

## **“Diseño y fabricación de una prótesis electromecánica de dedo pulgar”**

Propuesta de Investigación por:

Jimena Hernández  
Melissa Jasso  
Rubén Cantú  
Omar Gutiérrez  
Luis Landa

Supervisado por:

Ing. Isaac Estrada  
Dra. Yadira Moreno

## Índice

Resumen .....	3
1. - Introducción (Motivación y Justificación) .....	3
2. - Antecedentes y Estado del Arte .....	3
3. - Hipótesis.....	6
4. – Propuesta (Concreta) .....	6
5. - Objetivos .....	7
6. – Metodología (¿Cómo?).....	7
7. – Equipos e Infraestructura.....	8
8. – Referencias .....	8

## **Resumen**

Se propone realizar una prótesis mecánica de acuerdo con los conocimientos previamente establecidos en electrónica, mecánica, área de materiales y fisiología, principalmente el análisis de los elementos finitos que interactúan.

Las prótesis son fabricadas con elastómeros de la familia de los silanos. Estos materiales, a diferencia de otros plásticos, tienen como base cadenas de silicio en vez de cadenas de carbón, lo que hace que los silanos no se disuelvan en solventes orgánicos convencionales como las acetonas, alcoholes, gasolina, grasas, etc.

Además, al no contener carbón en su estructura son muy resistentes a altas temperaturas; son materiales con buenas propiedades elásticas y con buena resistencia a la ruptura.

Aportando con la prótesis una alternativa a las situaciones donde llegan a hacer falta extremidades de manera que estas prótesis puedan solucionar la situación y así mismo continuar con su vida lo más normal posible.

## **1. - Introducción (Motivación y Justificación)**

Se desea dar una solución factible para la sustitución de un dedo pulgar de la mano de un paciente que haya perdido dicha extremidad por algún accidente.

El sustituir el dedo pulgar de una mano resulta mucho mas desafiante de lo que podría aparentar a primera vista, de todos los dedos de la mano, el pulgar es aquel que cuenta un mayor grado de libertad y complejidad a comparación con los demás, también este dedo es considerado el más importante que el resto pues es usado casi en cualquier situación a lo largo del día de una persona promedio.

El estudio y desarrollo de una prótesis de dedo pulgar resulta interesante ya que el pulgar asume el 40% de la función de la mano y la articulación trapecio metacarpiana es la más importante de su complejo osteoarticular. Su biomecánica nos permite realizar pinza entre el pulgar y los dedos largos, así como llevar a cabo una empuñadura o agarre potentes.

La correcta implementación de una prótesis de dedo pulgar brindaría una alternativa a los procedimientos que se realizan comúnmente, existe la opción de que un cirujano pueda reemplazar el dedo pulgar de la mano amputando el dedo pulgar del pie y colocarlo en la mano, este tipo de procedimiento puede ser sustituido por una prótesis.

Uno de los beneficios que tiene esta prótesis en particular es poder conservar una buena capacidad de agarre, así como también haría desaparecer el dolor fantasma que surge de la sensación de seguir teniendo la extremidad amputada.

## **2. - Antecedentes y Estado del Arte**

Fue en 1982, cuando el hoy célebre ingeniero del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés), en EE. UU., se perdió durante una escalada en New Hampshire y pasó varias noches a temperaturas inferiores a los 20 grados bajo cero.

Herr sobrevivió, pero debieron amputarle ambas piernas por debajo de las rodillas. Frustrado por la falta de funcionalidad de las primeras prótesis que le ofrecieron, el científico decidió

dedicar su vida a diseñar y crear piezas que sí le permitieran, a él y a cientos de personas, recuperar la libertad de movimiento.

Herr recibirá en octubre el premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica por las prótesis biónicas que ha venido diseñando durante dos décadas. El diseño es también un punto muy importante para la ortopedia y las prótesis, ya que de él depende la calidad de vida de los pacientes. En este sentido, se ha mejorado mucho. Por ejemplo, ahora se pueden usar métodos fotométricos, que registran digitalmente los datos del muñón, gracias al uso de un software especial que sirve para realizar prótesis mucho más perfectas.

En la fabricación de prótesis se utilizan diversos materiales, como por ejemplo el poliuretano termoestable. Para pigmentar, se utilizan colorantes para resina en pasta o líquidos; para las articulaciones de cadera o rodilla, se suelen utilizar Los componentes metálicos suelen ser aquellos fabricados por uno de los muchos distribuidores de componentes protésicos. Pueden ser rodillas, pilones, tobillos y rotadores, por nombrar algunos. Se pueden encontrar ejemplos de aluminio, acero inoxidable y titanio de estos componentes.

El aluminio, en general, se considera como una alternativa más liviana que el acero. No es tan duro, pero, dependiendo de la aplicación, es lo suficientemente resistente como para cumplir los requisitos de diseño y superar las pruebas necesarias. Determinadas rodillas se fabrican de aluminio, aprovechando lo poco que pesa.

Algunas de estas rodillas son muy resistentes y duraderas, lo que se debe a la geometría de la rodilla y al material utilizado. El acero es sin duda resistente, pero, también, relativamente pesado. Puesto que el acero es duro, se puede usar para fabricar pequeños componentes que pueden valerse más de la resistencia del material que de la geometría del diseño. Al principio, las pequeñas unidades de rodilla que se usaban para las prótesis Endo esqueléticas se hacían de acero. Aunque el material es bastante pesado, se necesita muy poco para elaborar estas rodillas.

El titanio es una alternativa resistente y liviana. La desventaja es su elevado precio. Muchos de los componentes Endo-esqueléticos inicialmente diseñados de acero están ahora disponibles en titanio. Se deben tener en cuenta todas las ventajas y desventajas al escoger los componentes protésicos. Si no se eligen adecuadamente, los materiales más costosos, resistentes y livianos pueden no proporcionar ninguna ventaja discernible en comparación con las opciones menos exóticas. Metales como el acero o titanio.

Con respecto a la longitud de los dedos en **hombres**, considerando la sumatoria de los promedios obtenidos para cada sector de las falanges correspondientes, los promedios fueron los siguientes: **pulgar, 72,5 mm en la mano derecha y 72,4 mm en la mano izquierda;** indicador, 104,2 y 104,5 mm; medio, 115 y 114,6 mm; anular, 109,1 y 108,9 mm y el mínimo, 88,5 y 88,4 mm, respectivamente.

En **mujeres**, las longitudes promedio fueron: **pulgar de la mano derecha, 63,5 mm y 62,6 mm en la mano izquierda;** indicador, 91 y 90,7 mm; medio, 100,4 y 99,2 mm; anular, 94,4 y 94,2 mm y el mínimo, 75,8 y 75,9 mm, respectivamente.

El 40 % de las lesiones de la mano producidas por accidentes laborales o de trabajo, comprometen en mayor porcentaje los dedos índice y pulgar. El avance tecnológico en la elaboración de prótesis para miembro superior, específicamente para la mano, ha generado un incremento en la calidad de vida de las personas que han sufrido amputaciones traumáticas al nivel de este órgano. Los usuarios pueden obtener una solución a su deficiencia funcional según sus necesidades específicas; de igual forma se consideran las características cosméticas que complementan la función.

La funcionalidad de la mano está representada en un 40 % por la presencia del dedo pulgar. Su conservación es fundamental y en caso de tener que realizar una amputación, está siempre debe ser lo más distal posible. La articulación de la base del pulgar (articulación carpometacarpiana) es una articulación en silla de montar que permite más direcciones de movimiento que las de los otros dedos. La función más importante del pulgar es oponerse a los demás dedos, lo cual nos permite manipular objetos de nuestro entorno. La articulación carpometacarpiana del pulgar se encuentra entre el primer hueso metacarpiano y uno de los huesecillos de la muñeca (el trapecio) (por eso también se le llama trapezometacarpiana).

Las amputaciones interfalángicas, en especial la distal de la primera falange, causan la menor afectación en la funcionalidad del pulgar. En las amputaciones proximales o de todo el pulgar se debe crear un nuevo dedo con capacidad de oposición.

La mano humana tiene un número alto de grados de libertad, alta relación fuerza/peso (incluida la fuente de energía), bajo factor de forma (compacta) y un sistema sensorial complejo. Particularmente, cada dedo posee 2° de libertad en la base con excepción del pulgar que tiene 5° y 2 articulaciones tipo bisagra que proporcionan los movimientos de flexión y extensión. En la palma se encuentran otros grados de libertad (GDL), que permiten curvar la superficie donde están localizadas las bases de los dedos.

El movimiento de oposición del pulgar combina tres acciones simultáneas durante su ejecución: la anteposición, flexión y pronación de este dedo. Esto se debe a que intervienen las tres articulaciones (Articulación trapezometacarpiana, metacarpofalángica e interfalángica). Pero en si este movimiento se realiza haciendo contacto del pulpejo del dedo pulgar con el centro de la palma de la mano y la punta de los dedos (índice, medio anular y meñique) para formar la pinza pulgodigital.

La acción de oposición del pulgar es realizada por un grupo de músculos de la eminencia tenar de la mano, uno de ellos denominado oponente del pulgar que es un músculo pequeño y de forma triangular que se origina en el hueso trapecio y el ligamento transversal del carpo y se inserta en el lado radial del metacarpo del pulgar.

Otro músculo que interviene es el aductor del pulgar que es el músculo más profundo de la eminencia tenar y posee dos porciones, una oblicua que se origina en los huesos grande y ganchoso y la otra transversal en la cara palmar del tercer metacarpiano. Ambas porciones se insertan en el hueso sesamoideo cubital en la articulación carpometacarpiana del pulgar.

Por último, el flexor corto del pulgar cuya función es flexionar y oponer el pulgar en su

articulación carpometacarpiana, posee dos vientres musculares denominados superficial y profundo, que tienen orígenes diferentes. La porción superficial se origina en la saliente lateral del hueso trapecio y la profunda en la cara lateral del trapecoide y la cara medial del grande; entonces ambas porciones se insertan en la base de la falange proximal del pulgar y en el hueso sesamoideo.

La fabricación tradicional de prótesis se basa principalmente en el yeso y los modelos 3D para su producción precisa con el fin de permitir que los pacientes comiencen la rehabilitación y participen en las actividades diarias.

Los avances tecnológicos recientes permiten el uso de fotografías 2D para fabricar prótesis individualizadas basadas en la antropometría del paciente. La fabricación aditiva (es decir, la impresión 3D) mejora la capacidad de fabricación de prótesis al aumentar significativamente la velocidad de producción y reducir los costos de producción.

La impresión 3D ha experimentado un auge en los últimos 10 años debido a que los precios, tanto de las impresoras como de los materiales, se han reducido hasta el punto de ser accesibles de forma individual y para uso doméstico. Dentro de los distintos procesos de impresión 3D, existe la estereolitografía (SLA). El proceso de estereolitografía se basa en la utilización del principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensibles a los rayos UV. Esta resina se solidifica capa por capa mediante el paso de una láser, dotando de mayor calidad a los modelos fabricados mediante esta tecnología.

### **3. - Hipótesis**

Se espera que la prótesis realizada sea una solución ampliamente factible para la sustitución de un dedo pulgar, donde gracias a los análisis mecánicos, eléctricos y fisiológicos que se emplean anteriormente para asegurarse de que sea compatible el mecanismo con la fisiología del paciente, dando así respuesta a si las prótesis mecánicas son una grata solución a las amputaciones.

### **4. – Propuesta (Concreta)**

Se diseñará una prótesis de dedo de acuerdo con las necesidades de la población que no posea dicha extremidad. Para lograr esto se utilizará un sistema de eslabones y engranes que nos ayudarán a que tenga el movimiento de esta extremidad real, de acuerdo con los grados de libertad estudios.

Para esto primeramente se llevarán a cabo ciertas investigaciones como cuales son las verdaderas necesidades que debe cubrir esta prótesis y los materiales más factibles a utilizar, se diseñará un boceto e incluso después se puede llevar a cabo una simulación en algún programa de diseño como SolidWorks para ya después de ver todo esto, lograr pasar a la construcción de esta.

## 5. - Objetivos

### Objetivo General:

Realizar el diseño, construcción e implementación de una prótesis del dedo pulgar hecha con impresiones 3D, que sea capaz de replicar los movimientos de un dedo real, haciendo uso de programas CAD como SolidWorks para diseñar, y simuladores como Matlab para estudiar su comportamiento y así comprobar que este pueda realizar los movimientos de manera correcta, para posteriormente implementar la electrónica necesaria e identificar costos y materiales para facilitar su manufactura. Esperando obtener los resultados del proyecto en un tiempo aproximado de dos meses.

### Objetivos Específicos:

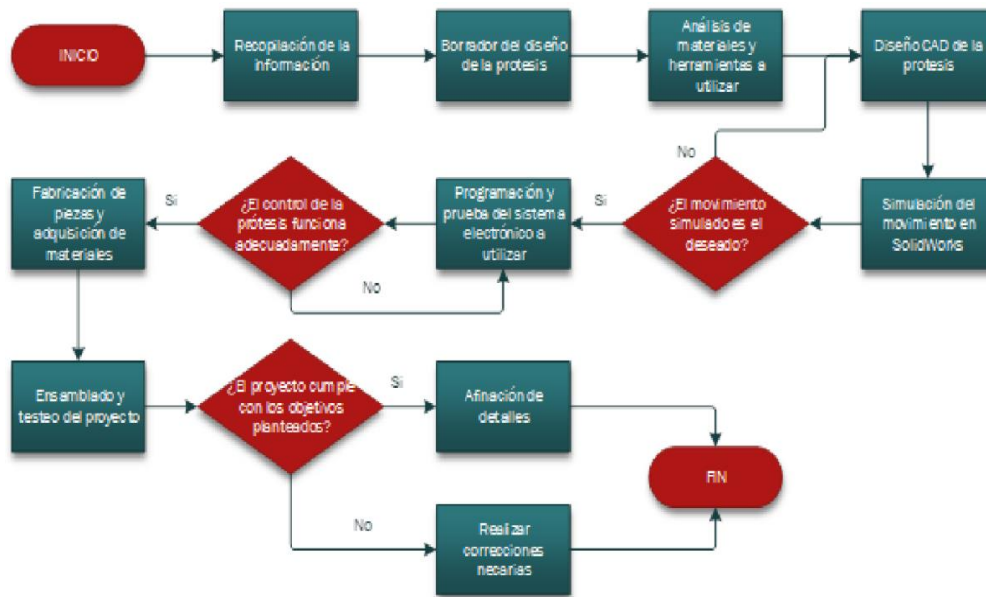
- a) Investigar información de los antecedentes y estado del arte de las prótesis de dedos.
- b) Sintetizar la información obtenida para aclarar las ideas del proyecto.
- c) Comparar la información y establecer en base a costos y procesos de manufactura la forma del mecanismo y prótesis.
- d) Preparar propuestas de diseño que se ajusten a lo establecido anteriormente.
- e) Diseñar el mecanismo, estructura y circuito de la prótesis.
- f) Realizar simulaciones de control de movimiento y electrónica aplicada para comprobar que funcionen correctamente.
- g) Examinar la posibilidad de enviar a manufacturar el circuito para evitar errores de mano de obra.
- h) Manufacturar cada una de las partes de las prótesis en su respectiva área.
- i) Integrar cada una de las partes de la prótesis.
- j) Realizar pruebas para validar su funcionamiento.
- k) Examinar si cumple con el objetivo inicial del proyecto.

## 6. – Metodología (¿Cómo?)

Para con cada uno de los objetivos anteriormente presentados, será necesario aplicar una metodología que nos guíe a través de cada proceso hasta obtener el producto final.

Nuestro proceso de implementación de la prótesis consta, primeramente, de realizar investigaciones acerca del estado del arte de las prótesis de dedos para recopilar información y poder realizar análisis y comparaciones de los diferentes diseños y materiales para plantear el más adecuado a nuestra situación en cuanto a tiempo y recursos, después de asignar el diseño pertinente se pasará a la fase de simulación y análisis de comportamiento de la prótesis para comprobar si el movimiento es el deseado, se programará el sistema y si cumple todo esto adecuadamente se empezará con la adquisición de material y la fabricación de piezas para posteriormente ensamblar el proyecto, por ultimo afinaremos detalles que podrían presentarse en la programación o correcciones pequeñas en el mecanismo. Siguiendo esta metodología se esperan cumplir cada uno de los objetivos para posteriormente entregar el presentable del proyecto a los supervisores.

El proceso explicado anteriormente puede verse reflejado en el siguiente ejemplo del diagrama de flujo a seguir.



## 7. – Equipos e Infraestructura

Para el diseño se utilizará:

- Placa de desarrollo Raspberry Pico o Microcontrolador ATmega328p
- Componentes electrónicos y mecánicos a proponer
- Software de programación y simulación

## 8. – Referencias

Silva Castellanos, C. A., Muñoz Riaños, J. E., Garzón Alvarado, D. A., Landínez Parra, N. S., & Silva Caicedo, O. (2011). Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 30(1), 15-41.

Binvignat, O., Almagià, A., Lizana, P., & Olave, E. (2012). Aspectos biométricos de la mano de individuos chilenos. *International Journal of Morphology*, 30(2), 599-606.

Junquera, R. (s. f.). Oposición del pulgar. Recuperado 25 de septiembre de 2022, de <https://www.fisioterapia-online.com/glosario/oposicion-del-pulgar>

Garrido Sánchez, G. (2019). Diseño y fabricación de un dedo protésico articulado mediante impresión 3D.

Alonso Lison. (2021). La importancia del dedo pulgar. Recuperado de <https://www.dralonsolison.com/la-importancia-del-dedo-pulgar/>



PRIM Clinicas ortopedicas. (2019). ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS DE LAS PRÓTESIS BIÓNICAS?. Recuperado de <https://www.primclnicasortopedicas.es/beneficios-protesis-bionicas/>

George McGavin. (2014). Las increíbles extremidades del ser humano: manos y pies. Recuperado de [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140227\\_ciencia\\_manos\\_y\\_pies\\_jgc\\_finde#:~:text=Nadie%20duda%20que%20el%20pulgar,cuerpo%20por%20un%20bien%20mayor.](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140227_ciencia_manos_y_pies_jgc_finde#:~:text=Nadie%20duda%20que%20el%20pulgar,cuerpo%20por%20un%20bien%20mayor.)