

# MÁSTER EN NUEVAS TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS Y FOTÓNICAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER - CURSO 2026-2027

## PROPUESTA

|                              |                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título:</b>               | Prototipado y caracterización de guantes hápticos como interfaz persona-máquina para aplicaciones biomédicas                                                                                  |
| <b>Título en inglés:</b>     | Prototyping and characterization of haptic gloves as a human-machine interface for biomedical applications                                                                                    |
| <b>Tutor/es:</b>             | Joaquín López Herraiz                                                                                                                                                                         |
| <b>Correos-e:</b>            | jlopezhe@ucm.es                                                                                                                                                                               |
| <b>Lugar de realización:</b> | Grupo de Física Nuclear (GFN-UCM) e IPARCOS.<br>Departamento de Estructura de la Materia, Física<br>Térmica y Electrónica, Facultad de Ciencias Físicas,<br>Universidad Complutense de Madrid |

### Resumen:

Las interfaces persona-máquina tienen un papel creciente en biomedicina: rehabilitación y entrenamiento motor, asistencia a personas con discapacidad sensorial, teleoperación y cirugía asistida por robot, simuladores de formación o dispositivos médicos portátiles. En muchos de estos escenarios la atención visual y auditiva del usuario ya está ocupada, y añadir información en pantallas o mediante sonidos aumenta la carga cognitiva. El canal táctil ofrece una vía complementaria para transmitir información de forma discreta e intuitiva.

Los guantes hápticos integran actuadores vibrotáctiles controlados de forma inalámbrica. Se han desarrollado sobre todo para realidad virtual y videojuegos, y su adaptación a aplicaciones biomédicas plantea retos de electrónica e instrumentación: latencia, consumo, repetibilidad de la estimulación, robustez de la comunicación y comodidad durante un uso prolongado.

El objetivo de este TFM es evaluar experimentalmente guantes hápticos comerciales y diseñar, construir y caracterizar un prototipo propio de bajo coste, basado en un microcontrolador con comunicación Bluetooth Low Energy (BLE) y controladores hápticos dedicados. Se medirán la amplitud y la respuesta en frecuencia de los actuadores, sus tiempos de respuesta, la latencia extremo a extremo y el consumo, y se definirá una biblioteca de patrones de estimulación (localización, intensidad, secuencias temporales y alertas) cuya percepción se evaluará en pruebas preliminares con voluntarios. El trabajo se enmarca en las líneas de instrumentación biomédica del GFN-UCM y combina diseño electrónico, sistemas embebidos, medidas de precisión y evaluación de interfaces de usuario.

### Metodología:

El trabajo se organizará en las siguientes etapas:

- 1. Estado del arte.** Tecnologías de actuación háptica vestible (ERM, LRA, piezoeléctrica y electrotáctil), fundamentos de la percepción vibrotáctil en la mano (umbrales, rango de frecuencias y resolución espacial) y aplicaciones biomédicas de las interfaces hápticas.
- 2. Banco de medida y caracterización de guantes comerciales.** Puesta en marcha de guantes hápticos comerciales mediante sus kits de desarrollo (SDK). Montaje de un banco con acelerómetro MEMS y osciloscopio para medir la amplitud y la frecuencia de vibración, los tiempos de subida y bajada, la uniformidad entre

actuadores, el consumo y la latencia desde el envío del comando hasta el inicio de la vibración.

- 3. Diseño del prototipo.** Selección de actuadores y electrónica: microcontrolador con BLE (por ejemplo, ESP32 o nRF52), controladores hápticos con bus I2C, multiplexado de canales y gestión de batería. Montaje de prototipos en placa y sobre un guante textil. Opcionalmente, integración de una unidad de medida inercial (IMU) para permitir una interacción bidireccional.
- 4. Firmware y software de control.** Firmware del microcontrolador (protocolo de comandos, biblioteca de patrones y marcas temporales) y aplicación en Python con una interfaz de programación sencilla para enviar patrones desde otros programas y registrar los tiempos de cada evento.
- 5. Evaluación.** Comparación del prototipo con los guantes comerciales en el mismo banco de medida, comprobando si se alcanza una latencia extremo a extremo inferior a 50 ms, adecuada para interacción en tiempo real. Pruebas preliminares de percepción, no invasivas, con un grupo reducido de voluntarios y consentimiento informado: reconocimiento de patrones, tiempo de reacción, discriminación de la localización del estímulo y usabilidad.
- 6. Análisis y memoria.** Análisis de resultados, identificación de mejoras de diseño para su uso en entornos biomédicos y redacción de la memoria.

#### **Conocimientos previos recomendados:**

Electrónica analógica y digital, programación de microcontroladores (C/C++, entornos Arduino o ESP-IDF) y Python para adquisición y análisis de datos. Manejo de instrumentación de laboratorio. Se valorarán conocimientos de comunicaciones inalámbricas (BLE), y el interés por las aplicaciones biomédicas.

#### **Bibliografía:**

- [1] C. Pacchierotti, S. Sinclair, M. Solazzi, A. Frisoli, V. Hayward, D. Prattichizzo, "Wearable haptic systems for the fingertip and the hand: taxonomy, review, and perspectives", *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 10, no. 4, pp. 580-600, 2017. doi:10.1109/TOH.2017.2689006
- [2] H. Culbertson, S. B. Schorr, A. M. Okamura, "Haptics: the present and future of artificial touch sensation", *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 1, pp. 385-409, 2018. doi:10.1146/annurev-control-060117-105043
- [3] S. Choi, K. J. Kuchenbecker, "Vibrotactile display: perception, technology, and applications", *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 9, pp. 2093-2104, 2013. doi:10.1109/JPROC.2012.2221071
- [4] L. A. Jones, N. B. Sarter, "Tactile displays: guidance for their design and application", *Human Factors*, vol. 50, no. 1, pp. 90-111, 2008. doi:10.1518/001872008X250638
- [5] P. B. Shull, D. D. Damian, "Haptic wearables as sensory replacement, sensory augmentation and trainer: a review", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 12, art. 59, 2015. doi:10.1186/s12984-015-0055-z
- [6] J. Brooke, "SUS: a 'quick and dirty' usability scale", en P. W. Jordan et al. (eds.), *Usability Evaluation in Industry*, Taylor & Francis, Londres, pp. 189-194, 1996.
- [7] S. Okamoto, M. Konyo, S. Saga, S. Tadokoro, "Detectability and perceptual consequences of delayed feedback in a vibrotactile texture display", *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 2, no. 2, pp. 73-84, 2009. doi:10.1109/TOH.2009.17