

# Diseño e implementación de órtesis en paciente con accidente cerebrovascular isquémico

## Desing and implementation of orthoses in patients with ischemic stroke

Juan Carlos Ramírez Aguilar

\*Corresponding author:  
[ccarlosramirezaguilar@gmail.com](mailto:ccarlosramirezaguilar@gmail.com)

**Resumen.** El presente proyecto tuvo como objetivo diseñar e implementar una órtesis para el miembro superior derecho de una paciente con accidente cerebrovascular isquémico, con el fin de apoyar su proceso de rehabilitación y favorecer la realización de actividades de la vida diaria. Mediante la interacción directa con la paciente y su fisioterapeuta, se establecieron como prioridades funcionales la prensión gruesa de la mano y la estabilidad articular del codo. A solicitud de la paciente, se incorporaron también mecanismos para la extensión de los dedos y el soporte de la muñeca. El diseño consideró aspectos fisiológicos individuales, así como la limitación controlada de movimientos que generaran dolor. La órtesis fue elaborada utilizando materiales adecuados para brindar soporte, confort y funcionalidad durante el proceso terapéutico.

**Palabras Clave:** Órtesis, accidente cerebrovascular, miembro superior, rehabilitación.

**Abstract.** This project aimed to design and implement an orthosis for the right upper limb of a patient with ischemic stroke, supporting her rehabilitation and daily activities. Through direct interaction with the patient and her physical therapist, gross hand grasp and elbow joint stability were identified as the main functional goals. At the patient's request, the device was also designed to assist with finger extension and wrist support. The orthosis was developed considering individual physiological conditions and minimizing painful movement ranges. Appropriate materials were selected to ensure support, comfort, and functionality throughout the therapeutic process.

**Keywords:** Orthosis, ischemic stroke, upper limb, rehabilitation.

### I. INTRODUCCIÓN

El accidente cerebrovascular (ACV) isquémico representa una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial, afectando funciones motoras, cognitivas y la autonomía del paciente. Entre sus secuelas más comunes se encuentra la hemiparesia, que reduce significativamente la capacidad de movimiento del miembro superior, comprometiendo la realización de actividades básicas de la vida diaria como el aseo personal, la alimentación o la movilidad asistida.

Las órtesis, dispositivos externos diseñados para modificar o apoyar funciones del sistema neuromusculoesquelético, han sido utilizadas en rehabilitación neurológica para prevenir deformidades, reducir el dolor, mejorar la función articular y facilitar la participación del paciente en actividades cotidianas. Investigaciones como las realizadas por Guerrero, López y Narváez (2014) y Bermúdez y Gaona (2013) han resaltado el potencial terapéutico de estos dispositivos en pacientes post-ACV, aunque también señalan que la evidencia aún es limitada respecto a la eficacia de ciertos diseños y características específicas.

En la comunidad científica se reconoce la necesidad de desarrollar órtesis personalizadas, funcionales y accesibles que se adapten a las necesidades individuales de los pacientes. El presente artículo aporta a esta línea de investigación al documentar el diseño e implementación de una órtesis para miembro superior derecho en una paciente con ACV isquémico, centrada en mejorar la prensión gruesa, estabilizar el codo y apoyar la movilidad de muñeca y dedos, tomando en cuenta sus características fisiológicas particulares y sus respuestas al dolor durante movimientos específicos.

Este trabajo propone una solución innovadora basada en un diseño anatómico, impresión 3D y colaboración interdisciplinaria entre ingeniería biomédica y fisioterapia. El dispositivo busca responder a interrogantes actuales sobre el rol de las órtesis en la rehabilitación funcional del miembro superior después de un ACV, con énfasis en la mejora de la autonomía y la calidad de vida del paciente.

## II. METODOLOGÍA

Se fundamentó en un enfoque multidisciplinario que integró aspectos clínicos, biomecánicos y tecnológicos para el diseño y elaboración de una órtesis para miembro superior derecho en una paciente con accidente cerebrovascular isquémico.

En primera instancia, se realizó una evaluación clínica completa del paciente mediante la aplicación de pruebas estandarizadas para valorar la funcionalidad y el estado motor. Entre estas pruebas destacaron: la prueba Get Up and Go, para medir la movilidad y el equilibrio (Podsiadlo y Richardson, 1991); el Índice de Barthel, que evalúa la independencia en actividades básicas de la vida diaria (Ruzafa y Moreno, 1997).; la evaluación de la movilidad orientada por el desempeño (POMA) para determinar el riesgo de caídas y la calidad de la marcha (Tinnetti, 1986).; y la Escala de Ashworth modificada (MAS) para cuantificar el tono muscular y la presencia de espasticidad (Harb, Margetis y Kidhner, 2025).

El proceso de diseño se basó en los lineamientos propuestos por Corredoira y Esmoris (2010), donde una órtesis debe estabilizar segmentos corporales o articulares, brindar soporte y, en este caso, mejorar la movilidad articular. Asimismo, se consideraron los criterios de Pombo (2018) para el diseño ortésico, que incluyen la edad, nivel de actividad, situación social y facilidad de uso y retiro del dispositivo, además de la duración estimada de uso y el costo de los materiales.

Se estableció una estrecha interacción con la paciente y la fisioterapeuta responsable, durante la cual se identificaron las limitaciones funcionales, los movimientos dolorosos y las zonas anatómicas sensibles, tales como bultos en el antebrazo derecho, que fueron cruciales para definir el diseño y asegurar confort y seguridad.

Se tomaron mediciones antropométricas precisas del miembro superior derecho, incluyendo longitudes de falanges, antebrazo, distancia desde codo a bíceps, y circunferencias de mano, muñeca, antebrazo y bíceps, para personalizar la órtesis. Durante la fase de diseño, se consideraron los rangos articulares funcionales y las

limitaciones debidas a dolor para evitar movimientos nocivos.

Para la fabricación, se utilizó la tecnología de impresión 3D con ácido poliláctico (PLA), un material biocompatible, ligero y resistente, que permitió obtener un prototipo personalizado, modular y ajustable, con un balance óptimo entre funcionalidad y comodidad.

Finalmente, el diseño fue validado con especialistas en fisioterapia para asegurar su eficacia y adecuación clínica, y la órtesis fue probada en sesiones reales de rehabilitación para evaluar su desempeño y realizar ajustes conforme a la evolución del paciente.

## III. RESULTADOS

Se detallan los principales resultados obtenidos a partir de la evaluación inicial de la paciente, la recopilación de datos biomecánicos y anatómicos, la aplicación de pruebas funcionales, el diseño conceptual y el modelado 3D del prototipo de la órtesis.

### A. Evaluación inicial y observaciones clínicas

Durante la interacción directa con la paciente y la fisioterapeuta, se identificaron las principales limitaciones funcionales en el miembro superior derecho. La paciente presentaba inestabilidad articular marcada en el codo y la muñeca, además de una capacidad reducida para realizar prensión gruesa de la mano. Se detectaron además bultos superficiales en el antebrazo derecho, situación que fue tomada en cuenta para evitar molestias o presión excesiva en esas zonas durante el diseño.

Se recopilaron mediciones antropométricas detalladas del miembro afectado, incluyendo la circunferencia de la mano, muñeca, antebrazo y bíceps; las longitudes desde las falanges hasta el codo y bíceps; así como la amplitud de movimiento articular, estableciendo una base sólida para la personalización del prototipo.

### B. Resultados de pruebas funcionales

Prueba Get Up and Go: La paciente tardó 15 segundos en completar esta evaluación, reflejando un riesgo elevado de caídas y una movilidad limitada en actividades básicas.

Índice de Barthel: La paciente mostró dependencia para actividades cotidianas como bañarse, vestirse, asearse, usar escaleras y desplazarse, con una puntuación total de 35/100, lo que indica una notable dependencia funcional.

Evaluación POMA: La marcha presentó múltiples alteraciones, incluyendo dificultad para iniciar la marcha,

pasos asimétricos, tambaleo del torso y necesidad de auxiliares para el apoyo. El equilibrio fue inestable, especialmente al mantener la posición sentada o en bipedestación con ojos cerrados. El puntaje global fue de 5/28, señalando un alto riesgo de caídas.

Escala de Ashworth Modificada (MAS): La espasticidad muscular se evaluó como grado 1, es decir, un ligero aumento del tono muscular con mínima resistencia al movimiento pasivo, principalmente durante la flexión y extensión.

#### *C. Diseño conceptual del mecanismo*

Con base en la evaluación funcional y las necesidades expresadas por la paciente, se diseñaron tres mecanismos fundamentales para la órtesis; estabilidad articular del codo, dos varas rígidas que unen el antebrazo y bíceps mediante un balero en la articulación del codo; incluye un sistema de corredera con seguro que bloquea el movimiento en 90 y 180°, permitiendo ajuste preciso y seguridad, véase figura 1; control de flexión de dedos, sistema de engranajes conectado a cordeles resistentes que permiten al paciente controlar la flexión de los dedos a una posición cómoda y sin dolor, véase figura 2.



Figura 1. Boceto conceptual, vista dorsal del brazo derecho. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Boceto conceptual, vista palmar de la mano derecha. Fuente: Elaboración propia.

#### *D. Desarrollo y modelado 3D*

El diseño conceptual fue digitalizado en Autodesk Fusion 360 para crear modelos CAD precisos de las piezas que serán impresas en PLA. Se diseñaron componentes como los anillos para los dedos, el mecanismo de bloqueo de muñeca y codo, y la muñequera con bisagra para facilitar la colocación y retiro, véase figura 3 y 4. Se integraron los componentes en un modelo virtual de brazo derecho para verificar ergonomía, compatibilidad y funcionalidad antes de la impresión, véase figura 5 y 6.

Este proceso permitió ajustar dimensiones y asegurar que el prototipo cumpliera con los requerimientos clínicos y biomecánicos establecidos.



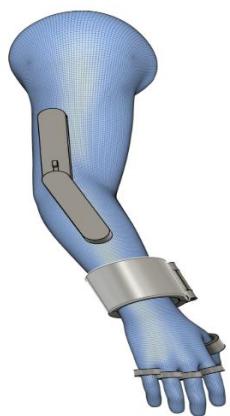
Figura 3. Diseño 3D, anillos de la ortesis. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Diseño 3D, muñequera de la ortesis. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 5. Diseño 3D del mecanismo ubicado en el antebrazo y bíceps de la ótesis. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 6. Diseño 3D de los componentes imprimibles de la ótesis en un diseño 3D del miembro superior derecho. Fuente: elaboración propia.*

#### **IV. DISCUSIÓN**

Los resultados del proyecto evidencian la relevancia de diseñar ótesis personalizadas para pacientes con secuelas de accidente cerebrovascular isquémico, especialmente para mejorar la funcionalidad del miembro superior derecho. Las evaluaciones funcionales iniciales confirmaron limitaciones importantes en movilidad, equilibrio y espasticidad leve, afectando la autonomía del paciente, tal como indican estudios previos sobre hemiparesia post-ACV (Guerrero et al., 2014).

El diseño del prototipo, con mecanismos específicos para estabilizar el codo y la muñeca y facilitar la prensión y extensión de dedos, responde a las necesidades individuales identificadas, reflejando la tendencia actual hacia dispositivos adaptados anatómica y funcionalmente. El uso de impresión 3D permite fabricar ótesis ligeras,

ergonómicas y económicas, coincidiendo con investigaciones recientes en rehabilitación tecnológica (Rueda, 2021).

Además, los mecanismos modulares favorecen la rehabilitación activa, permitiendo movimientos controlados que pueden contribuir a mejorar el rango articular y reducir la espasticidad, tal como recomienda Pombo (2018). La colaboración interdisciplinaria entre ingeniería biomédica y fisioterapia garantizó la funcionalidad y comodidad del dispositivo, aspectos clave para su uso continuo y efectividad clínica.

Aunque este estudio se basa en un caso, el diseño y resultados iniciales sugieren que las ótesis personalizadas con tecnología de fabricación aditiva ofrecen una solución prometedora para la rehabilitación post-ACV. Futuras investigaciones con mayor número de pacientes y seguimiento a largo plazo serán necesarias para validar y optimizar el diseño.

#### **V. CONCLUSIONES**

El desarrollo de este proyecto permitió evidenciar la importancia de adaptar las ótesis a las necesidades específicas de cada paciente, logrando avances significativos en el diseño y en la identificación de los requerimientos técnicos y funcionales del dispositivo. Sin embargo, se enfrentaron desafíos como la selección de materiales que combinan resistencia y ligereza, y la garantía de comodidad durante su uso prolongado.

Durante la impresión 3D en PLA, fue necesario ajustar el mecanismo del codo y reimprimirlo debido a problemas con el seguro de la articulación que interfería con la pieza del húmero, lo que demuestra la importancia de iterar en el prototipado para optimizar el diseño.

Se planea realizar mediciones goniométricas asistidas en las articulaciones interfalangicas y el codo para comparar rangos de movimiento antes y después de la implementación de la ótesis, esta última sin asistencia externa.

Asimismo, se repetirán las pruebas funcionales (Get Up and Go, índice de Barthel, movilidad orientada por el desempeño y escala de Ashworth modificada) para evaluar el impacto del dispositivo en la movilidad y funcionalidad de la paciente.

Finalmente, se implementará una prueba de fuerza antes y después del uso de la ótesis para obtener datos objetivos que sustenten los beneficios del dispositivo y guíen futuras mejoras.

## REFERENCIAS

- Bermúdez, A. & Gaona, N. (2014). *Revisión Sistemática de la Eficacia de las Órtesis de Miembro Superior en el Tratamiento de la Hemiparesia Espástica de la Mano*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Recuperado el día 7 de noviembre del 2024 de  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitsstreams/5c52721b-ceff-4087-8b93-91b0a454b3af/content>
- Corredoirá, M. & Esmorís, O. (2010). *Principios básicos de rehabilitación y ortesis*. Recuperado el día 28 de agosto del 2024 de  
[https://unitia.secot.es/web/manual\\_residente/CAPITULO%2054.pdf](https://unitia.secot.es/web/manual_residente/CAPITULO%2054.pdf)
- Guerrero, B., López, N., & Narvaéz, E. (2014). *Beneficios del Uso de Órtesis en la Rehabilitación de Mano de Personas que Han Sufrido Accidente Cerebrovascular: Revisión sistemática de la literatura*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Recuperado el día 25 de agosto del 2024 de  
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitsstreams/89997844-912d-455d-9491-1bbefdf65aa5/content>
- Harb, A., Margetis, K. & Kishner, S. (2025). *Escala de Ashworth modificada*. StatPearls Publishing LLC. Recuperado el día 8 de mayo del 2025 de  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554572/>
- Podsiadlo, D. & Richardson, S. (1991). *The timed “Up & Go”; a test of basic functional mobility for frail elderly person*. Journal of the American Geriatrics Society, 39(2), 142-148.
- Pombo, A. (2018). *Análisis del Proceso de Elaboración de Órtesis de Miembro Superior en Jóvenes y Adultos con Hemiplejía*. Santo Tomás: Universidad del Norte Santo Tomás de Anquino. Recuperado el día 7 de noviembre de 2024 de  
<http://repositorio.unsta.edu.ar:8080/server/api/core/bitsstreams/0bc0fa88-4b9a-4976-b99f-2383a797d14d/content>.
- Rueda, A. (2021). *Ortesis para inmovilización de miembro superior*. Bogota: Universidad del Rosario. Recuperado el día 30 de Abril del 2025 de  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/server/api/core/bitstreams/dfb1cd4f-8878-48d0-bcc4-3e5b86354f9c/content>
- Ruzafa, J. & Moreno, J. (1997). *Valoración de la discapacidad física: el índice de Barthel*. Madrid: Escuela Nacional de Sanidad. Recuperado el día 7 de mayo del 2025 de  
[efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v71n2/barthel.pdf](https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v71n2/barthel.pdf)
- Tinetti, M. (1986). Evaluación de problemas de movilidad en pacientes mayores, orientada al rendimiento. *J Am Geriatr Soc*. 34 (2): 119-26. PMID: 39444