

Diseño de un Exoesqueleto Activo para Asistencia en la Movilidad del Hombro: Enfoque en el Adulto Mayor

Design of an Active Exoskeleton for Shoulder Mobility Assistance: Focus on the Elderly

Mario Pitty¹ , Librada Villarreal¹ , Milky Rodríguez^{1, 2} , Jay Molino¹ 
, Clarissa Nieto^{2, 3} , Graciela Ambulo³ 

¹ Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Facultad de Biociencias y Salud Pública, Edificio 850, Albrook, Ciudad de Panamá.

² Decanato de Investigación, Edificio 807, Albrook, Ciudad de Panamá.

³ Facultad de Ciencias Médicas y Clínicas, Edificio 850, Albrook, Ciudad de Panamá.

Correos: mariopitty0104@gmail.com, lilibradavillarreal19@gmail.com, ing.milkyr@gmail.com,
jay.molino@udelas.ac.pa, clarissa.nieto@udelas.ac.pa, graciela.ambulo@udelas.ac.pa

DOI: <https://doi.org/10.57819/2a9f-e619>

Fecha de Recepción: 22-02-2026. Fecha de Aceptación: 26-03-2026. Fecha de publicación: 04-05-2026.

Para citar este artículo: Pitty, M., Villarreal, L., Rodríguez, M., Molino, J., Nieto, C., & Ambulo, G. (2027). Diseño de un exoesqueleto activo para asistencia en la movilidad del hombro: Enfoque en el adulto mayor. *Redes: Revista Científica de la Universidad Especializada de las Américas*, (19), 35–45. DOI: <https://doi.org/10.57819/2a9f-e619>



Financiación: No

Conflictos de interés: Ninguno que declarar

RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño y construcción de un exoesqueleto activo para asistir la movilidad del hombro, enfocado en la población adulta. El sistema se considera activo debido a la implementación de actuadores (motores) con el fin de generar el movimiento de asistencia. El prototipo fue fabricado utilizando impresión 3D con filamento de PLA, optimizando la resistencia y ligereza de los componentes. Se efectuaron pruebas de resistencia a través del análisis de elementos finitos, soportando cargas de 77 N y 177 N en flexión y abducción respectivamente, con máximos de esfuerzo observados en 14.41 MPa y 115.6 MPa. Estas evaluaciones confirmaron la durabilidad del dispositivo bajo uso típico. Asimismo, se realizaron análisis biomecánicos, utilizando el software Kinovea, que demostraron una capacidad del exoesqueleto para realizar los movimientos de flexión y abducción del hombro. En flexión se alcanzaron rangos entre los 73° y los 102° en un escenario sin carga y entre 60° y los 70° con una carga de 2 lb, mientras que para el movimiento de abducción se registraron ángulos de 52° y los 83° para el primer escenario, mientras que para el segundo 36° y 44°. Para la validación del dispositivo basaron en simulaciones y en pruebas con una población sana y en un ambiente controlado, sin la participación de la población objetivo. Los resultados sugieren que el exoesqueleto ofrece un enfoque prometedor para mejorar la independencia y calidad de vida de los usuarios, reduciendo el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

Palabras clave

Análisis de Elemento Finito, Exoesqueleto Activo, Impresión 3D, Movilidad del Hombro.

ABSTRACT

This study presents the design and construction of an active exoskeleton to assist shoulder mobility, focused on the adult population. The system is considered active due to the implementation of actuators (motors) to generate assisted movement. The prototype was manufactured using 3D printing with PLA filament, optimizing the balance between mechanical strength and lightweight components. Strength tests were conducted through finite element analysis, applying loads of 77 N and 177 N in flexion and abduction, respectively, with maximum stresses of 14.41 MPa and 115.6 MPa. These evaluations confirmed the

device's durability under typical usage conditions. Additionally, biomechanical analyses were performed using the Kinovea software, demonstrating the exoskeleton's capability to perform shoulder flexion and abduction movements. In flexion, ranges between 73° and 102° were achieved under no-load conditions, and between 60° and 70° with an additional load of 2 lb. For abduction, angles ranged from 52° to 83° in the first scenario, and from 36° to 44° under load. Device validation was based on simulations and tests conducted with a healthy population in a controlled environment, without the participation of the target population. The results suggest that exoskeleton represents a promising approach to improving user independence and quality of life while reducing the risk of musculoskeletal injuries.

Keywords

3D Printing, Active exoskeleton, Finite element analysis, shoulder mobility.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería biomédica ha jugado un papel crucial en el desarrollo de tecnologías que mejoran la calidad de vida de las personas, especialmente aquellas que enfrentan limitaciones físicas debido a enfermedades, lesiones o el proceso natural de envejecimiento. En ese sentido los exoesqueletos, como dispositivos de asistencia robótica, han demostrado su utilidad para mejorar la movilidad y la independencia de los usuarios.

El diseño de estos sistemas ha sido abordado por diversos estudios desde diferentes puntos de vista, por ejemplo: (Mendoza Quispe, 2014) desarrolló un exoesqueleto que cuenta con dos grados de libertad (GDL) enfocado a la asistencia de cargas y corrección de postura en trabajadores de la construcción. Por su parte (Molina, y otros, 2018) diseñaron un dispositivo con tres GDL considerando criterios como altura y peso para su desarrollo, así mismo destacan la implementación de la aleación de titanio Ti-6Al-4V.

El hombro es una articulación que, debido a su rango de movilidad, es susceptible a lesiones que pueden disminuir significativamente la calidad de vida, haciendo que tecnologías como los exoesqueletos sean particularmente valiosas (Domínguez-Gasca, 2018). Este estudio se enfoca en el desarrollo de un exoesqueleto activo que facilita los movimientos de flexión y abducción del hombro, diseñado específicamente para la población adulta, un grupo demográfico particularmente afectado por discapacidades musculoesqueléticas.

Los exoesqueletos se clasifican en dos categorías: pasivos, que no utilizan energía externa y dependen de la mecánica pura, y activos, que están equipados con motores y sistemas de control para proporcionar asistencia mecánica mediante una fuente de energía (ASEPEYO, 2021). Los exoesqueletos activos ofrecen un nivel de asistencia superior, ajustable a las necesidades específicas del usuario, lo que los hace ideales para aplicaciones médicas y de rehabilitación.

De acuerdo con la (Sociedad Española de Reumatología, Fundación Española de Reumatología, 2017) mencionan que 25% de la población ha realizado consultas médicas en relación al dolor de hombro. En cuanto a las causas pueden deberse a factores intrínsecos como a extrínsecos como musculo-tendinosas y lesiones de los nervios respectivamente.

En Panamá, como en muchas partes del mundo, las lesiones del hombro son comunes y, a menudo, se tratan quirúrgicamente, mediante un procedimiento llamado “artroscopia de

hombro” de carácter ambulatorio (Caja del Seguro Social, 2018). Lo que implica costos elevados y largos períodos de recuperación.

En respuesta a ese problema un exoesqueleto de hombro activo podría proporcionar una alternativa no invasiva para la rehabilitación, ofreciendo soporte durante el proceso de recuperación y reduciendo la dependencia de la cirugía.

La fabricación de este dispositivo utiliza técnicas de impresión 3D con filamentos de PLA, un material elegido por su facilidad de impresión, su capacidad de rápida solidificación, su bajo costo de adquisición, alta resistencia a la tracción y buena resistencia al impacto. (Contreras, 2019), (Sculpteo, S.f). Asimismo, el uso del análisis de elemento finito (FEA) para la validación funcional y estructural del exoesqueleto con el objetivo de comprobar si es capaz de sostener las cargas necesarias durante su operación sin presentar una falla. Esta herramienta permite verificar la viabilidad del diseño 3d realizando pruebas como: tensión estática, pandeo estructural, etc. (AUTODESK, 2022).

Para el control del exoesqueleto se usó el microcontrolador Arduino debido a su bajo costo, software y hardware de fácil uso, asimismo posee un lenguaje de programación simple y claro (Enríquez Herrador, 2009). Este enfoque multidisciplinario, que combina elementos de la mecánica, electrónica y programación, para el desarrollo de soluciones enfocadas a la mejora entre la interacción humano-máquina.

Finalmente, este estudio espera contribuir al campo de la ingeniería biomédica mediante una solución efectiva y accesible para los problemas de movilidad del hombro, destacando el potencial de los exoesqueletos para mejorar la vida de las personas mayores y estableciendo un precedente para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en la región.

MÉTODO

Objetivo

El objetivo de esta investigación fue diseñar y validar un exoesqueleto de tipo activo para la asistencia de la movilidad del hombro en actividades cotidianas, enfocado principalmente a la población adulta.

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental de desarrollo tecnológico, en este caso la fabricación del dispositivo, que abarco desde el modelado del dispositivo hasta su validación estructural mediante simulaciones de estrés y evaluaciones de funcionalidad a través de análisis biomecánicos en diferentes escenarios bajo condiciones controladas.

Población

La población del estudio estuvo conformada por cinco adultos mayores de 50 años, utilizados únicamente para la obtención de las medidas antropométricas en el marco del estudio piloto. Los participantes fueron seleccionados por presentar disminución en la movilidad y problemas musculoesqueléticos comunes en esta franja etaria, con el fin de

adaptar el diseño del exoesqueleto a diferentes estructuras corporales, asegurando precisión y comodidad.

Se eligieron participantes basándose en la edad, historial de movilidad del hombro, y capacidad para realizar las pruebas, abarcando distintos niveles de movilidad y proporcionando un espectro amplio de datos para el análisis del dispositivo.

La población para la evaluación del exoesqueleto consistió en una población sana de seis participantes entre los 18 - 25 años estos emulando una disminución en la movilidad del hombro, esto con la finalidad de evitar una lesión significativa una persona que realmente presenta una lesión en el hombro.

Asimismo, a todos los participantes, tanto de la población sana como de la población objetivo se les explico que la información recopilada se utilizaría para el desarrollo del dispositivo.

Diseño Mecánico del Exoesqueleto

Se utilizó Autodesk Fusion 360 para el diseño y análisis funcional del exoesqueleto, utilizando como referencia la anatomía del hombro derecho. Se llevaron a cabo pruebas de fuerza y presión mediante análisis de elementos finitos dentro del software, lo que permitió realizar ajustes en el diseño sin la necesidad de prototipos físicos. Esto resultó en un prototipo estable y funcional.

Los componentes principales del exoesqueleto, incluyendo las estructuras de soporte del hombro y el mecanismo para el movimiento articulado, fueron diseñados con precisión. Se emplearon las siguientes dimensiones basadas en mediciones antropométricas promedio y adaptaciones específicas al usuario: el largo total es 43 cm, el Ancho en la articulación del hombro es de 65 cm y la profundidad es de 26 cm.

Modelado y Adaptación

La modelación de los componentes se basó en imágenes calibradas de la anatomía del usuario, cargadas posteriormente al software FUSION 360 de CAD. Este procedimiento permitió adaptar el dispositivo a las características antropométricas del usuario, asegurando una mejor relación entre la estructura mecánica del dispositivo y la morfología del brazo.

Las medidas antropométricas utilizadas se derivaron principalmente del largo promedio del brazo y el ancho de la articulación del hombro, para asegurar una rotación natural del exoesqueleto y las articulaciones del usuario. A partir de dichas mediciones se establecieron las dimensiones base de las piezas del modelo.

El diseño del exoesqueleto estuvo orientado bajo diversos criterios como: adaptabilidad y ligereza, priorizando un la ergonomía y la distribución de cargas. Asimismo, el sistema fue desarrollado para facilitar su fabricación mediante tecnologías de prototipado, permitiendo su implementación en contexto de bajo costo.

Diseño del Encaje:

El sistema de encaje se desarrolló basado en las mediciones antropométricas de las porciones proximal, medial y distal del brazo del usuario.

A partir de estos datos, se definió la geométrica del sistema de acoplamiento entre el dispositivo y el miembro superior, asegurando su correcta alineación con la anatomía del usuario. Posteriormente, se realizaron extrusiones y diversas modificaciones en el software CAD para generar las partes estructurales del exoesqueleto. Este enfoque permitió optimizar la distribución de cargas, contribuyendo a una mejor estabilidad del exoesqueleto y el confort durante su uso.

Fabricación Mecánica:

Se empleó una impresora 3D con tecnología FDM para fabricar las partes del exoesqueleto utilizando como material el PLA (ácido poliláctico), un material termoplástico muy utilizado debido a sus propiedades (ligero y resistente) ideal para prototipos que requieren resistencia mecánica.

Componentes Electrónicos y Control:

El sistema de control del dispositivo se utilizó la plataforma Arduino debido a su fácil de implementación y su amplia disponibilidad de recursos (librerías). Este microcontrolador permitió gestionar de manera eficiente los actuadores encargados de los movimientos del sistema.

Para los movimientos de flexión y abducción, se emplearon dos servomotores de distintas capacidades (180 kg*cm y 60 kg*cm), controlados por un driver L293D que permite manejar la onda PWM proporcionada por el Arduino y, a su vez, protegiendo al mismo de algún tipo de fuga de corriente, asegurando la precisión en los movimientos del exoesqueleto.

Se utilizaron baterías de 12V 5A y 7.4V 5.2A para la alimentación independiente los servomotores, mientras que el microcontrolador Arduino fue alimentado con una de 9V. Esta configuración de aislar los circuitos de control y de potencia garantizo una funcionalidad operativa del sistema estable durante periodos prolongados

Como interfaz de usuario, se implementó el dispositivo Nunchuk de Nintendo Wii, el cual permite controlar el exoesqueleto de manera intuitiva y ergonómica. Esto facilita la interacción humano – dispositivo, permitiendo una manipulación más fácil del exoesqueleto sin requerir a procesos de aprendizaje complejos

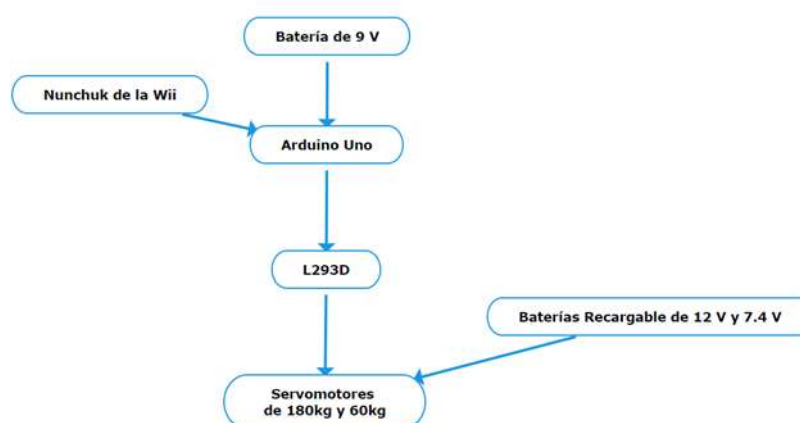


Figura N° 1 Esquema General del Dispositivo

Método de captura de imagen:

El método de captura de imagen fue utilizado con el fin de realizar el seguimiento del movimiento angular generado por el exoesqueleto durante su operación. Para ello se registraron una secuencia de videos del miembro superior mientras este ejecutaba el movimiento asistido por el dispositivo.

Posteriormente estos videos fueron procesados y calibrados utilizando las referencias antropométricas del brazo, lo que permitió obtener mediciones precisas mediante el software Kinovea.

El análisis se llevó a cabo bajo tres condiciones experimentales: asistido por el exoesqueleto, el movimiento en condición de peso muerto y el movimiento con carga adicional (mancuerna de 2lb). Esto permitió comparar el comportamiento del dispositivo en diferentes escenarios de carga, evaluando así su desempeño en términos de rango, control y estabilidad durante su trayectoria.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Análisis de elemento finito

Se utilizó el software Fusion 360 para simular la tensión en un prototipo de exoesqueleto bajo diferentes cargas. En el movimiento de flexión, se aplicaron cargas de 77 N, 177 N y 1700 N, resultando en esfuerzos máximos de 6.268 MPa, 14.41 MPa y 138.4 MPa respectivamente, con un mínimo de 0 MPa. Para la abducción, las mismas cargas resultaron en esfuerzos máximos de 61.81 MPa, 115.6 MPa y 935.3 MPa respectivamente, con mínimos cercanos a cero. Además, se menciona el uso de PET, un material más resistente que el PLA, para las pruebas debido a las limitaciones del software estudiantil. La Figura 2 muestra la carga en la pieza con 77N en modo abducción y flexión

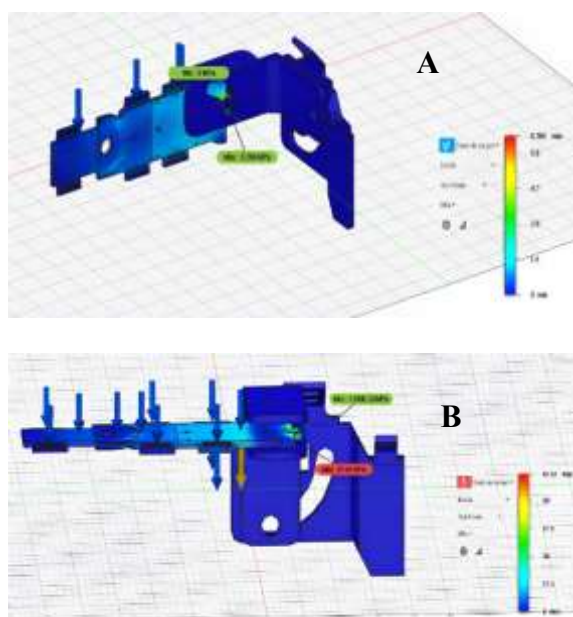


Figura N° 2 Panel A: FEA con carga de 77 N en flexión. Panel B: FEA con carga de 77 N en abducción

Movimiento asistido

Las gráficas proporcionadas ilustran claramente los movimientos de flexión y abducción asistidos por un dispositivo, detallando las trayectorias completas de varios sujetos junto con los valores promedio de dichos movimientos. A partir de este conjunto de datos, se pueden destacar varias observaciones cruciales:

Variabilidad Interindividual

Las gráficas correspondientes al panel A de las figuras 3 y 4 respectivamente representa el movimiento de flexión en dos escenarios experimentales: el exoesqueleto asistiendo al usuario en el movimiento (sin carga) y con una carga adicional de 2LB demostrando diferencias significativas en las trayectorias de movimiento entre los sujetos evaluados. En la primera se observa que los ángulos oscilaron entre los 73° y 102° con una variabilidad entre los usuarios de 29°. Mientras que en la segunda se presentan trayectorias menores en un rango entre los 60° y 70° pero con una mejor estabilidad y con una variabilidad de apenas 10°

Mientras que para las gráficas del panel B de las figuras 3 y 4 muestran el movimiento de abducción bajo los mismos escenarios. Alcanzando ángulos que oscilan entre los 52° y los 83° para la primera condición con una variabilidad de 31°, mientras que para el escenario con la mancuerna de 2 Lb el rango de movilidad máximo osciló entre los 36° y los 44°, reduciendo su dispersión a 8°. Similar al caso de flexión en la primera presenta una mayor variabilidad y en la segunda una mejor estabilidad.

Consistencia y Promedio de Movimientos

Para el movimiento de flexión asistido el promedio en su punto máximo fue de 83°, lo que es equivalente a un 92% del ángulo programado (90°), lo que indica un déficit del 7°. En cuanto al escenario con carga, alcanza un promedio en su punto máximo de 70°, lo que

equivale a un 77%, esto sugiere que hubo una reducción de 20°. Sin embargo, a pesar de su disminución la variabilidad fue de 10°.

En el movimiento de abducción asistido el promedio en su punto máximo fue 59°, representando un 65% del ángulo establecido, con un déficit de 31°. En el escenario con carga el promedio disminuyó a los 34°, lo equivalente al 37% del ángulo objetivo.

Para el movimiento flexión y abducción se evidencia que el escenario con la carga adicional de 2 Lb presenta trayectorias más homogéneas entre sí en comparación con el escenario sin la carga. Esto indica un factor estabilizador durante su proceso de ejecución. No obstante, en ambas condiciones el déficit fue mayor en la abducción respecto a la flexión, lo sugiere mayores limitaciones para lograr el ángulo programado.

Análisis Biomecánico

Para el análisis biomecánico se implementó el software de seguimiento kinovea, el mismo permitió trazar el movimiento de flexión y abducción en un ciclo de tiempo de 8 segundos. En el escenario asistido para ambos movimientos se destaca un mayor rango de movimiento, lo que indica un correcto funcionamiento del dispositivo con una menor exigencia de los motores. Sin embargo, al añadirle una carga adicional de 2 Lb más el peso del propio brazo de usuario, se observa una disminución en el rango de movimiento, dicha disminución es más notable en la abducción que en la flexión.

Para el movimiento de flexión en especial, llega cerca de los valores programados (90° en ambos casos), por su parte la abducción muestra limitaciones más grandes, lo que indica una mayor necesidad de torque en la transmisión del movimiento

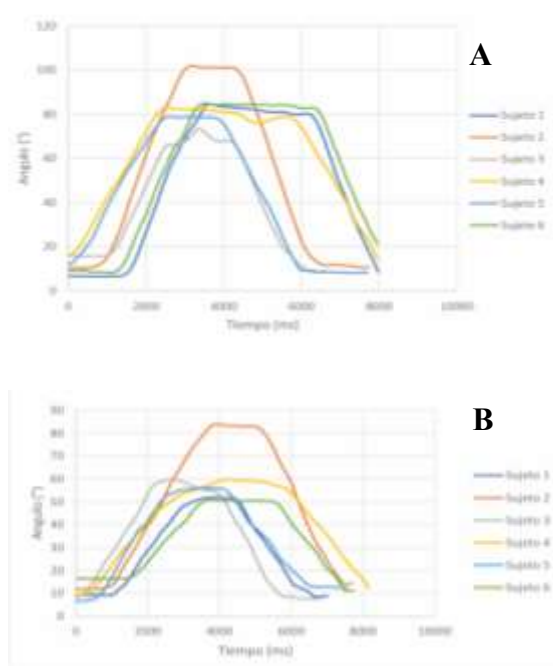


Figura N° 3 Panel A: Trayectoria de movimiento de flexión asistido
Panel B: Trayectoria de movimiento de abducción asistida.

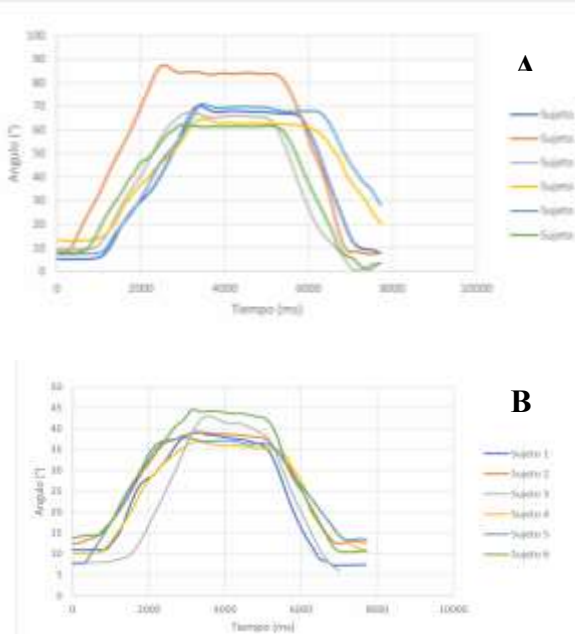


Figura N° 4: Panel A: Trayectoria de movimiento de flexión con mancuerna con 2lb.
Panel B: Trayectoria de movimiento de abducción con mancuerna de 2lb

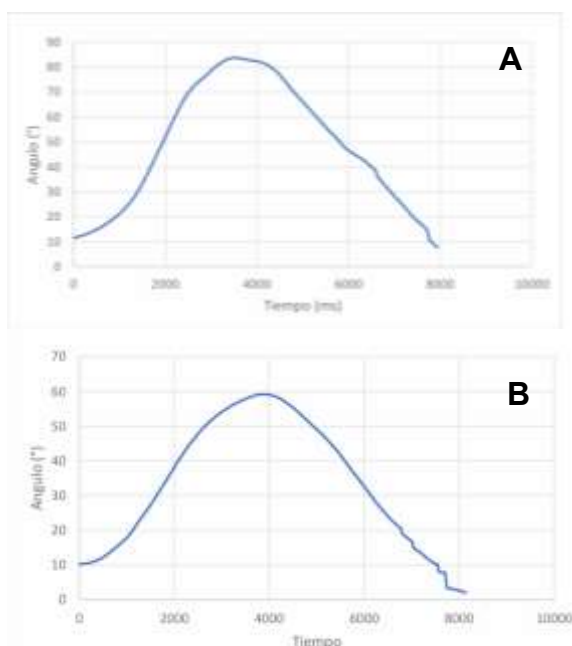


Figura N° 4 Panel A: Promedio de la Trayectoria en Movimiento de Flexión Asistido.
Panel B: Promedio de Trayectoria en Movimiento de Abducción Asistido

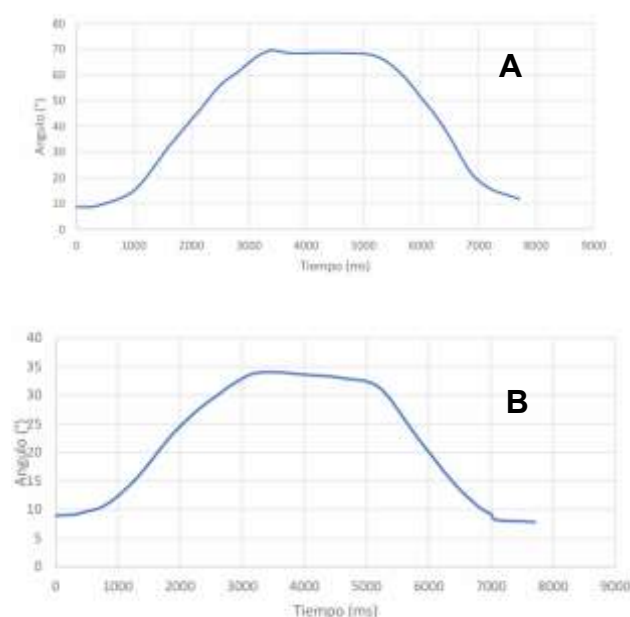


Figura N° 6 Panel A: Promedio de la Trayectoria en movimiento de flexión con mancuerna con 2lb.
Panel B: Promedio de la Trayectoria de movimiento en abducción con mancuerna de 2lb.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran una gran variabilidad entre los usuarios en el escenario de movimiento sin carga para ambos movimientos. Para el movimiento de flexión mostro un ángulo máximo cercano a los 100° con relación a los otros sujetos indicando una dispersión significativa, se sugiere que factores externos pueden influir en su trayectoria como su antropometría y el control del dispositivo. Para el movimiento de abducción se presenta un comportamiento similar de variabilidad los rangos oscilaron entre los 52° - 83° .

Para el caso de la carga adicional de 2 lb genero una reducción en los ángulos alcanzados durante los movimientos en la flexión se observó una reducción de ángulo entre los 60° y 70° , junto con una mejor homogeneidad lo que indicar que la carga adicional funge como un elemento estabilizador al momento de realizar el movimiento. Para el movimiento de abducción se mantuvo en rangos próximos a la condición sin carga, pero con una disminución en su dispersión.

Tomando en cuenta lo previamente mencionado se puede indicar que el prototipo funciona adecuadamente con cargas ligeras. Por su parte el uso de fabricación aditiva permitió obtener un dispositivo ligero y adaptable, representado una alternativa viable en contexto de rehabilitación donde la personalización y el bajo coste son elementos importantes.

Entre las limitaciones del estudio se destaca el tamaño reducido de la muestra siendo probado en seis voluntarios sanos debido a las restricciones asociadas al COVID-19 al momento de su desarrollo y la falta de pruebas en población clínica. Asimismo, se debe mencionar que las pruebas realizadas en el FEA deben tomarse como aproximaciones y no valores exactos debido a las limitaciones en la adquisición de recursos. A pesar de la

limitación se considera que los resultados obtenidos permiten establecer una base para investigaciones futuras respecto a la optimización del dispositivo y su validación en entorno clínicos reales.

CONCLUSIONES

En este estudio, se desarrolló un prototipo de exoesqueleto para asistir la movilidad del hombro, empleando servomotores de alta potencia, técnicas de fabricación aditiva y ácido poliláctico (PLA) como material. Para el diseño se utilizaron de referencias las medidas antropométricas promedio de adultos mayores de 50 años, orientando las dimensiones del prototipo hacia la población objetivo.

El análisis cinemático realizado con Kinovea reveló que, para la flexión, el prototipo permite un rango de movimiento de 62° a 102° , dependiendo de la carga, con un ángulo máximo medio de 70° a 83° . Para la abducción, el rango varía de 34° a 83° , con un ángulo máximo medio de 34° a 59° .

Respecto al análisis de elemento finito del dispositivo se aplicaron cartas de hasta 1700N alcanzando esfuerzos máximos de 138.4 MPa en flexión y 935.3 MPa en abducción, confirmando que el movimiento de abducción representa una mayor demanda. El prototipo facilita la manipulación de objetos de hasta 2 lb.

La implementación del PLA permitió la fabricación de un dispositivo ligero, adaptable y de bajo costo, lo cual supone una opción viable para contexto de rehabilitación donde el acceso a la tecnología especializada es limitado. En resumen, los resultados evidencian que el prototipo es funcional y viable para mejorar la independencia y calidad de vida de los adultos mayores con problemas en la movilidad del hombro.

Futuras investigaciones deben estar orientadas en validar su eficiencia clínica bajo condiciones terapéuticas controladas, aumentando la muestra poblacional e igualmente se debe mejorar el torque de motor en el movimiento de abducción, utilizar materiales que tengan mejores propiedades físicas en las áreas críticas identificadas en el FEA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASEPEYO. (23 de Marzo de 2021). Exoesqueleto en el trabajo ¿Futuro o Realidad? Obtenido de ASEPEYO: <https://prevencion.asepeyo.es/documento/folleto-exoesqueletos-en-el-trabajo-futuro-o-realidad/>
- AUTODESK. (2022). Software de análisis de elementos finitos. Obtenido de AUTODESK: <https://www.autodesk.mx/solutions/finite-element-analysis>
- Caja del Seguro Social. (24 de Agosto de 2018). CORRIGEN LESIONES EN EL HOMBRO A TRAVÉS DE MODERNO INSTRUMENTO QUIRÚRGICO. Obtenido de Caja del Seguro Social: <http://www.css.gob.pa/web/24-agosto-2018rr.html>
- Contreras, L. (19 de Agosto de 2019). Guía completa: el filamento PLA en la impresión 3D . Obtenido de 3Dnatives: el sitio web de la impresión 3D: <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/#!>
- Domínguez-Gasca, L. (2018). Lesiones de hombro en la tercera edad y su repercusión funcional en la escala de DASH. Acta Ortopédica Mexicana (págs. 13-16). Guanajuato: Colegio Mexicano de Ortopedia y Traumatología A.C.
- Enríquez Herrador, R. (2009). Guía de Usuario de Arduino. San Francisco: Creative Commons Attribution- Noncommercial-Share.
- García González, A. (2 de Diciembre de 2016). ¿Qué es y cómo funciona un servomotor? Obtenido de PanamaHitek: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- Mendoza Quispe, A. (2014). Exoesqueleto Robótico de Miembro Superior para la Asistencia de Carga y Prevención de Lesiones Musculo-esqueléticas en Trabajadores de Construcción Civil. (Tesis de Licenciatura). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU, Lima.
- Molina, J., Sánchez, P., Moreno, G., Gómez, S., Vizúete, M., & Martínez-Gómez, J. (2018). Diseño y simulación de un exoesqueleto para las extremidades superiores, con 3 grados de libertad y una carga de trabajo de 1 kg. III Congreso Internacional de Investigación en Ciencias de la Salud (págs. 203-214). Ambato: Ediciones Astro Data, S.A.
- Sculpteo. (S.f). Impresión 3D con PLA: ventajas, aplicaciones y alternativas. Obtenido de Sculpteo: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-materials-guide/pla-3d-printing/>
- Sociedad Española de Reumatología, Fundación Española de Reumatología. (2017). Hombro Doloroso. Enfermedades, 01-04