

Prototipo de prótesis softrobot de mano con activación mioeléctrica

Chávez Jiménez, Jesús Alejandro

2025

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6223>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Prototipo de prótesis softrobot de mano con activación mioeléctrica

Chávez Jiménez Jesús Alejandro (octavo semestre en Ingeniería de Negocios)¹, Guzmán Hernández Manuel (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Mérida Vázquez Maximiliano (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Villavicencio Vázquez Luis Javier (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Merino Arroyo Carlos Miguel (profesor responsable)¹, Toscano Suárez Rita (profesor asesor)¹, Ochoa García Oliver (profesor asesor)², Moreno Hernández Ana (profesor asesor)³, Osorio Figueroa Javier (profesor asesor)⁴, Landa Carpiñeyro Eliza (asesora)⁵
¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Palabras clave: mioeléctrica, prótesis, softrobot

***Autor Corresponsal:** manuel.guzman.hernandez@iberopuebla.mx

Introducción

Este documento expone el trabajo realizado para desarrollar un prototipo de softrobot que imita la morfología y fisiología de una mano para una prótesis con activación mioeléctrica. El trabajo tiene como objetivo el diseño, producción, armado de un circuito EMG y programación de dos tipos de movimiento. Se realizó el diseño del prototipo en SolidWorks basado en medidas antropométricas, la impresión en 3D del modelo utilizando TPU 85A, el armado de un circuito eléctrico para la obtención y procesamiento de señales mioeléctricas utilizando un sensor AD8232 EMG y la generación del código de programación para un Arduino UNO que permita dos tipos de movimientos de sujeción: pinza fina y sujeción cilíndrica. Se hizo la comparación de nuestro prototipo con el prototipo de la X-Limb, una prótesis impresa en 3D que utiliza un material similar y busca implementar softrobots, publicado en el artículo “A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities”. Se logró disminuir en un 49.5% el tiempo de impresión del modelo y se tuvo una reducción de 30% en la cantidad de material utilizado. Finalmente, se concluyó que, a pesar del acierto en el diseño y de haber optimizado los valores de tiempo y material de la impresión, los motores seleccionados no son los adecuados debido al torque máximo que producen y el peso que tienen, lo cual limita la fuerza y el rango de sujeción que tiene nuestro prototipo.

Metodología

Se diseñó el softrobot utilizando el programa SolidWorks 2024, inspirado en la anatomía humana y basándonos en medidas antropométricas y goniometría de un estudio previamente realizado [1]. Se agregaron elementos estructurales pensando en el funcionamiento del modelo y el material en el que se iba a imprimir, para que los movimientos fueron lo más cercanos posibles a los realizados por una mano. Además, se colocó el pulgar en una posición fija y opuesta al resto de los dedos para lograr el movimiento de pinza fina. Posteriormente, se imprimió el modelo en 3D en una sola pieza utilizando una impresora Creality Ender 3S1. Se produjeron modelos utilizando dos tipos de Termoplástico poliuretano (TPU), TPU 95A y TPU 85A, para determinar cuál tenía las mejores características para nuestro proyecto. Se ajustaron los parámetros de impresión para lograr la producción en una sola pieza, con una buena calidad y optimizar el tiempo de impresión. Además, se diseñó una parte adicional para sujetar los motores y componentes electrónicos. Para la obtención de señales mioeléctricas se utilizó un sensor AD8232 EMG, colocado en una protoboard, con una ganancia fija de 2000 para la amplificación y filtración de las señales musculares, se conectó el sensor a un Arduino UNO para el procesamiento de las señales obtenidas de la cabeza corta del bíceps braquial. Para la actuación del sistema se utilizaron drivers DRV8825 para cada uno de los tres motores a pasos NEMA 11. Finalmente, se diseñó e imprimió en 3D utilizando ABS una pieza tipo “antebrazo” para sostener los actuadores (Fig. 3).

Resultados y Discusión

El diseño final del modelo se realizó en SolidWorks (Fig. 1) basado en un trabajo donde se obtuvo la antropometría y goniometría de manos masculinas. Los parámetros de impresión utilizados permitieron que el modelo se pudiera imprimir en una sola pieza utilizando TPU 85A (Fig. 2) en un tiempo de 17 horas con 12 minutos y con una masa final de 110gr, optimizando en un 49.5% el tiempo de impresión y con una reducción del 30% en el material utilizado respecto al modelo presentado en el trabajo “A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities” (X-Limb) [2] (Tabla 1). Esta optimización permita producir a mayor escala y nos permite hacer ajustes al diseño en caso de ser necesario. Se generó el código de programación para controlar los actuadores con dos modos diferentes, seleccionables con un botón, que producen los distintos movimientos de agarre del softrobot: pinza fina (pulgar e índice) y sujeción cilíndrica.

Finalmente, se realizaron una serie de pruebas de sujeción para obtener el rango de agarre que tiene el prototipo (Tabla 2). Se determinó que la pinza fina solamente es capaz de agarrar objetos similarmente delgados al papel, para objetos con un grosor igual o mayor a 1cm la fuerza del prototipo se ve comprometida. En cambio, la sujeción cilíndrica es capaz de agarrar objetos con diferentes formas hasta un ancho o diámetro de 5cm, sin embargo, sólo es capaz de sostener objetos livianos, no mayores a 60 gr. El uso de la impresión 3D y el TPU 85A permita no solo la optimización en el uso de material y tiempo de producción. El peso final de nuestro prototipo es mayor al de la X-Limb debido a los componentes electrónicos, en especial los motores elegidos, para un posterior trabajo uno de los objetivos es el de reducir el peso del prototipo. A pesar de esto, la cantidad del material utilizado para imprimir se reduce y reduce de igual manera el costo.

Tabla 1: Comparación de valores de producción y medidas dimensionales del modelo X-Limb y el presentado en este proyecto.

Variable	X-Limb	Prototipo de prótesis softrobot
Tiempo de impresión	34 hr	17.2 hr
Material Utilizado	~160gr	110 gr
Largo	191 mm	180 mm
Ancho	92 mm	70 mm
Peso total	313 gr	710 gr

Tabla 2: Resultado de rango de sujeción del modelo según las pruebas de agarre realizadas.

Objeto	Dimensión del objeto	Tipo de agarre utilizado
Cilindro	5 cm $\varnothing$	Cilíndrico
Servilleta	>1mm	Pinza fina
Tarjeta de banco	1mm	Pinza fina
Billete	>1mm	Pinza fina

Conclusiones

Se presentó en este artículo el trabajo realizado para el diseño, producción, programación y prueba de un prototipo de softrobot que imita la morfología y fisiología de una mano utilizando activación mioeléctrica. A partir de los resultados obtenidos, destacamos el trabajo de diseño que respeta la goniometría y anatomía de una mano humana, además de permitir la impresión 3D del modelo. Añadido a ello, el diseño con el ajuste de parámetros de la impresora optimiza el tiempo de impresión, reduce las dimensiones del modelo y la cantidad de material utilizado comparado con el trabajo utilizado como referencia. El uso de señales mioeléctricas para la activación del prototipo acerca nuestro trabajo un paso más a la producción de una prótesis. Finalmente, la capacidad del prototipo para realizar dos tipos de movimientos de agarre destaca contra modelos comerciales de prótesis que solamente pueden realizar un tipo de movimiento. Resaltamos una vez más que el uso de la impresión 3D permitió la producción de un prototipo de softrobot implementado a la ingeniería biomédica el área de prótesis, lo cual abre un abanico de posibilidades en el área de diseño y en la manera en que se producen los dispositivos protésicos actualmente. Inicialmente se eligieron los motores a pasos NEMA 11 para la actuación del prototipo debido a su disponibilidad, costo y facilidad y versatilidad para programar, sin embargo, para futuros trabajos recomendamos un cambio en la selección de actuadores debido a que los elegidos no producen el torque suficiente para realizar la tarea requerida de manera adecuada y comprometen la fuerza de agarre que tiene el prototipo. Además, sugerimos el cambio de varios de los componentes electrónicos para reducir el peso y dimensiones del prototipo, se podría utilizar un microcontrolador, un sensor EMG que se coloque directo al músculo (myoware) y la implementación de una PCB para reemplazar a la protoboard. Creemos que el desarrollo y una posterior continuación de este proyecto, tienen el potencial para impactar el área de prótesis en México, optimizando la producción, reduciendo costos y haciendo prototipos más accesibles teniendo en cuenta el contexto del campo de prótesis de mano en México.

Referencias

- [1] “Anthropometry-based structural design of a hand exoskeleton for rehabilitation,” IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. <https://0f10ly9af-y-https-ieeeexplore-ieee-org.itmsp.museknowledge.com/document/7827282>
- [2] A. Mohammadi et al., “A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities,” PLoS ONE, vol. 15, no. 5, p. e0232766, May 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0232766.
- [3] MedlinePlus, “MedlinePlus - Health Information from the National Library of Medicine,” MedlinePlus. <https://medlineplus.gov/>
- [4] Zepeda, «¿Cuáles son los diferentes tipos de prótesis?», Primecare Orthotics & Prosthetics. <https://primecareprosthetics.com/es/blog/what-are-the-different-types-of-prosthetics>
- [5] C. C. M. Professional, “Prosthetic hand,” Cleveland Clinic, Jan. 24, 2025. <https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/prosthetic-hand>
- [6] “Soft robotics: Definition and research issues,” IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8267170>
- [7] W. Sire, “Soft Robot - A review - Elveflow,” Elveflow, Oct. 10, 2022. <https://www.elveflow.com/microfluidic-reviews/general-microfluidics/soft-robot/>
- [8] G. M. Whitesides, “Bioinspiration: something for everyone,” Interface Focus, vol. 5, no. 4, p. 20150031, Aug. 2015, doi: 10.1098/rsfs.2015.0031.
- [9] B. Torres, “75 amputaciones diarias en México - UNAM Global,” UNAM Global - De La Comunidad Para La Comunidad, Dec. 16, 2022. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/75-amputaciones-diarias-en-mexico/
- [10] Center for Devices and Radiological Health, “Implants and prosthetics,” U.S. Food And Drug Administration, Sep. 30, 2019. <https://www.fda.gov/medical-devices/products-and-medical-procedures/implants-and-prosthetics>
- [11] “¿Qué es el TPU? - Lubrizol.” <https://espanol.lubrizol.com/Engineered-Polymers/About/What-is-TPU>
- [12] “Soft robotic glove for neuromuscular rehabilitation,” Wyss Institute, Mar. 12, 2024. <https://wyss.harvard.edu/technology/soft-robotic-glove/>
- [13] Prothesia, “¿Qué es una Prótesis de Brazo? Tipos y Calidad a Precio Justo,” Prothesia, May 19, 2023. <https://www.prothesia.com/protesis-de-brazo/>
- [14] Ireneia, “Rehabilitación de las habilidades manipulativas a través de las pinzas funcionales,” Ireneia, jul. 09, 2018. <https://irenea.es/blog-dano-cerebral/habilidades-manipulativas-pinzas-funcionales/>

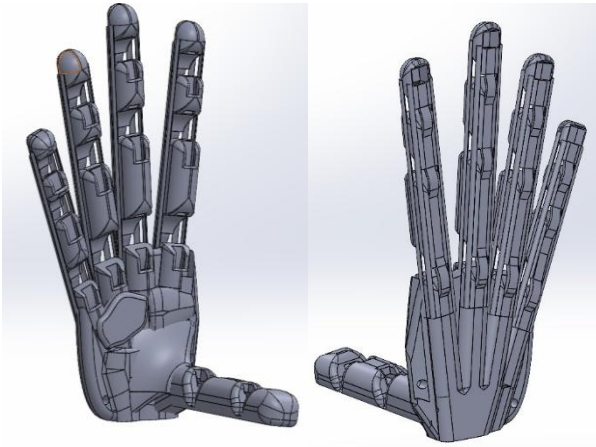
Anexo

Fig. 1. Vista anterior y posterior del diseño final del modelo en SolidWorks.



Fig. 2. Prototipo final impreso utilizando TPU 85A.

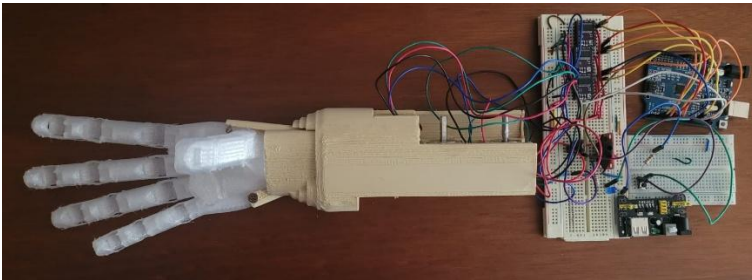


Fig. 3. Prototipo final armado conectado al circuito para la obtención y procesamiento de señales mioeléctricas, y al sistema de actuación.

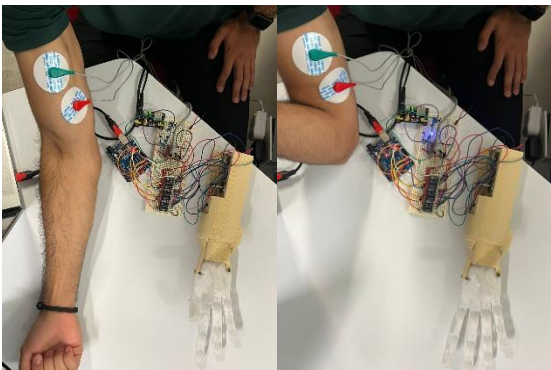


Fig. 4. Prototipo final conectado con los electrodos al bíceps.