



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Departamento**

**Área de Conocimiento**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

**"Diseño y desarrollo de un dispositivo de medición de presión en cargas  
sobre el hombro"**

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto.

Autor: David Sánchez Murcia

Tutor: Óscar de Cózar Macías

Cotutor: José Macías García

MÁLAGA, junio de 2025



## Resumen

Este Trabajo Fin de Grado presenta el diseño y desarrollo de un dispositivo portátil orientado a mejorar la ergonomía y la gestión de los hombres y mujeres de trono en las procesiones de Semana Santa. El sistema, denominado DMCH (Dispositivo de Medición de Carga sobre Hombro), permite registrar y analizar las cargas que soporta cada portador durante el recorrido, ofreciendo información útil tanto en tiempo real como para su posterior evaluación. (NASA, 2010)

La propuesta responde a una necesidad detectada en el entorno cofrade: la falta de herramientas objetivas para conocer el reparto del esfuerzo físico. A partir de entrevistas con capataces, portadores y hermanos mayores, se ha desarrollado un diseño funcional, cómodo y compatible con la estética tradicional, que integra sensores, módulo de localización y conectividad inalámbrica.

El dispositivo se ha validado en condiciones reales y se acompaña de una aplicación web que permite visualizar los datos de forma clara e intuitiva. Gracias a esta información, es posible reorganizar los turnos, prevenir sobrecargas y mejorar la planificación de las salidas. Además, se ha planteado un modelo de comercialización mixto, adaptable a las necesidades de distintas cofradías, contemplando tanto la venta como el alquiler del sistema. (Agrupación de Cofradías de Málaga, s.f.)

Más allá de su aplicación en el ámbito procesional, el proyecto abre nuevas posibilidades en sectores donde el control del esfuerzo físico es relevante. Esta solución, basada en criterios técnicos, antropométricos y normativos, representa un paso hacia la profesionalización del porte cofrade, conectando innovación tecnológica y tradición con un enfoque respetuoso, práctico y escalable.

## **Abstract**

This Final Degree Project presents the design and development of a portable device aimed at improving ergonomics, safety, and organizational efficiency for “hombres y mujeres de trono” (float bearers) during Holy Week processions in Málaga. The system, named DMCH (Shoulder Load Monitoring Device), allows for the measurement and analysis of the physical load borne on the shoulders during the procession, providing both real-time monitoring and post-event evaluation through a web-based application.

The project emerges from a real need within the religious context: the lack of objective tools to assess how the physical effort is distributed among bearers. Drawing from interviews with capataces (foremen), float bearers, and brotherhood leaders, a functional and comfortable prototype has been developed. The device is non-intrusive and respectful of traditional attire, integrating pressure sensors, a GPS module, and wireless data transmission.

The collected data enables better distribution of weight, supports decision-making during the procession, and facilitates injury prevention. A mixed business model has also been proposed, offering the system for sale or rental to brotherhoods of varying sizes and resources.

Beyond the cofrade environment, the solution has potential applications in other sectors where physical strain monitoring is essential. This project connects innovation and tradition, offering a practical, respectful, and scalable approach to improve one of Andalusia’s most deeply rooted cultural practice.

## INDICE

INDICE DE TABLAS .....	9
INDICE DE FIGURAS .....	11
MEMORIA .....	13
1. OBJETO Y ALCANCE .....	13
1.1 Objeto .....	13
1.2 Alcance .....	13
1.3. Plan de Trabajo .....	16
1.4 Aplicación en escenarios reales .....	17
1.5 Motivación del proyecto .....	20
2. ANTECEDENTES .....	23
2.1 Revisión de estudios e investigaciones previas .....	23
2.2 Soluciones existentes y su aplicación práctica .....	24
2.3 Trabajo de campo: observación y análisis de hombres y mujeres de trono .....	26
2.4 Conclusiones previas al desarrollo .....	29
3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	31
3.1 Contexto histórico-cultural de la Semana Santa. ....	31
3.2 Aplicación real en el contexto de la Semana Santa .....	33
4. NORMAS Y REFERENCIAS .....	35
4.1 Normativa aplicable al dispositivo .....	35
4.2 Regulaciones sobre dispositivos de medición de cargas .....	38
5. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO .....	41
5.1 Formulación del problema de diseño. ....	41

5.2 Caracterización general.....	41
5.3 Principales limitaciones del producto .....	51
6. DISEÑO CONCEPTUAL .....	53
6.1 Especificaciones técnicas del dispositivo.....	53
6.2 Exposición de soluciones y propuestas .....	56
6.3 Selección del concepto de producto .....	61
6.4 Propuesta final.....	62
7. DISEÑO PRELIMINAR E INGENIERÍA BÁSICA .....	65
7.1 Diseño geométrico y montaje del sistema.....	65
7.2 Estudio antropométrico y ergonómico. ....	66
8. DISEÑO FINAL E INGENIERÍA DE DETALLE .....	69
8.1 Procesado e interpretación de datos .....	69
8.2 Registro, comunicación y gestión de usuarios en la app web .....	70
8.3 Pruebas funcionales.....	72
8.4 Ajustes y mejoras aplicadas tras la fase de pruebas .....	73
8.5 Memoria de calidades.....	74
8.6 Esquema de conexionado. ....	77
8.7 Análisis económico .....	78
8.7 Fin de vida del producto.....	83
9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS.....	87
9.1 Conclusiones generales .....	87
9.2 Posibles mejoras del dispositivo .....	87
9.3 Oportunidades para futuras investigaciones o aplicaciones .....	88

10. Bibliografía .....	91
ANEXOS .....	95
ANEXO I Especificaciones técnicas detalladas .....	95
ANEXO II Encuestas y entrevistas .....	99
ANEXO III Estructura del sistema web .....	107
ANEXO IV Glosario de términos .....	109
ANEXO V Códigos fuente y flujo de funcionamiento del sistema .....	111
PLIEGO DE CONDICIONES .....	115
Condiciones técnicas del producto .....	115
Condiciones económicas .....	116
Condiciones de fabricación y montaje .....	117
Garantía y ejecución .....	118
Certificaciones y calidad .....	119
MEDICIONES Y PRESUPUESTO .....	123
Capítulo 1 – Componentes electrónicos .....	123
Capítulo 2 – Componentes textiles y sujeción .....	124
Capítulo 3 – Montaje y ensamblaje .....	125
Capítulo 4 – Embalaje, etiquetado y documentación .....	125
PLANOS .....	129
Plano 1 – Vista explosionada del conjunto del dispositivo DMCH (textil + encapsulado + electrónica) .....	129
Plano 2 – Vistas ortogonales del encapsulado (planta, alzado y perfil) .....	129
Plano 3 – Patronaje textil: piezas planas, cotas y márgenes de costura .....	129



Plano 4 – Patronaje, uniones de costura .....	129
Plano 5 – Esquema de conexionado electrónico del sistema (sensor – ESP32 – GPS – batería) .....	129
Plano 6 – Distribución de componentes electrónicos en el interior del encapsulado .....	129
AGRADECIMIENTOS .....	131



**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Criterio matriz pugh textil.....	43
Tabla 2 Matriz pugh textil.....	44
Tabla 3 Matriz pugh criterios sensor. ....	44
Tabla 4 Matriz pugh sensor.....	45
Tabla 5 Matriz pugh criterio encapsulado .....	46
Tabla 6 Matriz pugh encapsulado .....	46
Tabla 7 Matriz pugh criterio GPS .....	47
Tabla 8 Matriz pugh GPS .....	47
Tabla 9 Matriz pugh criterio batería .....	48
Tabla 10 Matriz pugh batería.....	48
Tabla 11 Matriz pugh criterio unión textil.....	49
Tabla 12 Matriz pugh unión textil .....	49
Tabla 13 Matriz resumen componentes .....	50
Tabla 14 Matriz DAFO .....	62
Tabla 15 Medidas antropométricas clave utilizadas para el diseño del sistema. ....	67
Tabla 16 Coste de producción por unidad .....	79
Tabla 17 Flota de alquiler .....	80
Tabla 18 Amortización .....	80
Tabla 19 DAFO.....	82
Tabla 20 Análisis de venta directa .....	83
Tabla 21 Proceso fin de vida.....	84
Tabla 22 Subtotal capítulo 1 .....	123
Tabla 23 Subtotal capítulo 2 .....	124
Tabla 24 Subtotal capítulo 3 .....	125
Tabla 25 Subtotal capítulo 4 .....	125
Tabla 26 Resumen total .....	126
Tabla 27 Tabla de amortización – Modelo de alquiler .....	126



Tabla 28 Amortización – Modelo mixto.....	127
---	-----



## INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Boceto A .....	58
Ilustración 2 Boceto B .....	59
Ilustración 3 Boceto C .....	59
Ilustración 4 Boceto D .....	60
Ilustración 5 Boceto Final .....	62



## MEMORIA

### 1. OBJETO Y ALCANCE

#### 1.1 Objeto

El proyecto tiene como objeto diseñar y desarrollar un sistema de medición y análisis de cargas aplicado a los hombres y mujeres de trono en procesiones de Semana Santa, que registre las fuerzas ejercidas en los hombros debido al peso soportado bajo el varal, con el fin de optimizar la ergonomía, prevenir lesiones y además, el sistema incluirá una funcionalidad de transmisión en tiempo real a una aplicación móvil, que permitirá visualizar el peso cargado por cada portador y mejorar la organización del grupo ajustando su disposición según su altura, contribuyendo a una experiencia más eficiente, segura y personalizada. (La Razón, 2023)

Este concepto se encuentra en un TFG previo de la compañera Sonsoles Vico Zubiria que desarrolló esta idea en un plano conceptual, también es objeto de este proyecto ahondar más tanto en el perfil práctico como en añadir nuevas funcionalidades y tener un enfoque de utilidad para que pueda ser puesto en producción y venta.

#### 1.2 Alcance

##### 1.2.1 Desarrollo Integral del Producto

**Diseño Final del Dispositivo:** Se debe completar el diseño técnico del dispositivo, incluyendo la selección final de componentes electrónicos (sensores de carga, microcontroladores, batería, sistema de transmisión de datos) y materiales ergonómicos (hombros adaptables, materiales transpirables, y resistentes). El dispositivo debe ser duradero, ligero y cómodo para los portadores.

**Prototipado Funcional:** Realización de un prototipo totalmente funcional, que incluya tanto el hardware como el software, para pruebas en escenarios reales de procesiones.

Validación y Pruebas de Campo: Pruebas exhaustivas del dispositivo en condiciones reales para verificar su precisión en la medición de fuerzas, comodidad, y eficiencia en la transmisión de datos en tiempo real.

#### 1.2.2 Desarrollo de la Aplicación web

Desarrollo de la web: Diseño y programación de una aplicación web con interfaz intuitiva, que permita a los, capataces y organizadores visualizar y gestionar la distribución de las cargas en tiempo real.

Funcionalidades Adicionales: Añadir características como almacenamiento de datos históricos, recomendaciones de redistribución automática, y notificaciones en tiempo real. Debe ser compatible tanto con iOS como con Android.

#### 1.2.3 Optimización para Producción en Serie

Optimización de Fabricación: Diseñar el dispositivo para que sea económicamente viable. Esto incluye seleccionar procesos de manufactura eficientes (inyección de plásticos, ensamblado automatizado) y materiales de fácil acceso.

Costos y Escalabilidad: Desarrollar una estrategia de costos que permita mantener un precio competitivo. El sistema debe ser accesible a nivel local, para pequeñas cofradías tanto de glorias como de pasión, pero también escalable para producción mayor, si el mercado crece.

#### 1.2.4 Cumplimiento Normativo y Certificaciones

Regulaciones y Normativa: Cumplir con las normativas vigentes para dispositivos biomédicos y electrónicos, incluyendo las certificaciones necesarias para garantizar la seguridad del usuario y la calidad del producto (normas CE, regulación médica si aplica).

Protección de Datos: Considerar la implementación de medidas de seguridad para proteger los datos transmitidos por el dispositivo, especialmente si la app almacena información sobre las cargas y las características físicas de los usuarios.

#### 1.2.5. Estrategia Comercial y Modelo de Negocio

**Modelo de Negocio:** Definir el modelo de negocio para la comercialización del dispositivo. Puede incluir la venta directa del hardware (dispositivos) y una suscripción a servicios avanzados de la aplicación (análisis de datos, soporte técnico, actualizaciones).

**Mercado Objetivo:** El proyecto debe estar enfocado inicialmente en cofradías de Semana Santa y organizaciones religiosas, pero con potencial de expansión a otros eventos similares que involucren cargas físicas.

**Distribución y Marketing:** Desarrollar una estrategia de distribución (ventas online, tiendas especializadas, acuerdos con cofradías o asociaciones de fisioterapeutas) y marketing orientado a resaltar los beneficios ergonómicos y preventivos del producto, así como su carácter innovador y accesible.

#### 1.2.6 Líneas Futuras de Mejora:

**Mejoras en Sensores y Tecnología:** Posibilidades de integrar nuevos tipos de sensores más avanzados o de menor costo que optimicen la precisión y la experiencia de usuario.

**Actualizaciones del Software:** La app debe estar diseñada para permitir actualizaciones que mejoren su funcionalidad con el tiempo, permitiendo una mejora continua basada en el feedback de los usuarios.

**Expansión a Nuevas Aplicaciones:** Considerar su adaptación para otros tipos de eventos o sectores que involucren cargas físicas, como el transporte de cargas pesadas o el trabajo en construcción, expandiendo así el mercado más allá de las procesiones religiosas.

#### 1.2.7 Propuesta de Valor:

El producto final debe posicionarse como una solución innovadora, ergonómica y económica para medir cargas, con un claro enfoque en la prevención de lesiones y la optimización de esfuerzos físicos. Además, debe ser competitivo en términos de precio y accesible tanto para pequeñas organizaciones como para centros de rehabilitación.

En resumen, el alcance del proyecto va desde la materialización del diseño inicial hasta la fabricación en serie, la implementación de un modelo comercial viable, el cumplimiento normativo y la expansión potencial a nuevos mercados. Esto asegurará un producto listo para comercializarse con éxito y con un enfoque en la innovación, usabilidad, y accesibilidad económica.

### **1.3. Plan de Trabajo.**

#### **1.3.1. Fase de Investigación y Definición**

Investigación de mercado: Análisis del mercado objetivo (Hombres y Mujeres de trono, capataces, hermanos y hermanas mayores) y evaluación de competidores.

Estudio de usuarios: Identificar las características antropométricas y las necesidades específicas de los hombres y mujeres de trono.

Requisitos técnicos: Definir especificaciones técnicas para sensores de carga, conectividad y diseño ergonómico.

#### **1.3.2. Fase de Diseño Conceptual y Prototipado**

- Diseño industrial: Crear bocetos y renders del dispositivo, incluyendo opciones estéticas y ergonómicas.
- Desarrollo del prototipo: Construir un prototipo funcional con sensores de carga y sistema de transmisión de datos.
- Diseño de la app: Diseño inicial de la interfaz de usuario de la app, incluyendo funcionalidades de visualización de datos y recomendaciones

#### **1.3.3. Fase de Pruebas y Validación**

- Pruebas de campo: Realizar pruebas del prototipo con hombres y mujeres de trono en condiciones reales para ajustar ergonomía y precisión de las mediciones.
- Validación técnica: Asegurar que el dispositivo cumple con los requisitos técnicos y normativos, además de la conectividad con la app.



- Pruebas de la app: Evaluación de la interfaz y la experiencia del usuario, haciendo ajustes según el feedback.

#### 1.3.4. Optimización para Producción y Certificación

- Optimización de diseño para producción en serie: Ajustar el diseño para reducir costos y mejorar la fabricación en masa.
- Certificaciones: Cumplir los requisitos para certificaciones y cumplir con normativas técnicas y de seguridad.
- Desarrollo final de la aplicación: Implementación de la versión final de la aplicación, incluyendo almacenamiento de datos y funcionalidades avanzadas.

#### 1.3.5. Seguimiento y Mejora Continua

- Feedback de usuarios: Recolectar y analizar el feedback de los usuarios para realizar mejoras en futuras versiones.
- Actualización de software: Desarrollar nuevas funcionalidades y optimizaciones para la app.

### **1.4 Aplicación en escenarios reales.**

La implementación del dispositivo en escenarios reales debe considerar tanto su funcionalidad como su impacto en la prevención de lesiones y optimización del esfuerzo durante las procesiones. A continuación, se detalla su aplicación en diferentes contextos.

- Aplicación en Ensayos.

El objetivo principal es evaluar la distribución del peso antes de la procesión y ayudar al correcto tallaje de los hombres y mujeres de trono.

Para la implementación se dispondría de varios pasos que serían:

- Instalación del dispositivo en un grupo de muestra de hombres y mujeres de trono que estén distribuidos de manera que ocupen todas las zonas del trono de ensayo.

- Medición de cargas durante el ensayo teniendo en cuenta las distintas posiciones y recorridos, hay factores externos a tener en cuenta que pueden resultar en conclusiones erróneas como la caída de la calle que alteraría la equidad de cargas durante ese momento.
- Análisis de datos

Se detectan las diferencias de cargas que soporta cada hombre de trono y se evalúa posibles descompensaciones.

- Ajustes de cara al siguiente ensayo.
- Optimización de distribución del peso

Habiendo recogido los datos de los ensayos se reorganizan a los hombres y mujeres de trono según su capacidad física y altura para evitar lesiones e igualar las cargas en la medida de lo posible.

El gran beneficio sería la prevención de sobrecargas durante la procesión y la mejor distribución de los esfuerzos.

- Uso durante la procesión.

El objetivo principal en este caso sería el monitoreo en tiempo real de cargas y detectar posibles descompensaciones o falta de compromiso en alguno de los hombres y mujeres de trono para prevenir la fatiga excesiva.

- Colocación de los dispositivos antes de la salida

Se distribuyen entre los hombres y mujeres de trono en puntos estratégicos.

Los sensores comienzan a registrar datos desde el inicio de la procesión.

- Transmisión de datos en tiempo real

Los valores de carga se envían a una aplicación móvil o Tablet gestionada por los capataces o responsables.

Se muestra un mapa de esfuerzos con indicaciones sobre qué portadores están recibiendo mayor o menor carga.

- Correcciones dinámicas durante la procesión:

Si se detectan desequilibrios, se pueden hacer pequeñas modificaciones en la alineación o redistribuir la carga.

- Análisis posterior para mejora continuada.

Objetivo: Evaluar el desempeño de los hombres y mujeres de trono tras la procesión y optimizar futuras ediciones.

Pasos de implementación:

- Extracción y análisis de datos tras la procesión:
  - Se estudian las cargas soportadas a lo largo del recorrido.
  - Se identifican picos de esfuerzo y momentos críticos de la procesión.
- Evaluación del impacto físico en los portadores:
  - Comparación con datos de fatiga muscular y lesiones reportadas.
  - Recomendaciones para entrenamientos específicos o adaptaciones en la estructura del trono.
- Optimización para años futuros:

Uso de los datos para mejorar la distribución de cargas en próximas procesiones.

Implementación de estrategias preventivas en entrenamientos.

Beneficio clave: Reducción de lesiones a largo plazo y mejora en la organización de los hombres y mujeres de trono.

## **1.5 Motivación del proyecto**

### **1.5.1 Motivación técnica y de innovación**

Debido a la oportunidad de mercado que surge con la profesionalización del equipamiento asociado a la Semana Santa, y dado que esta profesionalización es relativamente reciente, se llega a tiempo para introducir innovaciones como la utilización del dispositivo de medición de cargas transportadas sobre hombro (DMCH). Este dispositivo no solo ofrece una forma precisa de monitorear el esfuerzo físico de los hombres y mujeres de trono, también abre la puerta a nuevas posibilidades para mejorar la seguridad y el rendimiento durante las largas horas de las procesiones, llegando a cubrir hasta las más largas las cuales rondan las 13 horas. El DMCH permitirá medir la carga exacta que un portador lleva sobre sus hombros, proporcionando datos clave para ajustar las cargas y evitar sobreesfuerzos o lesiones.

Este tipo de innovaciones no solo es bueno para los portadores, sino también para las hermandades y cofradías, ya que gracias a ellas se consigue una mejor gestión de los recursos humanos durante las procesiones, optimizando tanto el esfuerzo individual como colectivo. Además, el uso de este tipo de dispositivos podría ayudar a establecer un estándar de seguridad en las procesiones, contribuyendo a una mayor profesionalización del sector en general.

No se puede hacer una comparación directa con objetos del mercado, ya que no existe nada similar. Los dispositivos actuales destinados al monitoreo de cargas en otros sectores no están específicamente diseñados para las necesidades particulares de los hombres y mujeres de trono. El DMCH, por tanto, es una innovación adaptada a las características físicas y las condiciones de trabajo de los portadores de trono, lo que lo convierte en una herramienta única. Al estar diseñado específicamente para este contexto, responde a una necesidad muy particular y abre una vía para el desarrollo de más tecnologías adaptadas que podrían mejorar aún más las condiciones de trabajo en la Semana Santa.

### 1.5.2 Aplicaciones prácticas y beneficios esperados

El desarrollo de este dispositivo plantea una serie de aplicaciones directas que permiten abordar de manera práctica los problemas detectados en el análisis previo. En primer lugar, el sistema facilita una mejor organización de los turnos y la distribución de los hombres y mujeres de trono antes de la salida, permitiendo asignar posiciones en base a datos objetivos sobre las zonas que soportan más carga. Esto ayuda a evitar sobreesfuerzos innecesarios y a equilibrar mejor el peso entre todos los portadores.

Durante la procesión, la transmisión en tiempo real permite identificar posibles desequilibrios en el trono, caídas de rendimiento en zonas concretas o situaciones anómalas que puedan comprometer la seguridad de los participantes. Esto le da al equipo de coordinación una herramienta útil para tomar decisiones rápidas y ajustar el ritmo o la formación si fuera necesario.

El DMCH cumplirá con las necesidades básicas de una prenda que se va a usar bajo un ámbito de esfuerzo, será ajustable, transpirable y lavable. Además, mediante un sistema de velcro se podrá intercambiar de hombro el sensor por si ajustes in situ varían este factor que el portador pueda seguir portando su DMCH sin problema

Una vez finalizado el recorrido, los datos recopilados pueden utilizarse para analizar el desarrollo completo del trayecto, lo que ofrece a las cofradías una base para mejorar la ergonomía en años posteriores. Esto puede reflejarse en cambios en la estructura del varal, mejora en la formación de los portadores, o simplemente en una planificación más eficiente de los relevos.

Por último, este sistema puede ser de gran utilidad para estudios posteriores relacionados con la salud postural, el esfuerzo físico o incluso la prevención de lesiones, tanto desde el ámbito médico como desde el técnico. De esta forma, no solo se plantea una mejora puntual, sino una herramienta con potencial para generar un cambio estructural en la forma en que se organiza y vive la procesión. (Bini, Hume y Croft, 2018)



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Revisión de estudios e investigaciones previas

El presente trabajo parte de la base establecida por el Trabajo Fin de Grado realizado en 2015 por la alumna Sonsoles Vico Zubiría bajo la tutoría de Óscar de Cózar Macías, titulado Diseño de un dispositivo de medición para hombres y mujeres de trono en Semana Santa. Este primer enfoque abordó con gran acierto la conceptualización teórica de una solución ergonómica y sensorizada para el análisis de cargas soportadas durante los traslados procesionales, siendo pionero en establecer una necesidad latente dentro del entorno cofrade malagueño.

En dicho estudio se analizaron las condiciones de carga a las que se enfrentan los portadores de trono, proponiendo un sistema basado en sensores de fuerza distribuidos en una estructura acolchada, acompañado por un planteamiento básico de recolección de datos. Se destacó la importancia de la antropometría, las condiciones reales de uso en la Semana Santa y la necesidad de adaptar el sistema a diferentes complexiones físicas. Asimismo, se valoró el impacto cultural y emocional de este tipo de dispositivos en un entorno tan tradicional y simbólico como el andaluz.

No obstante, dicho trabajo presentaba una serie de limitaciones propias de su etapa de desarrollo conceptual. En primer lugar, no se llegó a prototipar ni validar el sistema en condiciones reales de procesión, lo que impedía comprobar aspectos fundamentales como la fiabilidad de los sensores, la resistencia del textil o la conectividad de los módulos electrónicos. En segundo lugar, el enfoque se mantenía en una fase preliminar sin una propuesta clara de estrategia comercial, plan de fabricación ni estudio económico detallado. Finalmente, aunque la idea se presentaba como viable, no se planteaban rutas concretas para su implementación por parte de cofradías u organizaciones.

A partir de estas bases, el presente TFG retoma la esencia del trabajo anterior y la lleva un paso más allá: se han realizado entrevistas con capataces y hombres y mujeres de trono de diversas cofradías, se ha desarrollado un sistema funcional basado en un microcontrolador ESP32,

sensores piezorresistivos tipo FlexiForce A502 o similar y un módulo GPS NEO-6M o similar, todo ello encapsulado en un diseño ergonómico de neopreno técnico con fijaciones por velcro. Se han elaborado los patrones textiles, validado el diseño en campo, integrado una base de datos en tiempo real y preparado una interfaz visual PHP que permite representar la carga soportada por cada portador a lo largo del trono. (Tekscan, 2023)

Además, se ha contemplado la posibilidad de escalar la producción, contemplando tanto un modelo de venta como de alquiler para adaptarse a cofradías con distintos niveles de recursos. Este paso hacia la realidad comercial del producto marca una diferencia sustancial con el proyecto previo, centrado más en la viabilidad conceptual que en su ejecución práctica.

Este trabajo reconoce y agradece expresamente la labor desarrollada por Vico Zubiría (2015) y su tutor, ya que su visión ha servido como semilla y motivación directa para el enfoque práctico, técnico y aplicable que ahora se presenta.

## **2.2 Soluciones existentes y su aplicación práctica**

En los últimos años, la preocupación por la salud y el bienestar de los hombres y mujeres de trono, portadores, horquilleros y costaleros ha impulsado el desarrollo de un gran número de soluciones tecnológicas y ergonómicas. Estas innovaciones buscan evitar posibles lesiones, mejorar la técnica a la hora de llevar el trono y optimizar el rendimiento durante las procesiones.

- Dispositivos de medición y monitorización
  - Cofrade Tracker: Este sistema utiliza galgas extensiométricas ubicadas estratégicamente en los puntos de apoyo del costal para medir en tiempo real la carga que soporta el costalero. Proporciona datos precisos sobre la distribución del peso, permitiendo ajustes inmediatos y una mejor planificación de los relevos se coloca directamente en la trabajadera. (Diario de Jerez.) (Diario de Jerez, 2023)



- Sensores de presión en la parihuela: Algunos proyectos han incorporado sensores en la estructura del paso para registrar la carga exacta que soporta cada costalero. Estos datos se utilizan para ensayos y entrenamientos, facilitando una distribución equitativa del peso y reduciendo el riesgo de lesiones solo se aplica en algunos ensayos. (AENOR, 2013)
- Sistemas de corrección postural con IA: En Granada, se ha implementado un sensor ubicado en la espalda del costalero que vibra cuando detecta una postura incorrecta a nivel cervical y dorsal. Además, se ha incorporado un sensor en la "morcilla del costal" para analizar la potencia, fuerza y velocidad, ayudando a prevenir lesiones mediante el estudio de patrones de comportamiento. Aunque bien pensado hay algunas quejas respecto al intrusismo que este diseño supone (La RazónGranadaDigitalCuatro)
- Equipamiento ergonómico
  - Fajas lumbares especializadas: Diseñadas específicamente para hombres y mujeres de trono, estas fajas ofrecen soporte adicional en la zona lumbar, reduciendo la presión sobre la columna vertebral. Modelos como la Turbo Fresh 840 están confeccionados con tejidos transpirables y sistemas de ventilación para mayor comodidad durante las largas procesiones. (Prolaboral)
  - Dispositivos de apoyo para varales: Se han desarrollado elementos que facilitan el apoyo de los varales sobre los hombros de los portadores, distribuyendo mejor el peso y neutralizando las diferencias de estatura entre los hombres y mujeres de trono. Estos dispositivos contribuyen a una carga más equilibrada y reducen el riesgo de lesiones, pero modifican la estética del varal. (Patentes de Google)
- Centros de atención y formación
  - Centros de Atención al Costalero: En ciudades como Sevilla y Granada, existen centros especializados que ofrecen servicios de fisioterapia, podología,

nutrición y medicina deportiva. Estos centros utilizan tecnologías avanzadas para tratar lesiones y proporcionar formación sobre biomecánica y uso adecuado del equipamiento. (RTVE, 2023) (PubMed, s.f.)

- Aplicaciones móviles: Se han desarrollado apps que monitorizan las constantes vitales del hombre de tronos y costaleros, como el ritmo cardíaco y el consumo de calorías, ayudando a planificar entrenamientos y prevenir el sobreesfuerzo.

Un ejemplo de esto podría ser los relojes inteligentes que todos conocemos. (*Deia*)

Estas soluciones representan avances significativos en la protección y mejora del rendimiento de los costaleros y se puede percibir una falta de estos mismos recursos para otras maneras de llevar el paso o trono. La integración de tecnologías como sensores de presión, inteligencia artificial y equipamiento ergonómico ha demostrado ser eficaz en la prevención de lesiones y en la optimización de las condiciones de trabajo durante la Semana Santa.

### **2.3 Trabajo de campo: observación y análisis de hombres y mujeres de trono**

#### Metodología de entrevistas

Con el objetivo de obtener una visión directa y contrastada sobre la realidad que viven los hombres y mujeres de trono durante las salidas procesionales, así como de recoger información de primera mano sobre aspectos organizativos, físicos y emocionales vinculados a esta actividad, se ha optado por la realización de entrevistas personales a distintos perfiles importantes dentro del ámbito cofrade malagueño. Las entrevistas se realizarán de forma individual, priorizando un enfoque cualitativo que permita profundizar en la experiencia y los matices que cada persona pueda aportar.

Se ha descartado la opción de encuestas grupales o formularios abiertos para evitar la difusión anticipada de los objetivos específicos del proyecto, así como para proteger su originalidad durante su fase de desarrollo. Esta medida pretende también asegurar la autenticidad y sinceridad de las respuestas, evitando posibles condicionamientos entre participantes.

#### Perfil de los entrevistados

A continuación, se presenta la relación de personas entrevistadas, seleccionadas por su vinculación directa con el mundo cofrade, su experiencia consolidada en el ámbito de la carga procesional y su implicación activa en diferentes roles dentro de las hermandades:

- Navarro Arias – Hermano Mayor de la Congregación de la Divina Pastora de las Almas (Málaga).
- Manuel López Avilés – Hombre de trono de la Cofradía del Rocío (Málaga).
- Adrián Martín Rebollo – Hombre de trono con años de experiencia en múltiples cofradías; actualmente ejerce como capataz en la Divina Pastora.
- Sergio Martín Rebollo – Hombre de trono veterano, con recorrido en distintas hermandades malagueñas y vinculación con la organización Daffari.
- Alejandro Mesa del Campo – Hombre de trono habitual en varias cofradías de la ciudad, con conocimiento del entorno procesional desde una perspectiva práctica.

Cada entrevistado contará con una batería de preguntas diseñada específicamente en función del cargo que desempeña dentro de la cofradía. De esta manera, se busca maximizar la utilidad de cada testimonio, abordando temas como el reparto de carga, la ergonomía, la comunicación interna durante el recorrido, la preparación física y las decisiones técnicas relacionadas con la estructura y peso de los tronos. Esta información resultará clave tanto para validar el enfoque del dispositivo DMCH como para identificar mejoras en su diseño y funcionalidad, atendiendo a las necesidades reales del colectivo.

### **Preguntas para el Hermano Mayor**

#### **Visión organizativa y utilidades**

- ¿Crees que sería útil para la cofradía disponer de una herramienta que permita visualizar el peso máximo, mínimo y medio soportado por los hombres y mujeres de trono?
- ¿Qué información te parecería importante registrar en una aplicación de este tipo: tiempo de portado, estatura útil, peso corporal, posición bajo el varal, zona de contacto con el mismo, ¿etc.?

- ¿Cómo te gustaría que se mostrara esta información: ¿en tiempo real, después de la procesión o ambas?

#### Gestión y planificación

- ¿Qué ventajas ves en disponer de un plano (vista superior) con la posición de cada hombre de trono y sus datos asociados?
- ¿Qué otra información o funcionalidades añadirías a una aplicación pensada para los responsables de la cofradía?
- ¿Verías útil tener un historial de procesiones con datos comparativos año a año?

#### Aceptación e implantación

- ¿Crees que este tipo de tecnología sería bien aceptada en la cofradía o podría generar cierta resistencia? Y ¿por qué?
- ¿Qué condiciones debería cumplir este sistema para que lo consideréis viable y útil?
- ¿En torno a qué precio por unidad sería viable la implementación del sistema?

#### Preguntas para el Capataz

##### Organización práctica

- ¿Verías útil disponer de un sistema que te diga exactamente cuánto ha portado cada hombre de trono?
- ¿Qué datos son más interesantes para el análisis durante la procesión?

##### Uso de datos en tiempo real

- ¿Te interesaría poder consultar en tiempo real el peso soportado por cada persona o varal?
- ¿Te gustaría saber las partes del recorrido más exigente para los diferentes sectores del trono?
- ¿Qué acciones podrías tomar con esa información durante el recorrido?

##### App específica para capataz

- ¿Qué datos deberías poder ver tú que no necesariamente vean los hombres y mujeres de trono?
- ¿Te parecería útil tener una versión de la aplicación con privilegios especiales para ti y el hermano mayor?

### **Preguntas para el Hombre de Trono**

#### Experiencia y percepción

- ¿Te gustaría conocer cuánto tiempo has portado y qué peso has soportado durante la procesión?
- ¿Percibes que el reparto de carga entre los varales es justo? ¿Mejorable?

#### Comodidad con la tecnología

- ¿Estarías dispuesto a llevar un dispositivo durante la procesión si con ello se mejora la distribución y el trabajo y se evitan posibles lesiones?
- ¿Verías bien que tus datos (peso, altura, tiempo bajo el varal) estuvieran disponibles para los responsables de procesión?

#### Opinión

- ¿Crees que una app con información sobre tu esfuerzo te resultaría útil o interesante?
- ¿Tienes alguna preocupación o duda sobre la implementación de un sistema como este?

Estas preguntas pretenden formar un perfil preciso de los distintos participantes de la procesión que interactuarían con la aplicación.

### **2.4 Conclusiones previas al desarrollo**

Después de estas entrevistas a las que se pueden acceder en el anexo II se obtienen unas conclusiones claras donde los puntos más importantes para tener en cuenta son:

- Añadir funcionalidad de transmitir la ubicación en tiempo real ya que es una respuesta repetida.

- No interferir en la experiencia bajo el varal por lo que se evitará ciertos materiales y acolchamientos ya que ha quedado claro que la experiencia de los hombres y mujeres de trono puede ser un factor clave a la hora de su posible implementación o no.
- Comodidad máxima del dispositivo.
- Localizar el punto de apoyo del varal en el hombro, las distintas maneras de llevar el trono.
- Interfaz muy visual.
- Maximización de tipo de estadísticas, como pulsaciones ritmo medio velocidad etc. Lo que puede ser una posible línea de futura mejora.

### 3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

#### Introducción.

En el siguiente apartado se verán los motivos que han desencadenado la elaboración de este trabajo fin de grado. Se explorará en el contexto histórico del hombre de trono y costalero de la semana santa, en su evolución y profesionalización.

#### **3.1 Contexto histórico-cultural de la Semana Santa.**

A principios y mediados del siglo XX, los hombres y mujeres de trono en Málaga eran asalariados y cobraban alrededor de 2000 pesetas por portador. Este panorama era muy diferente al de hoy en día, ya que, en la última década, la tendencia a profesionalizar el sector de los hombres y mujeres de trono ha crecido como nunca. En esos tiempos, el trabajo de los portadores era más bien un empleo temporal, no se valoraba tanto la especialización y, en general, no había la estructura de preparación que existe ahora.

En esa época, las cofradías y hermandades organizaban las procesiones, pero los hombres y mujeres de trono no tenían los mismos recursos ni la formación que tienen hoy en día. Su labor consistía simplemente en cargar los tronos, que ya de por sí eran estructuras bastante pesadas. El salario por hacerlo no era demasiado alto, pero al menos les permitía ganarse la vida de forma temporal. Este tipo de trabajo estaba muy vinculado a la cultura popular de Málaga, y la Semana Santa, aunque importante, no estaba tan profesionalizada ni organizada como lo está ahora.

La profesionalización del sector.

A lo largo de los años, y especialmente en las últimas décadas, el sector de los hombres y mujeres de trono ha cambiado drásticamente. Ya no se trata solo de cargar un trono en una procesión, sino de hacerlo con un nivel de profesionalismo que requiere una preparación física y técnica muy especializada. Los tronos actuales son mucho más pesados y complejos que en el pasado, lo que hace que los portadores necesiten una formación más rigurosa. La introducción de fajas especializadas, que permiten soportar mejor el peso, y los ensayos

continuos durante la Cuaresma han sido parte de este proceso de profesionalización. Ahora los portadores entrenan para mejorar su resistencia y perfeccionar su técnica, algo que no se hacía antes.

Además, la figura del hombre de trono ha dejado de ser un trabajo temporal o improvisado para convertirse en una labor con mayores exigencias y un nivel de especialización mucho más alto. En la actualidad, los portadores no solo son trabajadores temporales, sino que son profesionales que dedican tiempo y esfuerzo a prepararse para cada Semana Santa.

El papel de Daffari en la profesionalización del sector.

En todo este proceso de profesionalización, una de las agrupaciones más destacadas es Daffari, una agrupación de hombres y mujeres de trono que ha jugado un papel clave en la evolución del sector en Málaga. Daffari ha sido pionera en darle al trabajo de los hombres y mujeres de trono un enfoque más profesional, apostando por la formación y la preparación física como base de su modelo de trabajo.

Una de las claves del éxito de Daffari ha sido la implementación de un sistema de preparación físico-técnico que incluye ensayos frecuentes, trabajo de fortalecimiento físico y el uso de materiales especializados. Las fajas, por ejemplo, se adaptan mejor al tipo de carga que deben soportar los portadores, lo que les permite realizar su trabajo con mayor eficacia y reducir el riesgo de lesiones. Además, Daffari ha conseguido que el trabajo de los hombres y mujeres de trono sea cada vez más reconocido, tanto desde el punto de vista cultural como profesional.

Para resumir, el trabajo de los hombres y mujeres de trono en la Semana Santa de Málaga ha experimentado un cambio importante desde los orígenes del siglo XX. Lo que en su origen era una tarea asociada al trabajo temporal y no profesional, ha evolucionado hasta convertirse en una verdadera profesión que requiere una preparación física y técnica muy exigente. Agrupaciones como Daffari han sido clave en este cambio, al impulsar la profesionalización del sector y otorgar al hombre de trono el prestigio que merece dentro de la Semana Santa de Málaga, fruto del esfuerzo y sacrificio que esta labor conlleva.



### **3.2 Aplicación real en el contexto de la Semana Santa**

En el ámbito de la Semana Santa andaluza, no existe una normativa técnica formal y estandarizada que regule el diseño, la carga o el peso que deben soportar los hombres y mujeres de trono. Sin embargo, esto no implica una ausencia de responsabilidad o criterios organizativos. Cada cofradía establece sus propios protocolos internos, basados en la experiencia, la tradición y, en algunos casos, recomendaciones de fisioterapeutas o expertos en ergonomía que colaboran con la organización.

El dispositivo propuesto se enmarca como una herramienta de apoyo para mejorar la organización interna de las procesiones, sin sustituir la autoridad de las cofradías, sino complementándola con datos objetivos. Su implementación podría ayudar en tres dimensiones:

- Prevención de lesiones: al detectar zonas de mayor sobrecarga o situaciones de reparto desigual del peso.
- Toma de decisiones informada: facilitando el tallaje, descansos o incluso modificaciones en la estructura del trono o en el número de portadores.
- Ayuda a la hora de confeccionar itinerarios y análisis de las calles donde los hombres y mujeres de trono soportan más peso.
- Justificación ante terceros: en casos de lesiones, reclamaciones o necesidades de seguro, contar con registros de carga y organización podría aportar valor documental.

Además, aunque la introducción de dispositivos electrónicos en procesión no está regulada, debe hacerse respetando el carácter solemne, religioso y patrimonial de los actos. Por tanto, se prioriza un diseño discreto, integrado en la vestimenta o estructura del trono, que no interfiera ni visual ni simbólicamente con la estética de la procesión.

Finalmente, si el dispositivo registra datos personales o de salud (como sobreesfuerzos relacionados con un portador concreto), podría entrar en juego el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), por lo que se recomienda que las cofradías recojan consentimiento informado de los participantes antes de usar estos sistemas.



## 4. NORMAS Y REFERENCIAS

### 4.1 Normativa aplicable al dispositivo

La correcta implementación normativa es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad, fiabilidad y viabilidad comercial del sistema diseñado. En este apartado se recoge la normativa más relevante en relación con el desarrollo electrónico, la portabilidad del sistema, la comunicación de datos, la protección de la información personal, las pruebas con personas y su posible comercialización. Aunque no todo el marco legal resulta obligatorio para la fase de prototipo, sí se ha tenido en cuenta como guía de buenas prácticas para sentar las bases de una evolución futura del producto con potencial de mercado.

#### 4.1.1 Normativa aplicable al diseño electrónico

- **UNE-EN-60601-1**

Esta norma establece los requisitos esenciales de seguridad y funcionamiento de los equipos electromédicos. Aunque tu dispositivo no tiene funciones médicas, sirve como referencia para garantizar que el sistema no supone riesgos eléctricos ni térmicos para el usuario, especialmente porque se lleva sobre el cuerpo y puede funcionar durante horas. Cubre aspectos como aislamiento, fugas eléctricas, resistencia al agua y robustez mecánica.

- **UNE-EN-61010-1**

Se centra en equipos eléctricos de medida y control, incluyendo aquellos usados en ambientes no clínicos. Aplica a dispositivos como el tuyo al tratarse de un sistema que recoge y transmite datos físicos. Evalúa riesgos eléctricos, mecánicos, térmicos y de fuego, por lo que proporciona una guía útil para verificar la seguridad en la manipulación y uso prolongado del dispositivo.

- **Directiva 2014/30/UE (Compatibilidad Electromagnética - CEM)**

Esta directiva es obligatoria para todos los dispositivos que emiten o reciben señales electromagnéticas. Tu sistema, al incorporar sensores, microcontroladores y módulos de transmisión inalámbrica, debe garantizar que no interfiere con otros equipos y que

es resistente a interferencias externas. La conformidad con esta norma permite un funcionamiento fiable incluso en entornos con alta densidad de dispositivos electrónicos, como los desfiles procesionales. (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2024)

#### 4.1.2 Normativa sobre wearables

- **UNE-EN ISO 10993 (Evaluación biológica de productos sanitarios)**

Aunque el dispositivo no es médico, esta norma se utiliza como guía para evaluar materiales en contacto con la piel. Ayuda a prevenir reacciones alérgicas, irritaciones u otros problemas dermatológicos al considerar aspectos como citotoxicidad, sensibilidad dérmica o toxicidad sistémica. Es clave si se plantea una producción comercial para asegurar la compatibilidad cutánea.

- **UNE-EN ISO 9241 (Ergonomía de la interacción persona-sistema)**

Esta norma trata sobre la facilidad de uso, accesibilidad y confort. Para un wearable, permite diseñar un sistema que no interfiera con la movilidad del portador ni cause incomodidad, especialmente importante durante largas jornadas procesionales. También orienta en la disposición de botones, visores o indicadores si se incorporan elementos de interfaz.

#### 4.1.3 Normativa sobre comunicación inalámbrica

- **Directiva 2014/53/UE (Radio Equipment Directive - RED)**

Aplica a cualquier equipo que emita o reciba señales de radio, como Bluetooth o WiFi. Garantiza que el dispositivo hace un uso eficiente del espectro, no causa interferencias, y es seguro en términos eléctricos y electromagnéticos. Su cumplimiento es obligatorio para obtener el marcado CE en dispositivos con conectividad inalámbrica. (AEMPS, 2024)

- **UNE-EN300328**

Esta norma específica se aplica a equipos que operan en la banda ISM de 2,4 GHz, donde trabajan tecnologías como Bluetooth y WiFi. Establece límites de potencia,

estabilidad de frecuencia, eficiencia espectral y protocolos de acceso. Cumplirla asegura una transmisión inalámbrica robusta, legal y sin interferencias con otros dispositivos.

- **UNE-EN301489**

Conjunto de normas relacionadas con la compatibilidad electromagnética de equipos de radiocomunicación. Establece los niveles de inmunidad a interferencias externas y la limitación de emisiones no deseadas. Es complementaria a la RED y crucial para garantizar que el sistema no afecta a otros equipos ni se ve afectado por ellos.

#### 4.1.4 Protección de datos y privacidad

- **Reglamento(UE)2016/679(RGPD)**

Establece el marco legal para la recogida y tratamiento de datos personales en la UE. En este contexto, aunque el sistema no recopile información identificativa directa, si los datos de carga se asocian a un individuo concreto (por ejemplo, mediante dorsales o nombres), deben considerarse personales. El RGPD obliga a aplicar medidas como el consentimiento informado, el tratamiento anonimizado y el almacenamiento seguro.

• **Ley Orgánica 3/2018 (LOPDGDD)**

Complementa el RGPD en el contexto español, reforzando derechos como el de acceso, rectificación o portabilidad. En la fase de validación, es imprescindible documentar la recogida de datos, garantizar su confidencialidad, y permitir que los participantes puedan retirar su consentimiento en cualquier momento.

#### 4.1.5 Normativa de prueba con personas

- **Código de Buenas Prácticas en Investigación (Universidades/CSIC/etc.)**

Aunque no se trata de un ensayo clínico, realizar pruebas de campo con personas implica seguir principios éticos: consentimiento informado, derecho a la retirada, confidencialidad de datos y evaluación previa de riesgos. Se recomienda elaborar un protocolo de prueba, validado por un comité ético si es posible, o al menos siguiendo guías institucionales.

#### 4.1.6 Comercialización futura

- **Marcado** CE  
Indica que el producto cumple con todas las normativas europeas aplicables. Para obtenerlo, el fabricante debe identificar las directivas que afectan al producto, asegurar el cumplimiento de estas, realizar pruebas (internas o mediante laboratorios acreditados), elaborar un expediente técnico y firmar una declaración de conformidad.
- **Reglamento (UE) 2017/745 sobre productos sanitarios**  
Aplica solo si el dispositivo se clasifica como producto sanitario (por ejemplo, si midiera parámetros vitales para diagnóstico). En el estado actual del proyecto, se considera un sistema de ayuda ergonómica, por lo que esta norma no se aplicaría, aunque es importante tenerla en cuenta si se explora un uso más clínico en el futuro. (Reglamento (UE) 2017/745) (European Commission, s.f.)
- **Registro de propiedad industrial**  
Para proteger la innovación, se puede considerar la solicitud de un modelo de utilidad, que cubre invenciones técnicas prácticas con menor carga burocrática que una patente. También es recomendable registrar la marca y nombre comercial del producto si se decide lanzarlo al mercado.

#### 4.2 Regulaciones sobre dispositivos de medición de cargas

Aunque el dispositivo propuesto no está destinado a aplicaciones industriales ni comerciales de precisión, conviene revisar la normativa relacionada con los sistemas de medición de carga para garantizar la fiabilidad y consistencia de los datos recogidos, especialmente si se busca una posible evolución futura del producto hacia aplicaciones profesionales o clínicas.

- **Directiva 2014/31/UE (Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático IPFNA)**  
Esta directiva regula básculas y sistemas de pesaje utilizados en contextos comerciales. No es aplicable directamente al presente dispositivo, ya que no se trata de un sistema de pesaje tradicional ni su uso está vinculado a transacciones. Sin embargo, establece

criterios de precisión, repetibilidad y trazabilidad que pueden servir como referencia para evaluar el rendimiento del sistema en entornos reales.

- **Norma** **UNE-EN** **45501:2016**  
Complementa la directiva anterior y establece los requisitos metroológicos y técnicos para instrumentos de pesaje. Incluye definiciones de clases de exactitud, procedimientos de ensayo, condiciones de carga y verificación. Aunque el sistema no requiere homologación metroológica, tomar como guía algunos de estos criterios permiten afinar la calibración del sensor de carga y establecer márgenes de error aceptables para su función ergonómica.
- **ISO 376:2011 (Calibración de transductores de fuerza)**  
Aplicable a células de carga utilizadas en entornos de ensayo e investigación. Aunque está orientada a laboratorios, proporciona un marco detallado sobre cómo realizar calibraciones, verificar la linealidad del sensor y evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones. Es útil como referencia técnica en fases avanzadas de validación, sobre todo si se quiere justificar la fiabilidad del sistema en un artículo o presentación técnica.

En resumen, aunque ninguna normativa obliga actualmente a certificar el sistema como instrumento de medida, conocer estos estándares refuerza su solidez técnica y abre la puerta a futuros desarrollos con mayor exigencia normativa o aplicaciones fuera del entorno cofrade.





## 5. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

### 5.1 Formulación del problema de diseño.

Se necesita diseñar un dispositivo textil inteligente, ligero, adaptable y preciso, que permita medir la carga vertical soportada por los portadores de trono durante la Semana Santa, con capacidad de transmisión en tiempo real, tanto de datos como de ubicación, sin interferir en la práctica ni en la indumentaria tradicional de estas fechas.

Como ya se ha comentado existen muy pocas soluciones tecnológicas en esta tradición y es ahora cuando está abriéndose más a propuestas para modernizar la semana santa, un ejemplo de esto podría ser la implementación de nuevos materiales en los varales que nunca se habían usado como la fibra de carbono.

Debido a esto el mayor reto en el diseño será interferir lo mínimo posible en la experiencia del hombre de trono o costalero.

### 5.2 Caracterización general.

#### a. Tamaño y peso

El diseño del dispositivo DMCH ha sido pensado para adaptarse a una amplia variedad de complexiones, ya que será utilizado por diferentes personas en función del trono que lleve o la posición en la que esté. Por ello, se ha optado por una configuración talla única ajustable, basada en dos principios:

- Material flexible y anatómico: se empleará neopreno transpirable, un material que permite adaptarse a la morfología del hombro sin generar puntos de presión, y que además soporta bien la transpiración y el uso prolongado.
- Sistema de fijación ajustable: mediante cintas de velcro y bandas elásticas de sujeción cruzada, el sistema se adapta perfectamente con seguridad al cuerpo del portador sin necesidad de tallas diferentes, garantizando estabilidad sin interferir con la postura ni la carga del trono.

En cuanto al peso, se ha prestado especial atención a reducir al máximo el impacto físico del dispositivo e interferir lo mínimo posible en el trabajo del hombre de trono. El DMCH debe integrarse en la experiencia del portador sin suponer una molestia adicional. La selección de componentes ligeros, sensores planos y encapsulados minimalistas ha permitido alcanzar un peso total estimado de entre 140 y 190 gramos.

Este peso es notablemente inferior al de muchos accesorios cofrades tradicionales (como costales, almohadillas reforzadas o sudaderas técnicas) y queda por debajo de lo que llega a ser perceptible durante el recorrido de la procesión, especialmente considerando que estará bien distribuido sobre la superficie del hombro y el torso.

Las dimensiones externas aproximadas del sistema en su versión estándar son de 25 cm de ancho x 18 cm de alto, con un grosor inferior a 1 cm en la zona de contacto directo, se ha pensado así para que se pierda la menor sensibilidad posible con el varal. No sobresale visualmente bajo la túnica.

#### b. Selección de materiales y componentes para uso práctico

A continuación, se mostrará una comparativa de los materiales mediante matriz Pugh.

Los criterios y sus respectivos pesos a la hora de escogerlo son los siguientes:

Criterio	Descripción	Peso
Ergonomía / comodidad	¿Qué tan cómodo es en uso prolongado y bajo presión?	5
Integralidad	¿Qué tan fácil es integrarlo en el sistema textil?	4
Precisión / fiabilidad	¿Qué tan bien cumple su función técnica?	5
Coste	¿Es viable para producción pequeña?	4

Criterio	Descripción	Peso
Peso / volumen	¿Aporta poco peso adicional y ocupa poco espacio?	3
Facilidad de montaje / mantenimiento	¿Es sencillo de ensamblar o reparar?	2
Compatibilidad con túnica / tradición	¿Pasa desapercibido y no interfiere con la estética cofrade?	4

*Tabla 1 Criterio matriz pugh textil.*

**Fuente:** Elaboración propia.

Criterio	Peso	Neopreno flexible	Espuma EVA	Foam textil	Gomaespuma
Ergonomía / comodidad	5	$1 \times 5 = 5$	$0 \times 5 = 0$	$1 \times 5 = 5$	$0 \times 5 = 0$
Integralidad (con el sistema textil)	4	$1 \times 4 = 4$	$0 \times 4 = 0$	$1 \times 4 = 4$	$-1 \times 4 = -4$
Precisión / fiabilidad (consistencia)	5	$1 \times 5 = 5$	$0 \times 5 = 0$	$0 \times 5 = 0$	$-1 \times 5 = -5$
Coste	4	$0 \times 4 = 0$	$1 \times 4 = 4$	$0 \times 4 = 0$	$1 \times 4 = 4$
Peso / volumen	3	$0 \times 3 = 0$	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$
Facilidad de montaje / mantenimiento	2	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$	$0 \times 2 = 0$

Criterio	Peso	Neopreno flexible	Espuma EVA	Foam textil	Gomaespuma
Compatibilidad con la túnica	4	$1 \times 4 = 4$	$0 \times 4 = 0$	$1 \times 4 = 4$	$0 \times 4 = 0$
TOTAL, PONDERADO		20	9	16	-8

Tabla 2 Matriz pugh textil

**Fuente:** Elaboración propia a partir de AITEX (2022) y UNE-EN ISO 13934-1 (2013).

Mejor opción: Neopreno Flexible

Criterio	Descripción	Peso
Ergonomía / comodidad	Que sea cómodo al contacto con el hombro, sin crear puntos de presión	3
Precisión / fiabilidad	Capacidad de medir con fidelidad y repetitividad	3
Grosor / flexibilidad	Que se adapte a superficies irregulares sin estorbar	2
Integración electrónica / compatibilidad	Facilidad de conexión con sistemas Arduino / ESP32	2
Coste	Asequible para su posible producción a escala	2
Montaje / facilidad de uso	Instalación rápida sin estructura extra	1

Tabla 3 Matriz pugh criterios sensor.

**Fuente:** Elaboración propia.

Criterio	Peso	FlexiForce A502	FSR 402	Celda carga + HX711	Velostat DIY
Ergonomía / comodidad	3	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$0 \times 3 = 0$	$0 \times 3 = 0$
Precisión / fiabilidad	3	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$	$1 \times 3 = 3$	$0 \times 3 = 0$
Grosor / flexibilidad	2	$1 \times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$	$-1 \times 2 = -2$	$1 \times 2 = 2$
Integración electrónica / compat.	2	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$	$1 \times 2 = 2$
Coste	2	$0 \times 2 = 0$	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$
Montaje / facilidad de uso	1	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$	$0 \times 1 = 0$	$0 \times 1 = 0$
TOTAL, PONDERADO		11	5	3	6

Tabla 4 Matriz pugh sensor

Fuente: Elaboración propia a partir de Tekscan (2022) y SparkFun (2021)

Mejor opción: FlexiForce A502

Criterio	Descripción	Peso
Flexibilidad	Que permita doblarse sin romperse	3
Comodidad al contacto con el cuerpo	Superficie suave, sin causar molestias	3
Criterio	Descripción	Peso

Protección frente a humedad/sudor	Resistencia al sudor y condiciones húmedas	2
Capacidad de amortiguación	Absorción de impactos leves o presión	2
Procesado con impresión 3D	Compatible con fabricación FDM o moldeo	1

Tabla 5 Matriz pugh criterio encapsulado

Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Peso	TPU	Silicona blanda	PLA	ABS
Flexibilidad	3	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$	$-1 \times 3 = -3$
Comodidad al contacto	3	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$	$-1 \times 3 = -3$
Protección frente a humedad/sudor	2	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$	$0 \times 2 = 0$
Amortiguación	2	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$	$-1 \times 2 = -2$	$-1 \times 2 = -2$
Procesado impresión 3D	1	$1 \times 1 = 1$	$0 \times 1 = 0$	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$
TOTAL, PONDERADO		11	10	-7	-7

Tabla 6 Matriz pugh encapsulado

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnicas de materiales PLA, ABS y TPU (Smart Materials, 2023)

Mejor opción: TPU

Criterio	Descripción	Peso
Precisión	Margen de error bajo, especialmente en espacios urbanos	3
Consumo energético	Baja demanda para autonomía de batería prolongada	2
Facilidad de integración	Librerías, ejemplos, uso habitual con microcontroladores	2
Coste	Precio accesible sin comprometer calidad	2
Documentación / soporte	Recursos disponibles en la comunidad	1

Tabla 7 Matriz pugh criterio GPS

Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Peso	NEO-6M	SIM808	ZOE-M8Q	L86
Precisión	3	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$
Consumo energético	2	$\times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 2 = 2$
Facilidad de integración	2	$1 \times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$	$0 \times 2 = 0$	$1 \times 2 = 2$
Coste	2	$1 \times 2 = 2$	$-1 \times 2 = -2$	$-1 \times 2 = -2$	$0 \times 2 = 0$
Documentación / soporte	1	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$	$0 \times 1 = 0$	$1 \times 1 = 1$
TOTAL, PONDERADO		10	2	3	9

Tabla 8 Matriz pugh GPS

Fuente: Elaboración propia a partir de Ublox (2021) y SparkFun (2023)

Mejor opción: NEO-6M

Criterio	Descripción	Peso
Tamaño / peso	Compacta y ligera para portabilidad	3
Capacidad energética	Debe cubrir varias horas de funcionamiento (>4 h)	3
Seguridad	Estabilidad térmica, carga segura	2
Facilidad de integración	Que pueda embutirse en el encapsulado fácilmente	2
Recargable / reutilizable	Requiere larga vida útil y recarga sencilla	1

*Tabla 9 Matriz pugh criterio batería*

**Fuente:** Elaboración propia.

Criterio	Peso	LiPo 3.7V	18650	Li-ion 1000mAh	Power bank
Tamaño / peso	3	$1 \times 3 = 3$	$0 \times 3 = 0$	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$
Capacidad energética	3	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$	$1 \times 3 = 3$
Seguridad	2	$0 \times 2 = 0$	$0 \times 2 = 0$	$0 \times 2 = 0$	$1 \times 2 = 2$
Facilidad integración	2	$1 \times 2 = 2$	$-1 \times 2 = -2$	$1 \times 2 = 2$	$-1 \times 2 = -2$
Recargable / reutilizable	1	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$
TOTAL PONDERADO		9	2	4	1

*Tabla 10 Matriz pugh batería*

**Fuente:** Elaboración propia

Mejor opción: LIPO3.7



Criterio	Descripción	Peso
Comodidad	Sin generar presión o roce al portador	3
Ajuste / adaptabilidad	Que pueda adaptarse a distintas personas/túnicas	3
Reusabilidad / desmontaje fácil	Que sea fácil de poner y quitar	2
Estética	Discreción, sin romper la imagen de la túnica	1
Compatibilidad con la túnica	No dañar ni alterar el vestuario tradicional	1

Tabla 11 Matriz pugh criterio unión textil

Fuente: Elaboración propia

Criterio	Peso	Banda elástica + velcro	Cinta doble cara	Botón automático	Cinta cosida
Comodidad	3	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$	$0 \times 3 = 0$	$1 \times 3 = 3$
Ajuste / adaptabilidad	3	$1 \times 3 = 3$	$-1 \times 3 = -3$	$0 \times 3 = 0$	$0 \times 3 = 0$
Reusabilidad / desmontaje fácil	2	$1 \times 2 = 2$	$-1 \times 2 = -2$	$1 \times 2 = 2$	$0 \times 2 = 0$
Estética	1	$1 \times 1 = 1$	$0 \times 1 = 0$	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$
Compatibilidad con túnica	1	$1 \times 1 = 1$	$0 \times 1 = 0$	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$
TOTAL, PONDERADO		10	-8	4	5

Tabla 12 Matriz pugh unión textil

Fuente: Elaboración propia

Mejor opción: Banda elástica+Velcro.

Una vez terminada la comparación de materiales por matriz Pugh dándole a cada material unos puntos según unos criterios personalizados para la función que deben desempeñar se ha llegado a la conclusión de utilizar la siguiente combinación de materiales.

Elemento	Opción elegida	Ventajas	Inconvenientes
Base textil	Neopreno Flexible	Ligero, adaptable, transpirable, lavable	Puede retener calor si no está bien ventilado
Sensor	Piezorresistivo flexible (FlexiForce A502)	Flexible, delgado, sensible, integrable en textil	Requiere calibración, no mide compresión absoluta sin electrónica externa
Encapsulado	TPU o silicona blanda	Protege sin rigidez, resistente a humedad y golpes	Más difícil de fabricar artesanalmente
GPS	NEO-6M (u-blox)	Preciso, económico, bien documentado	Aumenta consumo, requiere buena ubicación antena
Batería	LiPo 3.7V 2500–3000 mAh	Buena autonomía (mayor a 10 h), ligera	Necesita protección térmica y de carga
Fijación	Banda elástica y cintas de velcro	Cómodo, estable, sin costuras duras	Puede requerir ajuste individual por complexión

*Tabla 13 Matriz resumen componentes*

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.3 Principales limitaciones del producto

Pese a que el dispositivo DMCH ha sido diseñado para cumplir con los requisitos técnicos, ergonómicos y funcionales necesarios en el entorno de la Semana Santa, existen una serie de limitaciones que deben ser consideradas tanto en su uso como en su futura evolución comercial:

- Sensibilidad a condiciones ambientales extremas: aunque el encapsulado ha sido diseñado en TPU y el textil es resistente al sudor y a la humedad relativa del ambiente, el dispositivo no es completamente impermeable. La lluvia intensa o el contacto prolongado con líquidos podría afectar a los componentes electrónicos si no se mejoran los niveles de sellado. En este sentido, se establece como requisito mínimo un grado de protección IP54, que garantiza resistencia frente al polvo y salpicaduras de agua desde cualquier dirección. No obstante, con vistas a una futura comercialización del producto y su uso intensivo por parte de cofradías, se recomienda alcanzar al menos un grado de protección IP65 o IP67, ofreciendo así un encapsulado totalmente estanco al polvo y resistente a chorros de agua o incluso inmersión temporal. Esta medida resulta coherente con las exigencias de robustez en dispositivos electrónicos de uso en exteriores, tal como recoge la norma UNE-EN 60529 sobre grados de protección mediante envoltorios (AENOR, 2013).
- Autonomía energética limitada: la batería LiPo integrada permite un uso medio de entre 8 y 10 horas, suficiente para una jornada procesional, pero no asegura funcionamiento en caso de jornadas dobles, imprevistos o salidas prolongadas. No se ha incorporado carga rápida ni sistema de intercambio rápido de batería por ahora.
- Necesidad de asistencia técnica: tanto el servicio de alquiler como la venta requieren de formación mínima para el montaje, colocación y mantenimiento básico del dispositivo. Esto puede limitar su adopción por parte de cofradías con menor estructura organizativa o experiencia técnica.
- Dependencia de la conectividad: aunque el sistema ha sido pensado para transmitir datos en tiempo real a través de WiFi, este tipo de conectividad no siempre está

garantizada en itinerarios con cobertura irregular. Aunque el dispositivo guarda la última lectura y puede generar datos ficticios si el GPS falla, la calidad del dato puede verse afectada.

- Variabilidad antropométrica: a pesar de que el diseño textil busca adaptarse a una gran diversidad de complexiones físicas mediante velcros y neopreno flexible, no se puede garantizar un ajuste óptimo para todos los usuarios sin cierta personalización. Esto afecta ligeramente al reparto homogéneo de carga y puede generar discrepancias menores en la medición.
- Coste unitario condicionado por la escala de producción: si bien se han buscado soluciones rentables, el coste por unidad sigue siendo significativo en producciones pequeñas, lo que puede dificultar su adopción individual fuera de campañas organizadas o alquiler colectivo.

Estas limitaciones no comprometen el funcionamiento general del DMCH, pero sí sirven como punto de partida para la evolución del producto, tanto en mejoras técnicas como en el modelo de negocio. Se recogen en el apartado final del TFG algunas propuestas de mejora y desarrollo a medio plazo.

## 6. DISEÑO CONCEPTUAL

### 6.1 Especificaciones técnicas del dispositivo

Las especificaciones técnicas se pueden diferenciar en varios grupos dependiendo de su naturaleza.

#### 6.1.1 Funcionales

Antes de entrar en el diseño, es importante definir qué funcionalidades mínimas debe cumplir el dispositivo para que sea útil en el contexto de una procesión de Semana Santa. Las más importantes para tener en cuenta son las siguientes:

- **Medición de carga vertical:** el dispositivo debe poder medir la carga que se ejerce sobre el hombro de forma vertical, ya que es el tipo de fuerza más relevante en este tipo de actividad física.
- **Transmisión de posición en tiempo real:** es necesario enviar la ubicación de en qué parte del recorrido se está y su almacenamiento en una base de datos para su posterior análisis.
- **Transmisión en tiempo real:** es necesario que los datos recogidos se puedan enviar en tiempo real a un dispositivo móvil, para que el equipo de capataces pueda hacer seguimiento durante la procesión.
- **Registro de datos:** además de la transmisión, el dispositivo debe poder guardar los datos internamente, por si en algún momento se pierde la conexión o para poder analizarlos después de la procesión.
- **Interfaz móvil:** los datos deben poder visualizarse desde una aplicación móvil sencilla e intuitiva. Esto incluye tanto la lectura en tiempo real como el acceso al histórico.
- **Autonomía mínima de 10 horas:** algunas procesiones en concreto superan fácilmente las 10–12 horas, así que la batería debe aguantar al menos ese tiempo sin necesidad de recarga.

#### 6.1.2 Condicionantes físico-ergonómico

Como el dispositivo va colocado directamente sobre el cuerpo del hombre o mujer de trono, hay una serie de aspectos físicos y ergonómicos que se deben tener en cuenta desde el principio:

- Tamaño y peso reducidos: tiene que ser lo más compacto y ligero posible para que no moleste ni interfiera con el movimiento. Lo ideal es que pase desapercibido.
- No interferir con la postura ni con el elemento de carga: el dispositivo no puede suponer una molestia extra ni modificar la forma en la que el portador carga el trono, ya sea con almohadilla, costal o directamente sobre el hombro.
- Materiales cómodos y resistentes: debe estar recubierto o fabricado con materiales que no hagan daño al contacto con la piel, pero que a la vez aguanten el sudor, la humedad, y posibles golpes.
- Fijación segura: se tiene que sujetar bien, sin desplazarse durante el recorrido. Lo más práctico es usar algún sistema tipo velcro, correas o integrado dentro de la propia almohadilla.
- Adaptable a diferentes cuerpos: debe poder colocarse en personas con distintas complexiones físicas sin necesidad de hacer ajustes complicados.

#### 6.1.3 No Funcionales:

Además de las especificaciones funcionales y físico-ergonómicas, existen ciertos requisitos no funcionales que garantizan el correcto desarrollo, mantenimiento y uso del dispositivo a largo plazo. Estos aspectos no están directamente relacionados con la función principal de medición, pero son esenciales para asegurar la calidad y viabilidad del producto:

- Robustez y fiabilidad:  
El dispositivo debe poder operar correctamente en condiciones variables de temperatura, humedad y vibraciones típicas de una procesión. No debe fallar ante impactos o movimientos bruscos.
- Facilidad de uso e instalación:  
El sistema debe poder colocarse y activarse rápidamente sin necesidad de

conocimientos técnicos avanzados. Idealmente, bastaría con colocarlo sobre el hombro y encenderlo.

- Seguridad eléctrica y térmica:  
Dado que el dispositivo está en contacto directo con el cuerpo durante muchas horas, debe garantizarse que no se calienta en exceso ni existe riesgo de descarga o cortocircuito. La batería debe incluir protecciones contra sobrecarga, descarga profunda y temperatura. (AENOR, 2013)
- Mantenimiento mínimo:  
El dispositivo debe estar diseñado para requerir el menor mantenimiento posible. Las superficies deben ser fáciles de limpiar, y la batería debe permitir recargas sin necesidad de desmontar el sistema.
- Compatibilidad con dispositivos móviles estándar:  
Debe poder comunicarse con teléfonos móviles sin necesidad de accesorios específicos. Se prioriza el uso de tecnologías estándar como Bluetooth Low Energy (BLE) o WIFI.
- Privacidad y protección de datos:  
La información recogida por el dispositivo debe estar protegida frente a accesos no autorizados. Es recomendable que los datos almacenados estén cifrados o al menos limitados a usuarios autorizados mediante la aplicación móvil.
- Escalabilidad y modularidad:  
Aunque se trata de una producción pequeña, el diseño debe facilitar posibles adaptaciones futuras, como añadir sensores adicionales, cambiar la batería, o integrarlo en diferentes formatos (costal, almohadilla, hombrera, etc.).
- Coste ajustado:  
El coste de los materiales y la fabricación debe mantenerse dentro de márgenes viables para una producción artesanal o en pequeña serie, sin comprometer la calidad ni la seguridad del producto
- Estéticos y acabados:

El dispositivo debe mantener una apariencia discreta y coherente con la estética tradicional de las procesiones. Para ello, se han empleado materiales textiles de color oscuro, sin brillos ni elementos llamativos, que permiten su integración bajo la túnica del portador sin interferir con la imagen cofrade. El acabado exterior del textil debe ser uniforme, sin costuras expuestas que puedan generar rozaduras, y con un nivel de calidad visual y táctil que transmita robustez sin perder ergonomía. Se prioriza un diseño de líneas suaves y redondeadas en las zonas del encapsulado, que además de mejorar la seguridad, facilita la colocación y reduce el desgaste por fricción.

- Exigencias legales, medioambientales, calidad:
- El diseño del DMCH debe cumplir con la legislación vigente en materia de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y dispositivos electrónicos de baja potencia. Se han tenido en cuenta las directrices del Mercado CE, asegurando que los componentes utilizados (como la batería, sensores y módulos de comunicación) provienen de proveedores que cumplen con las normativas RoHS y REACH sobre restricción de sustancias peligrosas y seguridad ambiental. Además, se prioriza el uso de materiales con una vida útil prolongada y reciclables en su mayoría, como el TPU para el encapsulado y el neopreno para el soporte textil. En cuanto a calidad, se establecen criterios de inspección visual, funcional y de resistencia mecánica tras cada unidad ensamblada, conforme a lo indicado en la norma UNE-EN ISO 9001 sobre sistemas de gestión de la calidad (AENOR, 2015).

## **6.2 Exposición de soluciones y propuestas**

A continuación, y partiendo de las especificaciones técnicas y condicionantes establecidos para el diseño del dispositivo, se han desarrollado varios bocetos preliminares que serán evaluados en el apartado siguiente mediante una matriz DAFO. El objetivo es implementar mejoras progresivas hasta alcanzar una propuesta final que sirva de base para el diseño definitivo.

Para la elaboración de estos bocetos se han tomado como referencias formales y funcionales diversos productos existentes, como hombreras deportivas, órtesis de sujeción y protectores de



hombro, cuyo análisis ha permitido identificar soluciones ergonómicas y estructurales aplicables al contexto cofrade.

A partir de estas referencias y del listado de especificaciones técnicas previamente definidas, se ha formulado un conjunto de prompts dirigidos a modelos de inteligencia artificial con el fin de generar una biblioteca visual amplia y variada. Esta fase de ideación automatizada busca estimular una lluvia de ideas gráfica que complemente el trabajo manual.

Una vez generados los bocetos digitales, se realizará una evaluación crítica mediante una matriz DAFO, seleccionando las propuestas más prometedoras. A partir de ellas se elaborará un boceto final a mano, corrigiendo imperfecciones detectadas en los resultados de IA y adaptándolos a los requisitos específicos del proyecto. Las herramientas utilizadas en este proceso incluyen ChatGPT, Gemini, Sora, DALL·E y Microsoft Copilot.

Prompt utilizado para generación de bocetos mediante inteligencia artificial

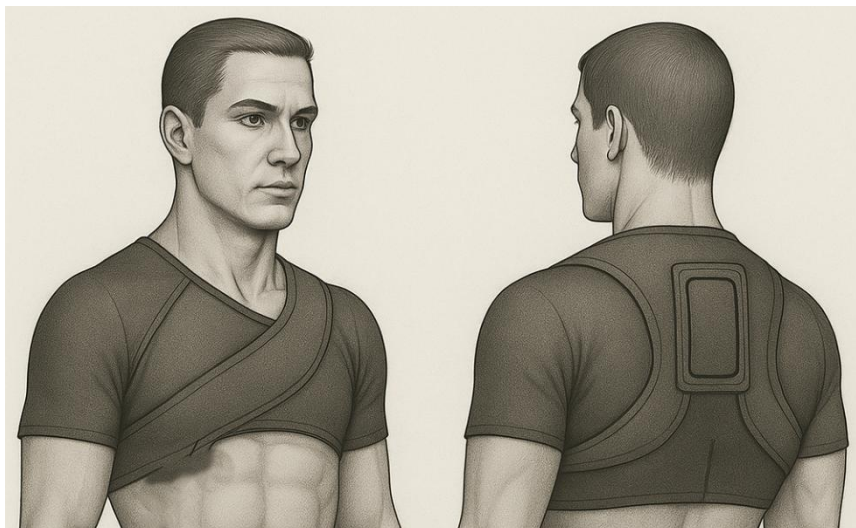
“Diseño conceptual de un dispositivo textil ergonómico para medir el peso soportado sobre el hombro durante una procesión de Semana Santa. El dispositivo debe parecer una hombrera discreta, con acabados suaves y color oscuro (negro o azul marino), fabricado principalmente en neopreno o textil técnico. Debe cubrir parcialmente el trapecio y el hombro, sujetarse mediante bandas elásticas o velcro en el bíceps y mantenerse oculto bajo la túnica. Incluir parches de velcro en la parte superior para fijación de sensores electrónicos y una pequeña cápsula trasera que contenga la electrónica. Diseño sobrio, sin elementos brillantes ni agresivos, que respete la estética tradicional cofrade. Vista en perspectiva y detalles en primer plano del sistema de sujeción. Preferiblemente en una persona con complexión media, en posición estática y de perfil.”

#### 6.2.1 Recopilación de bocetos:

Mediante el método previamente descrito se han seleccionado estos 4 bocetos que solucionan las necesidades técnicas de distintas maneras.

Se puede diferenciar dos grandes maneras de resolver las especificaciones técnicas funcionales y no funcionales del dispositivo, mediante un diseño asimétrico más similar a una hombrera o mediante un diseño simétrico más parecido a un chaleco.

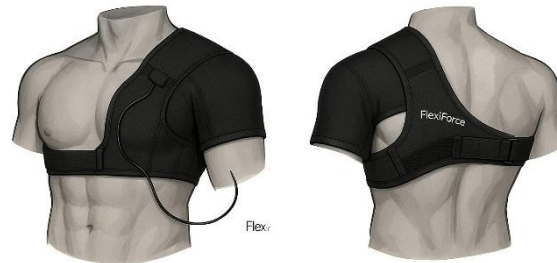
Opción simétrica: Se observan 4 puntos de ajuste dos debajo de las axilas y dos cerca del trapecio, la principal ventaja de esta manera de resolver el diseño es el total ajuste a la persona y comodidad total del usuario mientras que uno de sus principales inconvenientes podría ser la interferencia del punto de ajuste con donde debería ir el sensor Flexiforce o equivalente.



*Ilustración 1 Boceto A*

**Fuente:** Elaboración propia mediante generación con inteligencia artificial (DALL·E, 2025)

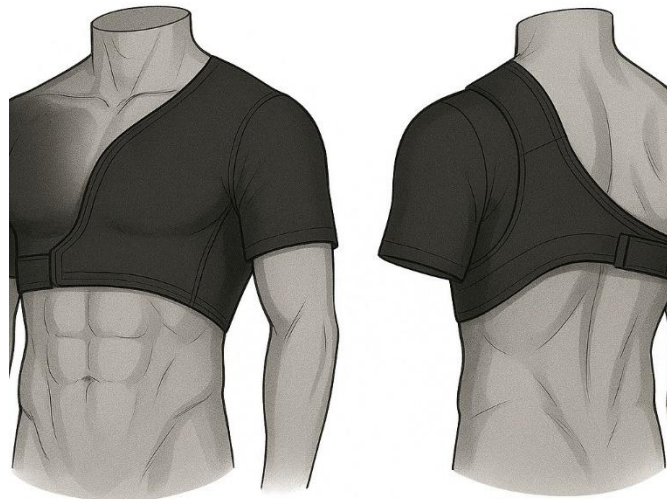
Aquí aparece por primera vez el diseño modo bandolera permitiendo mayor comodidad que el anterior y presentando la electrónica en un módulo extraíble en la parte trasera.



*Ilustración 2 Boceto B*

**Fuente:** Elaboración propia mediante generación con inteligencia artificial (DALL·E, 2025)

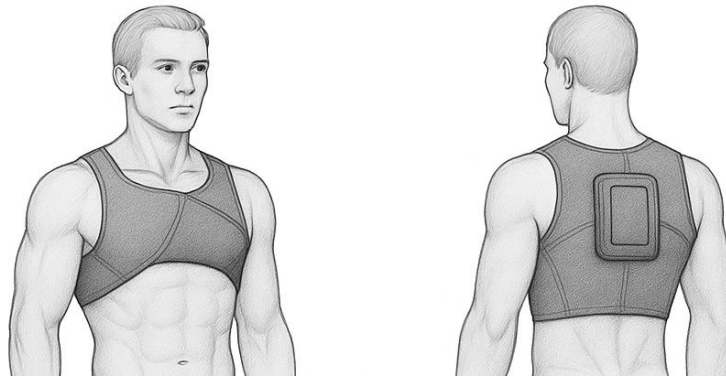
Mejora en ergonomía y disposición de la idea anterior presentando una hombrera que recoge el trapecio y hombro y con un ajuste mediante cintas elásticas y mecanismos de velcro haciéndolo ideal para este cometido, se debería mejorar el modularidad de la electrónica para un posterior lavado



*Ilustración 3 Boceto C*

**Fuente:** Elaboración propia mediante generación con inteligencia artificial (DALL·E, 2025)

Sigue el principio del primer boceto, como principal ventaja tiene la posibilidad de que la electrónica sea modular y su fácil ajuste en la parte delantera además de no tener distinción entre hombros pudiéndose usar el sensor en cualquiera de ellos.



*Ilustración 4 Boceto D*

**Fuente:** Elaboración propia mediante generación con inteligencia artificial (DALL·E, 2025)

Diseños recopilados

Diseño A – Simétrico clásico con 4 puntos de ajuste

- Muy ergonómico. Buen ajuste total.
- Riesgo de interferencia con el sensor por la disposición de las cintas.

Diseño B – Bandolera con módulo extraíble

- Cómodo, asimétrico, fácil de poner.
- Sensor y electrónica bien ubicados.

Diseño C – Hombrera con velcro y cinta elástica

- Alta sujeción del trapecio y hombro.
- Requiere mejorar la modularidad para lavado.

Diseño D – Evolución del primero (modular y ambidiestro)

- Electrónica modular, sin distinción entre hombros.
- Muy versátil y ajustable.

### 6.3 Selección del concepto de producto

Para la selección del producto se procederá a la comparativas de los bocetos mediante una matriz DAFO analizando las debilidades amenazas fortalezas y oportunidades de cada uno y comparándolos entre sí para así obtener el boceto final combinando lo mejor de todos.

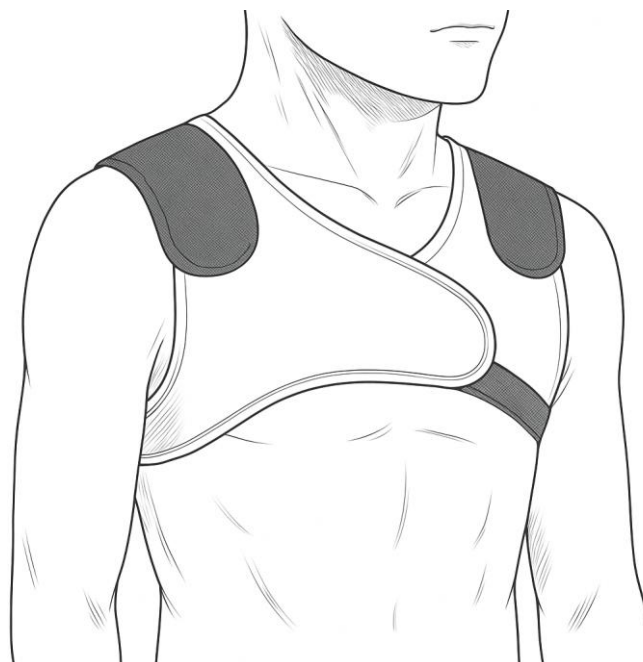
CATEGORÍA	A – Simétrico clásico	B – Bandolera	C – Hombrera	D – Modular ambidiestro
Fortalezas	Ajuste total al cuerpo. Muy estable.	Comodidad, fácil de poner. Modularidad trasero.	Recoge hombro y trapecio eficazmente. Ideal para sensor.	Modularidad, ambidiestro, adaptable a varios usuarios.
Debilidades	Cintas cruzan zona del sensor. Menos modular.	Menor ajuste, puede moverse.	Más difícil de fabricar y desmontar.	Menor sujeción del hombro. Sin refuerzo trapecial.
Oportunidades	Mejorar cruce de cintas, añadir módulo móvil.	Añadir refuerzo hombro y sistema más universal.	Desarrollar sistema modular extraíble.	Incorporar cintas tipo C para mejor ergonomía.

CATEGORÍA	A – Simétrico clásico	B – Bandolera	C – Hombrera	D – Modular ambidiestro
Amenazas	Interferencia técnica con sensores. Complejidad de ajuste individual.	Asimetría molesta a algunos usuarios.	Lavado complejo, dificultad de mantenimiento.	Menor estabilidad en procesos largos si no se refuerza.

*Tabla 14 Matriz DAFO*

**Fuente:** Elaboración propia

## 6.4 Propuesta final



*Ilustración 5 Boceto Final*

Después de haber hecho un análisis comparativo entre todas las opciones que se han ido desarrollando a lo largo del proyecto, se ha optado por un diseño final que recoge las ventajas clave de cada propuesta previa, incorporando además mejoras concretas que surgieron tanto durante las entrevistas como en el proceso de desarrollo práctico del prototipo. El objetivo siempre ha sido el mismo: dar con una solución que sea cómoda, efectiva, fácil de usar y compatible con la realidad del entorno procesional.

Este diseño final parte de una estructura continua de neopreno técnico, que envuelve toda la zona del hombro, el trapecio y parte del pectoral superior, evitando divisiones innecesarias que generen zonas de fricción o movimientos indeseados. Al eliminar costuras centrales y cortes simétricos, se mejora la estabilidad del conjunto y se consigue una adaptación más natural al cuerpo del portador, incluso cuando la carga del varal empieza a pasar factura tras un periodo prolongado de procesión.

Se han incorporado parches de velcro en las zonas clave de contacto, tanto en la parte superior del hombro como en el área del pectoral, lo que permite fijar de forma precisa el encapsulado con la electrónica necesaria y el sensor FlexiForce o equivalente sin que se mueva ni se desplace con el sudor o el movimiento. Esta solución, que no se contemplaba en los primeros diseños, permite adaptar el sistema a distintos usuarios sin modificar la estructura del dispositivo, y además facilita la retirada del sensor para mantenimiento o lavado, sin complicaciones.

Una mejora destacable en la versión final del dispositivo es la optimización del sistema de sujeción, prescindiendo de las mangas utilizadas en versiones anteriores. Esta simplificación permite una colocación más rápida y cómoda, reduciendo el volumen total y mejorando la integración bajo la túnica. A pesar de la eliminación de las zonas envolventes del brazo, el diseño mantiene una fijación segura y estable gracias al refuerzo de las bandas de ajuste en la zona del tronco y los hombros. Esta decisión responde a las observaciones recogidas durante las entrevistas con hombres de trono, quienes indicaron que el principal reto era evitar desplazamientos del dispositivo durante el movimiento, especialmente en tramos largos. La

nueva versión cumple este objetivo de forma más ergonómica, sin generar incomodidad ni interferir con la movilidad.

En la zona inferior del torso se mantiene la banda elástica con velcro tipo faja, que asegura el dispositivo alrededor del contorno torácico.

Esto permite un cierre cómodo y seguro que puede regularse fácilmente, sin necesidad de asistencia externa, lo cual era un requisito importante desde el inicio del proyecto. Además, al no interferir con el módulo electrónico, se mantiene la integridad del diseño.

También se ha respetado el enfoque ambidiestro y modular que se había planteado en los bocetos intermedios, permitiendo el uso indiferente del dispositivo tanto en el hombro derecho como en el izquierdo. Esto facilita mucho la fabricación, reduce el número de piezas necesarias y permite que el mismo modelo pueda adaptarse a las necesidades de cada cofrade sin complicaciones.

En definitiva, este diseño final recoge todo lo que se ha ido aprendiendo durante el desarrollo del TFG: combina las ventajas ergonómicas, técnicas y funcionales de las distintas propuestas anteriores, y lo hace con un enfoque realista, pensado para su uso en condiciones exigentes como una estación de penitencia. Es un diseño cómodo, versátil, fácil de mantener y completamente integrado con los elementos electrónicos del sistema. Todo esto lo convierte en la propuesta más sólida y viable de todas las que se han trabajado.



## **7. DISEÑO PRELIMINAR E INGENIERÍA BÁSICA**

### **7.1 Diseño geométrico y montaje del sistema**

El diseño geométrico del dispositivo DMCH responde a criterios técnicos y funcionales que permiten su integración ergonómica sobre el cuerpo del portador sin interferir en la estética tradicional de la Semana Santa ni en la movilidad durante el recorrido procesional. El sistema se basa en una estructura tipo chaleco ajustado, cuyo patrón ha sido desarrollado a partir de datos antropométricos reales, con el objetivo de cubrir el mayor rango de morfologías posibles dentro de la población adulta.

El material principal de esta estructura es neopreno transpirable de bajo espesor, seleccionado por su capacidad de adaptación a diferentes complejidades, su comportamiento estable frente al sudor y su resistencia mecánica en situaciones de carga y fricción (Diana et al., 2022). Esta elección asegura tanto la comodidad del usuario como la durabilidad del sistema ante usos repetidos.

El sistema de fijación consta de dos mecanismos complementarios:

- Un cierre frontal de velcro tipo faja ubicado en el eje medio del torso, que permite ajustar la presión del chaleco sobre el tronco, facilitando una colocación rápida y segura.
- Un sistema adicional de velcro en los bíceps, compuesto por bandas laterales, que permite la sujeción firme de los laterales del dispositivo al brazo, evitando deslizamientos y asegurando el reparto de tensiones.

El conjunto ha sido diseñado con lógica modular para permitir la inserción de sensores y electrónica de forma no intrusiva. El sistema de captura de datos se basa en el uso de un sensor piezorresistivo Flexiforce A502 o similar, el cual destaca por su bajo espesor (0,2 mm), alta sensibilidad y buena linealidad en condiciones de carga dinámica. El sensor se posiciona sobre la región del trapecio, justo en el punto habitual de contacto entre el varal y el hombro, siendo

fijado mediante un parche de velcro cosido sobre el neopreno, lo que permite su extracción o reposicionamiento en caso necesario.

En cuanto a la electrónica, esta se compone de:

- Una placa ESP32, encargada del procesado de datos y su transmisión inalámbrica.
- Un módulo GPS NEO-6M, que permite registrar la localización del portador durante el recorrido procesional.
- Una batería Li-Po de 3.7 V y 2500–3000 mAh, con autonomía para cubrir sesiones superiores a 10 horas.

Esta electrónica se encapsula en una carcasa impresa en 3D con TPU flexible, ubicada en la región pectoral lateral, lejos de puntos de contacto directos con el varal. La elección del TPU como material para el encapsulado responde a su resistencia al impacto, flexibilidad y comodidad cuando se lleva bajo la ropa, además de facilitar la integración sin elementos rígidos que comprometan la experiencia del usuario.

Todo el sistema sigue una filosofía de portabilidad, simplicidad de montaje y compatibilidad con la indumentaria tradicional. Aunque inicialmente se concibió como una talla única, el amplio rango de usuarios potenciales hace recomendable implementar una distinción mínima por tallas para optimizar la experiencia de uso, sin renunciar a los mecanismos de ajuste que permiten mantener el enfoque de adaptabilidad general del dispositivo.

## **7.2 Estudio antropométrico y ergonómico.**

La adaptación del dispositivo a distintos usuarios es un factor clave, ya que dentro de un mismo trono puede haber personas con morfologías muy dispares. La altura a la que se sitúa el hombro, que es el punto de apoyo del varal, varía notablemente entre portadores. Por ejemplo, los más bajos del trono, habitualmente colocados en la parte central, suelen tallar en torno a 1,38 m de hombro, lo que se corresponde con una altura aproximada de 1,65 m. En cambio, los cabezas de varal, situados en los extremos delantero o trasero, pueden tallar hasta los 1,63 m de hombro, lo que implica una estatura cercana a 1,92 m, dependiendo del modelo de trono.

Debido a esta gran variabilidad antropométrica, se ha optado por un diseño que equilibra dos estrategias: por un lado, la fabricación de dos tallas diferenciadas (una para percentiles bajos-medios y otra para altos), y por otro, la inclusión de mecanismos de ajuste adaptativo mediante velcro tanto en el torso como en los brazos, lo que garantiza un buen acoplamiento en un amplio espectro de usuarios sin necesidad de personalización total. La longitud mínima del chaleco se ha diseñado tomando como base el percentil 5, mientras que los mecanismos de expansión cubren hasta el percentil 95 de las medidas clave.

Para sustentar estas decisiones se ha realizado un estudio antropométrico que recoge las dimensiones corporales más relevantes para el diseño del DMCH. Las fuentes utilizadas han sido las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2023) y los estándares internacionales de ergonomía humana recogidos por la NASA-STD-3000 (2010). En concreto, se han seleccionado las siguientes medidas:

Medida corporal	P5 (cm)	P50 (cm)	P95 (cm)
Altura de pie	165	176	195
Ancho biacromial (hombros)	38	42	48
Contorno torácico	85	95	110
Longitud del torso (cuello-cintura)	45	50	55
Longitud de brazo (hombro-muñeca)	52	58	65
Circunferencia de brazo (bíceps relajado)	27	31	36
Altura del hombro al suelo	135	145	160

*Tabla 15 Medidas antropométricas clave utilizadas para el diseño del sistema.*

**Fuente:** INSST (2011)

Estas medidas permiten definir con precisión las dimensiones del patrón base del chaleco, así como la ubicación del sensor Flexiforce A502 o similar y la longitud de las bandas de ajuste. Por ejemplo, el ancho biacromial marca el límite de la zona de contacto del sensor, el contorno torácico determina la longitud del sistema de cierre frontal, y la circunferencia de brazo condiciona el diseño de las bandas de velcro en los bíceps. Además, la altura del hombro al suelo permite validar que la posición del sensor coincida efectivamente con el punto de carga real del varal.

El uso del neopreno transpirable como base textil responde tanto a criterios ergonómicos como de comodidad: distribuye la presión, evita la acumulación de sudor, y se adapta dinámicamente al cuerpo del usuario (Diana et al., 2022). La masa total del sistema ha sido limitada a menos de 300 g, garantizando que no añade una carga significativa al portador.

Respecto al sensor de carga, el FlexiForce A502 ha demostrado en múltiples estudios su fiabilidad y precisión en entornos dinámicos, siendo ampliamente utilizado en biomecánica para la detección de presión localizada. Su espesor de tan solo 0,2 mm y su flexibilidad lo hacen compatible con la dinámica del movimiento del hombro sin generar molestias.

En conjunto, el sistema se ha diseñado para respetar la diversidad antropométrica real de los hombres y mujeres de trono, evitar interferencias con la postura o el paso procesional, y proporcionar un alto nivel de confort y adaptabilidad, sin comprometer la precisión de las mediciones.

## 8. DISEÑO FINAL E INGENIERÍA DE DETALLE

### 8.1 Procesado e interpretación de datos

El sistema desarrollado para el dispositivo DMCH tiene como objetivo principal obtener una lectura precisa del peso soportado por cada hombre de trono durante un recorrido procesional, así como su ubicación y tiempo de porte. Para ello, se emplea un sensor de carga FlexiForce A502, colocado en la zona de contacto entre el hombro del portador y el varal. Este sensor proporciona datos de presión en tiempo real, representativos del esfuerzo ejercido. Simultáneamente, se integra un módulo GPS NEO-6M, encargado de registrar de forma continua la posición geográfica y la hora, lo que permite asociar cada lectura de carga a una localización concreta del recorrido.

Toda esta información es gestionada por un microcontrolador ESP32, que realiza las lecturas periódicas y las prepara para su envío. Los datos se transmiten mediante una red WiFi a un servidor con soporte PHP, desde donde se almacenan en una base de datos relacional estructurada.

El tratamiento de los datos sigue dos líneas:

- Visualización en tiempo real: permite observar segundo a segundo el peso soportado por cada puesto durante el recorrido. Esta opción es especialmente útil para la supervisión en directo por parte del capataz o el equipo organizativo.
- Resumen estadístico al finalizar el recorrido: permite obtener valores medios, máximos y mínimos por puesto, así como el total de tiempo de porteo. Estos datos facilitan la evaluación de desequilibrios, permiten realizar ajustes en la organización y sirven como apoyo en la prevención de lesiones.

La información se presenta a través de una tabla ordenada por puesto, complementada con un código de colores asociado a los niveles de carga: azul claro para pesos bajos, amarillo para cargas medias, y rojo intenso para valores altos. Esta codificación visual permite identificar

rápidamente puntos críticos, facilitando la toma de decisiones en tiempo real y la posterior revisión del esfuerzo colectivo.

A medio y largo plazo, uno de los principales objetivos del sistema es permitir la generación de comparativas interanuales, es decir, poder analizar la evolución de un mismo trono a lo largo de diferentes años. Esta acumulación progresiva de información permitirá que el análisis sea cada vez más preciso, alimentando una base de datos cada vez más sólida y acercándose a un enfoque de big data cofrade. Cuantos más años se registre información de un mismo recorrido, mayor será la capacidad del sistema para detectar patrones, anomalías, sobreesfuerzos repetidos o mejoras estructurales.

Es importante destacar que estas comparaciones solo serán válidas cuando se realicen sobre un mismo trono. No es adecuado comparar los datos de un trono con los de otro, ya que existen múltiples variables que afectan al reparto de carga (dimensiones, número de varales, distribución de portadores, estilo de marcha, longitud del recorrido, etc.). Por tanto, la información recogida debe interpretarse siempre dentro del contexto específico de cada trono para que los resultados sean útiles y representativos.

Como línea de mejora futura, se contempla la posibilidad de incluir herramientas de visualización comparativa dentro de la propia interfaz web, tales como gráficos de líneas por puesto a lo largo de diferentes años, evoluciones promedio de carga o alertas sobre posiciones recurrentes de sobrecarga. Estas funciones avanzadas permitirían extraer aún más valor de los datos almacenados y facilitarían un seguimiento longitudinal tanto individual como colectivo.

Para más detalle sobre el funcionamiento del sistema web y el tratamiento de datos mediante lenguaje PHP, véase el Anexo III: Estructura del sistema web

## **8.2 Registro, comunicación y gestión de usuarios en la app web**

El presente apartado aborda el sistema de comunicación entre el dispositivo y la plataforma web, así como la lógica de acceso, seguridad y privacidad que rige la consulta de datos por parte de los diferentes perfiles de usuario.

El registro y envío de datos se realiza mediante el ESP32, que establece una conexión con una red WiFi previamente configurada. Esta red puede ser compartida desde un dispositivo móvil o generada mediante un router portátil. El microcontrolador utiliza esta conexión para enviar peticiones HTTP periódicas a un servidor que ejecuta scripts PHP, encargados de almacenar los datos en una base de datos estructurada.

Una vez registrados, los datos pueden consultarse desde cualquier navegador a través de una interfaz web responsiva, diseñada específicamente para el entorno cofrade. Esta aplicación web no requiere instalación y es accesible desde teléfonos móviles, tablets o equipos de sobremesa. El acceso a la información se organiza mediante un sistema de permisos jerarquizado, con el objetivo de proteger la privacidad de los portadores y garantizar un uso responsable de la herramienta:

- Capataz y hermano mayor: cuentan con credenciales que permiten el acceso a todos los datos del recorrido. Pueden visualizar el peso soportado por cada puesto, detectar desequilibrios en tiempo real, y acceder a estadísticas históricas de procesiones anteriores. Esta vista incluye herramientas de supervisión como tablas en tiempo real, resúmenes exportables y filtros por tramos del recorrido o por grupo de varal.
- Hombre de trono: el acceso se limita exclusivamente a sus propios datos. Cada portador puede consultar su recorrido, peso medio soportado, picos máximos, tiempo total de porte y posición exacta en cada momento. Esta información puede utilizarse para realizar una valoración personal del esfuerzo realizado.

Antes de acceder por primera vez, cada usuario debe aceptar una política de uso de datos, donde se informa de que los datos recogidos serán utilizados exclusivamente con fines organizativos, ergonómicos y preventivos. En ningún caso se compartirán públicamente sin consentimiento, y serán tratados conforme a la normativa vigente en materia de protección de datos personales (por ejemplo, el Reglamento General de Protección de Datos – RGPD). Este consentimiento se recoge mediante un formulario digital previo al inicio de sesión, que queda registrado en la base de datos junto con la fecha y hora de aceptación.

Además, se han implementado medidas técnicas básicas de seguridad para evitar accesos no autorizados, como la protección por contraseña cifrada, la validación de sesión activa y la restricción por tipo de usuario.

El diseño de este sistema de gestión busca un equilibrio entre usabilidad, transparencia y privacidad, de manera que los datos recolectados por el dispositivo DMCH puedan ser empleados de forma útil y ética tanto por los responsables de la procesión como por los portadores, contribuyendo a una mejora organizativa y preventiva sin comprometer la confidencialidad de la información.

El funcionamiento detallado de las credenciales, las vistas diferenciadas y la lógica de validación puede consultarse en el Anexo III.

### **8.3 Pruebas funcionales**

Durante el desarrollo del prototipo DMCH se han realizado diversas pruebas funcionales orientadas a verificar el correcto comportamiento de cada subsistema implicado: sensor de carga, localización GPS, transmisión WiFi, recepción en servidor y visualización en entorno web. Estas pruebas han servido no solo para validar el sistema, sino para mejorar progresivamente su diseño técnico a través de un enfoque iterativo basado en la identificación de errores y su resolución práctica. A continuación, se describen las principales pruebas realizadas:

- **Lectura del sensor FlexiForce A502:** Se verificó su respuesta a distintas presiones simuladas sobre el hombro, conectándolo al pin 35 del ESP32. Se detectaron lecturas inestables en valores bajos, corregidas mediante escalado con `map()` y ajustes en el retardo de lectura. Se validó un rango estimado de 0–25 kg con buena respuesta progresiva.
- **Captura de posición GPS:** Se conectó el módulo NEO-6M a los pines GPIO16 y 17 del ESP32. Inicialmente no ofrecía coordenadas válidas por falta de señal, lo que se solucionó realizando pruebas en exteriores y descartando lecturas hasta que



gps.location.isValid() devolviera un valor real. La frecuencia de actualización se estableció en torno a 1 Hz.

- Transmisión por WiFi y envío de datos al servidor: Se programó el ESP32 para conectarse a una red WiFi local, la cual correrá a cargo de uno de los integrantes del equipo de coordinación del Trono, bien con una red de datos local o compartiendo una red wifi mediante un router portátil. Se detectaron errores de tipo HTTP -1 y 400 causados por problemas en la construcción de la URL y en la validación de parámetros del backend PHP. Se implementó verificación de estado de red, reconexión automática y construcción limpia de la URL usando String().
- Visualización y backend web: Se desarrolló una interfaz en PHP para consultar los datos desde cualquier navegador. Se detectaron errores de respuesta por parte del servidor, incluso con inserciones correctas en base de datos. Esto se debía a una validación estricta en el backend (filter\_input()), que fue reemplazada por un enfoque más controlado con isset() y conversión explícita de tipos. Se incorporó exit; tras cada respuesta para evitar ecos duplicados. Posteriormente, se creó una versión responsive adaptada a móviles, incluyendo un código de colores para facilitar la lectura de cargas.

A fecha de redacción de este documento, no ha sido posible realizar una prueba de conjunto en una procesión real, pero todas las pruebas por bloques han sido satisfactorias, demostrando que el sistema es funcional y está preparado para ser validado en campo.

El detalle del código Arduino y del flujo de datos desde el ESP32 hasta la base de datos, así como los scripts PHP utilizados, se encuentra recogido en el Anexo VI.

#### **8.4 Ajustes y mejoras aplicadas tras la fase de pruebas**

Fruto del proceso de validación funcional se han introducido mejoras significativas que refuerzan la estabilidad, la seguridad y la usabilidad del sistema. Las modificaciones principales han sido:

- Sustitución del filtrado por `filter_input()` en el backend PHP por validaciones mediante `isset()`, `trim()` y conversión explícita, evitando falsos errores en valores como 0.0.
- Reestructuración del flujo en el script PHP mediante `exit`; para asegurar respuestas únicas por petición.
- Reconexión automática del ESP32 en caso de pérdida de señal WiFi, con verificación mediante `WiFi.status()`.
- Incorporación de impresión en consola de URLs construidas y códigos HTTP para depuración en tiempo real.
- Mejora del diseño de la interfaz web para móviles, con estilo responsive y visualización por color según el nivel de carga.
- Inclusión del parámetro puesto en el envío de datos, clave para la identificación por posición dentro del trono.

Estas mejoras han sido fundamentales para consolidar un sistema robusto, modular y listo para su despliegue en campo. Su implementación queda detallada en el Anexo VI: Códigos fuente y flujo de funcionamiento del sistema.

### **8.5 Memoria de calidades**

Esta memoria de calidades recoge los criterios técnicos y los requisitos mínimos exigibles a cada uno de los componentes físicos del dispositivo DMCH, con el fin de garantizar la funcionalidad, la durabilidad y el confort en condiciones reales de uso. Se han seleccionado materiales y componentes con un enfoque de equilibrio entre rendimiento técnico, ergonomía y viabilidad de fabricación.

#### **A. Material textil (estructura base)**

Material: Neopreno flexible de alta gama.

- Espesor máximo: 2 mm.
- Características técnicas: Transpirable, flexible, con buena adaptabilidad a distintas morfologías.

- Exigencia mínima: Nivel de confort equivalente a tejidos utilizados en equipamiento deportivo técnico de alto nivel.

#### B. Elementos de ajuste (velcros)

- Tipo: Velcro® original o equivalente de calidad superior.
- Requisitos: Preparado para cosido industrial. Alta durabilidad frente a ciclos de apertura/cierre y resistencia a la tracción.
- Aplicación: Ajuste del dispositivo a la zona superior del torso y brazos para evitar deslizamientos y mejorar el reparto de tensiones.

#### C. Microcontrolador

- Modelo base: ESP32 o equivalente.
- Requisitos:
  - Conectividad WiFi obligatoria.
  - Conectividad Bluetooth opcional.
  - Bajo consumo y tamaño compacto.
- Justificación: Permite la transmisión de datos en tiempo real a la red local para su registro y análisis.

#### D. Sensor de carga

- Modelo base: FlexiForce A502 o equivalente.
- Superficie activa mínima: 4 cm × 4 cm.
- Requisitos:
  - Alta precisión.
  - Ausencia de histéresis.
  - Respuesta estable bajo presiones repetitivas.
- Justificación: Medición precisa de la carga soportada por el hombro del portador.

#### E. Encapsulado electrónico

- Material: TPU (poliuretano termoplástico) o similar.
- Requisitos:
  - Resistencia a la humedad y al sudor.
  - Protección mecánica frente a impactos leves y flexiones.
  - Elasticidad y adaptabilidad al textil base.

#### F. Cableado y conexiones

- Normativa aplicable: Cables con aislamiento según normativas IEC/UNE aplicables a baja tensión y electrónica portátil.
- Requisitos:
  - Diámetro reducido.
  - Alta flexibilidad.
  - Protección contra doblez en extremos.

#### G. Costuras y refuerzos

- Técnica: Costura reforzada para tejidos elásticos.
- Hilo: Poliéster o poliamida de alta resistencia.
- Objetivo: Evitar roturas o deformaciones en zonas de carga o flexión.

#### H. Batería

- Tipo: LiPo 3.7V, 2500–3000 mAh.
- Requisitos:
  - Protección contra sobrecarga y descarga profunda.
  - Dimensiones adecuadas para integrarse sin sobresalir del textil.

#### I. Elementos complementarios

- Botones, conectores y cierres: De perfil bajo y aptos para uso repetido.

- Protección externa: Posibilidad de incluir un forro o funda adicional desmontable para prolongar la vida útil del dispositivo.

Todos los materiales y componentes descritos deben cumplir criterios de ergonomía, seguridad y resistencia adecuados para su uso durante procesiones de Semana Santa, garantizando la integridad del dispositivo ante el esfuerzo físico, el contacto prolongado con la piel y las condiciones ambientales variables.

### **8.6 Esquema de conexionado.**

El presente apartado muestra el esquema de conexionado del sistema electrónico integrado en el dispositivo DMCTH. Este esquema recoge la disposición y conexiones entre los principales componentes del sistema: el microcontrolador ESP32, el sensor de presión FlexiForce A502, el módulo GPS NEO-6M y la batería recargable. La configuración ha sido diseñada para garantizar una correcta adquisición de datos, transmisión inalámbrica en tiempo real y autonomía operativa, todo ello con una estructura sencilla, fiable y optimizada para un montaje compacto y portátil.

#### **Notas:**

- El sensor FlexiForce A502 tiene un extremo conectado a **5V** y el otro a una **resistencia de 10 kΩ a GND**, con la señal leída desde el punto intermedio por el pin analógico **GPIO 34**.
- El módulo **GPS NEO-6M** se conecta a los pines RX y TX con los **GPIO 16** y **GPIO 17** del ESP32 (UART), y se alimenta a través de **5V** y **GND**.
- El **ESP32** se alimenta por la entrada **USB** desde la batería LiPo.

Este esquema respeta fielmente el conexionado establecido en el proyecto y permite una integración compacta y funcional, adecuada para las necesidades del dispositivo DMCH.

## 8.7 Análisis económico

El presente apartado tiene como objetivo estudiar con detalle la viabilidad económica del dispositivo DMCH, planteando un modelo mixto basado tanto en la venta directa como en el alquiler del sistema a cofradías. La estrategia busca adaptarse a las diferentes realidades económicas de las hermandades, manteniendo un equilibrio entre sostenibilidad financiera y accesibilidad, sin renunciar a la calidad exigida en la memoria de calidades.

### 8.6.1 Costes de producción por unidad (estimación al por mayor)

La siguiente tabla recoge una estimación actualizada de los costes de producción ajustados a compras por volumen (mínimo 250 unidades), empleando el sensor FlexiForce A502 por su mayor fiabilidad y precisión para el uso ergonómico y técnico planteado.

Componente	Descripción técnica	Precio por unidad (€)
Neopreno alta densidad transpirable	Tejido técnico $\pm 1,5$ mm ( $\pm 50 \times 60$ cm por unidad)	4,80
Bandas elásticas + velcro industrial	Fijación en hombros, brazos y tórax	2,80
Carcasa TPU (impresión 3D o molde)	Encapsulado para electrónica + protección	3,00
Sensor FlexiForce A502 (25 lb)	Sensor piezorresistivo de alta precisión	6,90

Componente	Descripción técnica	Precio por unidad (€)
Módulo ESP32 (al por mayor)	Microcontrolador WiFi compatible con sensores	1,80
Módulo GPS NEO-6M	Localización en tiempo real	2,70
Batería LiPo 3.7V 2500mAh	Autonomía $\geq 8h$ con circuito de protección	4,60
Electrónica auxiliar	Cables, resistencias, pads de conexión	0,80
Mano de obra costura técnica	Ensamblaje de neopreno, bandas y refuerzos	5,00
Integración electrónica	Ensamblaje, testeo y encapsulado de sistema	2,00
Embalaje y manual físico	Bolsa técnica + instrucciones básicas	1,20
Total por unidad		35,60

*Tabla 16 Coste de producción por unidad*

**Fuente:** Cálculo propio a partir de datos reales de mercado (AliExpress, Teknisolara, tiendas textiles locales) y estimaciones de coste en fase de prototipado.

#### 8.6.2 Inversión para flota de alquiler (280 unidades)

Concepto	Cálculo estimado	Importe (€)
Coste directo de fabricación (280 uds.)	$280 \times 35,60 \text{ €}$	9.968,00
Materiales de repuesto (10%)	Reposición preventiva (28 uds.)	996,80

Concepto	Cálculo estimado	Importe (€)
Almacenaje y logística anual	Estimado para transporte y conservación	1.800,00
Desarrollo app + servidor + mantenimiento	Gastos técnicos asociados a la gestión	1.500,00
Costes imprevistos y márgenes de seguridad	10% de la inversión total	1.426,48
Inversión inicial estimada		15.691,28

*Tabla 17 Flota de alquiler*

**Fuente:** Cálculo propio a partir de datos reales de mercado (Generador de precios España CYPE)

#### 8.6.3 Tabla de amortización simple – Servicio de alquiler

Nº tronos alquilados	Unidades usadas (x40)	Ingreso por trono (€/trono)	Ingreso total (€)	% amortización
5	200	450,00	2.250,00	14,3 %
10	400	450,00	4.500,00	28,7 %
15	600	450,00	6.750,00	43,0 %
20	800	450,00	9.000,00	57,3 %
25	1.000	450,00	11.250,00	71,6 %
30	1.200	450,00	13.500,00	85,9 %
35	1.400	450,00	15.750,00	100,3 %

*Tabla 18 Amortización*



**Fuente:** Elaboración propia aplicando el método de amortización lineal (ICAC, 2007), con estimaciones de vida útil basadas en AEAT (2020)

#### 8.6.4 Punto de equilibrio – Modelo mixto

El punto de rentabilidad (break-even) representa el momento en el que la inversión inicial se iguala con los ingresos generados. Se considera una estrategia mixta con estas proporciones:

- Alquiler de 6 tronos durante 6 días:  $6 \times 450 \text{ €} = 2.700 \text{ €/año}$
- Venta de 100 unidades a cofradías:  $100 \times 89,90 \text{ €} = 8.990 \text{ €}$
- Total ingreso estimado en año 1:  $11.690 \text{ €}$

La inversión (15.691,28 €) se recupera en un 74,5 % en el primer año. Con solo un 25 % adicional de ventas o alquileres el segundo año, se alcanza el 100 % de retorno.

#### 8.6.5 Análisis DAFO económico

Fortalezas	Debilidades
Coste por unidad reducido sin comprometer calidad	Inversión inicial significativa para alquiler completo
Modelo mixto adaptable a distintos públicos	Necesidad de personal para gestión logística
Posibilidad de producción local o semiindustrial	Sensibilidad del hardware en entornos húmedos
Oportunidades	Amenazas
Alianzas con agrupaciones y federaciones de cofradías	Competencia futura si el modelo se replica

Oportunidades	Amenazas
Ampliación del servicio a otras festividades religiosas o civiles	Subida del coste de componentes o transporte
Opción de financiación o patrocinio institucional	Bajada de procesiones por crisis social o sanitaria

Tabla 19 DAFO

**Fuente:** Elaboración propia

#### 8.6.6 Tercera vía: venta directa a hombres y mujeres de trono (uso individual)

Además del modelo de venta a cofradías y el servicio de alquiler, se plantea una tercera opción: la comercialización del dispositivo a nivel individual, dirigida directamente a hombres y mujeres de trono que deseen conocer sus datos personales de carga, rendimiento o esfuerzo durante las procesiones.

Este enfoque responde a varias motivaciones detectadas en las entrevistas realizadas: interés en la monitorización personal del esfuerzo físico, comparación entre años, y deseo de compartir estadísticas con la cofradía.

#### Ventajas:

- No requiere inversión por parte de las hermandades.
- Fomenta comunidad digital.
- Facilita difusión por experiencia directa.

#### Adaptaciones necesarias:

- App simplificada centrada en estadísticas personales.
- Posible personalización física (colores, iniciales).

Elemento	Coste (€)	Comentario
Coste fabricación individual	35,60	Idéntico al coste base
Embalaje personalizado	1,80	Caja decorativa + manual personalizado
Activación de licencia app privada	2,50	Servidor + mantenimiento básico
Precio de venta recomendado (PVP)	79,90	Margen aprox. del 47 %

*Tabla 20 Análisis de venta directa*

**Fuente:** Elaboración propia

## 8.7 Fin de vida del producto

El dispositivo DMCH ha sido diseñado bajo criterios de durabilidad, mantenimiento sencillo y responsabilidad medioambiental. No obstante, como todo producto con componentes electrónicos y materiales textiles, es necesario planificar su ciclo de vida completo, incluyendo su retirada segura, posible reutilización de elementos y reciclado de materiales.

### 8.7.1 Durabilidad estimada

Teniendo en cuenta los materiales empleados (neopreno técnico, electrónica encapsulada, refuerzos textiles), la vida útil estimada del producto en condiciones normales de uso es de entre 4 y 6 campañas completas de Semana Santa, dependiendo del nivel de exposición al sudor, golpes o humedad.

La versión destinada a servicio de alquiler ha sido pensada para resistir un uso más intensivo, incorporando puntos de refuerzo, costuras dobles y recambios parciales de elementos textiles.

### 8.7.2 Reutilización de componentes

Uno de los objetivos clave en el planteamiento del producto ha sido la modularidad, permitiendo:

- Reaprovechamiento de los sensores (FlexiForce A502), GPS y ESP32, si superan las revisiones de funcionamiento tras cada campaña.
- Sustitución individual del textil (neopreno, velcros) en caso de desgaste, sin necesidad de cambiar la electrónica.
- Posibilidad de reconversión del sistema para via crucis ensayos, etc.

Se recomienda establecer un protocolo post-procesión de comprobación y limpieza para aumentar su durabilidad efectiva y facilitar su mantenimiento.

### 8.7.3 Separación y reciclaje

Los materiales del dispositivo permiten una gestión eficiente al final de su vida útil:

Componente	Material principal	Proceso de fin de vida
Textil (neopreno)	Polímero sintético	Desecho no peligroso. Posible reciclado textil.
Componente	Material principal	Proceso de fin de vida
Carcasa TPU	Termoplástico flexible	Reciclable (plásticos blandos)
Sensor A502	Láminas PET + circuitería	Reciclaje electrónico especializado (RAEE)
Módulo ESP32	PCB + microcontrolador	RAEE – punto limpio o circuito cerrado
GPS NEO-6M	PCB + chip	RAEE – igual que anterior
Batería LiPo	Litio-polímero	Punto limpio – residuos peligrosos (normativa local)

Tabla 21 Proceso fin de vida

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos técnicos de los fabricantes, la Directiva 2008/98/CE y criterios de ecodiseño definidos en UNE-EN IEC 62430:2019.

Para facilitar este proceso, se plantea incorporar una guía de desensamblaje accesible mediante QR en el embalaje, dirigida tanto a usuarios particulares como a cofradías que gestionen el reciclaje responsable.

#### 8.8.4 Alternativas sostenibles

Durante el diseño se han considerado alternativas que puedan mejorar el comportamiento ambiental del dispositivo:

- Sustitución futura del neopreno por materiales textiles reciclados o de origen biológico (como malla 3D de PET reciclado).
- Inclusión de materiales con menor huella de carbono en la carcasa, como TPU de origen reciclado o impresión con filamentos sostenibles.
- Reducción de residuos mediante diseño en kit desmontable y componentes intercambiables.

#### 8.7.5 Responsabilidad ampliada del productor (RAP)

Como parte de la propuesta comercial, se contempla una política de devolución de dispositivos averiados, con recuperación de componentes útiles. Este enfoque permitiría ofrecer descuentos por renovación a cofradías que entreguen el material antiguo o deteriorado, fomentando la economía circular.

Además, si el proyecto llega a comercializarse a gran escala, se recomendaría formalizar el alta en un sistema de gestión RAEE y pilas (SIG), cumpliendo con la normativa española de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RD 110/2015).



## 9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS

### 9.1 Conclusiones generales

El desarrollo de este trabajo ha permitido dar forma a una propuesta realista, funcional y enfocada a mejorar las condiciones de los hombres y mujeres de trono durante la Semana Santa, partiendo de una idea previa pero llevándola un paso más allá, con una clara intención de aplicabilidad práctica. A lo largo del proyecto se ha trabajado tanto en la parte técnica como en el contacto directo con los usuarios, lo que ha permitido adaptar el diseño a las necesidades reales del colectivo.

Se ha logrado definir un sistema que permite medir de forma individual las cargas que soporta cada portador, con una interfaz sencilla y visual que facilita su interpretación y seguimiento. La respuesta por parte de cofrades, capataces y hermanos mayores ha sido muy positiva, y ha puesto de manifiesto el interés que puede tener este tipo de dispositivo tanto a nivel organizativo como preventivo.

Si bien uno de los objetivos iniciales era diseñar una talla única totalmente adaptable, finalmente se ha optado por una solución con más de una medida para garantizar un mejor ajuste y reparto de peso, lo cual se ha considerado una decisión coherente y equilibrada entre personalización y viabilidad.

En general, el proyecto ha cumplido con los objetivos planteados, demostrando que es posible desarrollar un sistema útil, ergonómico y viable, dejando abierta la puerta a mejoras futuras y a una posible comercialización del producto.

### 9.2 Posibles mejoras del dispositivo

Aunque el dispositivo ha demostrado ser funcional y útil desde el primer prototipo, existen varias líneas claras de mejora que pueden potenciar tanto su rendimiento como su impacto. Una de las principales se encuentra en la capacidad de recogida y gestión de la información: si bien actualmente se recogen datos individuales en tiempo real, el objetivo es ampliar esta recogida para obtener datos más estables, completos y representativos.

También se plantea ofrecer nuevas formas de visualización más completas e intuitivas, mediante gráficas comparativas, históricos por puesto o trono, y sistemas que permitan un análisis más profundo por parte de los responsables de organización. Esto no solo facilitaría la toma de decisiones durante una procesión, sino que permitiría trabajar con datos interanuales para detectar patrones y prevenir sobrecargas en puestos concretos.

Otra línea de mejora importante está en la precisión del dispositivo. Aunque los valores recogidos son útiles a nivel orientativo, sería interesante afinar aún más la lectura de las cargas mediante la optimización del sistema de calibrado, mejoras en la electrónica o incluso el uso de sensores con mayor sensibilidad.

A medio plazo, la idea es avanzar hacia un sistema que integre herramientas de análisis masivo de datos, aplicando técnicas de big data para obtener información más precisa y útil. Esto abriría la puerta a una mejora continua basada en la experiencia real de cada año, y permitiría adaptar las decisiones de manera objetiva y fundamentada.

Por último, se seguirán explorando opciones para mejorar la ergonomía del sistema y su integración con las prendas propias de la salida procesional, con el objetivo de que el dispositivo sea cada vez más cómodo, discreto y fácil de usar por cualquier portador.

### **9.3 Oportunidades para futuras investigaciones o aplicaciones**

Una vez que se disponga de una base de datos suficientemente amplia, el dispositivo podrá convertirse no solo en una herramienta de medición en tiempo real, sino en una fuente clave para el análisis profundo del comportamiento procesional. La recogida sistemática de datos año tras año permitiría aplicar técnicas de big data orientadas a mejorar tanto la ergonomía del portador como la eficiencia en la organización de los cortejos.

Este tipo de análisis podría permitir identificar con precisión aspectos como el número óptimo de pasos por tramo, la duración media de los tirones antes de una bajada, la longitud más eficiente de cada tirón o incluso comparar cómo se comporta un mismo trono en calles del casco histórico frente a zonas más abiertas en los barrios. También se podrían estudiar



diferencias entre tramos con y sin acompañamiento musical, o detectar los puntos del recorrido donde suele acumularse mayor fatiga, para adaptar la planificación y los relevos de forma más efectiva.

Además, este enfoque abriría nuevas vías para estudiar qué tipo de calle favorece una mejor distribución de esfuerzos, si existe una correlación entre ciertos tramos y un mayor índice de desajuste en el reparto de carga o si determinados patrones de marcha favorecen un desgaste menor en los portadores. Todo esto podría derivar no solo en mejoras técnicas del dispositivo, sino también en recomendaciones prácticas para los capataces, agrupaciones de hombres y mujeres de trono y juntas de gobierno.

A nivel académico, el sistema también podría aplicarse en estudios biomecánicos o de antropometría, ayudando a definir qué condiciones son más adecuadas para el transporte procesional en función de los perfiles físicos de los portadores y el tipo de trono. Incluso podría utilizarse como base para establecer indicadores de eficiencia procesional, comparando distintos estilos de porte o analizando variaciones en función de la hora, la densidad de público o la climatología.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

AENOR. (2013). UNE-EN 60601-1:2007/A1:2013. Equipos electromédicos. Parte 1: Requisitos generales para la seguridad básica y el funcionamiento esencial. Asociación Española de Normalización.

AENOR. (2013). UNE-EN ISO 14971:2013. Aplicación de la gestión de riesgos a los productos sanitarios. Asociación Española de Normalización.

AENOR. (2019). UNE-EN ISO 13485:2018. Productos sanitarios. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos para fines reglamentarios. Asociación Española de Normalización.

Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). (2024). Información para fabricantes sobre el marcado CE de productos sanitarios. <https://www.aemps.gob.es>

Bini, R., Hume, P. A., & Croft, J. L. (2018). Effects of shoulder load on posture and muscle activity: A biomechanical review. *Ergonomics*, 61(4), 475–487. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1360550>

COPE. (2025, abril 10). El proyecto que está revolucionando el mundo de los costaleros y cargadores de pasos de Semana Santa en ciudades como Sevilla: "Puede salvar". [https://www.cope.es/religion/hoy-en-dia/iglesia-espanola/noticias/proyecto-revolucionando-mundo-costaleros-cargadores-pasos-semana-santa-ciudades-sevilla-salvar-20250410\\_3131758.html](https://www.cope.es/religion/hoy-en-dia/iglesia-espanola/noticias/proyecto-revolucionando-mundo-costaleros-cargadores-pasos-semana-santa-ciudades-sevilla-salvar-20250410_3131758.html)

DesignBoom. (n.d.). Design inspiration and technology in industrial design. <https://www.designboom.com>

Diario de Jerez. (2023, abril 4). La tecnología al servicio de la salud del costalero jerezano. [https://www.diariodejerez.es/semanasanta/tecnologia-servicio-salud-costalero-Jerez\\_0\\_1887712916.html](https://www.diariodejerez.es/semanasanta/tecnologia-servicio-salud-costalero-Jerez_0_1887712916.html)

European Commission. (n.d.). Medical devices: Overview. [https://ec.europa.eu/health/md\\_sector/overview\\_en](https://ec.europa.eu/health/md_sector/overview_en)

Google Patents. (2009). *Dispositivo de apoyo para varales de pasos procesionales*.  
<https://patents.google.com/patent/ES2319712A1/es> (Google Patents, 2009)

Granada Digital. (2023, abril 1). *La IA llega a la Semana Santa de Granada para ofrecer una mejor atención al costalero*. <https://www.granadadigital.es/ia-llega-semana-santa-granada-ofrecer-mejor-atencion-costalero/>

IEEE Xplore Digital Library. (n.d.). *Advancing technology for humanity*.  
<https://ieeexplore.ieee.org>

Instituto Nacional de Estadística. (2023). *Altura media por edad y sexo*. <https://www.ine.es>  
(Instituto Nacional de Estadística, 2023)

La Razón. (2023, marzo 28). *Una aplicación móvil que arrima el hombro para ayudar al costalero*.  
<https://www.larazon.es/local/andalucia/una-aplicacion-movil-que-arrima-el-hombro-para-ayudar-al-costalero-DG9338566/>

MDPI. (n.d.). *Sensors: Open access journal*. <https://www.mdpi.com/journal/sensors>

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2024). *Guía técnica para la evaluación de la conformidad de productos electrónicos y su marcado CE*. <https://industria.gob.es>

NASA. (2010). *Man-Systems Integration Standards, NASA-STD-3000, Revision B*.  
<https://msis.jsc.nasa.gov>

Prolaboral. (s.f.). *¿Cuál es la mejor faja para costalero en Semana Santa?*  
<https://www.prolaboral.com/es/blog/faja-para-costalero-especial-semana-santa.html>

Reglamento (UE) 2017/745 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2017, relativo a los productos sanitarios y por el que se derogan las Directivas 90/385/CEE y 93/42/CEE del Consejo.

RTVE. (2023, abril 5). *El Centro de Atención al Costalero dispone de las últimas tecnologías para tratar lesiones y trasladar resultados a otras disciplinas*.

<https://www.rtve.es/noticias/20230405/centro-atencion-costalero-dispone-ultimas-tecnologias-tratar-lesiones-trasladar-resultados-disciplinas/2436351.shtml>

*Tekscan Inc. (2023). FlexiForce A502 Sensor Datasheet. <https://www.tekscan.com/products-solutions/force-sensors/a502>*

*Agrupación de Cofradías de Málaga. (n.d.). Página oficial de la Agrupación de Cofradías de Semana Santa de Málaga. <https://agrupaciondecofradias.com>*

*Instagram (Montse Altemir). (2024). Reel sobre sensores aplicados a la parihuela. [https://www.instagram.com/montse\\_altemir/reel/DIlf5RcN3DN/](https://www.instagram.com/montse_altemir/reel/DIlf5RcN3DN/)*



## ANEXOS

### ANEXO I Especificaciones técnicas detalladas

Este anexo recoge de forma exhaustiva las especificaciones técnicas del Dispositivo de Medición de Carga Transportada sobre Hombro (DMCH), incluyendo los componentes electrónicos, características físicas, materiales empleados, compatibilidad estructural y condiciones de funcionamiento. La información aquí presentada sirve de referencia tanto para la fabricación como para la validación técnica del sistema, permitiendo su reproducción, mantenimiento y mejora en futuras versiones.

#### I.1. Componentes electrónicos

- Microcontrolador principal: ESP32-WROOM-32
- Voltaje de operación: 3.3 V
- Conectividad: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2
- Frecuencia de reloj: hasta 240 MHz
- Entradas analógicas disponibles: 18
- Consumo en reposo:  $<10 \mu\text{A}$
- Programación: vía USB o inalámbrica OTA
- Sensor de carga: FlexiForce A502
- Tipo: sensor piezorresistivo de alta sensibilidad
- Rango de fuerza estándar: hasta 445 N (100 lbf), configurable
- Diámetro del área activa: 50.8 mm
- Grosor del sensor: 0.203 mm
- Precisión típica:  $\pm 5\%$
- Voltaje recomendado: 3.3–5 V
- Tiempo de respuesta:  $<5 \mu\text{s}$
- Vida útil:  $>1$  millón de activaciones
- Módulo GPS: NEO-6M
- Precisión horizontal:  $<2.5$  m CEP

- Protocolo de comunicación: UART (TX/RX)
- Antena activa externa incluida
- Frecuencia de actualización: 1 Hz (configurable hasta 5 Hz)
- Voltaje de funcionamiento: 3.3–5 V
- Batería recargable: LiPo 3.7 V, 2500–3000 mAh
- Protección: contra sobrecarga, cortocircuito y descarga profunda
- Tiempo de carga: ~2–3 h
- Autonomía estimada: entre 10 y 12 horas de uso continuo

## I.2. Características físicas y constructivas

- Encapsulado electrónico:
- Material: TPU flexible o silicona líquida (LSR)
- Protección frente a humedad y sudor: recubrimiento IPX5 (estimado)
- Dimensiones del módulo principal: 70 × 40 × 20 mm
- Peso total: <100 g
- Sistema de fijación textil:
- Material principal: neopreno transpirable de **2 mm**
- Refuerzos: costuras dobles en zonas de carga
- Sistema de cierre: banda frontal tipo faja, con velcro ajustable
- Parches adhesivos con velcro en hombros (zona clavicular, deltoidea y trapecio)
- Mangas con bandas elásticas de sujeción en bíceps

## I.3. Condiciones de uso y funcionamiento

- Temperatura de operación: 0 °C a 50 °C
- Humedad relativa máxima: 90%, sin condensación
- **Resistencia al sudor y lluvia ligera:** sí, mediante encapsulado parcial y materiales textiles hidrofóbicos
- **Entorno previsto:** procesiones religiosas, uso en exteriores con desplazamientos prolongados y cargas dinámicas



#### I.4. Comunicación de datos

- **Protocolo de envío:** HTTP GET (a servidor remoto con base de datos PHP)
- Frecuencia de transmisión: cada 10 segundos
- Datos enviados:
- Peso medido por el sensor (en N o kg)
- Coordenadas GPS (latitud, longitud)
- Puesto asignado (ej. A1–F25)
- Visualización:
- Interfaz web con tabla codificada por colores
- Exportación de datos en formato .csv para análisis posterior
- Acceso remoto desde móvil o PC para supervisión en tiempo real



## ANEXO II Encuestas y entrevistas

Con el objetivo de validar y enriquecer el diseño del Dispositivo de Medición de Carga Transportada sobre Hombro (DMCH), se han realizado diversas entrevistas a personas con experiencia directa en el ámbito cofrade malagueño. Las entrevistas, de carácter amistoso y distendido que se percibe en la transcripción de las mismas, han sido clave para identificar necesidades reales, percepciones sobre la carga, y propuestas de mejora. A continuación, se transcriben literalmente los diálogos más representativos con cinco personas relevantes en la organización, dirección y participación en los cortejos procesionales.

Entrevista 1 — Navarro Arias

**Cargo:** Hermano Mayor de la Congregación de la Divina Pastora de las Almas

**Fecha:** abril 2025

¿Crees que sería útil para la cofradía disponer de una herramienta que permita visualizar el peso máximo, mínimo y medio soportado por los hombres y mujeres de trono? Sí, totalmente. Al final, el mayor problema que tenemos en la organización es saber si hay desigualdad en el reparto o si algún varal va más cargado que otro. Tener datos objetivos nos ayudaría a tomar decisiones más justas.

**¿Qué información te parecería importante registrar en una aplicación de este tipo?**

Tiempo de portado seguro, también la posición concreta bajo el varal y si se pudiera, hasta la zona de contacto exacta. Eso ayudaría a prevenir lesiones y también a planificar mejor.

**¿Cómo te gustaría que se mostrara esta información? ¿En tiempo real, después de la procesión o ambas?**

Ambas. En tiempo real sería ideal para el capataz o el equipo técnico, pero también un informe final para tener constancia y comparar con otros años.

**¿Qué ventajas ves en disponer de un plano (vista superior) con la posición de cada hombre de trono y sus datos asociados?**

Eso sería una pasada. Poder ver de un vistazo qué parte del trono va más cargada o quién lleva

más peso nos daría una herramienta brutal para reorganizar turnos o hacer sustituciones más razonadas.

**¿Qué otra información o funcionalidades añadirías a una aplicación pensada para los responsables de la cofradía?**

Quizás poder subir observaciones de los capataces, como "este puesto ha dado problemas" o "este tramo ha sido muy duro", para tener una base de datos que sirva a futuro.

**¿Verías útil tener un historial de procesiones con datos comparativos año a año?**

Claro, eso ya sería profesionalizar del todo la organización. Con eso puedes aprender de los errores y evitar repetirlos.

**¿Crees que este tipo de tecnología sería bien aceptada en la cofradía o podría generar cierta resistencia? ¿Por qué?**

Al principio habrá quien lo mire con recelo, pero si se explica bien que es para ayudar, no para controlar, lo acabarán viendo como algo positivo.

**¿Qué condiciones debería cumplir este sistema para que lo consideréis viable y útil?**

Que no sea molesto de llevar, que no interfiera con la túnica ni el movimiento, y que sea fácil de usar para nosotros.

**¿En torno a qué precio por unidad sería viable la implementación del sistema?**

Habría que estudiarlo, pero si se puede tener por debajo de 100 €, incluso con opción de alquiler, sería asumible. Sobre todo si nos ayuda a evitar lesiones o problemas mayores.

Entrevista 2 — Manuel López Avilés

**Cargo:** Hombre de trono de la Cofradía del Rocío (Málaga)

**Fecha:** abril 2025

**¿Te gustaría conocer cuánto tiempo has portado y qué peso has soportado durante la procesión?**

Hombre claro, estaría guapísimo saber eso. Muchas veces acabas molido y no sabes si ha sido

porque el tramo era chungo o porque te ha tocado un puesto mal repartido. Tenerlo medido te da otra perspectiva.

**¿Percibes que el reparto de carga entre los varales es justo? ¿Mejorable?**

A ver... se intenta, eso está claro. Pero siempre hay zonas más duras y otras más suaves. Y también influye cómo esté de alto el varal o cómo te pille a ti. Con datos reales se podría afinar mucho más.

**¿Estarías dispuesto a llevar un dispositivo durante la procesión si con ello se mejora la distribución y el trabajo y se evitan posibles lesiones?**

Si no molesta, sí. Si es algo ligero y que no se nota debajo del hábito, yo lo llevo sin problema. Al final es por nuestro bien. Si ayuda a que no revientes o que no se sobrecargue uno solo, bienvenido sea.

**¿Verías bien que tus datos (peso, altura, tiempo bajo el varal) estuvieran disponibles para los responsables de procesión?**

No me importa, la verdad. Si no es algo que se use para señalar a nadie, sino para mejorar la organización, lo veo bien. Mientras se respete un poco la privacidad, sin problemas.

**¿Crees que una app con información sobre tu esfuerzo te resultaría útil o interesante?**

Sí, además sería curioso. Después de la procesión poder ver cuánto has cargado o compararlo con otros años estaría guapo. Es como llevar un historial tuyo cofrade.

**¿Tienes alguna preocupación o duda sobre la implementación de un sistema como este?**

Solo que no sea incómodo, como te he dicho. Si es cómodo y no te hace ir pensando en eso todo el rato, adelante. Y que no se use para dejar fuera a nadie, que eso sí sería feo. Pero con buen uso, me parece una idea brutal.

Entrevista 3 — Adrián Martín Rebollo

**Cargo:** Capataz de la Divina Pastora. Hombre de trono con experiencia en múltiples cofradías y músico de banda procesional

**Fecha:** marzo 2025

**¿Verías útil disponer de un sistema que te diga exactamente cuánto ha portado cada hombre de trono?**

Hombre, sería un puntazo. Como capataz, a veces te guías por lo que ves, o por lo que te cuentan, pero nunca tienes certeza. Un sistema que te dé esos datos en el momento te da otra capacidad para tomar decisiones. Si alguien va reventado y lo ves en el sistema, puedes cambiarlo sin esperar a que te lo diga.

**¿Qué datos son más interesantes para el análisis durante la procesión?**

Diría que el peso soportado por cada persona, el tiempo que llevan debajo y si hay zonas que están cargando más que otras. También estaría bien saber si hay descompensaciones en un mismo varal. Eso es lo que más influye en cómo se comporta el trono al andar.

**¿Te interesaría poder consultar en tiempo real el peso soportado por cada persona o varal?**

Sí, sí. No hace falta estar con la app abierta todo el rato, pero en ciertos momentos, sobre todo en las curvas, en cuestas o cuando notas que algo no va bien, te vendría genial tener esa información a mano.

**¿Te gustaría saber las partes del recorrido más exigente para los diferentes sectores del trono?**

Totalmente. Como músico que ha ido detrás de muchos tronos, sé que hay zonas donde el paso se rompe o se ralentiza, y eso muchas veces viene de que hay sectores agotados. Si sabes de antemano dónde se va a sufrir más, puedes preparar el relevo o reforzar ciertos varales.

**¿Qué acciones podrías tomar con esa información durante el recorrido?**

Lo principal sería reorganizar gente. Si veo que una zona va muy justa y hay huecos en otras, cambio. También puedes reducir la marcha, ajustar el ritmo o avisar con tiempo a los relevos. Es una ventaja operativa real.

**¿Qué datos deberías poder ver tú que no necesariamente vean los hombres y mujeres de trono?**

Quizás el mapa de carga completo, o las alertas de fatiga. No porque haya que ocultarlo, sino porque ellos bastante tienen con ir debajo. También estadísticas de recorrido o gráficas que nos ayuden a planificar a futuro.

**¿Te parecería útil tener una versión de la aplicación con privilegios especiales para ti y el hermano mayor?**

Sí, incluso diría que es necesario. Cada uno tiene una función distinta. El hermano mayor puede ver el histórico, los informes generales, y yo necesito lo operativo en el momento. Diferenciar los accesos puede ayudar a que cada uno tenga justo lo que necesita.

Entrevista 4 — Sergio Martín Rebollo

**Cargo:** Hombre de trono veterano con recorrido en distintas hermandades malagueñas y vinculación con la organización Daffari. Músico de banda procesional.

**Fecha:** abril 2025

**¿Te gustaría conocer cuánto tiempo has portado y qué peso has soportado durante la procesión?**

La verdad que sí. Cuando llevas muchos años, te vas conociendo y sabes cuándo has ido cargado más de la cuenta, pero tenerlo medido con precisión te ayudaría a entender mejor tu esfuerzo. Incluso para saber si estás en forma o no, porque a veces te sorprende.

**¿Percibes que el reparto de carga entre los varales es justo? ¿Mejorable?**

Se intenta, pero nunca es perfecto. A veces se nota que hay zonas que van “tirando del carro” y otras más sueltas. Hay muchos factores: altura, desgaste, si uno va fresco o no. Si tuviéramos datos, se podrían hacer ajustes antes de que la cosa se descompense.

**¿Estarías dispuesto a llevar un dispositivo durante la procesión si con ello se mejora la distribución y el trabajo y se evitan posibles lesiones?**

Claro. Si no molesta y no se nota debajo del hábito, sin problema. Al revés, me parecería hasta necesario. Todo lo que sea mejorar la ergonomía y evitar lesiones, bienvenido. Que después de tantos años, uno ya va notando la espalda.

**¿Verías bien que tus datos (peso, altura, tiempo bajo el varal) estuvieran disponibles para los responsables de procesión?**

Sí, mientras se use bien, no le veo problema. No es para competir ni para señalar a nadie, sino para que todo esté más equilibrado. Y si eso ayuda a que la procesión vaya mejor, adelante.

**¿Crees que una app con información sobre tu esfuerzo te resultaría útil o interesante?**

Sí, y no solo por curiosidad. También para ver tu evolución, comparar años y saber si un trono te está afectando más que otro. A mí, como músico también, me llama la atención poder cruzar esos datos con los tramos musicales más exigentes, que también influyen en el ritmo y en cómo carga la gente.

**¿Tienes alguna preocupación o duda sobre la implementación de un sistema como este?**

Lo único que no se convierta en un sistema para excluir a nadie. Que no se use para decir “este ha cargado poco” sin tener en cuenta el contexto. Pero si se usa con cabeza, es una herramienta muy potente. Y si además se puede alquilar, muchas cofradías podrían permitírselo.

Entrevista 5 — Alejandro Mesa del Campo

**Cargo:** Hombre de trono habitual en varias cofradías de la ciudad.

**Fecha:** abril 2025

**¿Te gustaría conocer cuánto tiempo has portado y qué peso has soportado durante la procesión?**

Hombre claro, eso sería genial. Siempre lo hemos comentado entre nosotros en la carrera, lo curioso que sería tener datos reales de lo que pasa debajo de un trono. Saber cuánto tiempo exacto has portado y cuánta carga llevas... eso ya es llevar la ingeniería al varal, literal.

**¿Percibes que el reparto de carga entre los varales es justo? ¿Mejorable?**

Siempre se puede mejorar. Hay días que vas bien, pero otros que sales con el hombro reventado y no sabes si ha sido el recorrido, la altura, o que ibas en un sitio más castigado. Si eso se pudiera medir de forma objetiva, se acabarían muchas suposiciones.



¿Estarías dispuesto a llevar un dispositivo durante la procesión si con ello se mejora la distribución y el trabajo y se evitan posibles lesiones?  
Sí, totalmente. Mientras sea cómodo y esté bien integrado, me parece una herramienta brutal. Y sabiendo cómo lo estás diseñando tú, estoy seguro de que será ligero y funcional. Además, no sería nada invasivo si va bien fijado.

**¿Verías bien que tus datos (peso, altura, tiempo bajo el varal) estuvieran disponibles para los responsables de procesión?**

Sí, sin problema. Si se usan para mejorar la organización y evitar sobrecargas, adelante. No tiene sentido ocultar ese tipo de información cuando lo que se busca es protegernos y hacer todo más justo.

**¿Crees que una app con información sobre tu esfuerzo te resultaría útil o interesante?**

Claro, me encantaría ver un resumen de la procesión, con gráficas, puntos de mayor carga... lo que hemos estudiado en clase, pero aplicado al mundo cofrade. Ya sabes que a mí todo lo que sea medir, monitorizar y analizar, me flipa.

**¿Tienes alguna preocupación o duda sobre la implementación de un sistema como este?**

La única es que no se convierta en una herramienta de control mal entendida. Pero si se explica bien, que es para ayudarnos, para planificar y evitar lesiones, va a tener buena acogida. Y lo mejor es que es una solución técnica hecha desde dentro, por alguien que ha estado ahí debajo con nosotros.



### **ANEXO III Estructura del sistema web**

El presente anexo recoge una descripción técnica de los scripts utilizados para la recogida, transmisión, almacenamiento y visualización de los datos obtenidos por el dispositivo DMCH. El sistema se apoya en un microcontrolador ESP32 con conexión WiFi, un servidor local o remoto con soporte PHP y una base de datos MySQL.

#### **1. Código Arduino (ESP32)**

El microcontrolador ESP32 se encarga de procesar la información de dos sensores clave:

- Sensor FlexiForce A502, que permite detectar la carga ejercida sobre el hombro del portador.
- Módulo GPS NEO-6M, que proporciona datos de latitud, longitud y hora en tiempo real.

El firmware desarrollado en Arduino realiza la lectura periódica del sensor de carga, recoge la posición GPS y construye una URL con los datos para enviarla mediante el método HTTP GET a un script PHP alojado en un servidor conectado a la misma red WiFi. Este envío se realiza cada segundo o con la frecuencia configurada en el bucle principal. Se garantiza la estabilidad del envío utilizando comprobaciones básicas de conectividad y limpieza de memoria dinámica.

#### **2. Script PHP – Recepción e inserción de datos**

El archivo PHP ubicado en el servidor recibe los parámetros enviados por el ESP32 (peso, latitud, longitud, puesto, hora) y los inserta en una tabla de base de datos MySQL denominada datos. Este script valida la presencia de los parámetros necesarios y ejecuta una sentencia INSERT que almacena los valores en cada línea junto a una marca temporal.

Este mecanismo asegura que cada lectura queda registrada cronológicamente, permitiendo reconstruir con precisión el recorrido y la evolución de la carga de cada portador.

#### **3. Script PHP – Visualización de datos en tiempo real**

Otro script PHP desarrollado permite consultar los datos almacenados y representarlos en una tabla HTML dinámica. Esta tabla está diseñada para ser legible e intuitiva:

- Ordenada por fecha de forma ascendente.
- Incluye columnas para puesto, peso, coordenadas y hora.
- Se emplea un código de colores en el fondo de cada fila según el peso soportado, facilitando la identificación visual de sobrecargas o zonas de menor esfuerzo. El degradado va de azul claro (baja carga) a rojo intenso (alta carga).

Este script se puede visualizar desde cualquier navegador conectado a la red del sistema, siendo accesible tanto para capataces como para hombres y mujeres de trono con permisos diferenciados.

#### 4. Base de datos

La base de datos empleada está estructurada en una tabla principal (datos) que contiene los siguientes campos:

- id (clave primaria, autoincremental)
- peso (valor numérico en kg)
- latitud (coordenada GPS)
- longitud (coordenada GPS)
- puesto (identificador del portador)
- fecha (timestamp de la lectura)

Esta estructura permite realizar análisis por usuario, por tramo, por intensidad de carga o por tiempo. Además, está preparada para exportar los datos a formatos compatibles con hojas de cálculo o herramientas de análisis externo.

## **ANEXO IV Glosario de términos**

### Definiciones clave

- Paso: En el contexto de la Semana Santa, el "paso" es una estructura o plataforma sobre la que se transporta una imagen religiosa. Esta denominación se utiliza principalmente en las regiones de Castilla y León, Andalucía y Murcia. Los "pasos" suelen estar acompañados por una cuadrilla de cargadores que portan la estructura sobre sus hombros o cuellos, y se transportan en procesiones de Semana Santa.
- Trono: Similar al "paso", el "trono" es una estructura que transporta una imagen religiosa, pero el término "trono" es más utilizado en las regiones del sur de España, particularmente en Málaga y Cádiz. Aunque la estructura y función son similares a los "pasos", el "trono" es generalmente más grande y pesado, y la forma de transportarlo puede ser más compleja, utilizando un sistema de varales.
- Costal: Es una tela o saco que se coloca sobre el cuello de los hombres y mujeres de trono o de paso para amortiguar el peso del "paso" o "trono" en los hombros y la nuca. Es comúnmente usado en Andalucía, especialmente en Sevilla, y suele estar relleno de algodón o materiales acolchados para mejorar la comodidad.
- Capataces: Son las personas encargadas de la organización y dirección de los hombres y mujeres de trono o de paso durante las procesiones. Supervisan el ritmo y el reparto de la carga entre los portadores, asegurando la correcta ejecución de la procesión y el bienestar físico de los portadores.
- Parihuela: Es una estructura similar al paso, que se utiliza en algunos lugares de la Semana Santa, especialmente en las zonas más al norte de España. La parihuela se distingue por su menor tamaño y por la forma en que se transporta, con una plataforma más baja y ligera.
- Nazareno: Es una persona que participa en la procesión vistiendo una túnica con capucho (capirote), que representa el lamento y penitencia de la Semana Santa. No lleva carga, pero tiene una importancia ritual en las procesiones.

- Costalero: Es el portador del "paso", que lleva la carga sobre su cuello, con la ayuda del "costal". Su función es crucial en el transporte de las imágenes durante las procesiones.
- Cofradía: Organización religiosa que se dedica a la celebración de las procesiones de Semana Santa, que suelen estar centradas en una imagen religiosa. Las cofradías se encargan de la organización, los ensayos y la preparación de los pasos o tronos.
- Varal: Es una barra metálica o de madera que se utiliza en la estructura del "trono" o "paso". Los varales sirven para distribuir el peso de la carga entre los portadores y permitir un transporte más estable y cómodo. Los portadores se colocan en los varales. Es común encontrar los varales en los "tronos" de grandes dimensiones, especialmente en las regiones del sur de España, como Málaga.
- Trabajadera: Es una pieza fundamental en la estructura del "paso". Las trabajaderas son barras horizontales o estructuras de refuerzo que permiten que los portadores de los "pasos" coloquen el costal debajo del mismo para realizar el transporte del paso.

#### Abreviaturas utilizadas

- DMCH: Dispositivo de Medición de Carga Transportada sobre Hombro. Es el dispositivo diseñado para medir y registrar las fuerzas ejercidas sobre los hombros de los portadores de los "pasos" o "tronos" durante las procesiones, con el fin de optimizar la carga y evitar sobrecargas o lesiones.
- APP: Aplicación Móvil. Es el software que se conectará al dispositivo de medición para visualizar en tiempo real las cargas soportadas por cada
- portador y realizar ajustes en la distribución del peso.
- FEM: Fuerzas Externas Medidas. Término utilizado para referirse a las fuerzas adicionales que pueden afectar a la carga, como la inclinación del terreno o los movimientos bruscos durante las procesiones.
- CE: Conformidad Europea. Indica que el producto cumple con las normativas europeas en cuanto a seguridad y calidad.

- GPS: Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System), utilizado para determinar la ubicación geográfica en tiempo real.
- API: Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface), conjunto de definiciones y protocolos para la integración entre sistemas informático
- RGPD: Reglamento General de Protección de Datos
- PCB: Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso)

## **ANEXO V Códigos fuente y flujo de funcionamiento del sistema**

Este anexo recoge los principales bloques de código utilizados en el sistema DMCH, tanto en el microcontrolador ESP32 como en el servidor web. También se incluye una explicación de su estructura, funcionamiento y mejoras realizadas durante la fase de pruebas. Todos los fragmentos han sido probados en condiciones reales de desarrollo, incluyendo pruebas de inserción automática y simulación de carga.

### **A. ESP32 – Código principal y funciones auxiliares**

#### **A.1 Programa principal (SENSOR\_FUERZA\_GPS.ino)**

Este archivo contiene el flujo principal del programa. Se encarga de:

- Establecer conexión WiFi.
- Inicializar el módulo GPS y el sensor de carga.
- Leer datos de peso y coordenadas.
- Enviar la información mediante HTTP GET al servidor PHP.

Incluye control de reconexión WiFi y lectura solo cuando el GPS es válido.

#### **A.2 Archivo auxiliar de funciones (Funciones.ino)**

Define la función `enviarDatos()` que:

- Construye la URL de envío de datos (peso, lat, lon, puesto).
- Llama al script PHP `insertar_sensor_a16.php`.
- Imprime el código de estado HTTP y la respuesta en el monitor serie para depuración.

Este módulo fue clave para separar la lógica principal del manejo HTTP y facilitar su mantenimiento.

## B. Backend PHP – Inserción y visualización

### B.1 insertar\_sensor\_a16.php

Script encargado de recibir los datos enviados desde el ESP32. Incluye:

- Validación de parámetros (peso, lat, lon, puesto).
- Inserción segura en base de datos mediante `prepare()` y `bind_param()`.
- Mensajes claros de confirmación o error.

Durante el desarrollo, se detectó que el uso de `filter_input()` provocaba errores al recibir 0.0 como peso. Se sustituyó por validaciones más flexibles. Además, se añadió `exit`; tras cada respuesta para evitar respuestas duplicadas.

### B.2 tabla\_ajax.php

Script que genera una tabla en HTML mostrando el último peso recibido por cada puesto.

Utiliza:

- Consulta con subquery para obtener el registro más reciente de cada puesto.
- Matriz de puestos A1 a F20.
- Código de colores basado en valor de peso, de azul (baja carga) a rojo (carga elevada).

### B.3 simulacion\_colores.html

Interfaz visual en tiempo real:

- Estructura HTML con tabla central.
- Script JavaScript que consulta `tabla_ajax.php` vía `fetch()` cada segundo.
- CSS adaptado con modo oscuro y estilos para lectura rápida en dispositivos móviles.

Esta interfaz fue esencial para validar el comportamiento en tiempo real del sistema durante pruebas funcionales.



### C. Pruebas con inserción aleatoria y simulación

Durante la fase de desarrollo se realizaron:

- Pruebas de inserción aleatoria en la base de datos para simular el comportamiento de todos los puestos.
- Visualización simultánea en navegadores diferentes para evaluar la respuesta en tiempo real.
- Depuración de errores HTTP mediante impresión en consola del ESP32 y revisión de respuestas del servidor.

Estas pruebas permitieron validar la arquitectura del sistema antes de su integración final con el dispositivo portado



## **PLIEGO DE CONDICIONES**

El pliego de condiciones se estructurará en los siguientes apartados:

- Condiciones técnicas del producto
- Condiciones de montaje e instalación
- Condiciones económicas y comerciales
- Garantía, calidad y mantenimiento postventa

### **Condiciones técnicas del producto**

El presente pliego tiene como finalidad establecer los requisitos técnicos que debe cumplir el dispositivo de medición de carga transportada sobre hombro (DMCH) para garantizar su correcto funcionamiento, fiabilidad y compatibilidad con las condiciones reales de uso en entornos profesionales.

El sistema estará compuesto por un conjunto de elementos textiles de sujeción (principalmente neopreno elástico), sensores de presión de tipo resistivo, una unidad electrónica de control y comunicación (basada en microcontrolador con conectividad inalámbrica), y una interfaz digital que permita visualizar los datos de forma clara y accesible.

A nivel técnico, el dispositivo debe cumplir los siguientes requisitos:

- Precisión de lectura: debe permitir lecturas útiles de carga, con un margen de error aceptable para uso orientativo ( $\pm 10\%$  respecto a ensayo calibrado).
- Rango de medición: diseñado para detectar esfuerzos en el rango habitual de porte entre 5 y 40 kg por hombro.
- Autonomía mínima: el sistema deberá ofrecer un funcionamiento continuo de al menos 10 horas sin necesidad de recarga, cubriendo así la duración completa de una procesión.
- Comunicación: el sistema deberá ser capaz de enviar datos en tiempo real vía Wi-Fi a una base de datos accesible mediante aplicación web.

- Ergonomía: el conjunto debe adaptarse cómodamente al cuerpo del usuario, sin generar molestias ni interferencias con la túnica ni con el desarrollo habitual del desfile procesional.
- Modularidad: se contemplarán varias tallas o ajustes para garantizar un correcto acoplamiento según complexión del usuario.
- Resistencia al entorno: el dispositivo deberá soportar condiciones reales como las que se dan durante la Semana Santa en Málaga, donde las procesiones se desarrollan en el mes de abril con una humedad relativa habitual de entre el 60 % y el 80 %, temperaturas medias entre 14 y 22 °C, y un nivel de sudoración elevado debido al esfuerzo físico, el uso de túnicas y la duración prolongada del porte. Asimismo, deberá resistir movimientos repetitivos, tirones, cambios de ritmo y pausas prolongadas propias del recorrido procesional por el centro histórico.

### **Condiciones económicas**

El diseño y desarrollo del dispositivo DMCH ha sido planteado desde el inicio con un enfoque viable económicamente, tanto a nivel de producción limitada como de posible explotación comercial a medio plazo. Las condiciones económicas aquí recogidas establecen los requisitos mínimos que deben cumplirse para mantener la funcionalidad, calidad y durabilidad del sistema, sin comprometer su accesibilidad por parte de las cofradías.

El coste de fabricación de cada unidad deberá mantenerse dentro de unos márgenes razonables, permitiendo su producción a pequeña o mediana escala sin que ello repercuta negativamente en la calidad de los materiales ni en el rendimiento técnico. Se priorizará el uso de componentes estándar, fácilmente reemplazables y con disponibilidad en el mercado, para asegurar la continuidad del suministro.

Se contemplan tres modelos principales de explotación económica:

- Adquisición por cofradías: orientado a hermandades que deseen incorporar el dispositivo como parte de su equipamiento habitual, con posibilidad de compra de unidades personalizadas o adaptadas a sus necesidades logísticas y organizativas.
- Venta individual: pensada para hombres y mujeres de trono que deseen contar con su propio dispositivo de uso personal, bien por motivos de control ergonómico, interés en su estado físico o como elemento de consulta particular. Esta opción requerirá una experiencia de uso sencilla, sin necesidad de configuraciones complejas.
- Modelo de alquiler por procesión o temporada: ideado para facilitar el acceso al sistema a un mayor número de hermandades, especialmente aquellas que no procesionan con tronos de gran tamaño o que deseen usarlo de forma puntual. En este modelo se incluirán servicios de entrega, recogida, calibración y soporte técnico, con una logística adaptable a los diferentes días de salida.

En cualquiera de los tres casos, se buscará optimizar el equilibrio entre coste, rendimiento y durabilidad, contemplando un mantenimiento mínimo por parte del usuario y un sistema de renovación o sustitución de componentes con coste asumible.

El diseño debe estar preparado para su fabricación por lotes, permitiendo una producción estimada de hasta 280 unidades en escenarios de distribución por alquiler, sin necesidad de rediseños ni ajustes de escala.

### **Condiciones de fabricación y montaje**

La fabricación y montaje del dispositivo DMCH deberá seguir criterios de eficiencia, fiabilidad y repetibilidad, permitiendo una producción modular que facilite su ensamblaje y mantenimiento, tanto en producciones por lotes como en unidades individuales.

En lo relativo a la parte textil, las fundas deberán ser fabricadas en neopreno elástico de alta calidad, con acabados que garanticen la comodidad del usuario y la resistencia al desgaste por fricción y sudoración. Las costuras deberán ser reforzadas en las zonas de mayor tensión, y los sistemas de ajuste mediante velcro u otros cierres deberán permitir un ajuste firme sin

comprimir en exceso el área de apoyo. Las bandas de sujeción en brazos y hombros deberán seguir patrones previamente definidos para asegurar su compatibilidad con las tallas establecidas y con la integración de la electrónica.

En cuanto al montaje electrónico, se especifica:

- Integración de componentes sobre una placa central basada en microcontrolador con comunicaciones inalámbricas, siguiendo un encapsulado compacto en TPU o materiales equivalentes, resistentes a la humedad y los impactos leves.
- Montaje de sensores de presión en puntos estratégicos del textil, con conexiones soldadas y protegidas mediante aislante flexible para evitar deterioro por torsión o sudoración.
- Batería recargable integrada en la zona dorsal o lateral, de forma que no interfiera con el movimiento del portador, y con un sistema de carga accesible sin desmontar el conjunto.
- Cableado interno mínimo, dispuesto de forma que no genere molestias al usuario ni dificulte el plegado o almacenaje del dispositivo.

El montaje debe ser semiartesanal pero escalable, permitiendo que distintos técnicos puedan ensamblar unidades sin requerir instrumental específico más allá de soldador, máquina de coser y herramientas básicas de ensamblaje. Para ello, se recomienda un sistema de manual de montaje detallado con instrucciones visuales que permitan mantener la uniformidad entre unidades.

Por último, se deberá prever un sistema de verificación funcional una vez montado el dispositivo, con test de conectividad, autonomía mínima, respuesta del sensor y fijación correcta de los elementos al conjunto textil.

### **Garantía y ejecución**

La ejecución del proyecto deberá garantizar que cada unidad del dispositivo DMCH cumpla con los requisitos funcionales, ergonómicos y técnicos establecidos en este pliego, ofreciendo

al usuario un producto fiable, seguro y adaptado a las condiciones reales de uso durante las procesiones.

Cada unidad fabricada deberá superar un proceso de verificación funcional antes de su entrega, comprobando el correcto funcionamiento del sensor de carga, la conectividad con la plataforma de datos, el estado de la batería y la correcta sujeción del conjunto textil al cuerpo. Solo se considerarán válidas aquellas unidades que cumplan al 100 % con los criterios definidos en los ensayos previos y en las pruebas de validación de campo.

En cuanto a la garantía, cada dispositivo deberá contar con una garantía mínima de un año, cubriendo defectos de fabricación tanto en los componentes electrónicos como en la estructura textil, siempre que el uso se haya realizado conforme a las condiciones normales previstas (procesión, porte manual, entorno urbano). La garantía no cubrirá daños provocados por manipulación indebida, modificaciones no autorizadas, exposición directa a agua o impactos severos.

En el caso del modelo de alquiler, se establecerá un protocolo de revisión previa y posterior a cada salida, con reposición inmediata en caso de fallo de cualquier unidad. En caso de venta individual o por cofradía, se incluirá un manual de uso, recomendaciones de conservación y canal directo de soporte técnico.

El dispositivo deberá entregarse listo para su uso, con carga completa, calibrado y con su correspondiente etiqueta de identificación. En ningún caso se aceptarán dispositivos con componentes sueltos, textiles defectuosos o sin haber superado las comprobaciones mínimas indicadas en el apartado de fabricación y montaje.

### **Certificaciones y calidad**

El dispositivo DMCH deberá fabricarse bajo unos criterios mínimos de calidad que aseguren la fiabilidad del producto durante su uso en condiciones reales, manteniendo un estándar homogéneo en todas las unidades producidas. Cada unidad deberá superar una revisión técnica

final antes de su entrega, donde se verifique su correcto funcionamiento, acabado textil, estabilidad estructural, y conexión con el sistema de recogida de datos.

Durante la fase de producción, deberán realizarse controles de calidad intermedios, especialmente en:

- La resistencia de las costuras y puntos de sujeción del textil.
- La funcionalidad del sistema de lectura de carga y su estabilidad.
- La respuesta de conectividad inalámbrica bajo entorno urbano.
- La autonomía real tras carga completa en condiciones similares a las de una procesión.

Además, para garantizar su uso seguro y su posible introducción en el mercado, se deberá prever la realización de los trámites necesarios para la obtención del marcado CE, como dispositivo electrónico y producto textil de uso corporal. Para ello, será necesario:

- Identificar y clasificar el producto conforme a las directivas europeas aplicables (probablemente bajo la categoría de equipo electrónico de bajo voltaje o wearable de uso no médico).
- Realizar ensayos conforme a las directivas de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética (EMC) y normativa RoHS sobre sustancias restringidas.
- Redactar la documentación técnica del producto, que incluya memoria de diseño, manual de uso, declaración de conformidad, etiquetado y especificaciones.
- Acreditar la trazabilidad de todos los componentes empleados en la fabricación.
- Someter el producto a una evaluación de conformidad, bien mediante auto certificación si aplica, o con la intervención de un organismo notificado si se considera necesario según la clasificación final.

En paralelo, se recomienda avanzar hacia una homologación del textil empleado conforme a normas UNE de textiles técnicos, especialmente aquellas relativas a contacto con la piel, resistencia al sudor y durabilidad en ambientes húmedos.





Todo este proceso permitirá que, en caso de comercialización, el dispositivo cuente con todas las garantías legales y de seguridad, aumentando su credibilidad y aceptación tanto por parte de usuarios individuales como de instituciones y cofradías.



## MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Este apartado recoge el presupuesto técnico estimado para la fabricación del dispositivo DMCH, incluyendo tanto el **coste por unidad fabricada** como la **estimación para la producción en lote** y una **simulación de amortización económica** en el caso de explotación bajo modelo de alquiler. Presupuesto unitario de fabricación

A continuación, se detallan los costes estimados por unidad, estructurados por capítulos conforme al esquema habitual de presupuestación técnica. Los precios indicados son orientativos y pueden variar según volumen de compra, proveedor y disponibilidad de componentes en el mercado.

### Capítulo 1 – Componentes electrónicos

Código	Partida descriptiva	Unidad	Cantidad	P. unitario (€)	P. parcial (€)
1.1	Módulo microcontrolador ESP32 con Wi-Fi y Bluetooth	ud	1	6,50	6,50
1.2	Sensor de carga resistivo FSR	ud	1	9,80	9,80
1.3	Batería LiPo 3.7V 3000 mAh con protección	ud	1	7,90	7,90
1.4	Módulo GPS NEO-6M con antena	ud	1	4,50	4,50
1.5	Módulo de carga USB tipo C	ud	1	1,60	1,60
1.6	Cableado, conectores y protecciones electrónicas	ud	1	2,20	2,20

32,50 €

Tabla 22 Subtotal capítulo 1

**Fuente:** Elaboración propia**Capítulo 2 – Componentes textiles y sujeción**

Código	Partida descriptiva	Unidad	Cantidad	P. unitario (€)	P. parcial (€)
2.1	Neopreno elástico 3 mm (funda base)	m <sup>2</sup>	0,25	14,00	3,50
2.2	Banda elástica de ajuste (bíceps y dorsales)	m	1,50	1,10	1,65
2.3	Velcro textil (gancho + rizo)	m	1,00	0,90	0,90
2.4	Hilo de poliéster técnico	m	10	0,05	0,50
2.5	Encapsulado flexible en TPU para electrónica	ud	1	1,80	1,80

8,35 €

*Tabla 23 Subtotal capítulo 2***Fuente:** Elaboración propia

### Capítulo 3 – Montaje y ensamblaje

Código	Partida descriptiva	Unidad	Cantidad	P. unitario (€)	P. parcial (€)
3.1	Corte, cosido y confección de funda textil	ud	1	4,50	4,50
3.2	Soldadura y ensamblaje de electrónica	ud	1	6,00	6,00
3.3	Prueba funcional, calibración y sellado	ud	1	5,00	5,00

15,50 €

*Tabla 24 Subtotal capítulo 3*

**Fuente:** Elaboración propia

### Capítulo 4 – Embalaje, etiquetado y documentación

Código	Partida descriptiva	Unidad	Cantidad	P. unitario (€)	P. parcial (€)
4.1	Embalaje individual reutilizable con cierre textil	ud	1	2,00	2,00
4.2	Etiquetado identificativo por unidad	ud	1	0,50	0,50
4.3	Manual de uso y ficha técnica impresa	ud	1	0,60	0,60

3,10 €

*Tabla 25 Subtotal capítulo 4*

## Resumen total

Concepto	Coste parcial (€)
Capítulo 1 – Componentes electrónicos	32,50
Capítulo 2 – Componentes textiles	8,35
Capítulo 3 – Montaje y ensamblaje	15,50
Capítulo 4 – Embalaje y documentación	3,10
TOTAL ESTIMADO POR UNIDAD	59,45 €

*Tabla 26 Resumen total*

**Fuente:** Elaboración propia

## Estimación de costes por lote de producción

En escenarios de fabricación en volumen, se contempla una reducción progresiva del coste unitario mediante compras al por mayor, producción textil estandarizada y montaje optimizado.

Nº de unidades	Coste estimado por unidad (€)	Coste total (€)
1	59,45	59,45
10	55,00	550,00
50	51,00	2.550,00
100	48,00	4.800,00
280	45,00	12.600,00

*Tabla 27 Tabla de amortización – Modelo de alquiler*

**Fuente:** Elaboración propia

Para el modelo de explotación basado en alquiler por procesión, se estima una vida útil mínima de 5 años, con una rotación de hasta 10 usos por año y unidad. La inversión inicial se recupera en los primeros dos años de funcionamiento.

Hipótesis:

- Precio de alquiler por unidad/procesión: 20 €
- Unidades disponibles: 280
- Coste medio de fabricación por unidad: 45 €
- Usos previstos: 50 procesiones por unidad (5 años  $\times$  10)

Año	Procesiones totales (280 ud)	Ingresos anuales (€)	Amortización acumulada (€)	Beneficio acumulado (€)
1	2.800	56.000	56.000	+43.400
2	2.800	56.000	112.000	+99.400
3	2.800	56.000	168.000	+155.400
4	2.800	56.000	224.000	+211.400
5	2.800	56.000	280.000	+267.400

*Tabla 28 Amortización – Modelo mixto*

**Fuente:** Elaboración propia

Este modelo pone de manifiesto la viabilidad económica del sistema y su potencial como servicio accesible para cofradías de distinto tamaño, incluyendo aquellas que participan en procesiones de pasión o de gloria.





## **PLANOS**

Se incluirán los planos técnicos del dispositivo, incluyendo vistas de integración en el cuerpo del usuario, plano eléctrico del sistema y despiece del textil.

**Plano 1** – Vista explosionada del conjunto del dispositivo DMCH (textil + encapsulado + electrónica)

**Plano 2** – Vistas ortogonales del encapsulado (planta, alzado y perfil)

2.1 Base

2.2 Tapa

**Plano 3** – Patronaje textil: piezas planas, cotas y márgenes de costura

3.1 Plano pieza “A”

3.2 Plano pieza “B”

3.3 Plano pieza “C”

**Plano 4** – Patronaje, uniones de costura

**Plano 5** – Esquema de conexionado electrónico del sistema (sensor – ESP32 – GPS – batería)

**Plano 6** – Distribución de componentes electrónicos en el interior del encapsulado



## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer especialmente a mis tutores, Óscar de Cózar y José Macías, por su implicación, cercanía y por haber sabido adaptarse a mis tiempos y circunstancias. Gracias por confiar en mí y por acompañarme en cada fase del proyecto.

A la Universidad de Málaga, por ofrecerme un entorno donde aprender, crecer y desarrollar esta vocación por la ingeniería.

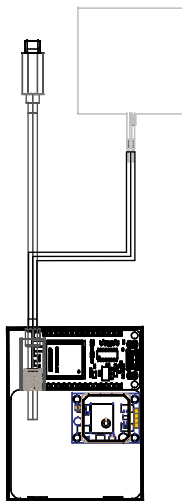
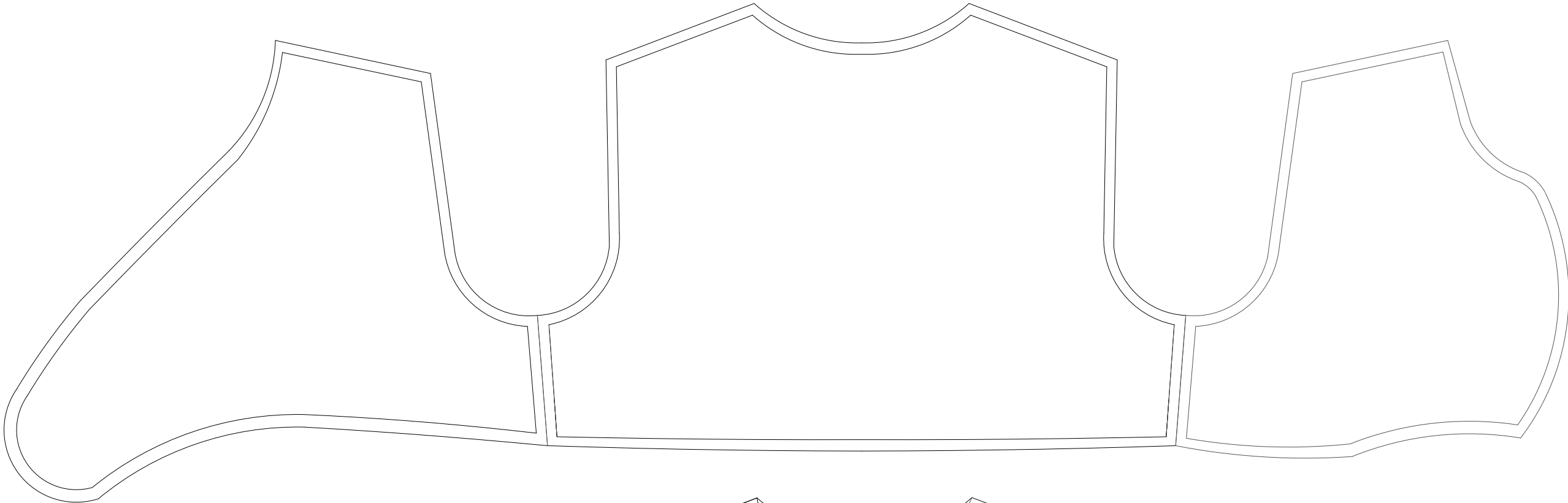
A mis padres, por ayudarme en todo lo práctico —desde soldar hasta coser—, y por estar ahí con una paciencia infinita, incluso en los momentos más tensos. Gracias a mi madre por volcarte en cada costura, y a mi padre por enseñarme a pensar como un ingeniero. Pero sobre todo, gracias por haberme transmitido desde pequeño el amor por la Semana Santa, que hoy da sentido a este proyecto.

A mis amigos de siempre —Daniel Ruiz, Manolo López y Julio Marín— por ser siempre hogar, y a mis compañeras de universidad —Lourdes, Ana Páez, Ana Muñoz, Inés y Laura— por hacer más llevadero este camino entre madrugones, entregas y risas.

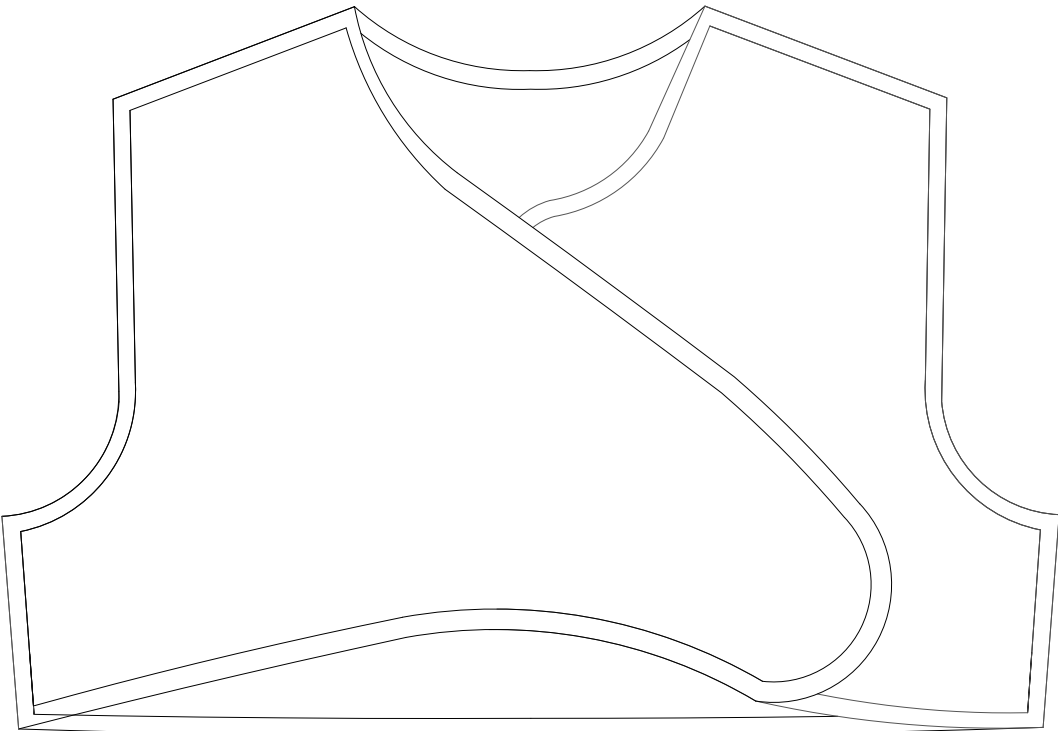
A todos los entrevistados que aportaron su visión y experiencia. Y en especial a Manolo, por estar a mi lado en tantas procesiones como años de amistad llevamos compartidos.

Este trabajo es el resultado de muchas manos, muchas voces y mucho corazón. Gracias a todos.

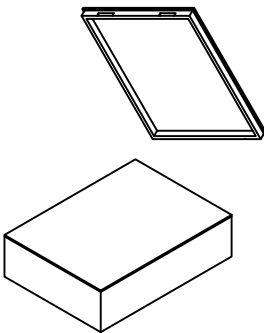
TEXTIL ABIERTO




ELECTRÓNICA

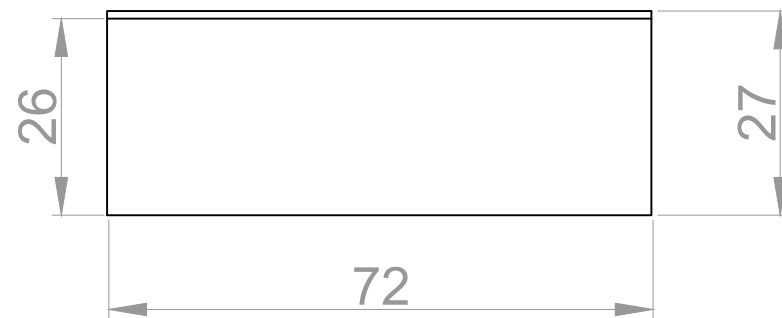
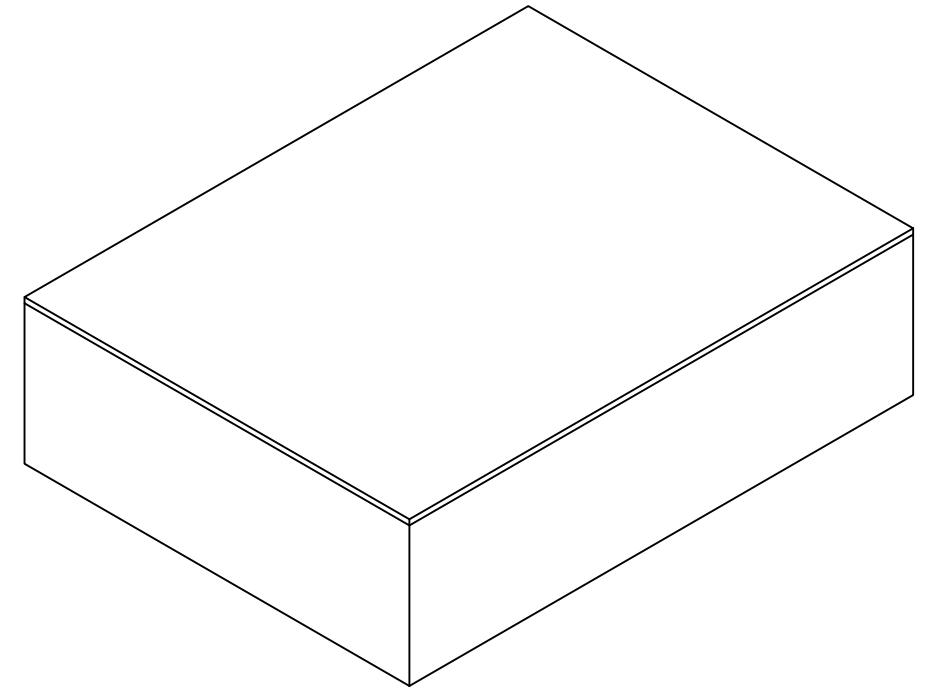
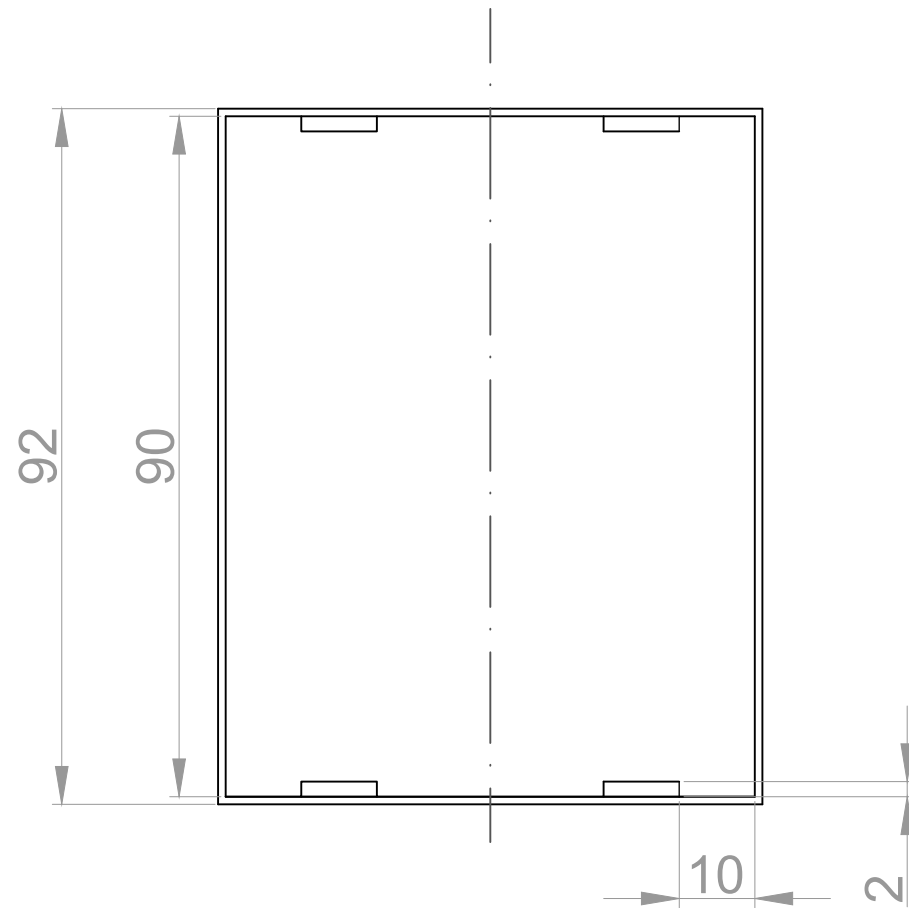



TEXTIL CERRADO

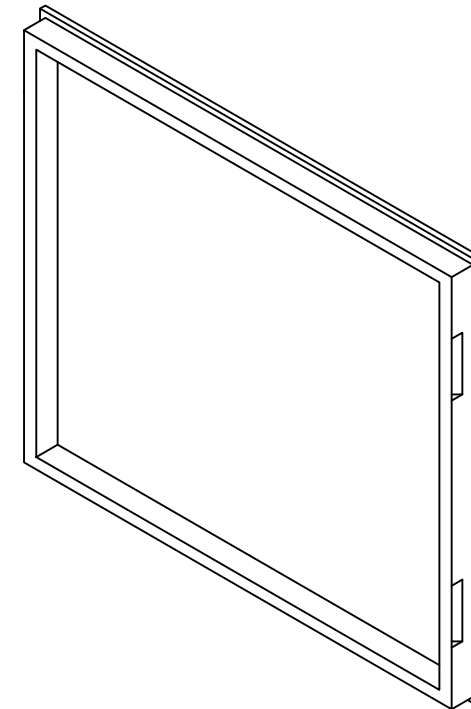
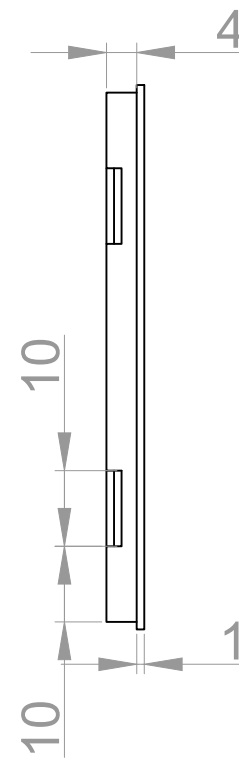
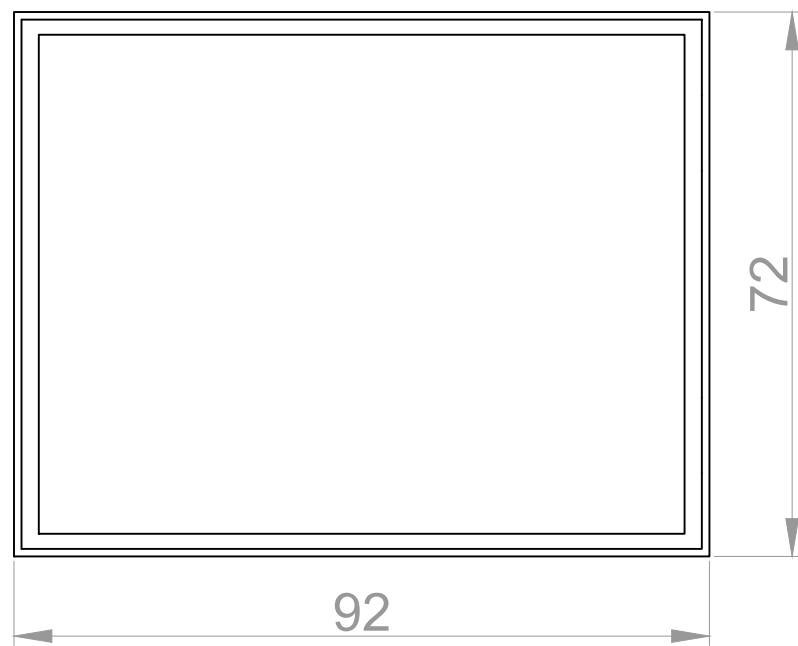
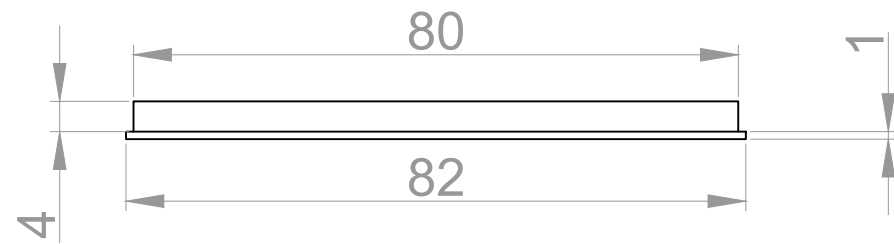



ENCAPSULADO

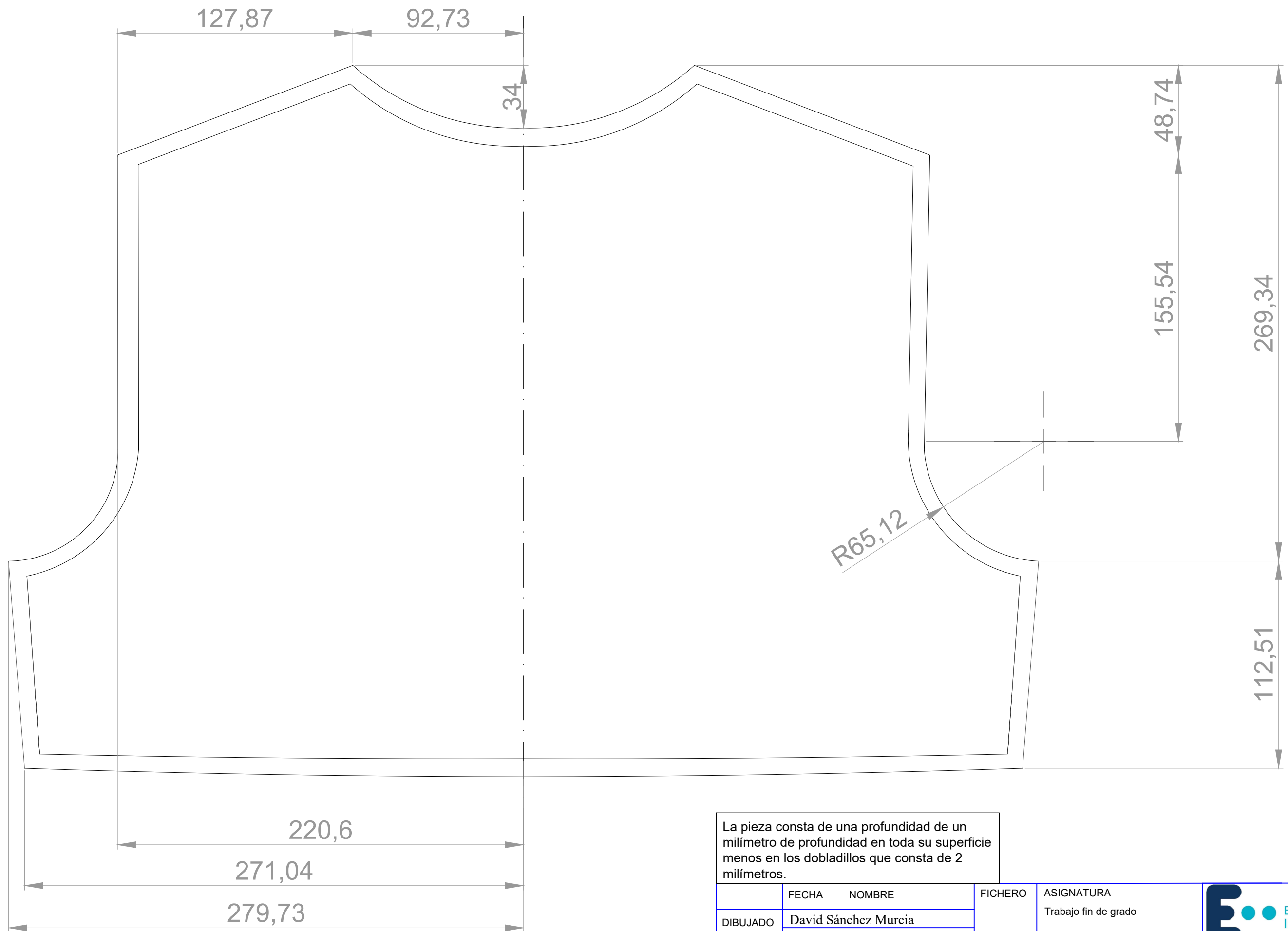
	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia			Trabajo fin de grado	
	Junio 2025				
ESCALA	DESIGNACIÓN:EXPLOSIONADO				NUM. DE PLANO
1/4					1/9




	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA Trabajo fin de grado	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia				
	Junio 2025				
ESCALA 1/1	DESIGNACIÓN: BASE ENCAPSULADO				NUM. DE PLANO 2/9

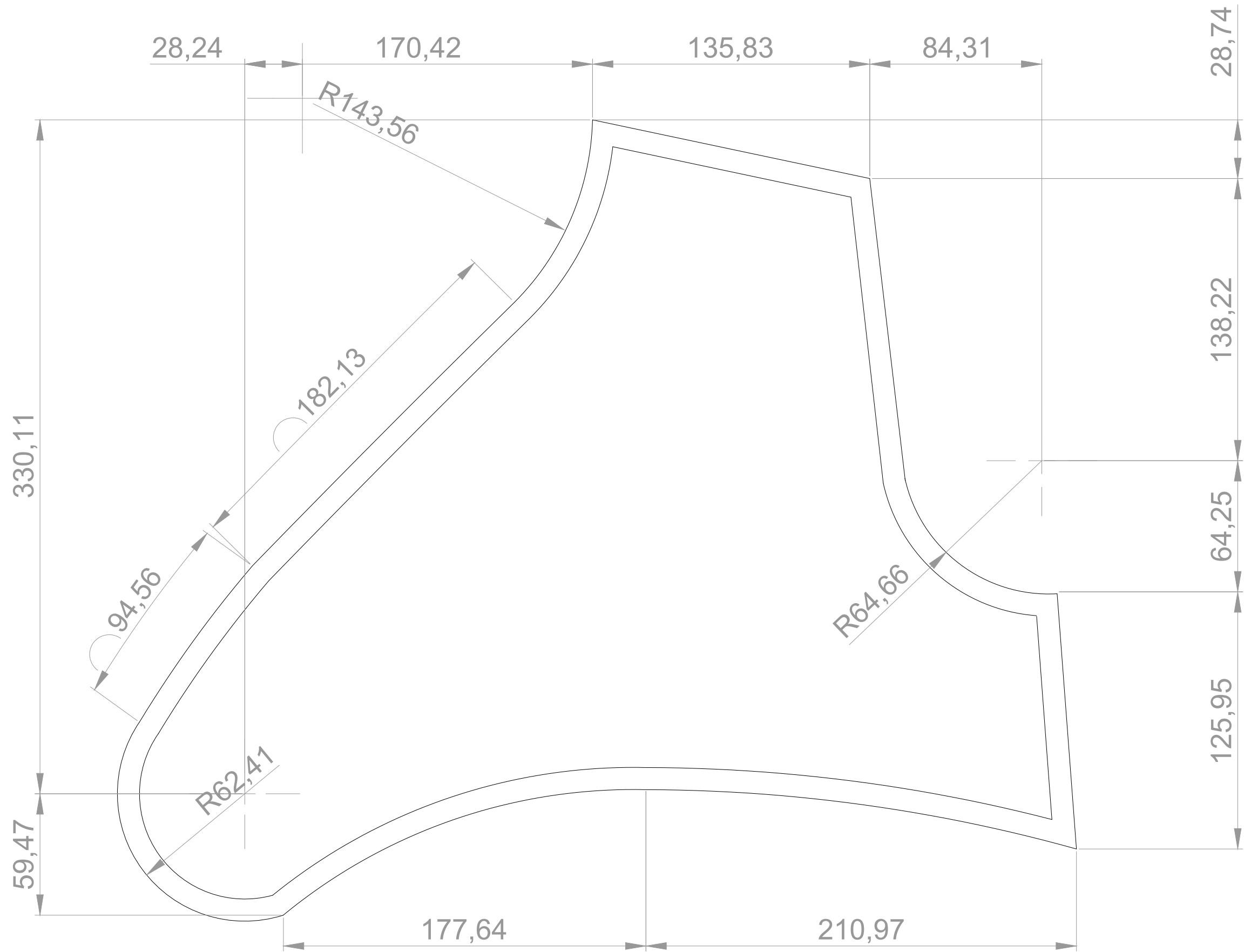


	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia			Trabajo fin de grado	
	Junio 2025				
ESCALA	DESIGNACIÓN:EXPLOSIONADO				NUM. DE PLANO
1/1					3/9




La pieza consta de una profundidad de un milímetro de profundidad en toda su superficie menos en los dobladillos que consta de 2 milímetros.

	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia			Trabajo fin de grado	
	Junio 2025				
ESCALA	DESIGNACIÓN:PIEZA A (ESPALDA)				NUM. DE PLANO
1/2					4/9




La pieza consta de una profundidad de un milímetro de profundidad en toda su superficie menos en los dobladillos que consta de 2 milímetros.

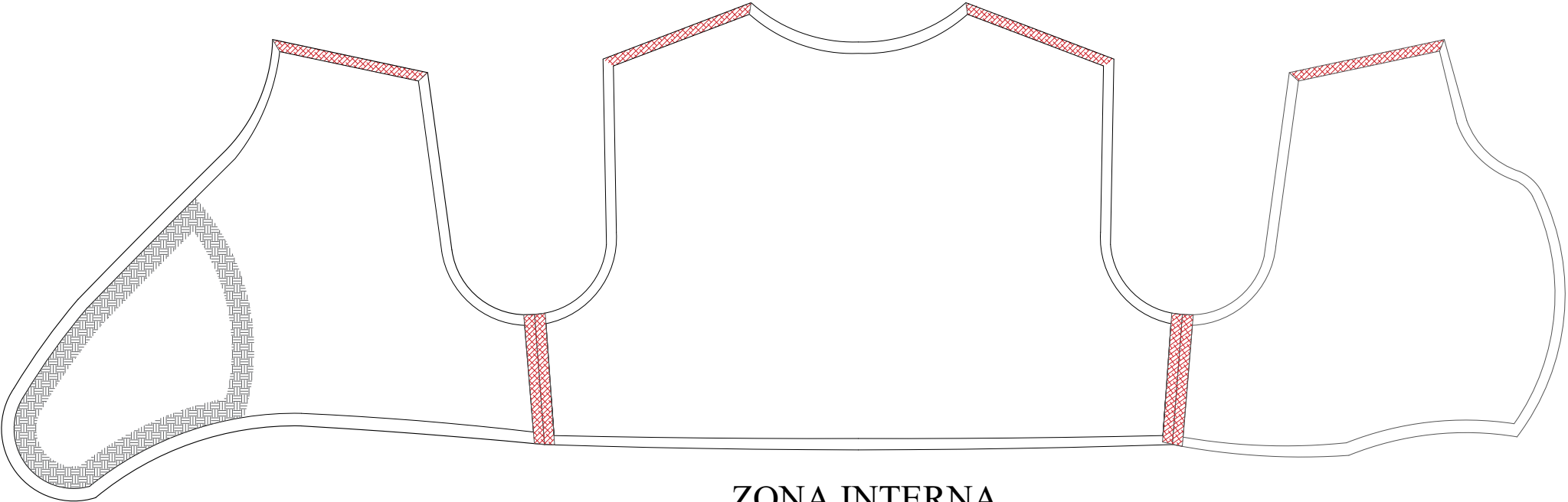
	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA Trabajo fin de grado	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia				
	Junio 2025				
ESCALA 1/2	DESIGNACIÓN:PIEZA B			NUM. DE PLANO 5/9	





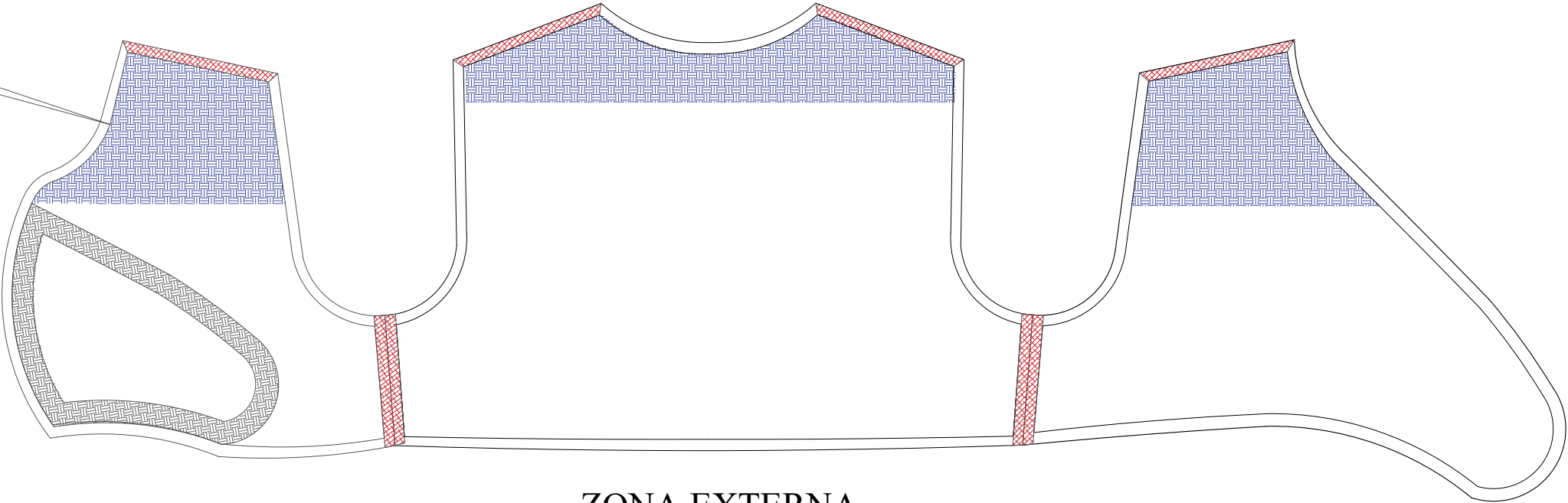
La pieza consta de una profundidad de un milímetro de profundidad en toda su superficie menos en los dobladillos que consta de 2 milímetros.

	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA Trabajo fin de grado	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia				
	Junio 2025				
ESCALA 1/2	DESIGNACIÓN:PIEZA C			NUM. DE PLANO 6/9	



ZONA INTERNA

Las dimensiones y ubicación de los velcros no se fijan de forma rígida para permitir su ajuste en función de la morfología del usuario y la colocación óptima del encapsulado. Este enfoque garantiza un sistema adaptable que facilita tanto el montaje como la estabilidad durante el uso, priorizando la funcionalidad real del conjunto por encima de una posición estandarizada.



ZONA EXTERNA

LEYENDA DE COSTURAS Y VELCROS

ZONA COSTURA DIRECTA




VELCRO UNIÓN PIEZA A-B

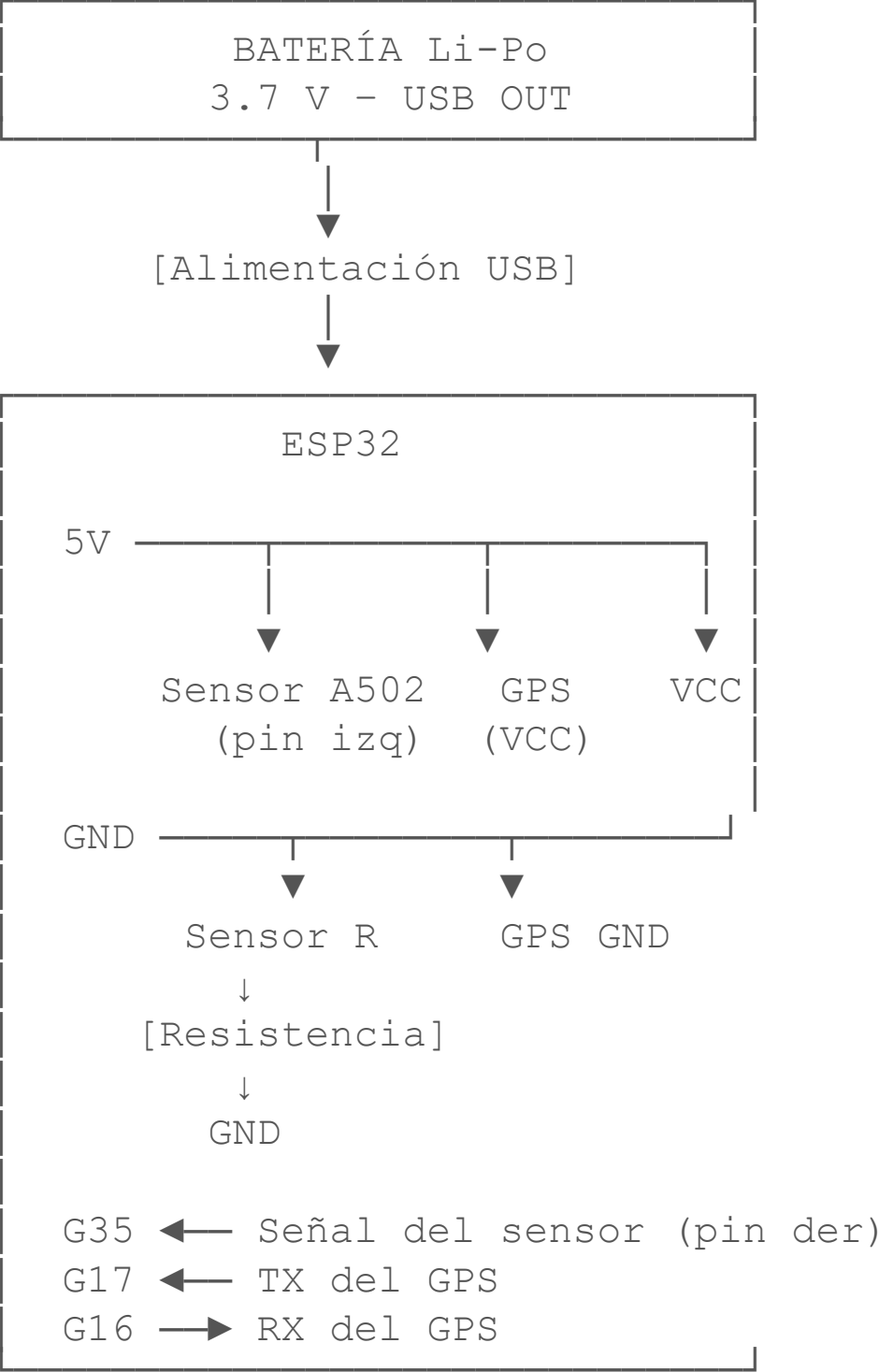


VELCRO SOPORTE DMCH




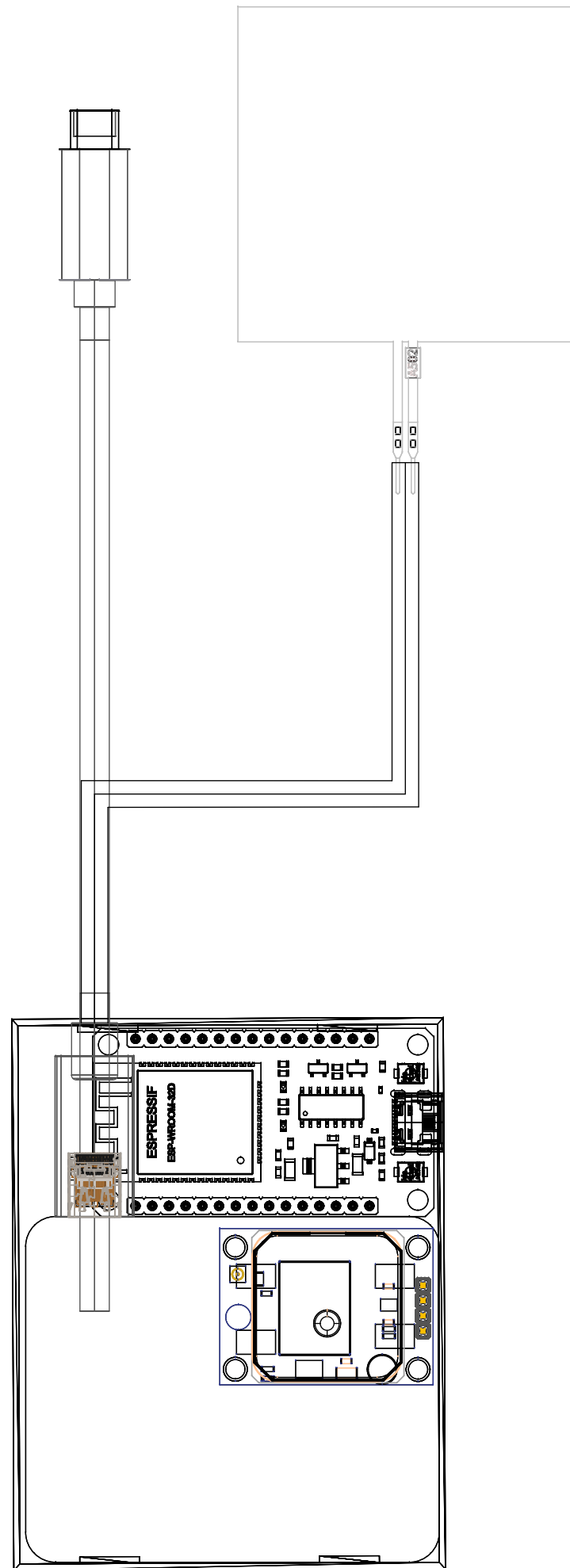
Nota:  
Los tipos de costuras, acabados y dobladillos empleados en las distintas piezas textiles se detallan en la memoria de calidades del proyecto.

	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia			Trabajo fin de grado	
	Junio 2025				
ESCALA	DESIGNACIÓN: PATRONAJE DE UNIONES DE COSTURA				NUM. DE PLANO
1/5					7/9




Ref.	Elemento	Descripción
1	BATERÍA Li-Po 3.7 V	Elemento de alimentación principal. Se conecta mediante interfaz USB al microcontrolador ESP32, suministrando una tensión estabilizada de 5 V.
2	ESP32	Unidad lógica central del sistema. Gestiona la adquisición de datos procedentes del sensor de presión (entrada analógica G35) y realiza la comunicación serie con el receptor GPS (puerto UART G16/G17). Proporciona alimentación de 5 V y referencia de masa (GND) al resto de elementos.
3	SENSOR DE FUERZA FLEXIFORCE A502	Transductor resistivo de presión. Su terminal positivo (pin izquierdo) se conecta al carril de 5 V. El terminal de señal (pin derecho) se conecta simultáneamente al pin analógico G35 del ESP32 y al nodo de una resistencia de 10 kΩ cuyo extremo opuesto va a GND. El conjunto actúa como divisor de tensión.
4	RESISTENCIA (10 kΩ ±5%)	Dispositivo pasivo intercalado entre la salida del sensor (pin derecho) y GND. Permite realizar la lectura analógica de la variación resistiva del sensor mediante una caída de tensión proporcional.
5	MÓDULO GPS NEO-6M	Receptor de señal satelital para localización geográfica. Alimentado por el pin de 5 V del ESP32 y referenciado a GND. Las líneas TX y RX se conectan respectivamente a G17 (RX de ESP32) y G16 (TX de ESP32), configurando un enlace UART.
—	CONVENCIONES GRÁFICAS	→ Flecha unidireccional representando el flujo de señal o energía. — Línea de conexión o vínculo eléctrico. [Texto] Bloque funcional representado dentro del sistema.
—	NOTAS	– Todas las masas (GND) del sistema están interconectadas eléctricamente. – El diagrama representa únicamente las conexiones funcionales y lógicas, no la distribución física real del circuito. – Los elementos se representan de forma esquemática a efectos de interpretación e implementación del sistema.

	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia			Trabajo fin de grado	
	Junio 2025				
ESCALA	DESIGNACIÓN:ESQUEMA CONEXIONADO				NUM. DE PLANO
1/2					8/9



Ref.	Elemento	Descripción
1	UBICACIÓN GENERAL	El encapsulado se sitúa en la zona pectoral del usuario, fijado a la prenda mediante velcro industrial. El sensor de presión se adhiere igualmente mediante velcro, pudiendo colocarse en el hombro o en la zona del trapecio según la percepción del usuario sobre el punto de carga principal.
2	DISTRIBUCIÓN INTERNA DE COMPONENTES	El módulo ESP32 se posiciona a la izquierda del encapsulado, con su puerto micro-USB orientado hacia abajo. El módulo GPS se instala a la derecha, con su antena en la parte superior. Los cables del sensor y de la batería se guían internamente por canaletas integradas en el diseño.
3	CONECTIVIDAD Y CABLEADO	El cable USB de la batería entra por la parte inferior del encapsulado y se conecta al ESP32. El cable del sensor accede por una ranura lateral y se conecta a los pines G35, 5V y GND del ESP32. Los cables del GPS están organizados internamente y conectados a G16, G17, 5V y GND.
4	SISTEMA DE CIERRE	El encapsulado se cierra mediante sistema de clips a presión (sin tornillos). Esto facilita el acceso a los componentes internos para mantenimiento o sustitución sin herramientas.
5	PROTECCIÓN Y SUJECCIÓN	Las salidas de cable están protegidas con gomas flexibles o silicona, asegurando una mínima penetración de polvo y humedad. Los cables están fijados mediante tubos termo-retráctiles y bridas para evitar tracción sobre los componentes electrónicos.
6	OBSERVACIONES	La ubicación pectoral mejora la accesibilidad del usuario y reduce el riesgo de interferencias con el movimiento. La fijación por velcro del sensor permite ajustar su posición óptima de forma rápida antes de cada uso.

	FECHA	NOMBRE	FICHERO	ASIGNATURA Trabajo fin de grado	
DIBUJADO	David Sánchez Murcia				
	Junio 2025				
ESCALA 1/1	DESIGNACIÓN:DISTRIBUCIÓN ELECTRÓNICA			NUM. DE PLANO 9/9	