

# Medición en vestuario médico: Metodología, diseño y fabricación de equipo para cálculo del confort en textiles de uso clínico

## Resumen

Este trabajo hace parte de la investigación “Desarrollo y fabricación de vestuario médico”, investigación en su etapa 2. Expone el desarrollo preliminar de una máquina termorreguladora que determina el confort de prendas (resistencia térmica y resistencia evaporativa) bajo los estándares técnicos utilizados en la producción de estos productos en el mercado. La máquina termorreguladora está construida de acuerdo a los lineamientos de la ISO 11092:1993. Ejecuta un algoritmo de control en las variables de humedad relativa, temperatura y velocidad de flujo para sostener y emular las condiciones y efectos de la piel. Los resultados son visualizados en una interfaz de pantalla táctil para determinar las variaciones durante el proceso y garantizar la convergencia de las magnitudes presentes.

Fausto A. Zuleta  
Diseñador Industrial. Magíster en Ingeniería de Diseño. Doctor en Bioingeniería. Coordinador Grupo de Investigación Diseño de Vestuario y Textiles (GIDVT), Universidad Pontificia Bolivariana. Docente de las Facultades de Diseño de Vestuario y Diseño Industrial. fausto.zuleta@upb.edu.co

Jairo J. Pérez  
Ingeniero Electrónico. Magíster en Ingeniería – Área Ingeniería Biomédica. Investigador del Centro de Bioingeniería (GIBIOING), Grupo de Dinámica Cardiovascular y Grupo de Investigaciones en Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana. jairo.perez@upb.edu.co

Recibido: Noviembre 2013

Aprobado: Agosto 2014

Palabras clave: confort, diseño de vestuario, resistencia evaporativa, resistencia térmica, vestuario termorregulador.

## Scrub measurement: Methodology, design and manufacturing of equipment for textile comfort calculation in clinical use.

### Abstract

This paper is part of the research project "Development and manufacture of scrub" in phase 2. It presents the preliminary development of a thermoregulatory machine that determines the comfort of garments (thermal resistance and evaporative resistance) under the technical standards used in the production of these products in the market. The thermoregulatory machine is built according to the ISO 11092:1993 guidelines. It executes a control algorithm in the relative humidity variable, temperature and flow rate to sustain and simulate the conditions and effects of the skin. The results are displayed on a touch screen interface to determine the variations in the process and ensure the convergence of the values present.

Key words: comfort, costume design, evaporative resistance, thermal resistance, thermoregulatory garment.

### Introducción

El análisis de la resistencia térmica y evaporativa contribuye a la evaluación de la respuesta de las prendas de vestir y su relación con el confort térmico humano. De hecho, la funcionalidad de los textiles en diseños de vestuario involucra trabajo interdisciplinar para determinar los factores y agentes que inciden en la indumentaria (Fernández, 2013), lo que es extrapolable en el diseño de prendas de uso específico y el confort que estas deben de prestar; como es el caso del vestuario para el sector salud y sus implicaciones funcionales operativas. Reconocer la utilidad del textil y su funcionalidad en el diseño es de gran importancia, de otra manera se obvia la característica básica del uso y por tanto de su concepción (Zimmermann, 2003), lo cual estará conectado con el contexto y la variabilidad posible del producto, en este caso para los ambientes relacionados al sector salud.

Tal y como lo expone Baquero (2006), uno de los propósitos fundamentales en la fabricación de la prenda ha sido mantener una temperatura corporal uniforme bajo diferentes entornos o condiciones y evitar la acumulación de sudor en la piel humana al permitir que el líquido fluya desde el cuerpo hacia el ambiente exterior cuando aumenta el nivel de actividad. Por lo tanto, el intercambio de calor entre el cuerpo humano y el medio ambiente se ve afectado significativamente por la respuesta dinámica, la forma de las capas de la prenda en el flujo de calor y la humedad de la piel humana con el medio ambiente, las cuales se pueden analizar mediante una simulación por equipos que controlen estas variables (Salmon , 2001).

Ahora bien, la industria de los llamados textiles técnicos, se ha impuesto dentro del sector textil como nicho de mercado en países desarrollados. Si se considera un determinado grupo en específico de usuarios, para el sector salud es prioritario y directo en el uso de este tipo de materiales. De hecho, los textiles técnicos para solucionar necesidades específicas como: la disipación de enfermedades, posibilidades de los controles sanitarios por personal externo o inclusive el espacio de interacción médico-paciente como zona de control, hacen que el diseño de las prendas sea pensado necesariamente con este tipo de insumos. La evaluación correcta del comportamiento funcional en estas prendas propende al desarrollo de máquinas o sistemas cuyo propósito sea el análisis del confort (Shelton, Raistrick, Warburton y Siddiqui, 2009).

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, dicha necesidad es visible a la hora de unificar diseños y materiales para el vestuario del personal médico en ambiente clínico, lo cual ha estimulado incrementos en los costos de los textiles que actualmente se comercializan principalmente desde los EE.UU., Sur América, Europa occidental y Asia, entre otros (Rigby, 2004); sin embargo, la firma David Rigby Associates dentro del informe *Technical Textiles and Nonwovens: World Market Forecasts to 2010*, estimó que durante la proyección para dicho año, el

25% del total de consumo textil mundial fue para los textiles técnicos. Dicho 25% del total de consumo textil mundial (en peso) se planteó para los textiles técnicos en el año 2000. El pronóstico del incremento en el consumo de estos materiales (textiles técnicos y no tejidos) se organizó geográficamente integrando el 55% en Norteamérica, 74% en Sur América, 58% en Europa del Oeste y 38% en Asia (Rigby, 2002).

Ahora bien, si la proyección fue certera, los textiles técnicos al que pertenece el vestuario médico, tuvo un incremento considerable dentro del consumo global y de uso especializado. Particularmente en el gremio de la salud, existe hoy en día la creciente preocupación de evitar la exposición y transferencia de microorganismos que son conducidos normalmente a través de los fluidos corporales en dichos textiles, por lo cual existe la necesidad indiscutible de producir barreras de control en los quirófanos para disminuir el riesgo de infección. Todo ello, ha justificado que la industria manufacturera y los usuarios de este tipo de materiales, requieran de herramientas para la evaluación del correcto comportamiento de dichos textiles. Es allí donde las universidades y centros de desarrollo tecnológicos aparecen para proporcionar herramientas, que se materializan en el diseño y la construcción de dispositivos que midan las características termorreguladoras en los textiles. Así, el objeto del presente proyecto es desarrollar un prototipo de una máquina de evaluación que termorregule y contribuya a determinar el confort de prendas determinando resistencia térmica y resistencia evaporativa, utilizando un estándar técnico empleado en la producción de estos productos en el mercado. La máquina para termorregulación está construida de acuerdo a los lineamientos de la ISO 11092:1993 y ASTM F1868-12.

Dicha máquina ejecuta un algoritmo de control en función de las variables de humedad relativa, temperatura y velocidad de flujo, para sostener y simular las condiciones y efectos de la piel. Los controles y resultados de la máquina son manipulados y visualizados en una interfaz con pantalla táctil para analizar las

variaciones durante el proceso y garantizar la convergencia de las magnitudes presentes; el equipo ayudará a la evaluación de distintos textiles técnicos para el sector salud, y posiblemente para otros sectores que vean la necesidad de evaluar las condiciones de confort para sus prendas. Para una etapa posterior del diseño, el aparato entero deberá estar alojado en una cámara de temperatura, velocidad de flujo y humedad relativa controlada de modo que las condiciones ambientales pueden ser tratadas cuidadosamente.

## Metodología

Luego de la realización del diseño de las prendas en la etapa 1 de la investigación (Zuleta, 2012), se analizó la viabilidad técnica relacionada con la construcción del prototipo y la pertinencia de su fabricación teniendo en cuenta los sistemas comerciales del mercado. Se inició con el análisis térmico de las prendas de vestir, el cual fue estudiado a través de las normas ASTM F1868-12 e ISO11092:1993 que establecen el procedimiento para la medición de la conductividad térmica en textiles a través de variables intermedias; mediante un aparato de placa caliente<sup>1</sup>, es descrita por algunos autores como la técnica más exacta para determinar características térmicas de los materiales aislantes. Las normas establecen las condiciones para simular tanto el calor como la transferencia de humedad, tienen en cuenta la superficie del cuerpo a través de las capas de las prendas y la dinámica hacia el medio ambiente (Tleoubaev y Brzezinski, 2005).

Existen dos maneras de valorar el confort térmico o algunos de sus parámetros: una de ellas es bajo un enfoque cuantitativo y la otra mediante un enfoque cualitativo. Los parámetros de confort basados en el enfoque cualitativo resultan muy complejos de calificar para el presente trabajo; sin embargo, se consideró necesario solamente utilizar el enfoque cuantitativo ya que permite controlar parámetros

<sup>1</sup> Del inglés hot plate, definido de ahora en adelante como “el aparato”.

que afectan el confort térmico, recoger las interacciones entre el ser humano, el material y el entorno mediante mediciones de variables como: la resistencia térmica, la resistencia a la evaporación de los tejidos, índice de permeabilidad, entre otros. Adicional a esto, la decisión se toma de acuerdo a las valoraciones de Norma Hollen (2010) en su texto *Introducción a los textiles*, y a las dispuestas por Roy Choudhury (2011) en su artículo “Los factores que afectan el confort: fisiología humana y el rol de las prendas”, cuyas evaluaciones en textiles son en su mayoría de apreciación cuantitativa. Este enfoque busca tener controlados los parámetros físicos que afectan la preferencia térmica de las personas de acuerdo a parámetros medibles y entendibles por el personal técnico que realizará la evaluación. La gran mayoría de la medición se desarrolla de manera experimental en una cámara de temperatura, donde se pueden ajustar las condiciones ambientales de temperatura del aire y de radiación, la humedad y la velocidad del aire de acuerdo a las normas anteriormente mencionadas.

En conformidad a todo lo mencionado previamente, la resistencia térmica al vapor de agua de productos textiles en condiciones de estado estacionario es medida por medio del uso del aparato de ingeniería de diseño<sup>2</sup>. Sensores de temperatura, humedad, nivel, corriente y velocidad fueron dispuestos estratégicamente en conjunto con electroválvulas en diferentes posiciones para obtener los parámetros y coeficientes necesarios para el monitoreo de las variables durante el proceso. Características estáticas como voltaje de ruptura, precisión, exactitud, tiempo de respuesta, retardos, resolución y derivas, entre otras, fueron tenidas en cuenta para el registro adecuado de la información. El aparato consta de una unidad de medición, un controlador de temperatura y una unidad de suministro de agua, acoplados como sistema, cuyo propósito es mantener uniformes las condiciones de temperatura en el periodo de evaluación de tal manera que la prueba no sea perturbada o sea estable.

---

<sup>2</sup> Refiriéndose al equipo para la medición de características termorreguladoras en textiles de uso clínico.

La unidad de medición es un bloque fijo de material metálico con un elemento de calentamiento (bloque de calentamiento), sobre dicha unidad reposa una placa cuadrada de metal perforado cuya sección de prueba está en el centro. Dicha placa es de aluminio y replica la temperatura de la piel humana; el vapor de agua que atraviesa la placa pasa con una humedad controlada para imitar la sudoración. De esta manera, la placa simula el comportamiento de la piel humana y al involucrar un textil dentro de la cámara, es posible evaluar puntualmente su comportamiento. La placa se encuentra cubierta por la membrana permeable al vapor. Los modelos de la placa y de la membrana cumplen con las condiciones de prueba: aire, humedad relativa y velocidad del aire.

Durante la medición de la temperatura de la placa se sostiene en un nivel constante empleando un control PI (Proporcional Integral) sobre una resistencia tubular tipo serpentín y embebida en un bloque de calentamiento y con una diferencia de  $0,1^{\circ}\text{C}$  con la guarda de calentamiento. Para evitar pérdidas de calor se utiliza óxido de magnesio en la aplicación. Por otro lado, la energía que se gasta para el mantenimiento de una temperatura constante de la placa, es medida en todo momento dado que se considera como un parámetro principal de la resistencia evaporativa.

Adicionalmente, la placa está rodeada por el calentador de exteriores o guarda, que evita la fuga de calor lateral en los bordes de la muestra. El bloque de calentamiento debajo de la sección de prueba previene la pérdida de calor hacia esta dirección desde la sección de prueba y la sección de calentador guarda. Esta disposición conduce el calor o la humedad para transferir hacia arriba solo a lo largo de la dirección del espesor de la muestra. El agua que ingresa al dispositivo se mantiene empleando el principio de Bernoulli cuando el nivel de agua en la placa cuadrada es de aproximadamente 1 mm por debajo de la superficie de la misma.

La determinación de la resistencia térmica de la muestra consta de los siguientes pasos: temperatura del aire establecida en 20°C, 65% de la humedad relativa controlada y la velocidad del aire generado es  $1 \pm 0,05$  m/s. Después de que el sistema alcanza el estado estacionario, la resistencia térmica puede ser calculada. La energía eléctrica es monitoreada y controlada para mantener la placa a una temperatura constante de 35°C, indicador de la tasa de evaporación de agua. La temperatura del aire se fija en 35°C y la humedad relativa es controlada a 40%. Después de alcanzar el estado de equilibrio, el total de resistencia a la evaporación de la tela se calcula (International Organization for Standardization, 1993). Finalmente, el total de resistencia a la evaporación proporcionada es determinado con el área de la sección de prueba, la presión de vapor de agua en la superficie de la placa, la presión de aire del vapor de agua y la potencia eléctrica.

El resultado de los cálculos y el monitoreo en tiempo real es alcanzado mediante una pantalla *touchscreen* que permite la constante visualización de los comportamientos del control en todas las etapas. Sobre su superficie permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo, y a su vez muestra los resultados introducidos previamente; actuando como periférico de entrada y periférico de salida de datos, así como emulador de datos interinos erróneos al no tocarse efectivamente.

310

Las herramientas virtuales empleadas en el desarrollo del proyecto son: Autodesk Inventor 2012 y Altium Designer 10; para la construcción de la parte mecánica y electrónica respectivamente. Autodesk Inventor fue utilizado para el diseño de la estructura del aparato ya que brinda la capacidad de crear y explorar un sistema completo antes de construirlo. Inventor ofrece un modelo digital único, crea una representación virtual del producto final para optimizar el diseño, visualizar y simular con una menor dependencia de costosos prototipos físicos. Altium Designer es un paquete de software para el desarrollo de circuitos impresos, cuenta con entorno gráfico en 3-D y la posibilidad de integrar bibliotecas CAD.

## Resultados

En la realización del equipo se obtuvo un protocolo o procedimiento metodológico para ejecutar las pruebas en cuanto a la preparación de los materiales, lo cual se constituye como una entrada para el proceso de medición, el análisis e interpretación de los resultados. Fue creado para orientar la prueba y reducir los errores inducidos por el usuario con los parámetros establecidos por la normatividad. También, conduce a mediciones precisas y repetibles de la resistencia térmica y la permeabilidad al vapor de textiles en el aparato.

Este sistema en conformidad con la norma ISO 11092:1993 y ASTM F1868-12 presenta un diseño compacto adaptable a los sistemas actuales de cámaras de temperatura controlada. De acuerdo a lo mencionado, a partir de esta investigación, se desarrolló un prototipo que emula las características y modos de operación que se generan dentro de un ambiente controlado y simulan la superficie del cuerpo (Figura 1).



Figura 1. Izquierda: red de flujos, pantalla táctil y alimentador de agua del sistema. Derecha: bloque de calentamiento termostático para uso en textiles de uso clínico.

El equipo para cálculo del confort en textiles de uso clínico, consta de los siguientes componentes: suministro de fluido por gravedad para regular el volumen de flujo, resistencias industriales, tarjeta electrónica, bloque de calentamiento, guarda

de calentamiento, pantalla de visualización, válvulas, sensor de velocidad del aire, sensores de temperatura ambiente y un sensor de humedad relativa. Bajo los anteriores parámetros es posible realizar procedimientos de prueba cuyos resultados sean reproducibles y repetibles en la fabricación de textiles dentro del equipo para la medición de características termorreguladoras en textiles de uso clínico (Figura 2).



Figura 2. Equipo electrónico para la medición de características termorreguladoras en textiles de uso clínico.

Dentro del sector salud y su planteamiento de diseños de indumentaria que cumplan con las regulaciones y normatividades establecidas (como por ejemplo la UNE-EN 13795 para paños, batas y trajes para aire limpio de utilización quirúrgica como productos sanitarios, para pacientes, personal clínico y equipos.), el factor textil es una especificación, por ello la realización de equipos que ayuden en la evaluación y caracterización resulta fundamental para la creación de estas prendas.

Ahora bien, los equipos que se pueden desarrollar dentro de investigaciones que involucran el diseño, la ingeniería y el sector salud deben constar de un planteamiento metodológico variable y ajustable a cada fase. Para este caso, el desarrollo de un procedimiento metodológico para medir conductividad térmica en prendas de uso médico, con placa calentada eléctricamente y con presencia de un flujo de aire continuo que simule el comportamiento fisiológico humano, permitió analizar parámetros intermedios en estado estacionario para la medición de confort térmico en muestras textiles a través del cálculo del índice de permeabilidad y el calor total perdido por el textil.

En la construcción del aparato, el sistema de placa caliente, la cámara de temperatura controlada y el sistema de adquisición de datos, son comercialmente costosos y complicados de utilizar; pero el presente desarrollo ofrece de manera amigable una interfaz táctil cuyo algoritmo es secuencial e intuitivo para su manipulación. Adicionalmente, el aparato es una herramienta que contribuye a la evaluación de las características funcionales de las prendas de vestir. Es de aclarar que en el sector médico colombiano no existe ninguna reglamentación específica para el vestuario de salud, respecto al tipo de propiedades de los materiales y certificaciones que se deben acreditar para su fabricación y comercialización. Este vacío de lineamientos abre la posibilidad de generar un banco de conocimiento basado en la normatividad actual mundial en el tema, una posibilidad de puede ser aprovechada por las instituciones reguladoras nacionales que proporcione confiabilidad y certeza al desarrollo de estas propuestas vestibles.

El control de la temperatura en el prototipo construido se efectuó utilizando un control PI. No fue necesaria la implementación del componente derivativo pues los cambios de temperatura en las distintas zonas del prototipo ocurrían de manera lenta al ser la temperatura una variable inercial en el sistema. Esto permitió describir el comportamiento del sistema como un sistema de primer orden.

Los sensores resistivos de temperatura utilizados en el prototipo son altamente sensibles a los cambios de voltaje y de referencia de la fuente, por lo tanto debe garantizarse un voltaje y referencia de tierra estable, de lo contrario se obtendrán valores erróneos de resistencia provenientes del sensor y por lo tanto valores de temperatura incorrectos, dificultando la labor del control.

Los resultados de las pruebas en los tejidos suministrados por el instrumento de placa caliente no pueden ser aplicables directamente a la ropa. Esto es debido a que ignora la cantidad de área de superficie corporal cubierta por los prendas, la distribución de las capas textiles y capas de aire en el cuerpo, el aflojamiento y el apriete de ajuste y el aumento de superficie por la pérdida de calor; es decir, el factor de área de la ropa, el efecto de diseño de producto, el ajuste de las características de prendas de vestir, la variación de la temperatura en diferentes partes del cuerpo, el efecto de la posición del cuerpo y el movimiento. Sin embargo, el aparato es recomendable para pruebas de sudoración puntuales en muestras acolchadas y materiales compuestos, esto ayuda en la selección de materiales para uso clínico y posiblemente en otros sectores donde el textil sea parte fundamental. Se recomienda que al medir este tipo de muestras se sellen los bordes con una capa impermeable, esto ayudará a limitar la transmisión de vapor de los lados de estas muestras. Una posible recomendación es que el borde de la muestra puede ser grabado para evitar fugas de calor.

## Referencias

Baquero, M. (2006). *El confort como una característica importante en el diseño de prendas: Una estrategia de valor agregado para la economía de la cadena*. Vol. 1, fasc. 1. Buenos Aires: Actas de Diseño. p. 233.

International Organization for Standardization. (1993). *ISO 11092:1993, Textiles -Physiological Effects - Measurement of Thermal and Water-Vapour Resistance Under Steady - State Conditions (Sweating Guarded Hotplate Test)*. Geneva.

Fernández, C. (2013). *La profundidad de la apariencia: el vestido en el debate entre el arte y el diseño*. *Poliantea*, 9(16), 129-150.

Hollen, N. (2010). *Introducción a los textiles*. México: Ed. Limusa.

Rigby, D. (2002). *Technical Textiles and Industrial Nonwovens: World Market Forecast to 2010*. In David Rigby Associates Inform.

Rigby, D. (2004). *World market for the technical textiles 50% bigger than previously estimated*. 52-53.

Roy Choudhury, A.K. (2011). *Factors affecting comfort: human physiology and the role of clothing*. En *Improving comfort in clothing* (pp. 3-57). Cambridge: Ed. Woodhead P.L.

Salmon, D. (2001). *Thermal conductivity of insulations using guarded hot plates, including recent developments and sources of reference materials*. *Meas. Sci. Technol.*, 12(12), R89.

Shelton, C., Raistrick, C., Warburton, K., & Siddiqui, H. (2009). *Can changes in clinical attire reduce likelihood of cross-infection without jeopardising the doctor-patient relationship?* *Journal Hospital Infection*, 74, 22-29.

Tleoubaev, A., & Brzezinski, A. (2005). *Combined guarded hot plate and heat flow meter method for absolute thermal conductivity tests excluding thermal contact resistance*. *Therm. Conduct.*, 27, 502.

Revista KEPES, Año 11 No. 10, enero-diciembre de 2014, págs. 303-316

Zimmermann, Y. (2003). *El arte es arte el diseño es diseño*. En Calvera, A. (Ed.), *Arte ¿? Diseño* (pp. 31-57). Barcelona: Gustavo Gili.

Zuleta, F. (2012). *Desarrollo y fabricación de vestuario médico, modificación de metodologías para procesos investigativos*. 4 Seminario Internacional de Investigación en Diseño. Duitama: Ed. Taller 11, UPTC. Recuperado de <http://www.uptc.edu.co/eventos/2012/siidv/memoria/sid.swf>

Cómo citar este artículo:

Zuleta, F. A., & Pérez, J. J. (2014). Medición en vestuario médico: Metodología, diseño y fabricación de equipo para cálculo del confort en textiles de uso clínico. *Revista Kepes*, 10, 303-316.