

## **Ficha de detalles de la invención**

### **Título de la invención:**

**Dispositivo para la concientización de la dorsiflexión durante la marcha en personas con lesión neuromuscular**

### **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA TÉCNICO**

Actualmente, las personas que han sufrido una lesión neuromuscular —como una lesión medular incompleta, un accidente cerebrovascular o neuropatías periféricas— pueden presentar debilidad o parálisis del músculo tibial anterior, el cual es esencial para realizar la dorsiflexión del pie durante la marcha. Esta limitación técnica genera una marcha irregular, arrastre del pie (foot drop), riesgo de caídas y una reducción en la calidad de vida del paciente.

Las soluciones existentes, como férulas pasivas u ortesis rígidas, no promueven activamente la concientización o el fortalecimiento muscular voluntario durante el movimiento. Por lo tanto, existe una necesidad técnica de desarrollar un dispositivo que no solo asista físicamente el movimiento, sino que también genere una retroalimentación al usuario, facilitando la rehabilitación activa, el aprendizaje motor y la adaptación neuromuscular en tiempo real.

## 2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INVENTO:

La presente invención consiste en un dispositivo biomédico de tipo ortésico y electrónico diseñado para promover la concientización y corrección de la dorsiflexión durante la marcha en pacientes con compromiso neuromuscular, como aquellos con lesión medular incompleta o daño del nervio peroneo.

El dispositivo está compuesto por una órtesis flexible impresa en 3D con material TPU, que se adapta ergonómicamente al pie y pierna del usuario. Esta estructura incorpora en su interior un sistema electrónico basado en un microcontrolador ESP32 super mini, el cual recibe datos de un sensor flex (sensor de flexión), encargado de detectar el grado de movimiento angular realizado durante la dorsiflexión.

Este módulo se comunica vía Bluetooth Low Energy (BLE) con un segundo ESP32 ubicado en un brazalete colocado en el brazo o muñeca del usuario, el cual contiene un motor vibrador. Cuando el sistema detecta una dorsiflexión inadecuada (ya sea por ausencia del movimiento o por realizarlo fuera del rango esperado), activa la vibración como señal de retroalimentación inmediata para el usuario. De este modo, el paciente toma conciencia del error y puede corregir su patrón de marcha de manera activa.

Además, se integra una aplicación móvil que registra los episodios de error y notifica al usuario mediante una interfaz sencilla, brindando un historial de rendimiento útil para terapias de rehabilitación o seguimiento clínico.

A diferencia de las órtesis convencionales, este sistema no es pasivo ni restrictivo, sino que busca reeducar y fortalecer el patrón de marcha a través de estimulación sensorial, monitoreo en tiempo real y retroalimentación inmediata, facilitando la recuperación de la función motora. Su diseño modular, impreso en 3D, permite personalización según las medidas y necesidades del paciente, y su estructura en TPU garantiza flexibilidad, ligereza y comodidad durante el uso.

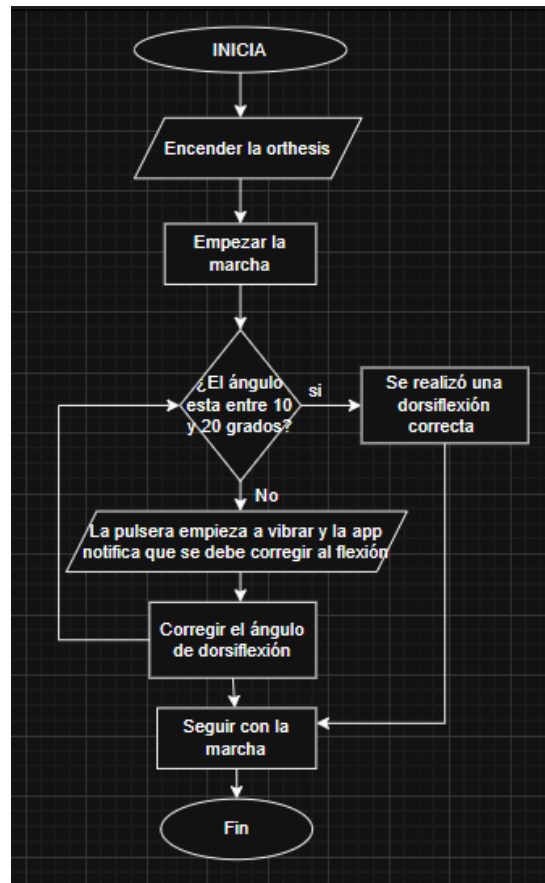


Fig (1) Diagrama de Flujo Dispositivo para la concientización de la dorsiflexión durante la marcha en personas con lesión neuromuscular

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ANTECEDENTES

Para el desarrollo del prototipo “Dispositivo para la concientización de la dorsiflexión”, se investigaron diferentes productos, procedimientos y documentos técnicos relacionados con órtesis tobillo-pie, tecnologías de asistencia para la dorsiflexión y dispositivos portables para rehabilitación. El objetivo fue identificar soluciones ya existentes, analizar sus ventajas y limitaciones, y aplicar principios técnicos que sirvan de base para nuestra propuesta. A continuación, se listan los antecedentes más relevantes, incluyendo patentes, productos comerciales, artículos científicos y metodologías empleadas durante la investigación.

#### A. Productos y patentes similares:

1. **US9827131B2 – Ankle-Foot Orthosis (Ferguson, 2017)**  
Patente que describe una órtesis con resortes y estabilizadores laterales para facilitar el levantamiento del pie durante la marcha. Inspiró el principio de asistencia pasiva sin motores en nuestra órtesis..
2. **Footflexor – Core Products**  
Otro dispositivo comercial muy accesible que mantiene el pie en posición usando bandas elásticas. Su bajo costo y facilidad de uso influyeron en nuestro diseño inicial.
3. **Foot Up Rebound – Össur**  
Órtesis comercial diseñada para elevar el antepié mediante una correa ajustada al tobillo conectada al calzado. Es una solución pasiva que mejora la seguridad durante la marcha, pero no proporciona retroalimentación en tiempo real.
4. **Turbomed FS3000 Xtern**  
Producto externo rígido que se ajusta al calzado y la pierna, permitiendo mantener el pie elevado en todo momento. Su enfoque mecánico inspiró el principio de no invasividad en nuestro sistema, pero *WatchFlex* se

diferencia al no usar ningún soporte rígido ni estructura voluminosa, y en su lugar ofrecer retroalimentación sensorial ligera.

5. **TWM584667 – Órtesis de Tobillo-Pie con Articulación Flexible (Taiwán, 2020)**

Esta patente presenta una órtesis con estructura en L y acolchados internos para mejorar el soporte sin comprometer la movilidad. Fue tomada como referencia para considerar aspectos ergonómicos y de comodidad en el diseño físico de nuestra órtesis.

6. **US6767332B1 – Active Ankle Support (Lind, 2004)**

Patente que describe una órtesis con elementos pivotantes y asistencia a la dorsiflexión mediante componentes pasivos. Aporta ideas sobre mecanismos simples que pueden apoyar el movimiento natural del tobillo sin necesidad de electricidad.

**B. Artículos científicos y papers consultados:**

6. **Figueiredo, J. (2019). *Smart Wearable Orthosis to Assist Impaired Human Walking***

Tesis doctoral sobre una órtesis activa con sensores portables. Aunque usa tecnología más avanzada (EMG, presión, inerciales), fue útil para entender cómo combinar sensores con retroalimentación inteligente.

7. **Keogh et al. (2021). *Assessing the usability of wearable devices...***

Revisión que destaca la importancia de evaluar la usabilidad de dispositivos portables en personas con condiciones neurológicas. Esto motivó la integración de una señal háptica fácil de interpretar para el usuario.

8. **Fukuchi et al. (2018). *Dataset of walking kinematics and kinetics...***

Conjunto de datos sobre marcha normal en adultos sanos. Lo usamos como referencia para definir el rango fisiológico de dorsiflexión esperado y calibrar nuestro sensor flex.

**C. Procedimientos y herramientas usados en el desarrollo:**

9. **Modelado CAD en Onshape**

Se diseñaron modelos 3D tanto de la órtesis como de la pulsera. Esto permitió adaptar mejor el diseño a las necesidades físicas del paciente y probar el armado virtual del sistema.

10. **Diseño y simulación electrónica**

Se conectaron un sensor flex, una ESP32-C3, una batería de 3.7V y un motor vibrador en mini protoboard. Este circuito fue probado y validado antes de la construcción física del dispositivo.

11. **Análisis del caso clínico**

Se basó en un paciente real de 28 años con lesión medular ASIA B, que presenta pie caído por afectación del tibial anterior. Este caso orientó todo el diseño hacia una solución que permita rehabilitación activa con señales intuitivas.

Todos estos antecedentes ayudaron a definir una solución práctica, económica y funcional. *Nuestro dispositivo* toma ideas clave de la biomecánica de la marcha, de dispositivos pasivos y activos, y las combina con una electrónica simple para generar un sistema de alerta háptica que puede aplicarse en procesos de rehabilitación sin necesidad de costosos equipos médicos.

**3.1. ¿Conoce algún trabajo o invento que se parece más a su invento?**

Sí. A continuación se presenta el invento que más se asemeja a nuestra propuesta:

**Nombre de la publicación:** “*Órtesis elevadora de pie Foot Up Rebound*”

**Fuente:** Fabricado por la empresa *Össur*. Disponible en el sitio web de distribuidores como Doctor Choice:  
<https://doctorchoice.cl/producto/ortesis-elevadora-de-pie-foot-up-rebound/>

**Fecha de publicación/referencia comercial:**

Producto disponible desde antes de 2020 (fecha referencial basada en catálogos de ortopedia)

### Resumen del antecedente:

La órtesis Foot Up Rebound es un dispositivo diseñado para personas con pie caído, y se utiliza para elevar la

parte frontal del pie durante la marcha, ayudando así a prevenir tropiezos. El sistema consiste en una correa que se coloca en el tobillo y se conecta mediante una banda elástica al empeine del calzado, permitiendo levantar el pie con un mecanismo sencillo, sin componentes electrónicos ni sensores. Este producto destaca por ser liviano, discreto y fácil de colocar, pero no brinda retroalimentación activa al usuario sobre su movimiento.

### 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).

En comparación con la órtesis elevadora de pie *Foot Up Rebound* de la empresa Össur, el invento *WatchFlex* presenta características técnicas novedosas que mejoran la funcionalidad y la experiencia del usuario. Mientras que el *Foot Up Rebound* actúa de forma pasiva mediante una banda elástica que mantiene el pie elevado durante la marcha, *WatchFlex* incorpora un sensor flex que mide la flexión de dorsiflexión en cada paso. Esta información se usa para activar una señal vibratoria en una pulsera cuando el usuario no alcanza el rango esperado de movimiento, permitiendo así una retroalimentación inmediata y personalizada. A diferencia de la órtesis de Össur, que mantiene siempre la misma tensión sin discriminar entre una marcha adecuada o inadecuada, nuestro sistema ofrece una alerta activa y dirigida, promoviendo el aprendizaje y la corrección consciente del movimiento. Además, *nuestro dispositivo* no depende del tipo de calzado y está diseñado para ser más ligero, económico y adaptable, lo que lo convierte en una opción más accesible para rehabilitación en entornos con recursos limitados.

## 4. VENTAJAS DE LA INVENCION

**Concientización activa del movimiento:** A diferencia de las órtesis pasivas que solo mantienen una posición mecánica, este dispositivo promueve la conciencia neuromuscular del usuario mediante señales vibratorias inmediatas, facilitando el reaprendizaje motor.

**Retroalimentación sensorial en tiempo real:** El sistema brinda una respuesta inmediata (vibración y notificación digital) cuando el usuario no realiza la dorsiflexión correctamente, permitiendo la corrección inmediata del patrón de marcha.

**Conectividad inalámbrica mediante BLE:** El uso de tecnología Bluetooth Low Energy (BLE) entre los módulos permite un sistema ligero, portátil y sin cables, mejorando la comodidad y autonomía del usuario durante su uso.

**Registro de errores y seguimiento digital:** La aplicación móvil complementaria permite visualizar un historial de fallas en la dorsiflexión, brindando información útil para fisioterapeutas y pacientes en el proceso de rehabilitación.

**Diseño personalizado y ergonómico:** La órtesis está fabricada mediante impresión 3D en material TPU, lo cual permite adaptarla a la morfología específica del usuario, brindando mayor comodidad, flexibilidad y ligereza que los dispositivos convencionales.

**Fomento del fortalecimiento muscular:** Al no forzar una posición, sino exigir al usuario ejecutar activamente la dorsiflexión, el dispositivo favorece el fortalecimiento progresivo del músculo tibial anterior y la mejora del control motor voluntario.

Bajo costo y accesibilidad: El uso de microcontroladores ESP32 super mini y componentes electrónicos de bajo costo permite que el dispositivo sea económicamente accesible y potencialmente escalable para mayor cantidad de pacientes

## 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.)	Feria interna en UPCH
Fecha de publicación	9 - julio 2025
Enlace (en caso aplique)	
¿Existen diferencias respecto a lo divulgado?	No

Tipo de divulgación (Paper, tesis, conferencia, vídeo, libro, etc.)	
Fecha de publicación	
Enlace (en caso aplique)	
¿Existen diferencias respecto a lo divulgado?	