

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA -
INGENIERÍA BIOMÉDICA



FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO

Entregable 7 - Caso Loayza

AUTORES:

Villarreal Mamani, Rosa Isabel

Santa Maria La Rosa Sanchez, Alejandro Sebastian

Santivañez Portella, Gael Franz

Torres Castañeda, Ricardo Percy

Valdivia Pari, Valeria Ivannia

Vásquez Cruz, Gustavo Alonso

DOCENTES:

Juan Manuel Zuñiga

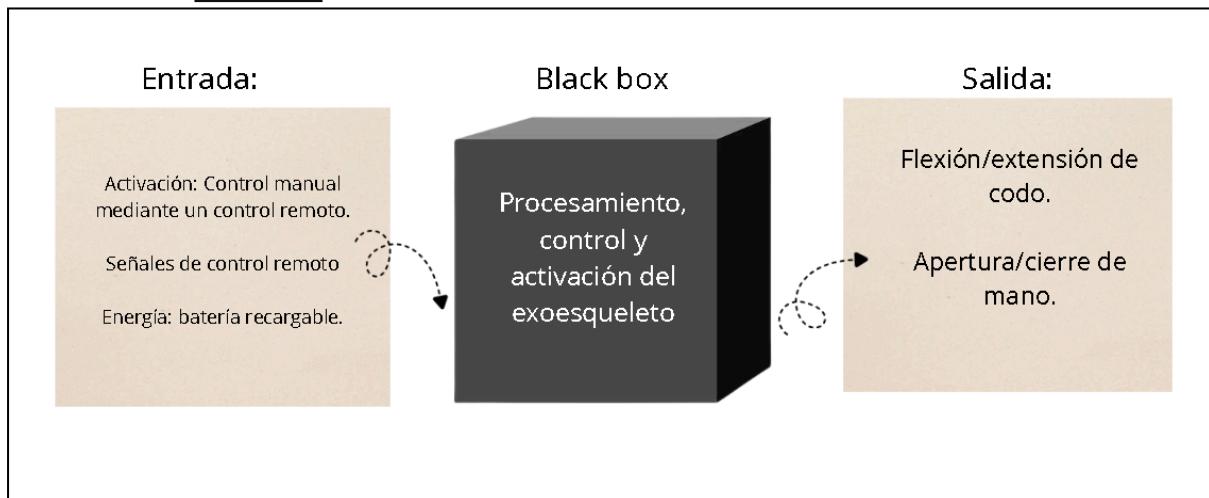
Grupo 15

Lima, 9 de octubre del 2025

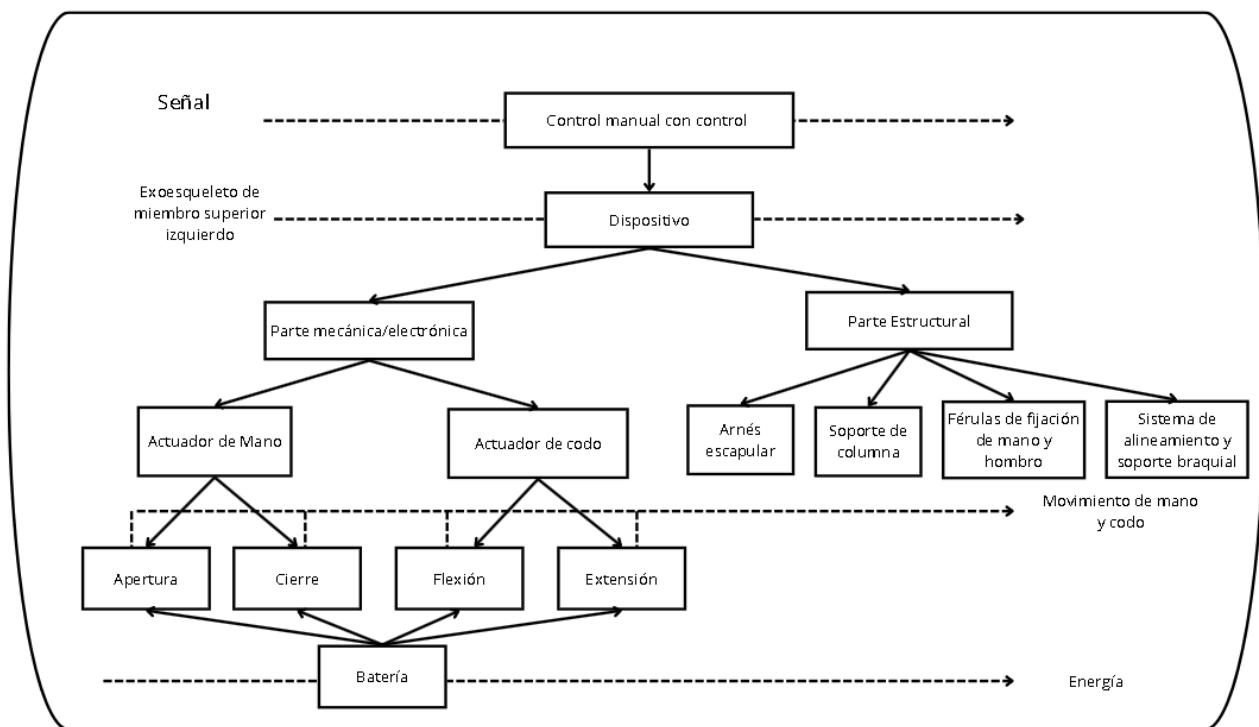
CHECKPOINT 3 – ARCHITECTURE

1. MODELOS Y PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN

Black box:



Esquema de funciones:



Matriz morfológica:

Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Abrir y cerrar la mano	Guante con hilos de nylon jalados por un servomotor.	Guante en forma de C con posición fija.	Ortesis de dedos que usando micro servos mueven cada falange.

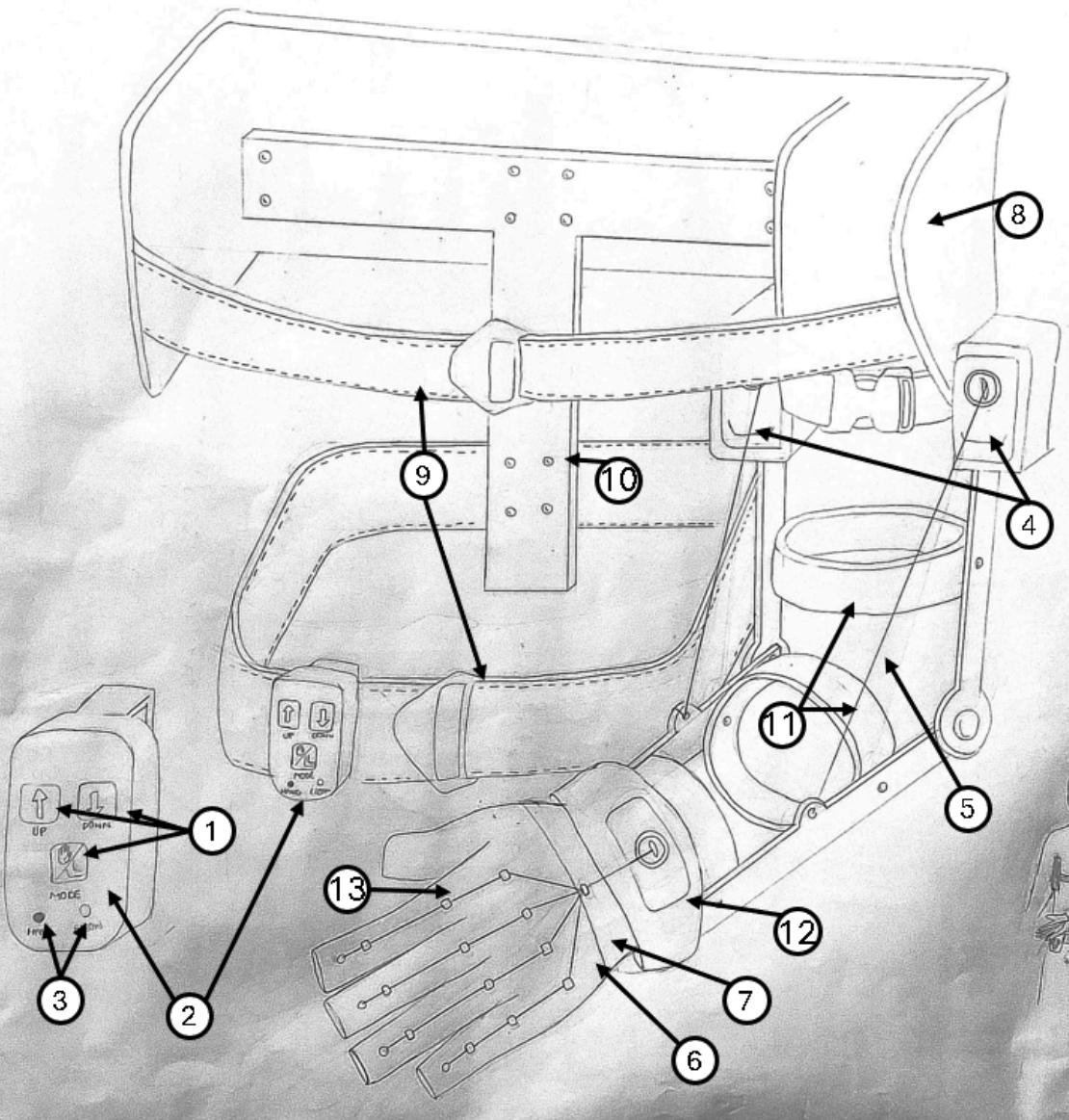
Flexión y extensión del codo	Actuadores neumáticos a la altura del codo.	Pistones rotacionales que empujan al brazo.	Servomotores que jalan cables unidos a un soporte del antebrazo.
Fijar muñeca y fijar hombro	Férulas de tela	Férulas impresas 3D con plástico	Férula de polipropileno
Estabilizar el centro de masa del paciente	Arnés en forma de 8 con tubo horizontal	Soporte en la espalda con forma de T sujeto con correas	Soporte con forma de rectángulo horizontal.
Sistema de control	Control remoto	Sensores flex (en el dedo con movilidad)	Sensores TTP223 en el dedo índice del guante
Seguridad	Topes de seguridad integrados en el diseño del dispositivo.	Botón de seguridad ubicado en el sistema de control.	Sistema de autodetección de postura peligrosa.

Tabla de valoración:

Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2
1. Viabilidad técnica	5	3
2. Costo de fabricación	3	2
3. Peso total del sistema	4	3
4. Facilidad de uso para el paciente	4	4
5. Facilidad de mantenimiento	4	2
6. Precisión del movimiento	4	5
7. Adaptabilidad al cuerpo del paciente	5	0
8. Disponibilidad de componentes	3	2
9. Nivel de control del movimiento	4	5
10. Requerimiento energético (autonomía)	3	2
11. Nivel de complejidad de programación	4	1
12. Durabilidad / confiabilidad esperada	5	5
Suma total (60 máximo)	48	34

2. ESPACIO DE SOLUCIÓN

BOCETO 1: EXOESQUELETO COMPLETO



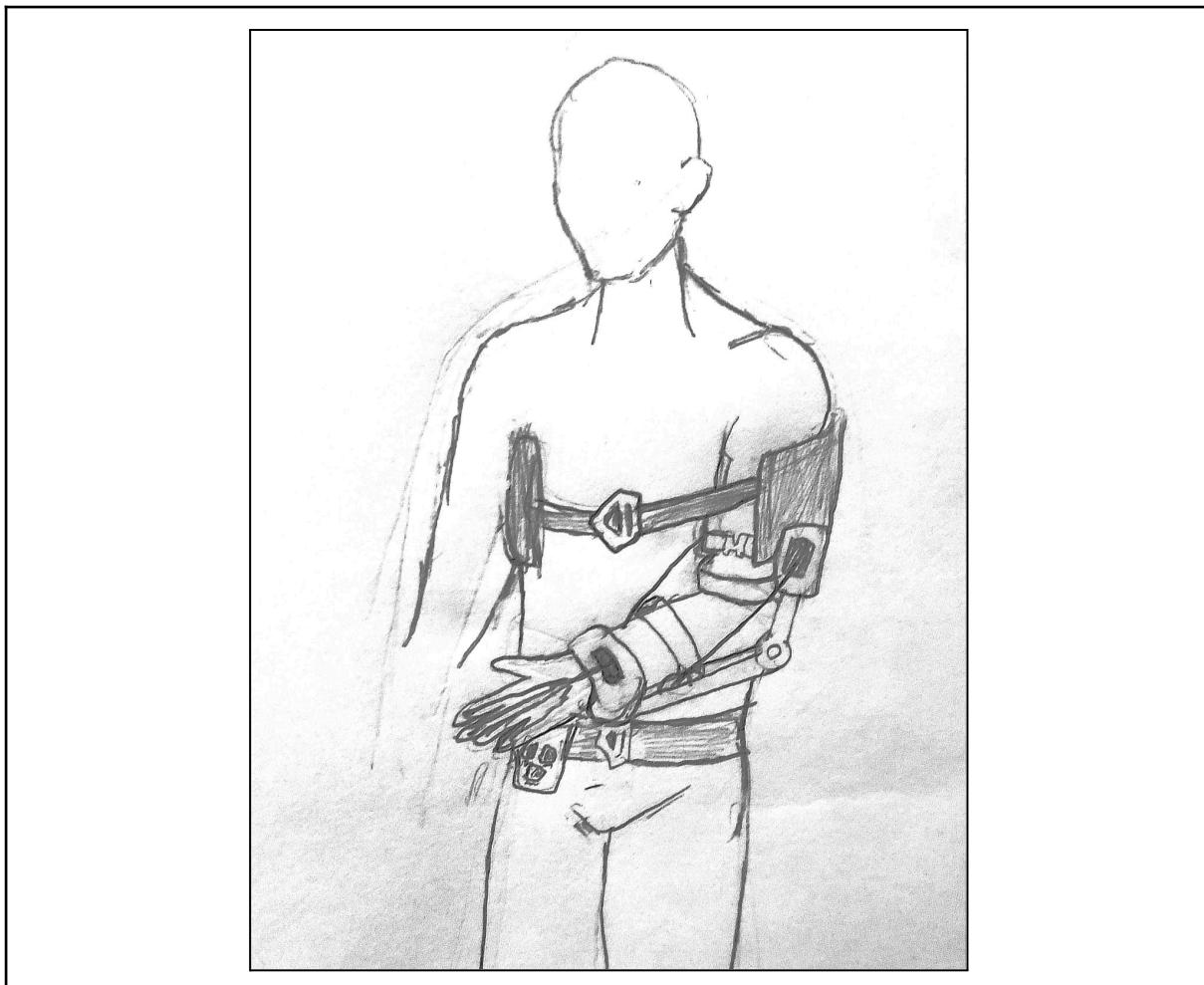
El exoesqueleto asistencial para miembro superior izquierdo opera mediante un sistema de control remoto capacitivo, compuesto por tres sensores táctiles TTP223 integrados en una pequeña unidad portátil que puede colocarse en la correa, bolsillo o cualquier zona accesible del usuario. Uno de los sensores permite alternar entre dos modos de funcionamiento: modo codo y modo mano. En el modo codo, los otros dos sensores controlan la flexión y extensión del brazo a través de dos servomotores ubicados en los laterales del brazo, los cuales transmiten el movimiento mediante hilos conectados al soporte del antebrazo. En el modo mano, esos mismos sensores controlan la apertura y cierre de la mano, accionando un sistema de cables que recorren el dorso del guante exoesquelético, permitiendo el movimiento sincronizado de los dedos.

La estructura mecánica del dispositivo está formada por un arnés escapular, diseñado para distribuir el peso y mantener una postura estable del hombro, especialmente en pacientes con subluxación. Este arnés

incorpora un cuerpo de exoesqueleto compuesto por un soporte posterior rígido en forma de “T”, que actúa como columna estructural y punto de anclaje para los módulos del brazo, este es ajustable con correas. Desde la base superior se extiende una férula humeral lateral modular, que asegura la fijación del brazo al hombro y sirve de soporte para los actuadores. En la región braquial se integran soportes con rótulas, lo que permite un alineamiento anatómico natural del movimiento. El sistema culmina en un guante exoesquelético dividido en dos secciones: una férula antebraquial rígida, que estabiliza la muñeca manteniendo la mano en posición prona, y una parte textil flexible, que recubre los dedos y facilita la transmisión del movimiento mediante los cables de tracción.

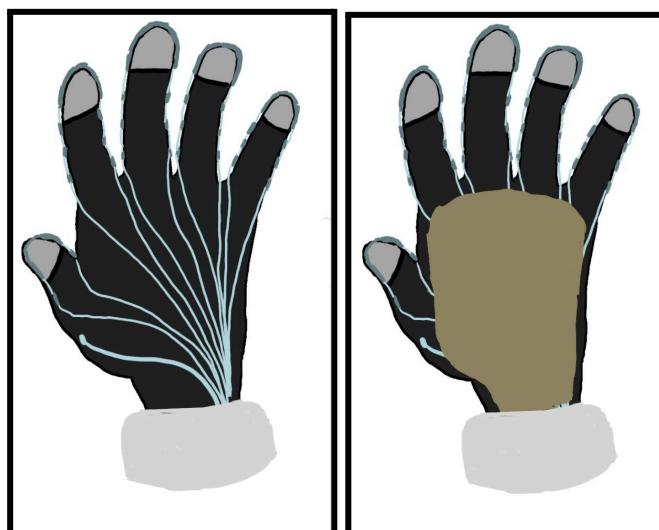
N.º	NOMBRE DEL COMPONENTE
1	Sensores capacitivos TTP223
2	Unidad de control remoto (carcasa + microcontrolador)
3	Indicadores LED de estado
4	Servomotores laterales de control del codo
5	Sistema de cables (Extensión/flexión)
6	Guante exoesquelético (parte textil)
7	Guante exoesquelético (Férula antebraquial 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

BOCETO 2: EXOESQUELETO SIENDO USADO

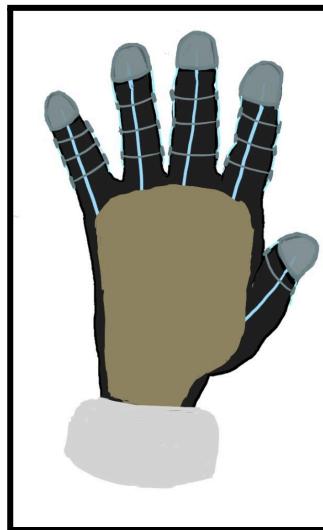


BOCETO 3: DISEÑO DEL GUANTE Y DISTRIBUCIÓN DE CABLES CON DISEÑO DIGITAL:

VISTA DE PALMA DE LA MANO

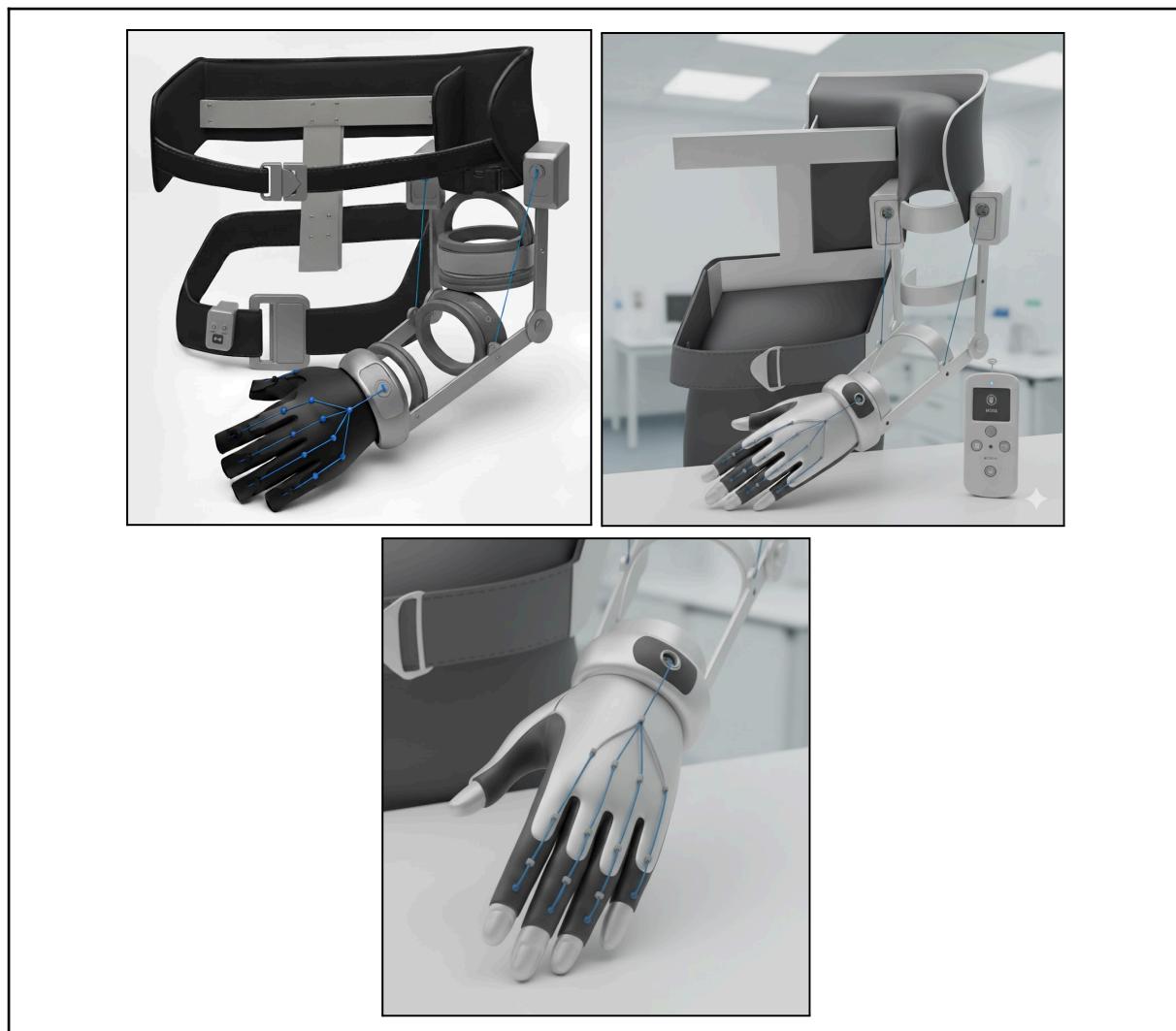


VISTA SUPERIOR DE LA MANO



La distribución de los cables mostrada en la vista de la palma de la mano logran que el movimiento de los dedos se pueda realizar con 1 solo servomotor controlando el movimiento, usando diferentes tensiones de cables se logra un movimiento determinado y sincronizado para poder lograr cerrar la mano. Mientras que usando otro servomotor, se logra el control de estas tensiones para lograr diferentes tensiones y ajustar el agarre al requerido por el usuario. Por otro lado, en la contrapalma se colocan extensores pasivos, para mantener la posición de reposo de mano abierta y ayudar a ese movimiento.

VISIÓN 3D GENERADA CON IA:



3. ¿FABRICAR O ADQUIRIR?

ACCIÓN	COMPONENTE	MATERIAL	JUSTIFICACIÓN
FABRICAR	Estructura principal (Exoesqueleto)	Impresión 3D en PLA	El PLA nos permite prototipar rápido y barato ofreciendo suficiente rigidez para los movimientos asistidos. Sencillo y económico.
	Carcasa del control remoto (estructura externa)	Impresión 3D en PLA	
	Guante https://www.telasperu.com/lycra-pesada/	Tela Algodón-Licrado (Algodón-Spandex), Placa Impresa 3D PLA (fijación de muñeca)	Parte inferior rígida para fijar la muñeca (garantiza soporte estructural), parte

			superior elástica para evitar presión y libertad de movimiento.
ADQUIRIR	<p>PLACAS: Arduino UNO https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/arduino-uno-r3-compatible/?srsltid=AfmBOopLXKaeMWBzJv8t0DSoHeHGcqFsj3FEUO8ZbRPuyw7J7SPpPj2H</p> <p>Arduino NANO https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/arduino-nano-r3-compatible/?srsltid=AfmBOopLXKaeMWBzJv8t0DSoHeHGcqFsj3FEUO8ZbRPuyw7J7SPpPj2H</p>	Electrónico-PCB	<p>Arduino Nano: por su tamaño compacto bajo consumo y compatibilidad con sensores TTP223 y módulos RF.</p> <p>Arduino UNO: compatible con módulos RV y servomotores.</p>
	Tapa del control remoto (parte superior)	Acrílico transparente	Protege los sensores táctiles y permite el paso de la señal capacitiva.
	Sensor táctil TTP223 https://www.electromania.pe/producto/sensor-tactil/	Electrónico- Sensor capacitivo	Permiten interacción sin botones mecánicos. duraderos y sensibles al tacto.
	Módulo transmisor y receptor RF 433 MHz https://www.electromania.pe/producto/modulo-rf-433mhz/	Electrónico-Módulo de RF	Ideal para transmisión simple y rápida de señales digitales sin emparejamiento.
	<p>Servomotores</p> <p>-Savox budget B-08x (8kg-cm) @6v (mano) https://www.savoxusa.com/products/savb08kg-budget-analog-servo-15-8kg-cm/</p> <p>-JX PDI-6221MG (20kg-cm) (codo) https://www.tecnoteca.es/producto/servo-digital-metalico-pdi-6221mg-180-20kgcm/</p>	Metal, plástico y componentes electrónicos	<p>-Savox budget B-08x permite validar el movimiento funcional de dedos debido a su torque adecuado y engranajes resistentes al uso repetitivo.</p> <p>-JX PDI-6221MG proporciona el torque suficiente para mover el codo de un paciente inmovilizado.</p>

	<p>Batería recargable li-ion 3.7 V https://bracsan.pe/producto/bateria-de-litio-li-ion-recargable-3-7v-2600mah-18650/</p> <p>Batería recargable Li-Po 7.4 V https://bracsan.pe/producto/bateria-lipo-hj-7-4v-2200mah-2s-lipo-7v4-2200hj/</p>	Electroquímico	Proporciona energía estable y duradera. Le dan portabilidad y recargabilidad al control remoto y exoesqueleto.
	<p>-Sistema de Cables (extensión y flexión del codo) https://modasa.pe/cable-bowden-de-8-lineas-r06elvw0018.html?srsltid=AfmBOorTGIaqVg1RNIBiq7dXzzIwKW_syp7xg-4acGvt4JaRM2fhkzai&utm_source=chartgpt.com</p> <p>-Cables con fijadores (mano) https://www.tailoy.com.pe/hiло-de-pescar-n-50-4380.html?srsltid=AfmBOooCW7fYTc5wUzM9QqtPOFrIX19Dcup4Rvkn-zQHaVmmZlYk6u5r</p>	Cables bowden, hilos de nylon	<p>Cables bowden brindan flexibilidad, permiten enrutar el cable a lo largo del brazo sin necesidad de mecanismos rígidos o voluminosos.</p> <p>Los hilos de nylon cumplen con los requisitos de ligereza, flexibilidad y adaptabilidad, permitiendo pasar a través de pequeños orificios o guías dentro de la estructura de la mano.</p>
	<p>Cinturones de ajuste https://www.wiser.pe/cinturon-ajustable-multifuncional?srsltid=AfmBOorHTiUCWxYJmqkMgrJntGK1mqv60ffJbee_wuoDBdoHM88fmO3g&variant_id=109029813</p>	Nylon, con broches plásticos	Ajustables y resistentes, lo que proporciona comodidad al paciente.
	<p>Soporte en "T"</p>	Tablas de Triplex (contrachapado, plywood)	Permite atornillar sin romperse, se puede cortar fácilmente, no se deforma.
	<p>Módulo de carga TP4056 tipo C https://naylampmechatronics.com/baterias/867-cargador-de-bateria-litio-tp4056-con-proteccion-usb-c.html</p>	Electrónico	Ideal para mando portátil, permite carga por USB-C con mayor durabilidad.

	Conversor step-up 5V (MT3608) https://naylampmechatronicos.com/conversores-dc-dc/119-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2a-mt3608.html	Electrónico/Módulo DC-DC	Aseguran que los módulos RF y Arduino reciban 5V estables de la batería.
	Tornillos, tuercas y soporte interno	Metal (aluminio, acero inoxidable)	Brindan rigidez y facilitan el ensamblaje.
	Conectores, cables, protoboard	Plástico y cobre	Permiten conexiones seguras y desmontables durante la etapa de prototipado.
	Luces led de estado	LEDs SMD5050	Proporcionan una visualización inmediata del estado del control remoto.

4. SECUENCIA DE PROCESOS

- MONTAJE:

Con la ayuda de un cuidador o terapeuta, se coloca el arnés de manera similar a una mochila, asegurando que quede correctamente ajustado al cuerpo del paciente. Antes de fijar los componentes, se recomienda verificar la postura inicial del paciente, garantizando que se mantenga erguido y equilibrado. Posteriormente, se fijan los módulos del brazo y se comprueba que todas las correas y puntos de anclaje estén firmes, pero sin generar incomodidad ni compresión excesiva.

- CALIBRACIÓN:

Antes de la colocación final, el cuidador debe asegurarse de que el dispositivo esté completamente apagado para evitar movimientos indeseados. Durante esta etapa, se debe mantener la muñeca del paciente en posición neutra, con la palma orientada hacia abajo, y confirmar que el sistema reinicie sus valores de referencia al encenderse. Además, se debe verificar la conexión entre el módulo de control y los servomotores, comprobar el correcto funcionamiento de los sensores capacitivos y la respuesta inicial de los servomotores, así como asegurarse de que no existan cables sueltos o interferencias eléctricas antes de iniciar la sesión.

- SESIÓN DE TERAPIA:

Durante la sesión de terapia, el paciente controla voluntariamente los movimientos del codo y de la mano mediante el módulo, ubicado a la altura del bolsillo o cerca del codo. El cuidador o terapeuta debe supervisar que no haya balanceos peligrosos ni superficies resbaladizas u obstruidas, además de monitorear el nivel de batería para evitar apagados inesperados durante la sesión. Asimismo, debe observar posibles signos de fatiga, dolor o incomodidad en el paciente y detener la terapia si es necesario, verificando periódicamente el funcionamiento de los sensores capacitivos y la respuesta de los actuadores. Es importante que la terapia se desarrolle en un entorno seguro, controlado y cómodo, y que el cuidador tenga acceso rápido al botón o protocolo de parada de emergencia en caso de pérdida de equilibrio o fallo técnico.

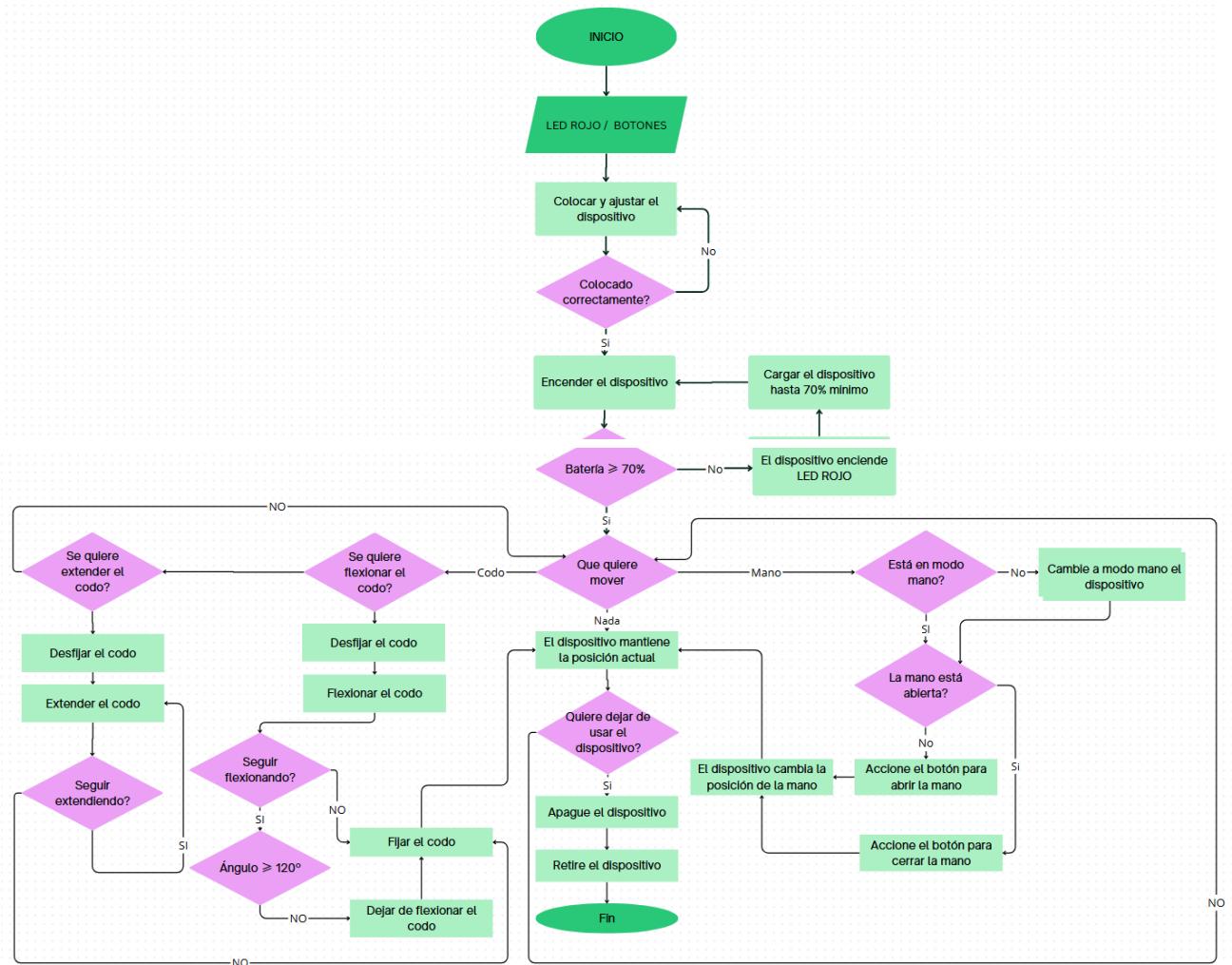
- DESMONTAJE:

El desmontaje del sistema debe realizarse con el dispositivo apagado y siempre con la ayuda del cuidador o terapeuta. Primero se desconecta el módulo de

control, luego se retiran los componentes del brazo y finalmente el arnés principal, evitando movimientos bruscos que puedan incomodar al paciente o dañar las conexiones. Durante este proceso, también se recomienda revisar visualmente que no existan daños en cables, correas o sensores antes de almacenar el sistema.

- LIMPIEZA:

Se debe mantener el sistema libre de polvo, humedad y residuos, evitando el uso de paños húmedos o líquidos conductores que puedan dañar los componentes eléctricos. No se debe manipular directamente los sensores capacitivos para prevenir deterioros o alteraciones en su sensibilidad. El dispositivo debe guardarse en un lugar seco, ventilado.



5. TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN.

Estructura Principal del Exoesqueleto (Impresión 3D en PLA)

Justificación:

Costo: La opción de imprimir en 3D usando PLA es económica para fabricar prototipos y piezas con un precio aproximado de S/. 60 a S/. 100 por kilogramo de filamento. Esto es fundamental para que el presupuesto del proyecto se mantenga en una cifra razonable, especialmente en las etapas de diseño y evaluación.

Durabilidad: Aunque el PLA no ofrece la misma resistencia que otros materiales frente a esfuerzos mecánicos fuertes, tiene suficiente rigidez para usos de prototipado.

Facilidad de Esterilización: El PLA se limpia con facilidad, pero no es apto para la esterilización en autoclave o a altas temperaturas debido a su bajo punto de fusión. No obstante, dado que la estructura principal no entrará en contacto directo con fluidos y se

usará principalmente en entornos controlados, este inconveniente no representa un problema serio.

Guante (Tela Spandex/Neopreno con Refuerzo de Nylon y PLA)

Justificación:

Costo: Los tejidos como Spandex y Neopreno son relativamente económicos, con precios que varían entre S/. 50 a S/. 120 por metro. Esta elección permite una producción flexible y accesible, mientras que el refuerzo de PLA en la parte inferior aporta la rigidez necesaria.

Durabilidad: El Spandex y el Neopreno brindan una gran adaptabilidad y son muy resistentes al desgaste. El PLA refuerza las partes del guante que requieren más firmeza, como la base que sostiene la muñeca.

Facilidad de Esterilización: Los tejidos como el Spandex y el Neopreno son fáciles de lavar y mantener limpios. El PLA en la parte inferior del guante también tiene limitaciones en su tolerancia a altas temperaturas, por lo que se sugiere limpiarlo con soluciones desinfectantes en lugar de emplear métodos térmicos.

Carcasa del Control Remoto (Impresión 3D en PLA)

Justificación:

Costo: Al igual que la estructura principal, la carcasa del control remoto puede realizarse de forma económica con PLA, lo que posibilita una producción rápida y de bajo costo.

Durabilidad: El PLA es adecuado para resguardar los componentes internos del control remoto. Dado que la carcasa no estará expuesta a impactos o cargas mecánicas intensas, el PLA es adecuado para esta función.

Facilidad de Esterilización: Dado que la carcasa del control remoto está en contacto con las manos del paciente, es esencial considerar la facilidad de limpieza. El PLA se limpia sin complicaciones, pero no soporta la esterilización a altas temperaturas, así que se sugiere un mantenimiento regular empleando desinfectantes suaves.

6. ESTACIONES DE TRABAJO

Se propone que el dispositivo colabore en la marcha del paciente al facilitar la sujeción de un andador y mejorar su equilibrio al mantenerse erguido. Por estos motivos, se plantea su uso en ambientes controlados, como institutos de rehabilitación o entornos domiciliarios supervisados, donde un encargado o especialista pueda asistir al paciente en la colocación y ajuste del exoesqueleto. Además, se recomienda su empleo en superficies planas y antideslizantes, con el fin de garantizar la seguridad y estabilidad durante las pruebas o sesiones de rehabilitación. Asimismo, se considera conveniente incorporar topes de seguridad mecánicos o electrónicos que limiten el rango de movimiento, evitando flexiones excesivas o posiciones inoportunas que puedan comprometer la comodidad o integridad física del paciente.

7. AUTOMATIZACIÓN:

Se considera que el dispositivo propuesto es de nivel medio porque el sistema requiere asistencia en varias etapas de uso, como la colocación, ajuste, retiro y carga del dispositivo, debido a que el paciente no posee la motricidad fina necesaria para manipular componentes como el arnés o los cables de alimentación. Sin embargo, una vez activado, permite al usuario moverse de forma independiente durante el periodo de funcionamiento de la batería, brindando asistencia semiautónoma en la marcha.

Asimismo, este nivel resulta el más adecuado porque garantiza la seguridad del paciente al mantener la supervisión de un profesional durante momentos importantes, sin restar protagonismo a su participación activa en la terapia. El control del movimiento de codo y brazos depende totalmente del paciente, lo que promueve su autonomía motora, fortalecimiento muscular y confianza funcional durante las sesiones de rehabilitación o la marcha asistida.

→ ¿Qué pasa si el paciente se desmaya o el sistema falla?

En el caso de que el paciente pierda el conocimiento o se desmaye, el dispositivo de control puede ser retirado del bolsillo o cinturón, lo que permite interrumpir su funcionamiento y devolver las articulaciones a la posición inicial con solo presionar los botones correspondientes.

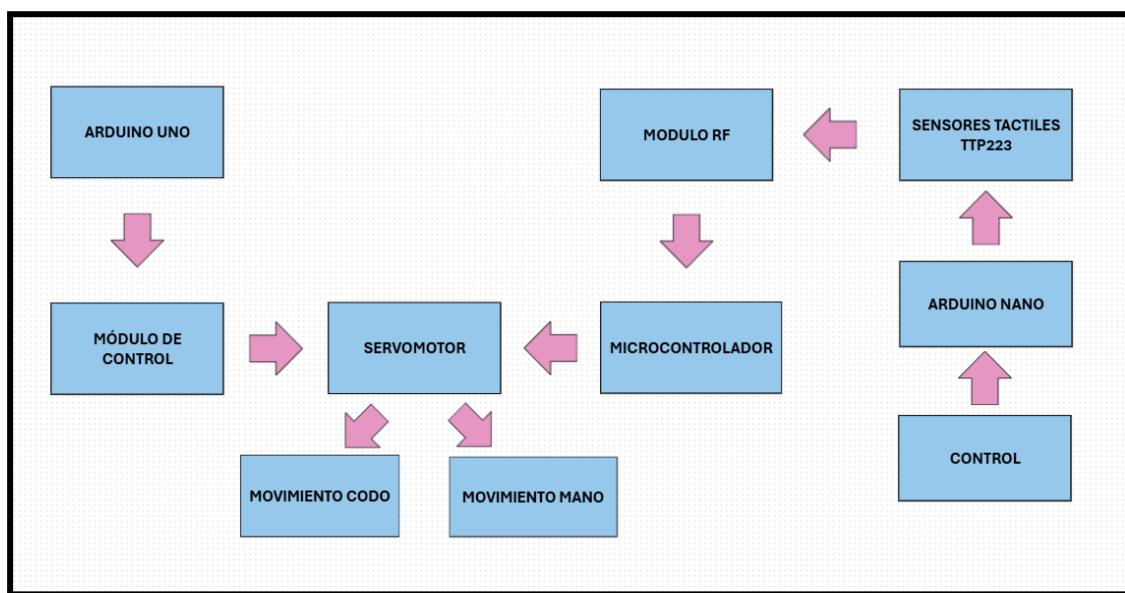
En caso de fallo del sistema, el diseño incorpora topes de seguridad mecánicos que impiden que la flexión del codo supere los 120°, evitando posturas forzadas o potencialmente dañinas para la articulación. Del mismo modo, el mecanismo de la mano limita el movimiento de los dedos, liberando la tensión a rangos fisiológicamente seguros, con el fin de prevenir lesiones o sobreesfuerzos involuntarios.

→ ¿Cómo se activa el “botón de parada de emergencia” o protocolo de seguridad?

El sistema cuenta con un botón de parada de emergencia, diseñado como medida de seguridad ante cualquier evento imprevisto, fallo del sistema o pérdida de control del usuario. Este botón se encuentra en el módulo de control portátil y puede ser activado tanto por el paciente como por el terapeuta. Alternativamente, si el módulo es desconectado del sistema, se activa automáticamente el modo seguro, en el cual los actuadores se deshabilitan y las articulaciones retornan de forma controlada a su posición de reposo, evitando movimientos bruscos.

8. INTERFACES DE RED GLOBAL (IoT Y TELESALUD)

Esquema simple de conexión:



Nuestro sistema nos brindará obtener del paciente un ángulo por medio del sistema codo - mano - engranaje el cual a través del servomotor calcularemos la cantidad de cable enrollado y el número de vueltas que realizará cuando el paciente realice la flexión y extensión llevado a cabo en la calibración, todo esto con el fin de que no existan imperfectos al hacer uso del exoesqueleto.

Estos resultados permiten al terapeuta identificar el comportamiento del sistema en distintas condiciones y ajustar la calibración del exoesqueleto para lograr movimientos más precisos y seguros durante las terapias de rehabilitación.