



<b>EXPEDIENTE</b>	IMAMCK/2016/1
<b>ACRÓNIMO</b>	CALEFACC
<b>PROGRAMA</b>	IMAMCK-IITT16 PROMECE NOMINATIVA INESCOP. ACTIVIDADES DE I+D+I DE CARÁCTER NO ECONÓMICO
<b>TÍTULO DEL PROYECTO</b>	CALZADO INTELIGENTE CON SISTEMA DE CALEFACCIÓN AUTORREGULABLE

## **Entregable E2**

### **INFORME SOBRE MATERIALES**

## ÍNDICE

1.-	Descripción del entregable.....	3
2.-	Elemento calefactor .....	4
3.-	Sensor de temperatura.....	10
4.-	Baterías y sistema de carga .....	13
5.-	Componentes de calzado a funcionalizar.....	15
5.1.-	Plantilla .....	15
5.2.-	Alojamiento sistema control y baterías.....	18

## **1.- Descripción del entregable**

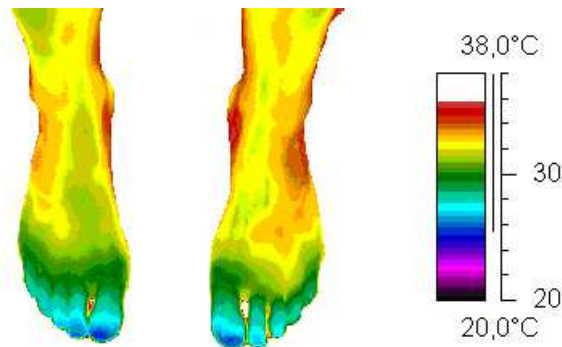
Este documento describe la selección de los diferentes componentes del calzado a funcionalizar, así como el de los principales elementos de los que se compone nuestro sistema calefactable.

El contenido puede resumirse en los siguientes capítulos:

- Elemento calefactor.
- Sistema sensor de temperatura.
- Baterías y sistemas de carga.
- Componentes del calzado a funcionalizar.

## 2.- Elemento calefactor

Atendiendo a la distribución del calor en los pies, obtenida mediante técnicas termográficas, la zona preferente a calefactar se encuentra en la parte delantera del pie, desde los metatarsianos hacia los dedos, por lo que es en esta zona donde deben ubicarse tanto la resistencia como los sensores.



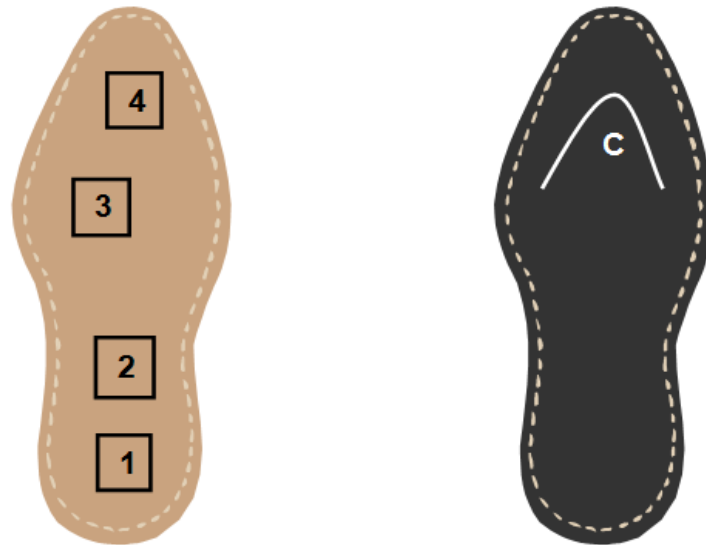
*Fig.1: Imagen termográfica superior de pies en condiciones de frío*

Para mantener un consumo razonable mediante el uso de baterías de 3.7V debemos construir una resistencia en el rango de los 5-20  $\Omega$ . Para ello se han realizado ensayos a partir de hilo de acero inoxidable de diferentes resistividades.

Los diferentes elementos calefactores construidos para los ensayos a partir de hilos de acero son:

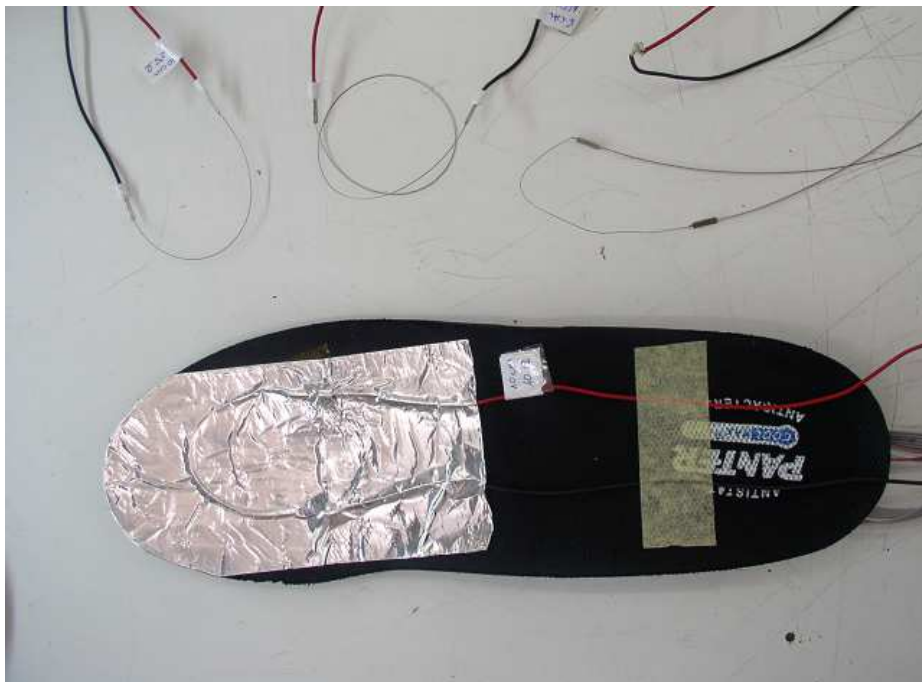
- Elemento calefactor 1: Hilo de 10cm y 2 $\Omega$ /cm aprox. - Resistencia aprox. 20 $\Omega$
- Elemento calefactor 2: Hilo de 10cm y 0.25 $\Omega$ /cm aprox. - Resistencia aprox. 2.5 $\Omega$
- Elemento calefactor 3: Hilo de 10cm y 1 $\Omega$ /cm aprox. - Resistencia aprox. 10 $\Omega$
- Elemento calefactor 4: Hilo de 20cm y 0.25 $\Omega$ /cm aprox. - Resistencia aprox. 5 $\Omega$

Para tomar las medidas correspondientes se han distribuido cuatro sensores de temperatura LM70 bajo una plantilla, siguiendo el siguiente esquema:



*Fig.2: A la izquierda distribución de los 4 sensores de temperatura bajo la plantilla.  
A la derecha distribución del elemento calefactor sobre la plantilla.*

Las pruebas se realizan sobre una plantilla Cool Max de Panter, en condiciones de aislamiento mediante planchas de corcho y dentro del propio calzado.



*Fig.3: Elementos calefactores y plantilla de pruebas*

Los resultados de temperatura alcanzada para los diferentes elementos calefactores contruidos son:



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa



GENERALITAT  
VALENCIANA

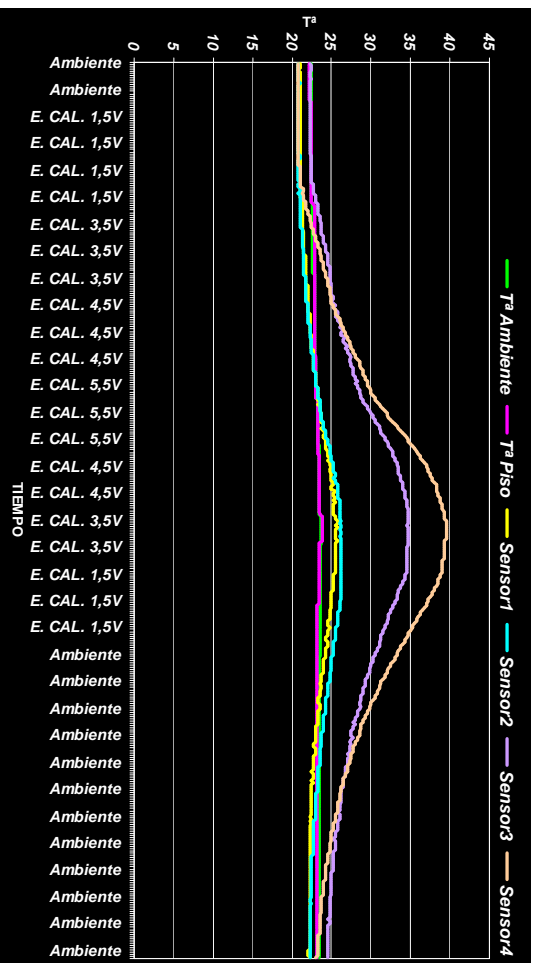


Fig.4: Gráfica E: calefactor 1 - 20Ω. Variación tensión 0 - 5.5V. Aislamiento corcho.

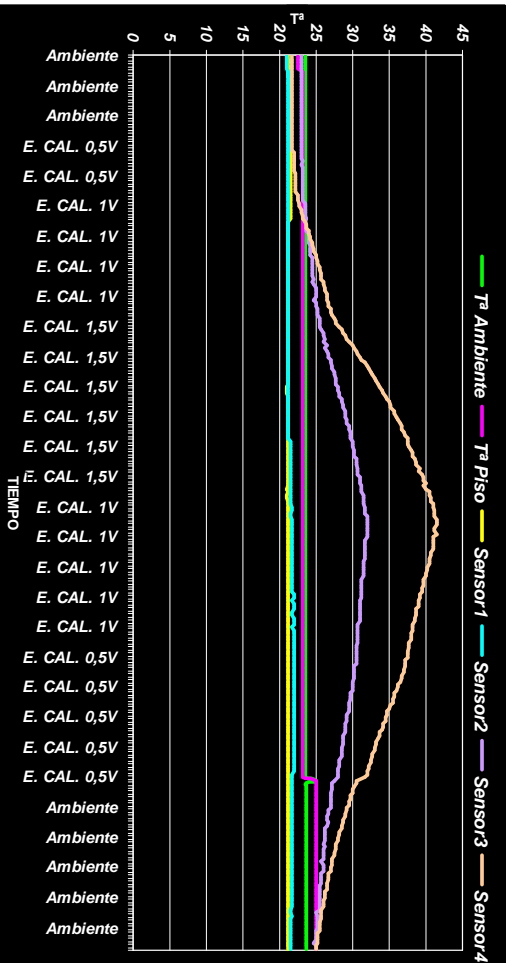


Fig.5: Gráfica E: calefactor 2 - 2.5Ω. Variación tensión 0 - 1.5V. Aislamiento corcho.

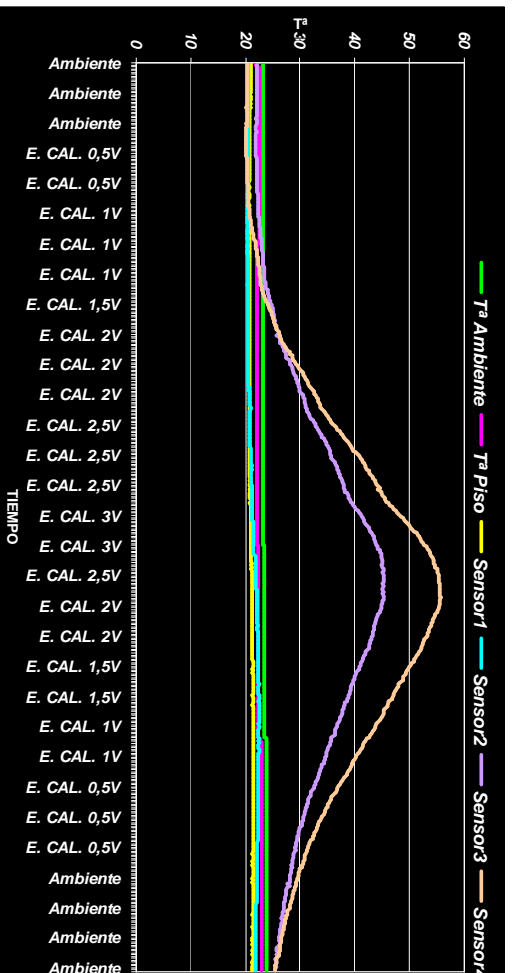


Fig.6: Gráfica E: calefactor 3 - 10Ω. Variación tensión 0 - 3V. Aislamiento corcho.

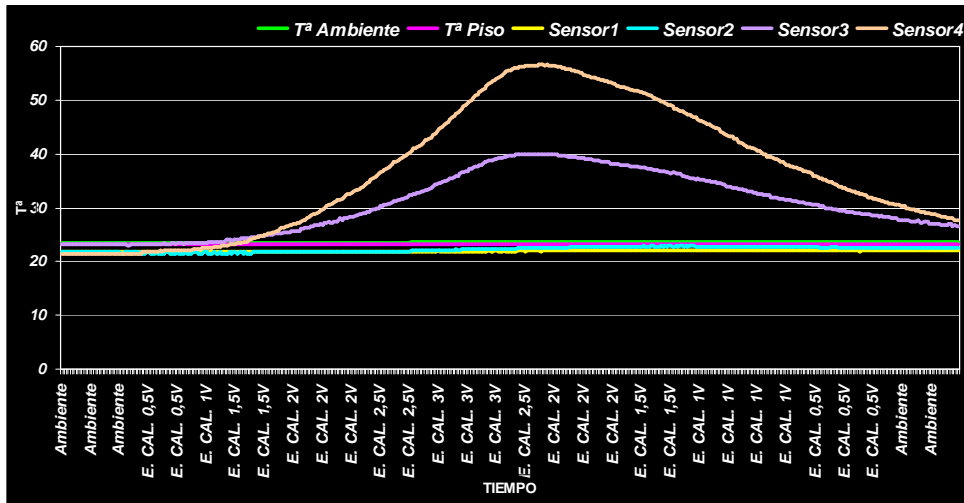


Fig.7: Gráfica E. calefactor 4 – 5Ω. Variación tensión 0 - 3V. Aislamiento corcho.

Cómo podemos apreciar los elementos calefactores 1 y 2 presentan una menor respuesta en temperatura que los elementos 3 y 4. Además podemos ver como al estar situado el elemento calefactor sobre la zona del sensor 4 de la plantilla, es en este donde se registra el mayor aporte de calor. En el sensor 3 cercano a esta zona, se registran valores notablemente inferiores, y en los sensores 1 y 2 situados en la zona trasera de la plantilla el aporte calorífico es prácticamente nulo.

Asimismo la baja resistencia del elemento calefactor 2 produce un consumo energético extremadamente alto, la alta resistencia del elemento 1 la necesidad de voltajes mayores a los 3.7 proporcionados por una batería estándar, mientras que los elementos calefactores 3 y 4 mantienen un consumo asumible.

Es por ello que el estudio posterior continuó sobre los elementos 3 y 4. Para extender el área calefactada se aplicó un difusor de calor en toda la zona metatarso-falángica, mediante la colocación de una lámina de aluminio y se realizaron pruebas tanto de la plantilla con aislamiento de corcho cómo pruebas de uso dentro del propio calzado.

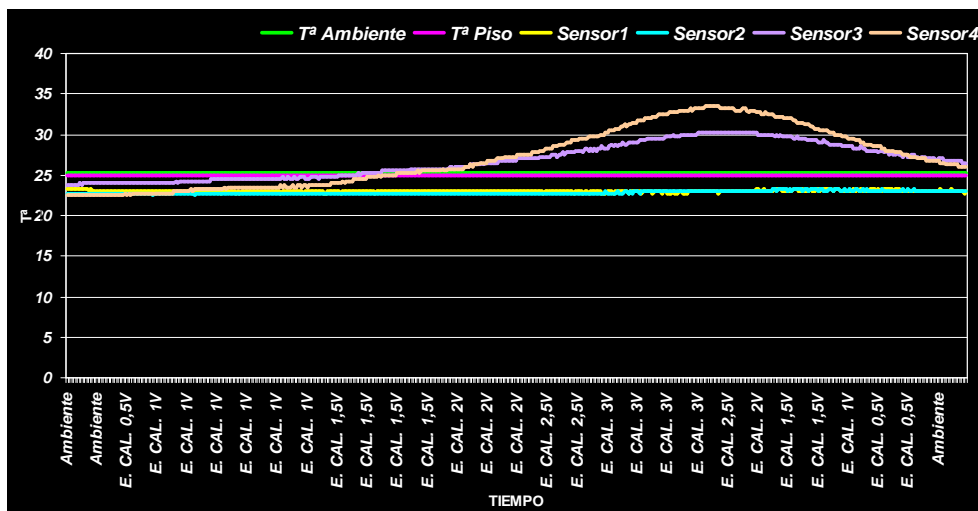


Fig.8: Gráfica. E. calefactor 3– 10Ω. Variación tensión 0 - 3V. Aislamiento corcho. Difusor.



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa

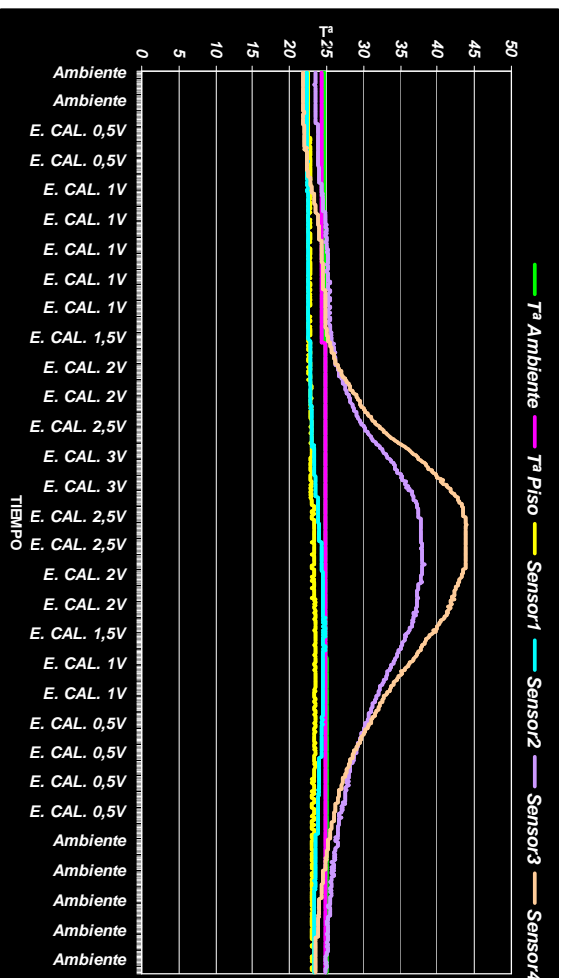


Fig.9: Gráfica E. calefactor 4 – 5Ω. Variación tensión 0 - 3V. Aislamiento corcho. Difusor.

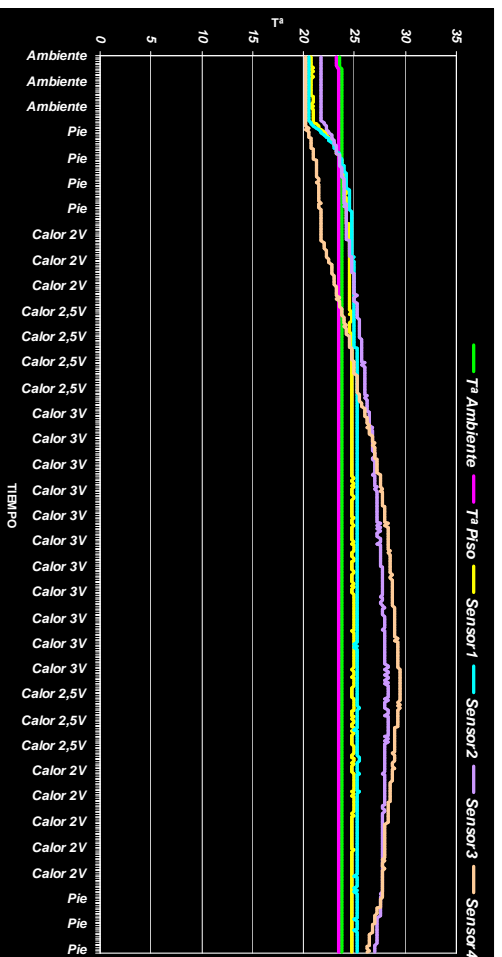


Fig.10: Gráfica E. calefactor 3–10Ω. Variación tensión 0 - 3V. Int. Calzado. Difusor.

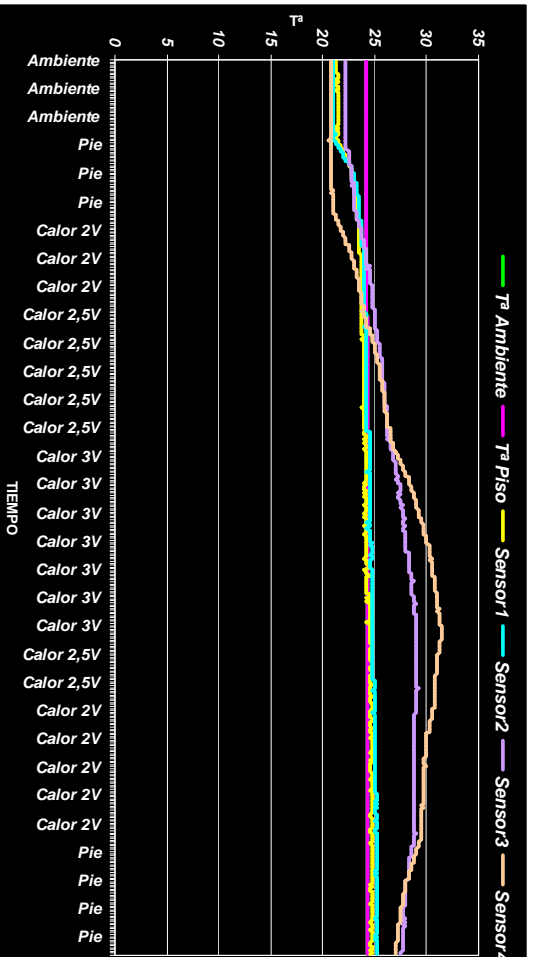


Fig.11: Gráfica E. calefactor 4 – 5Ω. Variación tensión 0 - 3V. Int. Calzado. Difusor.

Cómo se puede apreciar en los resultados de ambas pruebas el elemento calefactor 4 produce mayores temperaturas que el elemento 3, pero a su vez lo hace de manera más focalizada puesto que las diferencias registradas entre los sensores 3 y 4 son notablemente mayores.

Por tanto se concluye que el elemento calefactor debe ser una resistencia de entre  $5\Omega$  - $10\Omega$  para aunar las características de consumo asumible, aporte de calor suficiente y aporte de calor uniforme en la zona requerida.



### 3.- Sensor de temperatura

Se considera dentro de este apartado toda la sensórica necesaria para la monitorización y control de potencia del calefactor. Por ello, adquiere especial relevancia el conexionado entre los distintos elementos, su ubicación o dimensiones para asegurar que no incide negativamente en el confort de la plantilla.

La selección final del sensor de temperatura y elemento calefactor, así como del cableado y el tipo de conexionado a realizar estarán determinados en gran medida por la respuesta de cada uno de estos elementos ante los ensayos de fatiga.

Para el sensor de temperatura se han estudiado los siguientes modelos:

- LM70 de Texas Instruments
- MCP9808 de Microchip
- EC98 de Amphenol
- SHT25 de Sensirion
- Serie NB21 de AVX

Por sus características de precisión, consumo y principalmente tamaño se ha seleccionado el sensor NTC NB21K00103KBB de AVX para su incorporación al sistema de control de temperatura.

Se han realizado diversos ensayos de conexionado entre elementos: soldadura, crimpado, etc. con cables de diferentes características mecánicas y se han probado diferentes técnicas de encapsulación para los sensores de temperatura, mediante deposición o inmersión en resinas epoxi.

La técnica de conexionado que mejor respuesta a flexión y esfuerzos mecánicos presenta es la de crimpado, mientras que para la encapsulación de los mismos se han realizado pruebas mediante ambos métodos.

Se han montado tres sensores NTC conectados con cable telefónico y encapsulados con resina epoxi, dos de ellos por inmersión y el tercero por deposición.

Todos estos elementos se han incorporado en la plantilla base y se han sometido a ensayos de fatiga, tanto en flexión como en compresión. Los sensores se han montado sobre la plantilla, situándolos por debajo de la capa textil, en el área de presión del dedo primero, sacando el cableado por la zona del arco.

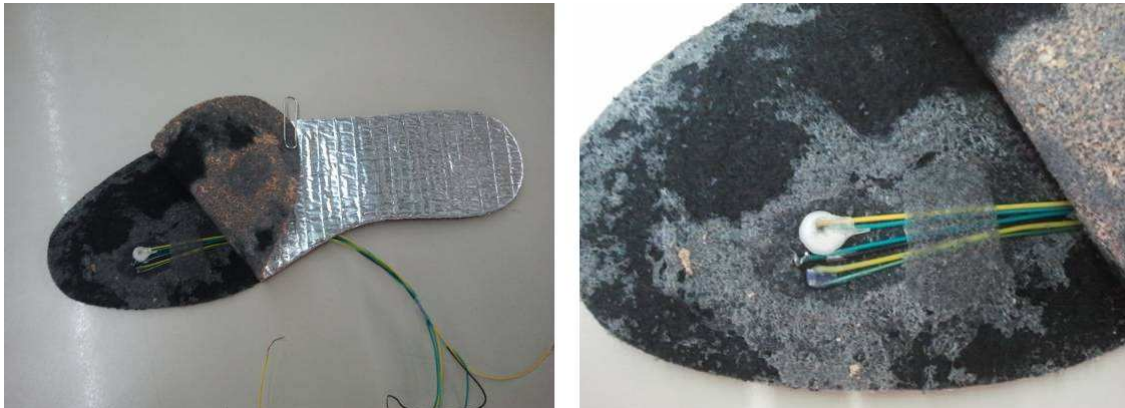


Fig.12: Detalle de la situación de los sensores

En estas condiciones, aunque no existen ensayos específicos para plantillas en este sentido, se han aplicado los ensayos para materiales de piso, ya que el objetivo es comprobar la resistencia del cableado y la durabilidad de los sensores en condiciones extremas de uso.

- Ensayo de Resistencia a la Flexión (UNE-EN ISO 17707)

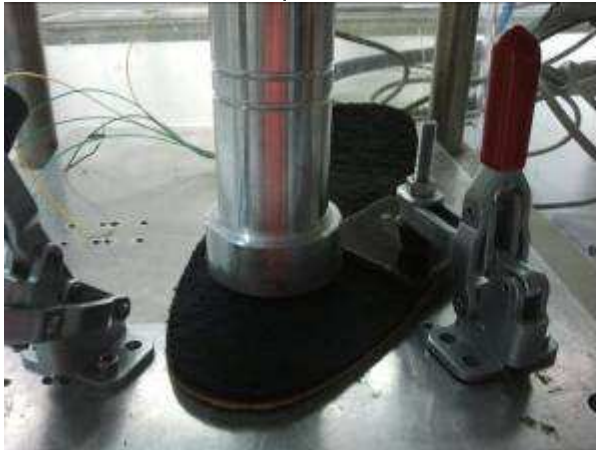
Se han completado dos series de ensayo de 30.000 ciclos cada una, a 90°.



Fig.13: Ensayo UNE-EN ISO 17707 sobre plantilla sensorizada

- Ensayo de Fatiga por Compresión (UNE 59536)

Se ha completado una serie de 100.000 ciclos, con carga de 500N y diámetro de 50mm (254,64 KPa)



*Fig.14: Ensayo UNE 59536 sobre plantilla sensorizada*

Con estos resultados concluimos que tanto la sensórica propuesta, como su encapsulación, conexionado y cableado son adecuados para el sistema a desarrollar.

## 4.- Baterías y sistema de carga

La batería constituye una parte esencial del desarrollo, desde el momento en que tiene que garantizar la autonomía del dispositivo durante el periodo requerido (8h de jornada laboral) además de soportar un número adecuado de ciclos de carga.

De la correcta selección de la batería seleccionada depende en última instancia la operatividad del sistema y determina en gran medida su coste.

Partiendo del objetivo de una gran autonomía y siendo para un sistema “wearable”, el peso de la batería es otro de los aspectos críticos en la selección de las mismas. Por ello se opta por las baterías de Ion-Litio y Po-Litio, cuyas principales características son:

- Elevada densidad de energía por unidad de volumen

Altamente positivo debido al volumen extremadamente reducido para el embebido del sistema en el calzado.

- Bajo peso

Su bajo peso permitirá modificar mínimamente la distribución de pesos del calzado y la ergonomía del mismo.

- Alto voltaje por célula

Su voltaje nominal es tres veces superior al de las baterías de Ni-MH o Ni-Cd.

- Mínimo efecto memoria

Pese a descargas incompletas su capacidad prácticamente no se ve reducida.

- Descarga lineal

La variación de la tensión de celda con respecto al estado de carga es constante.

- Facilidad para saber la carga que almacenan

De la característica anterior se puede deducir que el cálculo de la carga almacenada es simple.

- Muy baja tasa de autodescarga

La tasa de descarga en desuso es notablemente menor que en otro tipo de baterías.

Partiendo de estas premisas se han analizado las especificaciones de diversas baterías, entre ellas:

- Ion-Litio 3.7V 2050 mAh.
- Ion-Litio 3.7V 3000 mAh.
- Ion-Litio 3.75V 2200 mAh.
- Pol-Litio 3.7V 1300 mAh.
- Pol-Litio 3.7V 2000 mAh.



*Fig.15: Diferentes baterías Ion-Litio y Pol-Litio*

En cuanto al sistema de carga, se desarrollará un sistema con las siguientes características:

- Cargador convencional micro usb

La carga se realizará mediante un cargador estándar micro-usb para evitar problemas por pérdida u olvido del cargador.

- Sistema automático

Sistema de detección de conexión del cargador y comienzo automático de la carga.

- Control de intensidad

Control de la intensidad aportada a la batería para realizar el ciclo de carga según las indicaciones del fabricante y así aumentar su vida útil.

- Sistema de seguridad por temperatura

Sistema de control de la temperatura de la batería con paro automático de la carga en caso de sobrecalentamiento.

- Monitorización de la carga de la batería

Monitorización del estado de carga de la batería para proporcionar información en tiempo real al usuario.

## 5.- Componentes de calzado a funcionalizar

Para el correcto funcionamiento del sistema a desarrollar y el mantenimiento de los niveles de calidad y ergonomía del calzado, debemos seleccionar correctamente que componentes del mismo debemos modificar en función de su cometido.

Para una transmisión de calor lo más efectiva posible el elemento calefactor debe estar a gran proximidad del pie del usuario, por lo que al igual que en el resto de sistemas calefactables estudiados, el elemento calefactor se colocará en la plantilla del zapato. Asimismo el sistema a desarrollar debe mantener constante el nivel de calor seleccionado por el usuario, por lo que además del elemento calefactor en la plantilla irá alojada la sensórica necesaria.

Todo este sistema calefactor debe ir alimentado por baterías recargables y gobernado por un sistema de control basado en microcontroladores PIC. La elección de su alojamiento será de vital importancia para el mantenimiento de la ergonomía y confort del usuario.

### 5.1.- Plantilla

Es el elemento soporte de todo el desarrollo ya que supone la base sobre la que se instala el sistema calefactor y la sensórica asociada.

Como elemento crítico del calzado en el que se aloje el sistema, debe ser diseñada atendiendo a los nuevos requerimientos, antagónicos pero necesarios:

- Ha de tener una buena característica de aislamiento térmico que garantice la optimización energética del sistema calefactor.
- Debe proporcionar una adecuada disipación y transpirabilidad que mantenga la sensación de confort en condiciones de exceso de calor.

Se ha trabajado sobre una plantilla base que presenta una estructura tri-capa, aunando buenas características aislantes y de transpirabilidad:

- Capa 1: Textil
- Capa 2: Corcho
- Capa 3: Aluminio reflectante



Fig.16: Plantillas tri-capa. Textil, corcho, aluminio.

Con el objetivo de verificar el comportamiento térmico de la plantilla y determinar la posición óptima del elemento calefactor, se construyen dos prototipos de prueba, incorporando un elemento calefactor (resistencia) compuesto por hilo de acero inoxidable, al que se suministra una potencia variable controlable externamente, y dependiente de la temperatura del pie del individuo objeto de la prueba, realizando el ensayo en distintas condiciones:

Temp. °C	Potencia aplicada
$\geq 36$	0%
34	25%
32	50%
30	75%
$\leq 28$	100%

Para lograr el control, se sitúa un sensor de temperatura (tipo NTC) sobre la plantilla y se realizan diferentes ensayos.

**Plantilla prototipo 1:** Se incorpora la resistencia entre las capas 1 (textil) y 2 (corcho). Las pruebas realizadas con varios individuos arrojan una sensación de confort térmico pobre.

Esto puede deberse a que la capa de corcho presenta escaso aislamiento hacia la capa de aluminio, debido probablemente a su pequeño espesor, lo que provoca excesivas pérdidas.



Fig.17: Resistencia y difusor de calor en el interior de la plantilla

**Plantilla prototipo 2:** Se incorpora una nueva capa (C4) de neopreno exteriormente, sobre la capa de aluminio (C3), cubriendo solo la parte anterior de la plantilla, desde la zona de ball a los dedos. Repetido el ensayo, se observa una notable mejora en el rendimiento térmico.



Fig.18: Plantilla tetra-capa con capa de neopreno sobre zona de ball.

Para completar el análisis, se monta la resistencia en forma semicircular en el área metatarsal junto con un sensor NTC, modificando ligeramente el rango de control de potencia en función de la temperatura:

Temp. °C	Potencia aplicada
> 36	0%
36	25%
34	50%

32	75%
≤ 30	100%

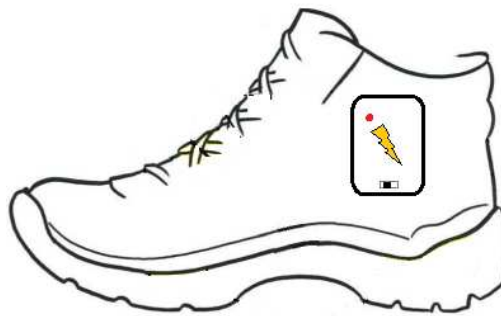
La prueba de uso concluye una importante mejora en el aporte de calor respecto a la plantilla base y condiciones iniciales.

## 5.2.- Alojamiento sistema control y baterías

El alojamiento del sistema de control y las baterías es uno de los retos a abordar en el presente proyecto, pues las soluciones que nos presentan los diferentes productos comerciales no se adaptan a los requerimientos buscados.

En el caso de las plantillas calefactadas ambos elementos se alojan en el interior de la propia plantilla, solución descarta pues modifica las características de la misma y añade un grado de peligrosidad indeseado al someter a la batería a continuas presiones. En el caso de los calcetines calefactables se ubican adosados a la pierna o al cinturón, de forma externa al calzado contradiciendo nuestra premisa de sistema completamente embebido. Finalmente en el caso de las zapatillas de casa o slippers se alojan en un bolsillo lateral, dado el gran volumen de este calzado, cualidad que no encontraremos en ningún otro tipo.

Por consiguiente se han planteado varias soluciones a esta problemática. En primer lugar se planteó su ubicación en una caja adosada al lateral del zapato, de la siguiente manera:



*Fig.19: Diseño de calzado calefactado con sistema de control en caja externa*

Esta solución se descarta pues supone una modificación realmente importante en el volumen, distribución de pesos y estética del calzado.

Para actuar acorde al requerimiento de sistema completamente embebido, se concluye que el calzado a calefactar debe tener un volumen suficiente como para albergar en su interior el alojamiento de las baterías y sistema de control. Por protección este alojamiento se realizará dentro de una caja, la cual se ha diseñado en 3D para la realización de diversos prototipos de pruebas mediante fabricación aditiva:

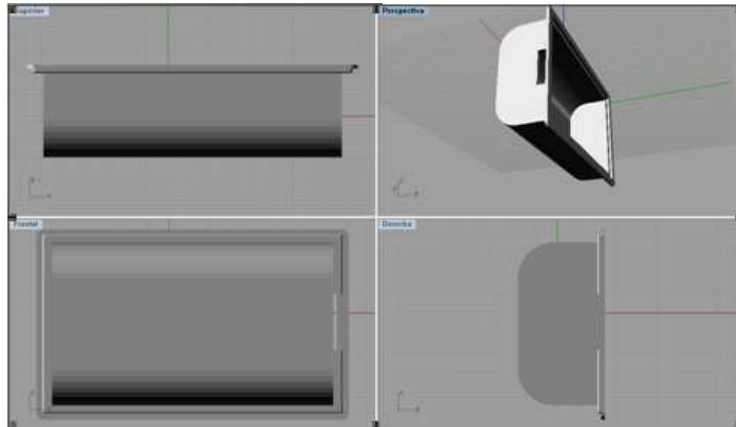


Fig.20: Diseño CAD de caja de protección para sistema de control

Dadas las dimensiones de este alojamiento, se ha estudiado el tipo de calzado en el que sería posible su inclusión. Finalmente se opta por la elección de un calzado de seguridad tipo bota para el prototipo a realizar, ya que aúna dos características esenciales:

- Posee un volumen suficiente para poder alojar el sistema de control y baterías sin modificar excesivamente su ergonomía.
- Su ámbito de uso incluye situaciones donde la calefacción en el calzado supone un gran valor añadido al mismo, cómo pudiera ser en trabajos en exteriores en climas fríos, trabajo en cámaras frigoríficas, etc.

Una vez escogido el calzado en el que nuestro sistema será embebido, concluimos que la mejor ubicación posible para el sistema de control es sobre la lengüeta del mismo, ya que es un elemento donde podemos aumentar su volumen modificando mínimamente el confort del usuario, y a su vez de fácil acceso para el usuario a la hora de conectar/desconectar el sistema o para modificar la temperatura deseada.