



THERMODELSHOE I

MODELO PARA LA PREDICCIÓN DEL
CONFORT TÉRMICO EN CALZADO

2020



INESCOP

INFORME RESULTADOS

MODELO PARA LA PREDICCIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN CALZADO



En calzado, el confort térmico es una propiedad esencial para lograr la comodidad del mismo, así como un aspecto cada vez más apreciado y demandado por los consumidores. Los zapatos son una barrera para la transferencia de calor y vapor entre la piel y el entorno exterior, por lo tanto, cuando las vías de pérdida de calor seco y evaporativo del usuario son limitadas, el calor y la humedad pueden acumularse en las capas de aire entre la piel y el calzado, dando lugar a un estado de estrés térmico en el pie. Sin embargo, medir de manera fiable y reproducible esta variable resulta un tanto subjetivo,

pues en gran parte depende de la percepción del usuario.

El Footwear Thermal Comfort Lab de INESCOP, en el proyecto THERMODELSHOE, trabaja en el desarrollo de un modelo preliminar de predicción de confort térmico en calzado, en base al aislamiento térmico y resistencia al vapor de agua en condiciones estáticas, y bajo condiciones ambientales estándares y extremas. Con el propósito de alcanzar este objetivo, el proyecto se ha centrado en el estudio de la interacción del trinomio pie-calzado-entorno en adultos, para la cuantificación

del confort térmico generado por los diferentes modelos de calzado evaluados.

Por ende, para obtener una adecuada consecución del proyecto, se han caracterizado tanto las propiedades termorreguladoras de los materiales, como del calzado acabado en laboratorio, y se ha estudiado la interacción del calzado con el usuario mediante pruebas de uso en diferentes ambientes. Con los resultados obtenidos se ha desarrollado un modelo preliminar de predicción de confort térmico en calzado.

ESQUEMA PROCEDIMIENTO



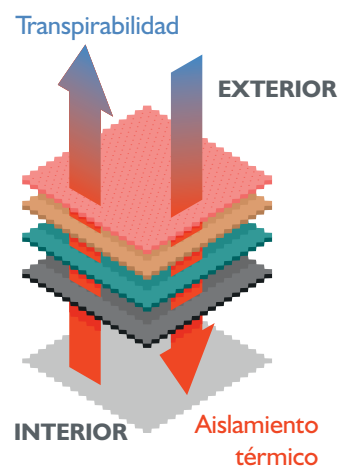
EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL CALZADO Y COMBINACIÓN DE MATERIALES MEDIANTE ENSAYOS NORMALIZADOS

Las propiedades térmicas de los materiales con los que se fabrica el calzado determinan la eficacia del intercambio de calor y agua entre el usuario y el entorno. Se ha evaluado mediante ensayos normalizados el nivel de aislamiento térmico, la permeabilidad al vapor de agua y la capacidad de absorber y eliminar agua de los materiales y combinaciones de estos.

- La resistencia térmica (R_{ct}) de un material representa su capacidad para proporcionar una barrera térmica de protección para el usuario (Norma UNE-EN ISO 11092).
- La resistencia al vapor de agua (R_{et}) determina la capacidad de los materiales para permitir el paso del sudor a través de ellos (Norma UNE-EN ISO 11092).
- La absorción/eliminación de agua mide la capacidad de los materiales de palmilla y plantilla para recoger el exceso de sudor generado y eliminarlo cuando el

calzado no es usado (Norma UNE-EN-ISO 22649).

Además, en base a la relación entre el aislamiento térmico y la resistencia al vapor de agua se dispone del índice de nivel de confort térmico (I_{mt}) de los materiales y combinaciones.



EVALUACIÓN DEL CALZADO COMPLETO MEDIANTE MANIQUÍ DE PIE TÉRMICO

El maniquí de pie térmico proporciona una evaluación eficaz y sensible de las propiedades térmicas del calzado obteniéndose resultados de resistencia térmica (Rct), resistencia al vapor de agua (Ret) y el nivel de confort térmico (Imt) del calzado completo.

Las mediciones con el maniquí pueden utilizarse para asignar al

calzado una "etiqueta de aislamiento" o una "etiqueta de resistencia a la evaporación", ayudando a los fabricantes a diseñar productos que cumplan con las exigencias térmicas requeridas y ofrecer la posibilidad a los consumidores de elegir un calzado adecuado a las preferencias individuales y al uso final.



- ◆ **Pie térmico:** maniquí de un pie dividido en varias zonas calefactadas y sensorizadas que simula el calor metabólico humano. Además cuenta con una red de poros que representa el sistema de sudoración del pie. Este maniquí se encuentra situado dentro de una cámara climática que permite fijar y controlar la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento durante las pruebas.

ESTUDIO DEL TRINOMIO PIE - CALZADO - ENTORNO

Si bien el confort térmico es un estado reconocible, no poseemos ningún órgano sensorial específico para identificarlo, ya que está ligado a la percepción subjetiva de cada individuo. Por tanto, además de los parámetros objetivos obtenidos por las caracterizaciones de laboratorio, es necesaria la evaluación del calzado mediante pruebas de uso.

Para la realización de las pruebas de uso se contó con un panel de probadores cualificado y específico para cada modelo de calzado evaluado, y se diseñó un protocolo de ensayo, determinado en función del uso al que fuera destinado el zapato probado.

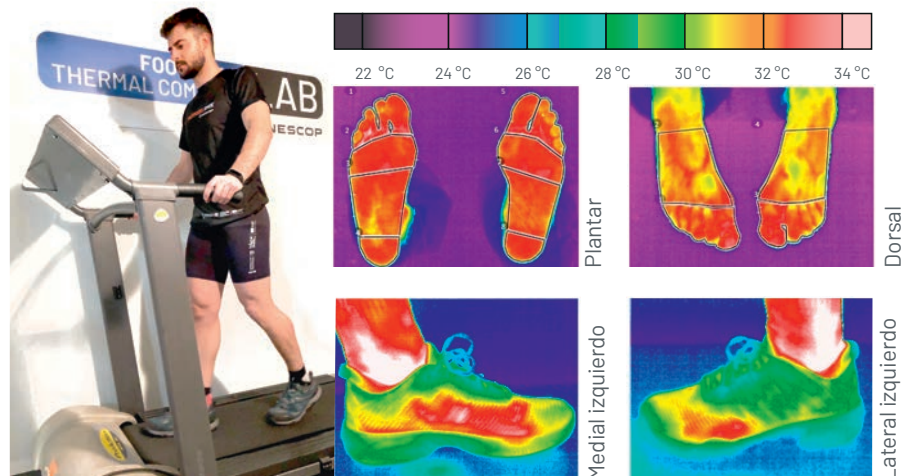
Cada ensayo incluía dos fases; un periodo inicial de adaptación al ambiente de la sala y una fase de uso. Estas pruebas se llevaron a cabo dentro de una cámara climática para controlar las condiciones ambientales, utilizando los usuarios calcetín y equipación de referencia.

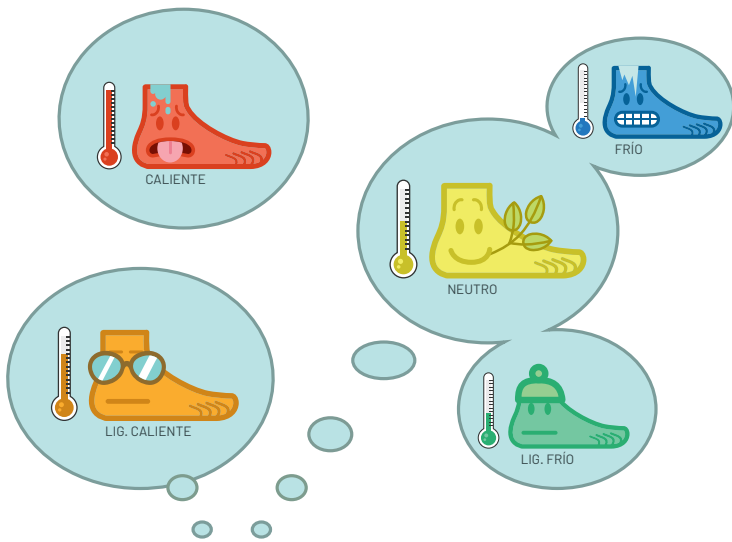
Los termogramas obtenidos permitieron identificar las zonas del pie más afectadas por cambios de temperatura y acumulación de calor. También, se observó de manera inmediata cómo influyen las propiedades térmicas del calzado a la temperatura del pie durante el uso, pudiendo ver qué parte del pie/zapato se estaba calentando más, así como las zonas del calzado que evacuaban más calor del pie al exterior.

Los termogramas se analizan mediante un software, el cual nos permite dividir las imágenes en áreas de interés (ROIs). A modo de ejemplo, se incluye un estudio donde la región plantar se dividió en 4 ROIs; dedos, metatarso, medio pie y talón y la zona dorsal se dividió en dos ROIs; dedos y empeine; de cada ROI se obtuvieron la temperatura máxima, mínima y media.

- ◆ **Cámara Termográfica:** mide las temperaturas superficiales tanto del pie descalzo como del pie calzado, captando su radiación infrarroja emitida.

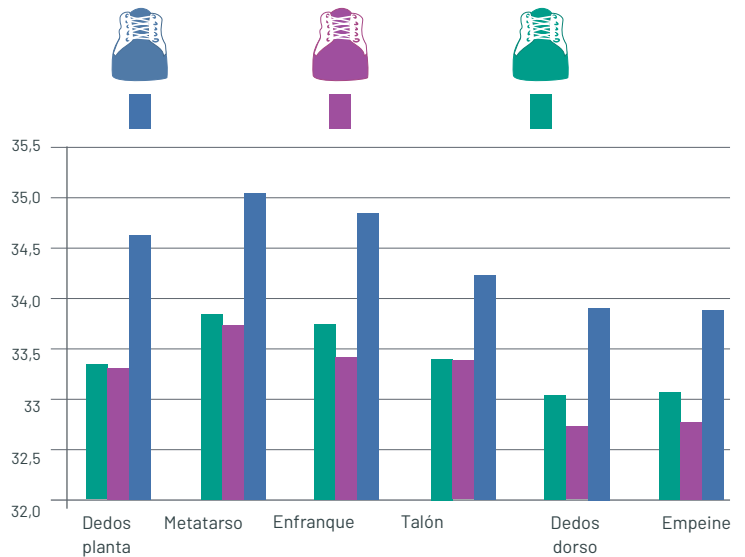
- ◆ Usuario realizando una prueba de uso en cinta dentro de la cámara climática.
- ◆ Termogramas obtenidos tras el uso del calzado.



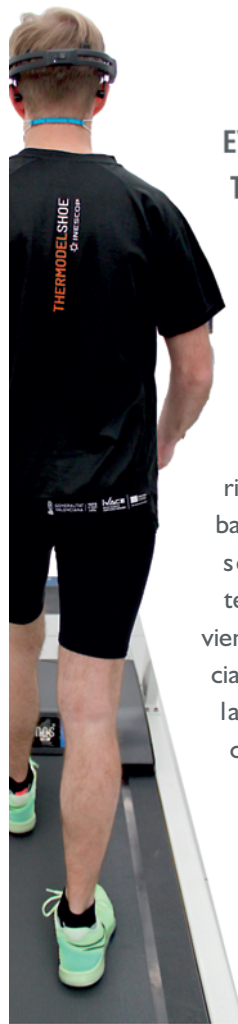


Simultáneamente a las pruebas de termografía, se registraron las percepciones de los usuarios mediante escalas térmicas, adquiriéndose la respuesta perceptiva de los usuarios con relación al confort térmico, en base a la sensación de humedad y temperatura, tanto en el pie en su conjunto, como por zonas.

La percepción de confort térmico que el usuario determinó se procuró relacionar con los cambios de temperatura de la piel detectados con la cámara de termografía. En condiciones de frío, el malestar térmico se atribuyó a los cambios en la temperatura de la piel, mientras que, en condiciones de calor, el malestar térmico se asoció, además de a los cambios en la temperatura de la piel, a la humectación de esta.



◆ Temperaturas medias alcanzadas en cada ROI tras el uso de 3 modelos diferentes de calzado.



EVALUACIÓN DEL CONFORT MEDIANTE TÉCNICAS NEUROCIENTÍFICAS

Además, para tratar de cuantificar de forma objetiva el confort térmico percibido por el usuario durante las pruebas de uso de calzado, se han empleado tecnologías que provienen de la neurociencia para el estudio de las reacciones del cerebro y el comportamiento del usuario durante estas pruebas de uso, realizándose un análisis de la experiencia del usuario.

En concreto se ha hecho uso de la tecnología de medición de la Respuesta Galvánica de la Piel (GSR), la cual nos permite observar, a través de la microsudoración de la piel, el nivel de emoción o estrés que siente una persona y la electroencefalografía (EEG) que permite medir y cuantificar las emociones que siente una persona frente a un estímulo.

RESULTADOS

Los datos obtenidos de la caracterización en laboratorio de las propiedades termorreguladoras de los materiales, sus combinaciones y calzado acabado, así como los datos de temperatura del pie y calzado alcanzados tras las pruebas de uso y las percepciones obtenidas de los usuarios se registraron en una base de datos. A partir de los patrones recurrentes extraídos de los experimentos, se ha trabajado en el modelo preliminar capaz de predecir el confort percibido del calzado.

Este proyecto contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 3; salud y bienestar, 12; producción y consumo responsables y 17; alianzas para lograr los objetivos.





PROYECTO: IMDEEA/2020/51
TÍTULO: DESARROLLO DE MODELOS QUE PERMITAN PREDECIR LAS PROPIEDADES TERMORREGULADORAS DEL CALZADO PARA ADULTOS
ACRÓNIMO: THERMODELSHOE
PROGRAMA: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS 2020
PERIODO EJECUCIÓN: ENERO 2020 - MARZO 2021

INESCOP ha desarrollado el proyecto “Desarrollo de modelos que permitan predecir las propiedades termorreguladoras del calzado para adultos (IMDEEA/2020/51)”, con el apoyo del **Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE)** y del **Fondo Europeo de Desarrollo Regional**. Este documento muestra un resumen de los principales resultados obtenidos con su desarrollo.