
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ -
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA -
INGENIERÍA BIOMÉDICA**



FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO

Entregable 5 - Caso Loayza

AUTORES:

Villarreal Mamani, Rosa Isabel
Alejandro Sebastian Santa Maria La Rosa Sanchez
Santivañez Portella, Gael Franz
Torres Castañeda, Ricardo Percy
Valdivia Pari, Valeria Ivannia
Vásquez Cruz, Gustavo Alonso

DOCENTES:

Juan Manuel Zuñiga

Grupo 15

Lima, 25 de septiembre del 2025

IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD:

Contexto del paciente:

El paciente Loayza, ingeniero, presenta una lesión medular incompleta a nivel C4 tipo D tras un impacto de bala. Actualmente carece de movilidad en el brazo izquierdo, tiene movilidad parcial en el brazo derecho y puede caminar únicamente con apoyo externo.

Problema principal:

La ausencia de movilidad en el brazo izquierdo no solo genera dependencia funcional en actividades de la vida diaria, sino que también conlleva un alto riesgo de atrofia muscular por desuso. A esto se suma la inestabilidad al caminar, ya que no puede usar ambas extremidades superiores para apoyarse en dispositivos de marcha.

Consecuencias

- **A corto plazo:** debilidad muscular progresiva, contracturas y dolor.
- **A mediano plazo:** pérdida de autonomía en actividades básicas (alimentación, aseo, desplazamiento).
- **A largo plazo:** reducción de oportunidades de reinserción social y laboral.

Necesidad prioritaria

Diseñar un sistema de asistencia biomecánica para el brazo izquierdo (Mano, hombro y codo) que:

1. Genere movimiento pasivo y asistido en la extremidad para prevenir la atrofia muscular.
2. Proporcione soporte funcional a la mano, hombro y codo, permitiendo su uso como punto de apoyo en andadores u otros dispositivos.
3. Redistribuya el centro de masa y estabilice el tronco mediante un arnés posterior en forma de “8” conectado a una estructura de soporte.

Justificación

Esta necesidad se prioriza porque:

- Aborda de manera inmediata la prevención de complicaciones secundarias (atrofia, rigidez, dolor).
- Mejora la seguridad en la marcha asistida, reduciendo el riesgo de caídas.
- Favorece la independencia en actividades de la vida diaria y abre la posibilidad de una reinserción profesional, alineándose con los objetivos de calidad de vida del paciente.

PATENTE 1:

Número de patente / Publicación: CN111643315B

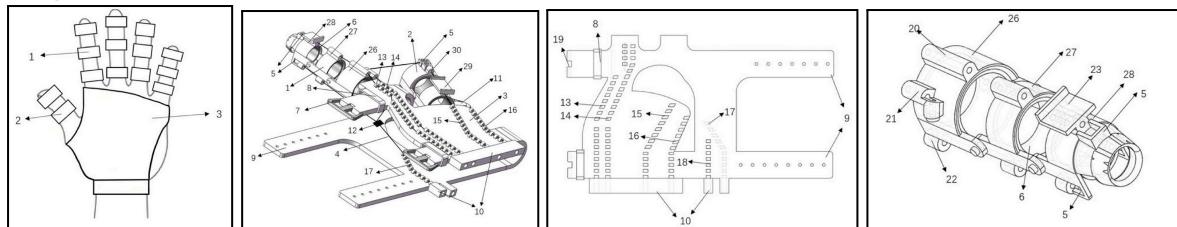
Título: Flexible hand function rehabilitation device based on rope drive

Inventores: 李会军 (Li Huijun), 欧阳云霞 (Ouyang Yunxia), 宋爱国 (Song Aiguo)

Año de publicación: 2021

Entidad solicitante: 东南大学 (Southeast University, China)

Imagen/es asociadas:



Resumen funcional:

Exoesqueleto que busca asistir en la rehabilitación de pacientes con limitaciones motoras en la mano, se basa en la tracción de cuerdas para generar movimientos asistidos. El usuario se coloca un guante y anillos rígidos de exoesqueleto en las falanges, estos tienen cuerdas unidas a motores que jalan. Al tirar de la cuerda en la parte superior del dedo, se realiza la extensión (abrir). Al tirar de las cuerdas en la parte inferior, se realiza la flexión (agarre).

Aspectos innovadores:

- Uso de guante de silicona flexible combinado con exoesqueleto rígido ligero impreso en 3D.
- Sustitución de actuadores rígidos por tracción por cuerdas, lo que permite colocar el motor fuera de la mano, reduciendo peso e incomodidad.
- Diseño modular que incluye canales segmentados para cuerdas, facilitando un rango funcional de movimiento más amplio.
- Inclusión de plataformas para sensores de posición (IMU), que habilitan el monitoreo del movimiento.
- Mejora de la eficiencia de transmisión de fuerza mediante poleas y ranuras de sujeción específicas.

Limitaciones o vacíos:

- Depende de un sistema externo de actuadores, lo que podría limitar la portabilidad real.
- Al estar basado en guantes de silicona, puede presentar problemas de durabilidad y limpieza en uso clínico intensivo.
- No se detalla integración directa con sistemas de retroalimentación inteligente o software terapéutico.
- Aunque incluye canales y sensores, no aborda el control adaptativo ni la personalización automática según el grado de lesión del paciente.

Relación con la necesidad:

La patente CN111643315B responde a la necesidad del paciente Loayza, quien conserva movilidad limitada en los dedos. El dispositivo flexible de rehabilitación de mano ofrece soporte en flexión, extensión y movimientos del pulgar con cuerdas, priorizando comodidad y ligereza frente a exoesqueletos rígidos. Estos principios pueden ser utilizados en el diseño del exoesqueleto de brazo para el usuario, en particular para la parte de la mano, de tal manera que se prevenga la atrofia en la mano y permita el agarre de un andador.

Fuente:

李会军, 欧阳云霞, & 宋爱国. (2020, 27 abril). CN111643315B - Flexible hand function rehabilitation

device based on rope drive - Google Patents. <https://patents.google.com/patent/CN111643315B/en>

PATENTE 2

Número de patente / Publicación: CN102499857B

Título: Exoskeleton wearable upper limb rehabilitation robot

Inventores:

李智军, 叶雯珺

Año de publicación: 2014

Entidad solicitante: Beijing Institute of Technology

Resumen funcional:

El exoesqueleto portátil diseñado para la rehabilitación de extremidades superiores del cuerpo, responde a la necesidad de proporcionar movimiento tanto pasivo como asistido a personas con lesiones, siendo especialmente útil para evitar la atrofia muscular en el hombro, el codo, la muñeca y la mano. Con ocho grados de libertad, permite un movimiento más natural y optimiza la rehabilitación de las articulaciones perjudicadas. Funciona con baterías, lo que soluciona las limitaciones de rango de movimiento que presentan los dispositivos convencionales y brinda mayor portabilidad. Este equipo mejora la independencia y apoya la recuperación funcional del brazo.

Aspectos innovadores:

- Emplea motores de gran potencia, reductores armónicos y motores de disco para alcanzar una precisión sin error en la rotación. Este mecanismo optimiza notablemente la precisión de los movimientos articulares, lo que resulta esencial para el proceso de rehabilitación, puesto que ofrece un ajuste más fino.
- Utiliza baterías que se pueden recargar, lo cual lo convierte en un dispositivo fácil de transportar y adecuado para usar en exteriores. Brinda una opción más adaptable para los pacientes ya que, a diferencia de otros dispositivos, no necesita de conexiones permanentes.
- El exoesqueleto cuenta con ocho grados de libertad, lo que permite que los hombros, codos, muñecas y manos se muevan de manera independiente. Esto contribuye a una rehabilitación más integral de las extremidades superiores debido a su adaptabilidad.

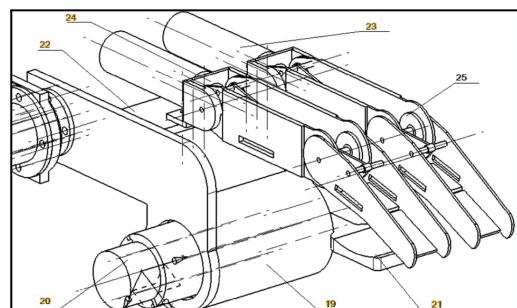
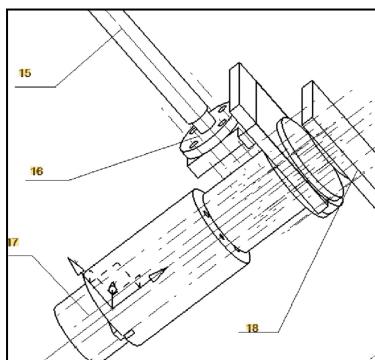
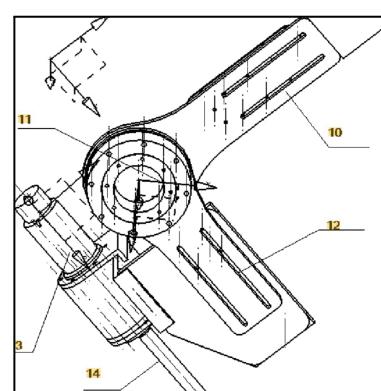
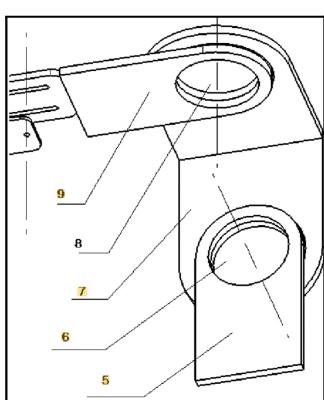
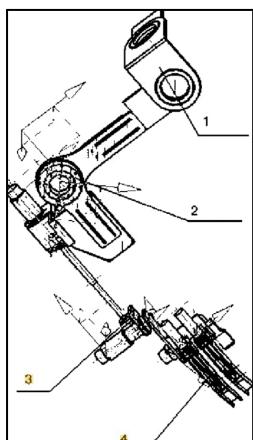
Limitaciones o vacíos:

- A pesar de su modularidad y de los distintos niveles de movimiento que ofrece, el diseño del exoesqueleto está condicionado por la capacidad del paciente para activar sus músculos, lo que limita su eficacia en pacientes con lesión medular severa con poca o nula movilidad en extremidades superiores.
- El uso de motores de alta potencia, reductores armónicos y motores de disco proporciona precisión y control, pero también introduce un riesgo de desgaste y una mayor necesidad de mantenimiento. Es por ello que, a diferencia de otros aparatos más básicos, estos elementos incrementan la complejidad y el costo del mantenimiento, lo cual puede generar inaccesibilidad.
- Si bien el exoesqueleto tiene la característica de ser portátil, existen escenarios o actividades que pueden influir en su efectividad (como en ciertos ámbitos laborales o deportes adaptados). El aparato podría no funcionar de manera óptima ni resultar cómodo para el usuario, ya que el dispositivo no ha sido diseñado específicamente para entornos que están fuera del ámbito clínico o de rehabilitación.

Relación con la necesidad:

El exoesqueleto mencionado en la patente CN102499857B presenta mejoras significativas en el movimiento asistido y el soporte funcional para los brazos, lo cual podría ser beneficioso para Loayza al prevenir la atrofia muscular y facilitar su independencia en las actividades diarias. Sin embargo, no aborda por completo todas las necesidades de Loayza, sobre todo en lo que se refiere a la estabilización del torso, la correcta distribución del centro de gravedad al caminar y la posibilidad de usar las manos como apoyo. El dispositivo podría ser ventajoso en ciertos aspectos, pero es importante añadir al diseño mejoras en la estabilidad del cuerpo y en el soporte para la mano para que realmente responda a las necesidades urgentes de Loayza.

Imagen/es asociadas:



Fuente:

李智军, 叶雯珺 (2012). Exoskeleton for upper limb rehabilitation (Patent No. CN102499857B). China National Intellectual Property Administration. <https://patents.google.com/patent/CN102499857B/en>

Patente 3

Número de patente / Publicación: US9730825B2

Título: Dispositivo de exoesqueleto portátil para la rehabilitación de la mano

Inventores: Marco Cempini , Terricciola (IT) ; Nicola Vitiello , Pontedera (IT) ; Francesco Giovacchini , Pisa (IT) ; Stefano Marco Maria De Rossi , Mirano (IT) ; Tommaso Lenzi , Chicago , IL (US) ; Azzurra Chiri , Pontedera (IT) ; Maria Chiara

Año de publicación: Aug . 13 , 2015

Entidad solicitante: Scuola Superiore Sant'Anna (Italia)

Resumen funcional:

Describe un exoesqueleto portátil para la mano diseñado para la rehabilitación motora tras lesiones o accidentes cerebrovasculares. El dispositivo funciona como un guante mecánico que, mediante mecanismos deslizantes, pivotes y cables tipo Bowden conectados a actuadores, asiste los movimientos de los dedos y la muñeca (flexión, extensión, abducción y aducción), permitiendo reproducir de forma natural la cinemática de la mano. Su diseño busca minimizar las fuerzas de restricción para evitar incomodidad, ser adaptable a distintos tamaños de mano y ofrecer un apoyo funcional en terapias de rehabilitación, asistencia diaria o investigación biomédica.

Aspectos innovadores:

- Cinemática compensatoria: introduce mecanismos deslizantes y pivotes que permiten que los ejes del exoesqueleto no tengan que coincidir exactamente con los ejes anatómicos de la mano, reduciendo así fuerzas de restricción y molestias al usuario.
- Adaptabilidad antropométrica: el diseño puede ajustarse a diferentes tamaños y morfologías de manos, lo que lo hace más versátil para distintos pacientes sin necesidad de personalización compleja.
- Transmisión de fuerza por Bowden cables: utiliza cables flexibles que permiten colocar los actuadores lejos de la mano, disminuyendo el peso y el volumen sobre el miembro del usuario y mejorando la portabilidad.
- Mínima intrusión y comodidad: busca ser ligero y poco voluminoso, permitiendo que el usuario mantenga un rango de movimientos relativamente natural sin que el dispositivo interfiera con la movilidad residual.
- Cobertura funcional amplia: no solo asiste los dedos (pulgar e índice principalmente), sino también la articulación de la muñeca, lo que aumenta el rango de rehabilitación en un único dispositivo.

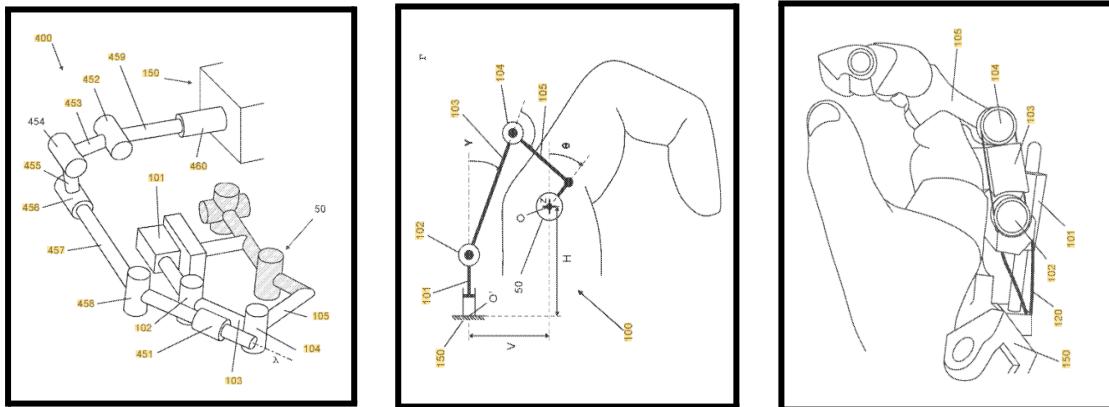
Limitaciones o vacíos:

Presenta limitaciones importantes como su complejidad mecánica (con deslizamientos, pivotes y cables Bowden) puede incrementar costos de fabricación, mantenimiento y calibración; el sistema requiere actuadores y una fuente de energía externa, lo que plantea retos en cuanto a autonomía, portabilidad y peso total del equipo; además, aunque busca minimizar las fuerzas de restricción, la alineación precisa entre los mecanismos y la anatomía del usuario sigue siendo un desafío, ya que un mal ajuste podría generar incomodidad o reducir la eficacia terapéutica. Finalmente, como muchos dispositivos de rehabilitación robótica, su adopción clínica depende de validar su eficacia en pruebas con pacientes, garantizar durabilidad en uso intensivo y mantener un costo accesible para centros de salud.

Relación con la necesidad:

El paciente Loayza posee muchas dificultades en sus miembros superiores y en este caso el modelo de exoesqueleto le proporciona mucha ayuda en mano, específicamente en sus falanges, ya que se fijan al metacarpo exigiendo movimiento y ejercicio de esta. Además, posee mecanismos articulados como líneas deslizantes y palancas que hacen que los dedos sigan el movimiento natural gracias al exoesqueleto ya que puede asistir o guiar los movimientos, pues se busca que no genere lesiones y sea adaptable para el paciente.

Imagen/es asociadas:



- Ligereza y seguridad: combina estructura rígida y flexible para mejorar la comodidad y evitar lesiones.
- Control por PLC: permite programar ejercicios y personalizar la terapia.
- Compatibilidad con silla de ruedas o asiento: facilita su uso en entornos clínicos o domiciliarios.

Limitaciones o vacíos:

- Requiere conexión a un sistema neumático externo, lo que disminuye la portabilidad.
- Enfocado en rehabilitación pasiva y asistida, sin integración directa con algoritmos de control adaptativo o feedback inteligente.
- Diseño más orientado a rehabilitación clínica que a soporte funcional en la vida diaria.
- Puede ser complejo de ajustar a cada paciente debido al número de componentes modulares.

Relación con la necesidad:

La patente CN111374862A se relaciona directamente con la situación del paciente Loayza, ya que su diseño de exoesqueleto híbrido para el miembro superior puede proporcionar movimientos pasivos y asistidos en hombro, codo, muñeca y mano, lo cual resulta fundamental para prevenir la atrofia muscular por desuso en el brazo izquierdo. Además, al incluir mecanismos de fijación y soporte para la extremidad, este dispositivo puede permitir que el paciente utilice el brazo como punto de apoyo en andadores u otros sistemas de marcha, contribuyendo así a mejorar la estabilidad al caminar. Asimismo, su estructura modular y adaptable facilita la integración con un arnés o sistemas de soporte adicionales, lo que ayuda a redistribuir el centro de masa y estabilizar el tronco, cubriendo de manera integral las necesidades funcionales y terapéuticas que presenta el caso clínico.

Fuente:

邹任玲, 周斌彬, 赵展, 胡秀枋, 徐秀林, 刘二宁, 徐言东, 骆金晨, 苏淏璇, 郭宛星, & 邸元帅. (2020, 7 julio). CN111374862A - 一种混合驱动仿生上肢康复训练装置 [Mixed drive bionic upper limb rehabilitation training device]. 国家知识产权局 (CNIPA).

Patente 5:

Número de patente / Publicación: CN108451747B

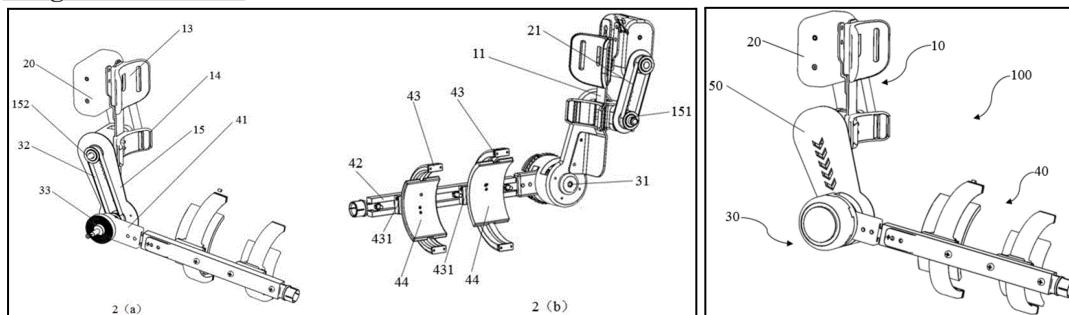
Título: A wearable elbow joint bone rehabilitation training device

Inventores: 李新伟, 喻洪流, 昌羸, 黄小海, 汪晓铭, 郝亮

Año de publicación: 2020

Entidad solicitante: University of Shanghai for Science and Technology

Imágenes asociadas:



Resumen funcional:

El dispositivo funciona guiando la articulación del codo en movimientos de flexión y extensión mediante un sistema motorizado que aplica torque controlado al brazo. Permite trabajar en tres modos: pasivo, donde el motor ejecuta todo el movimiento; asistido, donde complementa la fuerza parcial del usuario; y activo, donde regula y estabiliza el movimiento realizado por el paciente. Sensores y limitadores integrados controlan el ángulo, la velocidad y el rango articular para asegurar precisión y seguridad durante la rehabilitación.

Aspectos innovadores:

- Diseño vestible y ligero: exoesqueleto portátil que facilita el uso clínico y domiciliario, mejorando la comodidad del paciente.
- Modos pasivo, asistido y activo: permite una rehabilitación progresiva y personalizada según la fuerza y control del usuario.
- Sensores y limitadores: aseguran precisión en ángulo, velocidad y rango de movimiento, evitando lesiones.
- Estructura ajustable: se adapta a distintos tamaños de brazo, garantizando ergonomía y correcta alineación articular.

Limitaciones o vacíos:

- Dependencia de energía eléctrica: su funcionamiento requiere baterías o conexión a corriente, lo que puede limitar la autonomía en el hogar.
- Enfoque en un solo movimiento: se centra principalmente en la flexión-extensión del codo, sin cubrir otras articulaciones o movimientos más complejos.
- Necesidad de supervisión inicial: el uso domiciliario requiere capacitación previa para evitar un manejo inadecuado.
- Adaptabilidad parcial: aunque es ajustable, podría no adaptarse perfectamente a todas las morfologías o a pacientes con deformidades articulares severas.

Relación con la necesidad:

La patente CN108451747B se relaciona con la necesidad al ofrecer un exoesqueleto vestible que genera movimientos pasivos y asistidos en la articulación del codo, contribuyendo a la prevención de la atrofia muscular y a la recuperación funcional de la extremidad. Su diseño ergonómico y modular permite un ajuste preciso al brazo y proporciona estabilidad durante los ejercicios, aspectos que pueden integrarse y ampliarse a otras articulaciones, como su hombro y su mano. De esta manera, constituyendo una base aplicable para el desarrollo de un sistema de asistencia biomecánica que sea capaz de otorgar soporte tanto estructural como funcional al miembro superior, con posibilidad de mejorar la movilidad y facilitar el uso de otros dispositivos que puedan asistirlo.

Fuente: Li, X., Yu, H., Chang, Y., Huang, X., Wang, X., & Hao, L. (2020). *Wearable elbow joint skeletal rehabilitation training device* (CN108451747B). China National Intellectual Property Administration. <https://patents.google.com/patent/CN108451747B>

Patente 6:

Número de patente / Publicación: CN111803328B

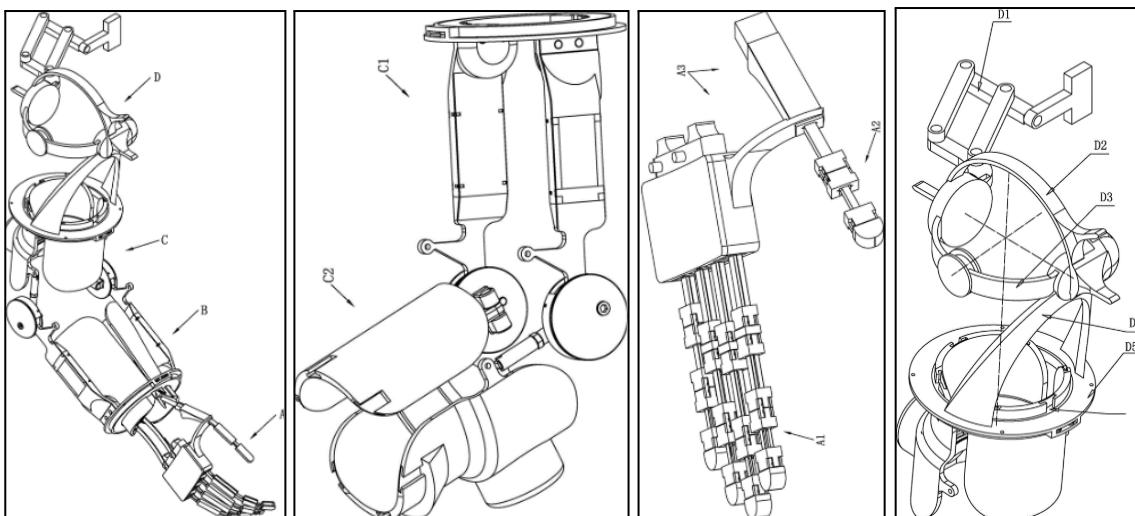
Título: Full upper limb exoskeleton rehabilitation robot

Inventores: 张福海付宜利林乐庚杨磊

Año de publicación: 2020

Entidad solicitante: Harbin Institute of Technology Shenzhen

Imágenes asociadas:



Resumen funcional:

El dispositivo asiste en los movimientos de mano, muñeca, codo y hombro, buscando recuperar múltiples grados de libertad. Utiliza un sistema de transmisión por cables Bowden conectados a motores externos, lo que permite reducir peso en el brazo. En la mano, utiliza tres módulos independientes (pulgar, cuatro dedos y palma) que convierten el movimiento rotatorio de carretes y engranajes en desplazamiento lineal mediante cremalleras, acompañado de sensores que miden desplazamiento y torque para controlar la fuerza aplicada. En la muñeca, tres motores actúan sobre un módulo de láminas elásticas para flexión/extensión y aducción/abducción, y un módulo de anillo para rotación interna/externa. En el codo, un motor tensa cables Bowden para flexión mientras un resorte de torsión permite la extensión y con un sensor Hall mide ángulos. En el hombro, cinco motores controlan flexión/extensión, abducción/aducción y rotación interna/externa mediante un mecanismo paralelo y un módulo de anillos, apoyados por estructuras pasivas que mejoran rigidez, compatibilidad biomecánica y permiten el intercambio entre lado izquierdo y derecho.

Aspectos innovadores:

- El uso de cables Bowden para transmitir la fuerza de los motores. Gracias a este diseño, los motores no están instalados directamente en el brazo del usuario, lo que reduce considerablemente el peso que debe soportar el hombro.
- La mayoría de las piezas del exoesqueleto pueden fabricarse mediante impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS).
- El dispositivo mide el torque generado en los dedos y en el codo mide el ángulo que forma al flexionarse. De esta manera, se regula cuánta fuerza aplica el exoesqueleto, evitando que se exceda el esfuerzo permitido y protegiendo al paciente de posibles lesiones.
- El diseño del exoesqueleto también presenta simetría en sus piezas, lo que permite su uso tanto en el brazo izquierdo como en el derecho sin necesidad de fabricar versiones distintas.
- El sistema cuenta con un modo espejo que permite replicar en el brazo afectado los movimientos que realiza el brazo sano.
- En el codo se incorpora un mecanismo basado en resortes de torsión y cables Bowden. Este sistema permite que, al tensar los cables, el codo se flexione, y al relajarlos, el resorte lo devuelva de manera natural a la extensión.

Limitaciones o vacíos:

En usuarios cuyo brazo presenta parálisis completa o ausencia total de control voluntario, el exoesqueleto enfrenta una limitación crítica. Aunque ofrece múltiples grados de libertad y mecanismos de asistencia en

mano, muñeca, codo y hombro, su utilidad se ve reducida si no existe un sistema de control capaz de interpretar la intención del usuario. Probablemente este dispositivo está diseñado para realizar movimientos pre programados en sesiones de rehabilitación.

Relación con la necesidad:

En el caso del paciente Loayza, este dispositivo podría ofrecer un número significativo de grados de libertad que actualmente se consideran perdidos. Sin embargo, dado que la prioridad en su rehabilitación es prevenir la atrofia por desuso y garantizar que pueda sujetar un andador, la complejidad y amplitud de movimientos del exoesqueleto resultan mayores a las estrictamente necesarias. Aun así, el uso de resortes y cables en el mecanismo del codo representa un aspecto clave, ya que facilita la asistencia al movimiento con un bajo costo energético. Además, considerando la subluxación presente en el hombro del paciente, la capacidad del exoesqueleto de descargar peso en esa articulación es fundamental.

Fuente: 张福海付宜利林乐庚杨磊, “Exoskeleton for full upper limb rehabilitation,” China Patent CN111803328B, Aug. 25, 2020. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/CN111803328B/en>. [Accessed: Sep. 25, 2025].

Reflexión final

¿Cuál de estas patentes sería más aplicable en un nuevo prototipo?

Todas las patentes ofrecen características importantes a considerar para el desarrollo de un prototipo, sin embargo, la patente **CN111374862A (exoesqueleto híbrido eléctrico-neumático)** destaca como la más completa, ya que aborda de manera integral los movimientos del hombro, codo, muñeca y mano, los movimientos a considerar en nuestro caso, de tal manera que previene la atrofia muscular y, al mismo tiempo, ofrecer soporte funcional para que el paciente pueda usar la extremidad como punto de apoyo en un andador. Además, su diseño modular y adaptable facilita la integración con un arnés estabilizador del tronco, lo cual se alinea directamente con la necesidad prioritaria del paciente Loayza.

¿Qué elementos de distintas patentes podrían integrarse para cubrir mejor la necesidad identificada?

- **De la patente CN111643315B (mano por tracción de cuerdas):** el uso de guante flexible con tracción por cuerdas para mantener ligereza y prevenir atrofia en los dedos.
- **De la patente CN102499857B (exoesqueleto de miembro superior con baterías):** la portabilidad mediante alimentación recargable, evitando dependencia de sistemas fijos.
- **De la patente US9730825B2 (guante con cables Bowden):** la transmisión de fuerza con actuadores externos, reduciendo peso en la mano y mejorando la comodidad.
- **De la patente CN108451747B (codo con modos pasivo, asistido y activo):** el control progresivo de la terapia, adaptable según la fuerza residual del paciente.
- **De la patente CN111803328B (resortes y descarga de peso en el hombro):** el uso de mecanismos pasivos que reduzcan esfuerzo energético y protejan la articulación inestable.

En conclusión cada patente investigada ofrece elementos interesantes a considerar en nuestro prototipo.