos creados en software CAD (Computer Aided Design, Diseño Asistido por Computadora). La mayoría de las tecnologías de fabricación aditiva utilizan software de modelado 3D, o CAD, para almacenar los datos iniciales, esto incluye todo, desde la forma básica hasta la información de color y textura. Debido a que gran parte del procesamiento, desde el corte de capas hasta la preparación de la impresión, está automatizado, la fabricación aditiva es significativamente más rápida que el maquinado en CNC.

- Manufactura rápida (MR).

La manufactura rápida ([4]) consiste en el uso de tecnologías de fabricación aditiva para producir directamente productos o partes útiles. Como es el caso del prototipado rápido, el campo también es conocido con otros nombres, como manufactura directa, fabricación directa y manufactura digital. La fabricación aditiva ofrece el potencial de uso de múltiples materiales así como el control de la meso y micro-estructura de la geometría local de la parte. Esto significa que la funcionalidad de una parte puede ser optimizada en formas que son imposibles con los métodos de manufactura existentes previamente.

En el blog "Las 7 categorías de la Manufactura Aditiva" publicado por "Laminas y aceros" [5] se explican los siete grupos en que se clasifican todas las tecnologías AM de acuerdo con las normas ISO/ASTM:

- Fotopolimerización:

La fotopolimerización es una reacción de polimerización inducida por luz. Consta de un depósito de resina líquida fotopolimérica que es curada mediante exposición selectiva a la luz, la cual inicia el proceso de polimerización y solidifica las zonas expuestas (ver figura 8). Este proceso goza de alta precisión y permite realizar figuras complejas con un acabado superficial suave. El material utilizado en estos procesos son resinas fotocurables UV. Dentro de esta categoría se incluyen los siguientes procesos:

- SLA: Sistema de estereolitografía.
- DLP: Procesamiento digital por luz.
- 3SP: Escaneo, giro y fotocurado selectivo.
- CLIP: Interfaz de producción líquida continua.

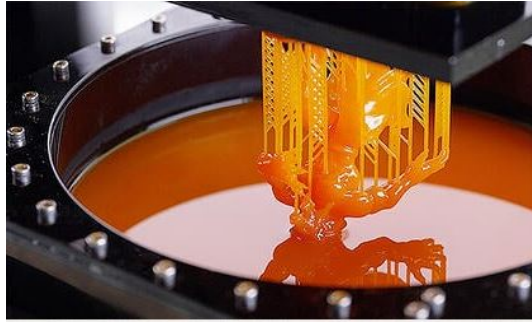


Figura 8: Fotopolimerización.

- Fusión de lecho de polvo:

Consiste generalmente en un depósito de materiales en forma de polvo, estos materiales son selectivamente consolidados al fundirlos juntos empleando una fuente de calor, como un láser o un rayo de electrones. El polvo que no se funde, rodea la pieza y funge como material de soporte para características adicionales, como se ve en la figura 9. Entre sus características permite la fabricación de formas complejas, además contempla un amplio rango de materiales como plásticos, metales, cerámicos y arena. Esta categoría contempla los siguientes procesos:

- SLS: Sinterización selectiva por láser.
- DMLS: Sinterización directa de metal por láser.
- EBM: Fusión por rayo de electrones.
- SHS: Sinterización selectiva por calor.
- MJF: Multi-Jet Fusion.

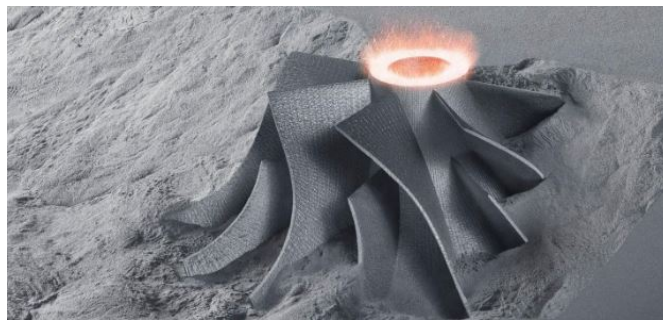


Figura 9: Sinterización Selectiva por Láser.

- Inyección de aglutinante (Binder Jetting):

Una serie de agentes líquidos de unión (como una suerte de “pegamentos”) son selectivamente aplicados en finas capas de material en polvo para ir construyendo piezas capa por capa. Los aglutinantes contienen materiales orgánicos e inorgánicos. Además, por lo general las piezas metálicas o cerámicas son llevadas a un horno luego de ser impresas. Este método permite la impresión a color, además que maneja un amplio rango de materiales como plásticos en polvo, metales, cerámicas, vidrio y arena. En la figura 10 se puede ver un esquema del proceso que se lleva a cabo. Los procesos considerados en esta categoría son:

- 3DP
- ExOne

- VoxelJet

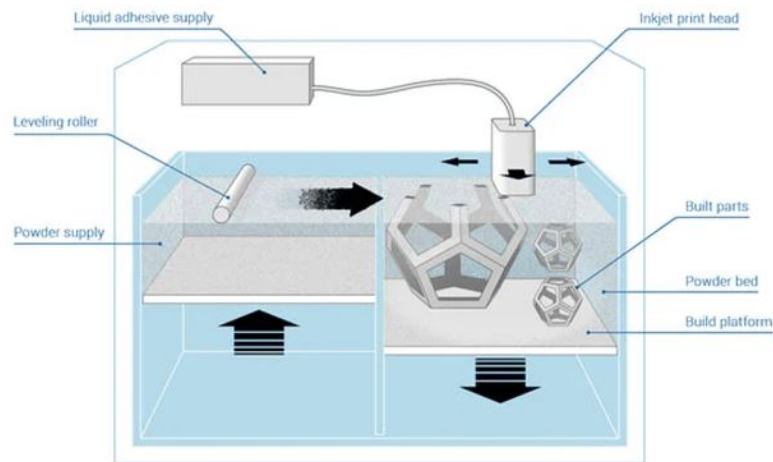


Figura 10: Esquema sobre el funcionamiento de la tecnología Binder Jetting.

- Inyección de Material (Material Jetting):

Consiste en un inyector que deposita gotas de material, capa por capa hasta fabricar la pieza. En algunos casos el inyector aplica también chorros de resina fotocurable y curado con rayos UV, así como chorros de materiales fundidos que luego se solidifican a temperatura ambiente. Permite la impresión de piezas a todo color y permite la incorporación de varios materiales en una misma pieza sin embargo, los materiales se ven limitados a polímeros, fotopolímeros y ceras. En la figura 11 se pueden ver las partes que son necesarias para realizar la técnica de inyección de material. En esta categoría se agrupan los siguientes procesos:

- Polyjet.
- SCP: Impresión de curvatura suave.
- MJM: Multi-Jet Modelling Project

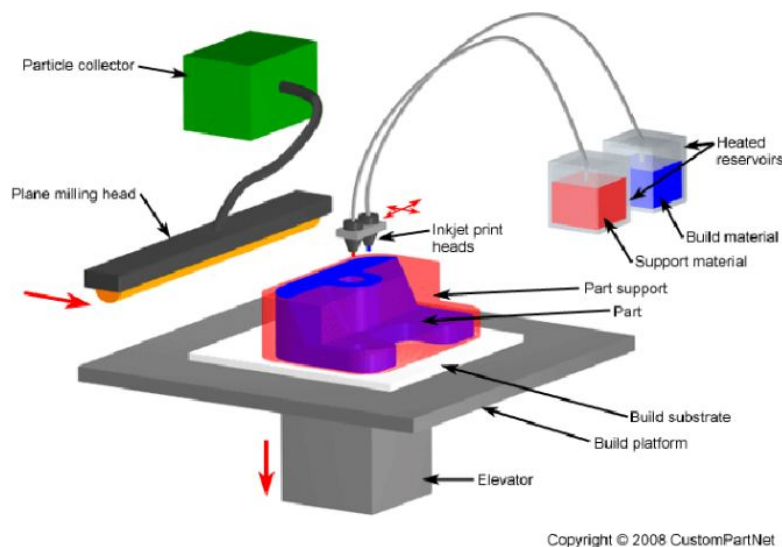


Figura 11: Partes de la tecnología Material Jetting.

- Laminación de hojas:

En este método, láminas de material son apiladas y laminadas en conjunto para formar un objeto. El proceso de laminación puede ser adhesivo o químico, soldadura ultrasónica o soldadura de bronce según el material que se está laminando. Posteriormente las zonas que no se necesitan son cortadas, capa por capa y eliminadas luego de que el objeto está concluido. Permite combinaciones de foil de metal incluyendo componentes embebidos y los costos son relativamente bajos. Se suele utilizar con papel, láminas de plástico y metal foil. En la figura 12 se observan las partes para el funcionamiento de este proceso. Esta categoría contempla los siguientes procesos:

- LOM: Manufactura de objetos laminados.
- SDL: Laminación por deposición selectiva.
- UAM: Manufactura aditiva ultrasónica.

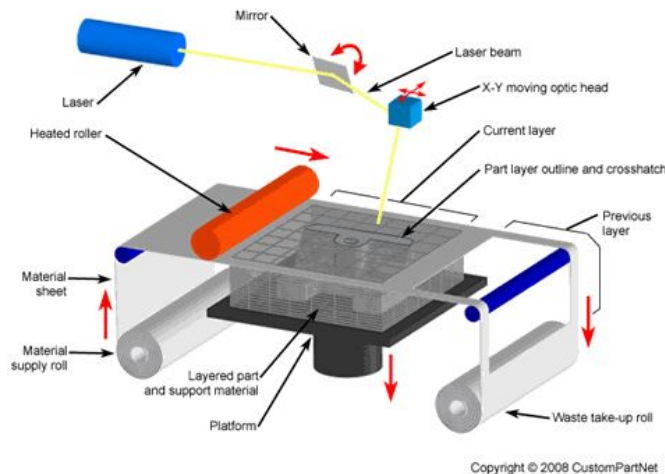


Figura 12: Funcionamiento del proceso LOM.

- Extrusión de Material:

En estos procesos el material es extruido a través de un cabezal, y se va colocando capa por capa hasta finalizar la pieza. Debido a su bajo costo y portabilidad es de los sistemas mayormente utilizados en escuelas y oficinas, además permite la impresión en una gran variedad de colores y el producto final posee buenas propiedades estructurales. Los materiales empleados son filamentos termoplásticos y pellets (FFF) así como líquidos especiales en jeringas. Dentro de esta categoría se incluyen los siguientes procesos:

- FFF: Fabricación por filamento fundido.
- FDM: Modelado por deposición fundida (fig. 13).

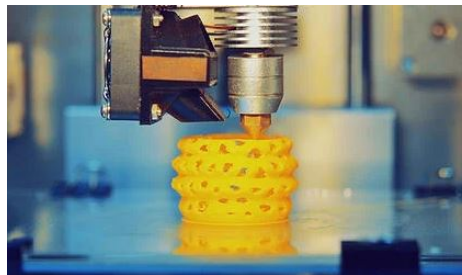


Figura 13: Impresión 3D por FMD.

- Deposición Directa de Energía (DED):

En esta categoría, materiales en forma de polvo o alambre son alimentados en una superficie donde se van adhiriendo mediante una fuente de energía como un rayo láser o un haz de electrones (ver fig. 14). Se puede decir que es una forma de soldadura. Una de sus principales características es que no tiene limitaciones de dirección o ejes, además que es efectivo para reparaciones o adiciones de material y se pueden trabajar múltiples materiales en una sola pieza. No obstante, los materiales con los que trabaja se limitan a metales (en polvo o alambre) y cerámicos. Esta categoría incluye las siguientes tecnologías:

- LMD: Deposición de Metal por Láser
- DMD: Deposición Directa de Metal
- LENS: Laser Engineered Net Shaping

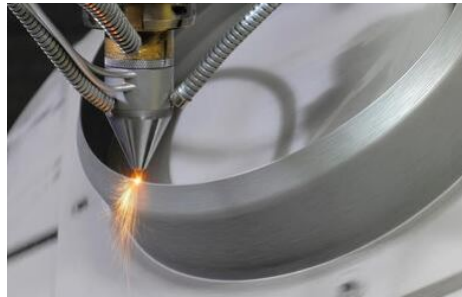


Figura 14: Máquina de impresión DED.

2.4 Mecanismos de un dedo

Los mecanismos pueden ser utilizados en el diseño de dedos robóticos para obtener sistemas de accionamiento adecuado para el posterior agarre o manipulación de objetos. La metodología propuesta parte de la obtención de las relaciones matemáticas de los elementos que conforman el sistema actuador y su posterior síntesis dimensional, lo anterior llevando en consideración que el mecanismo cumpla con características antropométricas basadas en la mano humana, para esto son tomadas diez posiciones (suministradas del trabajo realizado en la UMNG) obtenidas en simulación computacional. Se presentan los resultados obtenidos mediante simulación numérica para el mecanismo actuador así como el modelado en CAD de los mecanismos, para finalmente realizar una discusión de los resultados.

Los dedos humanos tienen tres articulaciones principales que son: articulación metacarpo falángica (MCP): encargada de unir la falange metacarpiana y la proximal de un dedo o pulgar; articulación interfalángica proximal (PIP): ubicada entre las falanges media y proximal del dedo; articulación interfalángica distal (DIP): situada entre las falanges media y distal del dedo. En la Figura 15 se detalla en un esquema del dedo índice sus falanges y tendones flexores.

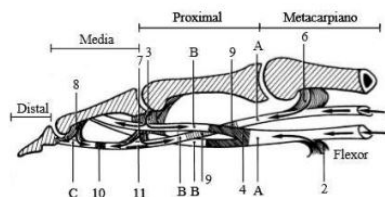


Figura 15: Dedo índice y sus partes: (A) zona proximal, (B) zona intermedio, (C) zona distal, (1) microvasos longitudinales intrínsecos, (2) vaina sinovial, (3) vinculum brevis, (4) segmento avascular, (5) y (6) vasos comparables a los del flexor superficial, (7) vinculum longus, (8) vinculum brevis sobre la tercera falange, y (9,10,11) segmentos de zonas avasculares..

Para lograr desarrollar un mecanismo que sea capaz de copiar los movimientos de los dedos se plantea estudiar el dedo índice ya que todos los dedos tienen movimientos muy similares variando únicamente sus dimensiones, la investigación parte determinando experimentalmente las trayectorias que debe generar cada una de las articulaciones de un dedo índice. En este caso en la Figura 16 se utiliza un software que determina las trayectorias recorridas por las articulaciones (TRACKER), a partir de un video del movimiento del dedo índice.

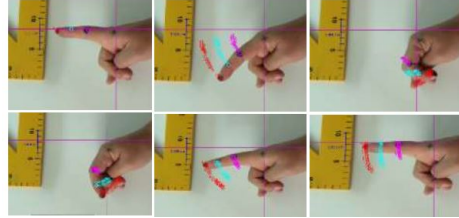


Figura 16: Generación experimental de las trayectorias del dedo índice.

El software permite la captura de movimiento en base a puntos de referencia, logrando generarse gráficas que muestran el comportamiento de los puntos de referencia respecto a un sistema de coordenadas, donde de acuerdo a la Figura 16, el color rojo equivale al extremo del dedo identificado como articulación A, el color celeste identifica a la articulación B, y el color morado indica a la articulación C. Se plantea desarrollar un mecanismo basado en la unión de varios mecanismos articulados de cuatro barras, en la Figura 17 se muestra el mecanismo de cuatro barras, que está formado por tres barras móviles y una cuarta barra fija. Las barras móviles están enlazadas a la fija mediante pivotes. Por lo general las barras se numeran de la siguiente forma:

- Barra 2. Barra que proporciona movimiento al mecanismo.
- Barra 3. Barra superior.
- Barra 4. Barra que recibe el movimiento.
- Barra 1. Barra fija imaginaria (bancada).

[6]

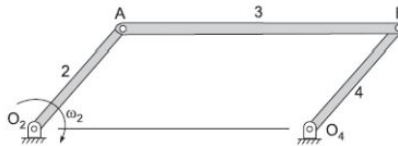


Figura 17: Mecanismo de cuatro barras y sus partes

2.5 Experiencias reales con prótesis de mano

En el artículo que utilizamos para esta sección nos da un resumen de análisis que realizó la revista The Lancet sobre la experiencia que fue realizar una prótesis de mano para tres pacientes, aquí se nos menciona que los tres pacientes, los cuales debido a sus lesiones, no existe tratamiento, “la reconstrucción biónica ha supuesto una forma de recuperar la función a la mano”.

El artículo menciona que en los casos incluidos en la revisión de The Lancet, los pacientes habían sufrido un accidente que no les había llevado a perder la mano, sino su función; los cuales padecían desgarros en el plexo braquial, la red nerviosa que transmite las señales desde la columna hasta el hombro, y de la que depende la movilidad de todo el brazo, siendo incapaces de usar la mano que tenían gravemente atrofiada.

La tecnología aplicada consiste en utilizar los impulsos eléctricos que contraen los músculos para activar unos sensores que controlan los movimientos de la prótesis. De forma que el cerebro transmite al nervio la orden de activar un músculo transmitiendo la señal al sensor que activa el dispositivo.

Simon Kay, el cirujano que practicó el primer trasplante de mano en el Reino Unido, comenta que tipo de trabajos ofrecen nuevas posibilidades a los pacientes, sin embargo comenta lo siguiente con respecto a la prótesis: “La clave [del éxito] de estos dispositivos está en el uso continuado, y suele decaer con el paso del tiempo ya que son pesados, necesitan energía, suelen ser ruidosos y, cuando se averían, requieren personal especializado para arreglarlos” [7].



Figura 18: Aspecto final de la prótesis en uno de los pacientes. THE LANCE.

3 Conclusiones

Gracias a la elaboración de esta investigación se ha podido ampliar más el conocimiento con respecto a las prótesis, específicamente a las prótesis de manos; a lo largo de la investigación se ven diversos temas de los cuales, hasta cierto punto eran desconocidos, diversos funcionamientos podrían ser nuevos para algunas personas, el ver los diversos tipos de prótesis que existen, así como también los métodos de manufactura, por mencionar algunos de los temas tratados. Aunado a todo los conocimientos técnicos y temas relacionados con la ingeniería, el ver casos reales aplicados ayuda a ver el cómo es que la tecnología ha ido avanzando y dando soluciones a problemas que antes se pensaban imposibles de tratar. Para el final de esta actividad se ha adquirido la capacidad de comprender la complejidad de la cual consiste crear una prótesis de mano robot. Se ha aprendido acerca de los mecanismos que esta contiene, así como los diferentes tipos de prótesis, y sus métodos de fabricación, los mecanismos en un dedo y algunos ejemplos que se han llevado a cabo en la vida real.

Referencias

- [1] Eduardo J. Carletti. Actuadores - manos. *Robots Argentina*. URL https://robots-argentina.com.ar/Actuadores_manos.htm. Accesado 29.08.2022.
- [2] ArmDynamics. Finger and partial hand prosthetic options. *ArmDynamics*, 2022. URL <https://www.armdynamics.com/our-care/finger-and-partial-hand-prosthetic-options>. Accesado 29.08.2022.
- [3] M. Quinde J. Cuzco J. Brito. Diseño, construcción e implementación de una prótesis biomecánica de mano derecha. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*, 2013. URL <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13709/1/UPS-CT002743.pdf>. Accesado 29.08.2022.

- [4] Metal Mecánica. Manufactura rápida de moldes con técnicas cnc. *MetalMecanica.com*, 2006. URL <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/manufactura-rapida-de-moldes-con-tecnicas-cnc>. Accesado 29.08.2022.
- [5] J. Orozco. Las 7 categorías de la manufactura aditiva. *Laminas y Aceros*, Septiembre 2019. URL <https://blog.laminasyaceros.com/blog/las-7-categor%C3%ADas-de-la-manufactura-aditiva>. Accesado 29.08.2022.
- [6] G. Calle O. F. Avilés Sánchez, P. León Simanca. Dedos para grippers robóticos. *Scientia et technica. Vol. 11*, 2005. URL http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302011000200016#Figura2. Accesado 29.08.2022.
- [7] Jaime Prats. Tres pacientes renuncian a una mano inútil a cambio de una biónica. *EL PAIS*, Febrero 2015. URL https://elpais.com/elpais/2015/02/24/ciencia/1424808808_156537.html. Accesado 29.08.2022.