

## Sistemas mecánicos y electromecánicos para el incremento de las habilidades humanas en el sistema músculo esquelético

### Mechanical and electromechanical systems for the increase of human abilities in the skeletal muscle system

Camilo Enrique González Fernández<sup>1</sup>  
Alexander Rincón Jiménez<sup>2</sup>

Recibido: 31/03/2017 - Aceptado: 17/07/2017

Cómo citar este artículo: [#] C. González y A. Rincón. “Sistemas mecánicos y electromecánicos para el incremento de las habilidades humanas en el sistema músculo esquelético”, *IngEam*, vol. 4, n.º 1 pp. 54- 70, 2017

#### Resumen

El siguiente artículo se enfoca en la descripción de los desarrollos o inventos de tecnologías extra corporales para múltiples funciones, como las médicas, resultado de la preocupación del ser humano desde hace mucho tiempo por mejorar la calidad de vida de las personas que por diversos accidentes o problemas congénitos han perdido la capacidad de movilidad o de manipular objetos. Esto ha llevado a que se creen a lo largo de la historia diferentes dispositivos que pueden aliviar en parte distintos tipos de discapacidades.

**Palabras clave:** aplicaciones médicas, electromiografía, exoesqueleto, prótesis robóticas, músculo esquelético

#### Abstract

The following article focuses on the description of developments or inventions of extra-bodied technologies for multiple functions, such as medical applications, the result of a long-time human being's concern for improving the quality of life of people who have lost their ability to move or manipulate objects by various accidents or congenital problems. This has led to the creation of different devices throughout history that can alleviate in part different types of disabilities.

**Key words:** Medical applications, electromyography, exoskeleton, robotic prosthesis, skeletal muscle

## 1. INTRODUCCIÓN

Se puede decir que la tecnología en medicina y fisioterapia ha crecido exponencialmente a través de las órtesis robóticas o lo que se conoce comúnmente como exoesqueletos, para mejorar los protocolos de rehabilitación en lesiones del sistema músculo esquelético. Estos se definen como

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónico – Institución Universitaria EAM. Correo electrónico: cegonzalez@eam.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico – Institución Universitaria EAM. Correo electrónico: arj309@eam.edu.

sistemas biomecánicos adaptados a la estructura física de un ser humano, que pueden ser controlados de diversas maneras.

Para el desarrollo de un exoesqueleto normalmente es acompañado de un equipo interdisciplinario entre Médicos, Fisioterapeutas, Ingenieros Electrónicos, Ingenieros de Software e Ingenieros Mecánicos, Mecatrónica o Electromecánicos, con la intención no solo de rehabilitar y movilizar el paciente, pues también buscan obtener información de peso para evaluar la evolución del paciente desde el momento de iniciar las terapias de rehabilitación.

En este artículo se realiza la revisión bibliográfica sobre diseños de exosqueletos para rehabilitación en miembros inferiores y superiores.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las patologías del sistema músculo esquelético debido a lesiones o enfermedades son abundantes en miembros superiores e inferiores, de tal manera que reduce significativamente la calidad de vida de pacientes, para desplazarse en su comunidad, o inclusive en su misma casa. Cuando se habla de lesiones, el 45,5% son de rodilla, el 9,8% son de tobillo y 7,7% son de hombro, de las cuales el 53,9% involucran tejidos blandos como ligamentos y meniscos [9].

Por lo anterior, es necesario apoyarse en los desarrollos tecnológicos en sistemas mecánicos y electromecánicos para el diseño y construcción de sistemas de rehabilitación y movilidad en pacientes que padezcan patologías musculares y/o esqueléticas. Para evaluar los avances en dicho campo, es importante conocer el estado del arte de los diferentes artefactos diseñados y/o construidos como base para elaborar propuestas que permitan mejorar calidad de vida de pacientes afectados por lesiones o enfermedades del sistema músculo esquelético.

## 3. PRIMEROS PASOS EN LAS ÓRTESIS

Las prótesis corporales, son casi tan antiguas como los primeros registros de civilizaciones humanas, ya que ellos debían lidiar con diferentes problemas como malformaciones de nacimiento, daños o amputaciones por enfermedades, accidentes y guerras [5]. El primer registro proviene del historiador griego Herodotus, en donde narra sobre la huida de un soldado persa en las guerras *greco – persas*, allí el escribió: *“este corto la parte de su pie dañada y la substituyo por una prótesis de madera”* [8]. Después, el erudito romano Plinio el Viejo (23-79 d. C.), escribió sobre un general romano de la Segunda Guerra Púnica (218-210 a. C.): *“a quien le amputaron el brazo derecho Se le colocó una mano de hierro para que sostuviera el escudo y pudo volver al campo de batalla”* [1].

En la alta edad media, se lograron pocos avances en este campo, las prótesis solo las utilizaban los más potentados o los caballeros en batalla; es de destacar que cuando diseñaban prótesis con funciones complejas los que se encargaban de dicha maquinaria eran los relojeros [5]. Entre los siglos XV y XIX, existieron nuevos avances en la tecnología de las prótesis corporales, estos ya se fabricaban con hierro, acero, cobre y madera. Las guerras que se dieron durante estos siglos,

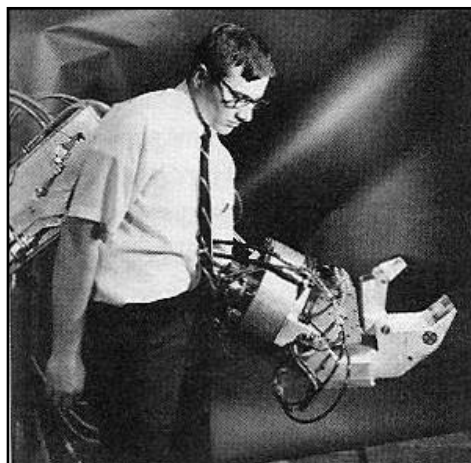
impulsaron a realizar nuevos diseños de prótesis lo cual cambio de forma radical su fabricación. Paradójicamente, durante el inicio del siglo XX y hasta que finalizo la segunda guerra mundial, no se volvieron a observar adelantos en este campo, tan solo la insatisfacción de los veteranos de la última guerra mundial ,que sufrieron mutilaciones corporales, ante la falta de tecnología, fue lo que reavivo nuevamente el deseo de seguir mejorando las prótesis. ¿Pero cómo ayuda la robótica a mejorar esta tecnología?

Durante la primera mitad del siglo XX y tras el auge tecnológico que se dio después de la segunda guerra mundial, se unieron las tecnologías de prótesis y robótica entorno a un solo objetivo, mejorar las capacidades físicas de los seres humanos a través de la aparición de equipos mecánicos y electrónicos, dando origen al significado actual de los exoesqueletos corporales.

#### 4. DESARROLLOS EN LA EDAD MODERNA

La definición moderna de exoesqueletos corporales es: un esqueleto o marco electro-mecánico que se encuentra fuera del cuerpo, diseñado para ser usado por una persona ofreciéndole mayor capacidad física. Pero este concepto se empezó a utilizar después de 1948, en donde un profesor del instituto órtesis de investigación (en Moscú), intento crear el primer exoesqueleto.

Hacia 1965, General Electric, quiso retomar el desafío, diseñando un exoesqueleto de potencia (*llamado hardiman*) el cual se observa en la figura 1, para usos militares en porta aviones; aunque su diseño inicial fue planteado para levantar pesos de 680 Kg. este solo logro alzar 340 Kg., pues no se podía utilizar a plena capacidad ya que el traje completo producía movimientos violentos e incontrolables, por esta razón la empresa perdió total interés en el desarrollo del proyecto [2].



*Figura 1. Proyecto hardiman*

*Fuente: [2]*

En 1986 el ex soldado Monty Reed, comenzó a trabajar en el exoesqueleto LifeSuit, en donde su objetivo era crear una herramienta para terapias físicas de recuperación. Su exitosa construcción se dio 15 años después, con la reproducción de la marcha humana. Hoy en día, existen múltiples empresas y centros de investigación superior tratando de desarrollar, de forma comercial, exoesqueletos para diversas funciones, desde las militares hasta las civiles. Ellos han encontrado varios obstáculos en el camino, como costos de comercialización, tiempos de operación, entre otras.

Las empresas que más cerca se encuentran de producir masivamente los dispositivos electro-mecánicos son: Honda y Cyberdyne. La primera cuenta con dos prototipos de exoesqueletos para la asistencia al caminar, una es un diseño de maquina llamada “**BODYWEIGHT SUPPORT ASSIST**”, se proyectó para reducir la carga en los músculos de las piernas y las articulaciones (cadera, rodillas y tobillos), este es un equipo creado para la rehabilitación de ancianos y discapacitados. El otro prototipo de esta empresa se llama “**Walking Assist Device**”, es un exoesqueleto que agiliza el caminar natural de una persona incorporando fuerza mecánica a su andar, los sensores incrustados permiten leer la intención de movilidad de la cadera, para luego traducirlas a los motores del dispositivo.

Por su parte Cyberdyne, cuenta con el traje robótico “**HALL**” en la figura 2, y sus aplicaciones son: apoyo a la rehabilitación, apoyo a la formación física en el campo de la medicina, apoyo para personas con discapacidad, apoyo a trabajos pesados y apoyo a rescates en lugares de desastre [4]; a diferencia de su competencia, este exoesqueleto es para miembros superiores e inferiores, su funcionamiento se basa en la detección de intención de movilidad corporal y posee una libertad de funcionamiento de 5 horas continuas.



*Figura 2. Traje robótico hall*

*Fuente: [4]*

Universidades y centros de investigación alrededor del mundo aportan al avance y mejoramiento de estas nuevas herramientas, claro que muchas de ellas cuentan con el apoyo estatal de sus correspondientes países. El laboratorio de ingeniería humana de la universidad de California, Berkeley (Estados Unidos), ha realizado trabajos de investigación sobre los fundamentos del poder humano [6], arrojando varios resultados aplicativos, entre ellos se encuentran los siguientes

exoesqueletos para miembro inferior: el Bleex, el Exohiker, el Exoclimber, el Hulc, y los exoesqueletos para medicina; todos excepto el ultimo tienen como objetivo las aplicaciones militares (Figura 3), donde sus diseños se centran en aumentar la fuerza y la resistencia de los soldados en el campo de batalla [7].



*Figura 3. Exoesqueleto del laboratorio de la universidad de California*

*Fuente [7]*

Otro prototipo de aplicación militar se desarrolla al interior de las instalaciones de investigación Raytheon en la ciudad de Salt Lake, en donde el traje robótico es de cuerpo entero, este, al igual que los otros busca aumentar la fuerza y la resistencia de los soldados, retomando el objetivo del dispositivo *Hardiman*, en donde su aplicación son las tareas de carga para elementos explosivos como los misiles.

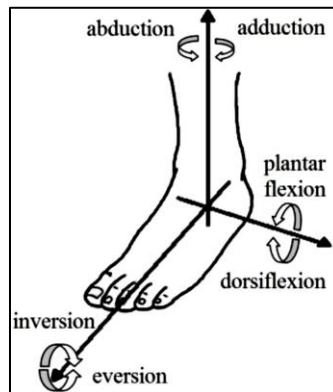
Las investigaciones no militares, se basan por lo general en ayudar a pacientes que por malformaciones de nacimiento, enfermedades cerebro vasculares o accidentes corporales, han perdido bien sea parcial o total, el control de la movilidad en los músculos. Los esfuerzos por realizar estos estudios se pueden evidenciar en universidades como la UNAB (Colombia), en donde se adelantan experimentos con un exoesqueleto para miembro inferior, el cual, facilitaría la rehabilitación de personas con discapacidad parcial de sus piernas. El sistema robótico diseñado es de tipo maestro-esclavo que permite grabar patrones de movimiento de una pierna sana para inducirlos sobre una pierna lesionada [3].

La universidad Militar nueva granada (Colombia), con su grupo de investigación DAVINCI, también adelanta investigaciones que se enfocan a la rehabilitación de pacientes con problemas de motricidad en miembro superior o de una forma más exacta se enfocan en la recuperación de la movilidad en brazos; El dispositivo es una estructura en forma de exoesqueleto que se sujeta al brazo del paciente, permitiéndole al terapeuta programar por medio de una interfaz al computador [5], tiempos y tipos de ejercicios. Otro desarrollo realizado dentro de esta institución consta de un rehabilitador de dedos para manos, el cual ejecuta terapias de flexión y extensión en personas que sufren problemas de movilidad en tendones. Los anteriores ejemplos descritos, intentan

evidenciar, los esfuerzos por hacer realidad una tecnología que a largo plazo puede brindar al ser humano una mejor calidad de vida

## 5. REHABILITACIÓN DE TOBILLO

El tobillo como soporte del cuerpo en la parte más inferior del mismo, describe los ejes de rotación mostrados en la figura 4.



*Figura 4. Ejes de rotación del tobillo*

*Fuente [12]*

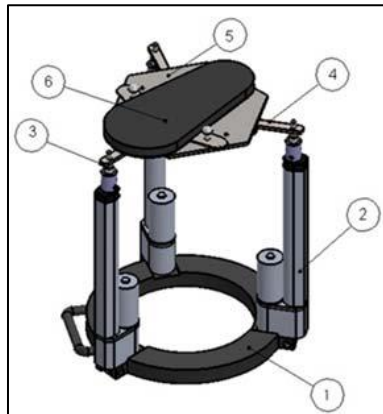
En Cuernavaca, México, en el CIINDET 2013 (X Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico) se dio a conocer los resultados de simulaciones en el entorno ADAMS y un primer prototipo de un artefacto para rehabilitar el tobillo, como se observan en la figura 5. [12]



*Figura 5. Prototipo de máquina para rehabilitación de tobillo*

*Fuente [12]*

Consiste en un dispositivo electromecánico, que tiene en un actuador lineal manipulado por un controlador PID, que ejecuta movimientos de dorsiflexión-plantar flexión. Aunque la máquina no ha sido evaluada de forma preclínica, desarrolla movimientos suaves y controlados como resultados esperados [12]. En Ecuador, en la Universidad de Las Fuerzas Armadas, realizaron el “Diseño y construcción de un prototipo automático para rehabilitación pasiva por esguince de tobillo”, como se observa en la figura 6 [11].



*Figura 6. Prototipo Virtual*

*Fuente [12]*

Como se aprecia en la figura 6, la máquina cuenta con tres actuadores lineales, los cuales realizan leves desplazamientos angulares de dorsiflexión-plantar flexión y eversión- inversión, además, posee una interfaz de usuario con el software LABVIEW [11]. Los ángulos de inclinación fueron validados con un sistema de control conectado a un acelerómetro proporcionado los resultados esperados en la parte técnica. Con respecto a la evaluación preclínica el 80% de los pacientes manifestaron no sentir dolor, y el 100% consideran que el equipo ayudará a recuperar la movilidad de tobillo [11]. Han resultado diferentes propuestas para mejorar los protocolos de recuperación de tobillo, por ejemplo Girone “the rutgers ankle”, como robot de 6 grados de libertad, con sistemas neumáticos e interfaz virtual para control del mismo, optimizando la flexibilidad y la fuerza muscular [12].

## 6. REHABILITACIÓN DE RODILLA

La revista Ingeniería y competitividad publica en 2001 el artículo “Diseño y Construcción de una máquina de movimiento pasivo para controlar la terapia de rodilla”, allí, mediante un equipo interdisciplinarios de médicos e ingenieros en mecánica, electrónica y automatización, desarrollan un dispositivo capaz de automatizar la modalidad de terapia conocida como MPC o Movimiento Pasivo continuo, donde el paciente no realiza algún esfuerzo, sus movimientos son asistidos [13].

Las condiciones del proyecto marcan temas como la velocidad ajustable de 1 a 10 minutos el ciclo completo, y un rango de movimiento de 0° - 90° en extensión y flexión. En el proceso de

diseño se analizan diferentes factores como: Cinemática, fuerzas, potencia, torque, entre otras. Su construcción se realizó con tubería de acero y sistemas electrónicos para la parte de control. Los autores enuncian que la máquina también se puede implementar para desarrollar una parte de la terapia de cadera [13]. En la Universidad de las Fuerzas Armadas en Ecuador construyeron una órtesis para rehabilitación de rodilla de forma automatizada como se observa en la figura 7, mejorando el proceso de recuperación del paciente y reduciendo el esfuerzo del profesional en fisioterapia [14].

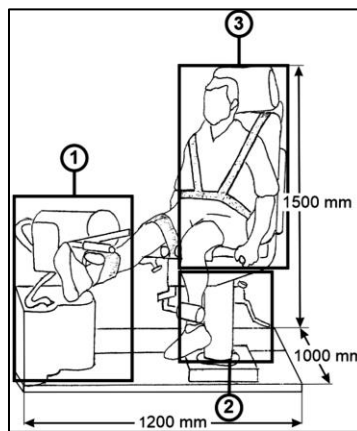


Figura 7. Esquema de la órtesis automatizada para rehabilitación de rodilla

Fuente [14]

Dicha órtesis tiene las siguientes características técnicas:

- 1200N como capacidad de carga máxima.
- medidas en mm de 1200x1500x1000
- Rango de desplazamiento angular de 0° a 135°.
- Rango de velocidad 60°/seg – 300°/seg

Después de la evaluación en tres (3) sesiones se lograron los resultados de la tabla 1, con respecto a los rendimientos en las pruebas de resistencia del paciente:

Sesiones	Fisioterapeuta	Órtesis
1	20%	40%
2	50%	80%
3	80%	90%

Tabla 1. Rendimiento en las pruebas de Resistencia en el paciente

Fuente [14]

En el XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, se presentó el proyecto “Diseño de una órtesis activa para ayuda a la marcha de lesionados medulares”, que consiste en un artefacto electro mecánico, contiene un sistema rotativo eléctrico y sistema de bloque mecánico por forma, como órtesis activa de rodilla y tobillo, para “asistir la marcha de lesionados medulares incompletos”, como se muestra en la figura 8 [15].





*Figura 8. Diseño de la órtesis activa*

*Fuente [15]*

Lo novedoso del sistema, es que las órtesis activas de este tipo encontradas a nivel comercial, requieren de un sistema rotativo eléctrico más robusto y costoso, pues es allí donde se hace el bloqueo, en el diseño propuesto en la figura 8 el bloqueo se realiza de forma independiente al sistema de rotación eléctrico [15].

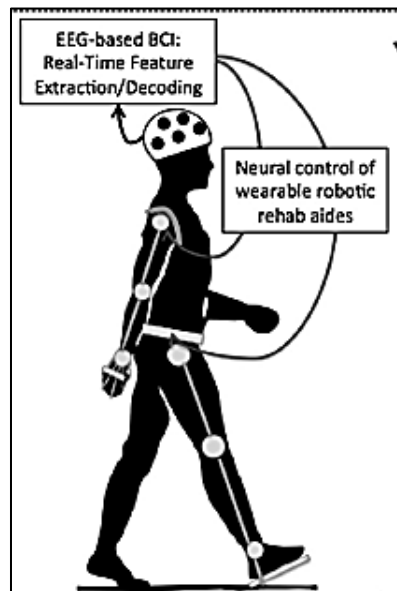
## **6. REHABILITACIÓN DEL HOMBRO**

Las lesiones en el hombro se dan normalmente en deportes como el balón mano, así como las lesiones de rodilla en el fútbol. Las lesiones de hombro en mujeres se estima un 3.8% y en hombres un 8.1% [16]. Las terapias en este contexto han dado lugar a la concepción de equipos para rehabilitación, como la máquina isoinercial, que le propicia al paciente ejercer fuerza de forma excéntrica (movimiento de extensión) y concéntrica (movimiento de contracción) en los brazos. [16]. En 20 [15] se elabora la propuesta de investigación “Construcción de una órtesis inteligente para rehabilitación de articulaciones de hombro y codo”, en la Universidad Santo Tomás, de Bogotá, Colombia y consiste en un sistema robótico para asistir los movimientos de hombro y codo en personas con problemas motrices aplicando técnicas de aprendizaje, pues el DANE en 2005 revela que el 6.4 % de la población tiene discapacidad [17].

## **7. REHABILITACIÓN DEL SISTEMA MÚSCULO ESQUELETICO BASADO EN PROBLEMAS CARDIO VASCULARES**

Existen diferentes metodologías de rehabilitación en pacientes parapléjicos, como el uso de caminadora asistida por tensores que sostienen el cuerpo del paciente, uso de lentes de realidad aumentada con sistemas electrónicos sujetos a sus brazos para realizar proyecciones de movimiento y movimiento asistido por exoesqueleto [18]. Los accidentes cerebro vasculares son los más comunes en esta parte del cuerpo humano, afectando la movilidad a nivel muscular y óseo, esto impacta la calidad de vida de los pacientes, pero la terapia se ejerce como fundamento en el proceso de rehabilitación. Hoy en día la ingeniería apoya estos procedimientos de rehabilitación a través de tecnologías robóticas que asisten a pacientes con problemas de movilidad en piernas y brazos a raíz de accidentes cardiovasculares, y es que los exoesqueletos no solo apoyan la condiciones motoras y el sistema nervioso de un paciente, pues también ayudan a superar problemas socio económicos debido a la discapacidad física [19].

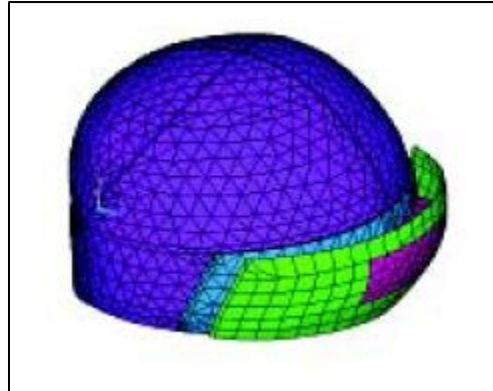
Actualmente, se está investigando la Brain Machine Interface (BMI) o interfaz de máquina cerebral, que pretende manipular un exoesqueleto a partir señales Mioeléctricas, cómo se observa en la figura 9.



*Figura 9. Captación de señales Mioeléctricas*  
*Fuente [19]*

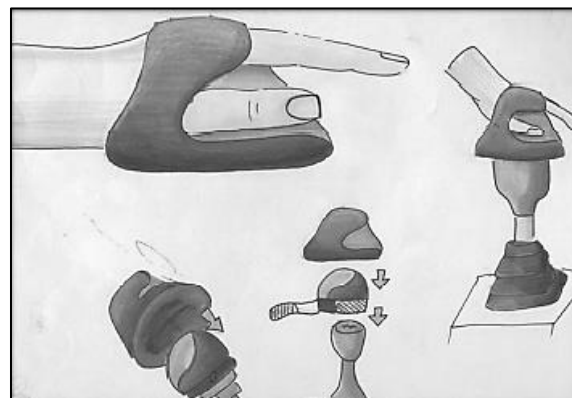
## 8. OTRAS APLICACIONES DE LAS ÓRTESIS

La plagiocefalia es una deformación del cráneo ocasionada por una presión permanente sobre la región afectada, normalmente ocurre por la posición del bebé siempre en un mismo sentido. [20]. En 2007 se publica en la revista CES Medicina, el “Diseño y construcción de un prototipo de órtesis para el tratamiento de la plagiocefalia occipital posicional” con el fin de aplicarlo en infantes entre cuatro y doce meses de edad. El proyecto se estudió con mucho nivel de detalle, de tal manera que se realizó estudio de elementos finitos con el software ANSY cómo se observar en la figura 10, además, se hace seguimiento de la presión del dispositivo a través de un sensor de presión que mide en el rango entre 0 mm Hg y 55mmHg. [20].



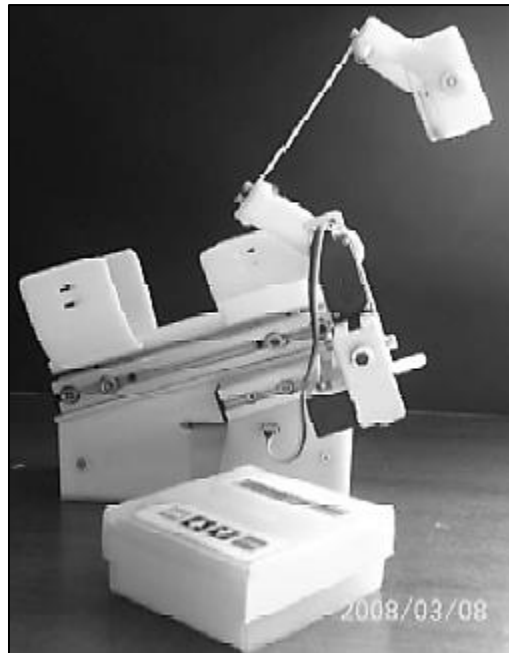
*Figura 10. Análisis de elementos finitos*  
 Fuente [20]

Los resultados obtenidos fueron positivos, presentó desplazamientos en el material del dispositivo y en el cráneo. En 2013, la Universidad Autónoma de Manizales, presenta la propuesta de proyecto “Diseño y Elaboración de una órtesis para mano durante la conducción de un automóvil”, donde definen que en Colombia “el 14.6% de la población discapacitada tiene limitaciones en los brazos y las manos“. Seleccionando la mano como miembro base de trabajo y a manera de vincular dicha población discapacitada a las tareas cotidianas, se propone desarrollar el dispositivo que se muestra en el dibujo a mano alzada de la figura 11 [21].



*Figura 11. Diseño de la órtesis*  
 Fuente [21]

Aunque el proyecto solo alcanza un diseño preliminar como propuesta, la figura 11 fue seleccionada dentro una gama de posibilidades generadas como propuestas en bocetos, para la manipulación de la palanca de cambios en automotores. [21]. El síndrome de la mano caída o parálisis de nervio radial es una patología que limita la extensión de la muñeca en el paciente, debido a la lesión del nervio radial. En 2008, la universidad de la Salle desarrolla el “diseño y construcción de un aditamento ortésico dinámico para prevención del síndrome de mano caída”, que da lugar a una órtesis electromecánica y automatizada, como se muestra en la figura 12. [22]



*Figura 12. Prototipo órtesis para prevención de síndrome de mano caída*  
 Fuente [22]

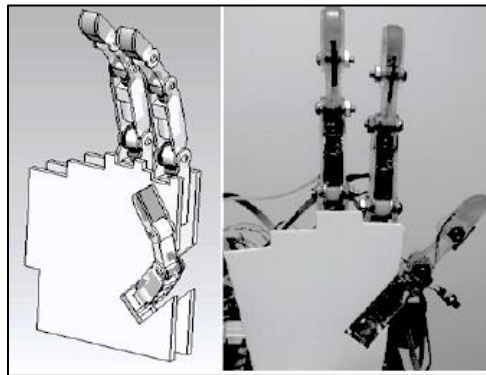
El sistema fue desarrollado con Servomotor como actuador y PIC16F628A como sistema de control, así mismo, se integró una interfaz de usuario con pulsadores y pantalla LCD 2 x 16. [22]. La máquina permite hacer rutinas controladas de terapia en pacientes que dan indicios de dicha patología, y basado en los perfiles biométricos la máquina aplica para el 95% de los hombres y el 50% de las mujeres según la dimensión de la mano. [22]

En 2002, el Instituto Politécnico Nacional en México, desarrolla “Diseño y construcción de una férula dinámica dorso-palmar para muñeca con dispositivo electrónico para tratamiento térmico”, que consiste en una órtesis para terapia térmica que se instala en el antebrazo, abordando la muñeca y realizando cambios de temperatura frío y caliente, que según los textos la variación de temperatura debe ser medida partir de la “sensación térmica que perciba el paciente”, sin embargo, no siendo un proceso ortodoxo, lo más viable es medir las temperaturas a con sensores instalados en contacto con la piel de la zona afectada y caracterizar el sistema de control para que manipule las variaciones de temperatura entre 40°C y 45°C para los efectos terapéuticos, pues en rangos menores solo se presentan efectos analgésicos y aumento de circulación. [23]

Otra problemática se ha presentado en salas de cirugía, en donde el médico cirujano permanece de pie por largos tiempos en diferentes ocasiones mientras realiza los procedimientos quirúrgicos, y es que este tipo de afectaciones involucran dolores musculares, presiones en cadera, rodillas, pies, tobillos, talones, entre otros, que pueden ocasionar limitaciones del movimiento en el sistema músculo esquelético.[23]

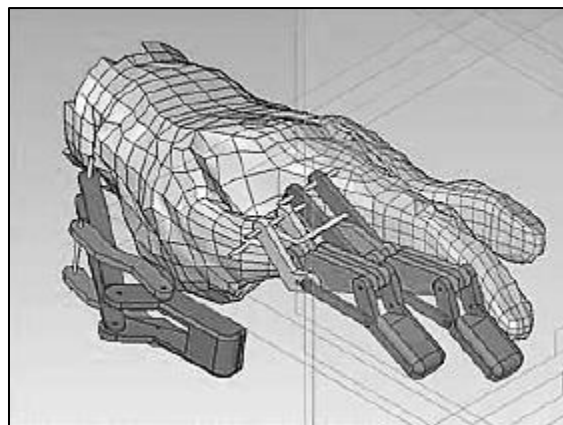
En 2016, en la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá, Colombia, se desarrolla el “Diseño de órtesis activa para cirugías prolongadas” que proporciona soporte a la región pélvica,

espalda, y evita perjuicios como la vena varice evitando las cargas en tiempos tan largos en cirugía. [23]. En Estados Unidos el 70% de las personas que sufren de amputación de mano utilizan ganchos para suplir parte de las funciones de la mano, y debido a estos obstáculos para este tipo de personas se elabora el proyecto “Diseño y construcción de la prótesis robótica de mano UC-1”, de la Universidad del Cauca, Popayán Colombia, que consiste en el diseño y construcción de una mano con tres dedos y tres grados de libertad como se observa en la figura 13, de tal manera que la construcción se da en cuatro falanges y un sistema de transmisión rígida manipulado con motores de corriente continua como actuadores y controlado por el software LAB-VIEW. [25]



*Figura 13. Mano UC-1 Diseño CAD y Prototipo Real  
 Fuente [25]*

Por otro lado, se desarrolló el “Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano”, que busca a través de una órtesis, reconstruir dos de los dedos de la mano de un paciente debido a una mutilación, y el modelo desarrollado en el Software Solid Works se puede observar en la figura 14. [26]



*Figura 13. Perspectiva del modelo de la órtesis  
 Fuente [26]*

Se obtuvo una órtesis con tres grados de libertad finalmente construida, lo que permitió extensión y flexión de los dedos índice y medio, a partir del movimiento del dedo anular del paciente. [26]

## 9. CONCLUSIONES

La utilización de dispositivos externos al cuerpo humano ha estado presente durante mucho tiempo, pero solo hasta el siglo XX se pudieron unir las diferentes disciplinas en torno a la fisioterapia, dando como resultado aparatos que tiene la capacidad de mejorar el rendimiento y la fuerza de los seres humanos. El avance vertiginoso que se dio durante el último siglo de la electrónica y la mecánica ha llevado a que hoy en día los humanos estén más cerca de utilizar en su cotidianidad trajes robóticos para incrementar sus habilidades, aunque estos en un principio serán comercializados como una ayuda a discapacitados. Aún los dispositivos tienden en gran parte al diseño mecánico, pero, ¿Por qué no implementarlo de forma electromecánica y automatizada?, considerando que esto mejorara la eficiencia en procesos de terapia y evitara la fatiga del profesional de la salud.

Es importante demarcar la falta de órtesis que fomenten la terapia en zonas como el cuello, clavícula y Hombro, pues normalmente los accidentes vehiculares dan lugar a daños en partes cercanas a dicha zona y lo comúnmente conocido y usado es el cuello ortopédico y otras inmovilizaciones. En sistemas que requieran de automatización, es posible implementar la tecnología Arduino, como controlador. Ésta es flexible cuando se habla de interconexión de dispositivos como sensores y actuadores, además se ajusta casi a cualquier condición eléctrica siempre y cuando se utilicen los componentes adecuados. En el diseño de artefactos para la mano, diversas personas aportan al Hardware Libre, y se han desarrollado guantes para captar datos que le permiten al fisioterapeuta desarrollar optimas sesiones de terapia para obtener el mayor rendimiento y así dinamizar el proceso de rehabilitación. [27]

El presente trabajo, sirve como referente bibliográfico para todas las personas que estén interesadas en conocer un poco de la evolución de los exosqueletos y como a través de estos se puede mejorar la calidad de vida de todas las personas, además de incursionar en otro tipo de órtesis aún no desarrolladas.

## 6. Referencias bibliográficas

- [1]A. Clemote, “TAI2 Exoesqueletos”. Madrid, España: Universidad Católica, 2009
- [2]J. Grosso, D. Tibaduiza. “Diseño y validación de un exoesqueleto maestro-esclavo para rehabilitación de piernas”. Bogotá, Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2008
- [3]S. Yoshiyuki. (2018). CYBERDYNE & BROOKS, Inc. established to commence operation in the U.S. to start marketing Medical HAL to the entire U.S. from its Brooks Cybernic Treatment Center [Online]. Recuperado de: [https://www.cyberdyne.jp/wp\\_uploads/2018/03/20180302\\_News\\_Brooks\\_ENG.pdf](https://www.cyberdyne.jp/wp_uploads/2018/03/20180302_News_Brooks_ENG.pdf)

- [4] R. Gutiérrez, P. Niño, O. Avilés, F. Vanegas, J. Duque. “Exoesqueleto mecatrónico para la rehabilitación motora”. Manizales, Colombia: Universidad Autónoma de Manizales, 2015
- [5] K. Norton. “A Brief History of Prosthetics”. Revista Inmotion, Vol. 17, No. 7, pp. 12-13, Diciembre 2007
- [6] H. Kazerooni. “That which does not stabilize will only make us stronger: the Berkeley exoskeleton”. Berkeley, CA, USA: University of California, 2003
- [7] Berkeley robotics & human engineering laboratory. (2011). [Online]. Recuperado de: <http://bleex.me.berkeley.edu/>
- [8] G. Macaulay. . “The history of herodotus”. Toronto, Canada: University of Toronto, 2009
- [9] J. Osorio, M. Clavijo, E. Arango, S. Patiño, I. Gallego, “Lesiones Deportivas”. Revista IATREIA, Vol. 20, No. 2, pp. 167-177, Junio 2007
- [10] A. Blanco, H. Azkaray, R. Vázquez, J. Morales “Máquina de rehabilitación de tobillo: prototipo virtual y físico”. En el x congreso internacional sobre innovación y desarrollo tecnológico, Cuernavaca, México, 2013
- [11] L. Nagua, P. Tupiza. (2015, febrero) “Diseño y construcción de un prototipo automático para rehabilitación pasiva de lesión por esguince de tobillo” [Online]. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/316240703\\_Diseño\\_y\\_construcción\\_de\\_un\\_prototipo\\_automático\\_para\\_rehabilitación\\_pasiva\\_de\\_lesión\\_por\\_esguince\\_de\\_tobillo](https://www.researchgate.net/publication/316240703_Diseño_y_construcción_de_un_prototipo_automático_para_rehabilitación_pasiva_de_lesión_por_esguince_de_tobillo)
- [12] A. Blanco, A. Vázquez, G. Vela, E. Quintero, G. López. “Control de un prototipo virtual de una máquina de rehabilitación de tobillo”. Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, No. 67, pp. 183-196, Junio 2013.
- [13] E. Rosero, R. Martínez, E. Galvis, E. “Diseño y construcción de una máquina de movimiento pasivo continuo para la terapia de rodilla”. Revista Ingeniería y Competitividad, Vol. 3, No. 2, pp. 56-64, Diciembre 2001
- [14] P. Jerez, J. Vázquez. (2017, Mayo 31) “Diseño y construcción de una órtesis automatizada para la rehabilitación de la articulación de la rodilla, en los pacientes del patronato municipal de amparo social de la ciudad de Latacunga”. [Online]. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13083/T-ESPEL-MEC-0093.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] J. Font Llagunes, G. Arroyo, F. Alonso, B. Vinagre. “Diseño de una órtesis activa para ayuda a la marcha de lesionados medulares”. En el XVIII congreso nacional de ingeniería mecánica, Catalunya, España 2010
- [16] D. Beltrán. “Aplicación de metodologías isoinerciales para la recuperación de slap en el balonmano: estudio de caso”. M.S. Tesis. Universidad Miguel Hernández de Elche, Murcia, España, 2015.

- [17] A. Pérez, C. Rodríguez. (2017, Septiembre 11) “Construcción de una órtesis inteligente para rehabilitación de articulaciones de hombro y codo”. [Online]. Recuperado de: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9947/Construcci%C3%B3n%20de%20una%20%C3%B3rtesis%20inteligente%20para%20rehabilitaci%C3%B3n%20de%20articulaciones%20de%20hombro%20y%20codo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] A. Donati, S. Shokur, D. Campos, R. (2016) Moiola “Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients” [Online]. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/28ea/9f91b229dd77544aeb92bf5f4f8dbee9e953.pdf>
- [19] A. Venkatakrisnan, A. Gerard, J. Contreras. (2014) “Applications of brain-machine interface systems in stroke recovery and rehabilitation” [Online]. Recuperado de: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40141-014-0051-4.pdf>
- [20] M. González, C. Vallejo, S. Correa. “Diseño y construcción de un prototipo de órtesis para el tratamiento de la plagiocefalia occipital posicional”. Revista CES Medicina, Vol. 21, No. 2, pp. 41-50, Diciembre 2007
- [21] M. González, C. Vallejo, S. Correa (2013) “Diseño y elaboración de una órtesis para mano durante la conducción de un automóvil”. [Online]. Recuperado de: [http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/bitstream/10946/1745/2/Diseno\\_Ortesis\\_mano.pdf](http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/bitstream/10946/1745/2/Diseno_Ortesis_mano.pdf)
- [22] K. Figue, O. Aponte. (2008) “Diseño y construcción de un aditamento ortésico dinámico para prevención del síndrome de mano caída”. [Online]. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16669/T44.08%20F516d.pdf?sequence=1>
- [23] M. Torres, W. Aperador, A. Cifuentes. “Diseño de órtesis activa para cirugías prolongadas”. Revista Cubana de investigación Biomédica, Vol. 35, No. 1, pp. 91-101, 2016
- [24] C. Quinayás, M. Muñoz, O. Vivas, C. Gavia (2010, Marzo 1) “Diseño y construcción de la prótesis robótica de mano uc-1.”. [Online]. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v14n2/v14n2a01.pdf>
- [25] C. Silva, J. Muñoz, D. Garzón, N, Ladinez, O. Silva. “Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano”. Revista Cubana de investigación Biomédica, Vol. 30, No. 1, pp. 15-41, 2011
- [26] S. Khuns. (2017) “Exomind glove. Creative arduino”. [Online]. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v14n2/v14n2a01.pdf>