



*Diseño ergonómico de un sistema de agarre mecánico de prótesis infantil para miembros superiores por debajo del codo*

*Ergonomic design of a mechanical grip system of children's prostheses for upper limbs below the elbow*

*Desenho ergonômico de sistema de preensão mecânica de próteses infantis para membros superiores abaixo do cotovelo*

Alexandra Orfelina Pazmiño-Armijos <sup>I</sup>  
[apazmino\\_a@epoch.edu.ec](mailto:apazmino_a@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5111-7968>

Eduardo Harry Medina-Quintero <sup>II</sup>  
[eduardo.medina@epoch.edu.ec](mailto:eduardo.medina@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-3089-7643>

Edwin Rodolfo Pozo-Safla <sup>III</sup>  
[edwin.pozo@epoch.edu.ec](mailto:edwin.pozo@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8931-3577>

Ernesto Vinicio-Pazmiño <sup>IV</sup>  
[vini78paz@gmail.com](mailto:vini78paz@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-3905-2046>

**Correspondencia:** [apazmino\\_a@epoch.edu.ec](mailto:apazmino_a@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

**\*Recibido:** 30 de octubre de 2021 **\*Aceptado:** 30 de Noviembre de 2021 **\* Publicado:** 15 de Diciembre de 2021

- I. Ingeniera electrónica en computación y Tecnóloga en Informática aplicada, Especialista en Redes de Comunicación de datos, Magister en Informática Empresarial, miembro el Grupo de Investigación y Estudios en Bioingeniería, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Automotriz, Técnico de Investigación del IDI de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Magister en Diseño, Producción y Automatización Industrial, Ingeniero Mecánico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Tecnólogo en Electromecánica, Docente de la Escuela de Electromecánica del Instituto Superior Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador.

## **Resumen**

El mecanismo de agarre de una de prótesis infantil para miembro superior por debajo del codo para movilidad del dedo pulgar, se usa un sistema tensor mediante un muelle que permita el agarre de objetos que se ajusten al tamaño de la mano.

Este mecanismo de resorte está configurado para maximizar la fuerza de apriete del dedo con la mano completa requeridas para sujetar los objetos, así como para proporcionar la confianza en el usuario en el uso de este tipo de prótesis.

El sistema incluye un sistema de tornillo prisionero en el dedo para asegurar la cuerda o cable del resorte que lo mantendrá tensionado asegurando la fuerza de agarre, la estructura de detección de tensión del cable y el resorte montado en la parte interna de la mano, al igual que el recubrimiento del resorte impiden la fricción entre el resorte y la superficie interna de la mano.

El resorte alcanza su mayor recorrido para proporcionar el espacio suficiente y permitir el agarre del objeto con el mecanismo de dedo de la prótesis y de esta forma ayudar al usuario a identificar el límite de agarre del mecanismo.

## **Abstract**

The gripping mechanism of a child prosthesis for an upper limb below the elbow for mobility of the thumb, uses a tensioning system through a spring that allows the grip of objects that adjust to the size of the hand.

This spring mechanism is configured to maximize the full hand finger clamping force required to hold objects, as well as to provide user confidence in the use of this type of prosthesis.

The system includes a set screw system in the finger to secure the spring rope or cable that will keep it tensioned by ensuring the gripping force, the cable tension sensing structure and the spring mounted on the inside of the hand, to the Like the spring coating, they prevent friction between the spring and the inner surface of the hand.

The spring reaches its greatest travel to provide sufficient space to allow gripping of the object with the finger mechanism of the prosthesis and thus help the user to identify the limit of grip of the mechanism.

## Resumo

O mecanismo de preensão de uma prótese infantil por um membro superior abaixo do cotovelo para mobilidade do polegar, utiliza um sistema de tensionamento por meio de uma mola que permite a preensão de objetos que se ajustam ao tamanho da mão.

Este mecanismo de mola está configurado para maximizar a força total de aperto dos dedos necessária para segurar objetos, bem como para fornecer confiança ao usuário no uso deste tipo de prótese.

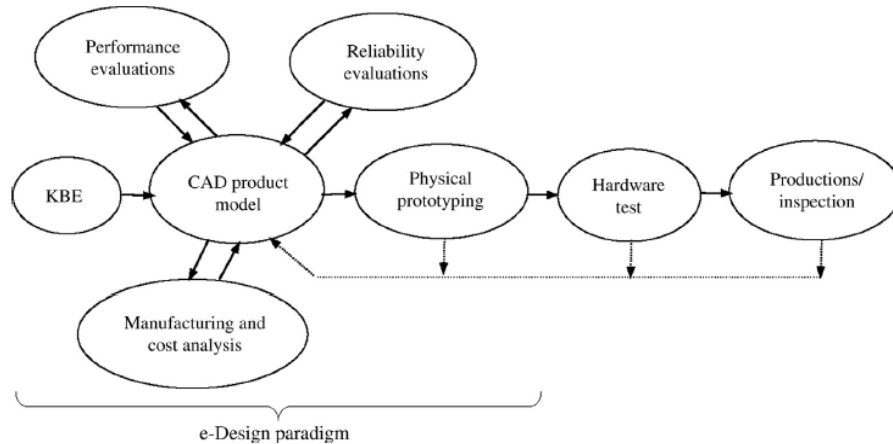
O sistema inclui um sistema de parafuso de fixação no dedo para prender a corda ou cabo da mola que o manterá tensionado, garantindo a força de aperto, a estrutura de detecção de tensão do cabo e a mola montada na parte interna da mão, para o , eles evitam o atrito entre a mola e a superfície interna da mão.

A mola atinge seu maior curso para fornecer espaço suficiente para permitir a preensão do objeto com o mecanismo de dedo da prótese e, assim, ajudar o usuário a identificar o limite de preensão do mecanismo.

## Introducción

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 tienen amputaciones por nacimiento o por pérdidas traumáticas en 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. [1]

Como se muestra en la Figura 1, en el concepto de diseño de un producto se realiza primero la forma del modelo sólido con la utilización de herramientas CAD. El producto inicial a menudo se establece en base a la experiencia del diseñador, de los datos heredados de las líneas de productos anteriores o de la obtención mediante ingeniería inversa. El diseño de la prótesis define dominios específicos para ayudar a conseguir la personalización del modelo y encontrar una solución a un problema de rehabilitación de miembro superior, el modelo virtual se respalda en el diseño conceptual. Además, un sistema integrado con la herramienta CAD puede generar directamente un modelo sólido del diseño conceptual que sirva expresamente a las simulaciones de diseño y fabricación.



**Fig. 1.** El paradigma del diseño

El desempeño, la calidad y los costos obtenidos de las simulaciones multidisciplinarias son variables de diseño incluyendo dimensiones geométricas y el material. Con el modelo CAD de la prótesis, se puede realizar un enfoque de diseño sistemático, que incluye un estudio paramétrico para el diseño conceptual y un estudio de compensación para el diseño de detalles, para mejorar la prótesis con un número mínimo de iteraciones de diseño.[2] La prótesis diseñada en el entorno virtual se fabrica utilizando máquinas de creación rápida de prototipos como impresión 3D.

Las propiedades mecánicas del ácido láctico o su nombre comercial (PLA) pueden variar, desde materiales suaves y elásticos hasta materiales rígidos y de alta resistencia, de acuerdo con diferentes parámetros, tales como cristalinidad, estructura del polímero, peso molecular y formulación del material (mezclas, plastificantes, compuestos, etc.) y orientación.[3]

Se presenta el diseño y construcción de un prototipo de prótesis de tipo mecánica utilizando un mecanismo de resorte para movilidad del pulgar, El mecanismo, a su vez, estará soportado por una prótesis cosmética hecha a la medida del paciente, para tener un prototipo de fácil adaptación a la prótesis.

El prototipo propuesto se diferencia de las prótesis comerciales, ya que está no utiliza componentes electrónicos ni sistemas de alimentación externos, con lo cual se obtiene un producto de fácil utilización, que no requiere de cirugías invasivas sobre el miembro afectado, como ocurre con las prótesis mioeléctricas. [4]

El proceso de elaboración de la prótesis se inicia con una evaluación del paciente que permite conocer sus necesidades funcionales específicas, con la finalidad de conocer los aspectos más importantes que esta espera obtener de la prótesis.

A continuación, se realizó una fase de diseño donde se construyó un prototipo y un sistema de sujeción a la medida del usuario. Finalmente se contó con una fase de pruebas y modificaciones, durante la cual el usuario prueba el prototipo; en esta se permite realizar ajustes a los mecanismos para asegurar la satisfacción del usuario y la solución a las necesidades funcionales motoras de la mano. [3]

El prototipo está diseñado para acoplarse con el mecanismo al resto de la prótesis. Aunque el prototipo planteado representa un diseño único de prótesis (está construida de acuerdo con las dimensiones y necesidades funcionales propias del miembro superior izquierdo del paciente), la experiencia a partir del proceso permite pensar en la posibilidad de diseñar prótesis estándar que requieran mínimas modificaciones, para que puedan ser usadas por pacientes con amputación parcial de mano. [5]

## **Materiales y métodos**

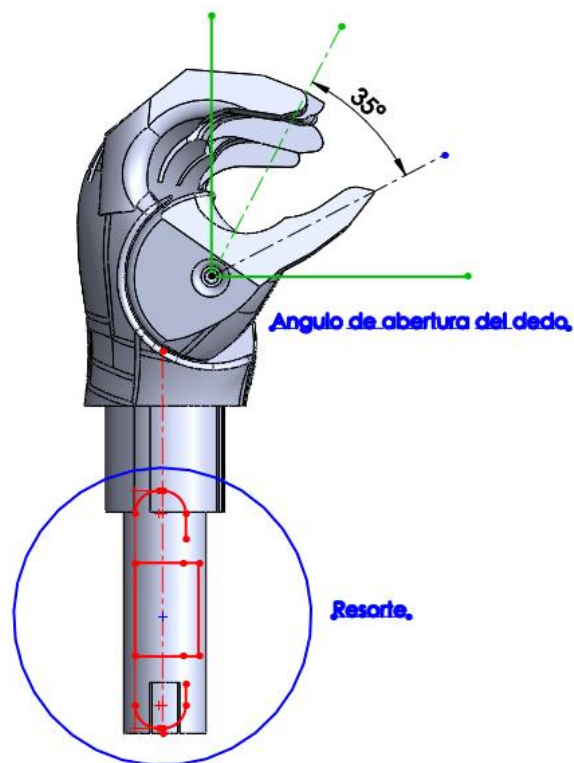
### *Diseño del mecanismo de la mano*

#### *- Diseño mecánico del pulgar en una configuración tipo pinza*

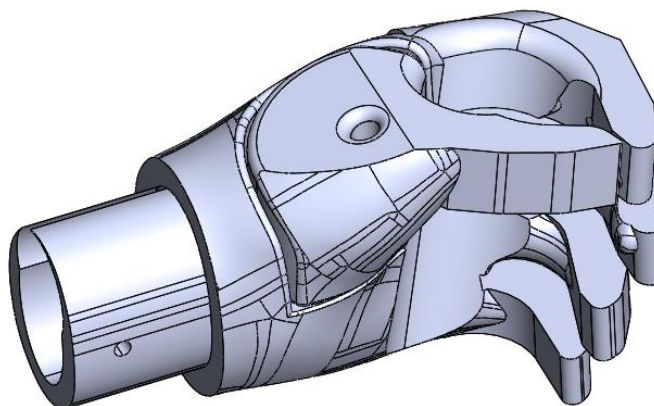
El proceso para El diseño de este nuevo producto se centró primero en cuáles serían las necesidades del usuario. Esas necesidades son evaluadas a través de la investigación y confirmado con un protésico profesional.

Se configuró el sistema mecánico del dedo pulgar a un ángulo de  $35^\circ$  a partir del cierre de mano, y la ubicación del resorte que servirá como tensor del pulgar, como se muestra en la figura 2 y la figura 3.[6]

Para el diseño de la mano mecánica para una prótesis miembro superior por debajo del codo, primero se diseñó el mecanismo de la mano en un software de modelamiento CAD.



**Fig. 2.** Diseño y configuración la ubicación del resorte.



**Fig. 3.** Preparación del diseño mecánico de la mano.

- *1 mano sin el pulgar*

Contiene el diseño de los cuatro dedos de la mano y el sistema de alojamiento del dedo pulgar, además consta el diseño de la parte de la muñeca donde va alojado el cilindro que contiene el resorte.

- *2 bocín del pulgar*

Es el eje de rotación donde va rotar el pulgar y sirve de conexión con el resto de la mano.

- *3 bocín de ajuste*

Sirve para ajustar la cuerda que conecta el dedo pulgar con el resorte.

- *4 cilindro*

En el cilindro se aloja el resorte, de esta forma el cilindro ayuda a disminuir la fricción entre resorte y la parte interna de la mano.

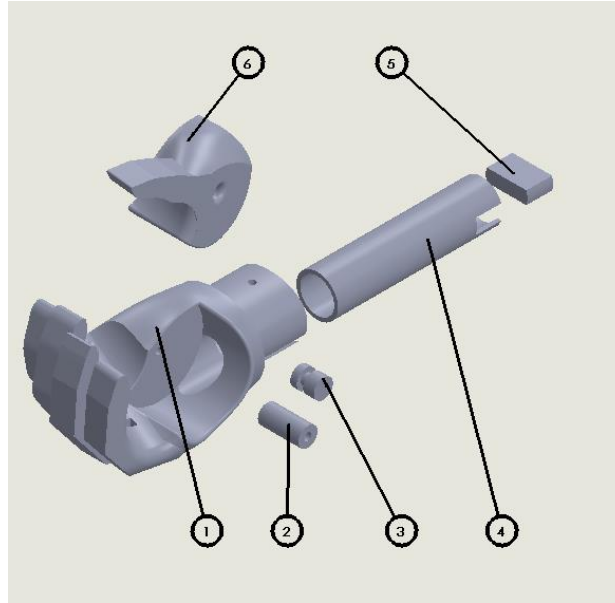
- *5 soporte*

Este sirve empotramiento para un extremo del resorte y está alojado en una sección del cilindro.

- *5 pulgar*

El dedo pulgar de la mano mecánica es el encargado de transformar la tensión del resorte en un mecanismo tipo pinza y así permitir que el usuario pueda agarrar cual tipo de objeto que alcance con el ángulo de abertura del pulgar.

Está sujeto al resto de los componentes de la mano mecánica por un bocín que a su vez es asegurado por un tornillo que se acopla desde la parte superior del pulgar y se asegura en la rosca de la mano en la parte seccionada entre el pulgar la mano, asegurando de esta forma el mecanismo para su correcto funcionamiento.



**Fig.4.** vista explosionada de la mano mecánica.

#### *Diseño estético de la mano*

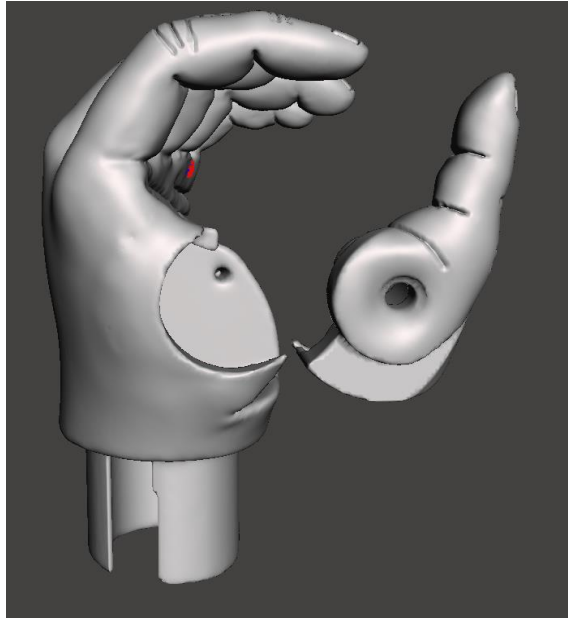
##### *- Esculpido Digital de la mano de mecánica*

Una vez obtenemos la forma mecánica de la mano se exporta el archivo CAD, a un software de escultura digital, donde se mejora el diseño y la estética la mano para que su apariencia luzca casi real.

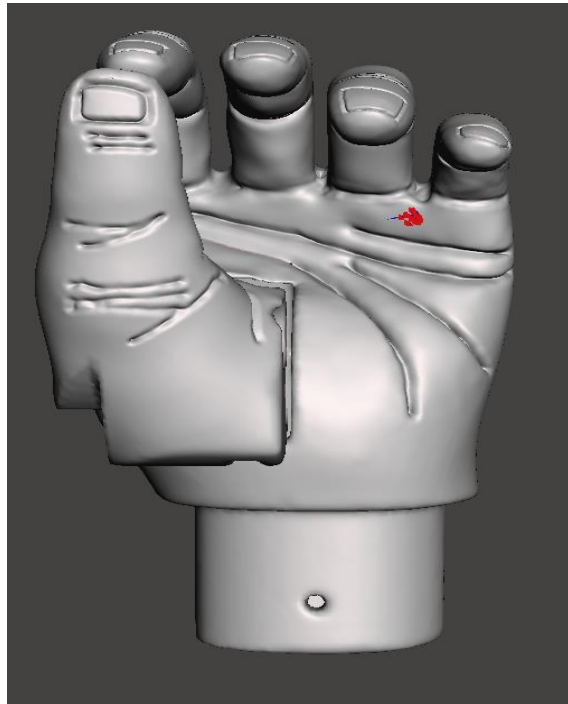
Al dar detalles a la mano en un software de esculpido digital, se ahorra tiempo y costos de producción ya que no necesitamos adquirir guante de látex para dar realismo a la mano mecánica puesto que los detalles de realismo se los puede diseñar con el software CAD y obtener el archivo físico mediante impresión 3D.

Se genera el modelo 3D de la prótesis con algunos detalles del personalizado como se muestra la figura 5, figura 6 y figura 7.

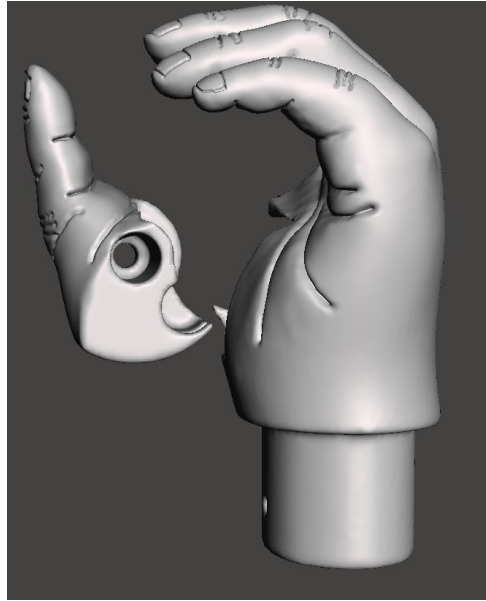




**Fig. 5.** Vista superior, detalles de la mano mecánica.



**Fig. 6.** Vista lateral, detalles de la mano mecánica.



**Fig. 7.** Vista inferior, detalles de la mano mecánica.

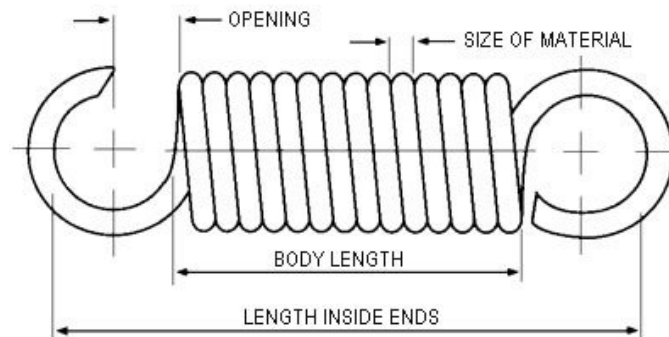
### *Selección del resorte para el mecanismo*

#### *Resorte de tensión*

Para tensionar el dedo se utilizó un resorte de tensión de una longitud de 25 mm con un diámetro de 15 mm y que tenga la suficiente fuerza para sujetar un objeto, figura 8.

El resorte debe seleccionarse en función de la fuerza del usuario, el usuario debe ser capaz de halar el mecanismo del dedo cada vez que quiera sujetar algo con la prótesis.

El resorte no debe sobrepasar las medidas del cilindro donde va alojado, esto podría ocasionar redimensionamiento de la mano el cual no se sería factible para el diseño del mecanismo de la prótesis de mano mecánica ya que el resultado a obtener es una mano estética que se asemeje más a una mano real.



**Fig. 8.** Características del resorte.

## Discusión y resultados

La tendencia del uso de la tecnología para el diseño de piezas complejas ha venido evolucionando, de tal manera que ha facilitado y permitido realizar replicas perfectas con el uso del escáner 3D.

El diseño 3D del miembro superior de una persona ha proporcionado un ahorro de tiempo en la obtención de su geometría, siempre percatándose de las necesidades y el uso que se le pueda dar a la prótesis sin interferir con vida diaria del paciente ya que una prótesis mecánica está hecha para mejorar la calidad de vida del usuario.

## Conclusión

- Se estableció la metodología para la obtención del modelo geométrico de la mano mecánica, mediante el diseño 3D con un software de diseño CAD, generándose de esta actividad un archivo STL, el cual es llevado a un software de esculpido digital que es considerado para la edición y creación de elementos sólidos para poder llevar a la fabricación mediante impresión 3D.
- La creación de la mano se genera en un software CAD con herramientas de recubrir sólidos, extruir y cortar, con esta herramienta se realiza la parte mecánica de la mano de tal forma que ya se tiene un bosquejo del mecanismo y se podrá realizar un análisis de dicho bosquejo en 3D.
- La configuración del mecanismo para el proceso de diseño 3D es importante para mantener la condición de volumen y la estética de la prótesis de mano mecánica y que proporcione la estabilidad de los miembros superiores.

## Referencias

1. F. A. Velásquez Gaviria, L. Barrera Diez, C. H. Berón Gómez, J. M. Espinoza Echeverría, and L. M. Ortiz, "Diseño de inmovilizadores rígidos traslúcidos para miembros superiores e inferiores en trauma," 2014.
2. F. E. Zamora Oñate, "Implementación de una máquina ejercitadora ergonómica para la rehabilitación física de personas con parapléjia y adultos mayores," Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; Facultad de Ciencias de la..., 2017.

3. L. T. Sin, *Polylactic acid: PLA biopolymer technology and applications*. William Andrew, 2012.
4. M. A. Cedeño Panezo, “Prótesis robótica controlada por neuroseñales para la inclusión de personas con discapacidad física en extremidades superiores,” Ecuador-PUCESE-Escuela de Sistemas y Computación, 2019.
5. E. Bautista Corzo and P. D. Silva Supelano, “Diseño Y Construcción De Un Prototipo Funcional De Prótesis De Miembro Superior Para Un Ciclista De Pista.,” Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Mecanica, 2018.
6. H. P. Pozo Yacelga, “Construcción de una mano robótica, enfocado al control del movimiento de los dedos,” 2016.