



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

**Título de la invención:** Ankle Flex

### **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.*

Las prótesis pediátricas convencionales suelen presentar tobillos rígidos o con movilidad muy limitada. Este tipo de articulación restringida dificulta la realización de una marcha fisiológica, puesto que la flexión plantar y dorsiflexión son fundamentales para absorber impacto, acompañar el desplazamiento del centro de masas y generar un patrón de marcha estable. En niños, esta limitación es especialmente crítica, ya que se encuentran en una etapa activa de desarrollo musculoesquelético.

Por otro lado, los sistemas de tobillo motorizados que sí proporcionan movimiento asistido normalmente utilizan motores de gran tamaño, mecanismos hidráulicos o resortes metálicos internos. Dichas soluciones presentan problemas de peso, volumen, elevado consumo energético y costos altos, lo cual las hace poco adecuadas para prótesis pediátricas de dimensiones reducidas.

Adicionalmente, la medición de carga plantar generalmente requiere dispositivos comerciales complejos, como plantillas instrumentadas o plataformas de fuerza, que no pueden integrarse dentro de una prótesis y que resultan inaccesibles para aplicaciones de bajo costo o prototipos estudiantiles. No existe actualmente un módulo compacto que combine medición plantar y movimiento asistido en un único sistema, especialmente adaptado para el uso pediátrico.

La invención propuesta busca resolver simultáneamente estas limitaciones a través de un sistema híbrido, ligero, miniaturizable y de bajo consumo energético, capaz de detectar variaciones de carga y generar una asistencia mecánica controlada en el tobillo protésico.

## 2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INVENTO:

Describa 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 propuesta consiste en un módulo de tobillo para prótesis pediátricas basado en una arquitectura híbrida que combina un componente mecánico, un componente elástico y un componente electrónico de sensado y control. El dispositivo está diseñado para ser alojado dentro del pie protésico, permitiendo detectar la carga plantar y generar un movimiento de flexión controlada mediante un servomotor de tamaño reducido.

### 3.1. Componente mecánico: sistema de transmisión mediante doble rodamiento

El movimiento generado por el servomotor se transmite a la articulación del tobillo mediante un adaptador mecánico conformado por dos rodamientos alineados y unidos por una barra rígida. La barra actúa como elemento de unión entre el eje de salida del servomotor y la estructura del pie, permitiendo que el desplazamiento angular del motor se convierta en flexión plantar o dorsiflexión.

El uso de rodamientos permite reducir la fricción, mejorar la suavidad de movimiento y evitar esfuerzos excesivos sobre el motor. A su vez, el mecanismo otorga estabilidad lateral y repetibilidad del movimiento dentro de un rango predeterminado, habitualmente cercano a 10 grados debido a las características del servomotor utilizado en este prototipo inicial.

### 3.2. Componente elástico: estructura en TPU con función de retorno energético

El módulo incorpora una pieza impresa en TPU (poliuretano termoplástico) que actúa como elemento elástico de soporte y retorno. Este componente ha sido diseñado geométricamente para comportarse de manera similar a un resorte, absorbiendo parte de la energía generada durante la fase de contacto inicial y devolviendo dicha energía durante la fase de despegue del pie.

Esta pieza cumple varias funciones simultáneas:

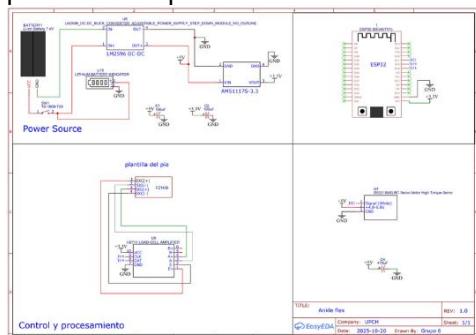
1. Disminuye la carga mecánica directa sobre el servomotor, evitando que soporte el peso del usuario.
2. Contribuye a la generación de un patrón de marcha más eficiente al almacenar energía potencial y liberarla de forma controlada.
3. Introduce una respuesta pasiva que mejora la naturalidad del movimiento, incluso cuando el motor no está activo.
4. Reduce el consumo energético global del sistema, ya que el servomotor solo debe compensar una fracción del movimiento y no todo el desplazamiento del tobillo.

### 3.3. Componente electrónico: sistema de sensado y control

El módulo electrónico se compone de un ESP32 como unidad de procesamiento, un amplificador HX711 y una celda de carga de 20 kg ubicada en la zona plantar, encargada de detectar la presión ejercida por el usuario al caminar.

El ESP32 recibe continuamente las lecturas del HX711, calcula la diferencia respecto al valor de referencia inicial y determina si se ha producido un incremento significativo de carga. Cuando la diferencia supera el umbral establecido, el microcontrolador activa el servomotor y genera un desplazamiento angular controlado. Al finalizar el movimiento, el motor retorna a la posición neutra y el sistema actualiza la referencia para evitar acumulación de error.

El módulo también incorpora comunicación Bluetooth, mediante la cual se transmite un valor relacionado al grado de deformación o presión detectada. La aplicación móvil puede registrar estos valores para análisis posteriores o para fines de monitoreo de actividad.





### 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, videos, documentos, libros, etc.

Durante la fase de investigación se identificaron diversas tecnologías relacionadas:

1. Las plantillas instrumentadas de medición plantar (como Tekscan o Pedar) ofrecen precisión elevada, pero dependen de hardware externo, presentan un costo elevado y no son compatibles con prótesis pediátricas por su tamaño y formato.
2. Los sistemas de tobillo para prótesis de adultos suelen utilizar actuadores hidráulicos o motores de alto torque, lo cual resulta incompatible con el tamaño reducido y peso limitado de las prótesis para niños.
3. Algunos trabajos experimentales emplean sensores FSR o IMUs para analizar parámetros de marcha, pero no integran estos datos con un mecanismo mecánico de asistencia.
4. Existen prótesis pediátricas pasivas con estructuras elásticas, pero no combinan sensado dinámico con movimiento asistido.

Los antecedentes revisados aportaron conceptos clave como retorno energético, control pasivo-asistido y sensado plantar simplificado. Sin embargo, ninguno integra estas características en un módulo compacto adaptado a prótesis infantiles y basado en un sistema de transmisión con rodamientos y actuador de bajo consumo.



**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.

El antecedente técnicamente más cercano identificado es la prótesis de tobillo motorizada “**Proprio Foot**”, desarrollada por la empresa Össur. Este dispositivo incorpora un actuador interno que ajusta el ángulo del tobillo de manera automática según las condiciones del terreno, apoyándose en sensores internos para modificar la posición de la articulación. “Proprio Foot” permite flexión activa y mejora la marcha en usuarios adultos, demostrando que el uso de actuadores controlados electrónicamente puede complementar la movilidad del tobillo protésico.

Sin embargo, este sistema está diseñado exclusivamente para pacientes adultos, presenta un tamaño y masa elevados y requiere una electrónica más compleja que no puede miniaturizarse fácilmente para prótesis pediátricas. Asimismo, no integra una celda de carga plantar directa ni un mecanismo de retorno elástico pasivo, y su actuador no se combina con piezas impresas flexibles ni con sistemas de transmisión de bajo perfil.

Publicación encontrada:

Össur. (2015). *Proprio Foot: Technical specifications*. Össur. <https://www.ossur.com/en-us/prosthetics/feet/proprio-foot>



**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).

En comparación con “Proprio Foot”, la invención propuesta presenta varias características técnicas novedosas:

**1. Integración de sensado plantar con celda de carga.**

Mientras que el antecedente utiliza sensores internos de posición y movimiento, el invento incorpora una medición directa de carga plantar mediante un HX711 y una celda de carga, lo que permite activar el movimiento específicamente según la presión ejercida por el usuario.

**2. Sistema híbrido mecánico–elástico mediante TPU.**

El invento emplea una pieza impresa en TPU que funciona como elemento de retorno energético, reduciendo la carga sobre el servomotor y proporcionando un comportamiento elástico similar al del tobillo humano, característica no presente en el Proprio Foot.

**3. Mecanismo de transmisión compacto mediante doble rodamiento.**

La transmisión del movimiento se realiza mediante un adaptador con dos rodamientos unidos por una barra rígida, permitiendo movimientos suaves en un espacio reducido. El Proprio Foot, en cambio, utiliza mecanismos más voluminosos y complejos.

**4. Diseño orientado a prótesis pediátricas.**

A diferencia del antecedente, cuyo tamaño y potencia están pensados para adultos, el invento prioriza la miniaturización, el bajo consumo y materiales livianos para integrar el sistema dentro de prótesis infantiles.

**5. Arquitectura simplificada y de bajo costo.**

El sistema utiliza componentes accesibles (ESP32, servomotores pequeños, impresión 3D), lo que facilita su reproducción, mantenimiento y uso en ambientes académicos y protésicos sin la infraestructura que requieren sistemas comerciales avanzados.



#### 4. VENTAJAS DE LA INVENCIÓN

**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 innovación propuesta presenta diversas ventajas técnicas:

- El sistema permite obtener un movimiento de flexión plantar controlado sin recurrir a actuadores voluminosos, lo que facilita su integración en prótesis pediátricas.
- La estructura en TPU reduce la carga mecánica sobre el servomotor, mejorando su vida útil y reduciendo el consumo energético.
- La celda de carga proporciona información plantar real, permitiendo activar el movimiento según la magnitud de la presión ejercida por el usuario.
- El mecanismo de rodamientos garantiza una transmisión confiable, estable y con baja fricción.
- El módulo completo es liviano, económico y puede fabricarse mediante impresión 3D.
- La comunicación Bluetooth permite registrar datos relevantes de uso que pueden integrarse posteriormente en un sistema de seguimiento clínico.
- El diseño modular facilita la adaptación a distintos tipos de prótesis sin requerir modificaciones estructurales importantes.

#### 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.)	Presentacion oral.
Fecha de publicación	26/11/2025
Enlace (en caso aplique)	
¿Existen diferencias respecto a lo divulgado?	Agregado del mecanismo de movimiento de tobillo por rodamientos

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



## 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 funcionamiento del invento pudo verificarse mediante una serie de pruebas experimentales realizadas en laboratorio, destinadas a evaluar la estabilidad eléctrica del sistema, la correcta lectura de la celda de carga y la activación mecánica del servomotor en respuesta a variaciones de presión. Las pruebas incluyeron: (1) verificación de tensiones de alimentación y estabilidad del regulador; (2) lectura inicial del HX711 y registro de valores de referencia sin carga; (3) aplicación de cargas conocidas sobre la celda para confirmar la proporcionalidad de las lecturas; (4) activación del servomotor al superar un umbral de carga definido por software; (5) evaluación del mecanismo de transmisión mediante doble rodamiento para observar la suavidad y continuidad del movimiento; (6) ensayo de deformación y recuperación de la pieza de TPU para confirmar su función de retorno elástico; y (7) prueba de envío de datos por Bluetooth hacia un dispositivo móvil. Los resultados confirmaron que el sistema es obtenible, funcional y replicable con los métodos y materiales empleados.

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 invento resulta sencilla, debido a que todos los componentes están diseñados para integrarse de manera modular dentro del pie protésico. El usuario únicamente debe encender el sistema mediante el interruptor, tras lo cual el microcontrolador calibra automáticamente la celda de carga y comienza a operar sin necesidad de ajustes adicionales. La estructura mecánica, conformada por el servomotor, la barra de transmisión y los rodamientos, se ensambla de forma directa en el alojamiento del tobillo, mientras que la pieza de TPU actúa como elemento pasivo sin requerir calibración. Debido a su arquitectura compacta y a la baja cantidad de conexiones necesarias, el sistema puede incorporarse rápidamente en el prototipo sin herramientas especializadas ni procesos de montaje complejos.

Fecha: 02/12/2025