

Entregable N°7

1. Modelos y principios de solución

Entrada:

- Información: Señal inicial de activación del sistema o de inicio de recopilación de datos.
- Materiales: El movimiento de la pierna, y la presión plantar sobre la suela.
- Energía: Batería de los componentes de la ortesis.

Salida:

- Información: Señales procesadas por los sensores de presión, inercial y el botón, utilizadas para la retroalimentación del sistema.
- Materiales: Movimiento mecánico del mecanismo de traba o destrabe de la rodilla.
- Energía: Energía eléctrica convertida en energía mecánica a través del motor DC (activación o desactivación del bloqueador).

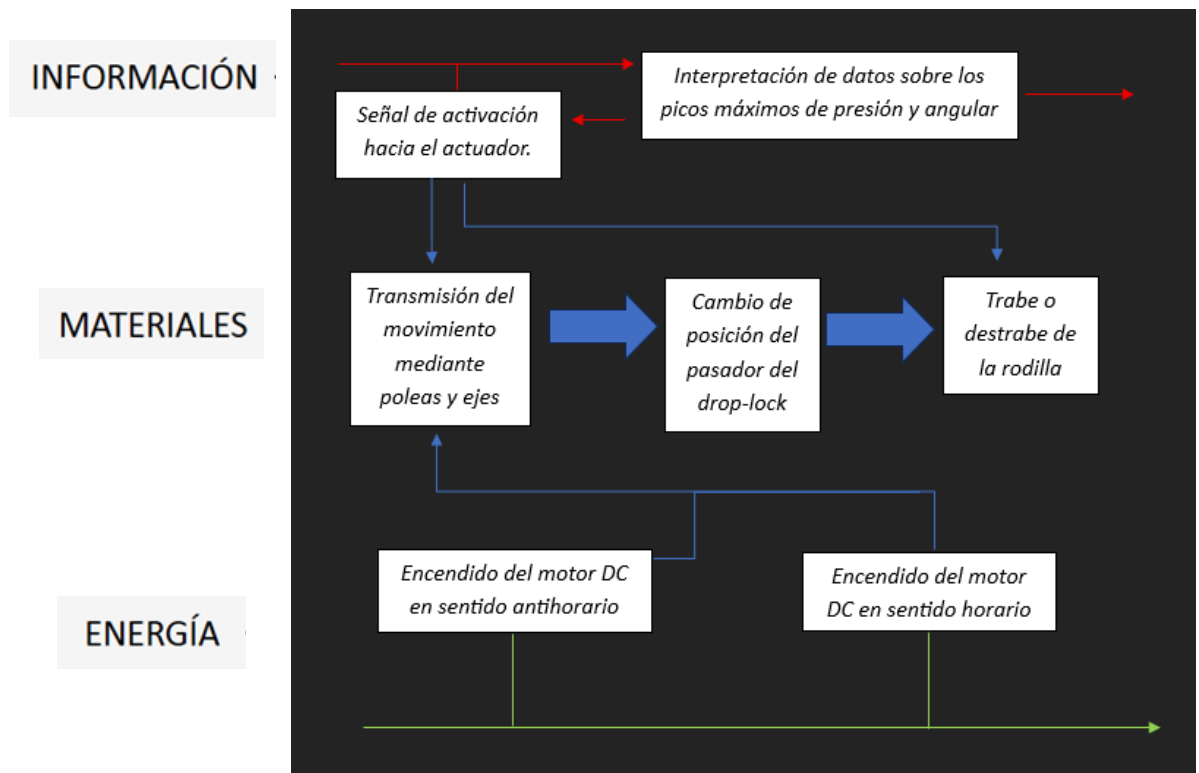


Fig 1. Esquema de funciones

Soluciones Sub-funciones	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
1. Detección de bloqueo para la fase de "subida"	MPU (IMU) montado en pierna (MPU9250 /	Potenciómetro en bisagra de rodilla	Sensor de presión plantar (FSR) con sensor(es) de	giroscopio mecánico

	MPU6050)		presión	
2. Detección de bloqueo para la fase de “marcha”	Sensor(s) de presión en plantar (FSR) con sensor(es) de presión	Interruptor mecánico en suela (pulsador)	Sensores IMU montado en pierna	
3. Detectar el cambio de modo.	Mediante programación con datos recopilados (automático)	Input manual (botón en bastón canadiense)	Señales enviadas por módulos de radiofrecuencia	
4. Transmitir la señal	Conexión directa con cables, por bluetooth entre módulos tibia-muslo Y radiofrecuencia bastón-muslo	ESP32 (BLE) con conexión directa cableada entre módulos tibia-muslo	Arduino nano con módulos bluetooth	Arduino Pro mini con módulos bluetooth
5. Estructura y soporte	Drop-lock tipo KAFO	Sistema de engranajes	Bisagra con leva y pasador intercambiable	
6. Activación mecánica	Motor DC con sistema de poleas con cable de acero inoxidable hasta componente que realiza bloqueo.	Solenoides lineales con cuerda.	Freno electromagnético	Sistema mecánico con leva y topes controlado por micro servo
7. Estructura / Suela	Suela 3D (material blando alternativo a PLA)	Suela comercial adaptada	Suela 3D de PLA	
8. Alimentar el sistema	Batería lipo 2S 7.4 V	Batería Li-ion 18650	batería de polímero de litio 1S (3.7 V)	batería LiFePO4 (3.2 V, 1000 mAh)

1.

Sensores: sensor de presión plantar + sensor inercial MPU6050 + flex sensor

Microcontrolador: ESP32 con comunicación Bluetooth

Mecanismo: motor DC con sistema de poleas y un cable de acero inoxidable que activa el drop-lock tipo KAFO

Control: botón ubicado en el bastón canadiense con transmisión de radiofrecuencia.

Fuente de energía: batería LiPo 2S (7.4 V) recargable

Estructura: suela 3D de material de flexible

2.

Sensores: sensor inercial MPU9250 + sensor de presión plantar

Microcontrolador: Arduino Pro Mini

Mecanismo: sistema de engranajes con pasador mecánico controlado por micro servo

Control: Interruptor físico integrado en el bastón

Fuente de energía: batería Li-ion 18650 (3.7 V, 2600 mAh)

Estructura: impresión 3D en material flexible

3.

Sensores: Sensores de presión y sensores IMU.

Microcontrolador: Arduino Nano (bajo consumo y tamaño reducido)

Mecanismo: freno electromagnético que bloquea el movimiento de la articulación

Control: activación automática según umbral de presión detectada

Fuente de energía: batería de polímero de litio 1S (3.7 V) para alimentar el electroimán directamente

Estructura: base rígida en PLA + capa plantar en impresión de material flexible.

4.

Sensores: Potenciómetro + sensor de presión plantar

Microcontrolador: ESP32-S3 con conectividad WiFi y Bluetooth BLE

Mecanismo: Sistema de engranajes con leva y tope controlado por engranaje helicoidal

Control: automático con datos recopilados de los sensores

Fuente de energía: batería LiFePO4 (3.2 V, 1000 mAh)

Estructura: Suela comercial adaptada.

Evaluación de los conceptos de solución

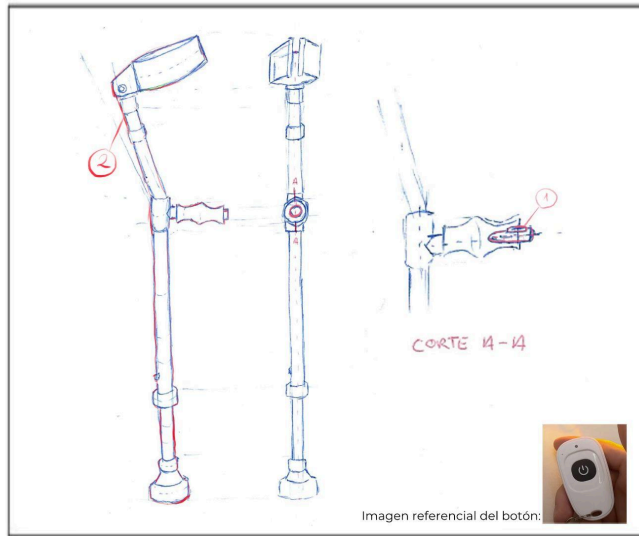
Criterios Técnicos/Económicos	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
1. Detección de estados de marcha	4	2	4	2
2. Coste de materiales	3	3	2	3
3. Traba y destraba	4	3	3	3

siempre que se requiera				
4. Autonomía del usuario para bloquear/liberar	4	3	3	2
5. Dificultad técnica de producción y montaje	4	3	2	3
6. Tiempo de vida útil	3	3	4	3
7. Sostenibilidad de componentes	3	4	1	2
8. Mantenimiento o renovación de componentes mecánicos y electrónicos	3	2	1	3
9. Eficiencia energética	4	3	2	2
Suma total	32	26	22	23

2. Espacio de solución

TÍTULO DEL PROYECTO: Bastón canadiense con botón para trabe y destrabe de rodilla
DIBUJADO POR: Mariam Michelle Morocho Bistamante

BOCETO EN CONJUNTO:



Descripción del funcionamiento:

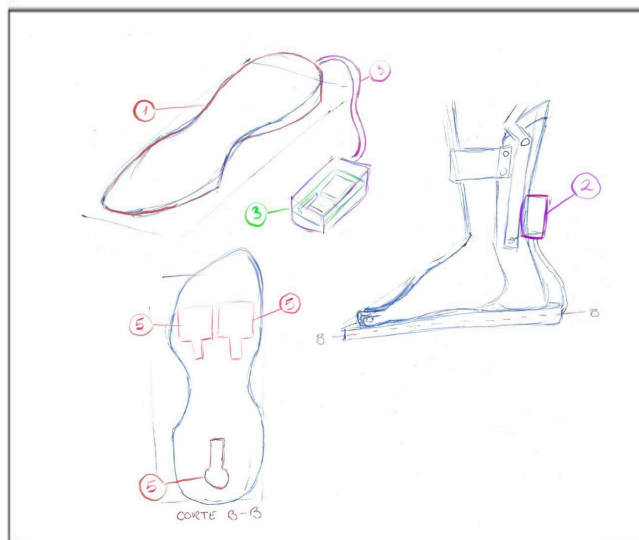
Bastón canadiense correspondiente al lado derecho. Incluye botón conectado inalámbricamente a sistema de trabe y destrabe de rodilla. El sistema es potenciado mediante el uso de una batería.

LISTA DE DESPIECE:

Pieza	Nombre	Material
1	Botón	plástico
2	Bastón canadiense	Aluminio, plástico

TÍTULO DEL PROYECTO: Plantilla medidor de presión
DIBUJADO POR: Mariam Michelle Morocho Bustamante

BOCETO EN CONJUNTO:



Descripción del funcionamiento:

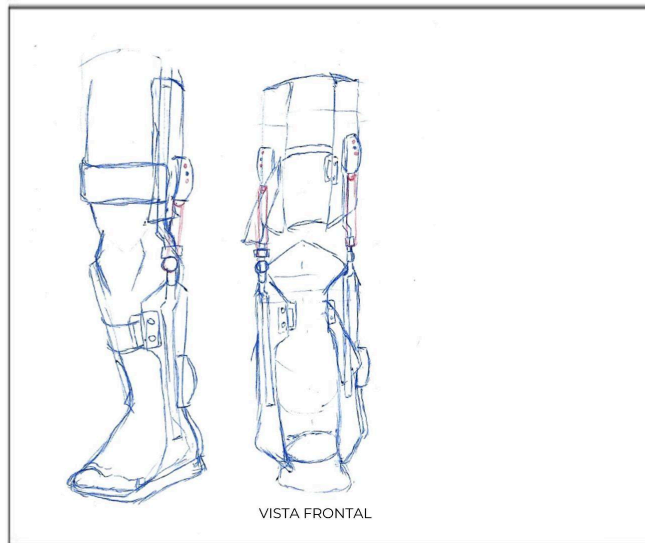
Plantilla que incluye dos sensores de presión conectados a un sistema bluetooth que provee de información para poder realizar el proceso de trabe y destrabe de una maneta más automática, dependiendo de la presión que se realice al pisar.

LISTA DE DESPIECE:

Pieza	Nombre	Material
1	Plantilla	TPU
2	Carcasa	PLA
3	Módulo bluetooth	
4	Cable	
5	Sensores flex (3)	

TÍTULO DEL PROYECTO: Soporte largo con sistema de trabe y destrabe de rodilla
DIBUJADO POR: Mariam Michelle Morocho Bustamante

BOCETO EN CONJUNTO:



Descripción del funcionamiento:

Soporte largo que contiene el sistema de trabe y destrabe de rodilla. Sistema contiene par de poleas con cuerdas para realizar la función del trabe y destrabe. Conexión bluetooth a sensores de presión y botón de bastones.

LISTA DE DESPIECE:

Pieza	Nombre	Material
1	Cable unión poleas	
2	Sistema de trabe y destrabe	
3	Polea con cuerda	Acero inoxidable

3. ¿Fabricar o adquirir?

En los modelos planteados, los componentes a ser impresos serían las plantillas ortopédicas con filament, las carcasas o recubrimientos para los componentes electrónicos, tanto los que van acoplados al bastón canadiense como los ubicados en la zona lateral de la pierna y también se imprimirán los recubrimientos que van ensamblados al soporte. Por otro lado, tendríamos que adquirir los componentes eléctricos, como cables, circuitos impresos, microcontroladores ESP-32, el motor DC, los sensores MPU, FSR-402, Flexiforce A201, baterías de 11.4 y 3.7 V. Además de el botón acoplado al bastón canadiense, los mismos bastones canadienses, las bandas elásticas para sujetar la pierna, un soporte mecánico largo y los materiales para ensamblar el bloqueo con el soporte, así como pivotes, tornillos y tuercas.

Componente fabricado	Componentes adquiridos	
Plantillas ortopédicas	Microcontrolador ESP-32	Soporte Mecánico largo
Carcasa protectora de circuitos	Cables	Bastones Canadienses

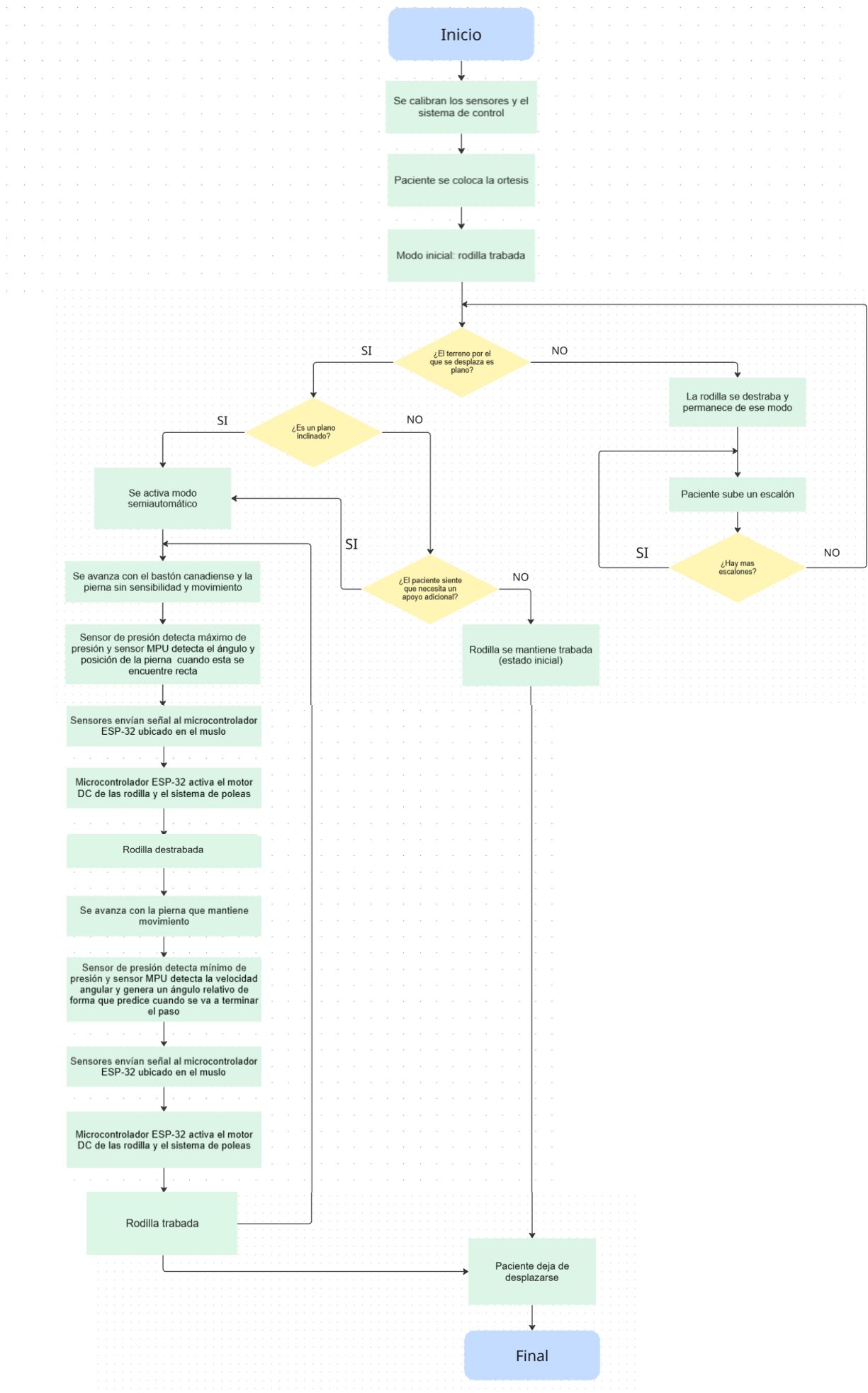
Carcasa protectora	Sensor MPU 9250	Batería Lipo 3S 11.4 V
Recubrimientos para la pierna	Sensor FSR-402	Batería Lipo 1S 3.7 V
PCB	Sensor Flexiforce A201	Motor DC
	Bandas elásticas	Cable de acero

4. Secuencia de procesos

4.1. Descripción de la rutina clínica de uso del sistema:

- **Montaje en el paciente:** Se coloca la ortesis modificada en la pierna del usuario y se ajustarán las correas para garantizar una correcta inmovilización, prevenir movimientos no deseados en la articulación y evitar lesiones cutáneas o molestias por un mal ajuste.
- **Calibración:** Se necesita calibrar los sensores usados y el sistema de control. Para los sensores de presión (sensor FSR-402 y sensor Flexiforce A201) ubicados en la planta del pie se debe considerar el peso del paciente, la distribución plantar (zona talón y zona metatarsal) y se debe establecer entre qué parámetros de presión se trabará o destrabará la rodilla. Para los sensores que midan el ángulo (sensor MPU 9250) se debe establecer una posición de referencia y el rango de movimiento. Por último, se debe verificar que todos las partes del dispositivo estén correctamente conectadas.
- **Entrenamiento:** Un entrenamiento previo iniciará con familiarizar al paciente con el sistema. Se le explicaría al paciente como funciona la ortesis y se practicaría el uso y cambio de los modos en un entorno controlado como un hospital y con supervisión de un profesional de la salud. Posteriormente, se pasaría a terrenos más variados e irregulares y a lugares que frecuente en su vida diaria.
- **Desmontaje y limpieza:** El paciente se quita la ortesis. Se realiza el mantenimiento de los componentes electrónicos. Así mismo, se revisa que las partes del dispositivo no estén desgastadas.

4.2. Elaboración de diagrama de flujo.



Enlace para el diagrama de flujo:

https://miro.com/welcomeonboard/SWRucTBodUtGSWVubFd1SENVt3lqcGVXRnV6T1hCMVFrdWNyNHhIRnBTL3h2MFdmeW9KTWtmeT.JRRmN5aVdYbGxjRTZJUUhTZUFPYTU2VllvZ2VldzBOU01fbndGR1pOQmM4eUhgSmFBSUFaSOhra1hhT1ILVm80VWRrZDk5cGZQdGo1ZEV3bUdPQWRZUHQzSGI6V2NBPT0hdiE=?share_link_id=551811971430

5. Técnicas de producción

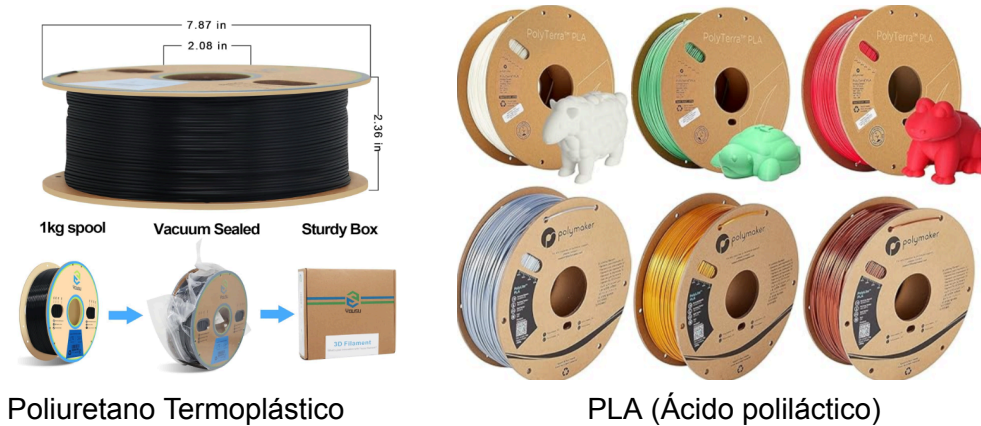
5.1. Impresión 3D

La impresión 3D fue seleccionada por su capacidad para crear estructuras funcionales y personalizadas, ajustadas a las medidas específicas del diseño del soporte metálico del paciente. Esta técnica resulta fundamental, ya que el espacio disponible en el proyecto es limitado y es necesario optimizar al máximo el área útil.

Se utilizarán dos tipos de materiales:

- Filamento flexible, destinado a la fabricación de las plantillas ortopédicas, permitiendo comodidad y adaptación a la forma del pie.
- Filamento rígido o resistente, empleado en la elaboración de carcasas que protegen los circuitos electrónicos y la estructura de soporte de la pierna.

El material seleccionado para la impresión consta de dos tipos de materiales, el primero es el Poliuretano Termoplástico (TPU), debido a su resistencia, flexibilidad y bajo costo. Un carrete de 1 kg (0.069 pulgadas de diámetro) tiene un precio aproximado de 17 dólares, lo que equivale a \$0.017 por gramo, representando una opción económica y eficiente. Por otro lado, para el material duro se usará principalmente el PLA, debido a su bajo costo y fácil accesibilidad, y su carácter eco amigable, su costo varía alrededor de 70 y 75 soles 1Kg de 175mm de diámetro.

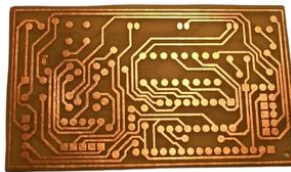


5.2. Moldeo

El moldeo en silicona se utilizará para obtener las medidas precisas de la pierna, las cuales servirán como referencia dimensional para el diseño de las piezas impresas y ensambles. Esta técnica permite garantizar un ajuste ergonómico y una adaptación personalizada del dispositivo al cuerpo, mejorando la comodidad y funcionalidad del producto final.

5.3. Fabricación de Circuitos Impresos

Para la parte electrónica, se implementará la fabricación de circuitos impresos (PCB) sobre placas de baquelita de cobre, utilizando el método de planchado. Esta técnica tiene como finalidad reducir el espacio ocupado por el montaje en protoboard, permitiendo una distribución más compacta, ordenada y profesional del circuito. Además, contribuye a disminuir costos al reducir el uso de cables y materiales de conexión, optimizando así tanto el tamaño como la eficiencia del sistema.



Placa de circuito impreso

6. Estaciones de trabajo

El sistema está diseñado para que el usuario pueda incorporarlo a sus actividades diarias, facilitando su desplazamiento autónomo. El desplazamiento por el usuario en superficies planas no presenta dificultad y por lo general este tipo de superficies se encuentra en su propio hogar y zonas ubicadas cerca del centro de la ciudad, los desplazamientos en pendientes inclinadas se encontrarán en distintas zonas de la calle y los desplazamientos en escaleras se realizarán en su propia casa y en ambientes públicos. La persona usará el sistema acoplado a su soporte largo en todo momento, y el modo de uso se encontrará condicionada a la situación en la que se encuentre, ya que el sistema para subida de pendientes estará en modo semiautomático y en superficies planas estará a voluntad del usuario ya que este podrá decidir si trabar su soporte o usar el modo asistido. Para la funcionalidad del dispositivo el uso del bastón canadiense es necesario, ya que aparte de permitir desplazar al usuario, sirve como lugar en el cual se le instalará la comunicación para el destrabe y trabe de la ortesis.

La calibración inicial del sistema se realizaría en las instalaciones del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR), donde se cuenta con profesionales especializados, equipos de medición biomecánica y entornos controlados que permiten ajustar los parámetros del dispositivo a las condiciones físicas específicas del usuario.

Una vez completada la calibración y las pruebas de funcionalidad en el INR, el sistema podrá ser utilizado de forma autónoma por el usuario en su vida diaria, tanto en espacios interiores como exteriores.

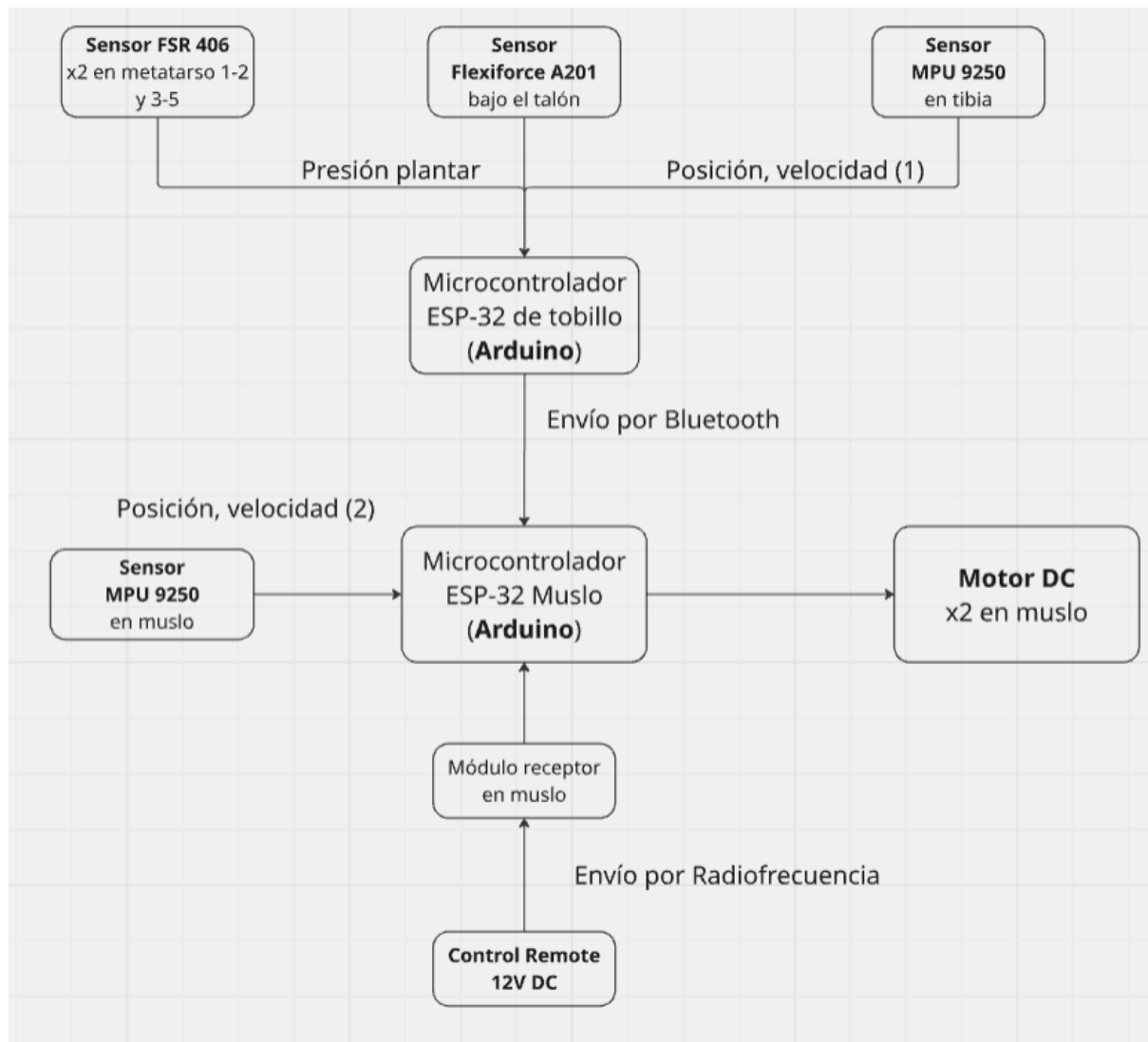
7. Automatización

Nuestro modelo entraría en la categoría de nivel medio o semiautónomo, ya que el sistema en un principio necesita adaptarse al usuario dependiendo de su peso y el ángulo de inclinación en su pierna, además de datos como a que extremidad o extremidades le da más trabajo, sin embargo, a largo plazo el único factor variable sería el peso del paciente, el resto de variables se mantienen constantes en cierto rango, el cual es el que se usaría para que el dispositivo bloquee la pierna correctamente. Además de contar con la función de destrabe a través del botón, lo cual refuerza la idea de que pertenece al nivel medio. Elegimos este nivel porque vimos necesario que el usuario pueda elegir el momento de destrabe, principalmente para ayudar a que suba escalones o desniveles altos, además que se necesita tener en cuenta el peso para que el dispositivo pueda trabarse dentro del rango correcto. En el caso de desmayo o fallo en el sistema, este se bloque automáticamente para evitar en la medida de lo posible que el paciente se caiga o reciba un golpe fuerte contra el suelo.

8. Interfaces de red global (IoT y telesalud)

8.1. Esquema de conexión

Se tiene un módulo unido a un circuito mayor ubicado en la cara externa del muslo, mientras que el módulo se encontrará en el tobillo-pie. Además se encontrará el botón por control remoto ubicado frente al agarre del bastón canadiense.



Sistema de conexiones

El dispositivo no requiere enviar información a un dispositivo externo, pues trabaja con los mismos sensores del mismo dispositivo y no necesita internet sino una conexión entre los módulos.

8.2. Información manejada en el sistema.

El sistema recolecta la presión ejercida en el talón y metatarsos del pie para detectar un pico máximo de presión entre las dos áreas, así como un ángulo relativo entre el muslo y la zona del fémur y cuádriceps, obteniendo rangos hasta muy cercanos a los 180°, los cuales serán obtenidos cuando el paciente se encuentre con el miembro inferior izquierdo recto. Dado que el producto es usado netamente por el paciente y para permitir la independencia del paciente con sus soportes metálicos, no hay un reporte para el personal de salud que lo atienda, pues el equipo no busca un monitoreo constante, sino que su mejoría en la marcha puede ser vista de forma empírica a lo largo de sesiones de terapia para mejorar su técnica en el uso de los implementos a los soportes que ya posee.