

USO DE EXOESQUELETOS ROBÓTICOS PARA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON DIFICULTAD DE MOVIMIENTO

Jorge Villcáez Castillo, Ph.D.

jorgevill2015@gmail.com

Ingeniería Informática

Universidad Nacional “Siglo XX”

Llallagua – Bolivia

Resumen - El presente artículo científico se constituye en un artículo científico de revisión, puesto que realiza un estudio selectivo y crítico sobre información esencial de uso de exoesqueletos. El objetivo del presente artículo es el de proponer el uso de los exoesqueletos robóticos para la rehabilitación de pacientes con dificultad de movimiento, es decir, pacientes que padecen alguna dificultad en el movimiento de alguna lesión en alguna parte de su cuerpo; para lo cual se aplicó el tipo de investigación documental para realizar una revisión bibliográfica de artículos científicos sobre la temática seleccionada. La propuesta de este artículo se enfoca en la importancia del diseño, desarrollo y aplicación de dispositivos electromecánicos para la rehabilitación de movimientos en pacientes con dificultad motora; así de esta manera resaltar la importancia del avance de la tecnología en el área de la robótica.

Palabras clave: Control, Exoesqueleto, Movimiento, Rehabilitación, Robótica, Terapia.

Abstract - This scientific article constitutes a scientific review article, since it carries out a selective and critical study on essential information on the use of exoskeletons. The objective of this article is to propose the use of robotic exoskeletons for the rehabilitation of patients with movement difficulties, that is, patients who suffer from some difficulty in movement due to an injury in some part of their body; for which the type of documentary research was applied to carry out a bibliographic review of scientific articles on the selected subject. The proposal of this article focuses on the importance of the design, development and application of electromechanical devices for the rehabilitation of movements in patients with motor difficulties. Thus, in this way, highlight the importance of the advancement of technology in the area of robotics.

Keywords - Exoskeleton, Movement, Rehabilitation, Robotics, Therapy, Control.

INTRODUCCIÓN

La situación problemática identificada en las personas que sufren algún tipo de lesiones físicas especialmente que involucran la dificultad de movimiento de alguna parte del cuerpo, como puede ser los miembros superiores, los miembros inferiores y el tronco, las lesiones pueden presentar diversos problemas para su rehabilitación, ya que cada caso es único y puede involucrar diferentes factores. Algunos de los problemas comunes que pueden surgir durante el proceso de rehabilitación de una lesión incluyen:

- Dificultad en el movimiento de la parte afectada
- Dolor en la parte afectada
- Necesidad de rehabilitación
- Dolor y malestar
- Inflamación e hinchazón
- Pérdida de fuerza y flexibilidad
- Pérdida de masa muscular
- Limitaciones funcionales
- Miedo al movimiento

- Cumplimiento y paciencia
- Limitaciones estructurales
- Factores emocionales y psicológicos como la frustración, la ansiedad y la depresión.

Es importante contar con la supervisión de profesionales de la salud, como fisioterapeutas y médicos, para abordar adecuadamente estos problemas y garantizar una rehabilitación efectiva y segura. Cada lesión y paciente son únicos, por lo que el plan de rehabilitación debe adaptarse a las necesidades individuales de cada caso (Muñoz, Astudillo, Miranda, & Albarracín, 2018).

El planteamiento del problema fue ¿Cómo coadyuvar en la rehabilitación en pacientes con dificultad en el movimiento? Para ello el objetivo general planteado fue el de proponer el uso de los exoesqueletos robóticos para rehabilitación de pacientes con dificultad de movimiento. Para su concreción se plantearon los siguientes objetivos específicos: Realizar una investigación documental de lesiones físicas, exoesqueletos, robótica y rehabilitación, Determinar la importancia del uso de exoesqueleto en rehabilitación. Proponer el uso de exoesqueletos robóticos en la rehabilitación de pacientes con dificultad en el movimiento.

La justificación de la investigación enfoca la importancia del uso de exoesqueletos robóticos en la rehabilitación terapéutica de pacientes con dificultad de movimiento de alguna parte del cuerpo, pueden ser los miembros superiores, miembros inferiores o el tronco. La justificación en el aspecto social, resalta que los principales beneficiarios serán los pacientes que presentan dificultad de movimiento; la justificación en el aspecto técnico, resalta las potencialidades de la aplicación de la robótica en el diseño y desarrollo e implementación de exoesqueletos robóticos para la rehabilitación terapéutica de pacientes, que permitirá asistir de mejor manera al personal médico en rehabilitación. La justificación en el aspecto económico se resalta que mediante el uso de exoesqueletos, permitirá reducir costos en la rehabilitación de pacientes con dificultad de movimiento.

Como sustento teórico para el presente trabajo de investigación, se consideraron como conceptos fundamentales los conceptos de: lesiones físicas, robots para rehabilitación, exoesqueletos, rehabilitación asistida por exoesqueleto.

Las lesiones físicas:

Las lesiones físicas son daños o traumatismos que ocurren en el cuerpo debido a diferentes causas. Pueden ser el resultado de accidentes, caídas, práctica deportiva, actividades laborales, lesiones deportivas, actos violentos o cualquier otro evento que cause daño a los tejidos, músculos, huesos, articulaciones, órganos o piel. Algunas de las lesiones físicas más comunes incluyen (Guzmán Valdivia, Blanco Ortega, Oliver Salazar, & Azcaray Rivera, 2013):

- Fracturas: Rotura parcial o total de un hueso debido a una fuerza excesiva o impacto, como caídas, accidentes automovilísticos o lesiones deportivas.
- Esguinces: Lesión en los ligamentos que unen los huesos en una articulación, causada generalmente por una torcedura o estiramiento excesivo.
- Luxaciones: Separación o dislocación de los huesos en una articulación debido a un fuerte impacto o estiramiento.
- Contusiones: Hematomas causados por un golpe o compresión de los tejidos blandos, que resultan en el rompimiento de los vasos sanguíneos debajo de la piel.
- Cortes y heridas: Daño a la piel y tejidos subyacentes causado por objetos afilados o traumas contundentes.
- Lesiones musculares: Incluyen desgarros y distensiones musculares, que pueden ocurrir durante la práctica deportiva o el levantamiento de objetos pesados.
- Lesiones en la columna vertebral: Lesiones en las vértebras o los discos intervertebrales, que pueden

tener graves consecuencias en la movilidad y la función nerviosa.

- Lesiones en la cabeza y el cerebro: Traumatismos craneoencefálicos, que pueden variar desde conmociones cerebrales hasta lesiones cerebrales traumáticas graves.
- Lesiones de tejidos blandos: Daño a los músculos, tendones y ligamentos que puede ocurrir debido a movimientos repetitivos, esfuerzo excesivo o malas posturas.
- Los accidentes cerebrovasculares son la primera causa de discapacidad en los países desarrollados y la tercera causa de muerte en el mundo son a causa de diferentes indoles.

Además, se presentan los siguientes problemas aparte de los ya mencionados: Las lesiones en la médula espinal y enfermedades cerebrovasculares pueden producir una reducción parcial o total de las capacidades motoras. Debido a la pérdida de tejidos nerviosos el cerebro es incapaz de controlar ciertos músculos, que, aunque no están completamente dañados, inhiben sus funciones, haciendo necesario un programa de rehabilitación. Estas lesiones pueden provocar pérdida del control motor, grados variables de debilidad muscular y trastornos de la sensibilidad (Villarejo, Valencia Jiménez, Arango Hoyos, & Caicedo Bravo, 2017).

Robots para rehabilitación:

Los robots para rehabilitación pueden ser clasificados en tres principales grupos: para asistencia, movilidad y terapéuticos. Los robots terapéuticos también pueden clasificarse en dos grupos: miembros superiores y miembros inferiores. Los robots terapéuticos para miembros inferiores se pueden dividir en: exoesqueletos, entrenadores de la marcha y sistemas para rehabilitación de miembros inferiores. Los exoesqueletos fueron desarrollados para asistir a personas que tienen alguna debilidad en sus miembros inferiores determinados (Díaz Suárez, Moreno Moreno, Sanjuan Vargas, Prada García, & Torres, 2021).

Exoesqueleto:

Los exoesqueletos son estructuras externas rígidas que incorporan actuadores que permiten movimientos controlados y precisos además de sensores que brindan información del movimiento relacionada con el ángulo, la velocidad y la aceleración. Posibilitan en los más avanzados, capturar la actividad eléctrica muscular del paciente (señales electromiográficas) o electroencefalografía (EEG), relacionada a la intencionalidad del movimiento. Sus aplicaciones en tal sentido auguran un amplio espectro que va desde los procesos de rehabilitación de pacientes hasta la sustitución de las funciones vitales, por ejemplo, el andar en personas

con patologías permanentes (Broche Vásquez & Torrez Quezada, 2020).

Los exoesqueletos para rehabilitación son dispositivos que permiten adaptar un robot manipulador a una extremidad del cuerpo con el fin de realizar procesos terapéuticos que brindan al paciente soporte durante rutinas de rehabilitación determinadas (Díaz Suárez, Moreno Moreno, Sanjuan Vargas, Prada García, & Torres, 2021).

Un exoesqueleto es un dispositivo mecánico externo diseñado para ser usado por una persona y que proporciona soporte y mejora en la movilidad. Su diseño se inspira en la estructura y función del esqueleto externo de los insectos y algunos animales para brindar una especie de "armadura" mecánica a los seres humanos.

Los exoesqueletos están diseñados para asistir o mejorar la capacidad de movimiento de una persona, ya sea aumentando la fuerza muscular, proporcionando estabilidad a las articulaciones o compensando limitaciones físicas. Estos dispositivos pueden ser utilizados con fines médicos y terapéuticos, como parte de la rehabilitación después de una lesión o para ayudar a personas con discapacidades físicas a mejorar su movilidad (Rivera, Bonilla, Moya, Mosquera, & Vitalyevich, 2019).

Rehabilitación asistida con exoesqueleto:

La gravedad y el tratamiento de las lesiones físicas dependerán de la extensión y el tipo de lesión, así como de la atención médica que se reciba. Es importante buscar atención médica adecuada para evaluar y tratar las lesiones de manera oportuna y adecuada. La rehabilitación y el proceso de recuperación también pueden ser necesarios para lograr una recuperación completa y prevenir complicaciones a largo plazo.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología, desde la perspectiva de la salud pública y todos sus actores implicados desde las más diversas profesiones, pero con el común objetivo de la vida más plena de sus conciudadanos, enfrenta la creciente incidencia de las denominadas enfermedades o accidentes cerebrovasculares, tercera causa de las defunciones y discapacidad parcial o total de las extremidades motoras (Yañez & Madariaga, 2021)

Al respecto (Díaz Suárez, Moreno Moreno, Sanjuan Vargas, Prada García, & Torres, 2021) mencionan que, la robótica ha incursionado ampliamente en la medicina, en particular, en el área de la fisioterapia asistida, en la que utilizando exoesqueletos o sistemas electromecánicos se estimulan diversos movimientos en las articulaciones, lo cual ha resultado muy importante cuando existe una elevada pérdida muscular, dolor excesivo, afecciones de nervios y adherencias en las articulaciones, y que se ha demostrado que el paciente puede recobrar la movilidad de sus extremidades con mayor facilidad, eficiencia y en un menor tiempo.

Los robots proporcionan nuevas formas de terapia para pacientes con desórdenes neurológicos. Las terapias de marcha asistidas con exoesqueletos pueden incrementar la duración y la intensidad de los entrenamientos para los pacientes y reducir el esfuerzo físico del terapeuta. Sin embargo, el uso de estos dispositivos para el entrenamiento de la marcha limita la interacción física entre el terapeuta y el paciente, en comparación con la terapia manual. Una apropiada realimentación de las funciones corporales y biomecánicas en la interacción con el sistema robótico facilita la evaluación del desempeño del paciente, motivándolo en el reaprendizaje de la marcha con resultados superiores (Villarejo, Valencia Jiménez, Arango Hoyos, & Caicedo Bravo, 2017).

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicó la investigación documental (bibliográfica para realizar la recopilación bibliográfica de aspectos referentes a los usos de los robots exoesqueletos que se aplican en la rehabilitación terapéutica de pacientes con dificultades de movimiento en alguno de sus miembros o cuerpo.

La investigación documental (Cabrera García, 2018)

Métodos

Métodos teóricos

- Método deductivo – inductivo: Permite obtener información teórica sobre los aspectos técnicos de los exoesqueletos.
- Método análisis – síntesis: Permite descomponer y procesar los datos bibliográficos recolectados para proponer la propuesta uso de los robots exoesqueletos para la rehabilitación de pacientes.

Para (Cabrera G., 2018, pág. 110), el método inductivo, es el método que permite extraer, a partir de determinados conocimientos, observaciones o experiencias particulares, el principio general que en ellos está contenido, principio general que permite la concepción y la explicación de otros fenómenos o hechos científicos parecidos o iguales.

Por su parte, “la deducción es un método que permite extraer consecuencias particulares de principios, proposiciones o supuestos generales.”. Es decir, este método permite el tránsito del conocimiento científico por el sendero de la concepción general del hecho o fenómeno científico hacia lo particular.” (Cabrera G., 2018, pág. 118).

Ambos métodos la deducción y la inducción se constituyen en una unidad mental capaz de explicar de manera dialéctica el problema de investigación.

Estos métodos se utilizaron, en la introducción, así como en el planteamiento del problema, de la misma en el contenido del presente trabajo de investigación.

2. RESULTADOS

Este artículo científico presenta diversos diseños de exoesqueletos que se utilizan para la rehabilitación de pacientes que tienen alguna dificultad en el movimiento de algún miembro o parte de su cuerpo.

Las propuestas presentadas fueron objeto de estudios de personas que se dedicaron al diseño, desarrollo e implementación de robots exoesqueletos para la rehabilitación motora de pacientes.

Dichos diseños permiten coadyuvar al personal de salud en la rehabilitación de pacientes. Los diseños propuestos y algunos desarrollados fueron supervisados en su gran mayoría por personal médico especializado.

Propuesta 1: Desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación del movimiento flexo-extensor del codo

En este trabajo de investigación se presenta el desarrollo de un dispositivo electromecánico para la rehabilitación del movimiento flexor-extensor del codo con potencial rehabilitatorio. Para la elaboración de este prototipo se diseñó y construyó una articulación del codo el cual permite realizar movimientos de 0° a 120°. El diseño del sistema de engranaje se realizó utilizando el

software Solid Edge a partir de una selección previa del motor de paso que ofreciera el torque suficiente para lograr la flexión y extensión del codo, seguidamente para la construcción de este sistema se utilizó una impresión 3D en PLA. Dicho sistema se acopló a un sistema estabilizador de brazo con bisagra. El prototipo se opera

desde un aplicativo software en Android utilizando el IDE MIT app inventor, que le envía la angulación deseada a un dispositivo arduino el cual implementa un sistema de

Control digital. Para mejorar la percepción de la terapia con el exoesqueleto se elaboró un aplicativo software de telerehabilitación utilizando el IDE processing y el dispositivo de reconocimiento corporal Kinect, el cual

guía al paciente en una terapia interactiva donde realizan la rehabilitación del movimiento de flexión y extensión guiando un objeto virtual de un ángulo a otro (Díaz Suárez, Moreno Moreno, Sanjuan Vargas, Prada García, & Torres, 2021).



Figura 1: Impresión 3D del exoesqueleto
Fuente: (Andrés Díaz, 2020)

Propuesta 2: Modelado y Simulación de un Robot Terapéutico para la Rehabilitación de Miembros Inferiores

La rehabilitación en un sentido general tiene el objetivo de reincorporar a una persona a sus actividades de la vida cotidiana. Actualmente, un paciente que requiere de alguna rehabilitación sufre de largas esperas para ser atendido debido a la falta de personal en las clínicas y hospitales. Una alternativa para ayudar al personal médico en las terapias de rehabilitación es utilizando robots terapéuticos. Este artículo muestra el modelado y la simulación de un robot terapéutico para la rehabilitación de miembros inferiores. Se presenta el modelo cinemático y dinámico de un robot de tres grados de libertad con un efector final configurado en paralelo. Se presenta una ley de control por par calculado para el seguimiento de trayectorias planificadas. Se presentan simulaciones de ejercicios terapéuticos para cadera y rodilla realizadas en ADAMS y MATLAB para conocer el comportamiento cinemático y dinámico del robot. Los resultados obtenidos demuestran el gran potencial del robot terapéutico para asistir en la rehabilitación de miembros inferiores (Guzmán Valdivia, Blanco Ortega, Oliver Salazar, & Azcaray Rivera, 2013).

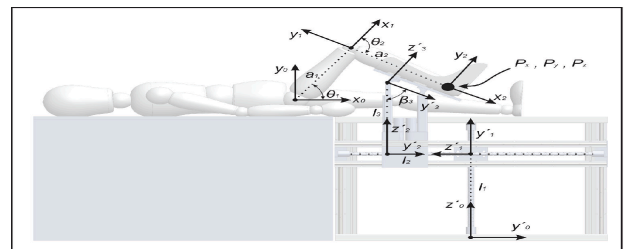


Figura 2: Robot Terapéutico para la Rehabilitación de Miembros Inferiores
Fuente: (Revista Ingeniería Biomédica, 2013)

Propuesta 3: Exoesqueleto robótico para la rehabilitación del miembro superior del paciente hemipléjico

El objetivo de este trabajo fue aplicar una metodología que integra criterios de diseño, biomecánicos y clínicos en el desarrollo del exoesqueleto para la rehabilitación del miembro superior en pacientes hemipléjicos. Se presenta el proceso de selección de los actuadores de fuerza, mecanismos de rotación del brazo y de pronosupinación del antebrazo, así como la armadura mecánica en su totalidad. Se complementa el diseño con sencillos sistemas de control, seguridad y una interfaz para el control del exoesqueleto por parte del fisioterapeuta. El prototipo diseñado ha sido construido y validado en pruebas piloto practicadas en el Hospital Clínico Quirúrgico de Santiago de Cuba, Cuba, en pacientes hemipléjicos aquejados del síndrome del hombro doloroso (Broche Vásquez & Torre Quezada, 2020).

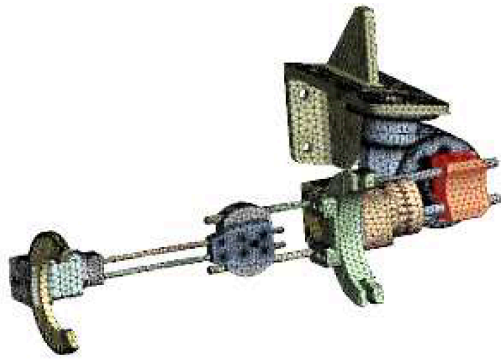


Figura 3: Diseño de la estructura o armazón
Fuente: (Andrés Díaz, 2020)

Propuesta 4: Sistema de biofeedback para rehabilitación de marcha asistida por un exoesqueleto

El biofeedback ha sido aplicado en rehabilitación de marcha con pacientes con accidente cerebro-vascular y con lesiones en la médula espinal. Registros de electromiografía y variables cinemáticas han sido procesados para presentar estímulos visuales, acústicos o como combinación de ambas, así como también con métodos vibrotáctiles. La aplicación de biofeedback en rehabilitación de lesiones neurológicas ayuda a mejorar las funciones motoras del paciente durante la marcha. En la terapia manual, el terapeuta estima el nivel de asistencia necesaria para asegurar que el paciente mantenga un patrón de marcha fisiológico. Sin embargo, cuando se reduce el desempeño del movimiento este tipo de asistencia comúnmente se incrementa para obtener una mejora, llevando posiblemente a que el paciente camine con un esfuerzo inferior al de su capacidad máxima. Por tanto, la estimación de la capacidad máxima de locomoción del paciente y su realimentación podrían mejorar la calidad del entrenamiento de la marcha (Villarejo, Valencia Jiménez, Arango Hoyos, & Caicedo Bravo, 2017).

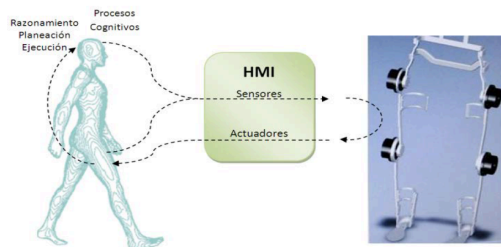


Figura. 4: Interfaz Humano - Máquina
Fuente:(researchgate, 2021)

Propuesta 5: Dispositivo Mecatrónico para el análisis y mitigación de movimientos involuntarios en personas con enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson es una patología neurodegenerativa, progresiva e incurable; con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que la padecen, se propuso el diseño y construcción de un dispositivo mecatrónico que permita el análisis de los movimientos involuntarios producto de la enfermedad. Dicho dispositivo permite, mediante el uso señales electromiográficas producidas por los músculos del antebrazo y de un algoritmo basado en redes neuronales artificiales, el análisis de los movimientos involuntarios de pronunciación generados en las extremidades superiores. Para la materialización del dispositivo se tomó en cuenta técnicas de prototipado rápido como lo es la impresión 3D y el modelo en V aplicado a la Mecatrónica. Como resultado de este trabajo de investigación se obtuvo un dispositivo mecatrónico en forma de exoesqueleto controlado por un sistema embebido que analiza y procesa señales electromiográficas y, mediante redes neuronales artificiales, permite la clasificación del temblor y de movimientos voluntarios producidos por cada paciente (Rivera, Bonilla, Moya, Mosquera, & Vitalyevich, 2019).

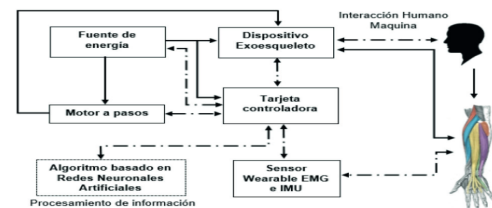


Figura 5: Diagrama de bloques del dispositivo robótico
Fuente:(researchgate, 2021)

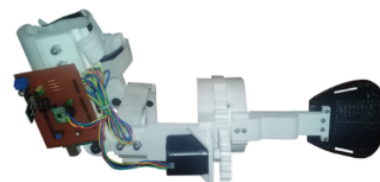


Figura.6: Dispositivo mecatrónico en forma de exoesqueleto
Fuente:(researchgate, 2021)

Revisando la bibliografía revisada en cuanto al uso de robots exoesqueletos para rehabilitación terapéutica, es imprescindible el desarrollo de exoesqueletos que permitan facilitar la rehabilitación de cada una de las partes del cuerpo humano. En la presente investigación, solo se tocó algunos miembros del cuerpo humano, por lo tanto, se debe propiciar la investigación para el desarrollo de robots exoesqueletos para la integridad del cuerpo humano, ya que el mismo puede ser objeto de diversas lesiones.

En la era en que nos encontramos, donde se observa la acelerada evolución tecnológica en cuanto a hardware y software, se hace imperiosa la necesidad de aplicar dichos

avances en el desarrollo de robots exoesqueletos que permitan a pacientes en rehabilitación física.

Como aporte personal, se propone que se debe diseñar, desarrollar e implementar exoesqueletos con Inteligencia Artificial, los cuales permitan una mejor eficiencia y eficacia del uso de exoesqueletos. Para lo cual se propone que se deben diseñar algoritmos de inteligencia artificial que analicen los movimientos de las partes afectadas del cuerpo humano, para que puedan permitir que los exoesqueletos funcionen de manera eficiente. Por lo tanto, los algoritmos deben permitir optimizar el tratamiento de los pacientes para su recuperación.

4. CONCLUSIONES

Los trabajos de investigación mostrados en el presente artículo, y los que se están desarrollando en el desarrollo de exoesqueletos, demuestran que la asistencia con control robótico sumado a la terapia que realizan los especialistas médicos en rehabilitación, permite coadyuvar de gran manera en la rehabilitación de los pacientes.

Los robots exoesqueletos, diseñados, desarrollados e implementados en diferentes partes del cuerpo para su rehabilitación, permiten en forma efectiva acelerar el proceso de rehabilitación.

Es importante propiciar el desarrollo de dispositivos robóticos para la rehabilitación física para los pacientes con dificultad motora.

REFERENCIAS

Broche Vásquez, L., & Torrez Quezada, M. (22 de abril de 2020). Exoesqueleto robótico para la rehabilitación del miembro superior del. *Ingeniería Mecánica Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría*, 1(3), 15-26. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v23n3/1815-5944-im-23-03-e608.pdf>

Cabrera García, G. C. (2018). *Elementos Básicos del Estudio y de la Investigación* (Segunda Edición ed.). Llalagua, Potosí, Bolivia: Latinas Editores. Recuperado el 15 de junio de 2023

Cornejo, J., & Cornejo Aguilar, J. (19 de octubre de 2019). INNOVACIONES INTERNACIONALES EN ROBÓTICA MÉDICA. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 105 - 113. doi:10.25176/RFMH.v19i4.2349

Díaz Suárez, R. A., Moreno Moreno, L. T., Sanjuan Vargas, M. A., Prada García, C. A., & Torres, L. D. (enero de 2021). Desarrollo de un exoesqueleto para. *Revista ITECKNE - Universidad Santo Tomás, Seccional de Bucaramanga*, 18(1). Obtenido de

<http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v18n1/1692-1798-itec-18-01-46.pdf>

Guzmán Valdivia, C. H., Blanco Ortega, A., Oliver Salazar, M. A., & Azcaray Rivera, H. R. (julio - diciembre de 2013). Modelado y Simulación de un Robot Terapéutico. *Revista Ingeniería Biomédica*, 7(14), 42-50. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rinbi/v7n14/v7n14a05.pdf>

Kapandi, A. I. (2000). Fisiología Articular del Miembro Inferior. *Revista Médica Panamericana*.

Hilasaca Sánchez, L. K., Salazar Rojas, A. F., Quispe Galdós, S., Paz Zúñiga, D., & López Casihue, J. (2016). *Agencia Peruana de Noticias*. Recuperado el 25 de Junio de 2022, de <https://andina.pe/agencia/noticia-crean-casco-inteligente-permitira-reducir-mas-del-30-accidentes-laborales-612783.aspx>

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (Quinta ed.). España: Pearson. Recuperado el 15 de junio de 2023

Rivera, G., Bonilla, V., Moya, M., Mosquera, G., & Vitalyevich, L. A. (2 de marzo de 2019). Dispositivo Mecatrónico para el análisis y mitigación. *Enfoque UTE*, 10(1), 153-172. doi:<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v10n1/1390-6542-enfoqueute-10-01-00153.pdf>

Rodríguez, S., & Torres, M. (2020). Robotic therapy for the hemiplegic shoulder pain: a pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. doi:7:54-64

Vallardes Fuente, F. E. (22 de junio de 2022). Programa de ejercicios para las transferencias y la marcha en los. *Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, 17(3), 60 - 73. doi:<http://scielo.sld.cu/pdf/rpp/v17n3/1996-2452-rpp-17-03-876.pdf>

Villarejo, J. J., Valencia Jiménez, N. J., Arango Hoyos, G. P., & Caicedo Bravo, E. F. (18 de enero de 2017). Sistema de biofeedback para rehabilitación de marcha asistida por un exoesqueleto. *Revista Ingeniería Biomédica*, 12(24), 47-57. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rinbi/v7n14/v7n14a05.p>