

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



FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO

Entregable 9- 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

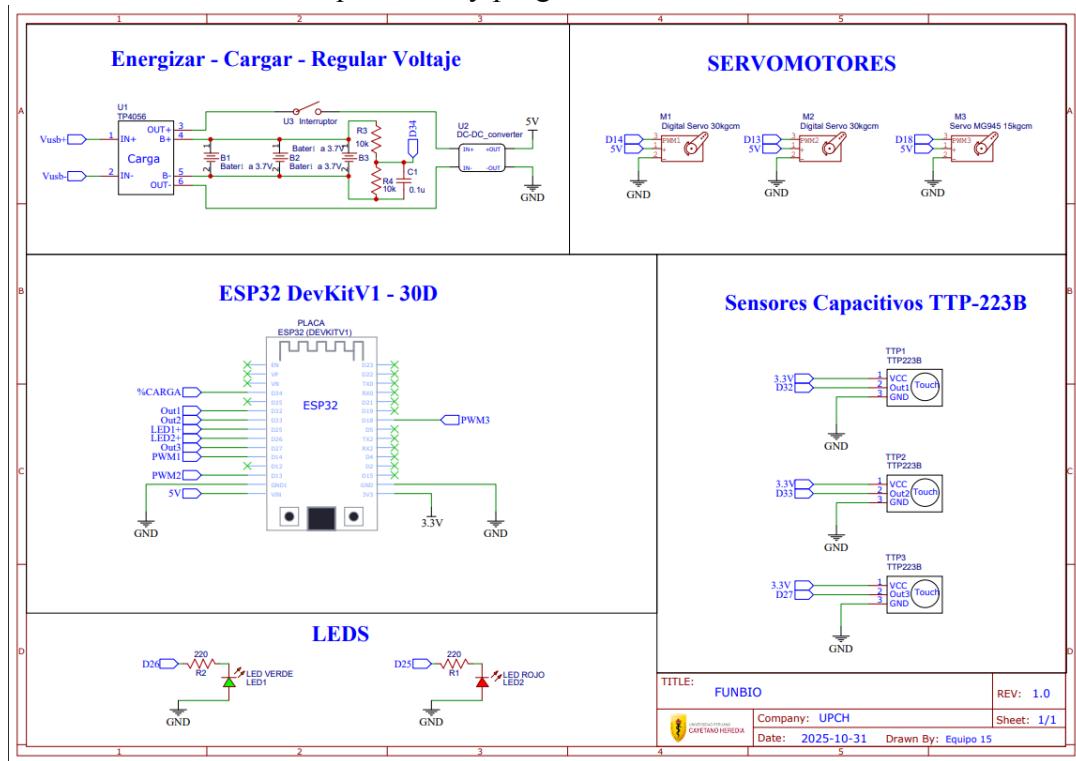
DOCENTES:

Juan Manuel Zuñiga

Grupo 15

Lima, 9 de octubre del 2025

1) HARDWARE: Diseño esquemático y programación



2) Software código en Arduino IDE:

```
#include <ESP32Servo.h>

Servo servoA; // Primer servo (modo doble)
Servo servoB; // Segundo servo (modo doble)
Servo servoC; // Tercer servo (modo individual)

// Pines de servos
const int servoAPin = 14;
const int servoBPin = 13;
const int servoCPin = 18;

// Pines de sensores
const int sensorModo = 27;
const int sensorUp = 32;
const int sensorDown = 33;

// LEDs indicadores
const int ledVerde = 26;
const int ledRojo = 25;

// Pin de lectura de batería
const int pinVoltaje = 34;

// Posiciones iniciales
int posA = 0;
```

```

int posB = 0;
int posC = 0;

// Variables de estado
bool modoIndividual = false; // false = controla A y B / true = controla C
bool modoAnterior = false; // para detectar flanco de cambio

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    // Configurar servos
    servoA.attach(servoAPin);
    servoB.attach(servoBPin);
    servoC.attach(servoCPin);

    servoA.write(posA);
    servoB.write(posB);
    servoC.write(posC);

    // Configurar pines
    pinMode(sensorModo, INPUT);
    pinMode(sensorUp, INPUT);
    pinMode(sensorDown, INPUT);
    pinMode(ledVerde, OUTPUT);
    pinMode(ledRojo, OUTPUT);

    digitalWrite(ledVerde, HIGH);
    digitalWrite(ledRojo, LOW);

    Serial.println("Sistema iniciado. Usa el sensor de modo para alternar entre
doble e individual.");
}

void loop() {
    // --- CAMBIO DE MODO ---
    bool estadoModo = digitalRead(sensorModo);
    if (estadoModo == HIGH && !modoAnterior) {
        modoIndividual = !modoIndividual; // cambiar modo
        delay(300); // anti-rebote
    }
    modoAnterior = estadoModo;

    // --- INDICADORES DE MODO ---
    digitalWrite(ledVerde, !modoIndividual);
    digitalWrite(ledRojo, modoIndividual);

    // --- LECTURA DE SENSORES ---
    bool up = digitalRead(sensorUp);
    bool down = digitalRead(sensorDown);

    if (!modoIndividual) {

```

```

// Control simultáneo de servoA y servoB
if (up) {
    posA = constrain(posA + 5, 0, 180);
    posB = constrain(posB + 5, 0, 180);
}
if (down) {
    posA = constrain(posA - 5, 0, 180);
    posB = constrain(posB - 5, 0, 180);
}
servoA.write(posA);
servoB.write(posB);
} else {
    // Control individual de servoC
    if (up) posC = constrain(posC + 5, 0, 180);
    if (down) posC = constrain(posC - 5, 0, 180);
    servoC.write(posC);
}

// --- LECTURA DE VOLTAJE DE BATERÍA ---
int lecturaADC = analogRead(pinVoltaje);
float voltajeEntrada = (lecturaADC * 3.7) / 4095.0;
float voltajeBateria = voltajeEntrada * 2; // compensar divisor resistivo

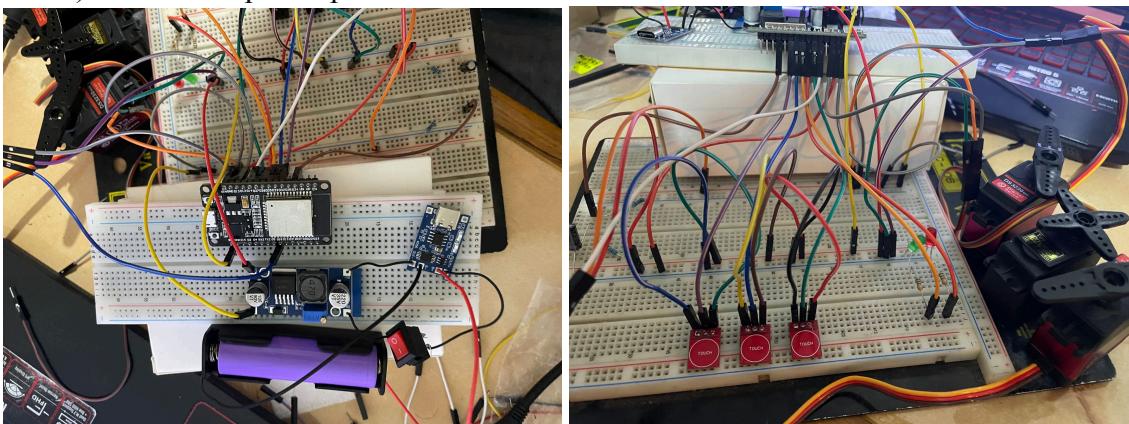
int porcentaje = map((int)(voltajeBateria * 100), 360, 390, 0, 100);
porcentaje = constrain(porcentaje, 0, 100);

Serial.print(modoIndividual ? "Modo Individual" : "Modo Doble");
Serial.print(" | Voltaje: ");
Serial.print(voltajeBateria, 2);
Serial.print(" V (" );
Serial.print(porcentaje);
Serial.println("%)");

delay(200);
}

```

3) Avance del prototipado electrónico

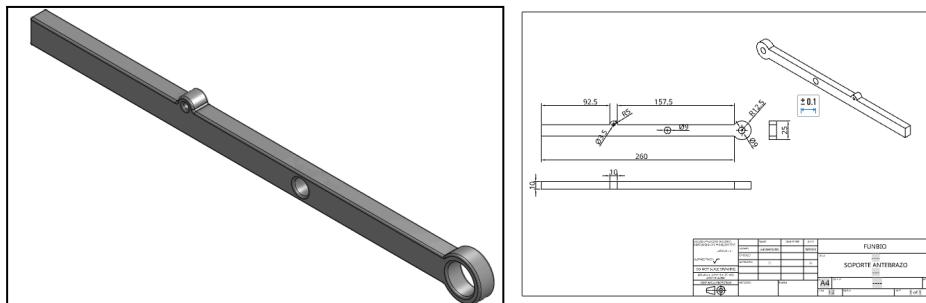


4) PLANOS:

- **SOPORTE DE BRAZO:**



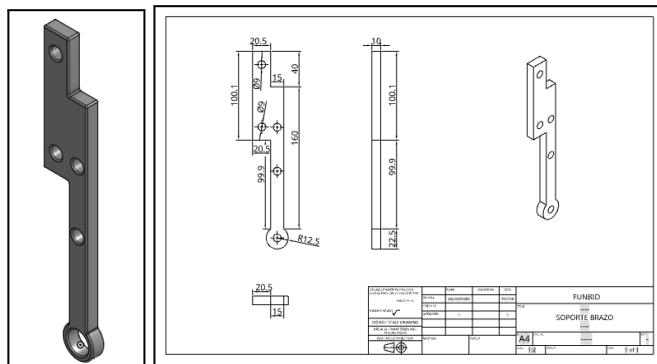
❖ Soporte Antebrazo:



Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/fddf5e1b94e13e586c4526fd>

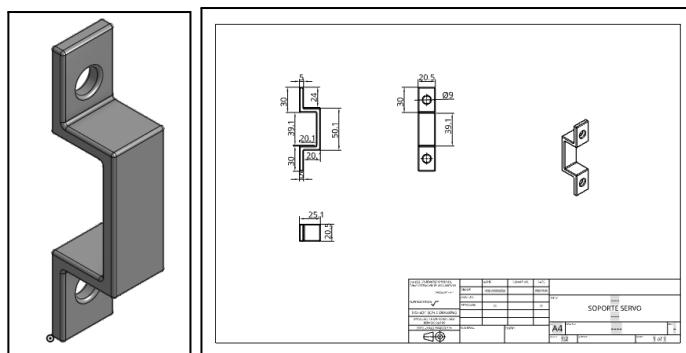
❖ Soporte Brazo



Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/936af226c51167664b5c89b>

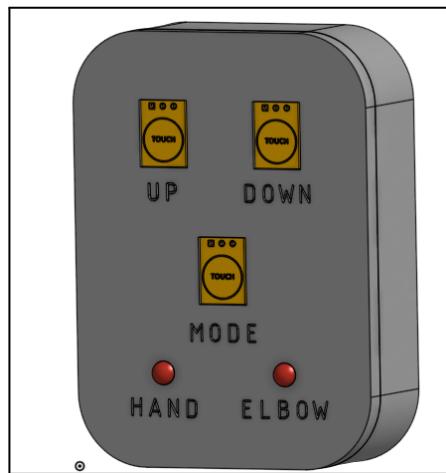
❖ Soporte Servomotor:



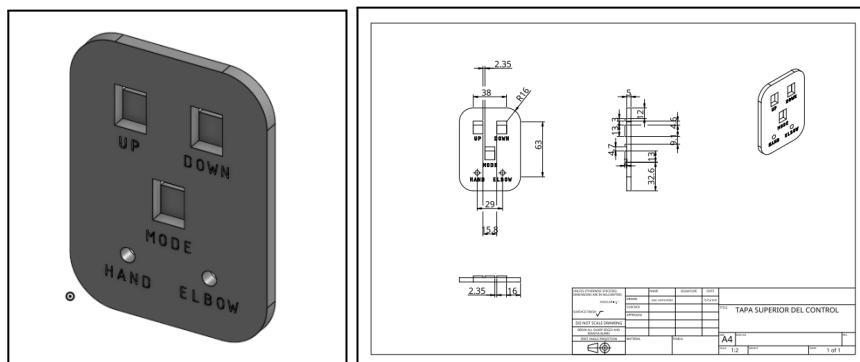
Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/95b8c5b14f85fee0e9358474>

- CONTROL:



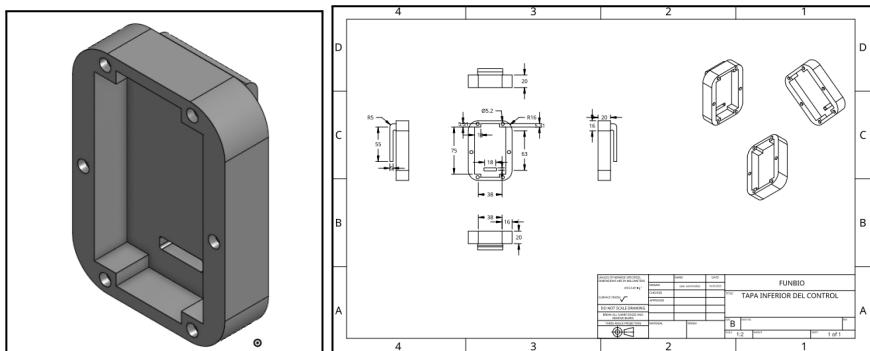
❖ Tapa superior:



Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/dddde45c399dc68cc2bbdbb8>

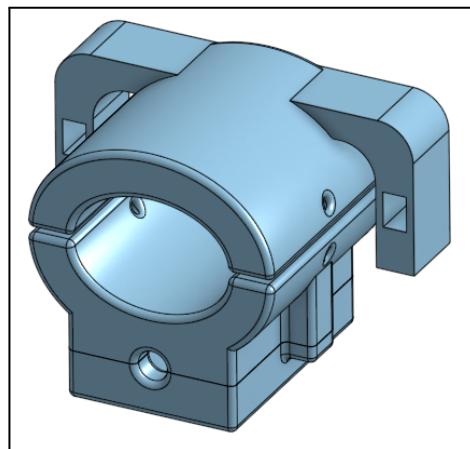
❖ Tapa inferior:



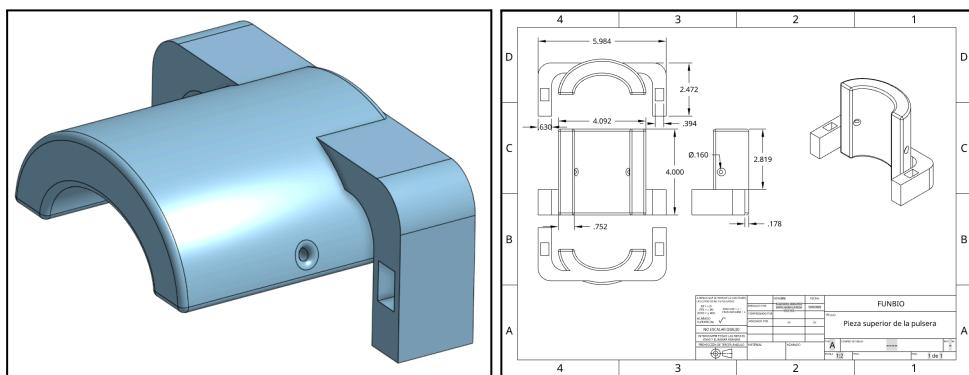
Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/cde3ba33a1037923c07d8a50>

● PULSERA:



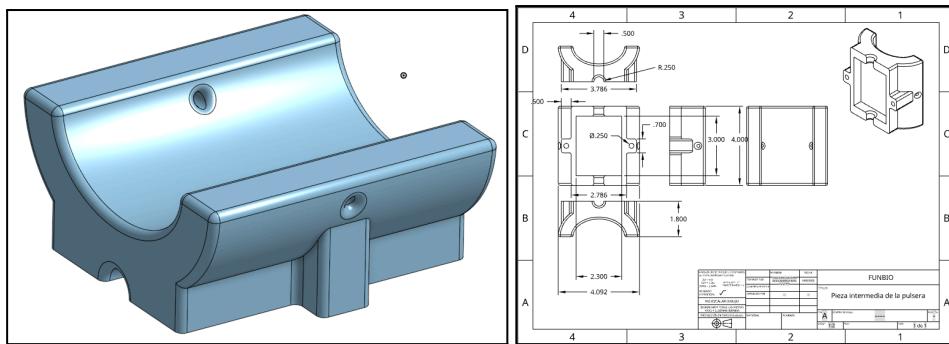
❖ Parte superior



Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/0efddb5c0c18d389d55af780>

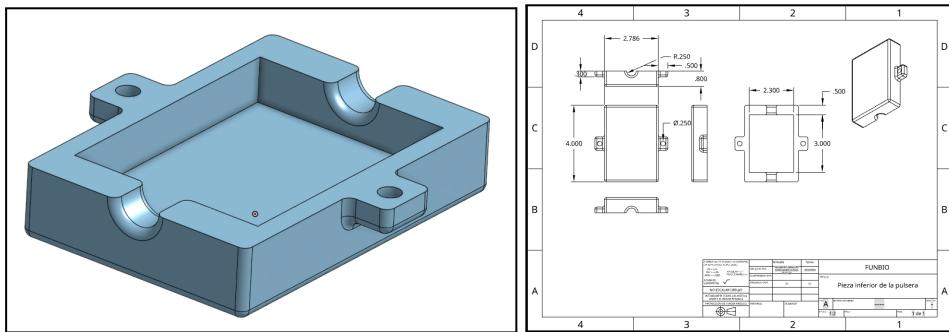
❖ Parte intermedia



Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/d6295cc2247fbafa09096b12>

❖ Parte inferior



Plano:

<https://cad.onshape.com/documents/0b1d5438d726e127cd05e259/w/ddd671ad9b5f6d4f7845e88d/e/8ecdd3acdf1766d80e95a6f4>

1. Contexto de uso:

- ¿Quién usará el dispositivo?
 - Paciente (Loayza): Es el principal usuario, quien utilizará el dispositivo para asistir y mejorar su movilidad en el brazo izquierdo, estabilizar su marcha y mejorar la postura al caminar.
 - Cuidador o familiar: un cuidador o familiar podría ayudar con la colocación y ajustes iniciales del dispositivo, además de supervisar su uso.
- ¿Dónde se usará?
 - En el hospital o clínica: Bajo supervisión de profesionales de la salud, para validar la utilidad en el proceso de rehabilitación y realizar ejercicios en sesiones de terapia.
 - En la casa: Una vez adaptado, Loayza podrá usar el dispositivo en su hogar para continuar con la rehabilitación y mejorar su autonomía en actividades diarias.
- ¿Cómo se usará?

El exoesqueleto asistencial para miembro superior izquierdo opera mediante un control, 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. El control contará con luces LED que indicarán el modo de uso en el que se encuentra el dispositivo.

Asimismo, se contará con una aplicación móvil donde se podrá monitorear el estado de batería y calcular el consumo de energía según el tiempo de uso.

- Frecuencia de uso: duración de sesión de terapia (COMPLETAR)
- Modelado 3D y bocetos: (COMPLETAR IMAGEN)

2. Perfil del usuario:

Evidencia basada en caso clínico presentado:

- Paciente: Loayza
- Edad: no especificada
- Profesión: Ingeniero
- Diagnóstico médico: Lesión medular incompleta a nivel C4, tipo D por impacto de bala.
- Condición física: Movilidad limitada en el brazo izquierdo y parcial en el derecho, dificultad para caminar sin apoyo externo.
- Necesidad: Desarrollo de un dispositivo de asistencia biomecánica que permita movimiento pasivo y asistido en el miembro superior izquierdo, soporte en la marcha y estabilización postural.
- Objetivos del proyecto:
 - Prevenir la atrofia muscular y mejorar la movilidad pasiva en el brazo izquierdo.
 - Mejorar la estabilidad en la marcha y permitir el uso funcional del brazo como apoyo.
 - Estabilizar el tronco mediante un sistema de soporte para mejorar la postura.

Limitaciones del usuario:

- Visuales:
 - No se reportan limitaciones visuales.
- Motoras:
 - Pérdida total de movilidad en el brazo izquierdo debido a la lesión medular a nivel C4.
 - Movilidad parcial en el brazo derecho, lo que limita la capacidad de realizar tareas funcionales de manera autónoma.
 - Dificultad para caminar sin apoyo debido a la debilidad en las extremidades inferiores.

- Cognitivas:
 - No presenta limitaciones cognitivas, mantiene una capacidad adecuada para la comprensión y resolución de problemas.
- De comprensión:
 - No se reportan limitaciones de comprensión, lo que indica que el paciente tiene la capacidad para seguir instrucciones o guías para utilizar dispositivos de rehabilitación.
- Emocionales:
 - Impacto en la calidad de vida debido a la dependencia de otros para actividades diarias y la falta de autonomía, así como dificultades en la movilidad lo que podría generar estrés o ansiedad.

3. Análisis de Tareas:

- Lista de Tareas:
 1. Ajustar el arnés de soporte con fijador de hombro.
 2. Ajustar y colocar el dispositivo de asistencia (exoesqueleto) a lo largo del brazo izquierdo, incluyendo la colocación del guante con el fijador de muñeca.
 3. Ajustar el cinturón en el paciente.
 4. Encender el dispositivo, seleccionar y/o alternar el modo de asistencia mediante los sensores capacitivos del control.
 5. Supervisar el funcionamiento del dispositivo durante su uso (cuidador).
 6. Terminado el tiempo de terapia, apagar el dispositivo y retirar el exoesqueleto.
 7. Retroalimentación continua por medio de la aplicación móvil.

Tabla de tareas y riesgos:

Lista de tareas	Riesgos	Justificación de riesgos
Ajustar el arnés de soporte con fijador de hombro.	lesión muscular o incomodidad por mala colocación	Si el arnés se ajusta con demasiada presión o en una posición incorrecta, puede generar tensión muscular o limitar la movilidad natural del hombro.
Ajustar y colocar el dispositivo de asistencia (exoesqueleto) a lo largo del brazo izquierdo, incluyendo la colocación del guante con el fijador de muñeca.	Atrapamiento de piel o pellizcos; limitación de circulación sanguínea; incomodidad en la muñeca o el brazo.	La instalación inadecuada del exoesqueleto o del guante puede generar presión excesiva sobre músculos, tendones o nervios, afectando la comodidad y seguridad del usuario.
Ajustar el cinturón en el paciente.	Compresión abdominal o dificultad respiratoria.	Si el cinturón se ajusta demasiado, puede ejercer presión en el abdomen o el

		tórax, afectando la respiración o causando molestias.
Encender el dispositivo, seleccionar y/o alternar el modo de asistencia mediante los sensores capacitivos del control.	Activación accidental o mal funcionamiento del sistema de asistencia.	Una manipulación incorrecta o falla en los sensores capacitivos puede causar movimientos no deseados del exoesqueleto, comprometiendo la seguridad del usuario.
Supervisar el funcionamiento del dispositivo durante su uso (cuidador).	Riesgo de sobreesfuerzo o distracción del cuidador; posible reacción tardía ante una falla.	El cuidador debe mantener atención constante; una falta de supervisión o respuesta tardía ante un mal funcionamiento puede poner en riesgo la integridad del paciente.¿
En caso de detectar fallas en los sensores o actuadores, se activa el sistema de seguridad.	Possible interrupción repentina del movimiento o bloqueo del dispositivo.	Al activarse el sistema de seguridad, el exoesqueleto puede detenerse abruptamente para evitar daños, lo que podría causar pérdida momentánea del equilibrio o sobresalto en el usuario.
Terminado el tiempo de terapia, apagar el dispositivo y retirar el exoesqueleto.	Riesgo de lesiones leves al retirar los componentes o de desconexión incorrecta	Un retiro apresurado o sin seguir el procedimiento adecuado puede generar tirones, atrapamientos o dañar los conectores eléctricos o mecánicos.
Retroalimentación continua por medio de la aplicación móvil.	Falla de comunicación o error en la transmisión de datos.	Problemas en la conectividad entre el dispositivo y la aplicación pueden generar lecturas incorrectas.

4. Criterios de éxito

Criterio	Indicador de éxito	Métrica objetivo
Eficacia	El paciente logra colocarse el exoesqueleto correctamente siguiendo las instrucciones	100% de los usuarios logran completar la colocación sin errores críticos.

	del cuidador o terapeuta.	
Eficiencia	Tiempo requerido para colocar, ajustar y encender el exoesqueleto.	Tiempo total de colocación < 5 minutos.
Satisfacción	Nivel de comodidad, facilidad de uso y percepción general del exoesqueleto.	Puntuación $\geq 4/5$ en encuesta de satisfacción o SUS > 70 .
Seguridad	Número de incidentes o fallos durante el uso (mecánicos, eléctricos o físicos en las sesiones de terapia)	0 lesiones o fallos que comprometan la integridad del paciente.
Compatibilidad	comunicación entre el dispositivo y el aplicativo móvil	Sincronizar los datos sin errores en $>90\%$
Funcionalidad	Giro completo de los servomotores a 180 grados con el fin de realizar movimientos de flexión y extensión	Reducción de errores en los servos menor a un 95%