

Corto

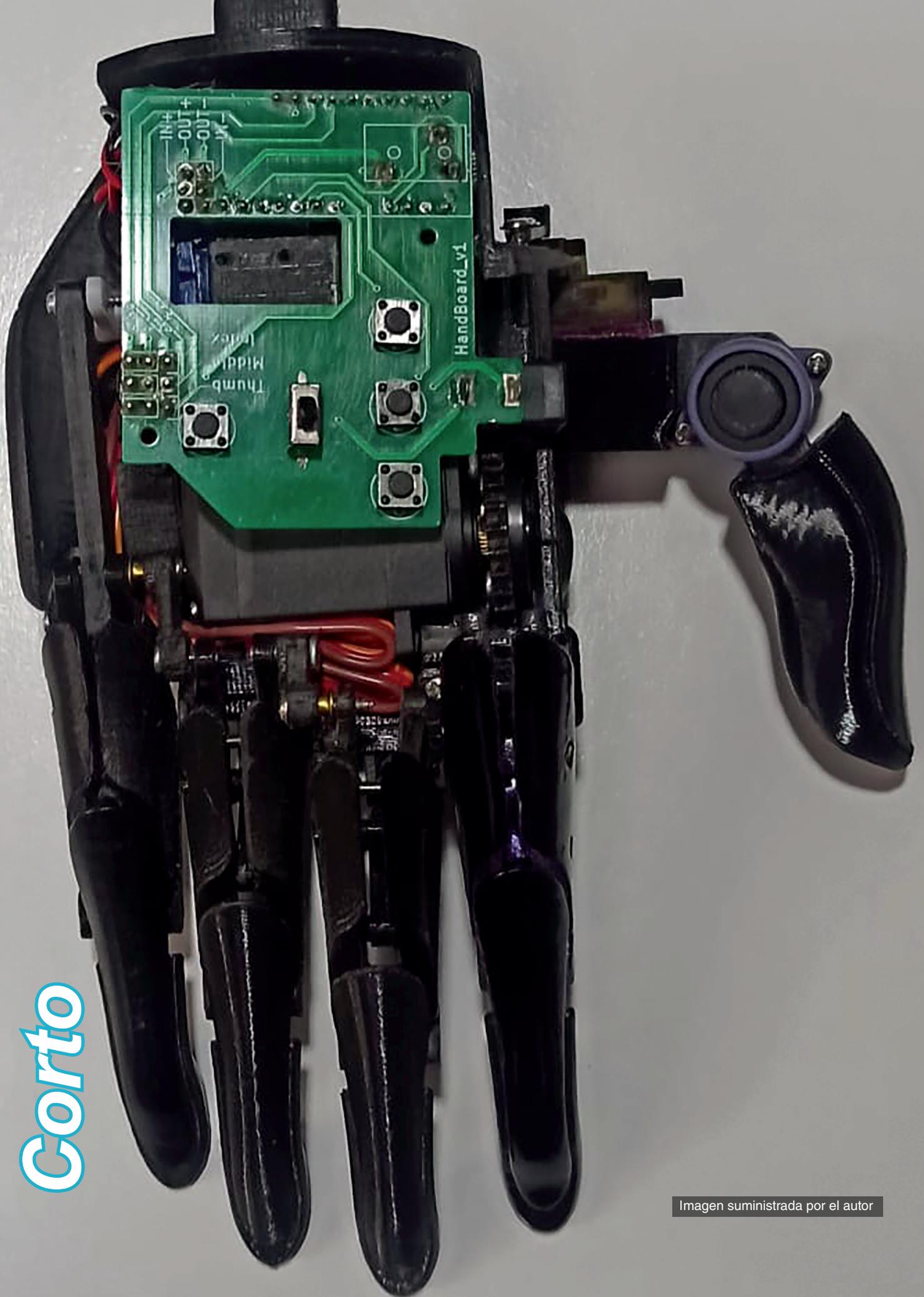


Imagen suministrada por el autor

# DESARROLLO DE PRÓTESIS INFANTIL CON TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN ADITIVA PARA AMPUTACIONES TRANSRADIALES

# DEVELOPMENT OF CHILDREN'S PROSTHESIS WITH ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR TRANSRADIAL AMPUTATIONS.

David Eduardo Leon <sup>1</sup>  
Carlos Alberto Castillo Daza <sup>2</sup>

<sup>3</sup>Alejandro Alonso Castrillón

## RESUMEN

Una extremidad indispensable en la vida del ser humano es, sin lugar a duda, la mano, la pérdida de esta extremidad, o el nacer sin las mismas resulta en una situación limitante físicamente y traumática mentalmente. **Objetivo:** desarrollar un prototipo de mano biónica impresa en 3D para niños amputados. **Método:** se utilizó una metodología de desarrollo de sistemas ágiles, "Scrum"; con la finalidad de dividir las tareas en varias etapas propuestas por este método con el fin de obtener un prototipo de calidad la cual estuviera documentada. **Resultados:** se modeló, imprimió, ensambló, programó, evaluó, y documentó el prototipo propuesto. **Conclusiones:** una vez construido el modelo protésico es posible manifestar que proporciona una suplencia modesta, sin embargo, aún no supe la totalidad de las capacidades biofísicas y biomecánicas de una extremidad superior tan compleja como la mano humana, por ello se recomienda en futuros proyectos el rediseño de este modelo con la finalidad de aumentar el rendimiento autónomo mediante naturalidad del movimiento de manera general.

### Palabras Clave:

Programación, Arduino, Diseño 3D, Biomédica, Electromiografía, Prótesis.

## ABSTRACT

An indispensable limb in human life is undoubtedly the hand. Losing this limb or being born without it results in a physically limiting and mentally traumatic situation. **Objective:** to develop a 3D-printed transradial bionic hand prototype for amputated children. **Method:** An agile systems development methodology, "Scrum," was used to divide tasks into several stages proposed by this method to obtain a quality prototype that was thoroughly documented. **Results:** the proposed prototype was modeled, printed, assembled, programmed, evaluated, and documented. **Conclusions:** Once the prosthetic model is constructed, it can be stated that it provides modest supplementation. However, it still falls short of replacing the full bio-physical and biomechanical capabilities of such a complex upper limb as the human hand. Therefore, it is recommended in future projects to redesign this model to enhance autonomous performance by enhancing the naturalness of movement in general.

### Keywords:

Programming, Arduino, 3D Design, Biomedical, Electromyography, Prosthesis

## INTRODUCCIÓN

Las manos representan una parte esencial en la funcionalidad humana, siendo cruciales en las actividades diarias en todas las etapas de la vida. La pérdida de una o ambas manos resulta traumática emocional y físicamente limitante. Compuestas por diecinueve huesos y 14 articulaciones para lograr una movilidad estable y única, la mano es un órgano elemental ubicado distalmente en los miembros superiores (Brito et al., 2020).

El avance en la automatización y la biotecnología ha permitido el desarrollo de dispositivos de miembros superiores que recuperan más del 50% de la funcionalidad biomecánica en pacientes con amputaciones, generando un impacto positivo tanto a nivel psicológico al reducir las limitaciones físicas como en la disminución de la estigmatización social (Loaiza & Arzola, 2011).



Aunque las prótesis biónicas han permitido a los pacientes recuperar ciertas acciones biomecánicas necesarias para una vida normal, aún enfrentan restricciones debido a la tecnología existente, la cual no logra replicar completamente las características de una extremidad biológica (Páez Chingal & Gaviria López, 2017).

El desafío global de resolver esta disfuncionalidad biológica ha llevado a investigadores a desarrollar prótesis que aborden esta necesidad. A pesar de la diversidad en el mercado de prótesis, desde las estéticas hasta las avanzadas, que brindan mayor libertad de movilidad, su control sigue siendo complejo (Altamirano-Altamirano et al., 2013).

El sistema de salud colombiano, a través del Plan Obligatorio de Salud (POS), no contempla la entrega de manos robóticas a amputados, lo que genera la necesidad de guiar el diseño, impresión y codificación de un modelo base que reduzca la discapacidad física en niños afectados. Este proyecto propone desarrollar un prototipo de prótesis impreso en 3D para niños con amputación transradial (Alvarez Sánchez & Gregorio Falfán, 2019).

### Objetivo general

Desarrollar un prototipo de prótesis impreso en 3D para niños con amputación transradial.

### Objetivos específicos

1. Determinar los elementos necesarios para construir una prótesis biónica de bajo costo.
2. Probar la prótesis construida y registrar el proceso para que sea una guía detallada como base en futuras investigaciones
3. Desarrollar el software en el lenguaje Arduino, el cual permitirá definir la emulación biomecánica de los movimientos de la prótesis.

Este proyecto busca desarrollar e implementar un prototipo base de mano biónica transradial de código abierto, utilizando materiales disponibles en el país para la impresión 3D. El objetivo es que este prototipo sea accesible y de bajo costo, ofreciendo una alternativa viable dada la falta de cobertura en el sistema de salud y la limitación de recursos para adquirir prótesis de manera individual (Cruz-Rodríguez & Sánchez-Machet, 2021).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Ácido poliláctico (PLA). El uso del Ácido poliláctico (PLA) como material para la estructura de las prótesis se basa en su versatilidad y accesibilidad. El PLA es un polímero biodegradable derivado de fuentes renovables como el maíz o el trigo, lo que lo hace ambientalmente sostenible. Su elección

se fundamenta en su capacidad para ser fácilmente moldeado mediante impresión 3D, lo que permite la creación de diseños personalizados y adaptados a las necesidades anatómicas individuales. Sin embargo, es importante resaltar su fragilidad a temperaturas elevadas, lo que limita su aplicación en entornos de alta temperatura (Serrezuela et al., 2018b).

Servomotores MG995 y MG90s Los servomotores MG995 y MG90s han sido cuidadosamente seleccionados debido a su capacidad para generar movimientos precisos y controlados en los dedos de la prótesis. El MG995 ofrece un torque más alto, ideal para movimientos más exigentes, como el del dedo índice, mientras que el MG90s, con su tamaño compacto y menor torque, es óptimo para movimientos más delicados, como los de los dedos medio, anular y meñique. Esta combinación estratégica de servomotores permite una funcionalidad equilibrada y adaptable a diferentes acciones manuales (Andrés F. García G., 2016).

Sensor electromiográfico AD8232 El sensor electromiográfico AD8232 ha sido seleccionado por su capacidad para captar señales musculares de manera precisa y fiable. Su diseño ofrece una lectura de señal limpia y estable, que lo convierte en un componente fundamental para detectar la actividad muscular y convertirla en señales interpretables por el microcontrolador. Además, su bajo costo lo hace accesible para la implementación en dispositivos de bajo presupuesto. Es esencial resaltar que este sensor requiere dos baterías de 9V para su alimentación, lo que asegura su correcto funcionamiento (Regalado et al., 2018).

Placa Arduino Micro La elección de la placa Arduino Micro se basa en su potencia de procesamiento y su capacidad para interactuar eficientemente con los diversos componentes de la prótesis. Esta placa ofrece una amplia gama de puertos de entrada y salida, lo que permite la conexión y control de sensores, actuadores y otros dispositivos periféricos de manera eficaz. Su versatilidad y su compatibilidad con lenguajes de programación de código abierto, como Arduino, facilitan la programación y la adaptación del sistema a las necesidades específicas del usuario final (Alberto Aguilar Lazcano et al., 2015).

La elección de una batería de litio de alta capacidad, específicamente una de 5800 mAh, se fundamenta en la necesidad de suministrar una energía duradera y estable para el funcionamiento continuo de la prótesis. La capacidad de esta batería permite una mayor autonomía de uso, reduciendo la frecuencia de recargas y proporcionando una experiencia más conveniente para el usuario final (Sánchez-Pérez et al., 2019).

Para abordar las fluctuaciones en el consumo de energía, especialmente durante la operación de los motores, se in-

tegró un reductor de voltaje DC-DC. Este componente es crucial para mantener la estabilidad en la alimentación eléctrica, ya que regula eficazmente el voltaje suministrado a los distintos componentes del sistema, evitando picos o caídas bruscas que podrían afectar el rendimiento de la prótesis y garantizando así su funcionamiento seguro y consistente (Niño Vega, Martínez Díaz, et al., 2017).

El uso de software especializado desempeña un papel esencial en el diseño y el control de la prótesis. Ultimaker Cura se destaca como una herramienta de preparación de modelos 3D altamente confiable y versátil. Esta plataforma permite la optimización de los diseños tridimensionales para su impresión en 3D, asegurando una precisión y calidad en la producción de las piezas protésicas. Su compatibilidad con la impresora utilizada, en este caso la “Ender 3”, garantiza la congruencia entre el diseño virtual y su materialización física (Perdomo Fernández & Gaviria López, 2022).

Por otro lado, el ambiente de programación Arduino IDE se convierte en el núcleo de control para la prótesis cibernética. Este entorno ofrece herramientas de desarrollo amigables que facilitan la escritura, compilación, y carga del código necesario para el funcionamiento de la prótesis. La elección de este ambiente se respalda en su accesibilidad y la amplia comunidad de usuarios, lo que facilita el intercambio de conocimientos, el desarrollo colaborativo y la implementación de soluciones eficientes y personalizadas para el control preciso de los actuadores, sensores y demás componentes de la prótesis (Quinayás-Burgos & Gaviria-López, 2015).

La metodología SCRUM se implementó como un enfoque ágil para la gestión del proyecto. Esta metodología se basa en la flexibilidad y la iteración continua a lo largo del proceso de desarrollo. La aplicación de SCRUM permitió la organización y el manejo eficiente de las tareas, dividiéndolas en etapas definidas, como la planificación, instalación de software, programación, ensamblaje y pruebas. El enfoque en sprints cortos e iterativos facilitó la adaptación a los cambios y la resolución proactiva de problemas, lo que optimizó el tiempo y los recursos empleados en el proyecto (Bernal & Medellín, 2016).

Un aspecto destacado en el proceso de ensamblaje fue la integración de los dedos medio, anular y meñique para funcionar como una única pieza controlada por un servomotor. Esta estrategia de ensamblaje codependiente se diseñó para optimizar la eficiencia del movimiento coordinado de estos dedos, permitiendo acciones complejas y naturales al actuar en conjunto, simulando así la funcionalidad de la mano humana (Gómez Rendón et al., 2021).

Se llevó a cabo el diseño de un circuito impreso (PCB) para conectar de manera eficiente el sensor, el controlador y los actuadores. Este circuito no solo facilitó la interconexión en-

tre los componentes clave de la prótesis, sino que también proporcionó la capacidad de configuración a través de botones integrados. Además, se reservó espacio para alojar el sensor electromiográfico, garantizando así una disposición compacta y funcional del sistema electrónico (Hoyos-Gutiérrez et al., 2014).

Esta combinación cuidadosamente seleccionada de materiales y componentes tecnológicos demuestra una consideración meticulosa hacia la funcionalidad, la accesibilidad y la eficiencia en el diseño de las prótesis, lo que contribuye significativamente a su viabilidad y utilidad en aplicaciones prácticas (Niño Vega, Martínez Díaz, et al., 2017).

La combinación de una robusta fuente de alimentación y software especializado demuestra la preocupación por garantizar tanto la estabilidad operativa como la eficacia funcional de la prótesis cibernética, asegurando un diseño integral que se traduce en un desempeño confiable y seguro para el usuario final (BBC MUNDO, 2015).

La implementación de estas técnicas y procedimientos permitió un desarrollo estructurado, modular y coordinado de la prótesis biónica. Desde la gestión ágil del proyecto hasta la integración física y electrónica de los componentes, cada etapa se enfocó en optimizar la funcionalidad, la eficiencia y la adaptabilidad del dispositivo, asegurando un diseño integral que se alinea con los objetivos del proyecto.

La consideración de la seguridad fue un principio fundamental en el diseño y desarrollo del prototipo de la prótesis cibernética. Se priorizó la estabilidad y seguridad en la alimentación del dispositivo para prevenir posibles riesgos de daños tanto para el usuario como para el sistema en sí. La elección de la batería de litio de alta capacidad se realizó con el propósito de asegurar una alimentación estable y duradera, mientras que el reductor de voltaje DC-DC se integró para estabilizar la alimentación y evitar fluctuaciones que podrían comprometer la integridad del sistema. Estas consideraciones éticas enfocadas en la seguridad reflejan el compromiso con el bienestar y la integridad del usuario final, asegurando un funcionamiento confiable y seguro del dispositivo (Suardíaz Muro et al., 2020).

Se desarrolló un código específico en el entorno de programación Arduino IDE para procesar los datos provenientes del sensor electromiográfico y controlar los servomotores el cual podrá encontrar en el repositorio <https://github.com/eduardoleon9010/Hackberry-hand?search=1>. Este código es esencial para la funcionalidad de la prótesis, ya que interpreta las señales electromiográficas, detecta la actividad muscular y traduce esta información en movimientos precisos de los dedos de la prótesis. El desarrollo y optimización de este código fueron fundamentales para asegurar una

respuesta fluida y natural de la prótesis en función de las señales musculares del usuario (González et al., 2021).

Estos procedimientos éticos y de análisis reflejan el compromiso no solo con la funcionalidad y el rendimiento del dispositivo, sino también con la seguridad y el bienestar del usuario final. La atención meticulosa a la seguridad, así como la implementación de técnicas de análisis estadístico y de control, contribuyen a un diseño integral y éticamente responsable de la prótesis (Mena et al., 2014).

El proceso de montaje implica la disposición estratégica y segura de los componentes electrónicos, principalmente el circuito impreso, dentro de la estructura de la prótesis. Este circuito está cuidadosamente diseñado para conectar los elementos clave como el sensor, el controlador y los actuadores, se posiciona de manera que se ajuste ergonómicamente dentro de la prótesis, garantizando su funcionalidad sin comprometer la comodidad del usuario. Además, se considera la colocación de las baterías en el antebrazo para asegurar un equilibrio adecuado del peso y una distribución cómoda para el usuario, al mismo tiempo que se garantiza la estabilidad y la seguridad en el suministro de energía para el prototipo (Pinto-León et al., 2020).

El uso práctico de la prótesis involucra la colocación estratégica de electrodos para captar las señales electromiográficas que permiten el control de la prótesis. Estos electrodos se posicionan en áreas específicas del cuerpo, como el bíceps o el antebrazo contrario al que lleva la prótesis, para detectar la actividad muscular y traducirla en señales interpretables por el sistema. Esta disposición precisa de los electrodos es esencial para garantizar una lectura clara y consistente de las señales musculares, lo que a su vez se traduce en una respuesta precisa y controlada de la prótesis a los movimientos intencionales del usuario (Wulandari, 2013).

Estos procesos de montaje y uso práctico no solo se centran en la integración efectiva de componentes electrónicos y la disposición ergonómica de la prótesis, sino que también consideran la experiencia del usuario final. La disposición cuidadosa de los componentes electrónicos y la colocación estratégica de los electrodos garantizan, no solo la funcionalidad técnica del dispositivo, sino también la comodidad y la eficiencia en el uso diario de la prótesis (Armas et al., 2017).

## RESULTADOS

El desarrollo de prótesis biónicas ha experimentado avances significativos en los últimos años, sin embargo, el acceso a estas soluciones sigue siendo limitado para muchos individuos debido a sus altos costos. El estudio actual se

enfoca en abordar esta limitación mediante la exploración de prótesis biónicas de bajo costo. Esta aproximación se alinea con la creciente demanda de alternativas asequibles en el campo de las prótesis, especialmente en contextos donde el acceso a extremidades protésicas es restringido para ciertos sectores de la población.

Las categorías principales de esta investigación incluyen:

1. **Diseño y Ensamblaje:** Se detalla el proceso de ensamblaje de las piezas impresas y programadas del prototipo, desde la instalación de la batería hasta la conexión del sistema receptor de EMG.
2. **Integración Hardware-Software:** Destaca la interconexión entre la placa Arduino Mega y el software de Arduino para la realización de movimientos de la mano biónica.

La utilización de materiales accesibles y tecnologías de código abierto representa un cambio significativo en la forma en que se diseñan y desarrollan estas prótesis. Esta estrategia no solo reduce los costos de producción, sino que también abre la posibilidad de personalización y adaptación a las necesidades individuales de los usuarios.

Este enfoque innovador no solo se centra en la viabilidad técnica de las prótesis, sino que también busca abordar la accesibilidad económica y la funcionalidad práctica. Al ofrecer soluciones más asequibles y flexibles, se espera ampliar el acceso a las prótesis para aquellos que de otra manera no podrían beneficiarse de estas tecnologías, mejorando así su calidad de vida y funcionalidad.

Nuestra iniciativa no solo se enfoca en el diseño de prótesis, sino que también se compromete con la comunidad y el impacto social. A través de programas de donación y colaboraciones con instituciones educativas, buscamos ampliar el acceso a estas tecnologías para niños en comunidades con recursos limitados.

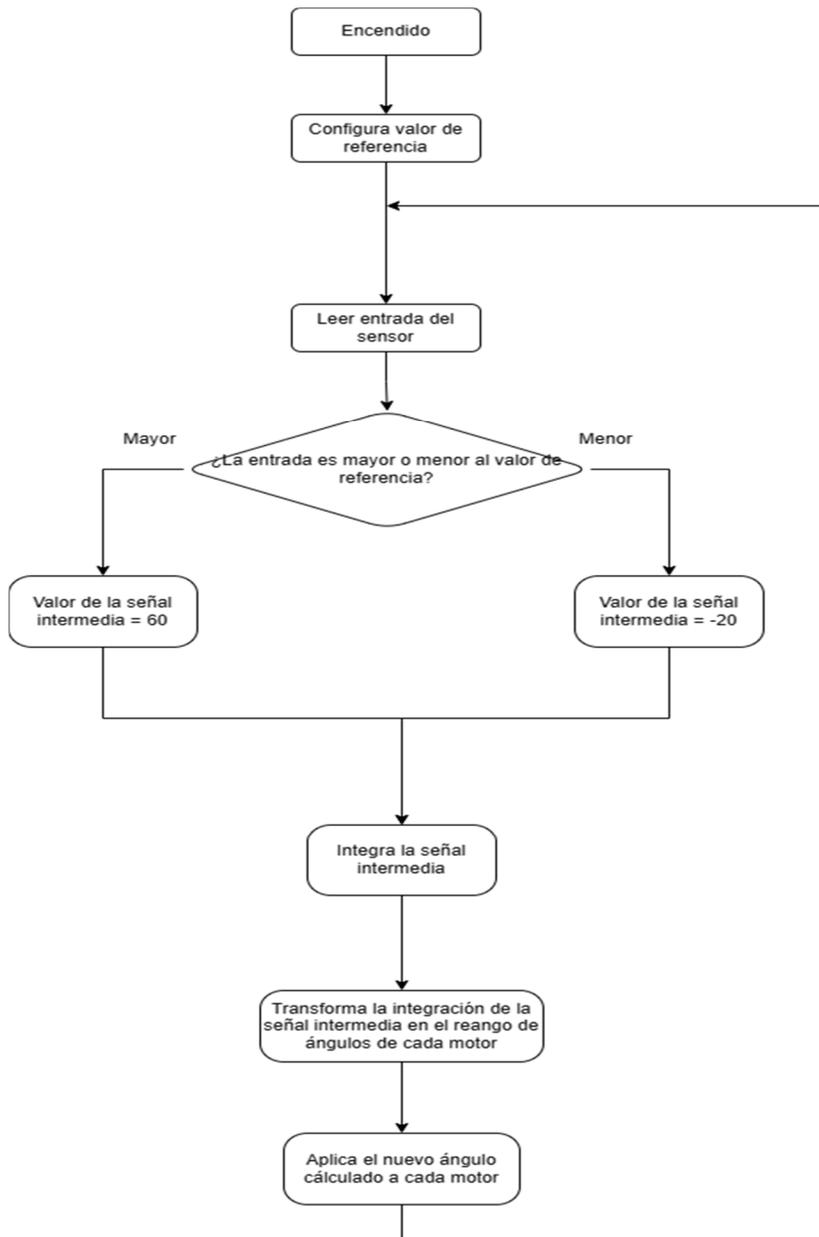
Al incorporar estos aspectos, no solo mejoramos la accesibilidad económica y la funcionalidad práctica de las prótesis, sino que también abordamos la importancia de la autoestima, la inclusión y el empoderamiento de estos niños, mejorando significativamente su calidad de vida y facilitando su participación en diversas actividades cotidianas.

El desarrollo de prótesis de bajo costo representa un paso importante hacia la democratización de la tecnología protésica, abriendo nuevas posibilidades para una mayor inclusión y bienestar de las personas con discapacidades físicas.

Las figuras de la 1 a 3, muestran el proceso detallado de ensamblaje y conexión de los componentes clave del prototipo. Estas ilustraciones facilitan la comprensión visual del

montaje de las piezas, la conexión de la batería, la integración del receptor EMG y la preparación para las pruebas cinéticas.

**Figura 1.**  
Diagrama de flujo del código para controlar el prototipo.



Nota: Elaboración propia

## DISCUSIÓN

El prototipo desarrollado se presenta como un avance prometededor en el campo de las prótesis biónicas. La integración exitosa entre hardware y software ha permitido la ejecución de movimientos precisos de la mano biónica, controlados por señales electromiográficas captadas desde el moñón del paciente (Diego N. Cuesta C., 2015).

El proceso detallado de ensamblaje y conexión de componentes descrito aquí proporciona una guía clara para la implementación de este tipo de prótesis. Además, la capacidad de manipular objetos de hasta 5 kilogramos de peso, demuestra la robustez y la funcionalidad del prototipo (Freire et al., 2014).

El uso de la tecnología piezoeléctrica para activar los movimientos de la mano biónica resalta la importancia de la respuesta rápida y precisa a los estímulos, mostrando un potencial significativo para mejorar la calidad de vida de individuos con amputaciones de extremidades superiores (Serrezuela et al., 2018a).

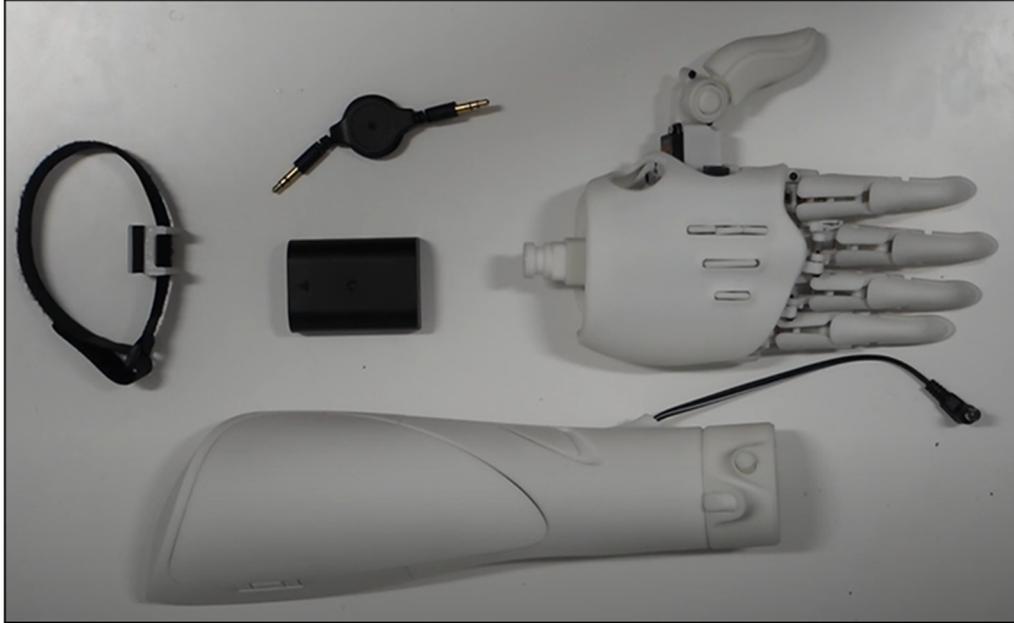
En conjunto, estos resultados respaldan la factibilidad y efectividad del prototipo desarrollado, sentando las bases para investigaciones futuras que puedan mejorar aún más la funcionalidad y la integración de prótesis biónicas con sistemas biomédicos más complejos (Muro et al., 2021).

## CONCLUSIONES

El desarrollo y validación del prototipo de mano biónica presenta un avance significativo en la integración de hardware y software, permitiendo retroalimentación analógica para ejecutar movimientos mecánicos específicos, como agarres de diferentes formas. Sin embargo, este modelo se encuentra actualmente como una solución modesta y distante de replicar completamente las capacidades biofísicas y biomecánicas de una mano humana.

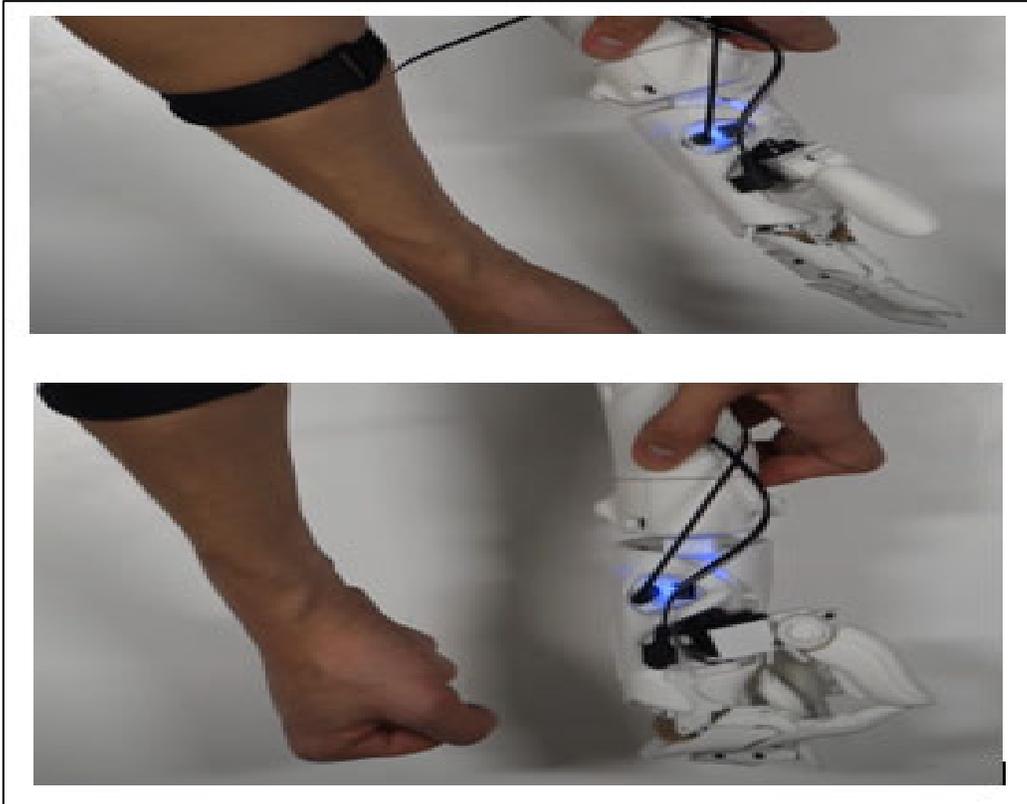
Al analizar críticamente los elementos desarrollados en este estudio, se destaca la importancia de continuar mejorando el rendimiento funcional de este tipo de prótesis. Aunque se ha alcanzado un hito al lograr la interconexión entre hardware y software para la ejecución de movimientos como flexión de los falanges en diferentes grados como distal dado que puede flexionar de la parte más distal a la punta de los fa-

**Figura 2.**  
*Piezas finales del prototipo.*



Nota: EXiii. (2022). 3D-printable Open-source Bionic Arm.

**Figura 3.**  
*Funcionamiento del prototipo*



Nota: EXiii. (2022). 3D-printable Open-source Bionic Arm.



lances lo que permite agarrar objetos con mayor precisión, flexión de falanges media lo que proporciona un movimiento adicional permitiendo ajustar los falanges al agarrar objetos de diversos tamaños, flexión de falange proximal lo que implica una flexión en la base de los falanges para proporcionar mayor amplitud de movimiento y por último la extensión o capacidad de regresar a una posición neutral en la que los falanges están extendidos queda claro que existe un largo camino por recorrer para equiparar la funcionalidad de una mano biónica con la de una mano humana.

La pregunta principal que guía este estudio se enfoca en el aporte al conocimiento existente sobre las prótesis de extremidades superiores. Aunque este prototipo aún está en una etapa inicial, su desarrollo resalta la necesidad imperante de mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades en extremidades superiores. La creación de una fundación que facilite la colaboración entre diferentes actores en campos relacionados con trastornos de extremidades superiores demuestra la voluntad de promover un verdadero bienestar para los pacientes.

Respecto a la hipótesis inicial de replicar una extremidad humana, se reconoce la complejidad del desafío. Aunque se ha avanzado significativamente en términos tecnológicos, la brecha entre la capacidad del prototipo y una mano biológica sigue siendo considerable. Este punto se relaciona con la discusión sobre los límites actuales de la ingeniería biomédica, como menciona (Loaiza & Arzola, 2011) en su trabajo sobre evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano, donde expone la dificultad de emular la complejidad y funcionalidad completa de los órganos humanos. No obstante, se destaca el potencial de este proyecto como una guía accesible y práctica para futuros desarrollos en el campo de las prótesis biónicas.

## RECOMENDACIONES

Como resultado de este estudio exhaustivo sobre el desarrollo de prótesis de extremidades superiores, se desprenden recomendaciones clave que merecen especial consideración. El proyecto ha establecido una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en este campo crucial. Se destaca la importancia de mantener y fomentar la colaboración entre instituciones de investigación, lo cual ha sido fundamental para el progreso obtenido hasta la fecha. Además, se recomienda enfocar los esfuerzos no solo en el avance tecnológico, sino también en una comprensión más profunda de las necesidades y desafíos reales de las personas con discapacidades motoras.

Una recomendación esencial que surge al concluir este estudio es la continuidad de este tipo de investigaciones para seguir mejorando la calidad de vida de las personas con

discapacidades motoras. Es fundamental mantener un enfoque integral, considerando no solo la funcionalidad de las prótesis, sino también su impacto en la vida cotidiana de los usuarios. Se sugiere encarecidamente seguir trabajando en esta dirección, priorizando la inclusión y el bienestar de aquellos que se benefician de estas innovaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alberto Aguilar Lazcano, C., Alberto Aguilar Lazcano, C., Antonio Diaz Reyes, J., Herrera Aguilar, I., & Martínez Sibaja, A. (2015). Sistema de reconocimiento de gestos utilizando señales EMG para aplicaciones de control de prótesis biónicas y exoesqueletos de mano. Instituto Tecnológico de México Campus Orizaba.
- Altamirano-Altamirano, A., Valentino-Orozco, G. A., Vera-Hernandez, A., & Leija-Salas, L. (2013). Prótesis de mano con 5 GDL usando sistemas embebidos. Pan American Health Care Exchanges, PAHCE. <https://doi.org/10.1109/PAHCE.2013.6568359>
- Alvarez Sánchez, E. J., & Gregorio Falfán, L. (2019). El impacto de la impresión 3D en la construcción de una prótesis de mano. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 7(Especial). <https://doi.org/10.29057/icbi.v7iespecial.4167>
- Andrés F. García G., A. J. B. (2016). Prototipo de mano robótica inspirada en la mano humana. *Tekhnê*, 13(2).
- Armas, A. E., López, A. K., Uriarte, I., Díaz, M. A., & Barboza, N. A. (2017). Control de modelo de prótesis de mano por señal mioeléctrica. In *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica (Issue 1)*.
- BBC MUNDO. (2015). La mano robótica que ganó los prestigiosos premios Dyson. In *Bbc Mundo*.
- Bernal, M., & Medellín, H. (2016). Análisis, simulación y evaluación biomecánica de un mecanismo para prótesis de mano robótica. *XXII Congreso de La SOMIM*, September.
- Brito, J. L., Quinde, M. X., Cusco, D., & Calle, J. I. (2020). Revisión de las prótesis de mano. In *Ingenius - Revista de ciencia y tecnología (Issue 2013)*.
- Cruz-Rodríguez, A. M., & Sánchez-Machet, H. (2021). Prótesis de mano controlada con señales EEG. *MO-MENTO*, 63. <https://doi.org/10.15446/mo.n63.96407>

- Diego N. Cuesta C., J. R. H. G. (2015). Diseño y construcción de un brazo robótico de 6 GDL. *Tekhnê*, 12(2).
- Freire, F. R., Tobar, L. M., & Chadrina, O. A. (2014). Prótesis robótica controlada mediante señales mioeléctricas. 12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- Gómez Rendón, J. F., Moreno-Arango, J. D., Medina-Salcedo, J. M., Becerra-Velásquez, J., Gil-Henao, G. A., & Gil-Guerrero, M. A. (2021). Rehabilitación robótica en espasticidad de mano y muñeca. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 30(2). <https://doi.org/10.28957/rcmfr.v30n2>
- González, M. X., Brugiati, A. M., Cornejo, D. H., & Pinzón, C. I. (2021). Prototipo de mano robótica controlada mediante el procesamiento de señales cerebrales utilizando redes neuronales recurrentes. *Revista de Iniciación Científica*, 6. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.0.3154>
- Hoyos-Gutiérrez, J., Peña, C., Prieto, F., Cárdenas, P., & Núñez, M. (2014). Sistema de bajo costo para la programación por demostración del agarre de objetos en robótica. *Revista de Investigaciones Universidad Del Quindío*, 25(1). <https://doi.org/10.33975/riuq.vol25n1.148>
- EXiii. (2022). 3D-printable Open-source Bionic Arm. <https://www.exiii-hackberry.com/>
- Loaiza, J. L., & Arzola, N. (2011). Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano evolution and trends in the development of hand prosthesis. *Dyna*, 78(169).
- Mena, A. O., Yolanda, G., Cano, V., & Tizayuca-pachuca, F. (2014). Adquisición y Procesamiento de una Señal Electromiográfica para control de una Prótesis. *Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, XXIX(2).
- Muro, J. S., Gomáriz, M. P., Lozoya, A. C., & Trolle, R. O. D. C. (2021). Combinando Impresión 3D y electrónica como estrategia para mejorar la experiencia de aprendizaje. *RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1).
- Niño Vega, J. A., Martínez Díaz, L. Y., & Fernández Morales, F. H. (2017). Mano robótica como alternativa para la enseñanza de conceptos de programación en arduino. *Revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA)*, 2(28). <https://doi.org/10.24054/16927257.v28.n28.2016.2476>
- Niño Vega, J. A., Martínez Díaz, L. Y., Fernández Morales, F. H., Duarte, J. E., Reyes Caballero, F., & Gutierrez Barrios, G. J. (2017). Entorno de aprendizaje para la enseñanza de programación en Arduino mediado por una mano robótica didáctica. *Espacios*, 38(60).
- Páez Chingal, I., & Gaviria López, C. (2017). Prótesis subactuadas de manos humanas: una revisión. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, 18(35).
- Perdomo Fernández, P. A., & Gaviria López, C. A. (2022). Método para evaluación de una estrategia de control realimentado en la funcionalidad de agarre de poder con una prótesis de mano robótica. *Tecnura*, 26(71). <https://doi.org/10.14483/22487638.17042>
- Pinto-León, R. A., Coronel-Maldonado, F. S., Bueno-Palomeque, F. L., & Galán-Mena, J. (2020). Reconocimiento de tres patrones básicos de movimiento de la mano usando electromiografía de superficie y algoritmos inteligentes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2020;39(2):E226, 39(2).
- Quinayás-Burgos, C. A., & Gaviria-López, C. A. (2015). Sistema de identificación de intención de movimiento para el control mioeléctrico de una prótesis de mano robótica. *Ingeniería y Universidad*, 19(1). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.siiim>
- Regalado, H. D. L. C., Barrera, C. E. L., López, E. E. R., González, L. M. S., & García, A. R. (2018). Propuesta De Un Entrenador Mioeléctrico Basado En Una Aplicación Móvil. *Pistas Educativas*, 39(128).
- Sánchez-Pérez, Á., Torres, J. M., Jara, C. A., Pomares, J., García, G. J., & Úbeda, A. (2019). Evaluación de un esquema de control mioeléctrico bidimensional para prótesis robóticas. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497169.107>
- Serrezuela, R. R., Luis, J., Trujillo, A., Delgado, D. R., Katherine Ordoñez Benavides, V., Zamora, R. S., & Reyes, E. M. (2018a). Diseño e implementación de una prótesis de mano robótica antropomórfica subactuada. *Memorias de Congresos UTP*, September.
- Serrezuela, R. R., Luis, J., Trujillo, A., Delgado, D. R., Katherine Ordoñez Benavides, V., Zamora, R. S.,



& Reyes, E. M. (2018b). Diseño e implementación de una prótesis de mano robótica antropomórfica subactuada Design and implementation of an anthropomorphic robotic hand prosthesis underactuated. Memorias de Congresos UTP, September.

Suardiáz Muro, J., Pérez Gomáriz, M., Cabrera Lozoya, A., & Ove Do Carmo Trolle, R. (2020). Combinando Impresión 3D y electrónica como estrategia para mejorar la experiencia de aprendizaje. RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 24(1). <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27596>

Wulandari. (2013). Sistema de control de fuerza e interfaz háptica para un prototipo de prótesis electromiográfica de mano. In universidad pontificia bolivariana (Vol. 1, Issue 1).

---

## NOTAS

<sup>1</sup>Maestría en Alta Dirección (MBA). Ingeniero Informático. Profesional en Entrenamiento Deportivo. Correo: eduardo-leon9010@gmail.com - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7339-0068>

<sup>2</sup>Magister en Ingeniería Biomédica - Grupo de investigación IMED. Fundación Universitaria del Área Andina - Correo: ccastillo44@areandina.edu.co - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7608-7320>

<sup>3</sup>Estudiante de pregrado Ingeniería mecatrónica. - Correo: alonsoalejo11@gmail.com - Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-5232-0908>

