



UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

ENTREGABLE 5

Integrantes:

Almeyda Ochoa, Renato
Arrunategui Vila, Joaquin Alfredo
Campos Zapata, Angélica Gabriela
Castro Lozano, Criss Susan
Castro Saenz, Sarai Louise
Chavesta Plasencia, Ricardo Junior

Docente:

Juan Manuel Zuñiga

Curso:

Fundamentos de Biodiseño



Identificación de la necesidad

En el caso de Orihana, de 3 años y 10 meses, con amputación transfemoral izquierda traumática, la necesidad crítica a abordar es el desarrollo de un tobillo adaptable que complemente su prótesis actual. Este componente es esencial para favorecer una marcha más funcional y segura, evitando que dependa únicamente de saltar con la pierna sana para desplazarse. Dicho patrón no solo limita su autonomía, sino que incrementa el riesgo de sobrecarga en la extremidad contralateral y en la columna, con posibles deformidades y dolor a corto y mediano plazo.

El enfoque en el tobillo se justifica porque esta articulación es clave para lograr un apoyo estable, permitir la flexión plantar y dorsal en la marcha y facilitar la adaptación a distintas superficies. Además, un tobillo con cierta flexibilidad y capacidad de ajuste ayudaría a compensar la falta de simetría en el patrón de marcha, promoviendo su integración en actividades lúdicas y escolares, y reduciendo el riesgo de frustración o aislamiento social.

Un aspecto crítico en la población pediátrica es el crecimiento acelerado, que implica cambios constantes en el volumen del muñón y en la longitud corporal. Por ello, un diseño de tobillo adaptable y modular permitiría ajustar la prótesis sin necesidad de reemplazarla completamente, disminuyendo los costos y la frecuencia de complicaciones como el sobrecrecimiento óseo.

En conclusión, la necesidad prioritaria de Orihana se centra en disponer de un tobillo adaptable integrado a su prótesis actual, acompañado de fisioterapia para entrenamiento de la marcha. Esto no solo busca la recuperación funcional, sino también la prevención de complicaciones musculoesqueléticas, el fomento de la autonomía y la adecuada integración social y escolar, aspectos esenciales para su calidad de vida a mediano y largo plazo.

Patentes:

1. Número de patente/Publicación: US20250127635A1

Título: Prosthesis with powered ankle and toe joints

Inventores: Tommaso Lenzi, Lukas R. Gabert, et al.

Año de publicación: 2025

Entidad solicitante: University of Utah Research Foundation

Resumen funcional: Esta patente presenta una prótesis de miembro inferior con tobillo y articulación del dedo del pie motorizados. Su objetivo es restaurar un movimiento más natural durante la marcha, permitiendo al usuario empujar el suelo con mayor potencia y mejorar la estabilidad al caminar sobre diferentes terrenos.

Aspectos innovadores:

- Incorpora dos grados de libertad activos: tobillo y dedo del pie.
- Permite un empuje más eficiente en la fase de despegue de la marcha.
- Mejora la propulsión y la estabilidad, especialmente en personas con amputación transtibial.
- Integra sensores y controladores que ajustan el movimiento en tiempo real según la necesidad del usuario.

Limitaciones o vacíos

- Puede tener un alto costo de fabricación y mantenimiento por la complejidad mecánica y electrónica.
- Mayor peso en comparación con prótesis pasivas o semiactivas.
- Requiere batería recargable, lo que limita su autonomía diaria.
- La complejidad del sistema puede dificultar su acceso en contextos de bajos recursos.

Relación con la necesidad

Esta patente responde directamente a la necesidad del paciente (niña con amputación por encima de la rodilla que actualmente usa prótesis sin articulación en el tobillo). Al incorporar un tobillo motorizado y articulado, permitiría que la prótesis se adapte mejor al movimiento natural al caminar, correr o subir superficies inclinadas, facilitando que pueda realizar actividades propias de una infante promedio.

Imágenes

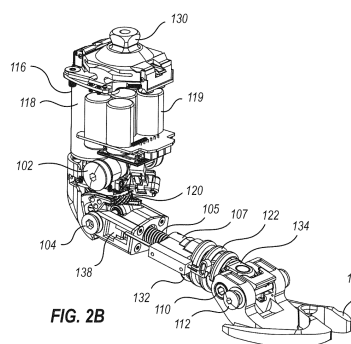
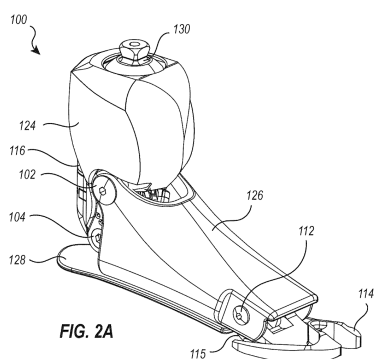


Figura 1: Vista externa de la prótesis de tobillo-pie, que integra el módulo de control y los componentes principales en un diseño compacto orientado a la marcha asistida.

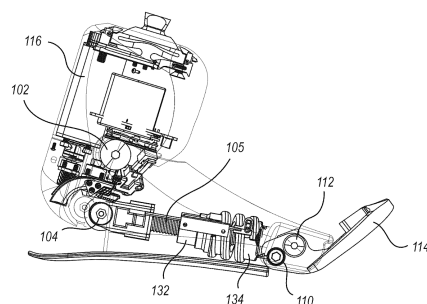


FIG. 4A

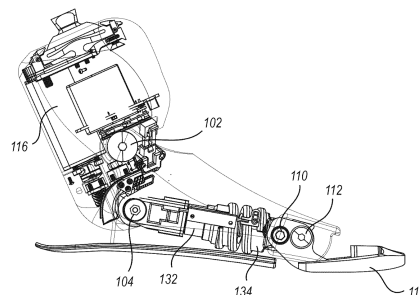


FIG. 4B

Figura 2: Vista en corte lateral de la prótesis de tobillo-pie, mostrando el sistema interno compuesto por motor, transmisión y elementos de resorte que permiten la generación de torque y la movilidad articular.

2. Número de patente / Publicación: WO2020012319A1

Título: Foot prosthesis by combination of the elastic ankle and elastic blade

Inventores: C. Pelizzari, A. Melchiorre

Año de publicación: 2020

Entidad solicitante: Centro Protesi Inai

Resumen funcional: La invención consiste en un pie protésico que combina un tobillo elástico con una lámina elástica. El diseño permite movimientos controlados de dorsiflexión y flexión plantar, junto con absorción de impacto y cierta adaptación a inversión. El sistema ofrece buen retorno de energía y capacidad de marcha natural en superficies irregulares.

Aspectos innovadores:

- Estructura ligera y flexible, pensada para usuarios activos pero adaptable a distintas edades.
- Absorción de impactos en el talón → más confort al caminar en terrenos irregulares.
- Combinación de elasticidad del tobillo y la hoja → mejora de la propulsión sin necesidad de sistemas electrónicos.

Limitaciones o vacíos:

- No ofrece control activo (no hay microprocesador ni motor)
- Requiere ajustes periódicos según el crecimiento del niño.

- El retorno de energía depende del peso del usuario, en niños pequeños puede ser menos eficiente que en adultos.

Relación con la necesidad:

La patente es adecuada para la paciente porque es ligera, lo cual resulta apropiado para una niña de 3 años, presenta un diseño elástico que se adapta mejor a superficies irregulares, ya que la paciente vive en Villa el Salvador. Además, ofrece seguridad al no incorporar sistemas motorizados completos que aumentan el peso de la prótesis. Sin embargo, su limitación principal es que no brinda potencia activa si es que se quiere llegar a un rendimiento atlético, solo brindaría una marcha funcional y favorece para una adaptación progresiva. Otro aspecto importante es que facilita recambios periódicos, lo cual es fundamental considerando el crecimiento constante de la paciente.

Imágenes:

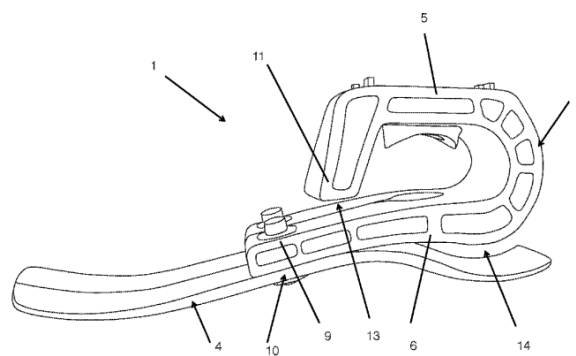


Figura 3: Vista lateral de foot prosthesis by combination of the elastic ankle and elastic blade

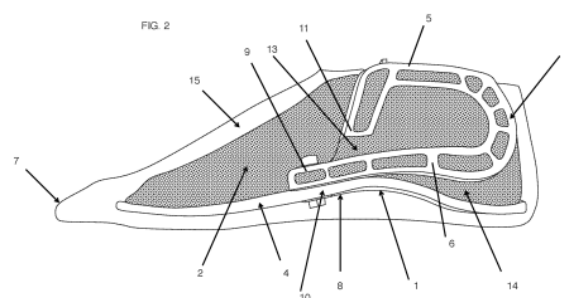


Figura 4: Vista lateral de la prótesis dentro de un calzado

3. Número de patente / Publicación: US11712351B2

Título: Single Axis Ankle-Foot Prosthesis with Adjustable Locking

Inventores: Patrick D. McLoughlin, Glenn R. Klute

Año de publicación: 2023

Entidad solicitante: U.S. Department of Veterans Affairs

Resumen funcional: La patente describe un tobillo protésico con un eje único de movimiento (flexión plantar y dorsiflexión) que incorpora un mecanismo de bloqueo ajustable. Este sistema permite al usuario o al técnico limitar o fijar el rango de movimiento según las necesidades clínicas o de rehabilitación. Su diseño busca un equilibrio entre simplicidad mecánica y seguridad.

Aspectos innovadores: Introduce un mecanismo de bloqueo regulable que puede adaptarse al progreso del paciente en distintas fases de rehabilitación. Además, el sistema mantiene un diseño mecánico simple, lo que reduce costos y peso en comparación con tobillos más complejos.

Limitaciones o vacíos: No permite movimientos adicionales como eversión o inversión. Carece de empuje activo, limitando la restitución de energía en la marcha. El ajuste requiere intervención manual, lo cual puede demandar soporte técnico frecuente.

Relación con la necesidad: Este diseño responde a la necesidad de un tobillo protésico seguro y adaptable para usuarios en etapa de rehabilitación. Aunque es más limitado que otros sistemas, su facilidad de ajuste lo hace adecuado en contextos de recursos limitados y para pacientes pediátricos que requieren progresión controlada.

Imágenes:

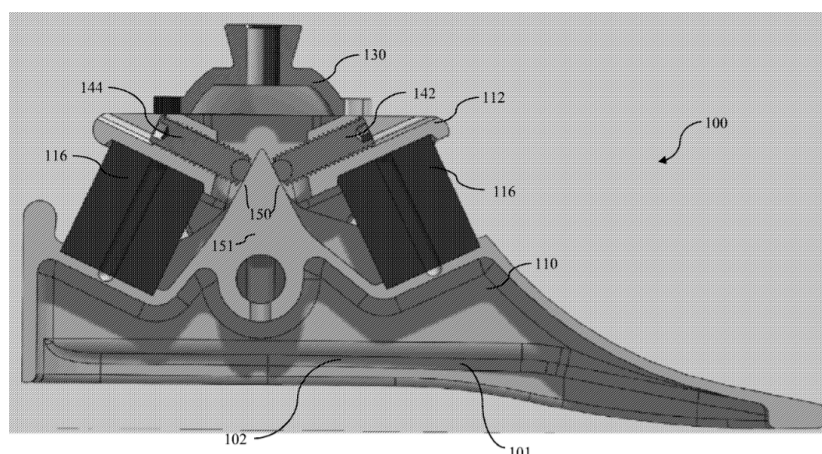


Figura 5: Vista general del diseño del pie protésico, mostrando la integración del tobillo con su estructura completa.

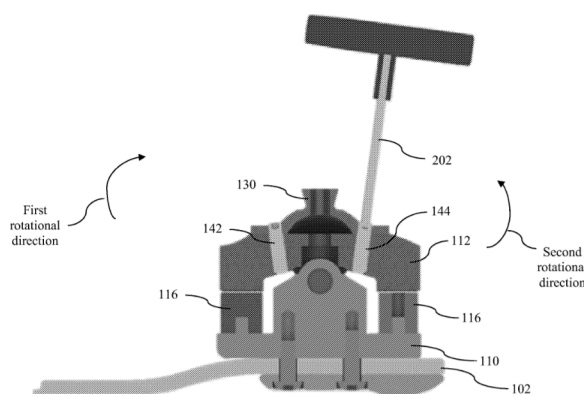


Figura 6: Esquema lateral del tobillo protésico, donde se observa el rango de movimiento y los elementos que permiten la flexión controlada.

4. Número de patente / Publicación: US20230126674A1

Título: Prosthetic Foot/Ankle System with Automatic Alignment

Inventores: Michael S. Williams, Eric A. Nickel

Año de publicación: 2023

Entidad solicitante: Fillauer LLC

Resumen funcional: La patente propone un sistema de tobillo-pie protésico que combina un resorte elástico para almacenar y liberar energía con un amortiguador hidráulico. Este mecanismo permite un alineamiento automático del tobillo durante la marcha, mejorando la adaptación a terrenos inclinados o irregulares.

Aspectos innovadores: Su capacidad de ajuste automático del ángulo del tobillo proporciona un movimiento más natural y biomimético. La combinación de elasticidad y amortiguación hidráulica busca reducir la fatiga y mejorar la comodidad del usuario en distintas superficies.

Limitaciones o vacíos: El diseño es más complejo y costoso en comparación con tobillos rígidos. El uso de sistemas hidráulicos puede requerir mantenimiento adicional, y el peso es mayor respecto a prótesis pasivas simples.

Relación con la necesidad: El sistema responde directamente a la necesidad de mejorar la marcha de pacientes amputados, brindando un movimiento más natural y adaptable. Para un caso pediátrico como Orihana, podría aumentar la autonomía y facilitar la práctica de actividades cotidianas, aunque su costo y mantenimiento son factores a considerar en contextos con recursos limitados.

Imágenes:

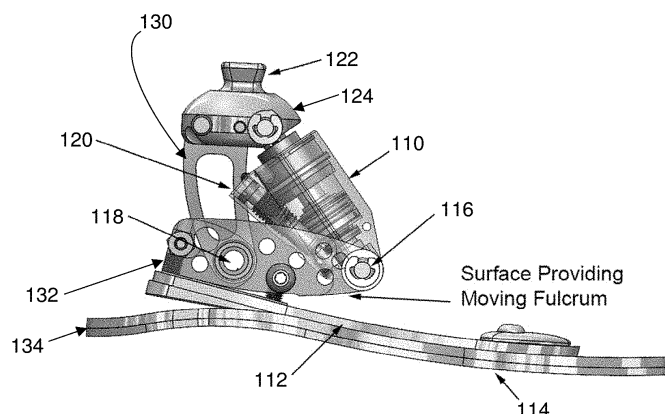


Figura 7: Vista lateral de la prótesis de tobillo con fulcro móvil y resortes que permiten un movimiento natural del pie.

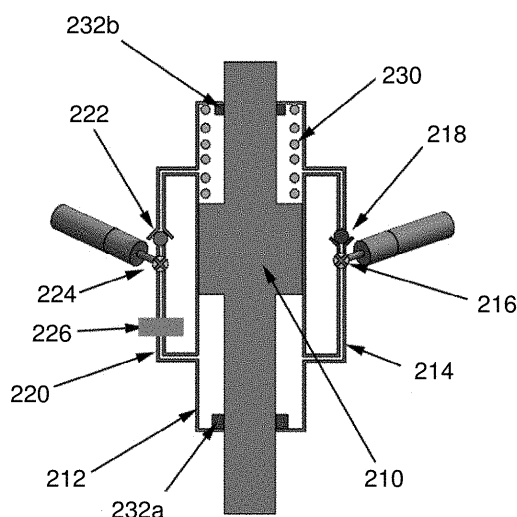


Figura 8: Esquema del sistema hidráulico con cilindros y resortes que regulan la absorción de energía y el ajuste dinámico.

5. Número de patente / Publicación: US20230293318A1

Título: Prosthetic Foot

Inventores: Sven Kaltenborn, Martin Pusch, Georg Gehrmann.

Año de publicación: 2023

Entidad solicitante: Ottobock SE & Co. KGaA.

Resumen funcional: presenta un pie protésico formado por un cuerpo principal y un antepié articulado que incorpora un sistema de resistencia para limitar la flexión planta y un elemento elástico que lo devuelve a su posición neutra, imitando la acción de tendones y músculos. Este diseño mejora la transición entre apoyo y balanceo, optimiza el despegue (toe-off) y brinda una marcha más natural, estable y eficiente, lo que en una versión pediátrica podría aportar mayor seguridad y confort .

Aspectos innovadores: introduce innovaciones como un antepié articulado que imita mejor el movimiento natural, un sistema de resistencia que controla la flexión plantar excesiva para aumentar la estabilidad, y un elemento elástico de retorno que simula la acción de tendones y músculos al devolver el pie a su posición neutra, logrando así una marcha más natural, eficiente y adaptable a distintas condiciones de carga y velocidad, con especial énfasis en optimizar la fase de despegue (toe-off).

Limitaciones o vacíos: presenta algunas limitaciones, entre ellas que su diseño está pensado principalmente para adultos, lo que dificulta su aplicación directa en población pediátrica sin una reducción significativa de peso y tamaño; el mecanismo interno de resistencia y retorno podría aumentar la complejidad y el costo de fabricación, limitando su accesibilidad en contextos de bajos recursos; además, al centrarse en la movilidad del antepié, deja menos desarrolladas otras funciones clave como la absorción de impactos en el talón o la adaptabilidad multidireccional del tobillo, lo que puede restringir el confort en terrenos irregulares o actividades de alta demanda física.

Relación con la necesidad: se relaciona con la necesidad de Oriana de contar con una prótesis que le brinde estabilidad, seguridad y eficiencia en la marcha tras una amputación transfemoral. Su diseño con antepié articulado, resistencia controlada y retorno elástico busca imitar el movimiento natural del pie, lo que reduce el gasto energético y mejora la transición entre apoyo y despegue, aspectos claves para un infante que requiere una prótesis ligera y adaptable a su crecimiento. Aunque fue concebida para adultos, su adaptación en versión pediátrica podría contribuir a cubrir la necesidad de autonomía en actividades diarias y favorecer su rehabilitación funcional.

Imágenes:

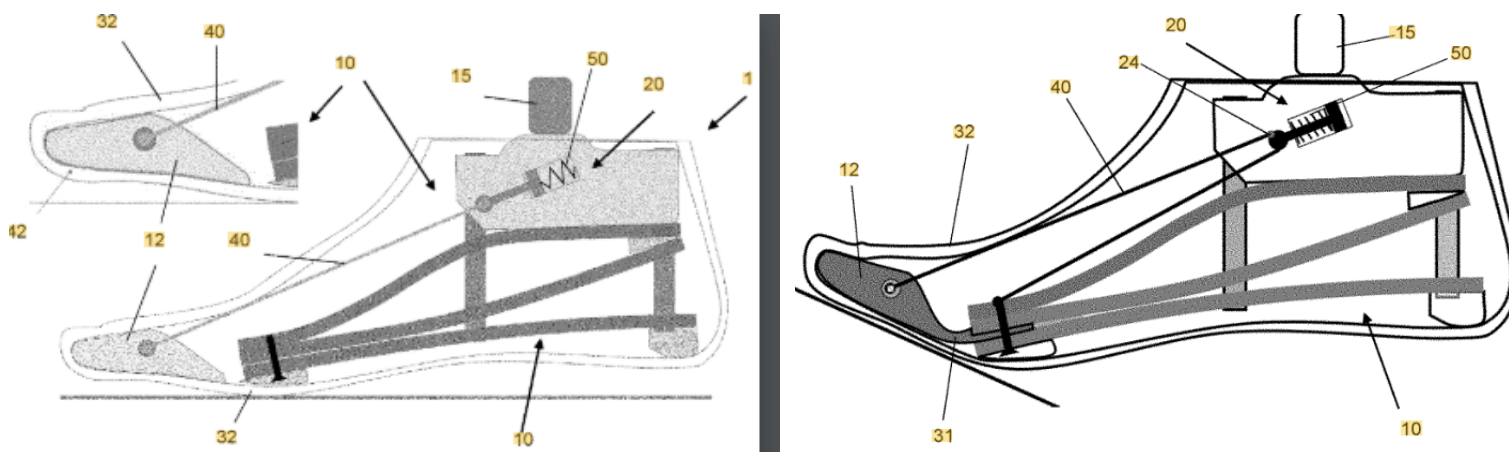


Figura 7: Pie protésico con antepié articulado y resorte de retorno que imita el movimiento natural al caminar.

Reflexión:

El análisis de distintas patentes aplicadas a prótesis de tobillo y pie nos permitió comprender la amplitud de soluciones tecnológicas disponibles, así como sus limitaciones al trasladarlas al contexto pediátrico. Si bien existen desarrollos avanzados con mecanismos motorizados y controlados electrónicamente que ofrecen una marcha más cercana a la natural, estas opciones suelen estar asociadas a mayores costos, peso elevado y menor accesibilidad en países como el nuestro.

Por otro lado, las propuestas que combinan elasticidad y diseños modulares presentan un mejor equilibrio entre funcionalidad, seguridad y viabilidad económica, especialmente en pacientes en crecimiento como Orihana. Estos sistemas, aunque menos sofisticados, se adaptan mejor a las necesidades reales de la infancia: autonomía básica, estabilidad en terrenos irregulares y facilidad de ajuste ante cambios corporales.

En conclusión, la revisión de estas patentes evidencia que la innovación en biodiseño no debe limitarse a la sofisticación técnica, sino orientarse a soluciones sostenibles y adaptadas al usuario. Para Orihana, y para muchos niños en situación similar, la clave está en diseñar dispositivos que combinen funcionalidad con accesibilidad, favoreciendo no solo la marcha, sino también la integración social y el pleno desarrollo infantil.

Bibliografía:

[1] J. M. Cempellin, M. Goldfarb, M. Holgate y D. R. Stansfield, Powered ankle-foot prosthesis with improved push-off, U.S. Patent US20230293940A1, Sept. 21, 2023.

[2] C. Pelizzari, A. Melchiorre, Foot prosthesis by combination of the elastic ankle and elastic blade, Patent WO2020012319A1, Jan. 16, 2020

[3] [US10918503B2], J. Doe, J. Smith, et al., "Sistema de encaje ajustable para prótesis," USPTO, 2021. <https://patents.google.com/patent/US10918503B2/en>

[4] Pelz, J., De Vivo, L., Barrack, H. J., & Kuester, F. (2025). Unibody endoskeletal transtibial prosthetic devices and digital fabrication workflow (U.S. Patent Application No. US20250114219A1). U.S. Patent and Trademark Office.

[5] Ottobock SE & Co. KGaA. (2023). *Prosthetic Foot* (Patente No. US20230293318A1). United States Patent Application Publication.