

Caso: Loayza Hito 1

Villarreal Mamani, Rosa Isabel: Gestora de materiales y logística
Santa María La Rosa Sánchez Alejandro Sebastián: Diseñador de Prototipo
Santivañez Portella, Gael Franz: Coordinación y planificación del proyecto
Torres Castañeda, Ricardo Percy: Investigador clínico y biomecánico
Valdivia Pari, Valeria Ivannia: Validación y prueba de dispositivo
Vásquez Cruz, Gustavo Alonso: Diseño y electrónica



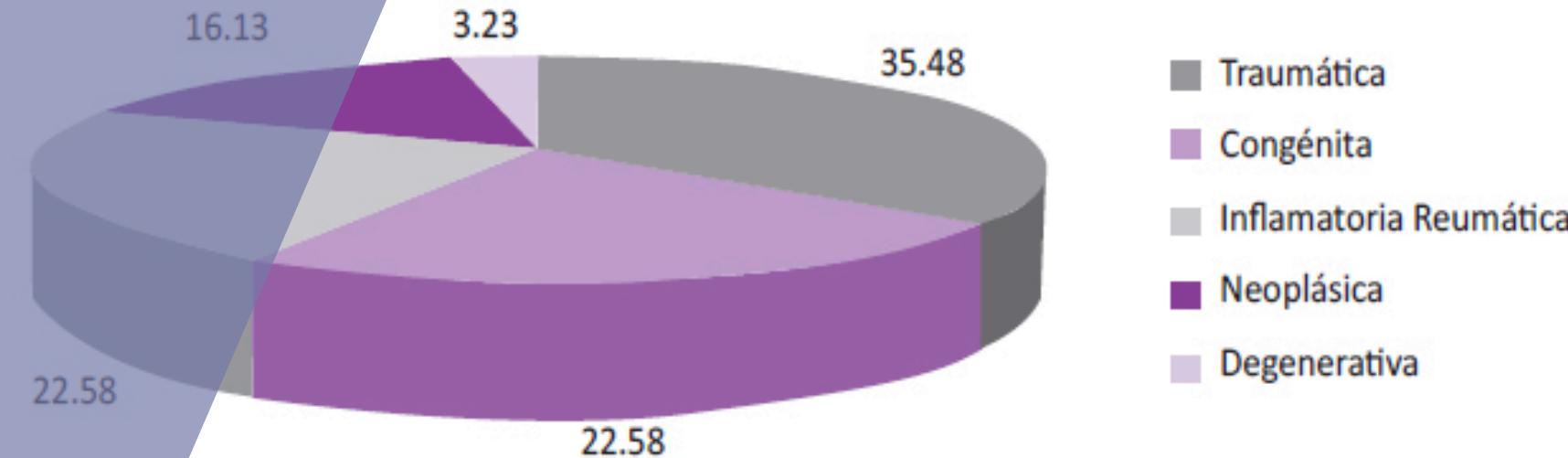
Análisis del caso

Patología: Lesión medular a nivel C4.

Consecuencias anatómicas y funcionales:

- Pérdida o cambio de sensibilidad en zonas por debajo del nivel de la lesión.
- Pérdida de la función del diafragma
- Atrofia muscular.
- Parálisis en brazos, manos, torso y piernas.
- Pérdida del control de la vejiga y/o intestinos.

Grupo de Patología Cervical Alta



[1] SpinalCord.com Team, "C3, C4, & C5 Vertebrae Spinal Cord Injury," SpinalCord.com, 26 Abril 2021. [En línea]. Disponible: https://www-spinalcord-com.translate.goog/c3-c4-c5-vertebrae-spinal-cord-injury?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

[2] Mayo Clinic Staff, "Spinal cord injury – Symptoms & causes," Mayo Clinic, 17 Ago. 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>

[3] J. F. Vargas Urbina et al., "Experiencia en patología cervical alta en el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen 2016–2021," Acta Méd. Peru., vol. 40, no. 1, ene.–mar. 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172023000100040

Necesidades funcionales

- Brindar soporte y asistencia al miembro superior izquierdo.
- Facilitar la participación del miembro superior en la marcha asistida.
- Optimizar la postura y equilibrio durante el desplazamiento.



Pronóstico funcional

- Recuperación parcial con posibilidad de marcha asistida y autonomía moderada.



Justificación

Brindar soporte y asistencia al miembro superior izquierdo.

Impacto en la vida diaria:

Afecta la autonomía del paciente generando dependencia en actividades cotidianas.

Justificación:

Favorecerá la independencia funcional.

Facilitar la participación del miembro superior en la marcha asistida.

Impacto en la vida diaria:

Disminuye la estabilidad, aumenta el esfuerzo físico y el riesgo de caídas.

Justificación:

Mejora seguridad y la capacidad de desplazamiento funcional.

Optimizar la postura y equilibrio durante el desplazamiento.

Impacto en la vida diaria:

La alteración postural generan desequilibrio, fatiga y dolor durante actividades prolongadas lo que limita la movilidad

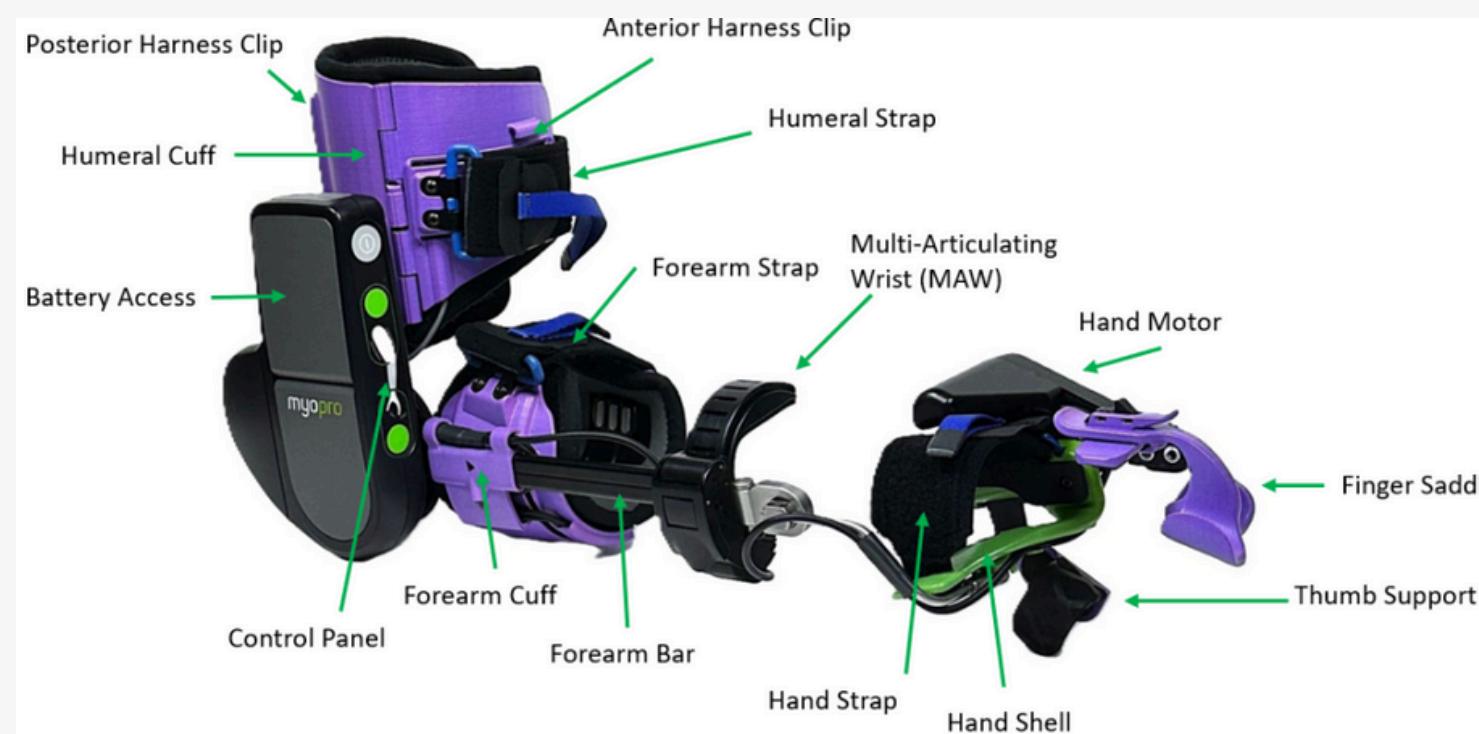
Justificación:

Reduce el esfuerzo energético durante la marcha asistida y contribuye a una mayor comodidad



Estado del Arte

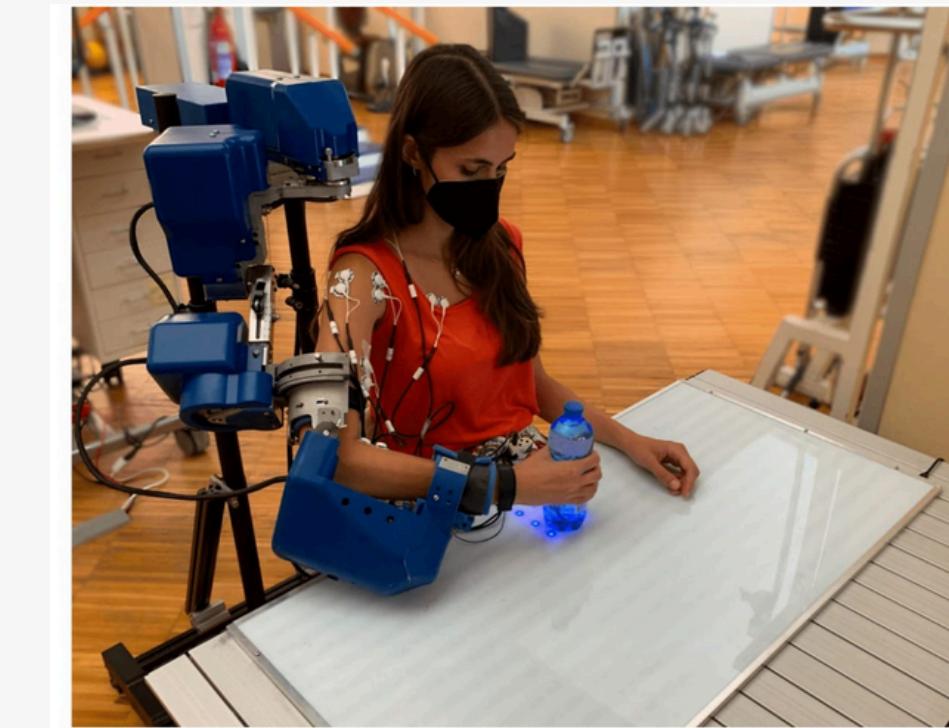
MyoPro, Ortesis mioeléctrica de codo-muñeca-mano



- Detecta señales musculares residuales (EMG) mediante sensores colocados sobre la piel.
- Los motores reproducen los movimientos de flexión/ extensión del codo y apertura/cierre de la mano.
- En el caso del paciente Loayza, las señales EMG serían insuficientes debido al nivel de la lesión medular.
- No contempla la estabilización del tronco ni la integración con sistemas de marcha.

[4] Myomo Inc., What is a MyoPro Orthosis, Myomo. [Online]. Available: <https://myomo.com/what-is-a-myopro-orthosis/>

AGREE: un exoesqueleto motorizado de miembro superior para restaurar las funciones del brazo



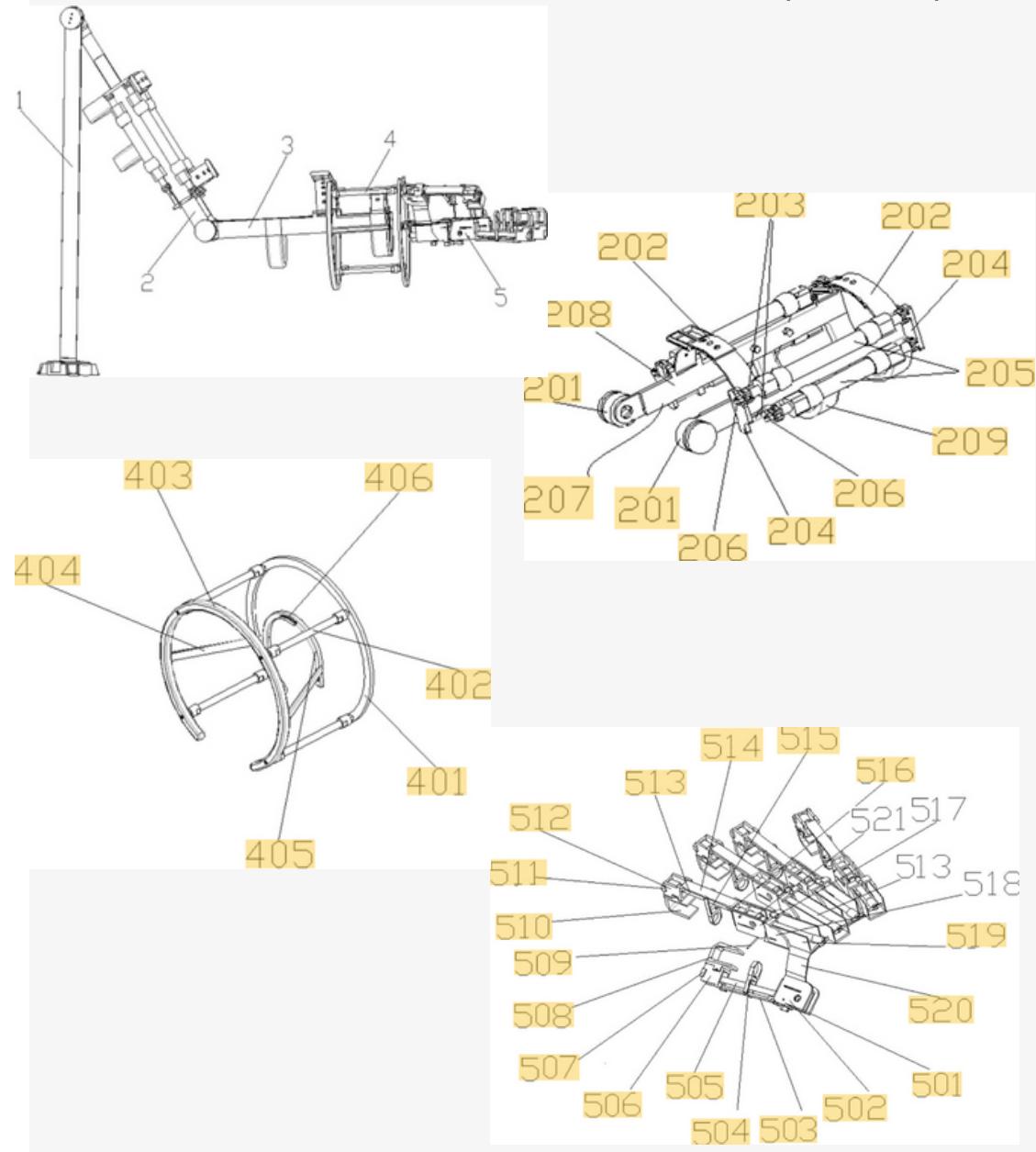
- Utiliza sensores de fuerza que detectan el intento de movimiento del usuario.
- Ajusta la asistencia en tiempo real, ofreciendo soporte proporcional al esfuerzo detectado.
- Dispositivo de uso clínico y estacionario.
- Para el paciente Loayza, sería necesario adaptarlo a una versión portátil.
- Integrarlo con un arnés postural, extendiendo su función hacia la marcha asistida.

[5] M. Gandolla, B. Luciani, V. Longatelli et al., "AGREE: an upper limb motorized exoskeleton for restoring arm functions: a single-blinded randomized controlled trial," *J. NeuroEngineering Rehabil.*, vol. 22, no. 134, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01651-7>

Estado del Arte

CN111374862A

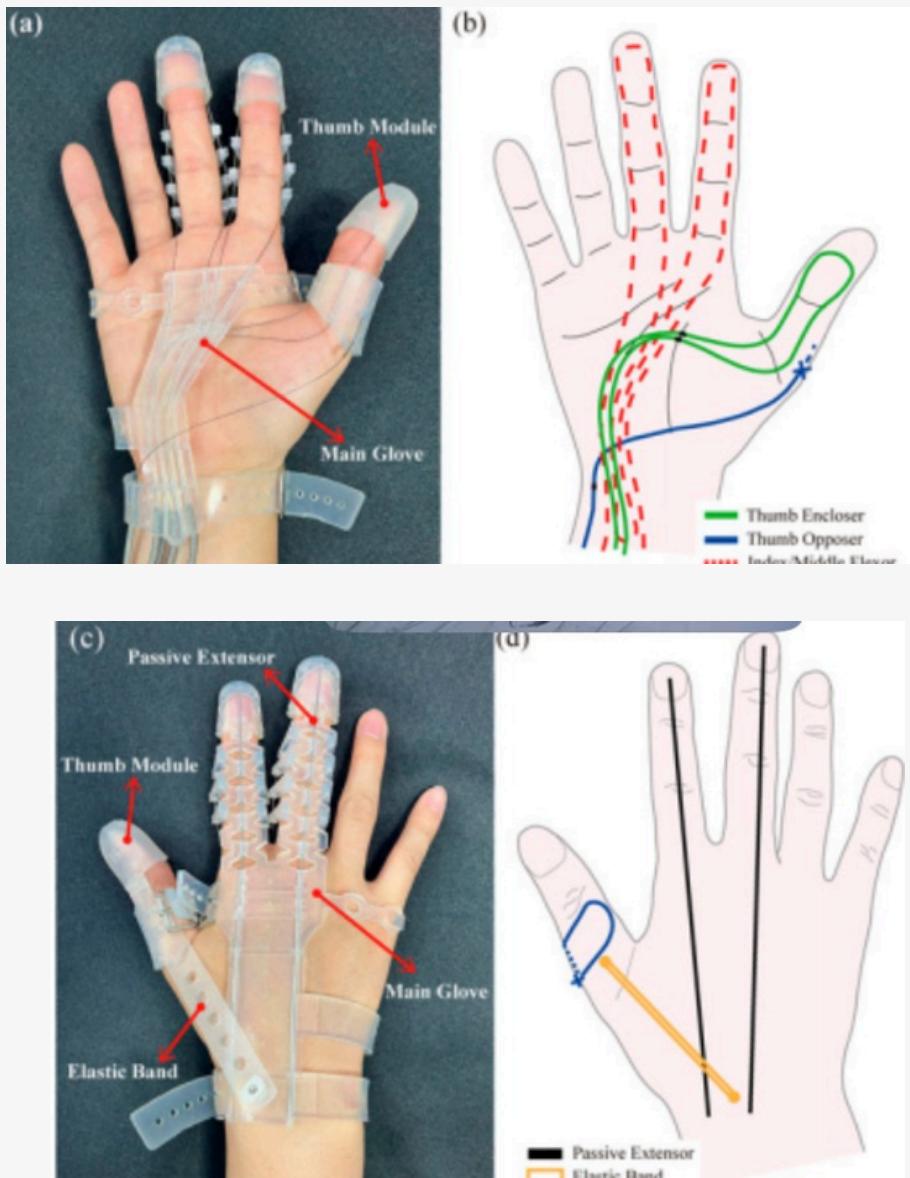
Exoesqueleto híbrido
eléctrico-neumático (2020)



[6] 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, and 邱元帅, “一种混合驱动仿生上肢康复训练装置 [Mixed drive bionic upper limb rehabilitation training device],” China Patent CN111374862A, Jul. 7, 2020. 国家知识产权局 (CNIPA).

Exo-Glove Poly III

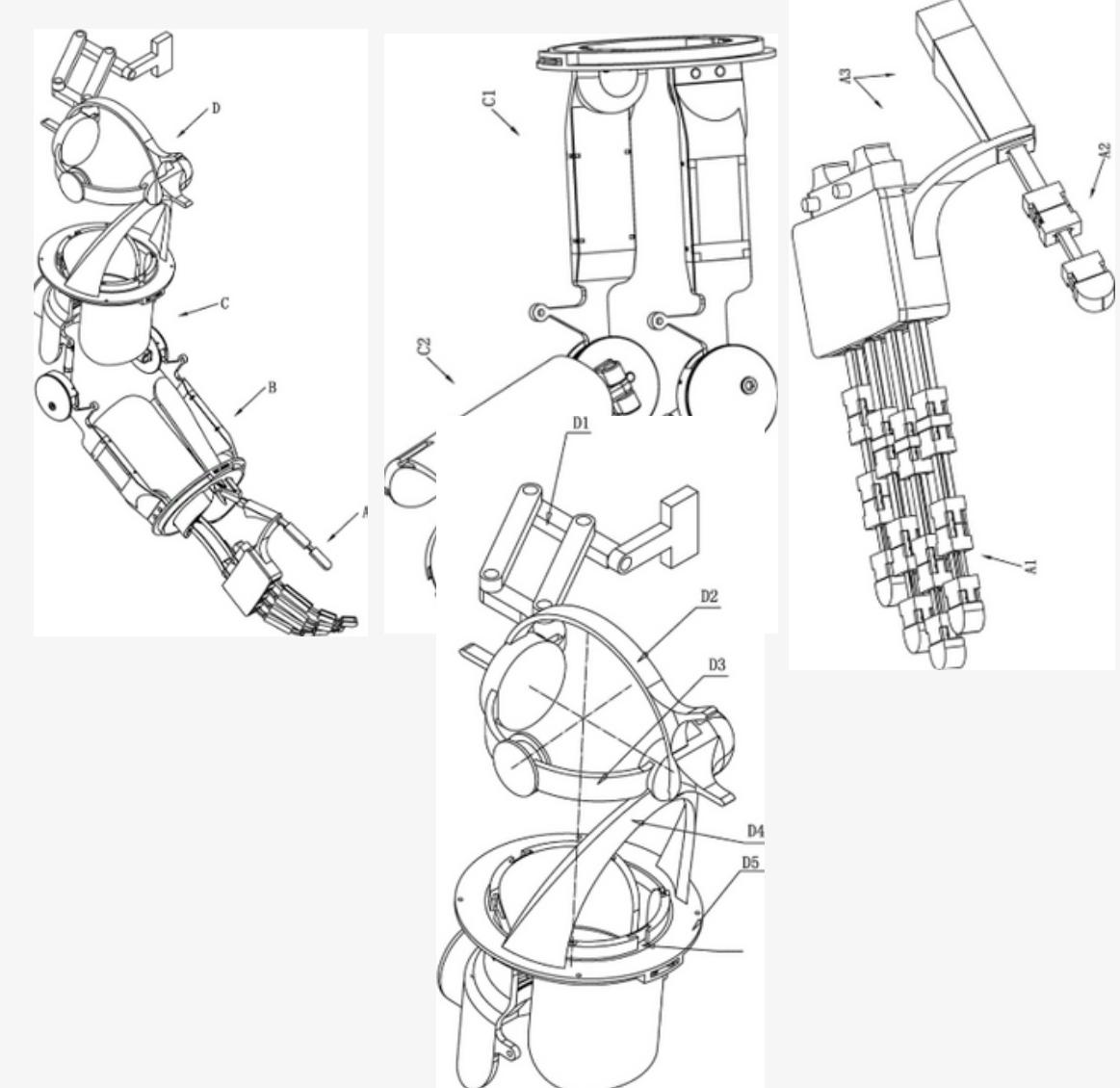
Asistencia de agarre mediante la modulación de la secuencia de movimiento del pulgar y los dedos con un único actuador



[7] K. B. Kim, H. Choi, B. Kim, B. B. Kang, S. Cheon, y K.-J. Cho, “Exo-Glove Poly III: Grasp Assistance by Modulating Thumb and Finger Motion Sequence with a Single Actuator,” Soft Robot., vol. 12, n.º 5, pp. 593-605, oct. 2025, doi: 10.1089/soro.2024.0113.

CN111803328B

Robot de rehabilitación con exoesqueleto de extremidades superiores completas



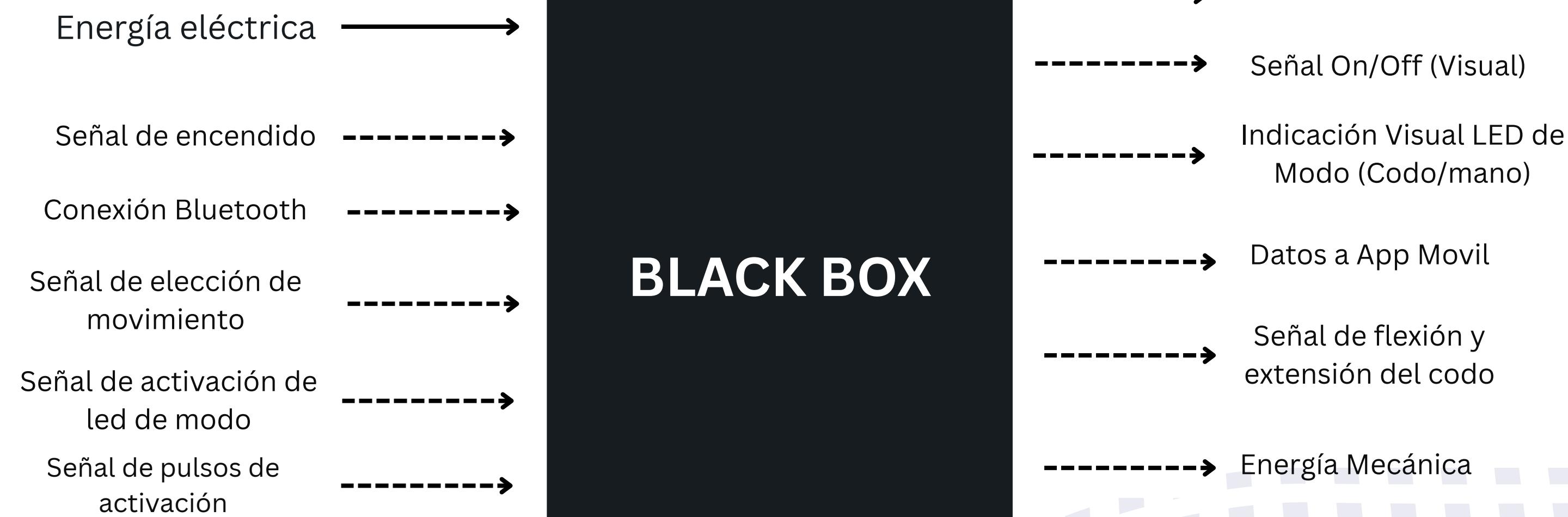
[8] 张福海, 付宜利, 林乐庚, and 杨磊, “Exoskeleton for full upper limb rehabilitation,” China Patent CN111803328B, Aug. 25, 2020. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/CN111803328B/en>. [Accessed: Sep. 25, 2025].

Lista de requerimientos funcionales

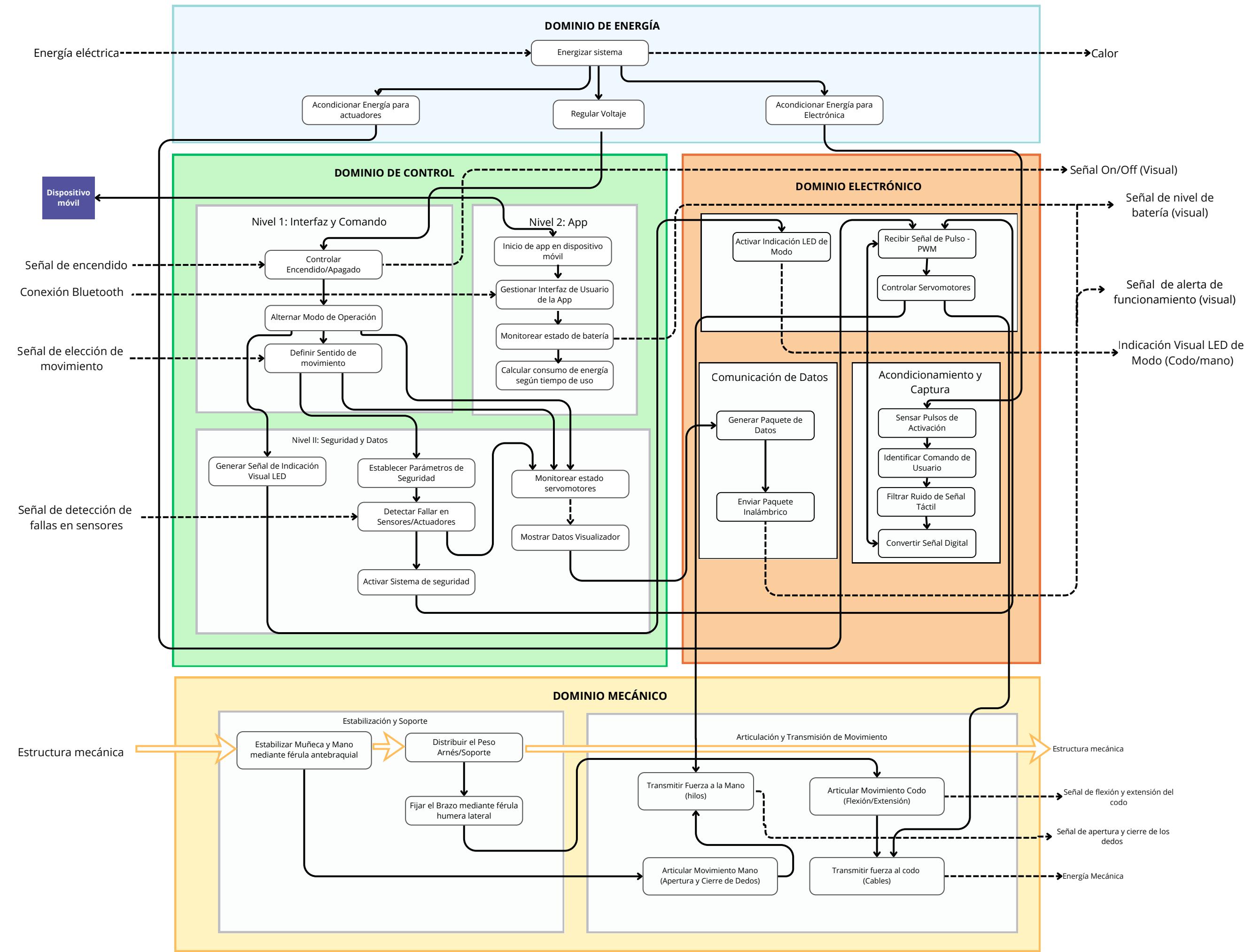


Requerimiento	Clasificación
Sujetar un andador con la mano, de manera que permite al paciente desplazarse con independencia.	Must have
Flexionar y extender el codo para posicionar el brazo de manera adecuada.	Must have
Controlar la apertura y cerradura de la mano para la firmeza de la sujecion.	Must have
Fijar codo y muñeca para evitar balanceo.	Must have
Recolectar datos mediante botones/sensores, de manera que permita tanto al paciente y al terapeuta controlar el dispositivo.	Must have
Mejorar la postura del paciente para acomodar el centro de gravedad y brindar estabilidad al paciente al mantenerse erguido.	Must have
Activar sistema de seguridad en caso de emergencias.	Nice to have
Duración de bateria de aproximadamente 3 horas.	Nice to have
Conexion mediante cables entre placas y servomotores.	Should have
Retroalimentación continua mediante una aplicación, acerca del tiempo de uso y rendimiento de la batería.	Should have

BLACK BOX



ESTRUCTURA DE FUNCIONES



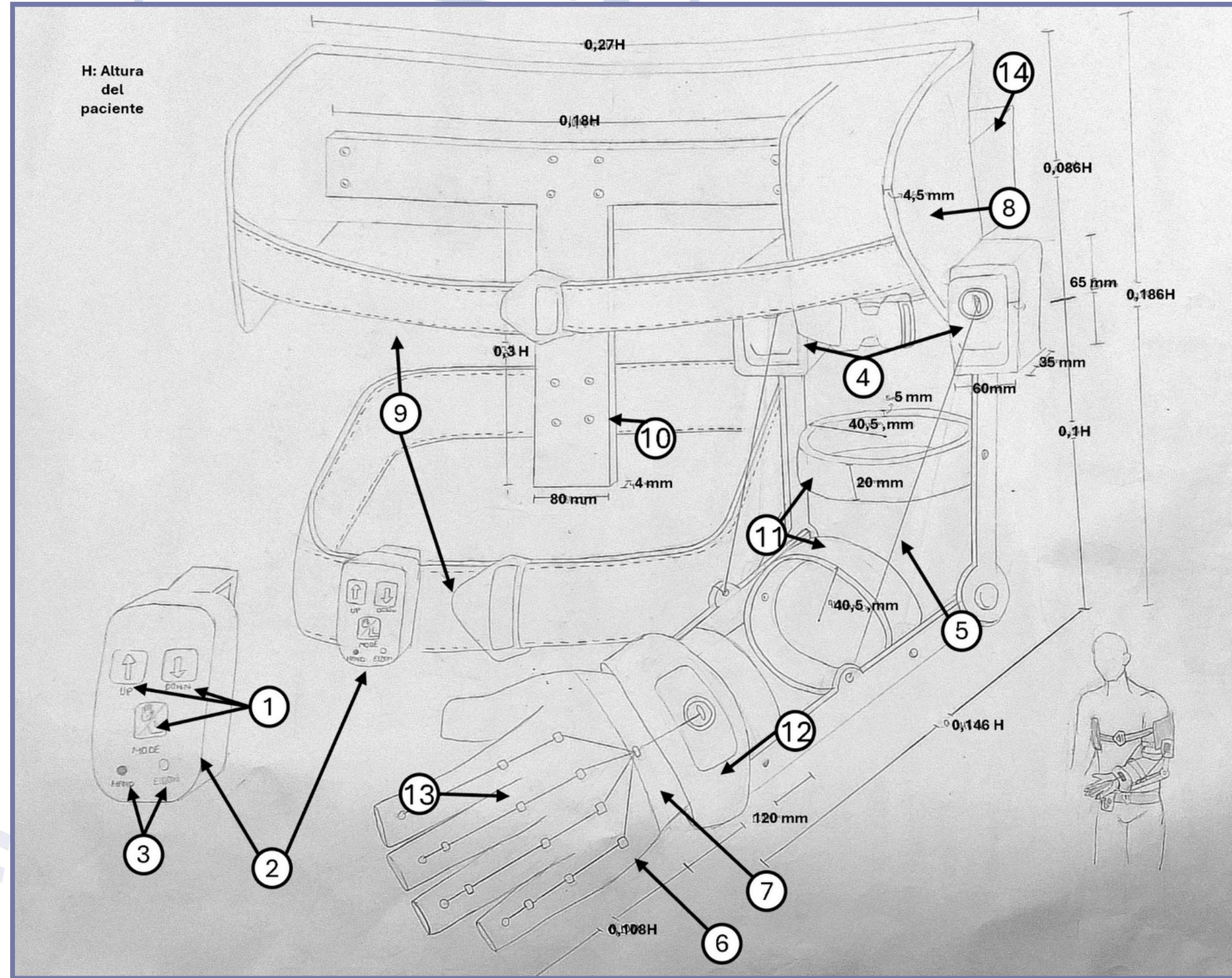
Matriz morfológica

Función / Subproblema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1. Activación y control del sistema	Aplicativo móvil con comandos directos	Sensores Flex en los dedos	Sensor capacitivo TTP223 en el guante
2. Seguridad y protección del paciente	Topes mecánicos en articulaciones	Confirmación visual/sonora desde módulo	Sistema de detección automática de posturas riesgosas
3. Estabilización del miembro y balance corporal	Arnés en forma de 8	Soporte dorsal en "T" ajustable	Estructura rígida envolvente
4. Fijación anatómica del hombro y muñeca	Férulas textiles reforzadas	Férulas impresas 3D en PLA	Férulas de polipropileno termoformado
5. Mecanismo de flexión y extensión del codo	Actuadores neumáticos	Pistones rotacionales	Servomotores con cables Bowden
6. Mecanismo de apertura y cierre de la mano	Microservos por dedo	Guante rígido con posición fija	Guante con hilos de nylon traccionados por servomotor
7. Ergonomía y confort del usuario	Material textil algodón-licra	Acolchado interno de espuma	Revestimiento anatómico de silicona
8. Alimentación y autonomía energética	Batería de 240W	Batería 30000mAh	Fuente externa cableada
9. Mantenimiento y modularidad	Módulos desmontables	Ensamble fijo con adhesivo	Sistema de encaje rápido (snap-fit)
10. Retroalimentación al usuario	Sin app, indicadores LED locales	Aplicativo móvil con monitoreo de batería y tiempo de uso	Plataforma web con registros históricos

Tabla de valoración

Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2
1. Viabilidad técnica	3	3
2. Costo de fabricación	4	2
3. Peso total del sistema	3	2
4. Facilidad de uso para el paciente	3	3
5. Facilidad de mantenimiento	3	4
6. Precisión del movimiento	3	2
7. Adaptabilidad al cuerpo del paciente	3	2
8. Disponibilidad de componentes	2	1
9. Nivel de control del movimiento	4	3
10. Requerimiento energético (autonomía)	3	2
11. Nivel de complejidad de programación	4	2
12. Durabilidad / confiabilidad esperada	4	4
Suma total (48 máximo)	39	31

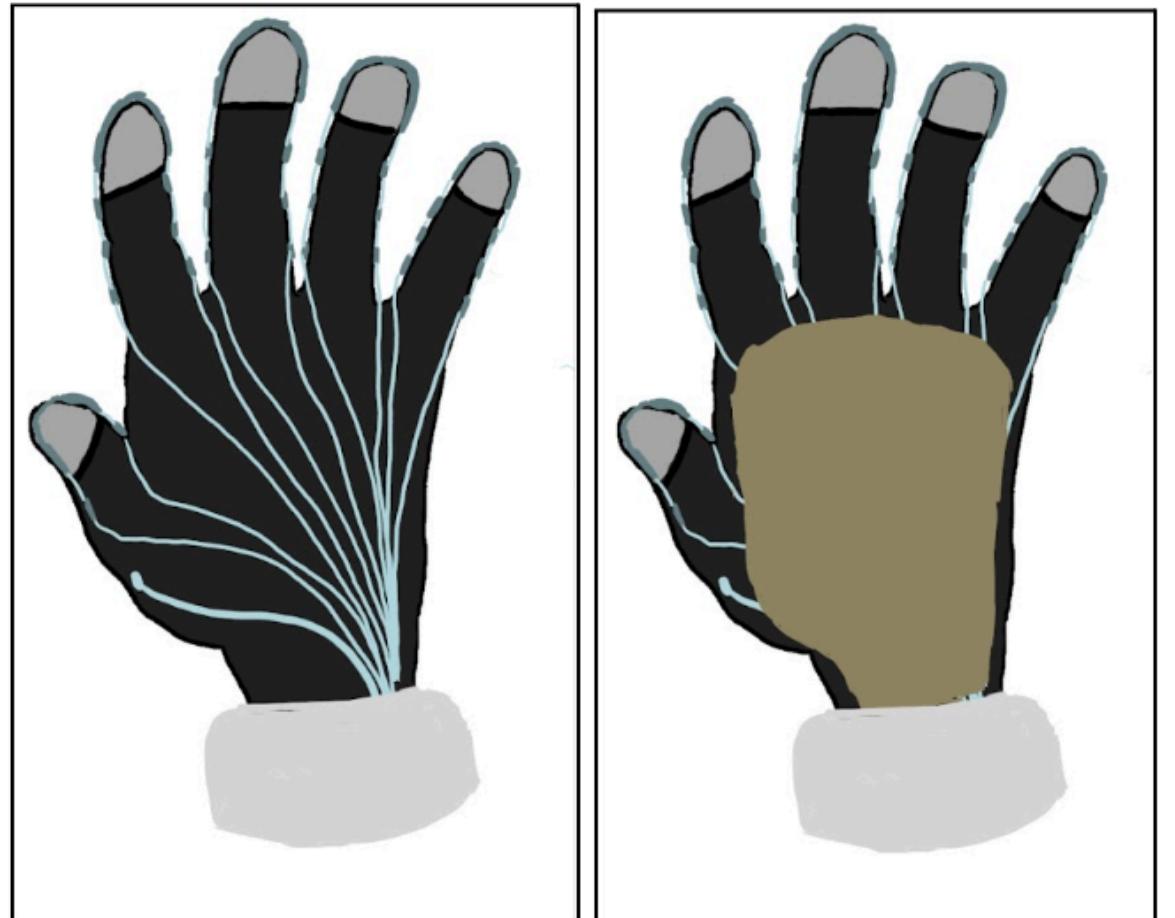
BOCETO : IDEA 1



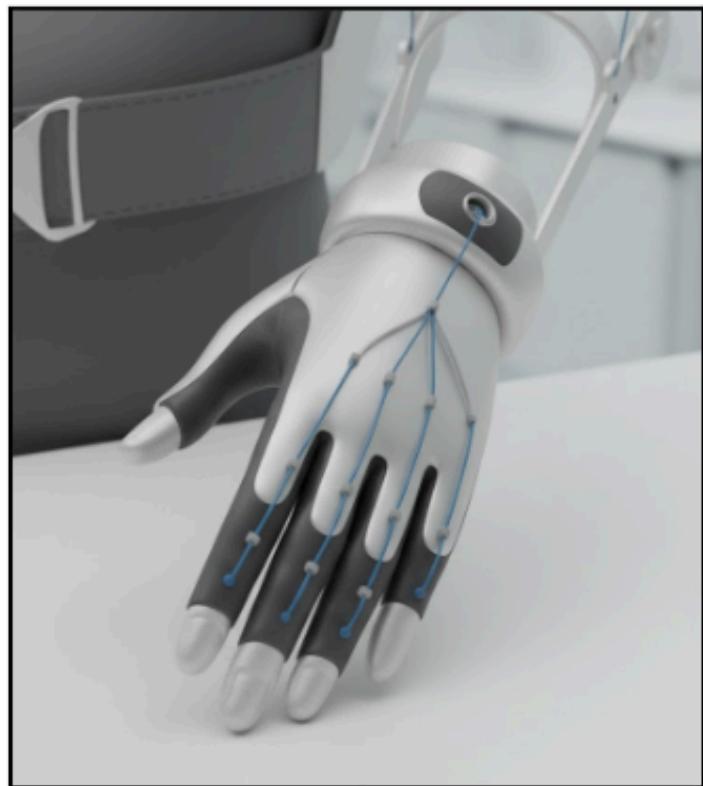
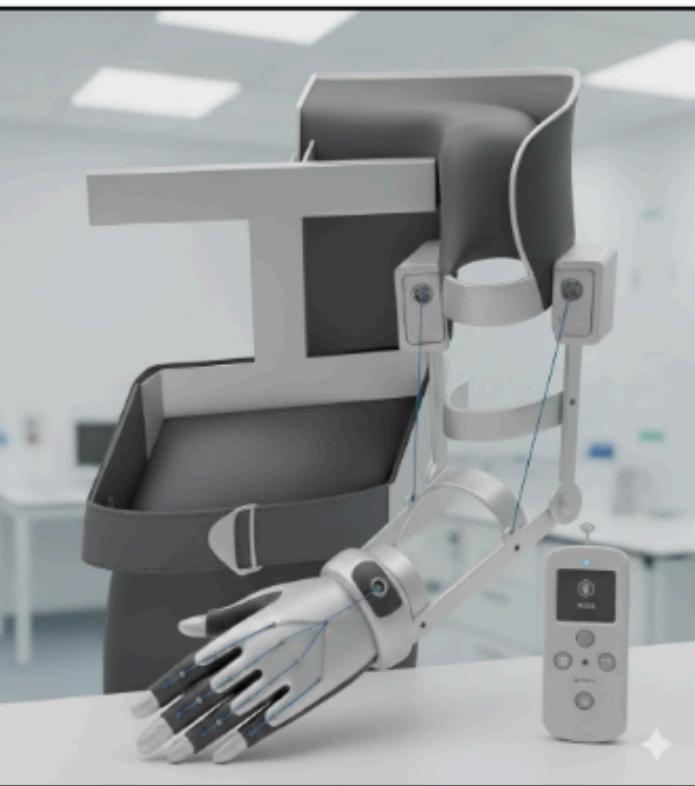
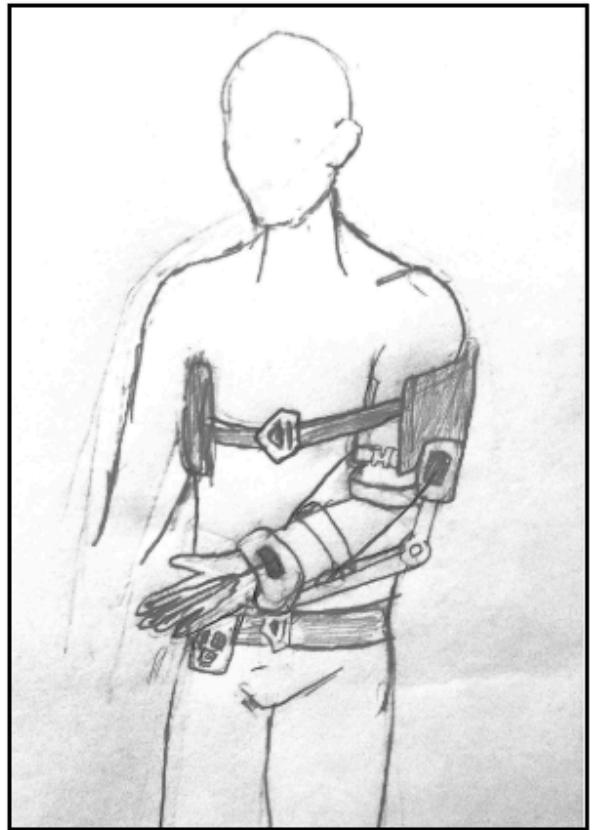
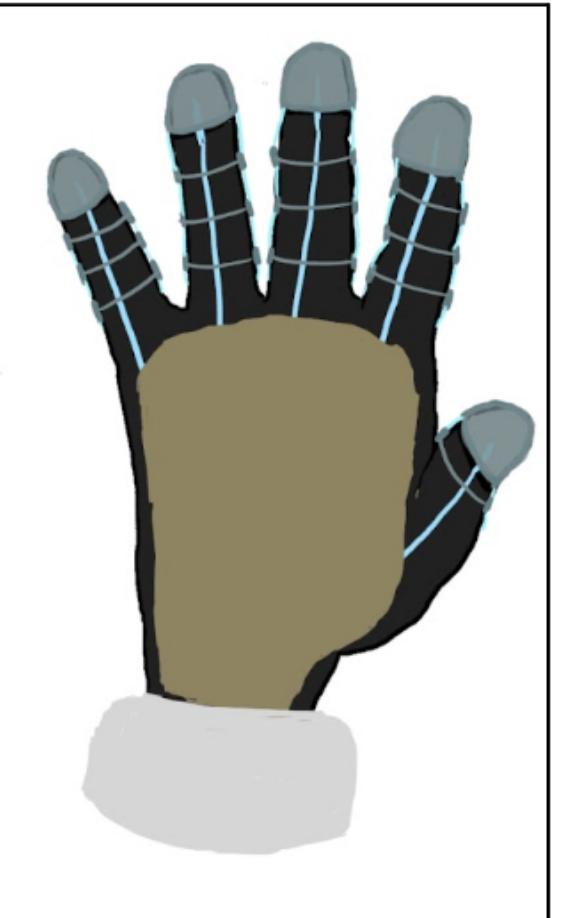
N.º	Nombre del componente
1	Sensores capacitivos TTP223
2	Unidad de control remoto (carcasa + microcontrolador)
3	Indicadores LED de estado
4	Servomotores laterales de control del codo
5	Sistema de cables (Extensión/flexión)
6	Guante exoesquelético (parte textil)
7	Guante exoesquelético (Férula antebraquial rígida)
8	Férula humeral lateral modular
9	Cinturones de ajuste
10	Soporte en forma de "T"
11	soportes con rótulas del brazo
12	Pulsera con servomotor para control de la mano
13	Cables con fijaciones para la mano
14	Compartimiento para batería, placa y microcontrolador

BOCETO 1

Vista de palma de la mano

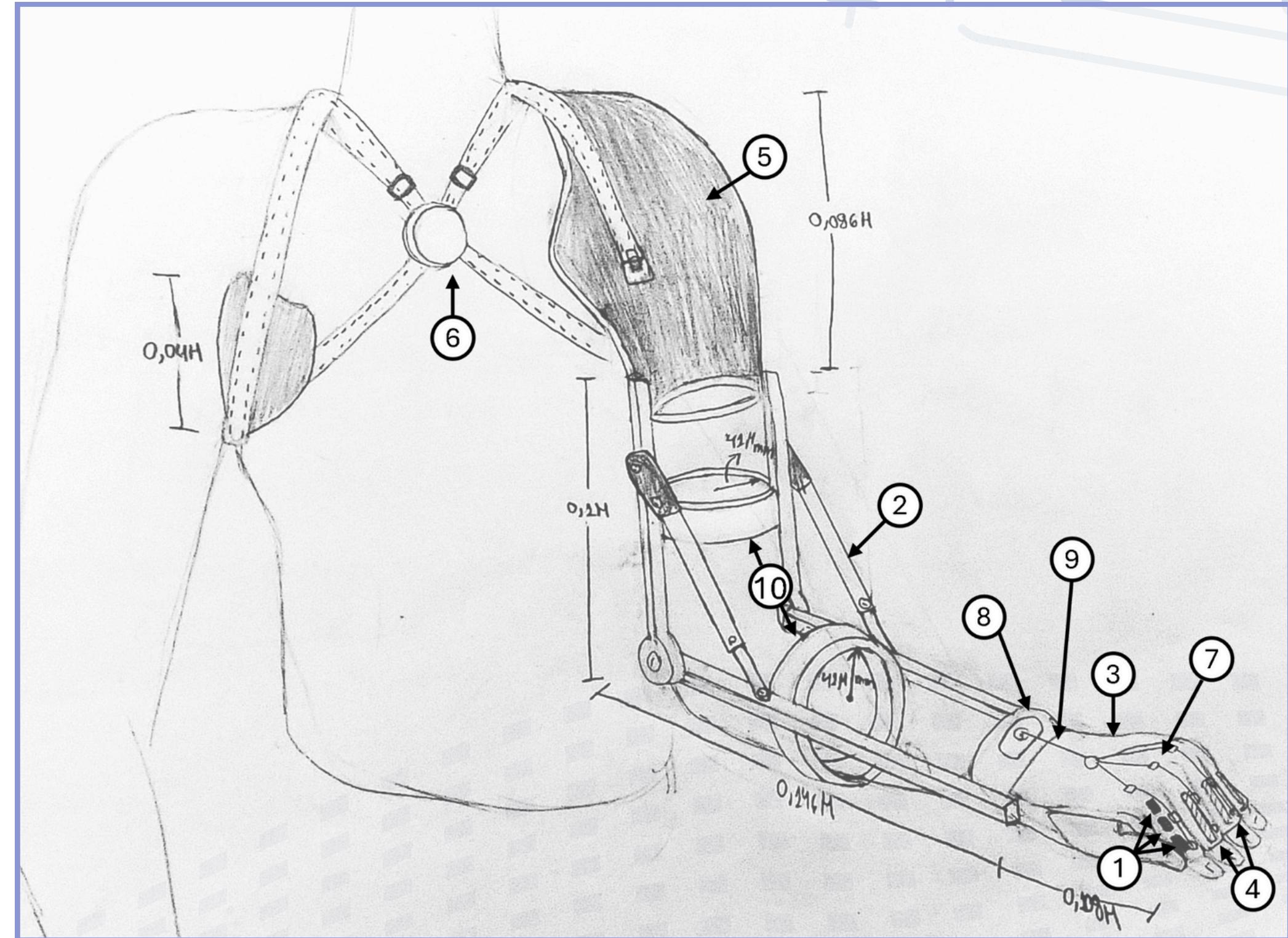


Vista superior de la mano



BOCETO : IDEA 2

N.º	Nombre del componente
1	Sensores capacitivos TTP223
2	Pistones rotacionales para el control del codo
3	Guante exoesquelético
4	Sensores flex
5	Férula humeral lateral modular
6	Arnés en forma de 8
7	Microservos por dedo
8	Pulsera con servomotor para control de la mano
9	Cables con fijaciones para la mano
10	soportes con rótulas del brazo



Medidas sacadas de: Chaffin, Don B, Andersson, Gunnar B.J. (1984). Occupational Biomechanics. EE.
UU.: John Willeys & Sons, Inc

CONCLUSIONES

NECESIDAD:

Surge de las limitaciones que presentan las personas con movilidad perdida en un miembro superior que no le permite sujetar un andador de manera segura y eficiente.

SOLUCIÓN:

Se propone el desarrollo de un exoesqueleto para miembro superior. El sistema incorpora un arnés estabilizador que distribuye el peso y mantiene el equilibrio del usuario, además de una interfaz sencilla de control que permite su uso de forma segura e intuitiva.



PROPOSITO:

Mejorar la calidad de vida y la autonomía del usuario, brindándole soporte físico en las tareas de agarre y sujeción necesarias para el uso de un andador.

Referencias

- [1] SpinalCord.com Team, “C3, C4, & C5 Vertebrae Spinal Cord Injury,” SpinalCord.com, 26 Abril 2021. [En línea]. Disponible: https://www-spinalcord-com.translate.goog/c3-c4-c5-vertebrae-spinal-cord-injury?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=t
- [2] Mayo Clinic Staff, “Spinal cord injury – Symptoms & causes,” Mayo Clinic, 17 Ago. 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>
- [3] J. F. Vargas Urbina et al., “Experiencia en patología cervical alta en el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen 2016–2021,” Acta Méd. Peru., vol. 40, no. 1, ene.–mar. 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172023000100040
- [4] Myomo Inc., What is a MyoPro Orthosis, Myomo. [Online]. Available: <https://myomo.com/what-is-a-myopro-orthosis/>
- [5] M. Gandolla, B. Luciani, V. Longatelli et al., “AGREE: an upper limb motorized exoskeleton for restoring arm functions: a single-blinded randomized controlled trial,” J. NeuroEngineering Rehabil., vol. 22, no. 134, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01651-7>
- [6] 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, and 邸元帅, “一种混合驱动仿生上肢康复训练装置 [Mixed drive bionic upper limb rehabilitation training device],” China Patent CN111374862A, Jul. 7, 2020. 国家知识产权局 (CNIPA).
- [7] K. B. Kim, H. Choi, B. Kim, B. B. Kang, S. Cheon, y K.-J. Cho, “Exo-Glove Poly III: Grasp Assistance by Modulating Thumb and Finger Motion Sequence with a Single Actuator,” Soft Robot., vol. 12, n.º 5, pp. 593-605, oct. 2025, doi: 10.1089/soro.2024.0113.
- [8] 张福海, 付宜利, 林乐庚, and 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].
- [9] Chaffin, Don B, Andersson, Gunnar B.J. (1984). Occupational Biomechanics. EE.UU.: John Willeys & Sons, Inc