

Tecnologías emergentes

TERMOCONF - Nuevas tecnologías para la mejora del confort y la reducción del estrés térmico del combatiente en condiciones de alta temperatura y humedad

Autores: Gemma Romualdo Torres, Arantxa Díaz Bautista, FECSA; Consuelo Latorre, Ricard Barberà-Guillem, IBV.

Palabras clave: estrés térmico, regulación temperatura, combatiente, monitorización remota.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 9.1.4.

Introducción

El proyecto Nuevas tecnologías para la mejora del confort y la reducción del estrés térmico del combatiente en condiciones de alta temperatura y humedad (TERMOCONF) fue aprobado en la convocatoria 2020 del programa de Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Nuevas Tecnologías (COINCIDENTE), por la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). El proyecto, concedido a la Fábrica Española de Confecciones, S. A. (FECSA), ha contado con la participación del Instituto de Biomecánica (IBV) y de la empresa de tejidos E.CIMA, y ha tenido como objetivo principal el desarrollo de nuevos equipos que mejoren la regulación de la temperatura corporal para que el soldado combata las altas temperaturas. Las operaciones extremas en desiertos, selvas tropicales o con equipos de protección, son un desafío para el Ejército, ya que requieren de un adecuado equipamiento y capacidades para adaptarse y enfrentarse a los riesgos asociados. La exposición prolongada a temperaturas extremas es causa de estrés térmico en el organismo, con consecuencias graves para la salud.

Durante los dos años de proyecto, se han presentado diferentes

propuestas de refrigeración basadas en tecnologías de ventilación activa en combinación con una selección de nuevos tejidos que, de forma pasiva, reducen la carga térmica del combatiente.

Experimentación

Para el desarrollo de las pruebas se asignaron dos unidades del Ejército de Tierra que forman parte de unidades especiales, habituadas a condiciones extremas de temperatura y humedad: la Unidad de Experiencias del Mando de Operaciones Especiales de Alicante (MOE) y el Regimiento 1 NBQ de Paterna (RGTO1 NBQ).

Focus group

Con el fin de incluir en la evaluación el mayor número de variables y problemáticas extraídas del uso del vestuario, se definió una metodología basada en el resultado de una serie de entrevistas presenciales con mandos, grupos de discusión o *focus group* (fase cualitativa), y encuestas *online* distribuidas entre el personal de las dos unidades del ET (fase cuantitativa).

Ensayos con combatientes

La experimentación con personal militar se llevó a cabo a lo largo de todo el proyecto. Una batería de ensayos inicial para caracterizar las temperaturas y la carga térmica con la indumentaria actual, balística y carga (figura 1); otra batería para probar los materiales e identificar necesidades y soluciones del diseño de demostradores, y una última para la validación de los prototipos.

Escenarios

El diseño de experimentos tuvo en cuenta factores como el sexo, clima y tipo de indumentaria. Se seleccionaron los escenarios Árido, Tropical y NBQ, con las configuraciones balística (chaleco anti fragmentos y casco) y Carga (mochila con 10 kg).

Instalaciones y equipamiento

La experimentación se ha desarrollado en el laboratorio de confort térmico del IBV. Los participantes fueron monitorizados con las cámaras térmicas FLIR T650sc y FLIR A35. Se utilizaron sensores de contacto en dos equipos portátiles para registrar la temperatura y humedad en diferentes partes del cuerpo durante todo el ensayo, además de una pulsera inteligente EMPÁTICA E4® para monitorizar el ritmo cardiaco, la temperatura, la actividad electrodérmica (EDA) y la fotopleitismografía (PPG), permitiendo medir simultáneamente la actividad del sistema nervioso simpático y la frecuencia cardiaca [1].

Protocolo

El protocolo se realizó tras una revisión bibliográfica pormenorizada STANAG (4370, AECTP 200, 230 y 300) y principalmente los estándares: ISO 7726, que describe los requisitos de los instrumentos de medida en la determinación de la producción del calor metabólico, ISO 7933, que permite estimar el estrés a partir de la tasa de sudoración, ISO 8996, para determinar la producción de calor metabólico, y la ISO 10551 para el diseño de escalas subjetivas.



Figura 1. Imágenes de la experimentación en cámara climática del IBV (fuente: proyecto TERMOCONF)

Tecnologías emergentes

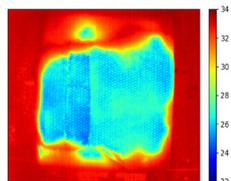
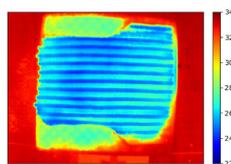


Figura 2. Caracterización de nuevos materiales spacer 3D (fuente: proyecto TERMOCONF)

Los estudios de termografías en cámara climática han proporcionado una valiosa información a la hora de contar con las limitaciones del equipamiento reglamentario y las zonas críticas de regulación térmica, sobre las que se ha actuado para conseguir la reducción del estrés térmico del combatiente, sobre todo en pecho y espalda.

Resultados

El estudio ha permitido cuantificar la carga térmica del combatiente, simulando condiciones reales de operación con el equipamiento actual (vestuario y equipos de protección) y se han seleccionado nuevos materiales textiles técnicos, con las mejores propiedades de permeabilidad, absorción y transporte de humedad según las necesidades de la zona corporal y la capa de vestuario de que se trate. Más allá, se ha diseñado un sistema de ventilación activo combinando el efecto de la ventilación a través de los canales de tejidos 3D. Las tecnologías utilizadas en el proyecto han sido de dos tipos:

Tecnologías activas

El sistema activo de refrigeración tiene como finalidad potenciar el mecanismo natural de refrigeración del cuerpo más eficiente que es la sudoración. Se compone de un equipo externo que incorpora la ventilación y la lógica de control, un tubo corrugado no colapsable flexible y un peto con nuevos tejidos 3D acanalados y en malla que distribuyen el flujo de aire por el torso del usuario.

Tecnologías pasivas

Se han desarrollado soluciones textiles más ligeras y permeables, que favorecen la transpiración en las

La prueba de confort térmico del IBV en condiciones controladas incluye dos tipos de evaluaciones. Por un lado, se realizan mediciones objetivas colocando sensores de temperatura y humedad que permiten una evaluación en tiempo real del vestuario y los accesorios, tomando termografías de cuerpo entero antes y después de cada fase. Por otro lado, de forma paralela, se realizan valoraciones subjetivas con cuestionarios, donde se pregunta a los usuarios sobre su sensación térmica percibida en las diferentes zonas del cuerpo.

Nuevos materiales

Se han caracterizado cuatro materiales 3D (*spacer*), tres comerciales (R831, R976 y R808) y uno nuevo, desarrollado expresamente por E.CIMA para este proyecto. El nuevo producto RT87, se diseñó aumentando la anchura entre canales (1,5 cm aproximadamente), la anchura de la superficie del canal (1 cm aproximadamente) y aumentando el espesor (1 cm aproximadamente) respecto

al Spacer R831, con el fin de permitir un mejor flujo del aire y la evacuación de la humedad.

Se realizaron varias probetas con troquelados y con configuraciones de distribución de aire variadas. Las probetas fueron evaluadas en la cámara climática del IBV a 32 °C, con el maniquí térmico ST2 que simula la piel humana y el sudor [3] (figura 2).

De las conclusiones obtenidas en los ensayos iniciales, para la evaluación en condiciones de actividad y carga con la configuración árido combate, se confeccionaron en FECSA cuatro petos ajustables como una primera aproximación de diseño.

En una segunda experimentación, se seleccionaron los materiales, las zonas de refrigeración, y parámetros relativos a la usabilidad como los conectores, los tubos, entradas de aire, conexión, botones y funcionalidades del equipo electrónico impulsor de aire. El regimiento n.º 1 NBQ proporcionó un equipo de respiración forzada para NBQ marca Micronel.



Figura 3. Termografías segmentadas del combatiente (fuente: proyecto TERMOCONF)

zonas de mayor sudoración; combinadas con nuevos diseños teniendo en cuenta las zonas críticas de cada una de las prendas.

Validación de prototipos

Las prendas han sido probadas en las cámaras climáticas e instalaciones exteriores del IBV, así como en diversos ejercicios de las dos unidades colaboradoras. La validación de los prototipos se dividió en dos fases, una en el IBV en condiciones controladas y otra en condiciones realistas.

Condiciones controladas en laboratorio

Todos los participantes siguieron el mismo protocolo. Las pruebas llevadas a cabo en la fase controlada constaron de una sesión instrumentada en cámara climática en condiciones de alta humedad y temperatura (figura 4), otra sesión de escaneo dinámico y una prueba en exterior de movilidad y pruebas técnicas basadas en el manual IFM (Instrucción Físico-Militar del ET) (figura 5).

Ensayos en campo

Fueron proporcionadas dieciséis unidades de prototipos y dos equipos de refrigeración, primero a un equipo del MOE y luego al NBQ. Estas pruebas se llevaron a cabo sin supervisión, en condiciones realistas.

Aplicación de nuevas tecnologías

El proyecto ha permitido implementar y aplicar nuevas tecnologías durante la experimentación con combatientes y en la validación de los prototipos. La monitorización del combatiente con



Figura 4. Imágenes y termografías de la validación controlada (fuente: proyecto TERMOCONF)

cámaras, los equipos de bajo coste y la aplicación de técnicas e imagen basadas en inteligencia artificial (IA) han permitido tener un registro sin contacto y continuo de los participantes, sus parámetros fisiológicos y su interacción con la indumentaria, y las soluciones del proyecto.

Técnicas de inteligencia artificial

Monitorización de la respiración para estimar la temperatura interna y la frecuencia respiratoria. Se ha desarrollado un algoritmo para estimar la frecuencia respiratoria, midiendo la temperatura en las máscaras NBQ y alrededor de la cara, y se han extraído los valores de temperatura de una ROI central [2]. Detectando los picos de la señal de temperatura, el período, la duración media, mínima y máxima de la respiración, se miden las tasas de respiración, variables entre las configuraciones de la experimentación y entre usuarios. Permite saber la evolución de la temperatura interna del combatiente.

Termotipos

La caracterización del usuario, de su perfil térmico y su respuesta

temperreguladora permite identificar una predisposición al golpe de calor. La monitorización remota del combatiente permite a su vez anticiparse antes de que el propio individuo sea consciente de la situación en la que se encuentra.

Registro dinámico

En el Laboratorio de Análisis Humano (HAL - Human Anthropometry Lab), se realizó un escaneo con los prototipos, con el sistema MOVE 4D, una nueva generación de escáner sin marcadores, que captura la forma corporal en movimiento a alta velocidad y resolución.

Monitorización en remoto

Se registraron variables fisiológicas en remoto, tanto en interior como exterior, con el equipo de intervención ligero Equilin. La incorporación de tecnologías sin contacto en drones, robots o en los equipos complementarios del combatiente, posibilita el control de constantes vitales (frecuencia cardiaca, respiratoria, saturación de oxígeno y tensión arterial) de forma continua, del combatiente y en incursiones con población civil (figura 7).

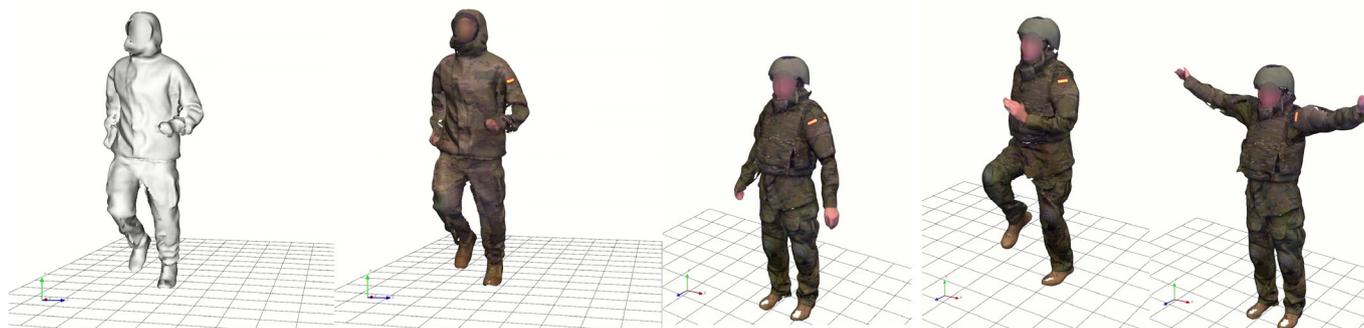


Figura 5. Escaneado en movimiento. (HAL - IBV). NBQ y MOE (fuente: Regimiento NBQ y MOE)

Tecnologías emergentes

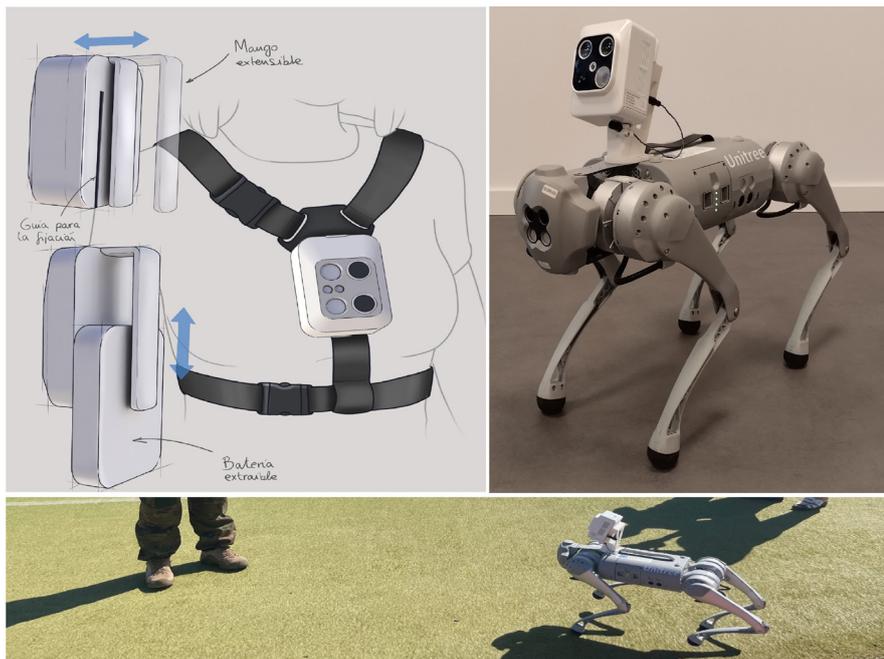


Figura 6. Tecnologías de monitorización fisiológica sin contacto. Equipo Equilin (fuente: Junta de Andalucía)

Conclusiones

El proyecto ha concluido con cuatro prototipos desarrollados: camiseta manga corta, camisa ligera para debajo del chaleco (UBA - *Under Body Armor*), pantalón de combate y un peto con ventilación (figura 8).

La mejora pasiva en las prendas, ajuste, diseño y textiles, se valora de forma muy positiva por todos los participantes.

Con la activación del sistema de refrigeración, tanto en los datos objetivos recogidos por termografías y sensores en lumbar, omoplato y pecho como por las valoraciones subjetivas, se identifica una reducción de la

carga térmica y mejora en la sensación térmica de los usuarios.

- Se detecta una bajada de la humedad relativa promedio, de hasta un 7 % en pecho y entorno a un 9 % en la espalda alta.
- Se ha identificado una reducción de la temperatura corporal de hasta 2 °C, localmente en condiciones controladas en cámara climática a 32 °C.
- La reducción de temperatura ha sido más visible en los participantes masculinos, por el propio patrón de sudoración y por una mejor circulación del aire en la zona del pecho.
- La regulación del caudal de aire, incorporada en la última versión del

prototipo, fue valorada de forma positiva por los combatientes que participaron en la prueba. Los hombres prefirieron el nivel de caudal máximo, mientras que las mujeres prefirieron el medio y de forma intermitente. En las pruebas con radiación solar en campo, ambos sexos prefirieron el nivel máximo de caudal.

Además, los estudios de termografías han proporcionado una valiosa información. El proyecto ha permitido una recopilación de más de 8000 imágenes térmicas de la cara, torso, espalda y cuerpo completo con distintos tipos de cámaras e indumentaria; en un total de veinticinco sesiones de dos horas, doce combatientes, con variaciones en la actividad física y en condiciones extremas de calor y humedad.

Las imágenes térmicas han sido de utilidad para entrenar modelos de IA. Han sido aplicadas técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) y algoritmos de segmentación, en la medida automática de temperatura sin contacto y en la estimación de la temperatura interna, a través de la monitorización infrarroja de la respiración.

Los resultados de este proyecto son extrapolables a todos los cuerpos del Ejército español, a su vez, las mejoras y soluciones desarrolladas, tienen cabida en Salud Laboral y en el ámbito civil.

Referencias

- [1] Meet EmbracePlus, the E4 wristband's next-gen successor [en línea]. (s. f). *Empática*. [Consulta: 2024]. Disponible en <https://www.empatica.com/research/e4/>
- [2] Methodology Based on 3D Thermal Scanner and AI Integration to Model Thermal Comfort and Ergonomics [en línea]. (s. f). *researchgate.net*. [Consulta: 2024]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/361249602_Methodology_Based_on_3D_Thermal_Scanner_and_AI_Integration_to_Model_Thermal_Comfort_and_Ergonomics
- [3] Hotplate - Mattress - (ST2-XL). Essential equipment for bedding and mattress testing [en línea]. (s. f). *Thermetrics*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://thermetrics.com/products/manikin/st-2xl/>



Figura 7. Imágenes de los cuatro prototipos desarrollados en el proyecto TERMOCONF (fuente: proyecto TERMOCONF)