23 SEMANA DE LA SALUD OCUPACIONAL
EL SER HUMANO EN EL FUTURO DEL TRABAJO
• XXXVII Congreso de Ergonomía, Higiene, Medicina y Seguridad Ocupacional
• 16° Congreso Colombiano de Ergonomía: Entornos de Trabajo y Vida Cotidiana Más Humanos
OCT 31, NOV 1-3 de 2017 | Hotel Intercontinental | Medellín - Colombia

Aplicación de la Termografía Infrarroja (TI) en la evaluación del confort térmico en sillas de oficina

Ovidio Rincón Becerra
Pontificia Universidad Javeriana
Móvil 300 781 39 72
rincono@javeriana.edu.co

Martha Lucía Bernal Castro
marthabernal@javeriana.edu.co

Christian Ricardo Zea Forero
crzea@javeriana.edu.co

Abstract

Aunque el tema de confort térmico ha sido ampliamente estudiado en relación con el ambiente y ligado principalmente a las condiciones térmicas del espacio físico, no existe suficiente información sobre la evaluación del confort térmico en la interacción del ser humano con productos de uso cotidiano. Una técnica utilizada para medir la temperatura superficial en el cuerpo humano y en los objetos es la *Termografía Infrarroja (*TI*)*. Esta se basa en que todos los cuerpos emiten radiación infrarroja y esta energía irradiada es proporcional a la temperatura superficial.

En lo que respecta al confort térmico en sillas de oficina, se han realizado pocas investigaciones sobre el tema, considerando su importancia por los tiempos prolongados en postura sedente y los niveles de atención que caracterizan este tipo de trabajos. Por medio de una cámara termográfica, se realizaron mediciones de temperatura de tres modelos de sillas para trabajo en oficina que se diferencian entre sí por los materiales del tapizado de asiento y espaldar (malla, tapizado en paño, tapizado en tela vinílica), a partir de lo cual se establecieron de forma cuantitativa, diferencias entre los distintos modelos en relación con las zonas de contacto de la persona con la silla, y por lo tanto el intercambio de temperatura, lo que se relaciona con la percepción de confort térmico.

Para los fabricantes, el objetivo del diseño de una silla es optimizar el confort y el soporte ofrecido al cuerpo, teniendo en cuenta que promover una buena postura y reducir el disconfort se constituyen en los principales aspectos diferenciadores entre modelos de sillas y sus fabricantes. De allí la importancia de desarrollar investigaciones que permitan evaluar de forma precisa las implicaciones del diseño (formas, materiales, recubrimientos) hacia el confort térmico y establecer recomendaciones en este mismo sentido.

Palabras clave: Termografía, confort térmico, sillas de oficina.

Introducción

Confort térmico

El confort térmico es definido como la "manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente" (1). Las normas ISO 7730: 1994 y ASHRAE 55:2004, lo definen como la "condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y se valora por evaluación subjetiva" (2). El conjunto de condiciones del ambiente que determinan el clima desde el punto de vista térmico, lleva a una reacción del cuerpo que se define como *sensación térmica*. Para definir la sensación térmica, se utilizan índices de confort térmico, cuyos valores deberían estar entre los 25 y 27 grados Celsius para lograr tal comodidad. Unas condiciones ambientales desfavorables al equilibrio de la temperatura producen estrés térmico en el cuerpo humano, al que éste responde con mecanismos fisiológicos de termorregulación. La severidad de la respuesta en el cuerpo puede ir desde confort, molestia o disconfort, dolor, choque térmico e incluso la muerte (3). La ergonomía se ocupa principalmente de los primeros estados (confort-disconfort), mientras que los más críticos son tema de otros campos como la fisiología y la medicina del trabajo.

Las respuestas del ser humano hacia el estrés térmico pueden variar entre las personas, estando relacionados con (1):

a. Factores asociados a la persona, tales como el sexo, constitución corporal, edad, etnia, aclimatación al calor.

b. Factores relacionados con el ambiente, entre los que se encuentran la temperatura del aire y paredes, el movimiento del aire y el grado de humedad.
c. Factores asociados a los objetos que emplea la persona (vestido, elementos de protección personal, mobiliario), en relación con los atributos de la configuración de los mismos (forma, material, textura, color).

La valoración del estrés y del confort térmico ha adquirido importancia, debido a las consecuencias que tiene hacia el desempeño del ser humano, y los efectos del ambiente tanto en salud como en el desempeño de la actividad. Para la evaluación del confort térmico existen métodos basados en datos objetivos capturados con equipos, y datos subjetivos a partir de la percepción. En condiciones extremas (calor y frío) es recomendable utilizar métodos que se basen en medidas físicas y fisiológicas, considerando el impacto directo de las temperaturas extremas en la salud humana. En las situaciones en las que el ambiente térmico puede afectar el desempeño y el confort, pero no necesariamente compromete la salud, se pueden utilizar métodos subjetivos que reflejan la opinión de las personas sobre el ambiente en el que realizan sus actividades (4). Estos métodos se basan en la aplicación de cuestionarios con el propósito de conocer la percepción del ser humano bajo el efecto de un determinado ambiente térmico. Uno de los métodos para evaluar la *sensación térmica* por zonas del cuerpo es la escala de siete niveles (caliente, tibio, un poco tibio, neutral, un poco fresco, fresco, frío) con valores numéricos correspondientes de 3 a -3 (2).

En el caso de la postura sedente, uno de los factores que puede contribuir o no al confort térmico, es el intercambio de temperatura que se da durante la interacción entre el ser humano y las superficies de la silla (asiento – espaldar con respectivos materiales de relleno y tapicería). En lo que respecta al confort térmico en sillas de oficina, se han desarrollado pocas investigaciones sobre el tema. Precisamente, el disconfort térmico es una de las principales quejas de oficinistas (5) ya que un espacio de trabajo presenta condiciones ambientales relativamente uniformes, que no siempre son confortables para todos los trabajadores dada su variabilidad inter-individual intrínseca.

Termografía

La Termografía Infrarroja (TI) es una técnica que permite, a distancia y sin contacto, medir y visualizar temperaturas de superficies con precisión, siendo posible gracias a que todos los cuerpos emiten radiación infrarroja y esta energía irradiada es proporcional a la temperatura superficial (6). Es una técnica segura, no invasiva y de bajo costo, teniendo múltiples aplicaciones para el diagnóstico médico, la investigación científica, usos militares y aplicaciones de ingeniería (resistencia de materiales, conductividad térmica) entre otros (7).

Una cámara infrarroja (IR) es un dispositivo sin contacto que detecta la energía infrarroja (calor) y la convierte en una señal electrónica, que se procesa para producir una imagen o vídeo, en los que es posible realizar cálculos de temperatura. El calor detectado por una cámara IR se puede cuantificar de forma precisa, lo que le permite controlar el rendimiento térmico e identificar y evaluar la gravedad de problemas relacionados con el calor (8). Las cámaras IR cuantifican la radiación infrarroja que es emitida y reflejada por los diferentes materiales y las transforma en imágenes digitales, que se procesan a través de software especializado, lo que permite estimar la temperatura de un punto determinado sobre una superficie.

Método

1. Selección de sillas y participantes

En el desarrollo de la prueba se consideraron tres modelos de sillas de oficina con características similares en relación con las dimensiones y forma del asiento y el espaldar, pero que diferían en el material del tapizado o de las superficies: paño, tela vinílica y malla (figura 1).

Tapizado en paño

Tapizado en tela vinílica

Superficies en malla

Figura 1. Modelos de silla utilizados en la prueba

Con respecto a la selección de los participantes, uno de los aspectos críticos en la captura de datos a partir de TI, es la gran cantidad de variables humanas que pueden afectar la temperatura de la piel, y por lo tanto, los resultados, así como la amplia variabilidad interindividual existente (7). Por ello, es fundamental asegurar el control de la mayor cantidad de variables, por lo que se trabaja con muestras pequeñas. En este caso, las mediciones se realizaron con dos personas (una mujer y un hombre), con características similares de edad, antropometría y sin problemas de salud. Su indumentaria estaba compuesta por pantalón jean, camiseta de algodón de manga corta, ropa interior de algodón, zapatos tenis y calcetines cortos.

2. Captura de imágenes TI

De acuerdo con las condiciones establecidas por diferentes investigaciones (9) para controlar las variables ambientales durante las pruebas de termografía, los tres modelos de sillas tuvieron un periodo de aclimatación de 12 horas en el espacio de pruebas del *Laboratorio de Pruebas de Producto y Usabilidad* de la Pontificia Universidad Javeriana, registrando una temperatura promedio de 17° centígrados. Durante la manipulación de las mismas antes y durante de la prueba, se tuvo la precaución de evitar el contacto del cuerpo con las superficies de los cojines de asiento y espaldar.

Las imágenes TI fueron tomadas con una cámara *Flir E-40®*, y las mediciones ambientales con un medidor de estrés térmico *Extech HT30®*, que registra la temperatura ambiental, la temperatura de globo, la humedad del aire y el índice WBGT. Estas mediciones se realizaron tanto al inicio como al final de la prueba. En la tabla 1, se muestran los rangos de los valores de temperatura ambiental registrados durante el desarrollo de la prueba. Las sillas fueron colocadas contra una superficie de madera con terminado mate, para reducir brillos durante la captura de las imágenes. La cámara termográfica se ubicó frente a ellas en un trípode, a 2.0 metros de distancia, y apuntada de forma perpendicular a las superficies.

Variable	5 minutos	10 minutos	15 minutos
Temperatura ambiente (°C)	16.3	17.6	18.6
Temperatura de globo (°C)	16	18.2	17.7
Porcentaje de humedad (%)	59.3%	54.4%	52.4%
WBGT	13.4	14.2	14.4

Tabla 1. Variables ambientales registradas durante las mediciones

Al inicio de la prueba, se tomó una termografía de los espaldares y asientos de las sillas antes de tener contacto con los participantes. A continuación, se les indicó que se sentaran y que mantuvieran durante toda la prueba, un contacto homogéneo con el espaldar y con los pies apoyados en el suelo. De acuerdo con los hallazgos de Sales y colaboradores (9), con relación a la duración de las pruebas con termografía, se ha establecido que a los 15 minutos, la temperatura sobre la superficie de la silla se estabiliza, lo que establece la duración mínima en el desarrollo de una prueba.

Después de 5 minutos, se pidió al participante que se levantara de la silla, para tomar una imagen termográfica de la misma. El mismo procedimiento se realizó a los 10 y a los 15 minutos cuando se dio por concluida la prueba.

3. Evaluación subjetiva de sensación térmica

De forma simultánea al registro de imágenes termográficas, se aplicó a los participantes un cuestionario a los 5, 10 y 15 minutos, para evaluar de forma subjetiva la percepción térmica con respecto a cada modelo de silla. El cuestionario indagaba sobre la sensación térmica cuantificada (de -3 a +3), en espalda y glúteos/muslos, empleando la escala ASHRAE (2) de siete puntos entre las condiciones de "caluroso" y "frío" (figura 2).

Frío	Fresco	Ligeramente fresco	Neutro	Ligeramente tibio	Tibio	Caluroso
-3	-2	-1	0	1	2	3

Figura 2. Escala de sensación térmica de 7 puntos (ASHRAE)

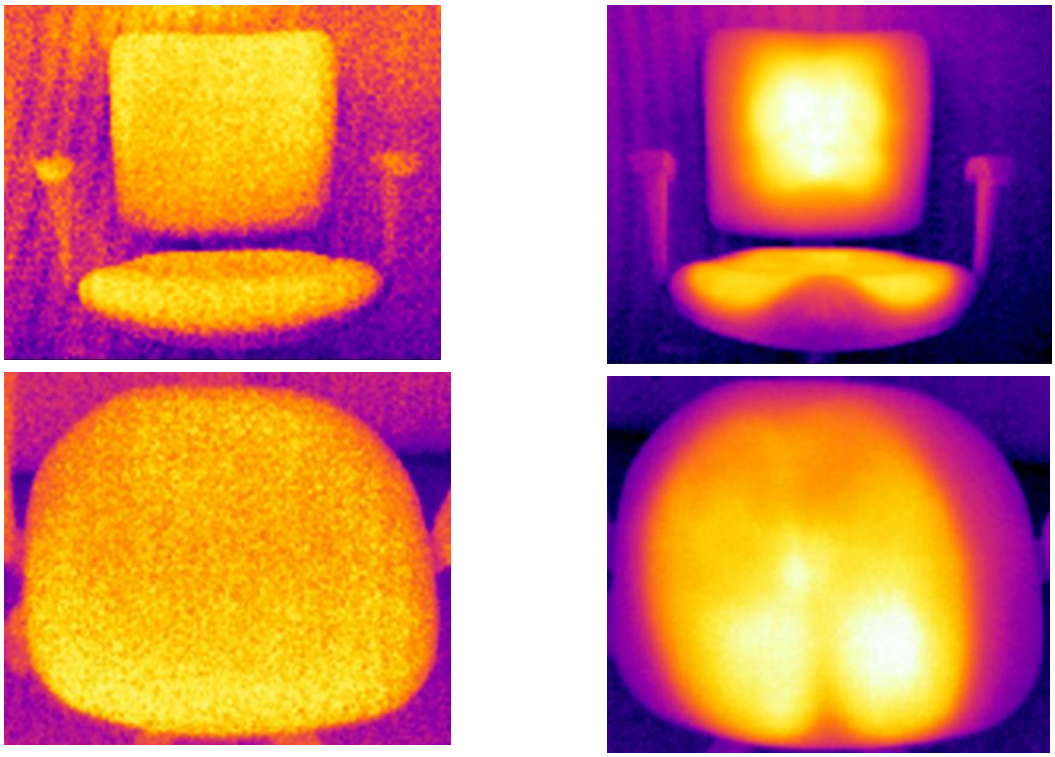
4. Análisis de datos

Los datos obtenidos mediante la cámara termográfica, fueron analizados a través del software *FLIR Tools v.5.13*® Antes de realizar el análisis de las imágenes, se configuraron los parámetros de emisividad (0.95) y la temperatura ambiental (17°C). Las puntuaciones resultantes de la evaluación subjetiva del confort térmico fueron analizadas mediante la hoja de cálculo MS Excel®.

Resultados

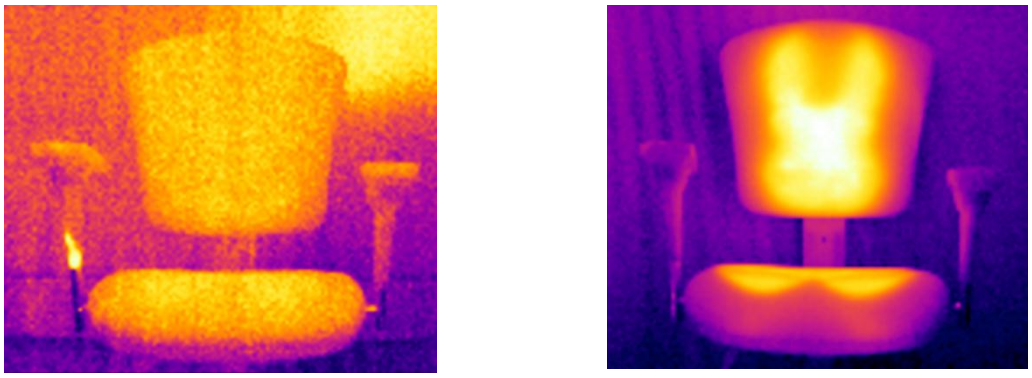
1. Medición de temperatura en las sillas

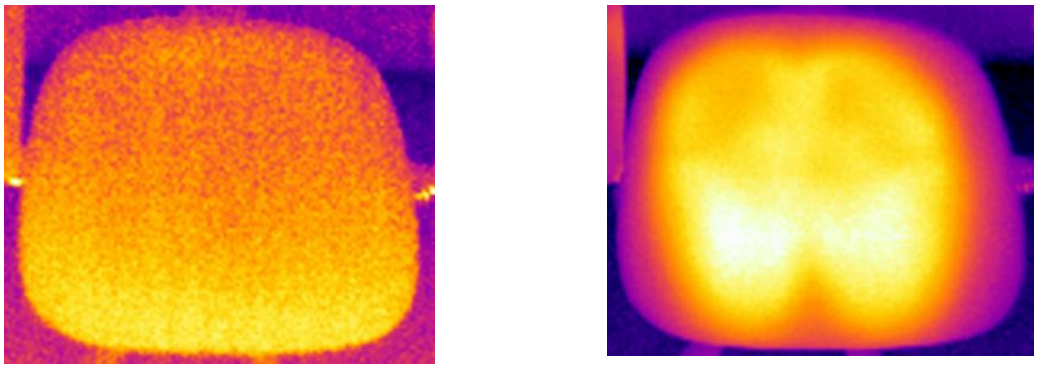
Las figuras 3, 4 y 5, muestran imágenes de las termografías obtenidas tanto del espaldar como del asiento. En este caso, se muestran solamente las capturadas al inicio de la prueba (sin contacto con la persona por 12 horas) y luego de 15 minutos de uso. Estas imágenes fueron analizadas en el software, midiendo los valores de temperatura máximo y promedio tanto en el área del espaldar como del asiento en cada momento de la prueba. En las figuras 6, 7 y 8, se muestran comparativamente los valores de las temperaturas máxima y promedio tomadas en las sillas con los tres materiales.



Inicio 15 minutos

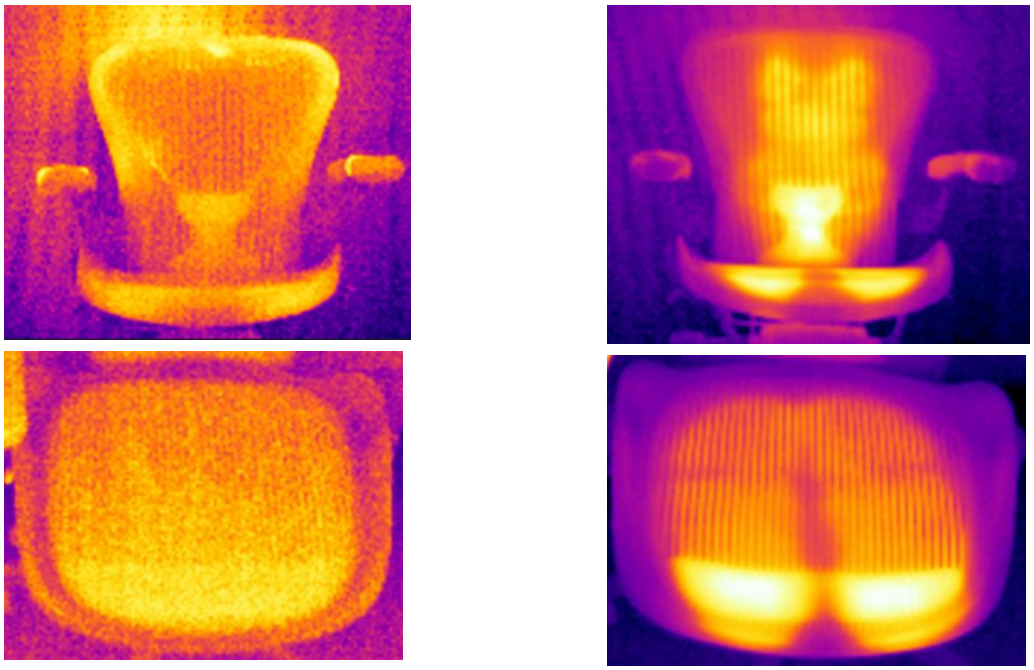
Figura 3. Termografías tomadas a silla con tapizado en paño





Inicio 15 minutos

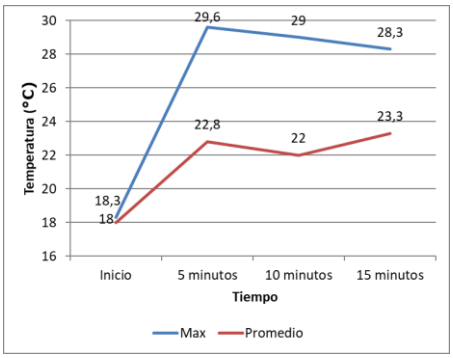
Figura 4. Termografías tomadas a silla con tapizado en tela vinílica



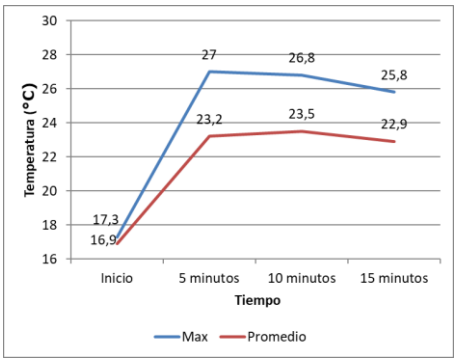
Inicio 15 minutos

Figura 5. Termografías tomadas a silla con componentes en malla

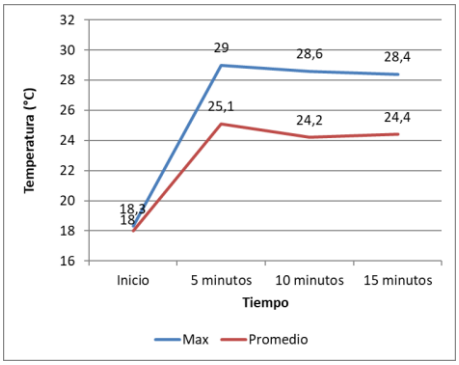
Mujer



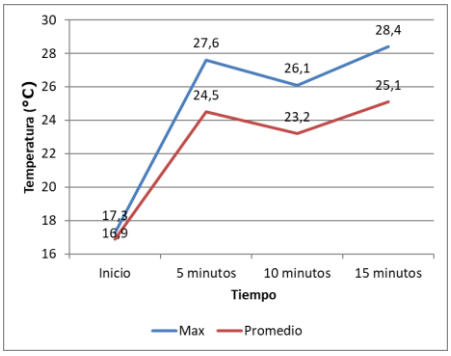
Mujer



Hombre



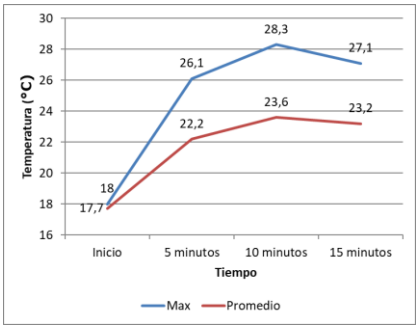
Hombre



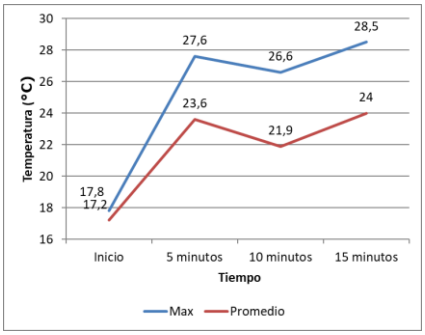
Espaldar **Asiento**

Figura 6. Valores comparativos de temperatura en silla tapizada con paño

Mujer

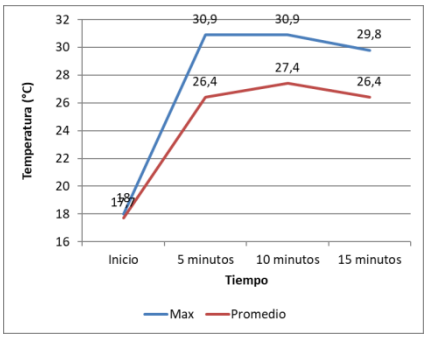


Mujer

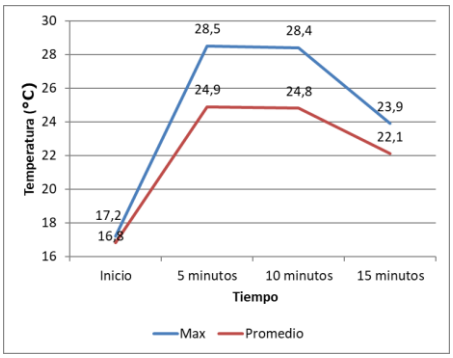


Hombre

Hombre



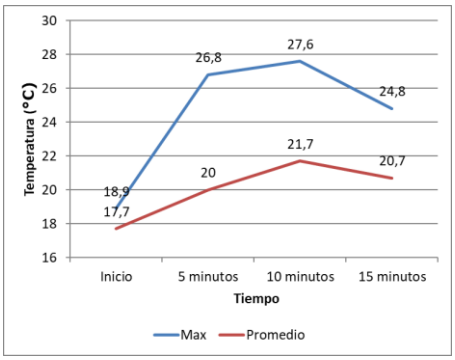
Espaldar



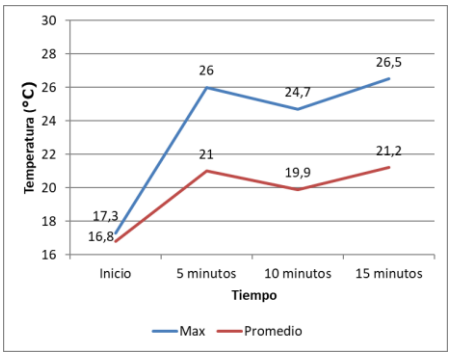
Asiento

Figura 7. Valores comparativos de temperatura en silla tapizada con tela vinílica

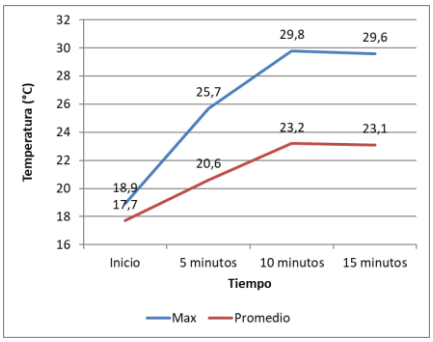
Mujer



Mujer

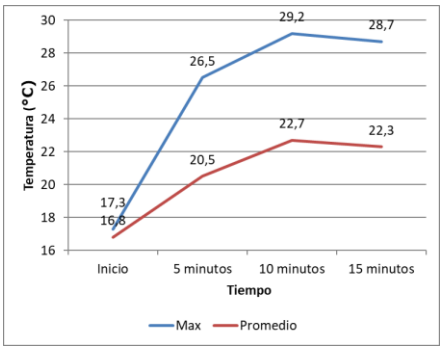


Hombre



Espaldar

Hombre



Asiento

Figura 8. Valores comparativos de temperatura en silla con malla

En la figura 9 se muestra de forma comparativa el promedio entre los tres materiales.

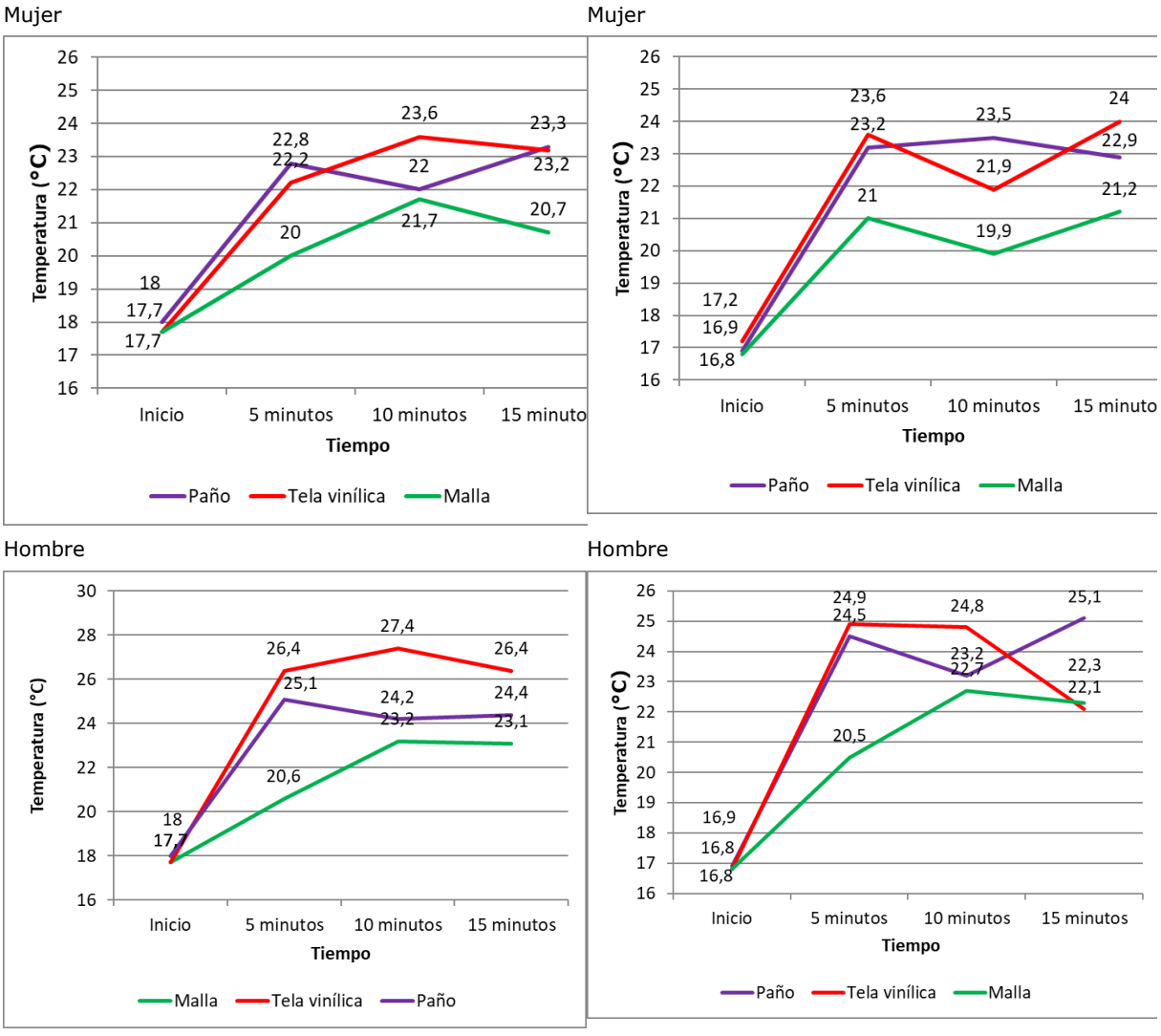


Figura 9. Valores comparativos de temperatura entre los tres materiales

2. Percepción de sensación térmica

Para registrar la percepción de sensación térmica, se empleó un cuestionario en el que se evaluaba a los 5, 10 y 15 minutos, la sensación térmica en glúteos y espalda, por medio de la escala presentada en la figura 2. En las figuras 10, 11 y 12, se presentan los resultados para las sillas con los tres materiales, de forma diferenciada por género.

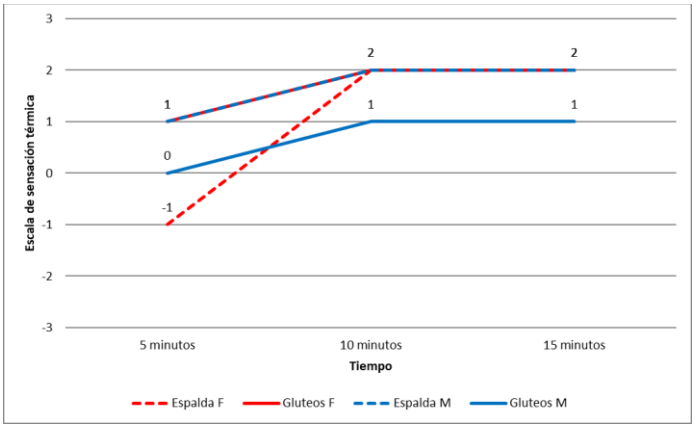


Figura 10. Valoración de sensación térmica durante las pruebas en silla tapizada con paño

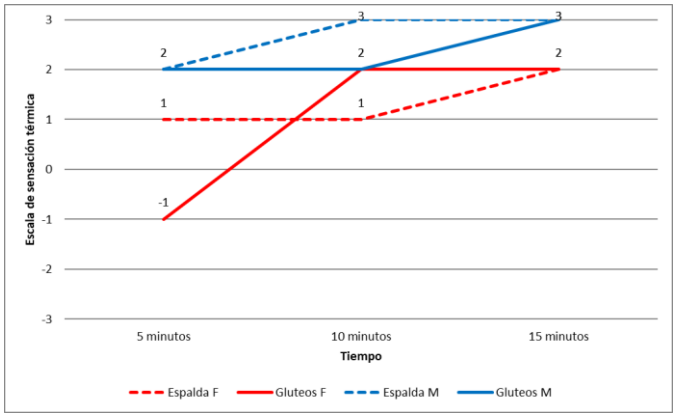


Figura 11. Valoración de sensación térmica durante las pruebas en silla tapizada con tela vinílica

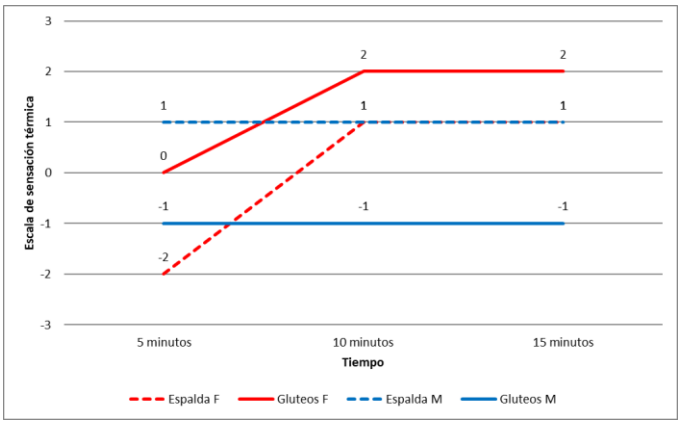


Figura 12. Valoración de sensación térmica durante las pruebas en silla con malla

Conclusiones

Las mediciones de temperatura efectuadas por medio de la TI muestran que el material del tapizado de las sillas tiene una relación directa con la velocidad y la intensidad con que se calientan las superficies donde hay contacto con el cuerpo, en este caso, asiento y espaldar. Esta propiedad del material afecta directamente la percepción de sensación térmica del usuario. En el caso de los tres materiales de recubrimiento de las superficies que se tuvieron en cuenta durante las pruebas, la TI permite monitorear la velocidad con la que gradualmente cambia la temperatura de los materiales. Se observó en todos los casos que partiendo de una temperatura entre 16 y 18°C, en los primeros 5 minutos, los tapizados de paño y tela vinílica tienen un incremento similar entre 5 y 6°C tanto en el asiento como en el espaldar. Este valor se continúa incrementando hasta los 15 minutos de prueba, pero en una menor proporción (entre 1 y 2°C). En el caso de la silla construida en malla sintética, se observa un incremento más gradual, equivalente a aproximadamente 3° cada 5 minutos, y estabilizándose a partir del minuto 10. En todos los casos, esta silla presentó los menores valores al terminar el periodo de prueba.

Al comparar el material de la silla, con la respectiva valoración subjetiva de la sensación térmica, se advierte un comportamiento similar de los datos, observando por lo general un incremento a partir del minuto 5, que se estabiliza al llegar el minuto 10. Con respecto a la puntuación en la escala de sensación térmica, la silla tapizada con tela vinílica presentó los mayores valores de la escala, a partir del minuto 10 (caluroso). La

silla que mantuvo los menores valores fue la elaborada en malla, estando en las primeras valoraciones en niveles bajos de la escala (fresco), ascendiendo hasta valores cercanos al neutro. Durante la aplicación de este cuestionario, se observó que las personas proporcionan una información general sobre su estado, y en ocasiones poco definida. Por ejemplo, la diferencia entre los estados de "ligeramente fresco" y "ligeramente tibio" no fue muy clara entre los participantes. Adicionalmente, la valoración de este tipo de escalas se ve influenciada por aspectos individuales como el estado de salud, la procedencia, la tolerancia individual a cambios extremos de la temperatura, la actividad física previa, las características de la ropa, entre otros.

Este trabajo muestra el potencial de la TI para estimar la sensación térmica percibida por una persona al utilizar una silla, de forma cuantitativa. Adicionalmente, permite identificar zonas específicas, en este caso del asiento y espaldar, en las que se observan los mayores cambios en la temperatura, tal como se ve en las figuras 3, 4 y 5, lo que se constituye en una herramienta valiosa en los procesos de diseño del producto, en la toma de decisiones frente a la forma, el material y la textura.

Agradecimientos

Agradecemos al Laboratorio de Pruebas de Producto y Usabilidad del Departamento de Diseño, y a los estudiantes Laura Camila Torres Flórez, Lina María Espinosa Montoya y Cristian Mateo Prada Tovar de la carrera de Diseño Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, por la colaboración prestada durante el desarrollo de este trabajo.

Referencias bibliográficas

(1) Mondelo P, Gregori E, Comas S, Castejón E, Bartolomé E. Ergonomía 2. Confort y estrés térmico. México: Alfaomega grupo editor; 2001. 209 p.

(2) ANSI-ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy - Standard 55-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).; 2004. 30 p.

(3) Farrer F, Minaya G, Niño J, Ruiz M. Manual de Ergonomía. 2a edición. Madrid: Editorial MAPFRE; 1997. 620 p.

(4) ISO. ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment: Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Ginebra: International Organization for Standardization; 1995. 18 p.

(5) Pasut W, Zhang H, Kaam Z, Zhai Y. Effect of a heated and cooled office chair on thermal comfort. HVAC&R Res [Internet]. 2013;19(August 2015):574–583. Available from: http://www.tempronics.com/p_graphics/CBEThermalComfortFinalSeptember 2012.pdf

(6) Morales M, Medina E, Carnevali A, Orzco E. Termografía infrarroja y el estudio de riesgos de lesiones músculo esqueléticas. Ing Ind. 2011;10(1):55–67.

(7) Fernández-Cuevas I, Bouzas Marins JC, Arnáiz Lastras J, Gómez Carmona PM, Piñonosa Cano S, García-Concepción MÁ, et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. Infrared Phys Technol. 2015;71:28–55.

(8) FLIR. What is Infrared? [Internet]. 2016 [cited 2016 Jun 10]. Available from: http://www.flir.com/about/display/?id=41536

(9) Sales RBC, Pereira RR, Aguilar MTP, Cardoso AV. Thermal comfort of seats as visualized by infrared thermography. Appl Ergon [Internet]. 2017;62:142–9. Available from:

http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003687017300625