



Entregable 11 - Grupo 3

Fundamentos de Biodiseño

Integrantes:

Juan Carlos Lugo
Lorena Mendez
Nathalie Huiza
Ignacio Pérez
Fabio García
Jean Neira

2025

1. Verificación de Diseño (Software):

Tabla 1. Funcionalidad y cumplimiento de prototipo.

Funcionalidad	Cumplimiento	
	SI	NO
Se detecta presión mediante los sensores FSR	✓	
Activa la vibración háptica al detectar un episodio de “freezing of gait” (presiones irregulares)	✓	
Envía señal correctamente desde la plantilla al módulo por Bluetooth	✓	
Responde sin retraso perceptible entre la detección y la vibración	✓	
Permite encendido y apagado manual del sistema (botón físico)	✓	
Mantiene conexión estable entre ambos sistemas (correspondientes a plantilla y módulos) durante la prueba	✓	
Se permite ajustar la intensidad o frecuencia de las vibraciones	✓	
	✓	
	✓	

2. Verificación de Diseño (Hardware):

Para la verificación del diseño del hardware, se consideran las siguientes preguntas técnicas derivadas de los requerimientos iniciales del dispositivo háptico:

- ¿Cuál debe ser el peso máximo del dispositivo completo (plantilla sensorizada y módulo vibratorio) para no afectar la marcha del usuario?
- ¿Cuánto tiempo debe ofrecer la batería de 3400 mAh como autonomía mínima en funcionamiento continuo?
- ¿Cuántos botones físicos son necesarios para garantizar un uso sencillo y seguro por parte del paciente?

- ¿Qué sistema de sujeción resulta más estable y ergonómico para mantener el módulo vibratorio en su lugar durante la caminata?
- ¿Qué nivel de sensibilidad deben tener los sensores FSR para detectar correctamente variaciones de presión plantar asociadas al inicio de un episodio de FOG?
- ¿Requiere el sistema un indicador visual o sonoro que confirme el encendido, calibración o estado de conexión?

Tabla 2. Verificación de diseño del hardware del dispositivo háptico para pacientes con Parkinson.

Requerimiento de Diseño	Resultado del Test
El dispositivo completo (plantilla sensorizada, módulo vibratorio y batería) debe mantener un peso máximo de 250 gramos para no interferir con la marcha del usuario.	El conjunto ensamblado alcanzó un peso total de 240 gramos aprox. , comprobado en balanza digital. Su distribución entre la plantilla y el cinturón permite un equilibrio adecuado sin generar incomodidad en pruebas de colocación.
La batería recargable de 3400 mAh / 3.7 V debe garantizar una autonomía mínima de 60 minutos de funcionamiento continuo.	En pruebas de laboratorio, la autonomía registrada fue de 70 minutos bajo carga completa, manteniendo estabilidad de tensión (3.6 -- 3.8 V) y temperatura segura (< 37 °C). El módulo TP4056 controló la recarga sin sobrecalentamiento.
El sistema debe contar con un máximo de dos botones físicos para simplificar la interacción del usuario.	El diseño actual integra 1 botón de encendido/apagado y 1 botón multifunción para calibración. Se validó su accesibilidad y respuesta confiable tras 50 ciclos de uso sin fallos.
El sistema de sujeción y carcasa debe ofrecer estabilidad y seguridad eléctrica.	Se implementaron velcros ajustables con interior acolchado y carcasa impresa en 3D con material PLA reforzado. El aislamiento de los cables y la fijación mecánica fueron verificados mediante inspección y pruebas de manipulación, sin desprendimientos ni cortocircuitos.

Tabla 3. Tabla de verificación del prototipo.

FUNCIONALIDAD	CUMPLIMIENTO
Detecta los cambios de presión plantar en tiempo real mediante sensores FSR.	✓
Transmite los datos del sensor al microcontrolador ESP32 de forma estable por Bluetooth.	✓
Activa la vibración háptica inmediatamente ante un evento de <i>freezing of gait</i> detectado.	✓
Presenta una respuesta háptica clara y perceptible para el usuario.	✓
Se calibra automáticamente al encender el sistema para ajustar la sensibilidad de los sensores.	✓
Funciona de manera continua durante al menos 60 minutos sin fallos ni reinicios.	✓
El sistema se enciende y apaga presionando un botón por dos segundos.	✓
Indica mediante luz LED el estado de conexión y carga de batería.	✓
Permite registrar y almacenar los datos de eventos detectados para su análisis posterior.	✓
Mantiene la comodidad del usuario sin alterar la marcha ni causar molestias.	✓

Tabla 4. Requerimientos de diseño iniciales, finales y resultados de test.

Requerimiento de diseño iniciales	Requerimientos de diseño finales	Resultados de test
El sistema debe detectar bloqueos de la marcha (freezing of gait) mediante sensores de presión plantar	Se incorporaron sensores FSR calibrados individualmente por peso corporal, integrados en una plantilla.	Detectó correctamente los episodios simulados de FOG en pruebas controladas, activando la vibración en menos de 1s.
El dispositivo debe activar una vibración háptica inmediata cuando detecte el evento.	El módulo vibratorio fue implementado con motores hápticos de 3 V ubicados en el cinturón, controlados por el ESP32.	La vibración se percibió clara y oportuna, ayudando a retomar el movimiento sin generar incomodidad.
Debe ser visualmente discreto y ligero.	Peso total del sistema: 240 g. Diseño compacto y adaptable al calzado.	Alta aceptación estética y funcional en pruebas piloto.
Debe ser económico y fácilmente replicable.	Componentes reutilizables (ESP32, FSR, motor háptico, batería LiPo, impresión 3D).	El costo total estimado se redujo un 30% respecto al prototipo anterior.
Debe permitir el registro de datos para análisis clínicos.	Se implementó almacenamiento local en tarjeta microSD.	Los registros mostraron lecturas precisas y consistentes con el movimiento real.
Debe ser seguro y no interferir con la estabilidad del usuario.	Se utilizó encapsulado aislante y materiales ligeros que no alteran el equilibrio.	No se observaron caídas ni molestias durante las pruebas.
Debe tener autonomía suficiente para una sesión de terapia.	La batería LiPo de 3400mAh proporciona 90 minutos de funcionamiento continuo.	Funcionó correctamente durante toda la sesión de prueba sin interrupciones.