

# Exoesqueleto mecánico para mano, enfocado a facilitar funciones de agarres en persona con lesión medular

**Daniel Hernando Araujo Moran**

**Ricardo Andrés Erazo Jossa**

**Karina Marcela Hidalgo Morillo**

Estudiantes del Programa de Ingeniería Mecatrónica  
Universidad Mariana

**Fabio Gómez Meneses**

**Dagoberto Mayorca Torres**

Docentes del Programa de Ingeniería Mecatrónica  
Universidad Mariana

## Resumen

**D**esde el programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Mariana, se presenta, a continuación, los avances obtenidos con el estudio interdisciplinar denominado Desarrollo de un exoesqueleto mecánico para mano dominante, enfocado a facilitar funciones de agarres de una persona con pérdida de función motora, debido a una lesión medular en la ciudad de Pasto. Este proyecto tiene como objetivo general desarrollar un exoesqueleto mecánico para mano dominante, enfocado a facilitar funciones de agarres prensiles de una persona con pérdida de función motora. Dentro de la metodología estimada para su estudio está contemplada la captación de señales electromiográficas (EMG) del individuo, el procesamiento digital de estas señales y la construcción de un prototipo de exoesqueleto (ortosis), que será el actuador encargado de generar movimientos prensiles en la mano dominante que presenta pérdida de movilidad. Como herramienta de verificación y comprobación de la utilidad y eficiencia del prototipo antes-después, se recibió apoyo de estudiantes del programa de Terapia Ocupacional, quienes realizaron el estudio de caso del individuo y encontraron los indicadores de movilidad establecidos por la batería de Jabsen Taylor.

## Introducción

La lesión medular (LM) ha sido considerada como una de las discapacidades más trágicas, ya que esta condición

de salud produce alteraciones de la función motora y sensitiva, afectando considerablemente sus condiciones físicas, psicológicas, sociales, y económicas (Henao y Pérez, 2011).

Se estima que cerca de 500.000 personas sufren de lesiones medulares cada año por causas como accidentes laborales, accidentes de tránsito, enfermedades laborales y situaciones de violencia. Para la OMS una lesión medular es causa de dependencia parcial o total, es decir, una persona con una condición de lesión medular depende del cuidado parcial de un ayudante y en ocasiones este cuidado puede ser de manera total (Organización Mundial de la Salud, 2013).

Para la realización del presente estudio se contó con una persona oriunda de la ciudad de Pasto de 30 años de edad y de sexo masculino, quien presenta una condición de lesión medular en las vértebras c4, c5 y c6 ocasionada en el año 2014 por un accidente de tránsito. Inicialmente en su reporte clínico fue diagnosticado con tetraplejia (pérdida completa de sus conexiones nerviosas a nivel de miembros superiores e inferiores) (Stokes y Stack, 2006).

Actualmente, gracias a terapia y estimulación temprana, posteriores a las intervenciones quirúrgicas, se ha logrado recuperar un grado de movilidad y respuestas osteomusculares a nivel de miembro superior con mayor grado de destreza en su mano izquierda, pero

con menor grado en su mano dominante que es la derecha, pero que aun así conserva una parte de ese grado de funcionalidad; no obstante, el usuario sigue presentando dificultades para efectuar algunas actividades de la vida diaria, tales como vestido, higiene, y alimentación.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente estudio pretende mejorar las condiciones de vida de una persona con lesión medular y/o problemas de movimiento en su mano derecha mediante la implementación de un exoesqueleto controlado a través de señales mioeléctricas captadas desde su mismo brazo.

Un aspecto importante es resaltar uno de los objetivos de dichos productos, los cuales buscan aumentar la capacidad de funcionamiento ocupacional de la persona que lo usa (Polonio Lopez, 2015). En ese sentido, sería lógico pensar que la intención de estos es buscar un mayor nivel de independencia de una persona que experimenta problemas en el desempeño de su diario vivir y, en efecto, contribuir en su bienestar. Los avances tecnológicos logran suplir con una parte de este objetivo, los exoesqueletos han sido utilizados para rehabilitar, apoyar, asistir y en ocasiones a aumentar las capacidades del cuerpo humano (Chávez, Rodríguez y Baradica, 2010)

Este estudio busca que el exoesqueleto se adapte de manera práctica a la mano del usuario, con mecanismos fabricados en tecnología de impresión 3D, que ejecute movimientos prensiles por medio de actuadores debidamente controlados proporcionalmente y programados para ejecutar secuencias a partir de la adquisición de señales mioeléctricas del antebrazo derecho del usuario.

### Metodología

La metodología estimada para el estudio será comprendida en 3 fases: Diagnóstico, Diseño y Construcción y verificación de resultados; en cada una de las fases se comprenden las actividades pertinentes para el desarrollo del presente estudio.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques que describe todo el proceso.

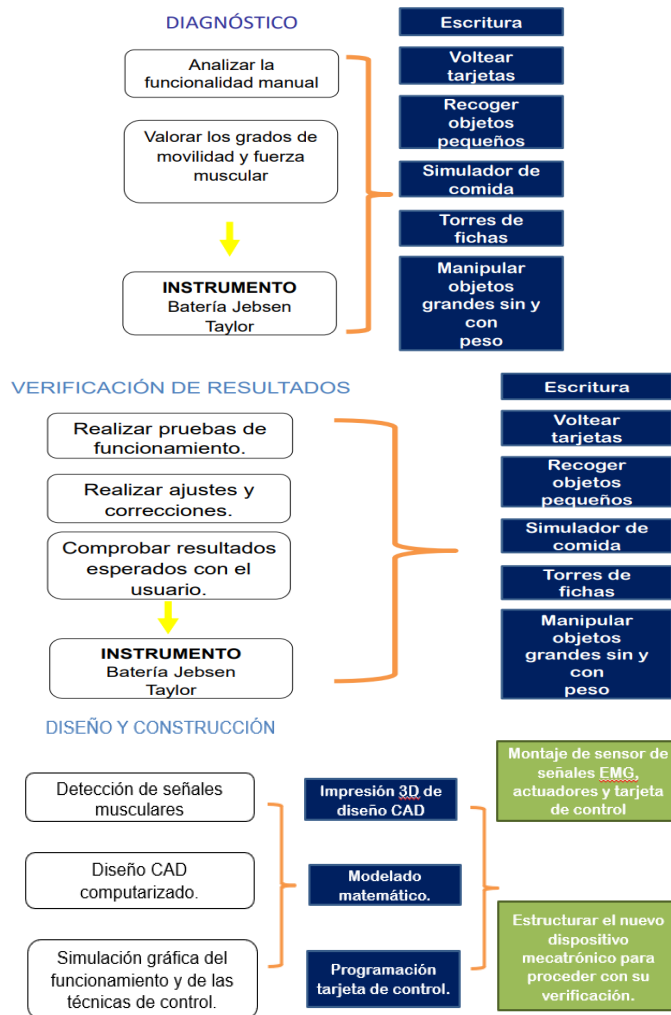


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso.

### Avances en el desarrollo del proyecto

En la etapa preliminar se tomó como punto de referencia el estudio de caso en lesión medular realizado por los estudiantes Cristian Palacios y Sebastián Navarro del programa de Terapia Ocupacional de la Universidad Mariana, quienes apoyan este estudio desde su profesión.

Desde los programas de Terapia Ocupacional e Ingeniería Mecatrónica y teniendo en cuenta la Resolución 8430 de (1993), en donde se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud de la universidad, se obtuvo el consentimiento firmado por el usuario para la participación en el estudio de la Universidad Mariana.

La investigación por parte del área de Terapia Ocupacional consistió en evaluar la capacidad motora de ambas manos

en el individuo con lesión medular, para ello se utilizó una herramienta que permite cuantificar la movilidad llamada la batería de Jabsen Taylor. Dicha investigación resulta importante en el desarrollo del proyecto, ya que a futuro nos permitirá medir si el exoesqueleto adaptado a la mano dominante realmente representa una mejora en su capacidad de movimiento, a continuación, se presentan las tablas resultantes de la aplicación de batería de Jabsen Taylor en ambas manos.

Tabla 1. Resultados en mano NO dominante

	Estándar	Resultado
Pruebas	Escritura	41,3
	Voltear tarjetas	25,6
	Recoger objetos pequeños	15,2
	Simulador de comida	274,1
	Ordenar fichas	20,6
	Objetos grandes sin peso	3,16
	Objetos grandes con peso	55
	<b>Total</b>	<b>7</b>

Tabla 2. Resultados en mano dominante

	Estándar	Resultado
Pruebas	Escritura	332,4
	Voltear tarjetas	144
	Recoger objetos pequeños	192,6
	Simulador de comida	No evaluable
	Ordenar fichas	130,8
	Objetos grandes sin peso	133,8
	Objetos grandes con peso	207
<b>Total</b>	<b>7</b>	

Para empezar con los diseños estructurales, en la medición de la anatomía de la mano en la que será adaptado el exoesqueleto fue necesario hacer un clon de la mano del individuo, se utilizó caucho siliconado y alginato para obtener una réplica exacta de la mano. De esta manera, se facilita la realización de ensayos sin influir en la comodidad del futuro usuario.

Posteriormente, tomando como referencia los diversos prototipos de mecanismos para el exoesqueleto que se han desarrollado, se puede concluir que el más eficiente por su sencillez y eficacia es el exoesqueleto accionado por tendones (Heo, Min Gu, Lee, Rhee & Kim, 2012).

Tabla 3. Tipos de mecanismos para la mano

Mecanismos	Esquema
Emparejamiento de centros directos	
Conexión para el centro de rotación remoto	
Estructura de enlace redundante	
Mecanismo impulsado por tendones	
Actuador de flexión unido a la junta	
Enlace de serie unido al segmento distal	

Fuente: Current hand exoskeleton technologies for rehabilitation and assistive engineering

De manera conjunta se desarrolla el diseño de los movimientos de la mano en el software CAD Autodesk inventor, el cual permite de una manera intuitiva realizar la simulación del comportamiento del exoesqueleto en la mano; para ello, se parte del análisis morfológico de la mano, de la cual se genera una representación esquemática de cada dedo con las medidas de sus falanges y las juntas con las que cuenta la mano (Figura 2).

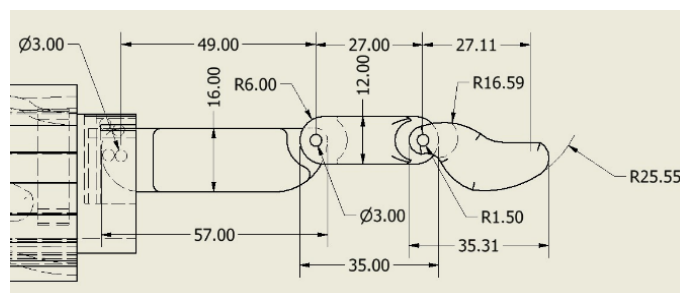


Figura 2. Representación esquemática de un dedo.

Una vez se obtuvo la realización del plano esquemático de cada uno de los dedos, se procede a emplear las herramientas con las que cuenta el software (extrusión,

cortes, y demás herramientas de diseño) para obtener la representación gráfica de un dedo. Finalmente, se procede con el ensamble de los dedos y la muñeca con las juntas correspondientes, obteniendo así la simulación gráfica de la mano con sus articulaciones, en la cual se adaptó el diseño del exoesqueleto simulando la adaptación de este (P4H Bionics Academy, 2020).

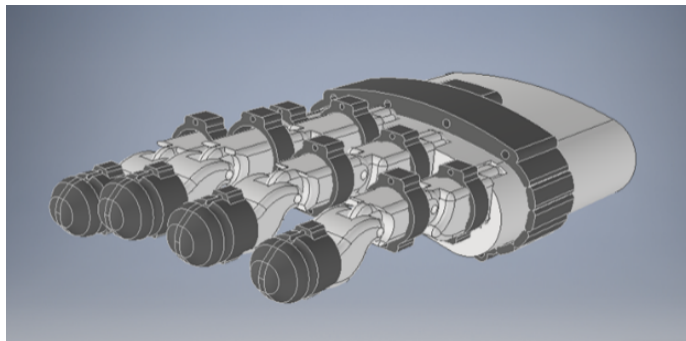


Figura 3. Prototipo virtual de articulaciones para guía de tendones.

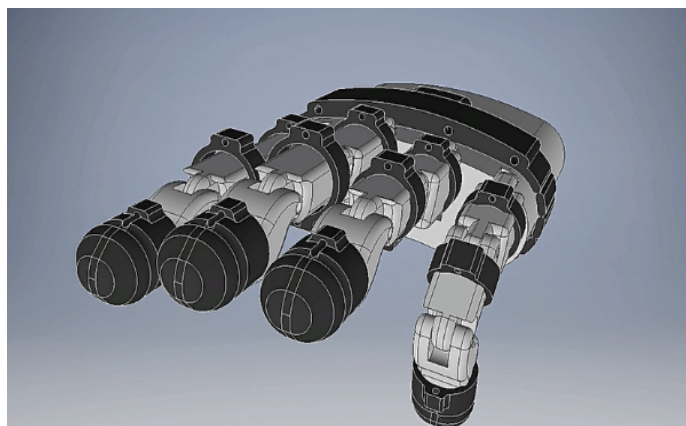


Figura 4. Simulación movimiento de un dedo.

Una vez realizadas todas las simulaciones, se procede a realizar la impresión 3D del prototipo del exoesqueleto, comprobando que las medidas y la adaptación a la mano son correctas.

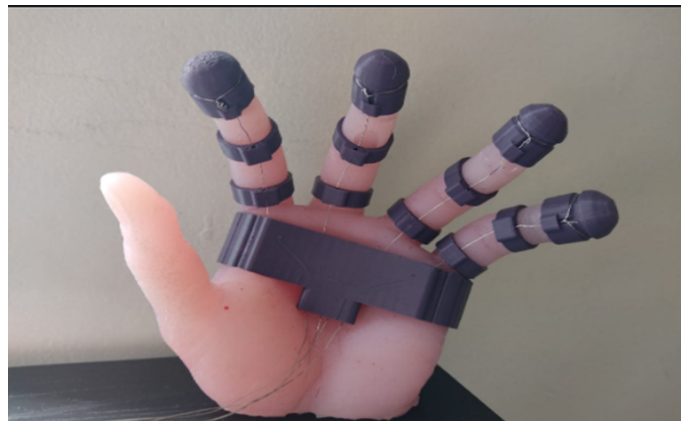


Figura 5. Prototipo de exoesqueleto en mano extendida.



Figura 6. Prototipo de exoesqueleto en mano cerrada.

Para el accionamiento de los tendones artificiales es necesario usar actuadores motorreductores DC ubicados estratégicamente en una región del antebrazo, con el fin de garantizar la comodidad del usuario y la eficiencia del sistema. Mediante el uso del software CAD Autodesk inventor, se está trabajando en posibles soluciones a la problemática de la ubicación de actuadores y en la mejora de los eslabones que sirven como guía para los tendones en cada uno de los dedos de la mano (Yépez, 2017).

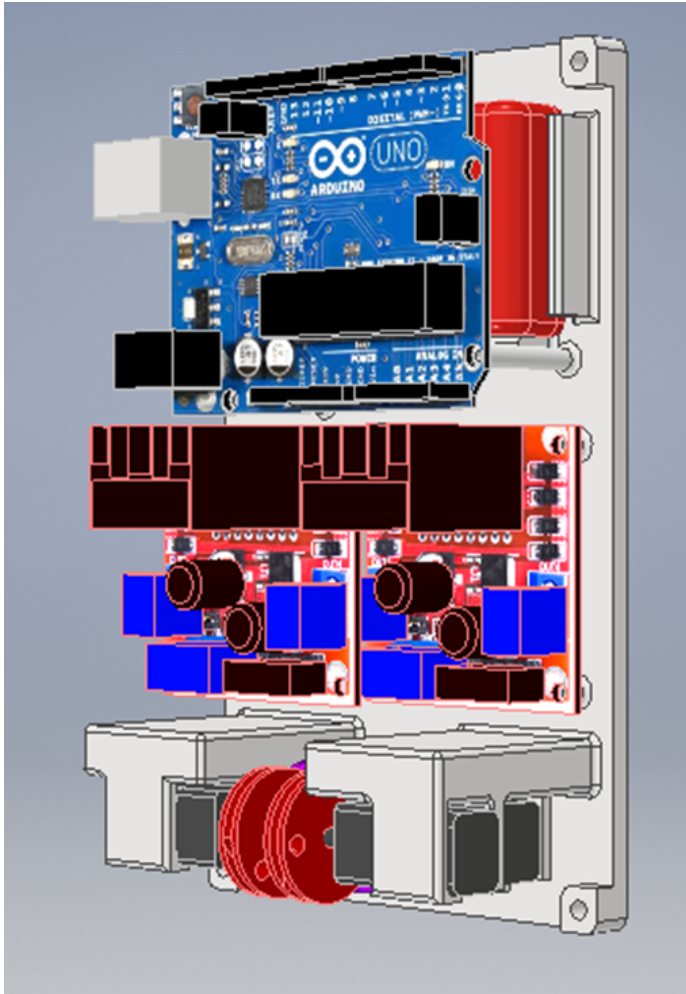


Figura 7. Prototipo virtual de caja para actuadores y controladores.

Actualmente, el proyecto se encuentra en la fase de diseño y construcción, con los avances aquí planteados se procederá a desarrollar las actividades de modelado matemático, como también la detección de señales musculares y el procesamiento digital de estas, para posteriormente realizar la programación y adaptación de la tarjeta de control, y así estructurar el nuevo dispositivo mecatrónico para proceder con la fase 3, la cual abarcará la verificación de resultados.

### Referencias

Chávez, M., Rodríguez, F. y Baradica, A. (2010). Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. *Revista Ingeniería Biomédica*, 4(7), 63–73. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1909-97622010000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-97622010000100008&lng=es&nrm=iso)

Henao, C. y Pérez, J. (2011). Modelo predictivo del grado de discapacidad en adultos con lesión medular. *Revista ciencias de la salud*, 9(2), 159-172.

Heo, P., Gu, G. M., Lee, S. jin, Rhee, K., & Kim, J. (2012). Current hand exoskeleton technologies for rehabilitation and assistive engineering. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(5), 807–824. <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0107-2>

Ministerio de Salud. (1993). Resolución número 8430 de 1993. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativa para la investigación en salud. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>

Mora, L. (2018). *Exoesqueleto vestible para mano (humana) enfocado a facilitar tareas de sujeción* (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/18031>

Organización Mundial de la Salud. (2013). Lesiones medulares. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>

P4H Bionics Academy. (2020). Cursos certificados [Página Web]. Recuperado de <https://www.p4hbionics.academy/>

Polonio, B. (2015). *Terapia Ocupacional en Disfunciones Físicas. Teoría y Practica* (2.ª ed.). España: Editorial Médica Panamericana.

Stokes, M. y Stack, E. (2006). *Fisioterapia en la Rehabilitación Neurológica* (2.ª ed.). España:Elsevier.

Yépez, M. (2017). *Diseño mecánico de un prototipo de prótesis de mano* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7295>