



BIOFLEX 2024

I+D de sistemas
textiles para la
monitorización y
análisis de señales
biomédicas de forma
no invasiva



Contenido

1. Ficha técnica del proyecto	2
2. Antecedentes y motivaciones	3
3. Objetivos del proyecto	4
4. Plan de trabajo	5
5. Resultados obtenidos	6
6. Colaboradores externos e impacto empresarial	¡Error! Marcador no definido.



1. Ficha técnica del proyecto

N.º EXPEDIENTE	IMDEEA/2024/98
TÍTULO COMPLETO	BIOFLEX 2024 – I+D DE SISTEMAS TEXTILES PARA LA MONITORIZACIÓN Y ANÁLISIS DE SEÑALES BIOMÉDICAS DE FORMA NO INVASIVA
PROGRAMA	Ayudas dirigidas a centros tecnológicos CV para proyectos de I+D en cooperación con empresas
ANUALIDAD	2025
PARTICIPANTES	(si procede)
COORDINADOR	(si procede)
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	



2. Antecedentes y motivaciones

La monitorización de parámetros fisiológicos y la medición de señales biomédicas a través de prendas textiles, también conocida como "textil inteligente" o "textiles electrónicos", ha experimentado avances significativos en los últimos años. Esta tecnología combina la funcionalidad de las prendas de vestir con dispositivos electrónicos flexibles y sensores integrados para recopilar datos biomédicos de manera no invasiva y continua.

Los textiles inteligentes para monitorear señales biomédicas son un área de investigación y desarrollo bastante interesante en la intersección de la tecnología y la salud. Estos textiles incorporan componentes electrónicos flexibles en la propia tela, lo que les permite detectar, monitorear y registrar diversas señales biomédicas del usuario. Algunas de las señales biomédicas que estos textiles pueden monitorear incluyen el ritmo cardíaco, la respiración, la actividad muscular y la temperatura corporal.

Los textiles inteligentes utilizan una variedad de sensores, como sensores de ECG (electrocardiograma), sensores de EMG (electromiografía), sensores de temperatura, entre otros, para recopilar datos biomédicos. Estos datos luego se pueden transmitir de forma inalámbrica a dispositivos externos, como teléfonos inteligentes o computadoras, para su análisis y seguimiento.

El desarrollo de textiles inteligentes para captar señales biomédicas tiene el potencial de revolucionar la atención médica, ya que permite un monitoreo continuo y no invasivo de la salud de los pacientes, tanto en entornos clínicos como en la vida diaria. Esto podría ser especialmente útil en el monitoreo remoto de pacientes con condiciones crónicas o en la detección temprana de problemas de salud.

Sin embargo, aunque la tecnología ha avanzado significativamente en esta área, todavía existen desafíos técnicos y de diseño que deben superarse para garantizar la precisión, la comodidad y la durabilidad de estos textiles inteligentes.



3. Objetivos del proyecto

El proyecto **BIOFLEX 2024** tiene como objetivo principal investigar diversas tecnologías de fabricación de electrodos secos para determinar cuáles ofrecen mejores resultados en la monitorización de diferentes señales biomédicas. Posteriormente, se busca integrar estos electrodos en prendas textiles que permitan la monitorización continua y precisa de dichas señales en un amplio espectro de usuarios, independientemente de sus diferencias de fisionomía.

Para alcanzar este objetivo, se plantea trabajar con distintas electrónicas de monitorización que permitan estudiar el mayor número posible de señales (ECG, EDA, EMG, EEG, SpO₂, presión arterial, ritmo respiratorio y respiración máxima), comenzando con pruebas en laboratorio y evolucionando hacia prendas totalmente ponibles, autónomas y sin necesidad de conexión continua a la red eléctrica.

Objetivos Específicos

1. **Estudio de señales obtenidas mediante electrodos secos** aplicadas a las derivaciones precordiales del ECG.
2. **Diseño y desarrollo de cableado textil elástico apantallado** para la transmisión fiable de señales biomédicas.
3. **Análisis comparativo de la señal EEG** entre electrodos húmedos y secos.
4. **Desarrollo de electrodos secos mediante distintas tecnologías** (bordado, tejeduría, impresión e inyección de silicona) para la monitorización específica de señales bioelectrónicas (ECG, EEG, EMG y EDA).
5. **Investigación de la tecnología RADAR** para la monitorización sin contacto del ECG y del ritmo respiratorio.
6. **Integración de electrónicas flexibles en prendas textiles**, garantizando confort y funcionalidad.
7. **Desarrollo de soluciones de impermeabilización** para la protección de las electrónicas de control.
8. **Estudio de la industrialización y viabilidad económica** de las tecnologías desarrolladas, orientado a su escalabilidad y transferencia al mercado.



4. Plan de trabajo

CRONOGRAMA

PAQUETES DE TRABAJO	MESES																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PT1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO																		
ACTIVIDAD 1.1.: GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																		
PT2. EJECUCIÓN TÉCNICA																		
ACTIVIDAD 2.1.: ESTADO DEL ARTE / VIABILIDAD TÉCNICA / DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES																		
ACTIVIDAD 2.2.: EXPERIMENTAL																		
ACTIVIDAD 2.3.: CARACTERIZACIÓN																		
ACTIVIDAD 2.4.: COORDINACIÓN TÉCNICA Y VALIDACIÓN																		
Entregable PT2																		◊
Hito 1																		▲
PT3. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRNASFERENCIA DE RESULTADOS																		
ACTIVIDAD 3.1.: COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS																		
Entregable PT3																		◊
Hito 2																		▲
PT4. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																		
ACTIVIDAD 4.1.: SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																		

☼ Conferencia/Reunión

◊ Entregable

▲ Hito

5. Resultados obtenidos

1. Banda Lumbar para Monitorización EMG

Desarrollo Experimental

Durante la fase experimental se diseñó y confeccionó una banda lumbar orientada a la monitorización de la actividad muscular en la zona abdominal y lumbar. El objetivo fue garantizar estabilidad en la colocación de electrodos y confort durante el uso prolongado, manteniendo la libertad de movimiento.

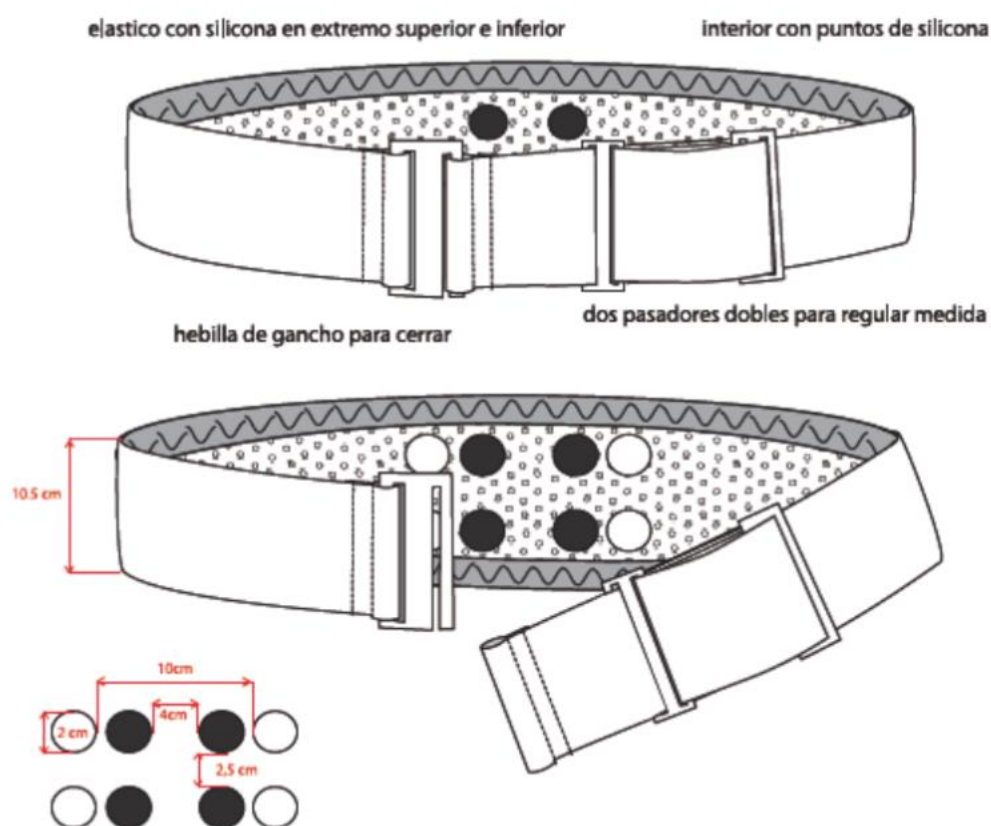


Figura 1. Diseño alternativo de la banda lumbar

• Diseño optimizado:

- Reducción de altura (de 20 cm a 10–12 cm) para mejorar ergonomía y adaptabilidad.
- Incorporación de **electrodos móviles sobre carriles internos**, permitiendo ajustar su posición según la fisionomía del usuario.
- Sistema de cierre flexible (broches o velcro técnico) para regular la compresión sin generar puntos rígidos.

- Aplicación de **silicona antideslizante** en la cara interna para evitar desplazamientos durante movimientos dinámicos.
- **Materiales:**
 - Tejido base PA/EA (77/23) con gramaje 180–220 g/m², alta recuperación elástica y baja abrasividad.
 - Refuerzo interno en zona de electrodos para evitar deformaciones.
- **Pruebas funcionales:**
 - Validación en movimientos dinámicos (flexión, extensión y rotación del tronco).
 - Estabilidad de electrodos en el 95% de los casos, con migración vertical < 5 mm.
 - Confort percibido $\geq 4/5$ en la mayoría de usuarios.

Este diseño demostró la viabilidad de integrar monitorización EMG en una prenda ergonómica y adaptable, con potencial para aplicaciones en deporte, salud preventiva y rehabilitación.



Figura 2. Resultado final faja EMG.

Caracterización y Validación

Se realizó un estudio comparativo entre la señal EMG obtenida con la banda BIOFLEX y el sistema de referencia **NORAXON Clinical DTS**, considerado estándar en entornos clínicos.

- **Protocolo de prueba:**
 - 12 usuarios, IMC < 30, realizando dos ejercicios: **flexo-extensión** y **flexión lateral** con carga (10–15 kg).
 - Sensores ubicados en músculos erectores lumbares (L2–L3).
 - Duración: 5 repeticiones por ejercicio, ciclos de 20 s.

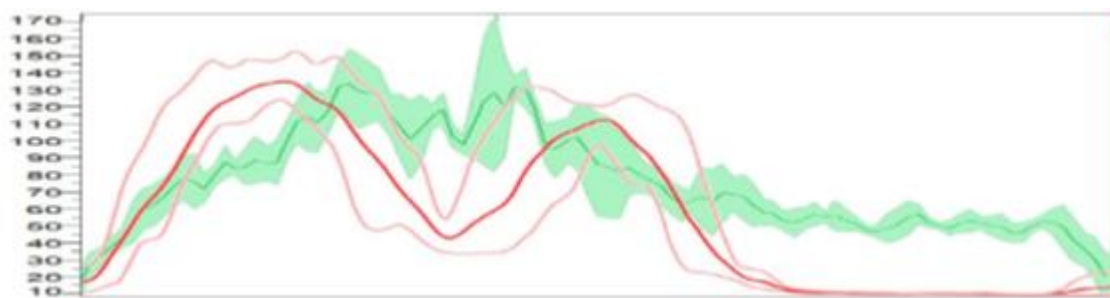


Figura 3. Resultados con prototipo realizado de faja EMG.

- **Resultados principales:**

- **Detección de activación muscular:** BIOFLEX confirmó actividad en el 100% de los casos (48/48), coincidiendo con NORAXON.
- **Identificación del momento de activación:** En el 85,4% de los casos no se detectaron diferencias morfológicas significativas (solo 7/48 casos con leves anomalías).
- **Medida de intensidad:** Se observaron diferencias >30% en el 89,6% de los casos, con amplitud promedio en BIOFLEX $\approx$ 293% superior a NORAXON.
 - Posibles causas: sobrepresión del textil durante movimientos y diferencias en la resistencia de los electrodos.
- **Patrones morfológicos:** En el 43,4% de los casos se detectó patrón de valle en BIOFLEX frente a patrón en loma en NORAXON, atribuible a deslizamiento o variación de presión sobre el electrodo.

- **Mejoras propuestas:**

- Rediseño con electrodos en parches adhesivos removibles y gel conductor para mejorar posicionamiento y estabilidad.
- Validación del prototipo alpha con este rediseño mostró resultados prometedores:
 - Intensidad sEMG equivalente y morfología de curvas idénticas al sistema NORAXON.

Gráfica de datos sEMG Flexo-Extensión (μV vs t)

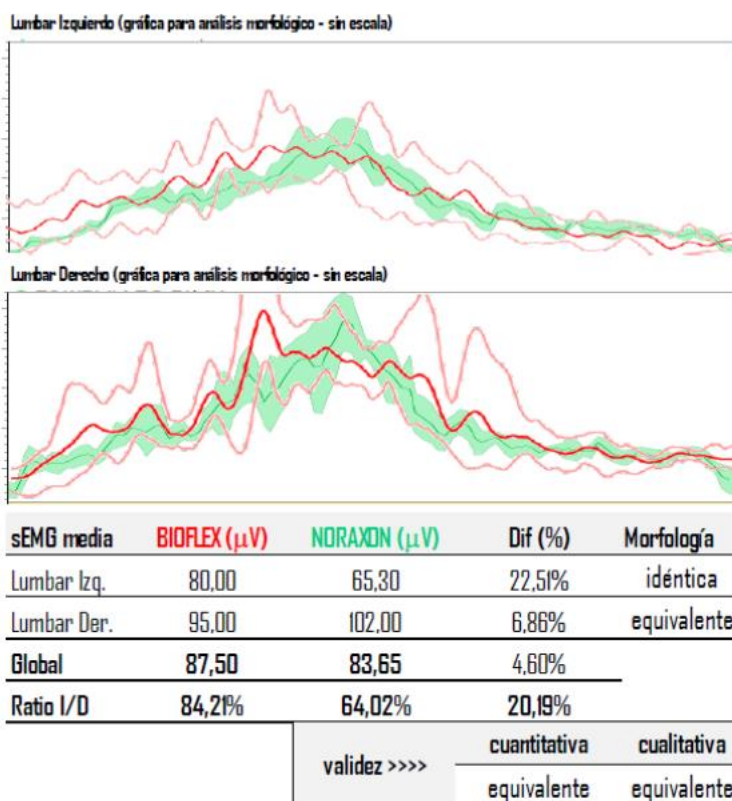


Figura 4. Resultados con adaptación adhesiva.

2. Desarrollo top ECG

Durante el proyecto se desarrollaron tres prototipos de top (mujer, hombre sin mangas y hombre manga corta) con electrodos textiles integrados mediante tecnologías de bordado y cableado flexible. El objetivo fue garantizar **comodidad, estabilidad de contacto y calidad de señal** en la monitorización electrocardiográfica.



Figura 5. Vista delantera top hombre

Pruebas realizadas

Se compararon las señales obtenidas con los electrodos textiles frente a electrodos convencionales de gel en seis derivaciones torácicas, siguiendo protocolos en condiciones controladas. El análisis incluyó ritmo cardíaco, morfología de la señal y estabilidad durante el uso.

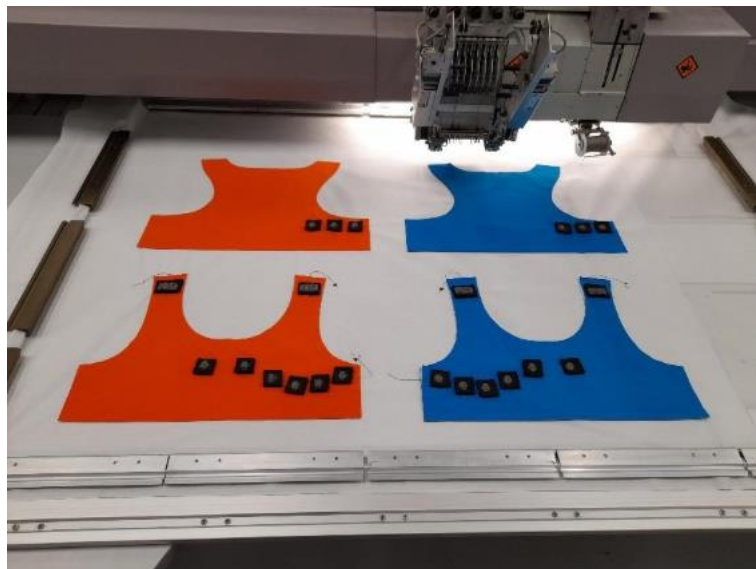


Figura 6. Bordado de los electrodos del top

Principales resultados

- Las señales registradas con los electrodos textiles mostraron **alta correlación** con las obtenidas mediante electrodos de gel, especialmente en parámetros críticos como el ritmo cardíaco y la detección del complejo QRS.

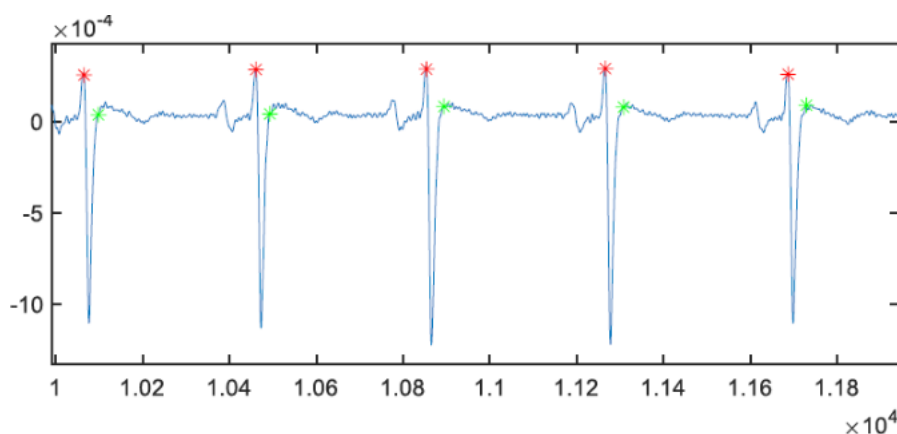


Figura 7. Duración QRS en la señal ECG

- Todas las señales fueron **visualmente correctas**, sin pérdida de información relevante.
- Se observaron pequeñas diferencias en la duración de ondas P y T, atribuibles a variaciones en la presión de contacto, sin impacto significativo en la interpretación básica.

- El sistema demostró **viabilidad para aplicaciones deportivas y clínicas**, ofreciendo una solución cómoda, lavable y escalable.

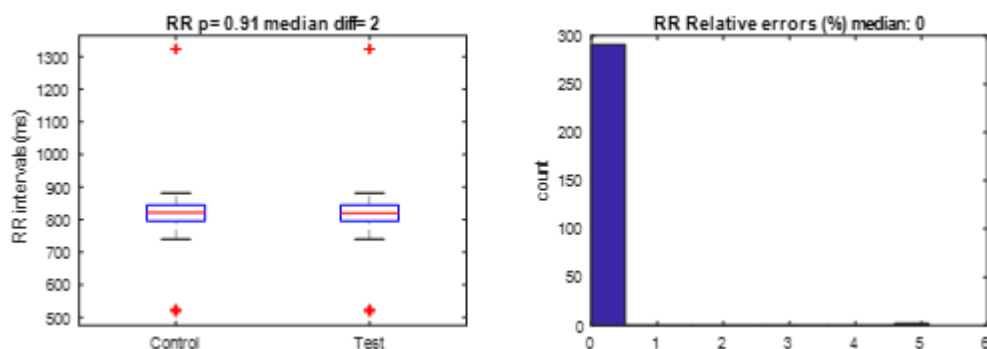


Figura 8. Error relativo en identificación de secciones RR.

El top ECG desarrollado en BIOFLEX 2024 confirma la posibilidad de integrar electrodos textiles en prendas funcionales para monitorización cardíaca con precisión comparable a sistemas convencionales, abriendo la puerta a soluciones ponibles para salud y deporte.

3. Desarrollo banda EEG

Desarrollo experimental

Se diseñó una banda textil ergonómica para monitorización EEG, compuesta por tejidos elásticos con grip de silicona para garantizar estabilidad y confort. El diseño final incorpora un sistema entrecruzado (frontal–occipital y superior–mentonera) que permite adaptarse a diferentes morfologías craneales sin generar puntos de presión. La estructura incluye zonas técnicas para la integración de electrodos textiles y cableado flexible, manteniendo la estética y la funcionalidad.



Figura 9. Prototipo de la banda de EEG

Electrodos textiles

Se desarrollaron y evaluaron varias tecnologías de electrodos secos (bordado, tejidos conductores y acabados con silicona), priorizando baja abrasividad, buena conductividad y compatibilidad con la prenda. Los electrodos se integraron en posiciones estratégicas para captar señales EEG en regiones frontales y occipitales.



Figura 10. Electrodos utilizados para los experimentos

Pruebas y caracterización

- Se realizaron registros EEG en condiciones controladas (ojos abiertos y cerrados), comparando electrodos textiles con electrodos estándar de referencia.
- El análisis se centró en la calidad de la señal y la detección de patrones fisiológicos esperados, como el incremento de la **onda alfa (8–13 Hz)** durante la condición de ojos cerrados.
- Se evaluó la similitud espectral entre electrodos textiles y convencionales, identificando los tejidos con mejor comportamiento.

Principales resultados

- Las bandas con electrodos textiles **detectaron correctamente los ritmos cerebrales característicos**, confirmando la aparición de la onda alfa en ojos cerrados.

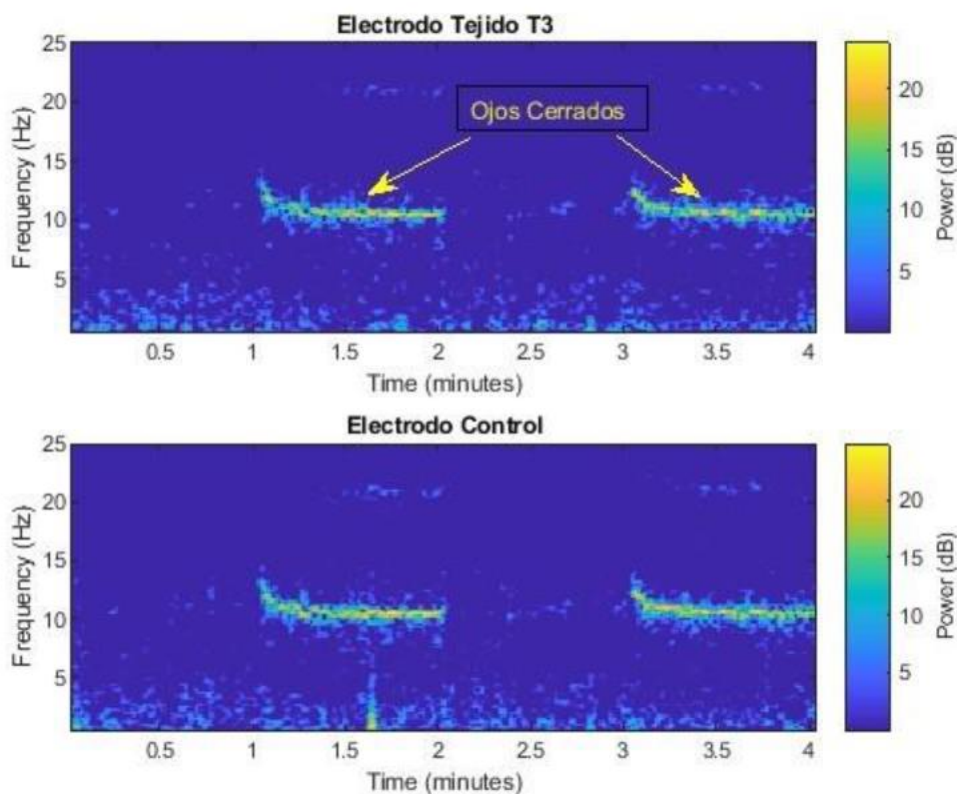


Figura 11. Espectrograma. Participante con tejido T3 durante el registro completo

- Algunos tejidos (p. ej., variantes equivalentes a T3 y T2R) mostraron **mayor similitud espectral** con los electrodos de referencia, lo que indica su idoneidad para aplicaciones EEG.
- Las señales fueron **visualmente correctas** y permitieron análisis funcionales, aunque se observó cierta sensibilidad al ruido y variabilidad en la impedancia según el tipo de tejido.
- El diseño de la banda garantizó **estabilidad mecánica y confort**, favoreciendo registros continuos sin desplazamientos significativos.

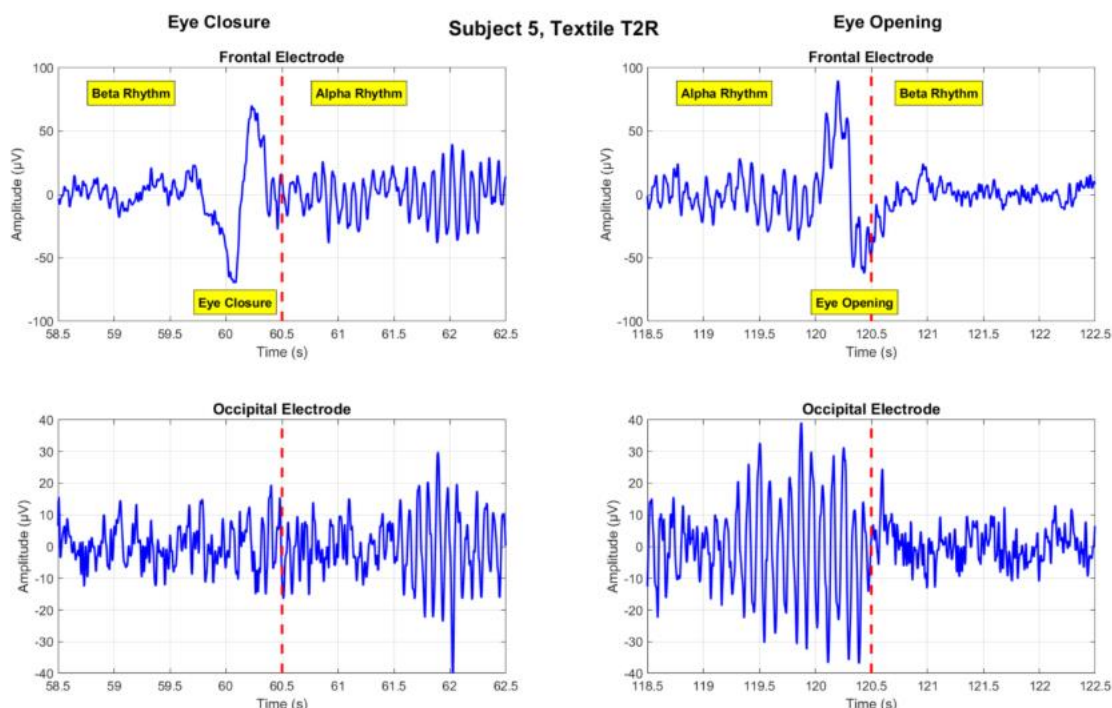


Figura 12. Señales de muestra del cerrado de ojos y la aparición de la onda alfa.

La banda de cabeza desarrollada en BIOFLEX 2024 valida la viabilidad de integrar **electrodos textiles secos** para monitorización EEG en prendas ponibles, ofreciendo una solución cómoda y funcional para aplicaciones en neurotecnología, bienestar y estimulación cognitiva. Los resultados confirman la necesidad de optimizar el contacto y reducir interferencias para mejorar la calidad de señal en futuros desarrollos.

4. Cableado apantallado textil y pruebas de inmunidad electromagnética

Desarrollo del cableado apantallado

Se diseñó y fabricó un **cable textil elástico apantallado** para la transmisión de señales biomédicas, con el objetivo de reducir interferencias electromagnéticas y mejorar la calidad de la señal en entornos reales. El diseño combina conductores textiles con capas de apantallamiento integradas en una estructura flexible, manteniendo la comodidad y la compatibilidad con prendas ponibles.



Figura 13. Cableado elástico apantallado y aislado.

Pruebas realizadas

Se llevaron a cabo ensayos específicos para evaluar la **inmunidad electromagnética** del sistema en condiciones representativas de uso, aplicando campos radiados en un amplio rango de frecuencias. Durante las pruebas se registraron señales ECG mediante electrodos textiles, comparando configuraciones con y sin apantallamiento.



Figura 14. Prototipo realizado para pruebas del cableado apantallado.

Principales resultados

- El cableado apantallado mostró **mayor estabilidad y menor nivel de ruido** frente a interferencias externas, especialmente en frecuencias críticas para aplicaciones sanitarias.
- Las señales ECG obtenidas fueron **continuas y funcionales**, con morfología correcta del complejo PQRST, incluso bajo exposición a campos electromagnéticos.
- La solución apantallada demostró ser **robusta y segura**, cumpliendo los requisitos de inmunidad para dispositivos médicos portátiles y confirmando su idoneidad para entornos domésticos y clínicos.

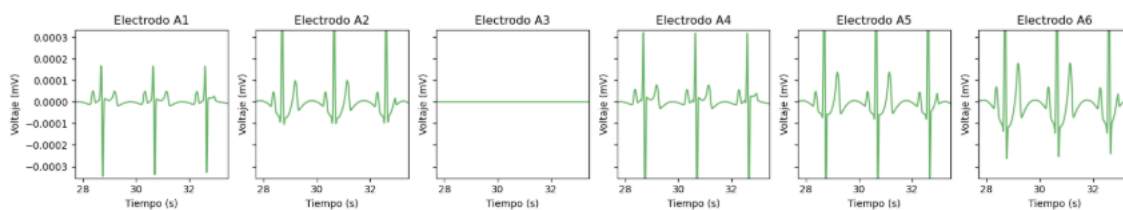


Figura 15. Señal ECG obtenida durante las pruebas de inmunidad electromagnética.

La integración de cableado apantallado textil en los prototipos BIOFLEX 2024 mejora significativamente la calidad y fiabilidad de la señal, reduciendo el impacto de interferencias electromagnéticas. Este avance refuerza la viabilidad de sistemas ponibles para monitorización fisiológica en condiciones reales.