



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO PARA EXTREMIDADES SUPERIORES DE 5 GRADOS DE LIBERTAD

**DESIGN OF A 5 DEGREES OF FREEDOM UPPER EXTREMITY
EXOSKELETON.**

Enrique de Jesús Moreno Carpintero

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Ricardo Rodríguez Robledo

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Andrés Blanco Ortega

Tecnológico Nacional de México / CENIDET

José Miguel Ramírez Cuevas

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Andrea Munive Cruz

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Elliott Vazquez Altamirano

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Elliott Vazquez Altamirano

Universidad Tecnológica de Tecamachalco, México

Diseño de un Exoesqueleto para Extremidades Superiores de 5 Grados de Libertad

Enrique de Jesús Moreno Carpintero¹

enrique.mc@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5472-1503>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

Ricardo Rodríguez Robledo

ricardo.rr@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0004-7976-6187>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

Andrés Blanco Ortega

andres.bo@cenidet.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0088-6863>

Tecnológico Nacional de México / CENIDET

Interior Internado Palmira S/N, Palmira,
Cuernavaca Morelos, C.P. 62490, México

José Miguel Ramírez Cuevas

jose.rc@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-7894-6527>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

Andrea Munive Cruz

andrea.208mc@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-9073-9958>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

Elliott Vazquez Altamirano

L25090685@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0000-1317-8076>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

Sofía Martínez López

L25090615@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0004-0387-7526>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

¹ Autor principal.

Correspondencia: ricardo.rr@zacatepec.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo trata del diseño de un exoesqueleto para extremidades superiores de 5 grados de libertad. Al empezar con dicho diseño se realizó un prototipo virtual en CAD utilizando el software Solid Works. Así mismo se diseñó cada componente del exoesqueleto para después realizar una simulación virtual en el software MSC Adams View, con la finalidad de demostrar la funcionalidad del exoesqueleto, análisis dinámico y cinemático. La partida del diseño se realizó mediante la consulta bibliográfica de diversos artículos de modelos ya realizados anteriormente, cabe recalcar que no hay ningún modelo igual al que se diseñó en este trabajo. El exoesqueleto diseñado ofrece una solución funcional y accesible para aplicaciones de rehabilitación, la asistencia biomédica o el aumento de la fuerza. Se pudo crear estabilidad en la estructura de dicho diseño, así como tener la fiabilidad del usuario, al ser seguro, creando un prototipo capaz de satisfacer las necesidades del usuario, apoyándole en tener una rehabilitación más segura y más rápida. Este diseño permite reproducir los movimientos esenciales de la articulación, siendo capaz de dar una rehabilitación necesaria al usuario, siendo una estructura ligera, eficiente y viable. Debido a los materiales usados, el peso hace que no interfiera con la funcionalidad de dicho diseño, haciendo con elló que el usuario tenga una itneracción armónica.

Palabras clave: diseño; exoesqueleto; extremidades; grados de libertad; solid works.



Design of a 5 Degrees of Freedom Upper Extremity Exoskeleton.

ABSTRACT

This work deals with the design of a 5-degree-of-freedom upper limb exoskeleton. The design process began with the creation of a virtual prototype in CAD using SolidWorks software. Each component of the exoskeleton was then designed and subsequently simulated using MSC Adams View software to demonstrate its functionality, dynamics, and kinematics. The initial design process involved consulting various articles on previously developed models; it is important to note that no existing model is identical to the one designed in this work. The designed exoskeleton offers a functional and accessible solution for rehabilitation, biomedical assistance, and strength enhancement applications. The design achieves structural stability and user reliability, resulting in a safe and effective prototype capable of meeting user needs and supporting a safer and faster rehabilitation process. This design allows for the reproduction of essential joint movements, providing the user with necessary rehabilitation. It is a lightweight, efficient, and practical structure. Thanks to the materials used, its weight does not interfere with the design's functionality, resulting in a harmonious user experience.

Keywords: design; exoskeleton; extremities; degrees of freedom; solid works.

*Artículo recibido 10 diciembre 2025
Aceptado para publicación: 10 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

Un exoesqueleto para extremidades superiores de 5 grados de libertad, son sistemas electromecánicos que van ajustados a diferentes extremidades del cuerpo humano, estos a su vez tienen la función de realizar determinadas acciones. Los exoesqueletos tienen una gran variedad de aplicaciones unas de ellas son en áreas de medicina, en la milicia, en la industria, entre otras áreas.(Karavas et al., 2012; López, Torres, et al., 2014; *¿Qué Son Los Exoesqueletos Robóticos?* | *Robotesfera*, n.d.; Rouse et al., 2013)

Actualmente existen diferentes tipos de enfermedades y los accidentes que sufren las personas dejándolas con deficiencias motoras en las extremidades superiores y que requieren de tratamientos de rehabilitación especializada, es por ello que se han desarrollado diversos prototipos que permitan controlar los movimientos del miembro superior de las personas así mismo brindándoles un mejor control en la evolución de la rehabilitación de la persona y facilitándoles el trabajo físico que con lleva este tipo de terapias de rehabilitación tanto como para el terapeuta como para el paciente. (Broche-Vázquez et al., 2020; Gutiérrez Carvajal et al., 2007; López, Aguilar, et al., 2014; Torres et al., 2015)

Para que un exoesqueleto pueda cumplir con su función este debe de estar desarrollado con algún tipo de motor uno de ellos puede ser con actuadores los cuales se encargan de definir los grados de libertad de este tipo de prototipos. Un exoesqueleto puede cumplir con una variedad de movimientos de articulaciones, esto dependerá de que es lo que requiere el usuario.(Parra & Antonio, 2017; Tibaduiza-Burgos et al., 2019)

Los movimientos de articulaciones se conocen también como Grados De Libertad o como DOF por sus siglas en inglés (Degree Of Freedom) (*Coparoman: 1.2 GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT*, n.d.; *GRADOS DE LIBERTAD – INTELIGENCIA ARTIFICIAL*, n.d.; *ROBOTS: Manipuladores Mecánicos: GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT*, n.d.) estos se refieren al número de movimientos independientes realizados en un espacio tridimensional sobre un eje lineal y/o rotacional o la combinación de estos mismos. El análisis de articulaciones nos permite identificar con mayor facilidad los grados de libertad, es decir, su capacidad de movilidad.

Los Grados de Libertad más comunes se dan por la siguiente lista: (Gómez & Bartoll, 2014; Jarmey & Myers, 2008)



1. Flexión/ Extensión
2. Abducción/Aducción
3. Rotación
4. Circunducción
5. Elevación/Depresión
6. Pronación/Supinación
7. Protrusión/Retrusión
8. Inversión/Eversión

En el ámbito industrial los exoesqueletos juegan un papel importante al igual que en otras áreas.

Tiene una gran utilidad para portar cargas pesadas, para mantener las extremidades en su posición sin presentar algún tipo de fatiga o alguna lesión al portador, hay que tener en cuenta que no todos los exoesqueletos están diseñados para cualquier actividad. El diseño de un exoesqueleto dependerá de las necesidades el usuario y para que será utilizado. Otro aspecto importante es que su uso no es para producir más o mover cargas de mayor peso. No se emplean para aumentar la productividad, sino para disminuir el cansancio, el agotamiento y evitar las lesiones. (*Exoesqueletos - Evolución de Los Trajes Robóticos | Guía de La Discapacidad*, n.d.; *Exoesqueletos Antropomórficos Orientados al Trabajo Industrial*, n.d.)

METODOLOGÍA

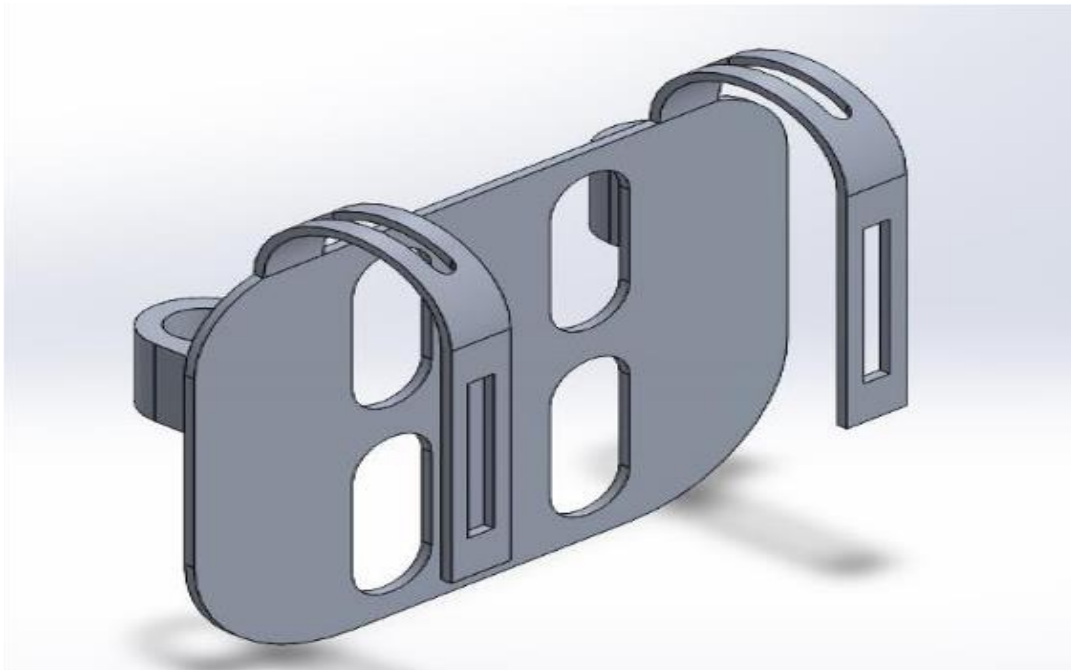
Para este tipo de modelos de exoesqueleto utilizamos el software SolidWorks, el cual nos ayudó a diseñar cada pieza de nuestro exoesqueleto. Para eso se tomó en cuenta que puede ser utilizado para una persona de aproximadamente 80 kilogramos, de complexión promedio y que sea ajustable ya que las medidas de cada persona pueden varear de acuerdo a su fisonomía.

Primero se inició con el diseño del soporte de la espalda, se le asignó el material Aluminio 1060 ya que es un material muy resistente, se realizaron ranuras en la placa del soporte para que disminuya el peso y este pueda tener una mejor ventilación.

El grosor de este soporte es de 3mm, tiene 250mm de altura y 300mm de largo (ver figura 1).

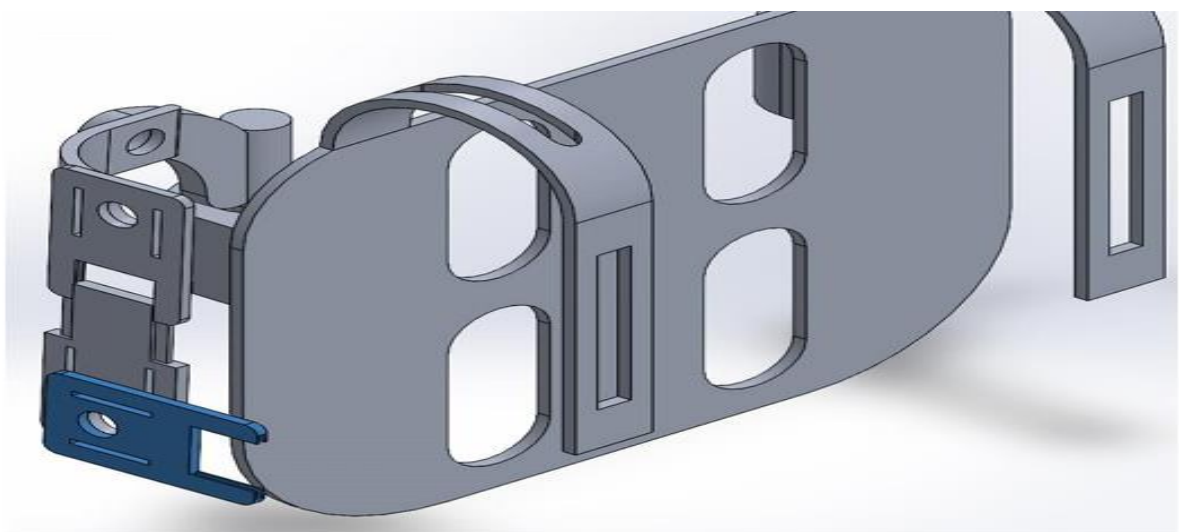


Figura 1. Trazo de soporte de espalda



El procedimiento se empezó con el ensamble del perno, este fue colocado en el soporte de la espalda en la parte posterior, sucesivamente se ensambló el soporte para el hombro junto con el perno para que las dos piezas cumplan con su función de rotaciones, posteriormente se realizó el ensamble de una placa para el brazo que va en conjunto con el soporte del hombro, así mismo se ensamblaron dos placas con deslizamiento para que sean ajustables (ver figura 2).

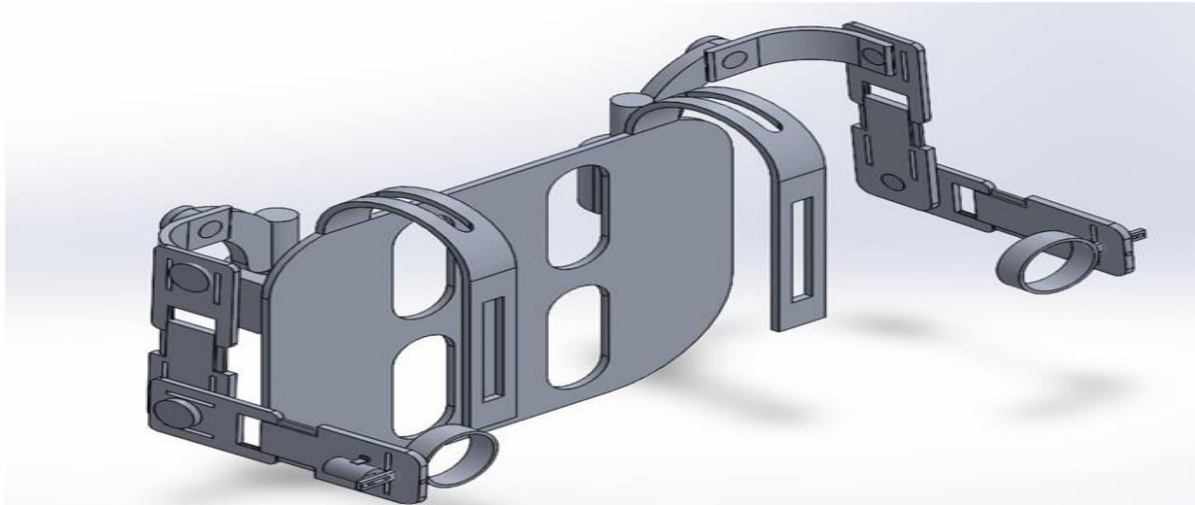
Figura 2. Ensamble de placas con deslizamiento.



Para finalizar el ensamblaje del exoesqueleto para extremidades superiores de 5 grados de libertad, se conectaron las placas, pernos, ejes, motores y el aro para el antebrazo asegurando la correcta alineación

de las piezas que conforman el mecanismo de pronación-supinación (ver figura 3).

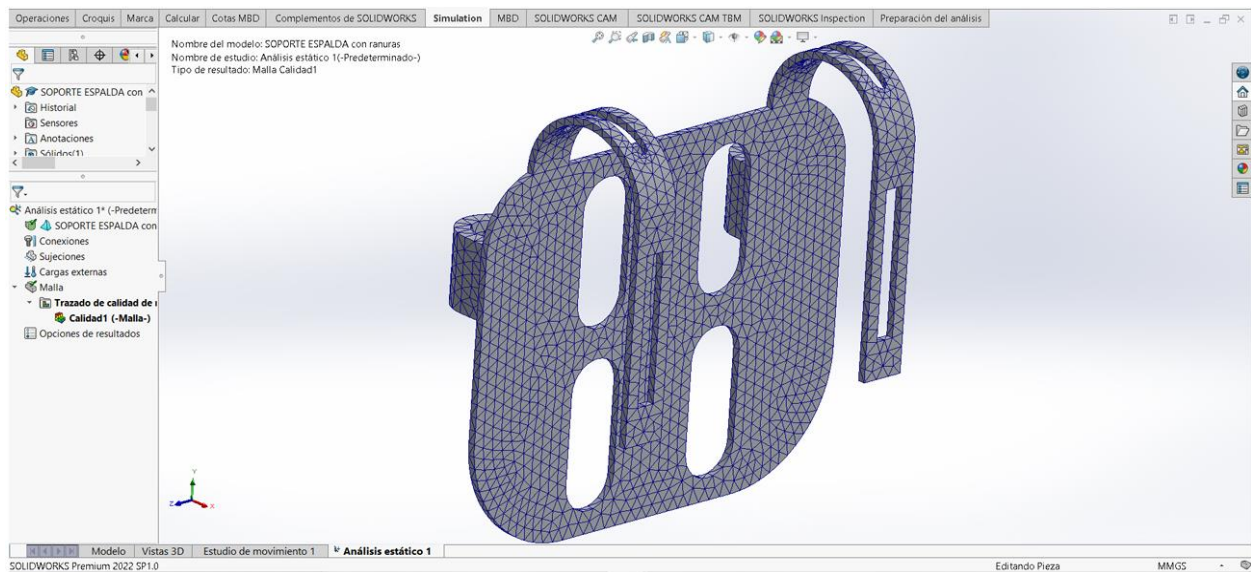
Figura 3. Ensamble final del exoesqueleto



Una vez ya realizado el ensamble del exoesqueleto en Solidworks procedemos con la simulación en el software Adams view, para poder observar su comportamiento cinemático, el software Adams view está optimizado para solucionar problemas a gran escala, aprovechando los entornos de computación de alto rendimiento, Adams ejecuta la dinámica no lineal en una fracción del tiempo requerido, permite crear modelos virtuales que simulen el comportamiento de movimientos complejos de los sistemas mecánicos reales, analizando de forma rápida diferentes variaciones de diseño hasta llegar a uno óptimo. (*Adams | Software de Ingeniería Asistida Por Ordenador (Software CAE) | Hexagon, n.d.; Diseñando Mejores Robots Industriales Con Adams - Simulexa, n.d.; Introducción Software MSC Adams - Validación Cinemática de Un Robot Paralelo de Tipología 3ups+, n.d.*)

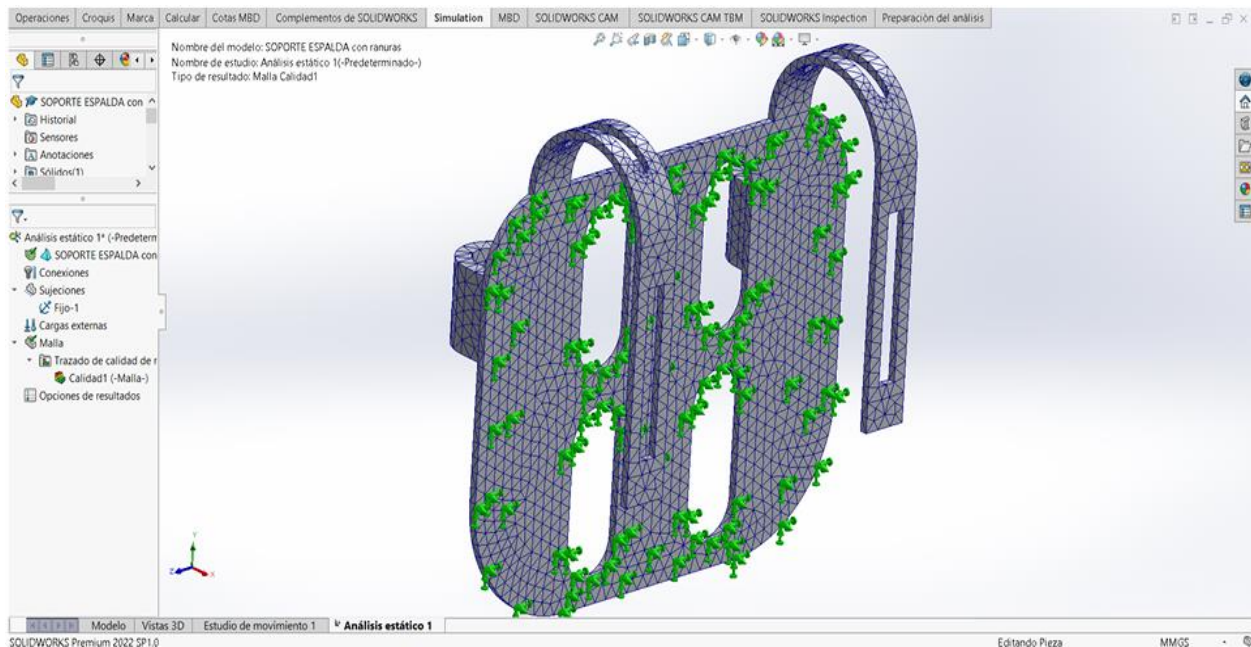
Posteriormente se realizó el análisis estático en la estructura del exoesqueleto, este proceso se llevó a cabo en cada una de las piezas, en este caso se tomo como ejemplo la base de la espalda del exoesqueleto. Para realizar este análisis se utilizó el software SolidWorks, para esto utilizamos el complemento Simulation. Primero se asignó la malla a nuestra estructura o nuestra pieza, el mallado nos ayuda definir el número de elementos o nodos que tendrá la pieza y así habrá mayor número de cálculos y resultados más exactos (ver figura 4).

Figura 4. Análisis estatico, mallado de pieza.



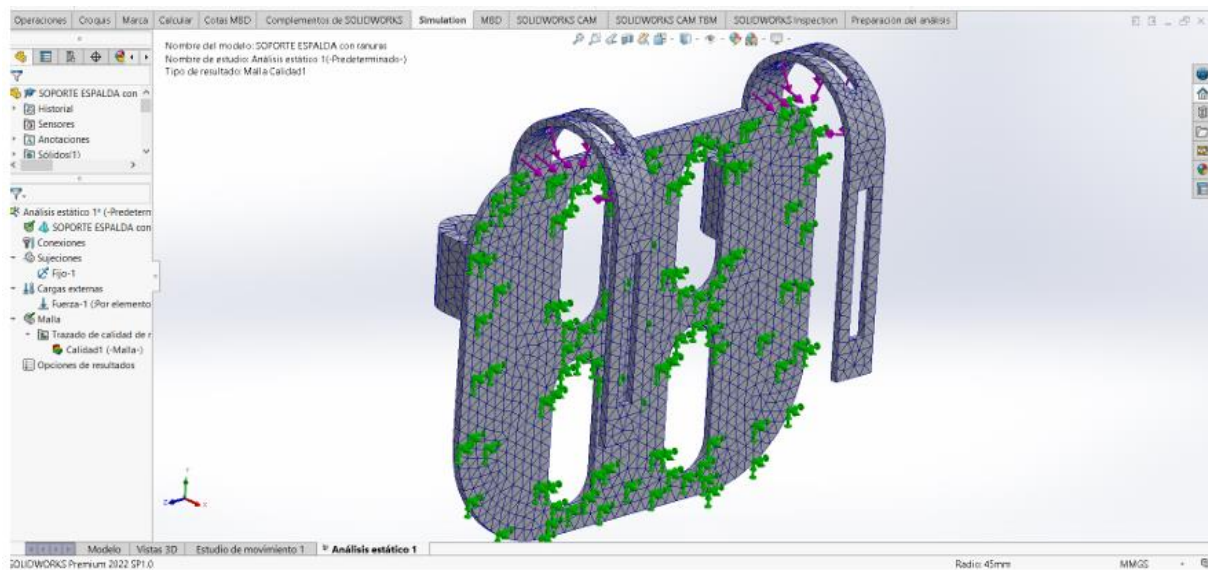
Después de asignar la geometría fija, nos dirigimos a la sección de sujeciones, seleccionamos la cara de nuestra pieza la que queremos que sea totalmente fija y así obtener resultados mas precisos (ver figura 5).

Figura 5. Aplicación de geometría fija



La fuerza aplicada en la pieza fue de 0.2N, invirtiendo el sentido de las flechas hacia abajo, ya que la parte de la pieza donde se aplicó la fuerza va sobre los hombros, por ende, la fuerza va hacia abajo (ver figura 6).

Figura 6. Fuerza (N) aplicada en la pieza



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

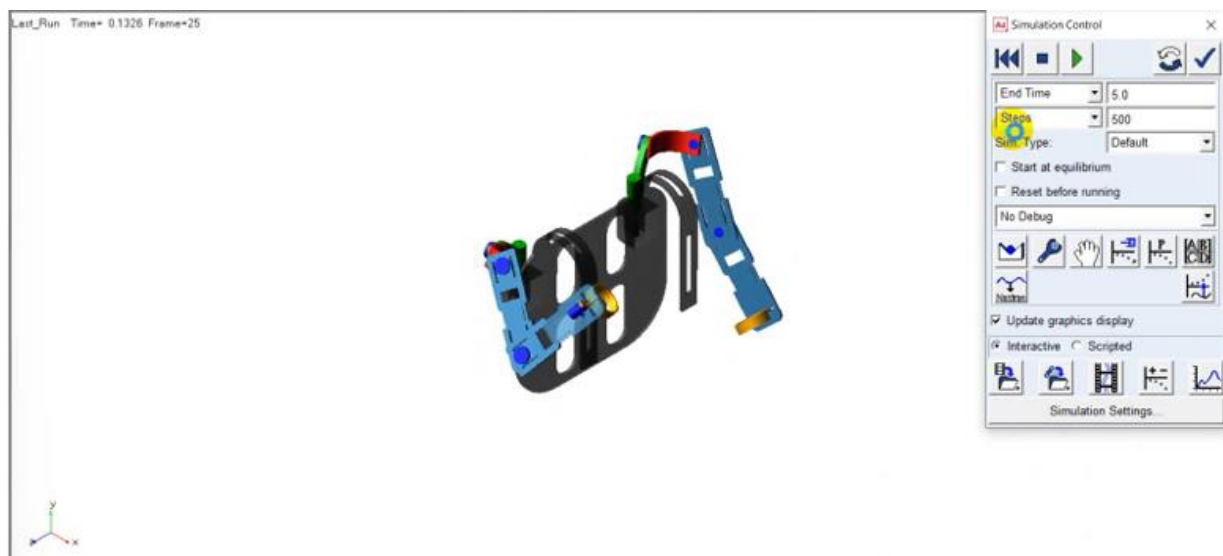
El diseño de Solid Works para el exoesqueleto de 5 grados de libertad nos mostró resultados favorables, al contar con suficientes antecedentes existentes de exoesqueletos, se pudo realizar un diseño adecuado y eficiente, ya que se adaptó correctamente para quien lo vaya a utilizar.

En la simulación se cumple con lo requerido y así mismo podemos observar el comportamiento cinemático del exoesqueleto. Esta simulación nos ayuda a ver como es que las cargas y fuerzas se distribuyen en el diseño.

El exoesqueleto cumple con las funciones para las que fue diseñado las cuales son: flexión-extensión del codo, rotaciones del hombro y, además, el movimiento de pronación-supinación del antebrazo.

En la simulación podemos visualizar como es el comportamiento del exoesqueleto y de esta manera podemos verificar que este cumple con las funciones requeridas las cuales son: flexión-extensión del codo, rotaciones del hombro y además, el movimiento de pronación-supinación del antebrazo (ver figura 7).

Figura 7. Simulación exoesqueleto Adams View



Para proceder con el análisis estático, se asignó como material Aluminio 1060. Una vez asignado el material se inició el proceso de análisis estático (ver figura 8 y 9), este consiste en realizar un mallado y aplicar los esfuerzos, con el fin de detectar las zonas más resistentes. En donde podemos observar en nuestros diseños ya simulados, que gran parte de nuestro exoesqueleto tiene una gran resistencia.

Figura 8. Análisis estático

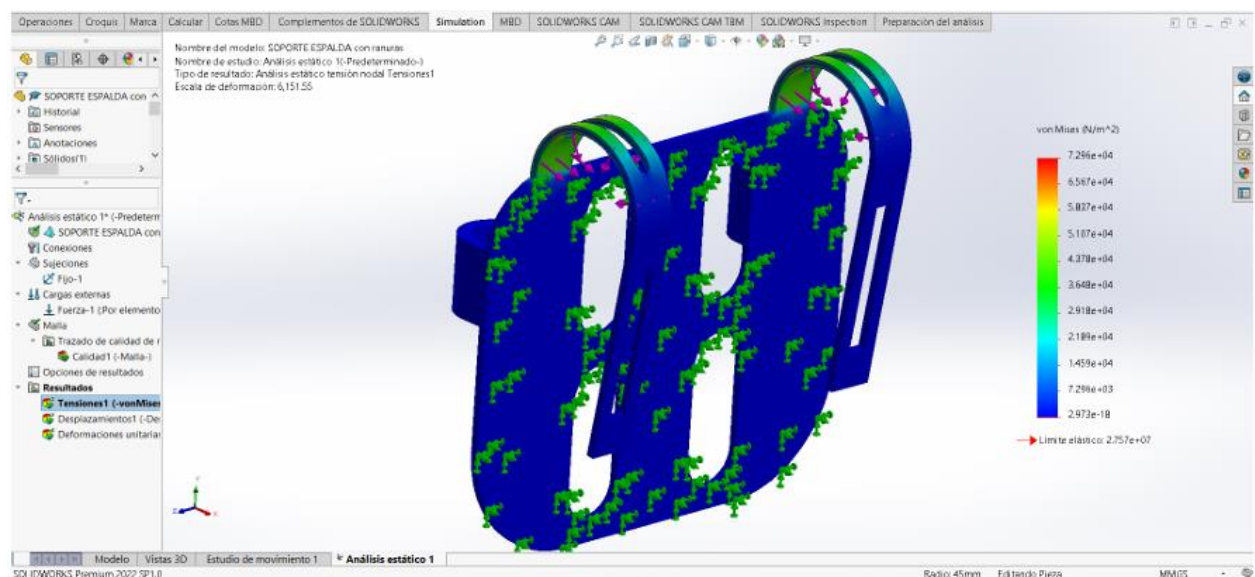
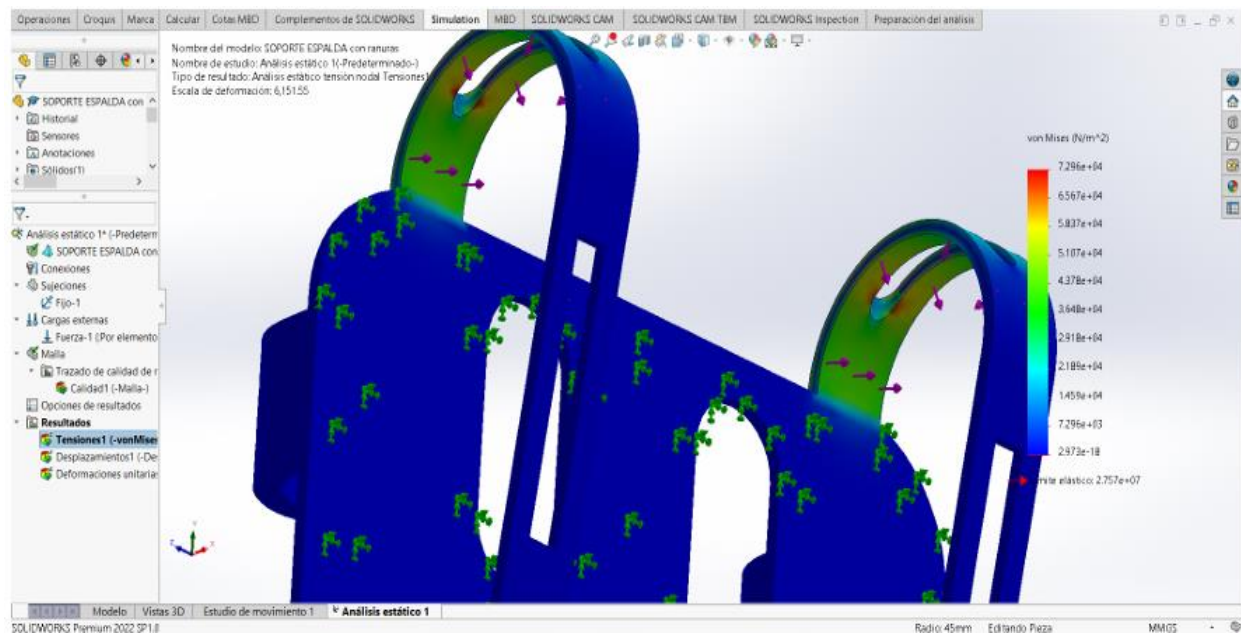


Figura 9. Análisis estático proceso terminado



CONCLUSIONES

El exoesqueleto que se diseñó nos ofrece una solución funcional y accesible para aplicaciones de rehabilitación, la asistencia biomédica o el aumento de la fuerza, se pudo crear estabilidad en la estructura de dicho diseño, así como tener la fiabilidad del usuario, al ser seguro.

Así mismo este diseño permite reproducir los movimientos esenciales de la articulación, siendo capaz de dar una rehabilitación necesaria al usuario, siendo una estructura ligera, eficiente y viable.

Por lo tanto nuestro diseño de exoesqueleto cumple con las funciones que se requieren y con el objetivo, el cual es diseñar un exoesqueleto de extremidades superiores que realice los movimientos de flexión-extensión del codo, rotaciones del hombro y además, el movimiento de pronación-supinación del antebrazo.

A este prototipo se le pueden realizar mejoras de acuerdo a lo que la persona requiera y así mismo para obtener una buena eficacia del trabajo que realizará el exoesqueleto. Recordando que al ser de vital importancia la rehabilitación del usuario, este diseño ayudará en gran medida que la recuperación de las personas sea más rápida y eficaz, sin tener alguna otra lesión, que sería más complicado para cualquier usuario, así mismo el costo del mismo está por debajo de otros diseños propuestos en el mercado, contribuyendo con eso a la economía de la población que tienen estos accidentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams | Software de ingeniería asistida por ordenador (software CAE) | Hexagon.* (n.d.). Retrieved October 10, 2025, from <https://hexagon.com/es/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/adams>
- Broche-Vázquez, L., Torres-Quezada, M., Milanés-Hermosilla, D., González-Romero, D., Rodríguez-Serrezuela, R., & Sagaró-Zamora, R. (2020). Exoesqueleto robótico para la rehabilitación del miembro superior del paciente hemipléjico. *Ingeniería Mecánica*, 23(3).
- coparoman: 1.2 GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT.* (n.d.). Retrieved October 7, 2025, from <https://coparoman.blogspot.com/2013/05/12-grados-de-libertad-de-un-robot.html>
- Diseñando mejores robots industriales con Adams - Simulexa.* (n.d.). Retrieved October 10, 2025, from https://www.simulexa.com/es_es/disenando-mejores-robots-industriales-con-adams/
- Exoesqueletos - Evolución de los trajes robóticos | Guía de la discapacidad.* (n.d.). Retrieved October 7, 2025, from <https://www.guiadisc.com/exoesqueletos-evolucion-trajes-roboticos.html>
- Exoesqueletos antropomórficos orientados al trabajo industrial.* (n.d.). Retrieved October 4, 2025, from <https://www.podcastindustria40.com/exoesqueletos-industria/>
- Gómez, J. G., & Bartoll, Ó. C. (2014). Una experiencia de aprendizaje-servicio en la asignatura «Bases anatómicas y fisiológicas del movimiento» del Área de Didáctica de la Expresión Corporal. *Retos. Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, 26, 122–127.
- GRADOS DE LIBERTAD – INTELIGENCIA ARTIFICIAL.* (n.d.). Retrieved September 30, 2025, from <https://sitiointeligenciaa.wordpress.com/grados-de-libertad/>
- Gutiérrez Carvajal, R. E., Vanegas, F., Duque, J., Avilés, O., & Niño, P. (2007). Diseño y Control de un Exoesqueleto para Rehabilitación Motora en Miembro Superior. In *IFMBE Proceedings* (Vol. 18, pp. 758–761). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74471-9_176
- Introducción software MSC Adams - Validación cinemática de un robot paralelo de tipología 3ups+.* (n.d.). Retrieved October 10, 2025, from <https://1library.co/article/introducci%C3%B3n-software-adams-validaci%C3%B3n-cinem%C3%A1tica-robot-paralelo-tipolog%C3%ADa.zpn4wdoy>



- Jarmey, C., & Myers, T. W. (2008). *LIBRO CONCISO DEL CUERPO EN MOVIMIENTO, EL (Color)*. Editorial Paidotribo.
- Karavas, N. C., Tsagarakis, N. G., & Caldwell, D. G. (2012). Design, modeling and control of a series elastic actuator for an assistive knee exoskeleton. *2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, 1813–1819. <https://doi.org/10.1109/BioRob.2012.6290757>
- López, R., Aguilar, H., Salazar, S., Lozano, R., & Torres, J. A. (2014). Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 11(3), 304–314. <https://doi.org/10.1016/J.RIAI.2014.02.008>
- López, R., Torres, J., Salazar, S., Lózano, R., & Cinvestav, M. (2014). *Desarrollo de un Exoesqueleto para Rehabilitación de Tobillo y Rodilla*. 35(1), 13–28.
- Parra, A., & Antonio, P. (2017). *Estudio anatómico y determinación de parámetros funcionales de un prototipo de exoesqueleto de miembro inferior con dos grados de libertad*.
- ¿Qué son los Exoesqueletos Robóticos? | *Robotesfera*. (n.d.). Retrieved September 25, 2025, from <https://robotesfera.com/que-son-exoesqueletos>
- ROBOTS: Manipuladores Mecánicos: GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT*. (n.d.). Retrieved October 7, 2025, from <https://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>
- Rouse, E. J., Mooney, L. M., Martinez-Villalpando, E. C., & Herr, H. M. (2013). Clutchable series-elastic actuator: Design of a robotic knee prosthesis for minimum energy consumption. *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 1–6.
- Tibaduiza-Burgos, D. A., Aya Parra, P. A., & Anaya Vejar, M. (2019). Exoesqueleto para rehabilitación de miembro inferior con dos grados de libertad orientado a pacientes con accidentes cerebrovasculares. *Inge CuC*, 15(2), 36–47. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.04>
- Torres, M., Sagaró, R., Broche, L., Delisle, D., Reyes, A., López, A., & Rossi, E. (2015). Robotic System for Upper Limb Rehabilitation. *IFMBE Proceedings*, 49, 948–951. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13117-7_240

