

## Ficha de detalles de la invención

### Título de la invención:

**Guante mecánico que asiste la extensión de una mano con espasticidad**

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA TÉCNICO

Indique y describa cuál es el problema técnico (o los problemas técnicos) que busca resolver la invención.  
*Se considera problema técnico aquel aspecto técnico (estructura, configuración, entre otros), que antes de la invención no tenía solución o tenía soluciones distintas a la provista por la invención.*  
*En caso de Diseño Industrial, omitir esta parte.*

El problema técnico que aborda la invención es que no existe actualmente un dispositivo mecánico, portátil y de bajo costo que responda de manera específica a las necesidades de la mano espástica en personas con hemiplejía post-ACV. En la práctica clínica, el personal de salud se enfrenta a una mano con flexión permanente de los dedos y aumento del tono muscular, donde el paciente tiene una capacidad muy limitada para abrir la mano por sí mismo. Para que la rehabilitación sea efectiva, se requieren movimientos repetitivos de apertura y cierre, realizados de forma controlada, con una intensidad y una frecuencia que muchas veces no pueden ser mantenidas solo con la intervención manual del terapeuta.

Desde el punto de vista técnico, los dispositivos disponibles en el mercado presentan varias carencias: las férulas estáticas únicamente inmovilizan la mano en una posición determinada, pero no generan un movimiento asistido y graduable de extensión de los dedos; otros sistemas más sofisticados (exoesqueletos o robots de mano) suelen ser costosos, voluminosos, dependen de estructuras fijas. Además, muchos diseños existentes se enfocan en la flexión o en ejercicios generales del miembro superior, pero no resuelven de forma específica el control fino de la extensión de la mano espástica ni la estabilización simultánea de la muñeca.

A ello se suma que, en la mayoría de programas de rehabilitación, el seguimiento del progreso se realiza con mediciones manuales aisladas (por ejemplo, con goniómetro y escalas clínicas), que dependen del criterio del profesional, se registran en papel y no ofrecen al terapeuta ni al paciente un registro continuo, objetivo y fácilmente interpretable del rango de flexión/extensión alcanzado a lo largo del tiempo. Esta falta de datos dificulta ajustar de manera precisa los parámetros de la terapia (número de repeticiones, amplitud de movimiento, intensidad del estiramiento) y limita la posibilidad de demostrar con claridad la evolución funcional de la mano.

Por lo tanto, el problema técnico concreto que se identifica es la ausencia de un sistema integral que, en un solo dispositivo, pueda:

1. Asistir de manera controlada y regulable la extensión de los dedos en una mano con espasticidad, sin depender constantemente de la fuerza física del terapeuta.
2. Estabilizar la muñeca durante el movimiento, evitando posiciones inadecuadas que puedan aumentar la espasticidad o generar dolor.
3. Registrar y visualizar automáticamente la evolución del rango articular durante las sesiones, permitiendo un monitoreo objetivo y continuo del proceso de rehabilitación.

## 2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INVENTO:

Describe la invención de forma clara enfatizando en qué consiste el concepto inventivo central. Si la invención es un producto, máquina, equipo y especifique sus partes y cómo se relacionan. Si la invención es un procedimiento, especifique los pasos, parámetros de operación, insumos, o cualquier otra información relevante para alcanzar el efecto técnico. La invención puede tener el procedimiento y su producto novedosos por lo que puede detallar los dos. (Mínimo 250 palabras). *Incluya figuras, fotografías o diagramas. Adjunte a esta ficha todos las publicaciones u otros documentos asociados que posea al respecto*

En caso de Diseño Industrial, adjuntar imágenes o fotos del producto

La invención consiste en un guante mecánico de rehabilitación que asiste la extensión de una mano con espasticidad en personas con hemiplejía post-ACV. El concepto central es un exoesqueleto ligero que se coloca sobre la mano afectada y aplica una tracción controlada sobre los dedos para ayudar a abrir la mano, mientras registra de forma digital el rango de movimiento alcanzado en cada sesión.

El sistema se compone de tres subsistemas principales: mecánico, electrónico y de software.

### 1. Subsistema mecánico

La parte mecánica está formada por un guante textil, una férula rígida y una caja de soporte. El guante se coloca en la mano afectada y cuenta con dedales y puntos de anclaje por dedo para fijar los hilos de tracción encargados de extender las falanges. La férula se adapta anatómicamente al antebrazo y muñeca del paciente y se fija con velcros, de manera que estabiliza la muñeca durante la terapia y mejora la funcionalidad del dispositivo.

Sobre la cara dorsal de la muñeca se ubica una caja de tamaño adecuado, diseñada por manufactura digital (impresión 3D) y optimizada para ajustarse correctamente a la muñeca y servir de soporte a los motores, drivers y demás componentes. Los hilos de tracción (hilo de pescar de alta resistencia) salen desde la caja, se conducen por guías y se conectan a los dedales de cada dedo; este sistema permite soportar la tensión repetitiva de flexión-extensión sin romperse. Para evitar choques entre ejes y conectores de los dedos se añadieron cuentas en las falanges, logrando un movimiento más fluido y sin colisiones.

### 2. Subsistema electrónico

Dentro de la caja se alojan 3 motores DC con caja reductora (gearbox) de mayor torque, seleccionados para generar la fuerza necesaria de extensión de los dedos. Los motores se controlan mediante drivers TB6612FNG conectados a una placa ESP32, que actúa como unidad principal de control e integra la comunicación inalámbrica Bluetooth. El sistema se alimenta con una batería recargable de 7,4 V y cuenta con interruptor general, resistencias, pulsadores, flex sensors, protoboard y cables de conexión.

Los sensores de flexión registran el grado de extensión de la mano durante los ejercicios (máxima extensión anatómica para la calibración del prototipo y máxima extensión independiente para la gráfica de seguimiento) y envían estos datos al ESP32, que a su vez ajusta el movimiento asistido de los motores y transmite la información a la aplicación móvil.

### 3. Subsistema de software y aplicativo móvil

El prototipo incluye un aplicativo para Android desarrollado en MIT App Inventor, que funciona como interfaz principal entre el usuario (paciente o terapeuta) y el guante mecánico. A través de esta app, el usuario se conecta al dispositivo mediante Bluetooth, controla los movimientos durante la terapia y registra las mediciones de flexión en tiempo real.

La aplicación está organizada en varias secciones: una pantalla donde el usuario selecciona la fecha de la sesión, otra en la que se encuentran los controles principales del guante, una sección de historial que muestra la evolución del rango de flexión mediante una gráfica dinámica generada con "processing" (p5.js), y una sección de encuesta de satisfacción sobre el uso del dispositivo.

### 4. Procedimiento de uso

- a. Colocación del guante y la férula:  
El paciente comienza colocándose el guante y la férula de muñeca, ajustados con velcro para asegurar que la mano y la muñeca estén firmemente sujetas, sin causar incomodidad. Luego, la caja con los motores se fija a la muñeca mediante velcro o un sistema de ajuste adecuado. A continuación, se acomodan los dedos en cada dedo de la mano del paciente. Este paso asegura que los dedos estén correctamente sujetos para recibir el movimiento controlado por los motores.
- b. Ingreso de la fecha de la sesión:  
Para cada sesión de terapia, el paciente debe ingresar la fecha en la aplicación móvil. Esta fecha se guarda automáticamente en el sistema, lo que facilita el seguimiento del progreso de la rehabilitación.
- c. Conexión al guante mediante Bluetooth:  
Una vez ingresada la fecha, el paciente debe conectarse al guante mediante Bluetooth a través de la aplicación móvil. Esta conexión permite la interacción en tiempo real con el dispositivo.
- d. Medición de la máxima extensión:  
Para comenzar la calibración del dispositivo, el paciente presiona el botón de "Medir máxima extensión" en la aplicación. Esto hace que los actuadores comiencen a girar para extender la mano. El proceso de extensión se detendrá cuando el paciente presione el pulsador de calibración ubicado en la caja de soporte de la muñeca.  
En ese instante, los valores que los sensores de flexión detecten (medidos en grados) se almacenarán en la variable "máximo anatómico". Luego, los motores comenzarán a girar en sentido contrario, permitiendo que los dedos vuelvan a su posición inicial, lo que restablecerá la mano a su estado previo. Esta operación facilita la calibración del dispositivo para el usuario específico.
- e. Inicio de la rehabilitación:  
Una vez completada la calibración, el paciente presiona el botón "Extender" en la aplicación. Esto le permite intentar extender la mano por su propia cuenta, hasta llegar al punto donde ya no pueda continuar de manera independiente.  
Cuando el paciente ya no pueda extender más la mano, presiona el pulsador de rehabilitación en la caja de soporte, lo que indicará al sistema que se registre la extensión máxima alcanzada sin actuadores. Estos valores son almacenados en las variables correspondientes, y se usarán más tarde para generar la gráfica de seguimiento del progreso.
- f. Asistencia del dispositivo para completar la extensión:  
Tras registrar la máxima extensión alcanzada por el paciente, los motores ayudarán a completar la extensión de los dedos hasta el valor previamente calibrado como máximo anatómico. Este movimiento se realiza con la ayuda de los sensores de flexión y los motores DC para ajustar la fuerza necesaria.  
Una vez que los dedos lleguen a la extensión completa, los motores girarán en sentido contrario para liberar la mano, permitiendo que el paciente sienta la relajación en los dedos. El paciente puede detener el proceso en cualquier momento presionando el botón "Alto" en la aplicación.
- g. Repetición de la rehabilitación:  
El proceso de extensión y liberación se puede repetir varias veces durante la sesión, permitiendo que el paciente realice ejercicios de rehabilitación de forma controlada y progresiva.
- h. Finalización de la sesión:  
Al finalizar la sesión de rehabilitación, el paciente presiona el botón "Guardar" en la aplicación para almacenar los datos generados. Luego, selecciona "Acabar rehabilitación", lo que concluirá la sesión de terapia en la app.
- i. Visualización del progreso y seguimiento:  
Los datos de cada sesión se almacenan en una base de datos y se presentan en una nueva ventana de seguimiento dentro de la app. En esta sección, el paciente podrá ver una tabla

con los resultados y una gráfica de promedio de flexión (eje Y) versus las sesiones realizadas (eje X), lo que permite observar el progreso mes a mes.

j. Encuesta de satisfacción:

Finalmente, el paciente es invitado a completar una encuesta de satisfacción sobre el diseño, la ergonomía y el funcionamiento del guante mecánico. Esta retroalimentación es valiosa para realizar mejoras en futuras versiones del dispositivo y asegurar que el usuario esté recibiendo una experiencia óptima.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ANTECEDENTES

Liste y describa los productos, procedimientos más parecidos a su proyecto y los principales antecedentes técnicos o bibliográficos que haya consultado. Explique cuáles fueron los principios técnicos en los que se inspiró para obtener la invención; o que usó y estudió durante el proceso de investigación que dio como origen al proyecto. Pueden ser papers, tesis, vídeos, documentos, libros, etc.

Para el desarrollo del presente proyecto se revisaron diversos antecedentes técnicos relacionados con la rehabilitación de la mano espástica post-ACV, especialmente dispositivos mecánicos y exoesqueletos que permiten asistir el movimiento de extensión de los dedos. Entre los principales referentes analizados se encuentran: el HERO Grip Glove, un guante robótico orientado a la extensión asistida que utiliza motores para abrir la mano y mejorar la función de agarre, pero que presenta dificultades en su colocación y carece de un sistema de registro clínico digital [1]; el doble guante activo-asistido, conformado por un guante sano (control) y otro afectado (exoesqueleto), que replica movimientos y utiliza sensores por dedo para generar asistencia proporcional, aunque sin una plataforma digital integrada de seguimiento [2]; y el exoesqueleto robótico para dedos, que emplea motores DC, sensores y modos activo/pasivo para generar flexo-extensión controlada, pero que suele ser voluminoso y costoso para aplicaciones portátiles o domiciliarias [3].

Asimismo, se revisó el antecedente nacional más cercano: la tesis “Prototipo de un exoesqueleto robótico flexible para la rehabilitación activa de la mano en personas que han sufrido un ACV en Perú”, desarrollada en la UTEC (2023). Este prototipo utiliza motores DC y tendones para flexión y extensión, acompañado de una estructura en TPU de bajo peso, modular y flexible. Si bien constituye un aporte significativo, no incorpora un sistema móvil de control ni una plataforma digital para registrar la evolución del rango de movimiento, lo que limita el seguimiento clínico continuo del paciente.

El análisis de estos antecedentes permitió identificar varios principios técnicos que inspiraron la invención desarrollada:

1. El uso de mecanismos de tracción mediante hilos para generar movimientos seguros y repetitivos.
2. La necesidad de motores DC con gearbox que generen suficiente torque para vencer la espasticidad moderada observada en pacientes post-ACV.
3. La importancia de integrar sensores de flexión que permitan medir el rango articular de forma objetiva.
4. La relevancia de contar con un sistema digital portátil, accesible y basado en una aplicación móvil que permita controlar el dispositivo, registrar sesiones, visualizar la evolución del usuario y generar datos útiles para el proceso terapéutico.

Estos principios guiaron el diseño final de la invención y permitieron superar las limitaciones encontradas en los sistemas previos.

**3.1. ¿Conoce algún trabajo o invento que se parece más a su invento?** Si la respuesta es afirmativa, enumerar, indicando el nombre de la publicación, la fuente y fecha de publicación y adjuntar un breve resumen de dicho antecedente.

Si, existe una tesis cuyo enfoque y función se asemeja al trabajo realizado.

1. "Prototipo de un exoesqueleto robótico flexible para la rehabilitación activa de la mano en personas que han sufrido un ACV en Perú

Autor: Sergio César Chirinos Castillo

Fuente: Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC

Fecha de publicación: 2023

Resumen de publicación: El trabajo presenta el desarrollo de un exoesqueleto robótico flexible orientado a la rehabilitación de la mano en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV). El dispositivo usa un mecanismo de tendones accionados por motores DC y un sistema de control PI para permitir flexión, extensión y dos tipos de agarre: agarre cilíndrico y agarre de precisión. El exoesqueleto está fabricado con materiales flexibles como TPU, lo que le permite adaptarse a diferentes usuarios, ser modular y mantener bajo peso. El prototipo está diseñado para permitir entrenamientos de rehabilitación pasiva y semi asistida. Además, incorpora análisis biomecánico de la mano, criterios de diseño según VDI 2221 y un mecanismo de guiado para el pulgar inspirado en exoesqueletos modernos. Compartiendo de esta forma principios de las cuales también se abordó en el prototipo.

**3.2 Si Ud. ha identificado la existencia de un antecedente más cercano en el punto 3.1, señale cuáles son las características técnicas novedosas de su invento en relación con dicho(s) antecedente(s).** De preferencia limite este comparativo solo a los tres antecedentes que considere más cercanos en el aspecto técnico y científico a su invención (el estado de la técnica).

Tecnología utilizada: Masi Hand hace uso de sensores flex el cual permite registrar un máximo anatómico que permite realizar el proceso de rehabilitación considerando las licitaciones del paciente en cuanto a extensión.

Sistema Masi Hand: Está compuesto por una aplicación que permite registrarse y conectarse al guante a través de bluetooth para que todo sea monitoreado por la nube.

Monitoreo Masi Hand: A Través de la app puede realizar una retroalimentación de tu progreso mensual, para identificar tus mejoras por medio de una gráfica.

#### 4. VENTAJAS DE LA INVENCION

**Detalle** las ventajas que tiene la invención respecto a los antecedentes. Las ventajas podrían ser: mayor sensibilidad, especificidad, no presenta efectos secundarios, menor tiempo de diagnóstico, etc.

La invención propuesta presenta varias ventajas relevantes frente a los antecedentes revisados. En primer lugar, a diferencia de los exoesqueletos y guantes robóticos existentes, el sistema integra en un solo dispositivo la asistencia mecánica de extensión, la estabilización de la muñeca, la medición del rango de movimiento y una plataforma digital de registro, permitiendo un proceso de rehabilitación más completo. Mientras que los dispositivos del estado del arte se enfocan principalmente en generar movimiento asistido, la presente invención incorpora sensores flex que capturan de manera continua la extensión máxima de los dedos, ofreciendo una mayor sensibilidad y precisión en la evaluación del progreso terapéutico.

Asimismo, el uso de una aplicación móvil Android constituye una ventaja significativa frente a sistemas que requieren interfaces complejas o equipamiento especializado. La app permite controlar el guante vía



Bluetooth, registrar las sesiones, mostrar mediciones en tiempo real y visualizar una gráfica histórica, brindando al usuario retroalimentación clara e inmediata que los antecedentes no proporcionan.

En el ámbito mecánico, el dispositivo mejora la seguridad y funcionalidad gracias al uso de hilos de alta resistencia, dedos rediseñados para evitar colisiones y una férula rígida que estabiliza la muñeca durante la terapia. Todo ello permite una extensión más fluida, controlada y adaptada a las limitaciones del paciente. Finalmente, la invención presenta un bajo costo de fabricación, debido al empleo de manufactura digital mediante impresión 3D y corte láser, lo que la convierte en una alternativa más accesible y portable que los exoesqueletos robóticos voluminosos o de alto costo presentes en la literatura.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS DIVULGACIONES

Indique las divulgaciones que ha realizado de la invención a través de cualquier medio: escrito, oral, búsqueda de financiamiento; y las fechas en que se dieron estas divulgaciones. (si hubiese más de una divulgación puede agregar replicar la tabla)

Tipo de divulgación (Paper, tesis, conferencia, vídeo, libro, etc.)	Presentación del concepto dispositivo durante la clase de Fundamentos de Biodiseño (sin prototipo físico)
Fecha de publicación	15/10/2025
Enlace (en caso aplique)	
¿Existen diferencias respecto a lo divulgado?	Sí, la versión actual del prototipo incluye mejoras respecto a la idea inicial

Tipo de divulgación (Paper, tesis, conferencia, vídeo, libro, etc.)	Presentación del prototipo físico y funcional durante la clase de Fundamentos de Biodiseño
Fecha de publicación	26/11/2025
Enlace (en caso aplique)	
¿Existen diferencias respecto a lo divulgado?	No, la información presentada coincide con las características actuales del dispositivo.

Tipo de divulgación (Paper, tesis, conferencia, vídeo, libro, etc.)	Sustentación oral con póster (exposición académica)
Fecha de publicación	3/12/2025
Enlace (en caso aplique)	
¿Existen diferencias respecto a lo divulgado?	No existen diferencias significativas; el contenido del póster coincide con la información técnica actual del dispositivo

## 6. INFORMACIÓN ADICIONAL

6.1 ¿Se puede verificar realmente que el Invento funciona o es obtenible? ¿Qué pruebas ha realizado para acreditar su funcionamiento u obtención?

Enumerar las pruebas. Por ejemplo, si se hizo algún proceso de estandarización basado en algún método oficial u técnica reconocida por alguna institución internacional de estandarización.

El invento puede verificarse y su funcionamiento ha sido comprobado mediante pruebas experimentales realizadas durante el desarrollo del prototipo. Estas evaluaciones permitieron confirmar que el dispositivo es reproducible y capaz de ejecutar correctamente las funciones para las que fue diseñado. A continuación, se enumeran las pruebas realizadas:

### Pruebas realizadas

### 1. Prueba de funcionamiento integral del sistema

Se verificó que los motores, sensores, la electrónica de control y la aplicación móvil trabajen de manera conjunta y sin interrupciones, asegurando que el sistema responda adecuadamente a comandos como “Medir máximo de extensión”, “Extender”, “Alto” y “Acabar rehabilitación”.

### 2. Prueba de extensión y retroceso controlado

Se evaluó la capacidad del dispositivo para enrollar y desenrollar la mano siguiendo los comandos del usuario y deteniéndose correctamente cuando se activa el pulsador físico o cuando se selecciona la opción correspondiente en la app.

### 3. Prueba de ajuste ergonómico y estabilidad mecánica

Se comprobó que la férula, los velcros y el guante pueden colocarse de forma estable en la mano del paciente, manteniendo la comodidad y permitiendo que los motores transmitan la fuerza necesaria sin deslizamientos.

### 4. Prueba de seguridad básica del sistema

Se confirmó que no existan riesgos mecánicos ni eléctricos durante la operación. Esto incluyó revisar el aislamiento del sistema, la sujeción de la caja de componentes y la parada inmediata de los motores ante la activación del pulsador.

6.2 Explique en un (1) párrafo como máximo. Cómo se llevaría a cabo la implementación del invento (Resultaría fácil poder implementar al momento de usarlo, explique porqué).

La implementación del dispositivo es sencilla y se adapta de manera natural a las rutinas de rehabilitación física supervisadas por un terapeuta. El proceso inicia con la colocación del guante y la férula en la mano del paciente y realizando los ajustes necesarios en los velcros. Una vez colocado, el sistema se opera mediante una aplicación móvil de uso intuitivo, que permite medir la extensión máxima de los dedos y controlar de forma progresiva el movimiento de los motores mediante comandos claros como “Extender”, “Alto” o “Acabar rehabilitación”. Gracias a esta interfaz guiada y a que no requiere conocimientos técnicos especializados, el dispositivo puede integrarse sin dificultad, ofreciendo una experiencia segura, comprensible y fácilmente reproducible tanto para el terapeuta como para el paciente.

## Citas

[1] A. Yurkewich, I. J. Kozak, D. Hebert, R. H. Wang and A. Mihailidis, “Hand Extension Robot Orthosis (HERO) Grip Glove: Enabling independence amongst persons with severe hand impairments after stroke,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 17, art. 33, Feb. 2020.

[2] E. Koltzi, D. Tzovaras, I. Kostavelis, P. Sideridis and K. Piliounis, “System and method for stroke rehabilitation using position feedback based exoskeleton control,” U.S. Patent 11,141,341 B2, Oct. 12, 2021.

[3] R. J. Adams, C. M. Westbrook and C. W. Olinger, “System, device and method for tracking the human hand,” U.S. Patent 11,696,704 B1, Jul. 11, 2023.

Fecha: 2 de diciembre del 2025