

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MANIQUÍES TÉRMICOS PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EXPERIMENTALES DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

BERLANGA CAÑETE, FÉLIX A. ⁽¹⁾; RUIZ DE ADANA SANTIAGO, MANUEL ⁽¹⁾

OLMEDO, INÉS ⁽¹⁾;

felix.berlanga@uco.es

⁽¹⁾Universidad de Córdoba, Departamento de Química Física y Termodinámica Aplicada

RESUMEN

Los maniqués térmicos son dispositivos que simulan la presencia humana en una estancia de la manera más realista posible. Se establecen como una herramienta validada para la realización de ensayos experimentales de sistemas de climatización, permitiendo imponer cargas térmicas internas originadas por personas en locales [1], [2], [3].

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de una serie de maniqués térmicos para la realización de ensayos experimentales en el laboratorio de Ventilación y Climatización de la Universidad de Córdoba.

La geometría de los maniqués térmicos se corresponde de manera aproximada a la de una mujer de complexión media. Los maniqués térmicos desarrollados tienen cuatro modos de funcionamiento: temperatura constante, calor constante, modo bienestar térmico y modo calibración. Cada maniqué térmico permite regular de forma independiente cuatro zonas: cabeza, brazos, tronco y piernas.

En modo de funcionamiento calor constante, la transferencia de calor sensible de los maniqués pueden ajustarse a los valores recogidos en la norma UNE EN 13779 [4] relativa al calor emitido por personas con distintos grados de actividad.

Este equipamiento permite el desarrollo de ensayos experimentales de sistemas de climatización, sistemas de difusión de aire y estudios de contaminación cruzada entre personas.

Palabras clave: Maniqué térmico, Simulación de cargas térmicas, Confort

1. Introducción

La presencia de personas en estancias genera una carga térmica sensible y latente que deben compensar los sistemas de climatización y ventilación. Dichas cargas emitidas por una persona provienen de la piel y la respiración de la misma. Las cargas sensibles se originan por la diferencia de temperatura entre el ser humano y el ambiente. Las cargas latentes se originan al evaporarse cierto volumen de agua ya sea sobre la superficie de la piel o a través del aire emitido por la respiración. Los mecanismos de transporte principales son la convección, la radiación y la conducción.

El método más realista para realizar este tipo de estudios es el uso de personas para realizar ensayos en los locales bajo estudio. Esta manera de proceder es complicada, ya que las condiciones de las mismas son variables con el tiempo y el individuo. Para evitar la problemática asociada al uso de personas reales para este tipo de estudios, se utilizan instrumentos de simulación de cargas térmicas conocidos como maniqués térmicos. Existen diferentes tipos de maniqués térmicos en función de la verosimilitud de la simulación de las cargas conseguida [2], [5].

En este trabajo se presenta el desarrollo y construcción de un maniqué térmico que permita generar carga interna sensible y que sea capaz de estimar el confort térmico en el ambiente de ensayo de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 7730 [6].

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un maniqué térmico para la realización de ensayos experimentales de sistemas de climatización.

El maniqué térmico debe reproducir la carga térmica equivalente de una persona, en distintos niveles de actividad y estimar el confort térmico del ambiente.

3. Métodos

Para obtener una herramienta que permita simular diferentes tipos de carga térmica emitida a través de la piel asociada a la presencia humana, el maniqué térmico debe proporcionar diferentes modos de funcionamiento. Se han implementado dos modos de funcionamiento del maniqué, modo de control de temperatura constante y en modo de control calor constante. En el modo de temperatura constante, el sistema permitirá mantener constante la temperatura superficial del maniqué manteniendo el valor previamente consignado. En el modo calor constante, se entregará una potencia térmica constante a cada zona del maniqué térmico. En cada modo de funcionamiento, se establecen cuatro zonas de control independientes correspondientes a cabeza, tronco, brazos y piernas. En cada zona, es posible establecer de forma independiente, consignas de temperatura cuando trabaja en modo temperatura constante o bien de potencia térmica cuando se trabaja en modo calor constante.

Para estimar el confort térmico del ambiente, se evalúa el voto medio previsto (PPD) así como el porcentaje de personas insatisfechas (PMV). A partir de estos dos valores se establece la clasificación del ambiente térmico de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 7730 [6].

Diseño del dispositivo físico

Para que la emisión de la carga térmica sea lo más verosímil posible, se ha de distribuir de manera uniforme por una superficie parecida a la del ser humano. Para ello se ha trabajado con un modelo de geometría muy cercana a la de un ser humano de complejidad media, tomando como referente las medidas de una mujer. La altura del maniqué es de 1,70 metros y su superficie exterior es de 1,4395 m². En la Tabla 1 se pueden observar las superficies de cada una de las zonas en las que el maniqué se divide para su control.

Superficie de cada una de las zonas de control del maniquí.

Zona	Superficie (m ²)
Cabeza	0,1366
Torso	0,4171
Brazos	0,2538
Piernas	0,6320

Para la construcción del maniquí térmico se parte de un maniquí comercial de poliuretano. El maniquí tiene una estructura metálica con articulaciones flexibles, y un cuerpo formado por espuma de poliuretano de alta densidad. La estructura articulada metálica– permite que el maniquí varíe su postura, pudiendo mantener posiciones de persona sentada o de persona de pie.

En la Figura 1 se puede observar uno de los maniqués construidos con las dimensiones básicas del mismo.

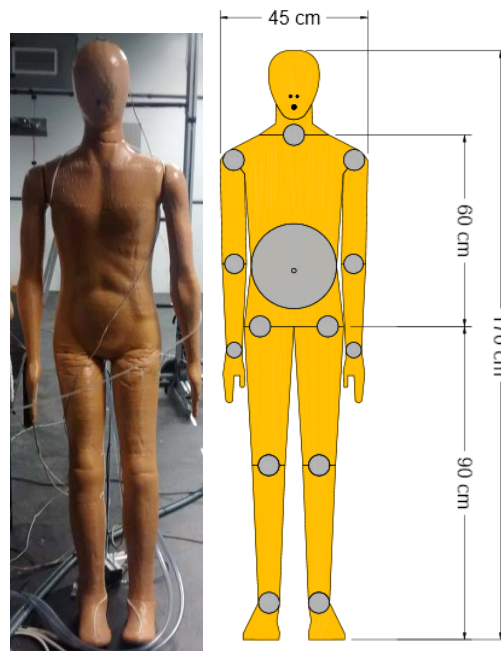


Figura 1. Dimensiones geométricas del maniquí.

Se han previsto los orificios corporales, nasales y boca, necesarios para la implementación de un sistema de respiración independiente. Este sistema permite imponer las cargas debidas a la respiración del individuo, no incluidas en el presente estudio y presentadas en otro trabajo [7]

El calor generado en cada una de las cuatro zonas de los maniqués se basa en el efecto Joule. La resistencia empleada es un hilo de níquel de 0,3 mm de diámetro enrollado entorno a las diferentes zonas del maniquí. El calor generado en cada zona es proporcional a la corriente circulante por las resistencias arrolladas en cada una de las zonas.

El control térmico se realiza variando la tensión eléctrica de cada resistencia. Las zonas de control implementadas para cada uno de los maniqués térmicos son cabeza, tronco, brazos y piernas. El control de cada zona se realiza de forma independiente, manteniendo la entrega de calor constante independientemente de las condiciones ambientales.

El sistema de control lo constituyen dos circuitos electrónicos independientes, uno de mando y otro de potencia. Estos circuitos se comunican mediante una tarjeta PCB diseñada específicamente para esta aplicación. La tarjeta de control integra la regulación de las cuatro zonas del maniquí. El esquema del se observa en la Figura 2.

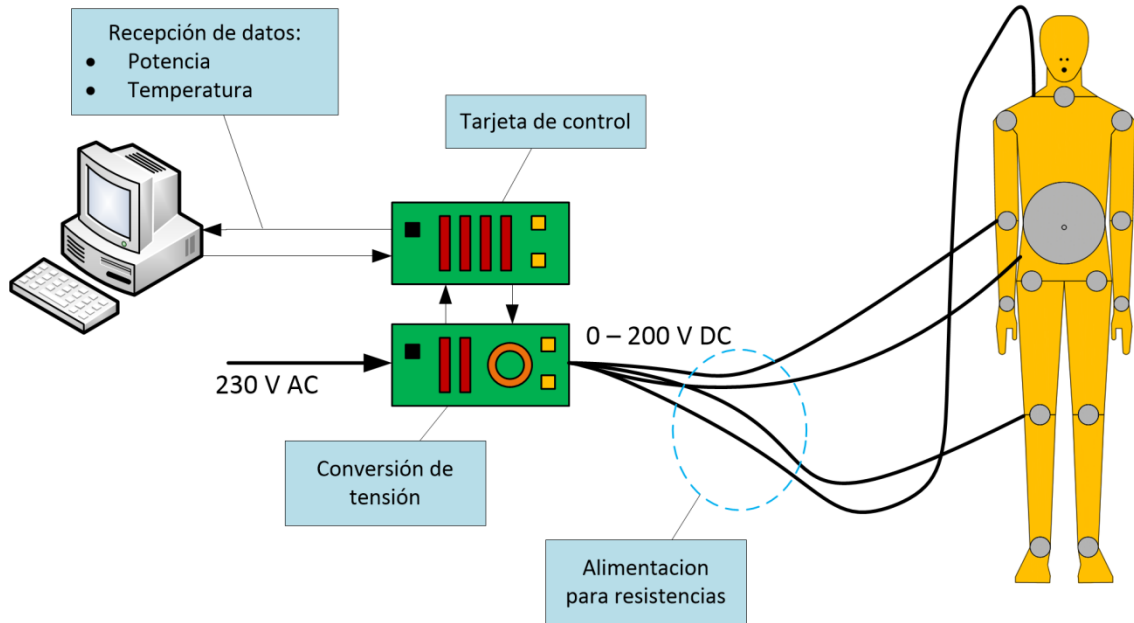


Figura 2. Esquema de control de carga en el maniquí.

El sistema de control se gestiona a través de un equipo informático, PC, mediante el puerto USB. El PC establece una comunicación tipo serie con un microprocesador dentro de la tarjeta de control. El microprocesador gestiona las órdenes que se envían al circuito de potencia y recoge datos del mismo que constituyen la retroalimentación del sistema. El circuito de potencia entrega tensión en intervalos de tiempo de entre 0 y 500 ms a cada una de las zonas de control del maniquí.

Para la configuración, y la visualización en tiempo real de las variables de control del maniquí, se ha generado una interfaz gráfica para para PC. Desde esta interfaz se puede seleccionar el modo de trabajo, temperatura constante, calor constante o modo confort y ajustar las variables en cada caso.

En la Figura 3 se puede observar la interfaz de usuario del programa de control. Se muestra la información de la temperatura y potencia emitida en cada una de las zonas. En función del modo de funcionamiento seleccionado se muestran diferentes campos de introducción de información adicional necesaria para la configuración del modo.

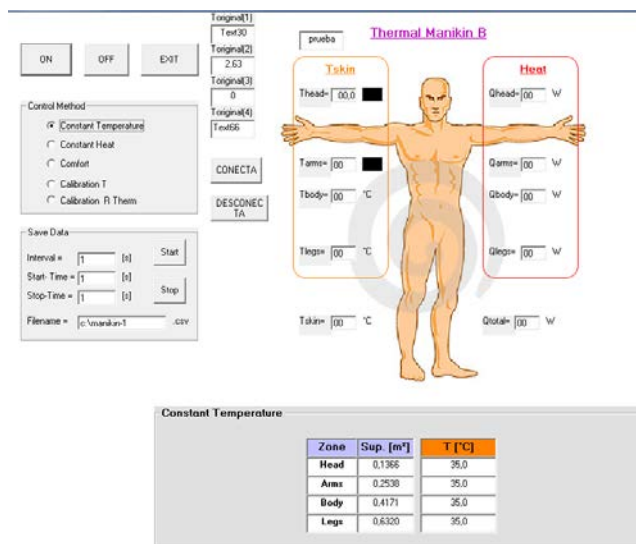


Figura 3. Interfaz gráfica de usuario.

Control de la carga térmica en cada uno de los modos de funcionamiento

Modo temperatura constante

En este modo el usuario fija a través de la interfaz del programa de control, la temperatura deseada para cada una de las zonas del maniquí. En este modo el objetivo principal es mantener la temperatura superficial de cada una de las zonas en un valor consignado seleccionable por el usuario. La acción de control se realiza utilizando la lectura de la temperatura proporcionada por la resistencia del hilo de níquel de cada zona. El sistema registra la temperatura actual representativa de la zona a controlar, y en función de la misma realiza una acción correctora en la potencia emitida.

Modo calor constante

En este caso el usuario fija una potencia a entregar por cada zona del maniquí controlado, en función del grado de actividad. El sistema de control se limita a corregir las posibles derivas de la resistencia en función de su temperatura a través del tiempo. En este caso el valor de la lectura de temperatura es sólo informativo.

Modo confort

En este modo de trabajo se realiza una estimación del confort térmico existente en el ambiente de estudio. Para lograr esta estimación se utiliza una modificación del método desarrollado en la norma UNE-EN ISO 7730 [6]. En la citada norma se desarrolla el cálculo de los valores de voto medio previsto y porcentaje de personas insatisfechas para obtener finalmente una clasificación de confort térmico.

Para conseguir estos valores se precisa conocer ciertos valores ambientales, temperatura ambiente (T_a), la presión de vapor ambiental (P_v), así como datos de la persona, actividad metabólica (M), el índice de vestimenta (I_{clo}) y el trabajo adicional llevado a cabo (W). Los datos sobre la persona se introducirán a través de la interfaz del programa mientras que los datos.

Con todos estos valores se obtiene el calor emitido al ambiente por el individuo por diferentes factores, entre los que se encuentra el calor latente emitido a través de la piel. Como los maniqués térmicos diseñados no tienen la capacidad de generar carga latente, se compensa la carga térmica latente que no se puede emitir, a través de la carga sensible. Para ello, se asume una presión de vapor típica para experimentos sobre climatización en interiores, considerando unas condiciones de temperatura seca de 24°C y un 50% de humedad relativa [8].

El proceso es semejante al llevado a cabo en la citada norma [9]. Se añade un proceso iterativo para obtener la temperatura superficial de la ropa (T_{cl}) a partir de la temperatura de la superficie medida (T_s) y el calor emitido (Q_t).

Para establecer la clasificación de confort térmico de cada situación experimental se utiliza la normativa UNE-EN 15251 [8]. En esta norma se establecen diferentes niveles de confort térmico en función de los valores calor emitido por una persona situada en dicho ambiente. Para obtener este valor se necesita obtener con anterioridad el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD), que a su vez exige el cálculo del valor del porcentaje de voto estimado (PPV). Estos valores se obtienen según los procedimientos descritos en la norma UNE-EN ISO 7730 [6]. El procedimiento de cálculo secuencial se muestra en la figura 4.

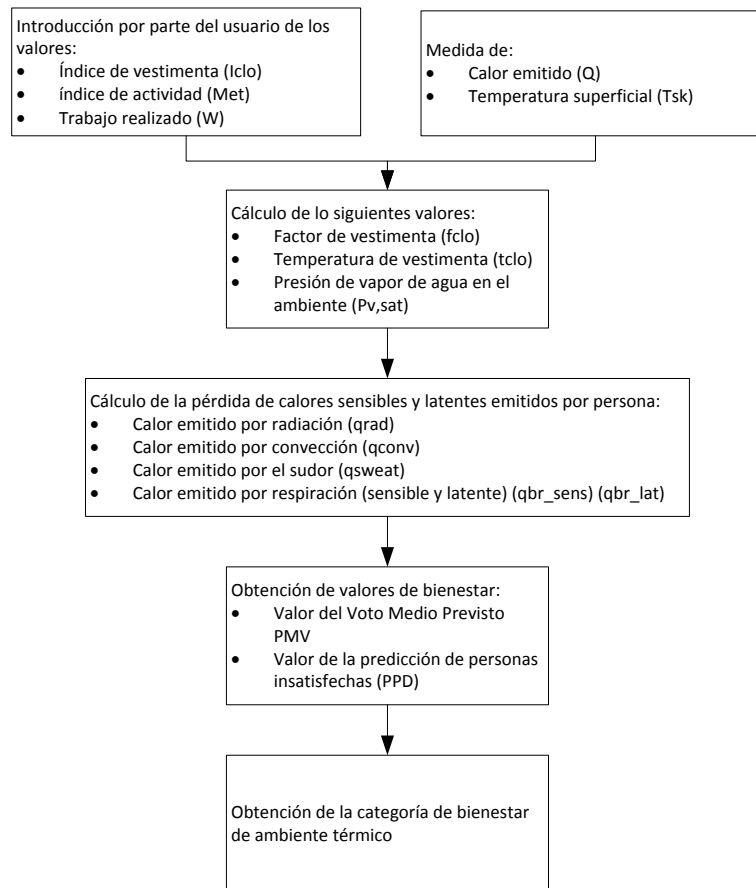


Figura 4. Proceso secuencial de control dentro del modo confort.

El control del sistema registra la temperatura actual de cada zona del maniquí, así como la potencia térmica emitida. El usuario debe introducir a través de la interfaz del sistema de control, el valor de la actividad metabólica, el índice de vestimenta y el trabajo directo que el individuo está realizando en el caso que existiese. Con estos datos, el programa obtiene los valores de factor de vestimenta, la temperatura de la ropa así como la presión de vapor de agua en el ambiente. Estos valores se utilizan para calcular el Voto Medio Estimado (PMV).

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.36 \cdot \dot{Q}_{met} - \dot{Q}_T} + 0.028) \cdot (\dot{Q}_{met} - \dot{Q}_T)$$

Finalmente se obtiene el valor del Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas (PPD) a través de la expresión

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

Utilizando el valor del porcentaje previsto de personas insatisfechas se obtiene la categoría de bienestar según norma UNE-EN ISO 15251 [8].

Modo calibración

Este modo se utiliza para calibrar la medida de las sondas de temperatura. Para calibrar dichas sondas, el sistema obtiene las diferencias entre la temperatura ambiental y la registrada por las sondas y corrige su medida mediante un ajuste lineal. Para poder llevar a cabo la calibración hay que situar el maniquí en un ambiente de temperatura conocida e introducir dicho valor en la interfaz del programa. Se establece que se realicen al menos tres medidas. Los valores han de estar suficientemente separados para conseguir un buen ajuste de la deriva característica de cada sonda.

4. Resultados

El maniquí térmico desarrollado puede trabajar en distintos rangos de funcionamiento, tal y como se recoge en la tabla 2.

Tabla 2. Rangos de trabajo de cada uno de los modos.

Modo de control	Rango de trabajo
Calor constante	0 – 50 W/zona
Temperatura constante	15 °C – 40 °C
Modo confort	0 – 15 PPD / -0,7 – 0,7 PMV

El calor generado en cada zona del maniquí térmico mantiene unas condiciones estables de temperatura, similar a la de la piel humana. Los resultados de inspecciones termográficas se muestran en la figura 5.

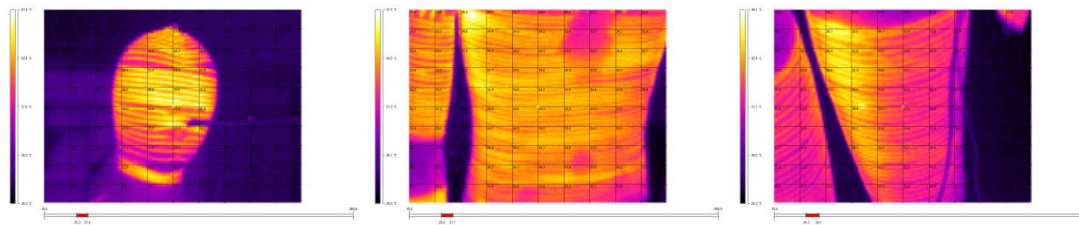


Figura 5. Resultados analizado con cámara termográfica

5. Conclusiones y consideraciones finales

Se ha desarrollado un maniquí térmico que permite simular la carga térmica de una persona, con diferentes grados de actividad metabólica. Por otro lado, el maniquí térmico desarrollado permite estimar el confort térmico en una situación concreta.

El maniquí térmico permite ajustar con detalle las cargas internas debidas a personas, en los ensayos experimentales realizados en el laboratorio de climatización y ventilación de la Universidad de Córdoba.

6. Referencias

- [1] A. Melikov y J. Kaczmarczyk, *Measurement and prediction of indoor air quality using a breathing thermal manikin.*, Revista Indoor Air, 2007, vol. 17, pp. 50-9.
- [2] A. Melikov, *Breathing thermal manikins for indoor environment assessment: Important characteristics and requirements*, Revista Eur. J. Appl. Physiol., 2004, vol. 92, pp. 710-713.
- [3] E. Bjørn y P. V Nielsen, *Dispersal of exhaled air and personal exposure in displacement ventilated rooms.*, Revista Indoor Air, 2002, vol. 12, pp. 147-64.
- [4] Comité: AEN/CTN 100 - CLIMATIZACIÓN, *UNE-EN 13779. Ventilación de edificios residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos.*, AENOR, Madrid, 2005.
- [5] E. Bjørn, "Simulation of human respiration with breathing thermal manikin"., En *Proceedings of Third International Meeting on Thermal Manikin Testing*, Stockholm, 1999, pp. 78-81.

- [6] Comité: AEN/CTN 81, *UNE-EN ISO 7730. Ergonomía en ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.*, AENOR, Madrid, 2006.

- [7] F. A. Berlanga Cañete, M. R. de Adana, e I. Olmedo, "Diseño y construcción de un sistema de emulación de la respiración para maniqués térmicos para la realización de ensayos experimentales de sistemas de climatización"., En *IX Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica (Cartagena, 3, 4 y 5 de junio de 2015)*, 2015, pp. 1-8.

- [8] Comité: AEN/CTN 100 - CLIMATIZACIÓN, *UNE-EN 15251:2008. Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido.* 2008.