

## Guía de Entregable N° 7:

Checkpoint 3 – Architecture (¿cómo se va a organizar el sistema conceptualmente?)

### **1. Modelos y principios de solución**

El sistema propuesto combina una pechera y un bastón inteligente diseñados para ayudar a personas con baja visión o sordera parcial a moverse con más seguridad, detectando cambios en el entorno como posición, inclinación y obstáculos cercanos. Se añaden vibraciones en el bastón para dar alertas táctiles más directas y mejorar la experiencia del usuario.

#### **Principio de Funcionamiento**

El sistema usa sensores en la pechera y el bastón para captar dónde está el usuario, hacia dónde se mueve y si hay obstáculos cerca. Un microcontrolador procesa esta información y envía señales al usuario a través de vibraciones en la pechera y el bastón, además de posibles alertas sonoras. Las vibraciones en el bastón ayudan a sentir obstáculos bajos, como irregularidades en el suelo, mientras que la pechera cubre el área frontal, haciendo que la navegación sea más segura y autónoma.

#### **Componentes Clave**

- **Sensor de posición (GPS o IMU):** Registra la ubicación y el sentido del movimiento del usuario, ayudando a mantener una orientación clara.
- **Sensores de distancia (ultrasónicos o infrarrojos):** Detectan obstáculos por delante, a los lados o en el suelo, avisando al usuario con precisión.
- **Microcontrolador central:** Lee los datos de los sensores y activa las vibraciones o sonidos en tiempo real, asegurando respuestas rápidas.
- **Pechera ergonómica:** Lleva sensores frontales y motores vibratorios en hombros y abdomen, cómoda y fácil de ajustar al cuerpo.
- **Bastón inteligente:** Tiene sensores y motores vibratorios en la empuñadura, alertando al usuario sobre obstáculos bajos o cambios en el terreno directamente en la mano.

#### **Principio Técnico**

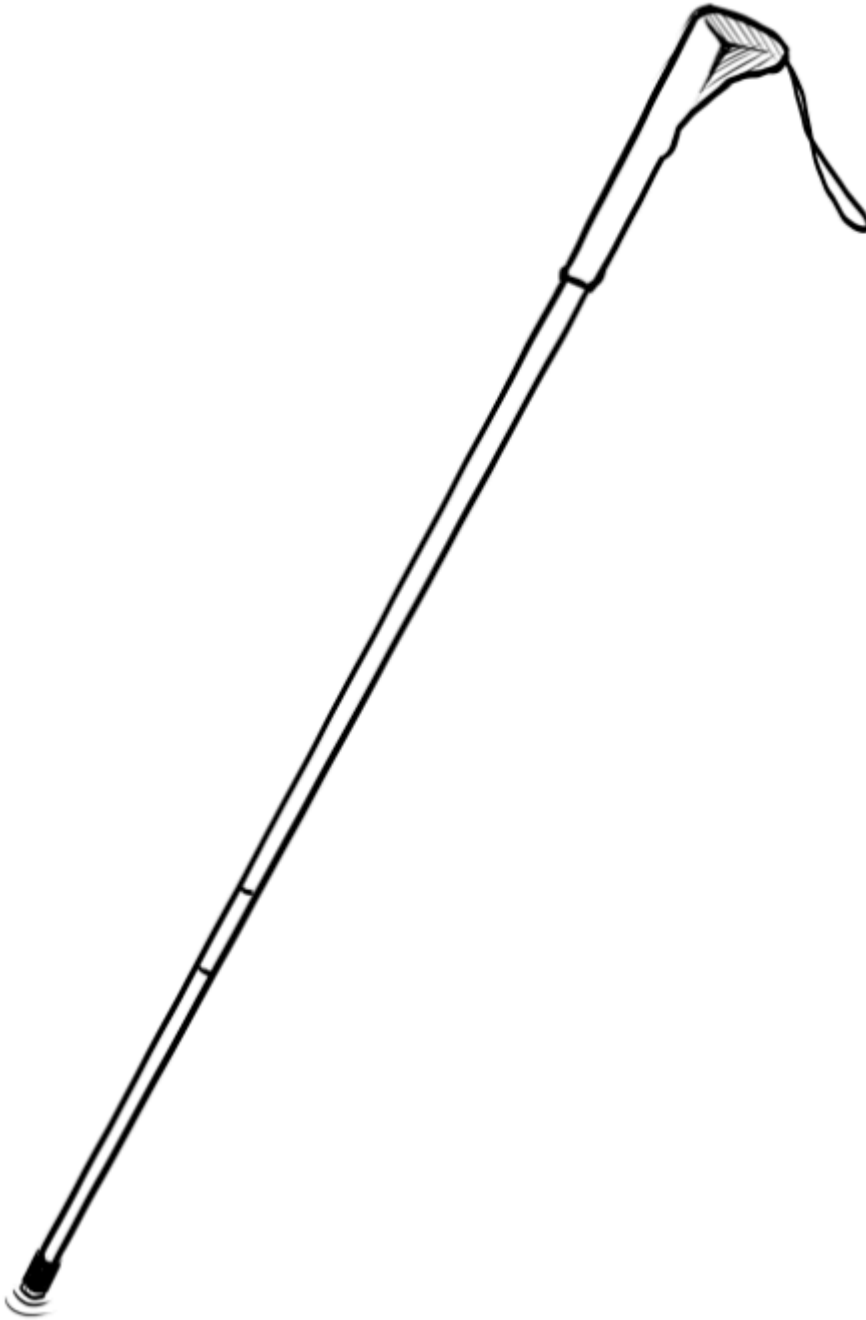
Los sensores captan información del entorno, como la distancia a objetos o cambios en el terreno, y el microcontrolador la convierte en vibraciones o sonidos. Las vibraciones en el bastón, ubicadas en la empuñadura, dan una señal clara sobre obstáculos cercanos al suelo, mientras que las de la pechera indican peligros frontales. Esto hace que el usuario reciba una guía clara y rápida sin depender solo de la vista o el oído.

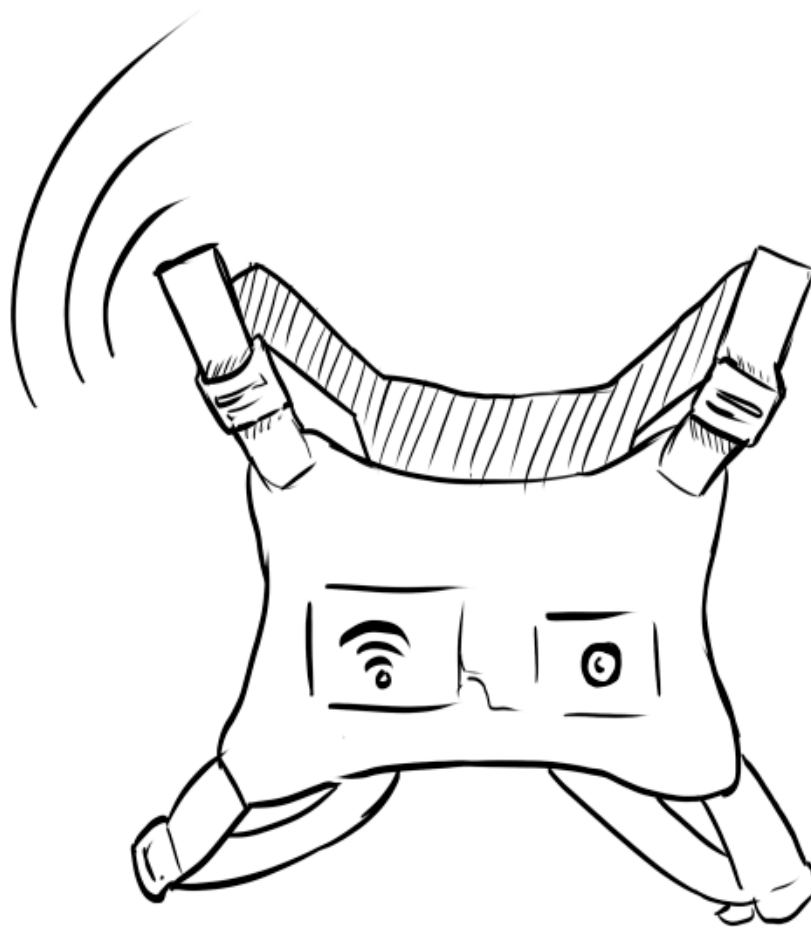
#### **Principio Terapéutico**

El sistema busca que el usuario se mueva con más confianza e independencia, usando el tacto como una forma de "sentir" el entorno. Las vibraciones en el bastón y la pechera dan información clave sin saturar la visión o el oído, ayudando a las personas a adaptarse mejor

a diferentes lugares. Este enfoque fomenta la seguridad y la autonomía, apoyando la rehabilitación sensorial de manera práctica y directa.

## **2. Espacio de solución**





### **3. ¿Fabricar o adquirir?**

Los elementos a fabricar incluyen la estructura principal de la pechera mediante impresión 3D, los soportes para sensores, la carcasa de la batería, un arnés ergonómico adaptable y una placa de circuito impreso (PCB) personalizada, lo que permite una customización precisa y una integración seamless.

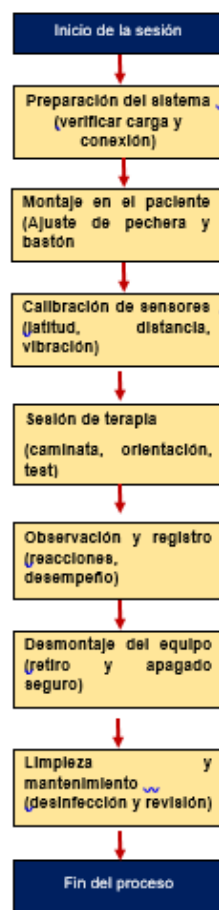
Por otro lado, los componentes a adquirir abarcan sensores ultrasónicos HC-SR04, módulos Bluetooth BLE para conectividad inalámbrica, motores vibratorios compactos, baterías recargables de litio para autonomía energética, audífonos Bluetooth compatibles y un microcontrolador Arduino Nano como núcleo de procesamiento. Esta combinación asegura un bajo costo de implementación, alta compatibilidad entre módulos y facilidad de mantenimiento, facilitando actualizaciones futuras sin comprometer la integridad del sistema.

### **4. Secuencia de procesos**

La rutina clínica de uso del sistema inicia con la preparación y montaje del prototipo en el usuario, proceso en el cual el terapeuta o técnico coloca cuidadosamente la pechera, asegurándose de que quede ajustada al torso sin incomodar ni limitar el movimiento. Luego, se conecta el bastón mediante el sistema Bluetooth, verificando que ambos dispositivos estén correctamente sincronizados y con suficiente carga en las baterías. Posteriormente, se realiza la calibración de los sensores, que consiste en establecer los parámetros iniciales de latitud, distancia y sensibilidad de vibración según las características del entorno de prueba y las necesidades del usuario. Esta etapa permite asegurar que el sistema responda de manera adecuada ante los cambios de orientación y detección de obstáculos.

Una vez calibrado, se inicia la sesión de terapia o prueba funcional, desarrollada en un entorno controlado, como el gimnasio de terapia o el laboratorio de marcha. Durante la sesión, el usuario realiza distintos recorridos o maniobras guiadas por el terapeuta, mientras el sistema registra las respuestas de los sensores y activa las vibraciones correspondientes. El terapeuta observa el comportamiento del usuario, la precisión del dispositivo y su reacción ante las señales ópticas, haciendo los ajustes necesarios en tiempo real para mejorar la efectividad del sistema y la comodidad del paciente. Al finalizar la sesión, se procede con el desmontaje del equipo, desconectando los módulos electrónicos y retirando la pechera de manera cuidadosa para evitar daños en los componentes.

Finalmente, se lleva a cabo la limpieza y mantenimiento del sistema, empleando paños húmedos con solución desinfectante para las superficies textiles de la pechera y revisando el estado de los cables, vibradores y sensores. Este paso garantiza la higiene del equipo y su correcto funcionamiento para futuras sesiones, manteniendo la seguridad del usuario y del personal clínico.



## **5. Técnicas de producción**

La pechera y su carcasa se fabrican mediante impresión 3D con filamento TPU flexible, un material biocompatible, lavable y ligero que asegura comodidad prolongada. El bastón se construye con aluminio anodizado, incorporando acoples para sensores y módulos de vibración para una integración robusta.

La PCB personalizada se produce a través de fresado CNC o grabado láser, permitiendo circuitos precisos y compactos. Los ensambles finales utilizan tornillos de acero inoxidable y adhesivos de grado médico para una fijación segura y no irritante.

Esta selección de técnicas se justifica por su bajo costo relativo, alta durabilidad frente a uso repetitivo, capacidad de personalización anatómica según las necesidades del usuario y facilidad de esterilización mediante alcohol isopropílico o exposición a luz UV, alineándose con protocolos clínicos de seguridad y sostenibilidad.

## **6. Estaciones de trabajo**

El sistema propuesto se implementará y evaluará principalmente en el gimnasio de terapia y en el laboratorio de marcha, espacios que permiten realizar pruebas de desplazamiento controladas, seguras y repetibles antes de su aplicación en entornos reales como la calle o la universidad. En estos escenarios se pondrá a prueba la funcionalidad del prototipo conformado por una pechera con Arduino y un bastón conectado mediante Bluetooth, equipados con sensores que registran variaciones en la latitud, distancia y obstáculos del entorno. A partir de esta información, el sistema genera señales vibratorias en distintas zonas del cuerpo del usuario, las cuales funcionan como alertas táctiles que orientan su desplazamiento y advierten sobre posibles riesgos. De esta forma, el dispositivo busca mejorar la autonomía y seguridad del usuario con sordera parcial y baja visión, ayudándolo a desplazarse con mayor confianza y reduciendo significativamente el riesgo de caídas o accidentes.

Para llevar a cabo las pruebas de funcionalidad se requerirán equipos como una computadora portátil con software de monitoreo, baterías recargables, conos de señalización, cámaras para el registro de movimiento y material de protección en caso de tropiezos o colisiones leves. Asimismo, se contará con la supervisión de un terapeuta físico y un ingeniero responsable del sistema, quienes garantizarán la seguridad del usuario durante las pruebas y analizarán el desempeño del dispositivo. Los resultados obtenidos en estos entornos controlados permitirán realizar los ajustes necesarios antes de las pruebas en espacios exteriores, asegurando que el sistema cumpla con su objetivo principal: brindar

apoyo sensorial y mejorar la orientación del usuario en entornos urbanos, promoviendo su independencia y reduciendo el riesgo de caídas durante la marcha.

## 7. Automatización:

**Nivel de automatización:** Medio (semiautónomo).

**Justificación técnica:** El prototipo de pechera integra sensores de ultrasonido, proximidad y presión que, mediante procesamiento en el nodo de borde y conexión Bluetooth Low Energy al audífono, generan retroalimentación háptica o sonora en tiempo real. La arquitectura implementa fusión de sensores, umbrales y filtros para minimizar falsas alarmas y dispone de mecanismos de degradación segura ante pérdida de enlace o fallo sensorial. Dada la naturaleza informativa de las salidas (alerta al usuario y no actuación física sobre el mismo), y el objetivo de mantener respuesta humana final, el esquema semiautónomo optimiza la independencia sin delegar decisiones críticas al software.

**Justificación clínica:** Clínicamente, la configuración aumenta la autonomía del joven usuario al mejorar su percepción del entorno (detectando obstáculos e irregularidades) y reducir la demanda cognitiva de vigilancia constante. La prioridad es la seguridad: el sistema asiste y sugiere acciones mediante señales claras y configurables, pero la ejecución de maniobras sigue siendo responsabilidad del usuario.

### **Escenarios de seguridad y e-stop:**

- (i) Ante caída o pérdida de consciencia, el sistema combina detección por IMU y pulsómetro para emitir alertas y notificaciones a contactos de emergencia.
- (ii) Ante falla de comunicaciones o sensores, el prototipo entra en degradación segura y se notifica al usuario.
- (iii) El botón de parada de emergencia físico/virtual permite silenciar y bloquear la automatización hasta reset manual. Se establecen procedimientos de mantenimiento, pruebas de campo y registro de eventos para trazabilidad clínica.

## 8. Interfaces de red global (IoT y telesalud)

El esquema de conexión del sistema incorpora principios de Internet de las Cosas (IoT) para permitir una monitorización remota y continua durante las sesiones de terapia. La arquitectura propuesta sigue el flujo:

Sensor → Arduino Nano → Módulo Bluetooth BLE → Laptop o Tablet del terapeuta

Estableciendo una transmisión inalámbrica eficiente, estable y segura dentro del entorno clínico.

Los datos recolectados incluyen la distancia detectada (en centímetros), la intensidad de vibración (en niveles predefinidos), el tiempo total y duración de la sesión, así como, de manera opcional, la frecuencia cardíaca del usuario mediante la integración de un sensor de pulso. Esta información proporciona métricas cuantitativas de desempeño que facilitan el análisis del progreso del usuario y la eficacia del dispositivo en la prevención de caídas o desorientaciones.

La interfaz del terapeuta presenta los resultados de forma clara e intuitiva, mediante gráficas de distancia frente al tiempo, registros automáticos de alertas y vibraciones, y reportes exportables a hojas de cálculo (Excel o CSV). Esto permite realizar un seguimiento longitudinal del paciente, comparar sesiones y tomar decisiones terapéuticas basadas en datos objetivos.

En materia de seguridad y privacidad, el sistema emplea un esquema de identificación anónima mediante códigos alfanuméricos para cada paciente, además de contraseñas y cifrado básico en los archivos generados. Asimismo, la transmisión se restringe exclusivamente a datos técnicos no sensibles, cumpliendo con los principios éticos y las normativas de protección de datos aplicables al ámbito de la rehabilitación.

