

Entregable N°4

1. Necesidad:

El caso clínico corresponde a un paciente con lesión medular completa, clasificada como tipo A, localizada a nivel de T10. La lesión se produjo a raíz de un accidente durante el ejercicio de sus funciones en un taller mecánico. Como consecuencia del traumatismo, el paciente presenta pérdida de movilidad y sensibilidad en ambas extremidades inferiores. No obstante, gracias a la presencia de una zona de preservación parcial (ZPP), conserva cierto grado de movimiento y mantiene la función de los flexores de cadera, lo que le permite desplazarse con apoyo de bastones y un soporte ortésico situado a la altura de la rodilla que le ayuda a trabar la rodilla para realizar marchas en suelos continuos y destrabarla para la subir estructuras como escaleras.

Actualmente, la lesión condiciona una marcha muy limitada, ya que el paciente requiere accionar manualmente los soportes ortésicos para poder realizar las flexiones o bloqueos articulares necesarios en su desplazamiento. Este mecanismo, aunque le brinda estabilidad, resulta poco práctico, pues cada vez que necesita subir o bajar requiere la ayuda de terceros, lo que le arrebató la autonomía en su movilidad personas. En este contexto, la principal necesidad de Chávez radica en optimizar su capacidad de marcha, dado que los soportes con los que cuenta son inadecuados para la eficiencia en la movilidad del tren inferior, lo que le genera una dependencia significativa en sus actividades cotidianas y una incapacidad de desempeñarse en su trabajo anterior.

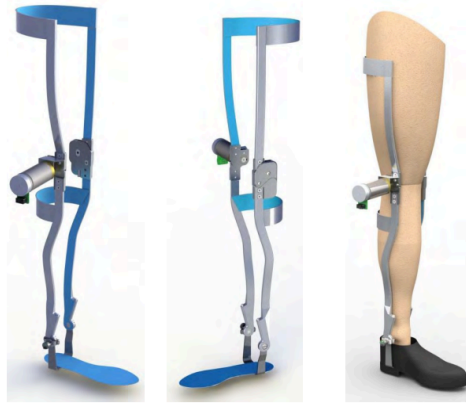
2. Selección de tecnologías:

- A. **Nombre:** Modelo de ortesis activa SCKAFO para asistir la marcha de lesionados medulares.

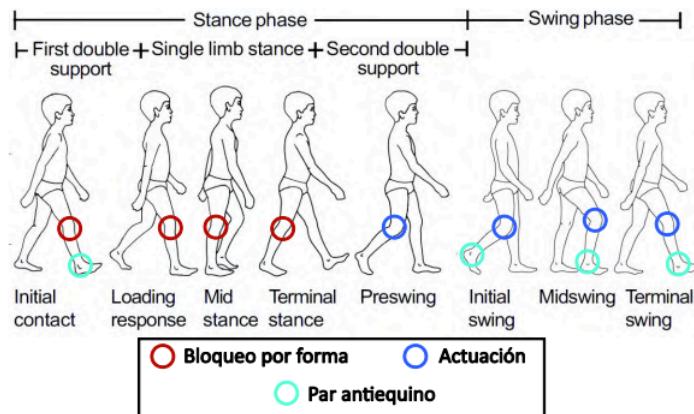
Categoría: Investigación científica que incluye ensayos clínicos con pacientes.

Autor: Arroyo, G. Proyecto final de estudios del Máster de Ingeniería Biomédica del departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Descripción funcional: Esta órtesis (SCKAFO, Stance-Control Knee-Ankle-Foot Orthosis) es un prototipo de dispositivo biomecatrónico diseñado para asistir la marcha de personas con control limitado sobre la musculatura del tren inferior debido a lesión medular incompleta C y D en escala Asia.



Lo haría mediante la asistencia automática de la flexión y extensión de la rodilla durante la fase de balanceo y el bloqueo de la flexión de la rodilla durante la fase de apoyo. Además, incorpora un dispositivo "antiequino" en el tobillo para evitar la hiperextensión del pie. El control de estas funciones se basa en sensores ubicados en el tren inferior (sensores de presión plantar y encoders angulares).



Ventajas	Desventajas
Automatización de asistencia a la marcha.	Etapas de desarrollo con un primer prototipo en construcción, con limitaciones como conexiones al ordenador con cables largos, lo que limita el rango de desplazamiento del paciente.
Componentes de sensorización para detectar fases de apoyo y monitoreo de movimiento articular	Barrera de adopción entre un paciente de LM incompleto C y D con uno completo con zpp y posibilidades de caminar.
Diseño modular (permite acoplar sectores del dispositivo a otros equipos médicos)	Costo potencialmente alto debido a componentes de alta tecnología como motores y sistemas de bloqueo.
No invasiva	

Reflexión final:

- ¿Qué mejoraría en un nuevo prototipo?
Un modelo inalámbrico que pueda transmitir los datos de los sensores por bluetooth a un ordenador para realizar los monitoreos de su marcha. Así como adaptaciones

necesarias para los valores antropométricos del paciente, pues este prototipo se realizó para valores de otro paciente. Finalmente, se le añadirían algunas conexiones con su andador para facilitar el proceso de marcha.

- ¿Qué necesidad del usuario no está completa?

Esta solución mejora considerablemente la capacidad motora de los miembros inferiores, especialmente de la rodilla. Sin embargo, no se considera mucho el aspecto económico del paciente, especialmente, si se necesita en ambos miembros. [1]

Fuente: Arroyo,G. “Modelo de ortesis activa SCKAFO para asistir la marcha de lesionados medulares.”, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://biomec.upc.edu/wp-content/uploads/theses/Arroyo-MSc-Thesis-Modelo%20de%20ortesis%20activa%20SCKAFO%20para%20asistir%20la%20marcha%20de%20lesionados%20medulares.pdf>

B. Nombre: EksoNR

Categoría: Productos comerciales disponibles en el mercado

Autor, empresa o institución responsable: Ekso Bionics

Descripción:

EksoNR es un exoesqueleto que junto con un software ayudan a que el paciente pueda volver a aprender a caminar o a mejorar su marcha. El exoesqueleto consta de distintas partes ajustables según la estatura y peso del paciente. El software ayuda a que el terapeuta físico pueda ver el feedback sobre la marcha del paciente a tiempo real, y así poder realizar un mejor tratamiento.

Ventajas:

- Intuitivo para el paciente.
- Personalizable según las necesidades del paciente para su rehabilitación.
- Mayor facilidad y rapidez al momento de realizar la terapia de rehabilitación.
- Promueve una postura recta y una caminata normal, lo que permite al terapeuta centrarse en el tratamiento.
- Provee feedback en tiempo real sobre la postura y la marcha del paciente.

Desventajas:

- Este modelo se usa con apoyo de un terapeuta físico ya que, a pesar de ser intuitivo y de fácil uso, se requiere configurar según las necesidades y características del paciente y los ejercicios que se quieran realizar.
- La empresa no tiene un gran alcance global, no presenta centros de rehabilitación en Sudamérica que hagan uso de sus productos.
- Costo elevado.



Fuente: “EksoNR - Eksobionics”, Ekso Bionics. Consultado: el 18 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://eksobionics.com/eksonr/>

Reflexión final:

- ¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?
Considero que el diseño o colocación de elementos que conforman este producto pueden llegar a ser algo incómodos para el paciente, por lo que creo que se podría trabajar más en el diseño de este.
- ¿Qué necesidad del usuario no está aún suficientemente cubierta?
Se le podría implementar el soporte extra que se usa, por ejemplo, en las imágenes en su página se puede ver que algunos pacientes requieren de un andador o soporte que no se incluye en el equipo.

- C. El nombre del producto: TWIICE – A Lightweight Lower-limb Exoskeleton for Complete Paraplegics.

Categoría: Investigación científica con caso clínico.

Autor, empresa o institución responsable: La empresa responsable por el diseño es TWIICE y desarrollado por el equipo de EPFL — École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suiza.

Breve descripción funcional: Su objetivo es restaurar parcialmente la movilidad funcional en pacientes que no pueden caminar ni mantenerse de pie por sí solos. El dispositivo proporciona asistencia motorizada en las articulaciones de cadera y rodilla, mediante motores en cada pierna, permitiendo al usuario realizar actividades como caminar en plano, subir rampas y escaleras, y realizar transferencias básicas como sentarse y levantarse.



Fig1. TWIICE, vista delantera y trasera.

En inclusión, posee un control de marcha que, mediante botones ubicados en las empuñaduras de las muletas logra movilizar el prototipo, mientras que el equilibrio se mantiene con apoyo en los brazos.

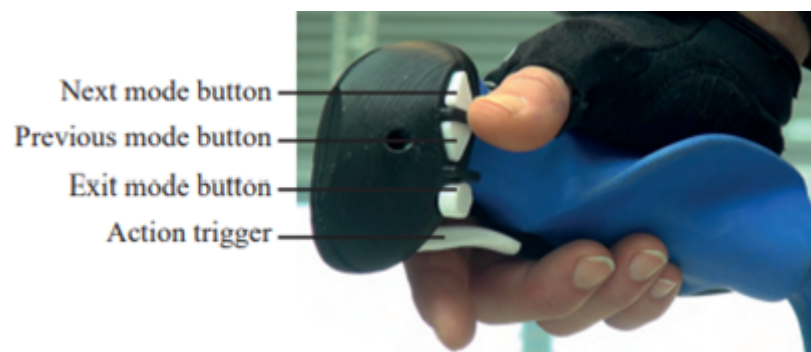


Fig2. Control de la marcha y utilidad de los botones.

Ventajas y desventajas: Entre sus principales ventajas destacan su estructura de fibra de carbono, que lo hace más ligero y resistente que otros exoesqueletos, y su diseño simplificado con solo cuatro articulaciones activas, lo que reduce el peso y facilita el mantenimiento. En pruebas clínicas, una paciente logró caminar a 0.36 m/s y subir escaleras a 17 peldaños por minuto tras tres meses de entrenamiento, lo cual refleja la utilidad que tiene y lo intuitivo que es mediante el control. Sin embargo, presenta limitaciones como la complejidad técnica y física en su uso, debido al tiempo que se demoró presente en el caso clínico, dependencia de asistencia externa para colocación, movilización predefinida y limitada, y falta de adaptabilidad autónoma a situaciones del entorno como variaciones del terreno. Al tratarse de un prototipo de laboratorio, aún no está disponible comercialmente, lo que representa una barrera para su adopción masiva.

Reflexión final:

- ¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?

En un nuevo producto se debería mejorar la adaptabilidad autónoma del dispositivo para reducir su complejidad técnica y que sea inclusive más intuitiva la forma de uso al no tener restricciones como el terreno para poder avanzar.

- ¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

La movilización funcional del paciente, debido a que depende mucho del entorno y de las situaciones específicas que se dan para subir escalones y caminar como un ejemplo.

Fuente: T. Vouga, R. Baud, J. Fasola, M. Bouri, y H. Bleuler, “TWIICE — A lightweight lower-limb exoskeleton for complete paraplegics”, en 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), jul. 2017, pp. 1639–1645. doi: 10.1109/ICORR.2017.8009483.

D. Nombre del producto o artículo: “Design, Control, and Pilot Study of a Lightweight and Modular Robotic Exoskeleton for Walking Assistance After Spinal Cord Injury”.

Categoría: Investigación científica con pruebas de usabilidad.

Autor, empresa o institución responsable: Josep M. Font-Llagunes , Urbano Lugrís, Daniel Clos, F. Javier Alonso y Javier Cuadrado.

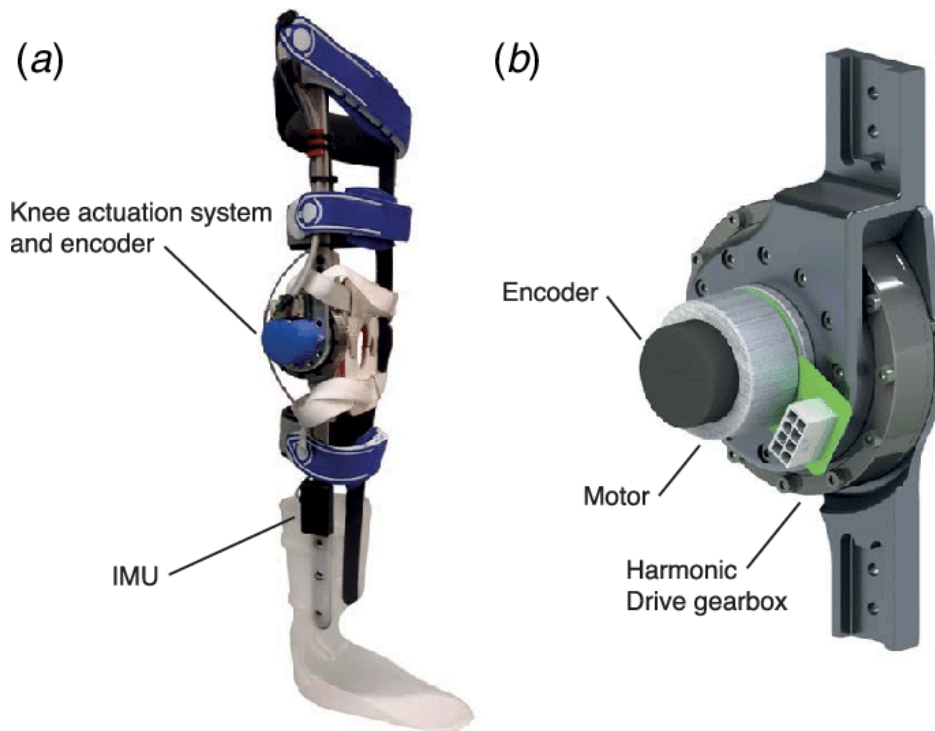
Breve descripción funcional: El dispositivo ayuda a caminar personas con lesión medular espinal que puedan controlar la flexión de la cadera pero no tengan control sobre los músculos de la rodilla y el tobillo. Sus componentes principales incluyen dos órtesis robóticas, un sistema de actuación de motor DC sin escobillas y caja de cambios Harmonic Drive, un codificador angular acoplado al motor, dos unidades de medida inercial (IMU), una mochila que contiene una placa de computadora integrada (BeagleBone Black), los controladores de los motores y una batería LiPo. Durante la caminata, la transición de la fase de apoyo a la de balanceo es detectada mediante dos IMU . Una vez detectada, el motor correspondiente realiza un ciclo predefinido de flexión-extensión de rodilla que es personalizado para la función motora específica del paciente. Durante la fase de apoyo, la rodilla se mantiene bloqueada en extensión total.

Ventajas:

- Ligereza al solo contar con los sistemas esenciales para facilitar la marcha. Pesa 2.3 kg por pierna.
- Fácil de usar y configurar ya que el dispositivo es fácil de poner/quitar y de operar a través de una interfaz de computadora o teléfono inteligente
- Es intuitivo ya que el usuario es capaz de aprender a caminar de forma autónoma en cooperación con el dispositivo con solo unas pocas sesiones.

Desventajas:

- Se ha observado que existe el riesgo que el motor no soporte el peso del paciente.
- El parámetro de la marcha es asimétrico especialmente en lo que respecta a la flexión de la cadera.
- El dispositivo no está adaptado para hacer otras tareas como sentarse, levantarse o subir escaleras.



Fuente: Font-Llagunes, Josep & Lugrís, Urbano & Clos, Daniel & Alonso, F. Cuadrado, Javier. (2020). Design, Control, and Pilot Study of a Lightweight and Modular Robotic Exoskeleton for Walking Assistance After Spinal Cord Injury. Journal of Mechanisms and Robotics. 12. 8. <http://dx.doi.org/10.1115/1.4045510>

Reflexión final:

• ¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?

Un mayor énfasis en la cadera en un nuevo prototipo, ya que actualmente el prototipo deja de lado este aspecto y le brindaría más estabilidad al paciente.

• ¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

Se menciona que el usuario no se siente lo suficientemente cómodo usando el dispositivo a pesar de ser ligero y fácil de colocar y quitar. Por lo que también tendría una repercusión negativa en el paciente y su calidad de desplazamiento.

- E. **Nombre del producto o artículo:** “Open source hardware based sensor platform suitable for human gait identification”

Categoría: Open Hardware

Autor, empresa o institución responsable:

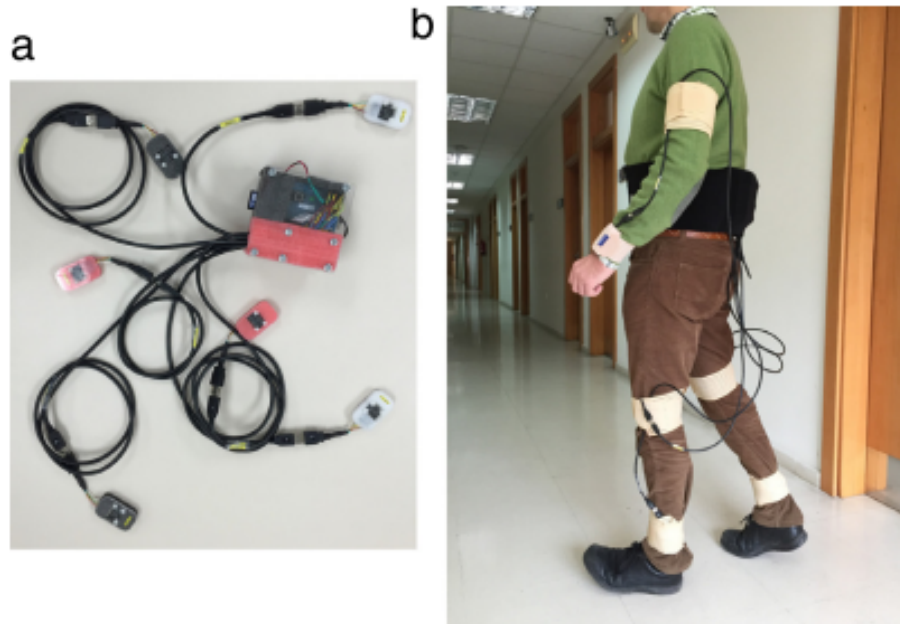
Breve descripción funcional: Tiene el propósito de adquirir datos para la identificación de la marcha humana y el análisis de la actividad. Sus partes más importantes incluyen seis unidades de sensores de 6 grados de libertad (6DOF) (acelerómetros y giroscopios) que se colocan en el cuerpo, una placa Arduino UNO que interactúa directamente con los sensores y una Raspberry Pi que se encarga de las comunicaciones y de la interfaz con el Arduino. Para usar el dispositivo un operador externo debe controlar el sistema remotamente desde un dispositivo (como una tablet), enviando comandos para iniciar, pausar o detener la adquisición de datos. El Arduino recogerá las lecturas de los sensores y las transmitirá a un servidor estático para su almacenamiento y procesamiento.

Ventajas:

- Prototipado rápido por su hardware y software simple y accesible
- Flexibilidad y capacidad de personalización
- Portabilidad y movilidad al permitir el libre movimiento, no ser tan pesado y no ocasionar molestias al momento de usarlo.

Desventajas:

- Limitaciones del Arduino en velocidad y almacenamiento
- Depende de varios factores externos como la conexión a una red, librerías, etc.



Fuente: César Llamas, Manuel A. González, Carmen Hernández, Jesús Vegas. Open source hardware based sensor platform suitable for human gait identification. Pervasive and Mobile Computing. Volume 38, Part 1, 2017, Pages 154-165, ISSN 1574-1192. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2016.07.003>.

Reflexión final:

• **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

Le dará mayor énfasis a un tipo de lesión. El dispositivo por tener un diseño muy simple es muy general en cuanto a los datos que puede recolectar.

• **¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?**

El dispositivo en sí no ayuda con la mejora de la marcha ni la flexión de la rodilla del paciente.

F. Nombre: ExoAtlet-I for Rehabilitation Exercise

Autor o empresa responsable: Cosmo Robotics

breve descripción funcional: El ExoAtlet-I ofrece grandes beneficios en rehabilitación motora; sin embargo, presenta algunas limitaciones. Su alto costo dificulta el acceso a la mayoría de pacientes e instituciones. Aunque es portátil, sigue siendo voluminoso y pesado, lo que afecta la comodidad y movilidad durante las

sesiones. Además, depende de baterías, requiere mantenimiento técnico y una curva de aprendizaje tanto para terapeutas como para pacientes.

En términos de uso, está restringido a un rango de estatura (155–190 cm) y peso máximo (100 kg), lo que excluye a ciertos usuarios. Pese a sus sistemas de seguridad, necesita supervisión constante de profesionales. Finalmente, su disponibilidad limitada en el mercado impide que todos los pacientes potencialmente beneficiados puedan acceder a esta tecnología.

Ventajas:

- **Adaptabilidad:** se ajusta fácilmente a la anatomía del paciente (pelvis, muslos y pantorrillas).
- **Versatilidad de control:** puede manejarse por el terapeuta (tableta) o por el paciente (muleta inteligente).
- **Seguridad reforzada:** cuenta con doble sistema de control manual y sensores de motor con paro de emergencia.
- **Suspensión móvil:** brinda mayor estabilidad, confianza y reduce el riesgo de caídas.
- **Modos de entrenamiento variados:** incluye funciones de sentado, de pie, marcha en sitio y deambulación.
- **Patrones de marcha personalizados:** se pueden programar según las necesidades del paciente.



Desventajas:

- **Costo elevado:** como tecnología de alta especialización, puede resultar inaccesible para muchos pacientes o instituciones.
- **Peso y tamaño:** aunque es portátil, sigue siendo un dispositivo voluminoso que requiere espacio y supervisión.
- **Dependencia energética:** necesita batería o fuente de alimentación, lo que limita su uso continuo.
- **Curva de aprendizaje:** tanto pacientes como terapeutas requieren capacitación para su uso seguro.
- **Accesibilidad limitada:** no todos los centros de rehabilitación cuentan con este tipo de equipos.
- **Restricciones físicas:** su uso está condicionado a peso (máx. 100 kg) y estatura (155–190 cm), lo que excluye a ciertos pacientes.
- **Necesidad de supervisión constante:** a pesar de los sistemas de seguridad, el acompañamiento de un terapeuta sigue siendo indispensable.

Reflexión final:

¿Qué mejoraría en un nuevo prototipo?

En un nuevo diseño sería prioritario reducir el peso y volumen del exoesqueleto, empleando materiales más ligeros y resistentes. También se debería incorporar una batería de mayor autonomía y sistemas de carga más rápidos. Además, sería valioso integrar controles más intuitivos, por ejemplo, comandos por voz o sensores mioeléctricos que detecten la intención de movimiento, disminuyendo la dependencia

de tabletas o muletas inteligentes. Finalmente, se podría mejorar la ergonomía de los soportes y fijaciones, buscando mayor confort y ajuste automático al cuerpo del paciente.

¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

Actualmente, el exoesqueleto responde a la necesidad de rehabilitación y deambulación asistida, pero no cubre completamente la autonomía en el uso cotidiano. Los pacientes aún requieren supervisión constante y apoyo externo para ajustes o emergencias. Otra necesidad pendiente es la accesibilidad económica, ya que el elevado costo limita su disponibilidad a un sector reducido.

Fuente: “ExoAtlet-I for Rehabilitation Exercise”, Cosmo Robotics. Consultado: el 18 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.cosmo-robotics.com>

G. Nombre: HKAFO

Categoría: Productos comerciales disponibles en el mercado

Autor, empresa o institución responsable: Europea de Fabricados Médicos y Ortopédicos(EFMO)

Breve descripción funcional:

HKAFO es una órtesis para marcha fabricada a partir de polietileno de baja densidad kydex, la cual es fabricada a medida a pedido del comprador, estos materiales hacen que se reduzca el peso de la órtesis y su precio. Esta es una órtesis que se caracteriza por ayudar a la cadera, rodilla, talón y pie, la cual cuenta por dos partes, una que se pone en la pierna y otra en la cadera. Este cuenta con una cesta pélvica, esta ayuda a dar estabilidad a la base de la columna vertebral. Su principal uso es prevenir luxaciones en la cadera y brindar control rotacional. También sirve para lidiar fracturas a niveles próximos al fémur y procesos traumáticos graves de miembro inferior.

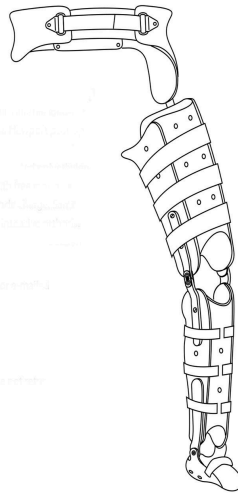


Ventajas:

- Bajo costo debido al material
- Órtesis a medida y ajustable
- Reducción de riesgo de luxación

Desventajas:

- Esta ortesis llega a ser un poco robusta, por lo que se dificulta llevarlo debajo de la ropa.
- A pesar de usar materiales que reducen su precio, este sigue costando una cantidad importante de dinero a comparación de otros productos



Reflexión final:

- **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

Un seguro que ayude a fijar la órtesis en ciertos momentos. Así como un flexor de rodilla automático para automatizar el proceso que tanto afecta a la autonomía del paciente.

- **¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?**

La órtesis a pensar de que brinda ayuda a la marcha no ayuda suficiente a la reducción de la carga o suplir soporte al paciente.

Fuente: “HKAFO”, Efmo. Accedido: 18 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en:

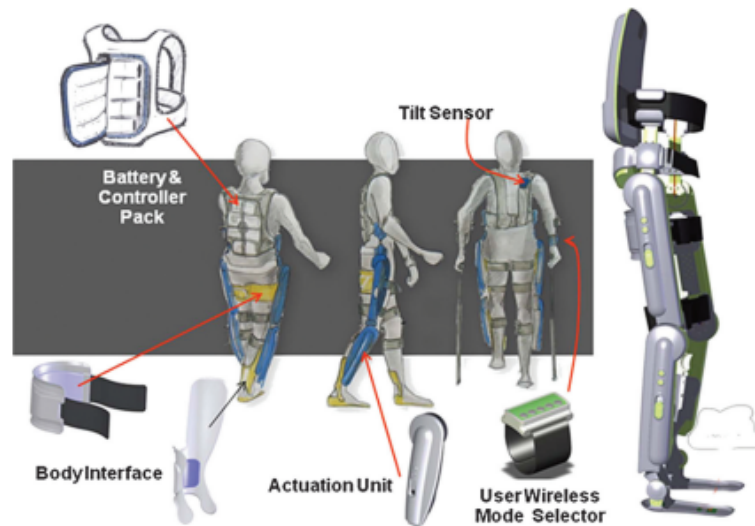
<https://www.efmo.com/hkafo>

H. Nombre: The ReWalk Powered Exoskeleton

Categoría: Investigación científica sobre producto comercial disponible en el mercado.

Autor, empresa o institución responsable: Alberto Esquenazi, Mukul Talaty, Andrew Packel, Michael Saulino de MossRehab, Elkins Park, Pennsylvania como autores del artículo. Por otro lado, Argo Medica y ReWalk Robotics Inc. como patrocinadores/fabricantes.

Breve descripción: El ReWalk es un exoesqueleto motorizado para las extremidades inferiores que permite a individuos con lesión medular motora completa a nivel torácico o inferior caminar de forma independiente. Aborda la necesidad de restaurar la función ambulatoria y mejorar la movilidad. El sistema incluye motores bilaterales controlados independientemente en cadera y rodilla, baterías recargables y un sistema de control computarizado en una mochila. Los usuarios controlan la marcha mediante movimientos sutiles del tronco y cambios en el centro de gravedad; un sensor de inclinación detecta el ángulo del torso y genera un desplazamiento preestablecido de cadera y rodilla para un paso. Un controlador en la muñeca permite activar funciones como sentarse, ponerse de pie y caminar. Se utilizan muletas para la estabilidad. Los tobillos tienen una articulación ortótica de doble acción con movimiento limitado y dorsiflexión asistida por resorte.



Ventajas:

- Reducción de la espasticidad
- Mejora de dolor tras sesiones de entrenamiento prolongadas.
- Seguridad y estabilidad asegurada.
- Control y recuperación de autonomía del paciente.
- Es un dispositivo ya aprobado por la FDA.

Desventajas:

- Dependencia de muletas.
- Entrenamientos intensivos (24 sesiones de 60-90 minutos en 8 semanas).
- Costo elevado (entre 100k y 125k dólares).
- Riesgo de generar abrasiones cutáneas, mareos y edemas leves de miembros inferiores.

Reflexión final:

- ¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?
Una funcionalidad para la flexión de rodilla para subir escaleras. Aminorar costos con disminución de funciones como pararse o sentarse y la utilización de muletas propias.
- ¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?
Consideración por los costos del equipo, pues la parte motora sí está cubierta, además de que el paciente ya cuenta con las muletas necesarias para el equipo.

Fuente: A. Esquenazi, M. Talaty, A. Packel, y M. Saulino, “The ReWalk Powered Exoskeleton to Restore Ambulatory Function to Individuals with Thoracic-Level Motor-Complete Spinal Cord Injury”, American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, vol. 91, núm. 11, pp. 911–921, nov. 2012, doi: 10.1097/PHM.0b013e318269d9a3.