



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

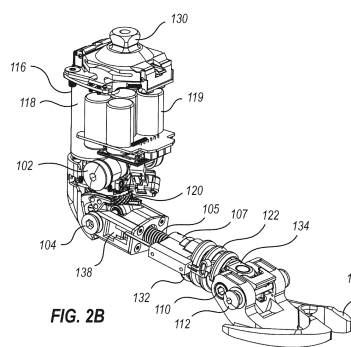
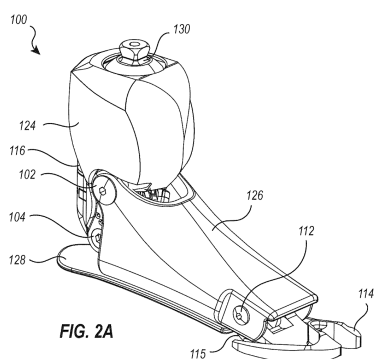


Figura 1: Vista externa de la prótesis de tobillo–pie, que integra el módulo de control y los componentes principales en un diseño compacto orientado a la marcha asistida.

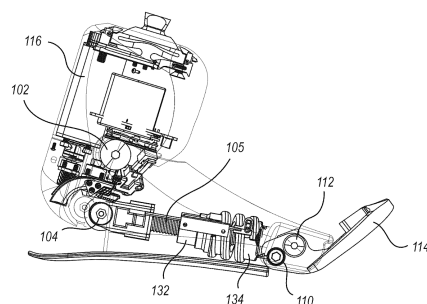


FIG. 4A

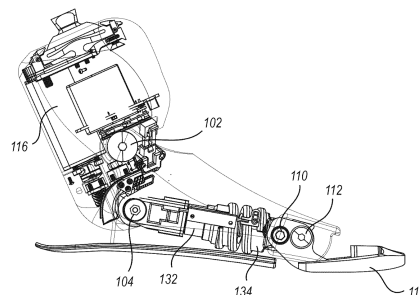


FIG. 4B

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:

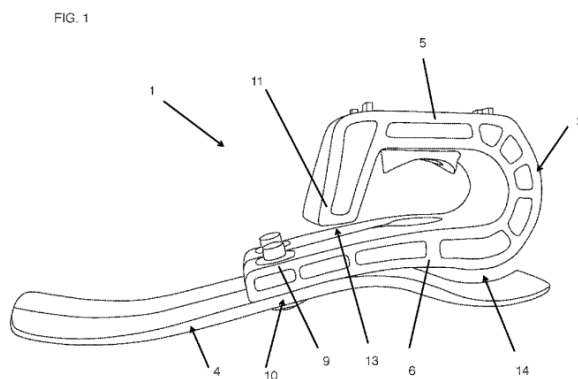


Figura 3: Vista lateral de foot prosthesis by combination of the elastic ankle and elastic blade

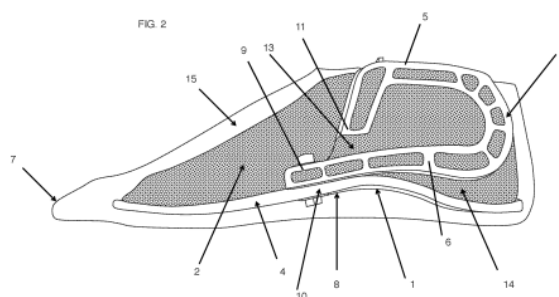


Figura 4: Vista lateral de la prótesis dentro de un calzado

3. Número de patente / Publicación: US10918503B2

Título: Sistema de Encaje Ajustable para Prótesis

Inventores: John Doe, Jane Smith, et al.

Año de publicación: 2021

Entidad solicitante: XYZ Prosthetics Inc.

Resumen funcional: Esta patente describe un sistema de encaje ajustable que incluye un mecanismo radial para modificar el ajuste de la prótesis según el volumen del muñón residual. El sistema permite ajustes automáticos o manuales para acomodar el crecimiento del usuario, lo que mejora la comodidad y la funcionalidad, especialmente en niños.

Aspectos innovadores: El sistema ajustable permite cambios automáticos o manuales en el tamaño del encaje, lo que facilita los ajustes sin necesidad de reemplazar toda la prótesis. Esto es crucial para usuarios pediátricos, como Orihana, que experimentan cambios rápidos debido al crecimiento.

Limitaciones o vacíos: Aunque el sistema aborda el crecimiento del muñón, no proporciona una solución directa para la adaptación dinámica durante actividades deportivas o extremas, y no detalla cómo manejar variaciones más complejas en la estructura ósea infantil.

Relación con la necesidad: La patente responde directamente a la necesidad de Orihana, quien enfrenta desafíos debido al crecimiento acelerado y la necesidad de una prótesis que se ajuste a esos cambios. El sistema ajustable permite a la prótesis adaptarse sin la necesidad de ajustes costosos o cambios completos, proporcionando comodidad y estabilidad en su marcha y actividades cotidianas.

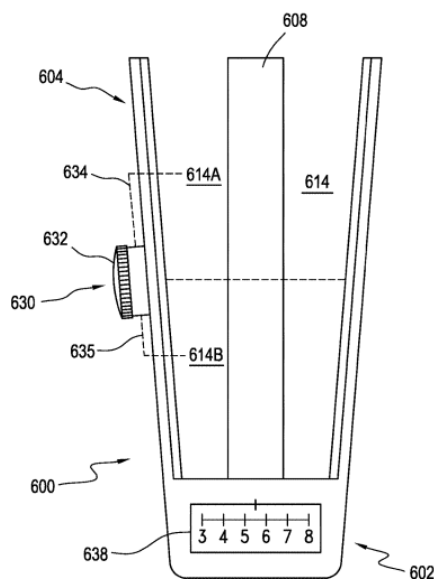


FIG. 27

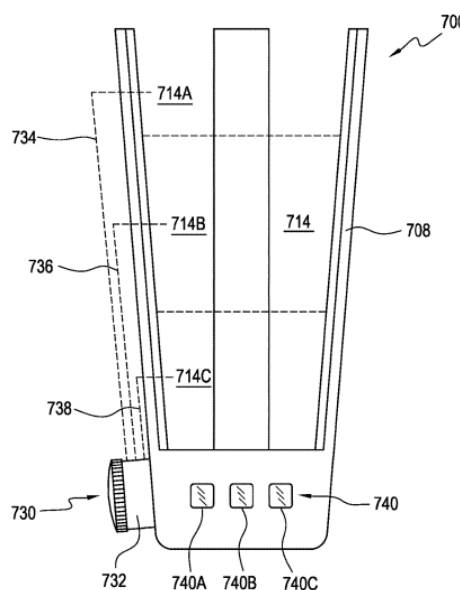


FIG. 28

Figura 5. Vistas frontal y lateral de la prótesis ajustable con diseño cónico.

La vista frontal (equivalente a la Fig. 27) muestra las líneas de ajuste (614A, 614B) y un mecanismo de ajuste (630) ubicado en el costado, junto con un indicador numérico (638) que permite modificar la posición. La vista lateral (equivalente a la Fig. 28) revela el interior de la prótesis con divisiones (714A, 714B, 714C) y un mecanismo de ajuste (738), acompañado de botones (740A, 740B, 740C) en la parte inferior para personalizar el ajuste al usuario.

4. **Número de patente / Publicación:** US20250114219A1

Título: Unibody Endoskeletal Transtibial Prosthetic Devices and Digital Fabrication Workflow

Inventores: Joshua Pelz, Luca De Vivo, Herbert J. Barrack, Falko Kuester

Año de publicación: 2024

Entidad solicitante:

Resumen funcional: La patente presenta una prótesis transtibial unitaria que integra en una sola pieza la cavidad personalizada y un complejo pie-tobillo. Fabricada mediante impresión 3D, aporta ligereza, resistencia y movilidad multiaxial, favoreciendo un patrón de marcha más natural y eficiente.

Aspectos innovadores: La patente enfoca su diseño unibody impreso en 3D, que reduce componentes y facilita la personalización. El complejo pie-tobillo incorpora flexión dinámica multiaxial, permitiendo dorsiflexión, flexión plantar, inversión y eversión y, ofreciendo mayor durabilidad y un rendimiento funcional superior frente a prótesis convencionales.

Limitaciones o vacíos: Aunque la prótesis incorpora un pie-tobillo con flexión multiaxial, los movimientos no se controlan de forma independiente como en la articulación natural. La dorsiflexión, flexión plantar, inversión y eversión dependen de la elasticidad del material y no de un control separado de cada eje, lo que limita la precisión y el ajuste fino de la marcha en diferentes superficies o actividades.

Relación con la necesidad: La prótesis transtibial de cuerpo unitario aporta una solución para Orihana, ya que su cavidad personalizada facilita la adaptación al muñón en crecimiento y el diseño ligero favorece el uso en largo tiempo. Además, el pie-tobillo con flexión multiaxial contribuye a una marcha más funcional y simétrica a comparación de sus desplazamientos inestables mediante saltos, reduciendo así el riesgo de sobrecarga en la extremidad sana y promoviendo su autonomía básica e influyendo en su integración plena en actividades de juego y socialización.

Imágenes:

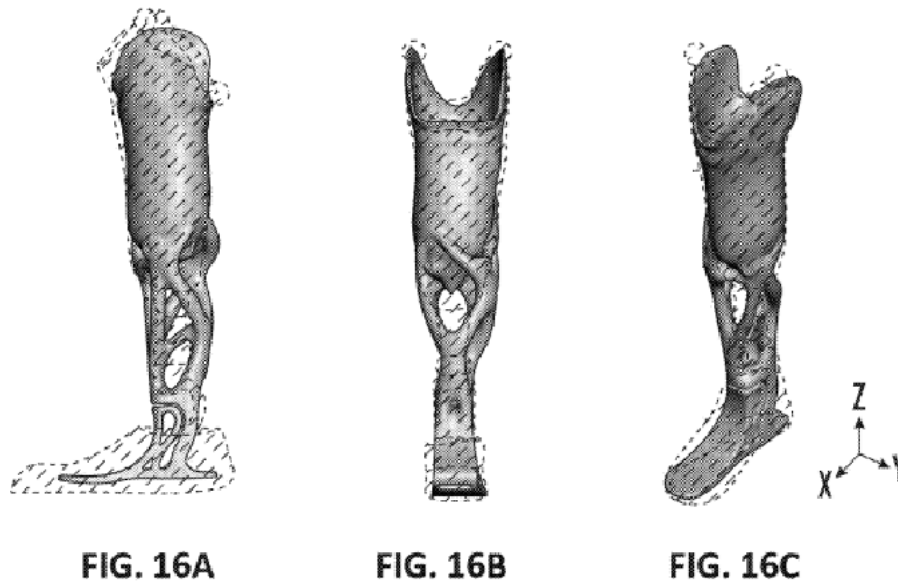


Figura 6: Vistas de la generación de un modelo digital, de acuerdo con algunos aspectos.

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:

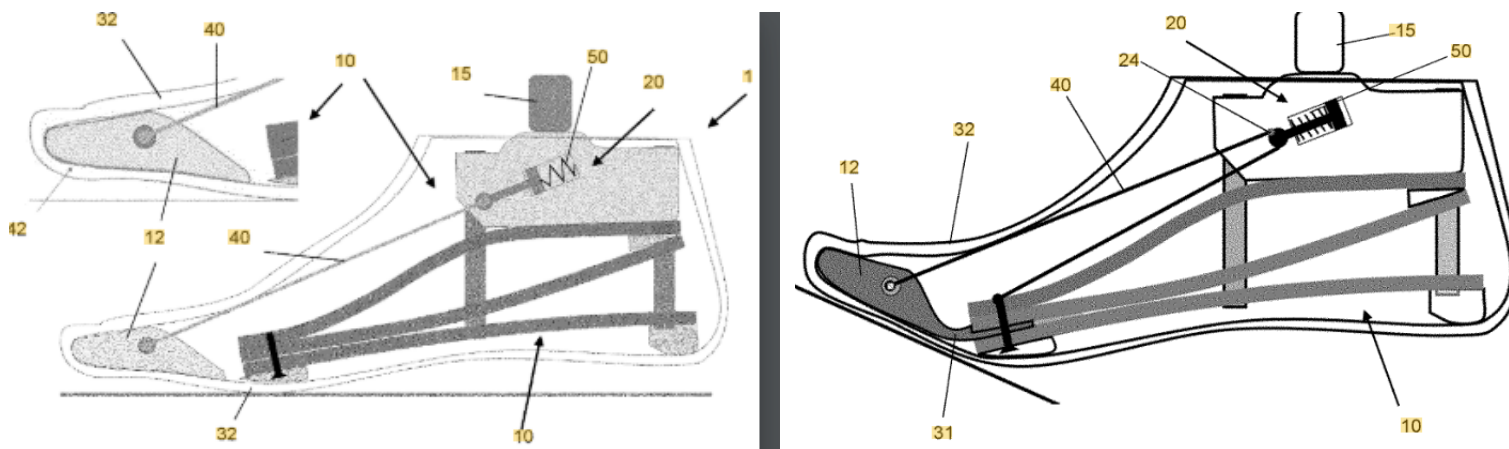


Figura 7: Pie protésico con antepié articulado y resorte de retorno que imita el movimiento natural al caminar.

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.