



# **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  | ✓            |    |
| El sistema funciona de manera automática (no requiere intervención del usuario)                           | ✓            |    |

## 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 <b>peso máximo de 250 gramos</b> para no interferir con la marcha del usuario. | El conjunto ensamblado alcanzó un peso total de <b>240 gramos aprox.</b> , comprobado en balanza digital. Su distribución entre la plantilla y el cinturón permite un equilibrio adecuado sin generar incomodidad en pruebas de colocación.   |
| La <b>batería recargable de 3400 mAh / 3.7 V</b> debe garantizar una autonomía mínima de <b>60 minutos</b> de funcionamiento continuo.                                       | En las pruebas realizadas, la autonomía registrada fue de <b>70 minutos</b> 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 <b>máximo de dos botones físicos</b> para simplificar la interacción del usuario.  | El diseño actual integra <b>1 switch de encendido/apagado</b> y <b>2 botones multifunción(1 controlarla intensidad y el otro la frecuencia)</b> para calibración.   |
| El <b>sistema de sujeción y carcasa</b> debe ofrecer estabilidad y seguridad eléctrica.  | Se implementaron <b>velcros ajustables</b> 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 <b>Arduino 1</b> 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 mediante un switch   | ✓            |
| 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 <b>Arduino 1</b> | 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 (Arduino 1, 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 70 minutos de funcionamiento continuo.  | Funcionó correctamente durante toda la sesión de prueba sin interrupciones.   |