

Jornadas de Automática

Metodología computacional para la estimación de temperaturas medias radiantes en interiores ocupados

Antonio Adán^{a,*}, Santiago Salamanca^b, Víctor J. Pérez^c, Joaquín Fuentes-del-Burgo^c, Eduardo Adán^a

^a Grupo SORO&3DCV, Dpto de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones, Universidad de Castilla-La Mancha. España.

^b Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática, Universidad de Extremadura

^c Dpto. de Ingeniería Civil y de la Edificación, Universidad de Castilla-La Mancha, España.

To cite this article: A. Adán, S. Salamanca, V.J. Pérez, J. Fuentes-del-Burgo, E. Adán. Computational Methodology for Estimating Mean Radiant Temperatures in Occupied Indoor Environments. Jornadas de Automática, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13702>

Resumen

El confort térmico es uno de los conceptos más importantes para garantizar la aceptación y el buen desarrollo de actividades por humanos en espacios de interior. El presente artículo trata el problema del cálculo automático de la temperatura radiante en un interior de un edificio como el factor más importante para determinar de forma empírica el confort térmico. La metodología presentada parte de la información proporcionada por un sistema de escaneado térmico omnidireccional, que es posteriormente procesada hasta obtener el deseado valor de la Temperatura Radiante Media (MRT). El artículo presenta la definición formal de MRT, las fases del procesamiento seguido y los resultados obtenidos en dos sesiones en las que se ha escaneado una sala ocupada por un número reducido de trabajadores. Los resultados indican que este método automático puede proporcionar ventajas en la rapidez, precisión e información de la escena frente a métodos manuales de cálculo.

Palabras clave: Automatización de edificios, Modelado e identificación de sistemas ambientales, Integración multifuente de datos ambientales, Fusión de información y sensores, Percepción y sensorización.

Computational Methodology for Estimating Mean Radiant Temperatures in Occupied Indoor Environments

Abstract

Thermal comfort is one of the most important concepts for ensuring human acceptance and the proper development of activities in indoor environments. This article addresses the problem of automatically calculating radiant temperature inside a building as the most important factor for empirically determining thermal comfort. The presented methodology is based on information provided by an omnidirectional thermal scanning system, which is subsequently processed to obtain the desired value of the Mean Radiant Temperature (MRT). The article presents the formal definition of MRT, the processing stages followed, and the results obtained from two sessions in which a room occupied by a small number of workers was scanned. The results indicate that this automatic method can provide advantages in terms of speed, accuracy, and scene information compared with manual calculation methods.

Keywords: Building Automation, Modeling and identification of environmental systems, Multi source environmental data integration, Information and sensor fusion, Perception and sensing.

1. Introducción

En la sociedad actual las personas pasan más del 80% de su tiempo en el interior de edificios, convirtiendo así al ambiente interno en un parámetro que afecta a la sensación

térmica y el bienestar general de los ocupantes (Tian et al., 2026). El confort térmico, entendido como la percepción que tiene un individuo de su entorno térmico (Biswas et al., 2025), se puede considerar como una de las métricas físicas más directas para evaluar la satisfacción de los ocupantes con los

*Antonio.Adan@uclm.es

ambientes interiores, y está relacionado con la salud, el bienestar y la productividad de los ocupantes (Li et al., 2023; Chen et al., 2025).

En la estimación de este confort térmico se realizan medidas subjetivas de temperatura y humedad percibidas por la piel, el cuerpo central y el esfuerzo fisiológico requerido para mantener el equilibrio térmico (Biswas et al., 2025). También se emplean métodos de evaluación basados en el empleo de cuestionarios subjetivos que, junto a mediciones fisiológicas, proporcionan información tanto subjetiva como objetiva (Li et al., 2023). Uno de los métodos de estimación más empleados es el del voto medio previsto (*Predicted Mean Vote* - PMV), desarrollado a partir de la ecuación de equilibrio térmico del cuerpo humano. Este está basado en seis factores que pueden afectar a la sensación térmica y el confort de una persona como son factores ambientales (la temperatura del aire, la temperatura radiante media (MRT), la velocidad del aire y la humedad relativa), y factores personales (la tasa metabólica y el aislamiento de la ropa) (Li et al., 2018; Pavlin et al., 2019; Wang et al., 2023).

Sin embargo, existen métodos de estimación objetivos del mismo PMV, y por ende del confort humano, que han sido implementados en programas informáticos, como es el recogido en el anexo de la UNE-EN ISO 7730, el cual realiza el cálculo de estimación del PMV (AENOR, 2006) a través de la Temperatura Radiante Media (MRT). Por lo tanto, este parámetro resulta ser crucial para evaluar el impacto de las superficies radiantes en el cuerpo humano (Chen et al., 2024) y, por tanto, para medir del confort humano. También existen otras herramientas que simulan la variación de la temperatura radiante media en ambientes interiores, como el ASHRAE Radiant Performance Explorer 1383 integrado con EnergyPlus (Guo et al., 2020).

En este entorno, el cálculo automático de la simulación explícita de MRT a partir de nubes de puntos térmicas no se ha realizado actualmente. Tan solo existen trabajos que describen procedimientos meramente manuales basado en la medición aproximada del llamado Factor de Forma, cuyo significado se explica en la sección siguiente.

El artículo presentado tiene como objetivo automatizar el cálculo de las Temperaturas Medias Radiantes existentes en interiores de edificios mediante un procesado de una nube térmica previamente obtenida. El procesado de dicha nube térmica proporcionará todos los parámetros necesarios para su cálculo. La metodología seguida es original y representa la primera solución publicada de cálculo de MRT, evitando las tediosas e imprecisas soluciones manuales empleadas hasta ahora.

2. Temperatura radiante. Automatización del cálculo de temperatura radiante.

2.1 Formulación de una técnica empírica de cálculo de MRT a través del Factor de Forma (FDF)

La Temperatura Radiante se define como la temperatura media de las temperaturas de la superficie circundante ponderado de acuerdo con la magnitud de los respectivos FDF y permite, como se ha indicado anteriormente, predecir con mayor precisión el confort térmico en una ubicación particular dentro de una escena de interior.

Formalmente, el valor de MRT en un punto de la escena puede ser calculado de forma empírica mediante la ecuación (1), donde $A_1, A_2, \dots, A_n$, y $T_1, T_2, \dots, T_n$ son las áreas y temperaturas medias de los paramentos; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ son sus respectivas emisividades, y $F_1, F_2, \dots, F_n$ son los Factores de Forma en el punto deseado (Bigladder, 2025).

$$MRT = \frac{T_1 F_1 \varepsilon_1 A_1 + T_2 F_2 \varepsilon_2 A_2 + \dots + T_n F_n \varepsilon_n A_n}{F_1 \varepsilon_1 A_1 + F_2 \varepsilon_2 A_2 + \dots + F_n \varepsilon_n A_n} \quad (1)$$

Las áreas, temperaturas y emisividades de los paramentos son fácilmente calculados o medibles en un caso real. Sin embargo, el cálculo de valores de FDF debidos a cada paramento es realizado actualmente de forma manual utilizando software comercial. Hay que decir que el Factor de Forma es un concepto puramente geométrico independiente de las propiedades de la superficie y de la temperatura.

Siguiendo la formulación de Cengel (Cengel, 2011), FDF de una superficie i -ésima hacia una superficie j -ésima, denotada como $F_{i \rightarrow j}$, se define como la fracción de la radiación que sale de la superficie i -ésima e incide contra la superficie j -ésima. La ecuación (2) sintetiza la expresión general que permite calcular FDF para dos superficies diferenciales, dA_1 y dA_2 , orientadas de manera arbitraria (ver Figura 1), denotada aquí como $dF_{dA_1 \rightarrow dA_2}$. Esta ecuación calcula qué fracción de la radiación total emitida por dA_1 alcanza directamente la superficie dA_2 .

$$dF_{dA_1 \rightarrow dA_2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_2 \quad (2)$$

Adaptando la ecuación (2) a un caso en el que se considera que la superficie radiante es un paramento (pared, suelo o techo) que radia como una superficie finita A_1 , la evaluación de la radiación recibida por un elemento diferencial de la persona dA_2 (que situaremos en el centro de gravedad aproximado de su cabeza), se calcula mediante el factor recíproco $F_{dA_2 \rightarrow A_1}$, que, a la postre, representa la fracción del campo visual radiativo en dA_2 proporcionada por el paramento de área A_1 . La ecuación (3) proporciona el valor de FDF explicado.

$$F_{dA_2 \rightarrow A_1} = \int_{A_1} dF_{dA_2 \rightarrow dA_1} = \int_{A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 \quad (3)$$

Considerando representado el espacio circundante de una persona por una esfera con origen en el centro de gravedad de la cabeza del individuo, se trata de implementar un algoritmo que proporcione la fracción de la esfera que proviene de cada uno de los paramentos radiantes.

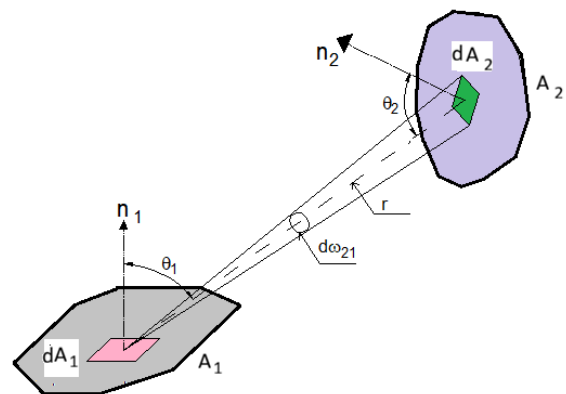


Figura 1. Configuración geométrica para la determinación del Factor de Forma entre dos superficies.

2.2. Algoritmo de procesamiento

El algoritmo para calcular el valor de MRT consta de dos partes que podemos identificar con los nombres Segmentación Semántica y Proyección de Radiación. Segmentación semántica se refiere a diferentes procedimientos por los que se obtienen sub-nubes de puntos térmicas con significado semántico, tales como #pared1, #suelo o #personal. Proyección de radiación implica básicamente un procedimiento de proyección de rayos desde los paramentos a un punto de la escena, para calcular finalmente el valor FDF. Finalmente, la MTR es calculada según la ecuación (1).

Segmentación Semántica

La nube térmica original N es un conjunto masivo de puntos desorganizados caracterizados por sus coordenadas espaciales, el valor de las componentes RGB de color y un valor de temperatura asignado en °C, obtenida mediante una plataforma de escaneo térmico (Adán, 2023). Los pasos esenciales del proceso que lleva a la obtención de los segmentos semánticos son los siguientes:

- (1) Segmentación de elementos de contorno. La nube original es primeramente regularizada en densidad de puntos. A continuación, se realiza la segmentación de puntos interiores y de contorno de la sala interior. En esta fase se realiza un estudio de máximos locales en funciones de distribución de las principales normales existentes.
- (2) Segmentación de paramentos. El objetivo es determinar nubes de puntos de suelo, techo y paredes sobre la nube de contorno. Para ello se han utilizado técnicas basadas en MLSAC (Torr and Zisserman, 2000).
- (3) Segmentación y etiquetado de humanos. Siguiendo la bibliografía existente (Lee et al., 2019), se fija un rango umbral de temperaturas captadas por cámaras infrarrojas y se realiza, primero, una umbralización directa por temperatura y, segundo, el algoritmo de agrupamiento DBSCAN (Ester, 1996) para obtener nubes de puntos de cada humano presente en la sala.

Proyección de Radiación

La proyección de radiación, como se ha explicado en la sección 1, se refiere finalmente al cálculo FDF, o dicho de otra forma, al cálculo de fracción de una esfera con origen en el centro de gravedad de la cabeza del individuo que corresponde a cada uno de los paramentos existentes. Este algoritmo tiene dos fases:

- (1) Aproximación de la nube de puntos de la cabeza de un humano a una esfera y cálculo de los centroides. Para ello se aplica un algoritmo RANSAC iterativo estándar, en el que se usan cuatro puntos aleatorios para calcular una esfera y sobre la que se determina el número de puntos interiores (*inliers* en nomenclatura anglosajona), que son los que están a una distancia del centro igual al radio con una tolerancia preestablecida por un umbral. A esto se le añaden dos restricciones adicionales sobre un posicionamiento normal de individuo (de pie o sentado) y el tamaño de la cabeza humana.

- (2) Cálculo de los FDF. En esta fase se discretiza la esfera y se lleva a cabo un algoritmo de intersección de rayos desde el centro de la esfera a los distintos paramentos. Notar que los rayos son mandados a los puntos visibles de los paramentos desde la posición del escáner, por lo que no se consideran oclusiones ni obstáculos. Es un algoritmo de intersección rayo-caja basado en slabs (Williams, 2005). Así, la esfera discretizada queda dividida en secciones de radiación. La Figura 2 muestra una representación gráfica de la salida de este algoritmo.

Calculados los valores de FDF, las áreas de los paramentos existentes, las temperaturas medias de los puntos proyectados de cada paramento, la ecuación (1) nos proporciona el valor de la Temperatura Radiante Media para cada persona.

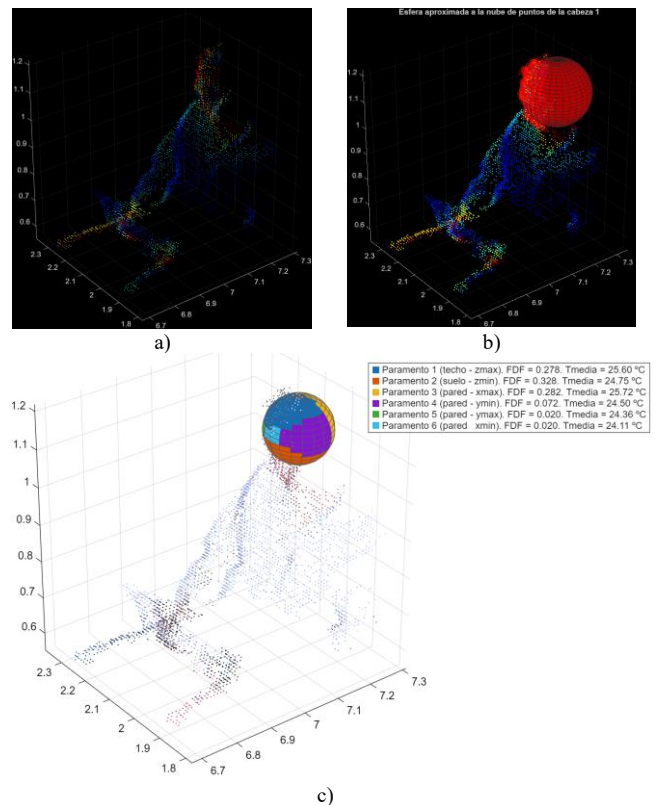


Figura 2: (a) Nube de puntos de una persona. (b) Aproximación de una esfera mediante RANSAC con condiciones adicionales. (c) Representación de la esfera que aproxima la cabeza, con código de color según el paramento asociado a cada punto de su superficie. En la leyenda se muestran, para cada paramento, su factor de forma (FDF) y la temperatura media del paramento correspondiente.

3. Resultados

La experimentación del método de cálculo de la Temperatura Radiante se ha llevado a cabo en una sala de oficina tomando escaneos térmicos en dos sesiones realizadas con un intervalo de 30 días entre los meses de mayo y junio de 2025. En estas sesiones hubo 5 y 8 trabajadores respectivamente. Se reconocieron 13 verdaderos positivos y un único falso positivo, en concreto una parte de una mesa que fue reconocido como persona. Por otra parte, no se detectó ningún caso de verdadero negativo (es decir alguien que fuera persona y no fuera reconocido como tal). En la toma de datos, el escáner térmico se situó en el centro de la sala, obteniendo una nube térmica regularizada de 1 millón de puntos y

cubriendo la práctica totalidad del espacio visible desde esa posición.

Las temperaturas ambientales y humedad relativa del aire en los días y horas de la experimentación fueron de 21.60 °C y 25.1 °C, y 25.1% y 44.2 %, respectivamente. Esto significa que existió una variación significativa en estos valores para cada sesión. Por su parte, al analizar las temperaturas medias de los paramentos visualizados en la Figura 3, se aprecia una variación superior a los 3 °C entre sesiones, lo que deberá influir en los valores finales de la Temperatura Media Radiante. Efectivamente, en la Figura 4, correspondiente a los valores de MTR en ambos casos de estudio se observa una clara diferencia que en promedio es de 22.32 °C y 24.78 °C, respectivamente. Esto supone, en media un aumento de MTR de 2.46 °C entre ambas sesiones.

Analizando los valores de MTR para cada una de las sesiones por separado, cabe resaltar que, en la primera sesión existe más diferencia de temperatura radiante entre las personas que están en la sala, alcanzando un valor de desviación típica de 0.66 °C, lo que repercutirá finalmente en el confort personal. Aunque en la segunda sesión también se aprecia una menor variabilidad, con desviación típica de 0.37 °C, también es significativo el cambio de radiación dependiendo de la posición relativa de cada persona en la sala.

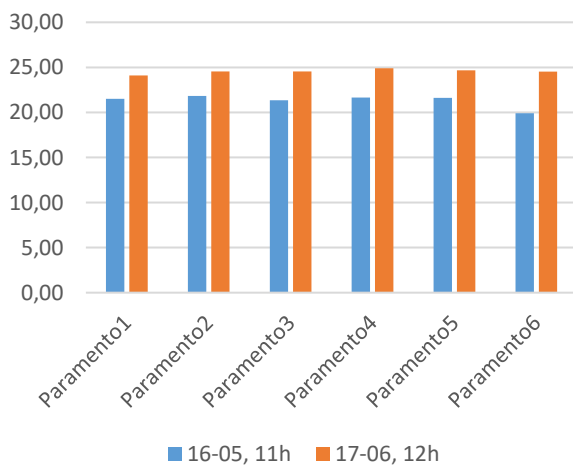


Figura 3. Temperaturas medias de los paramentos en los casos de estudio

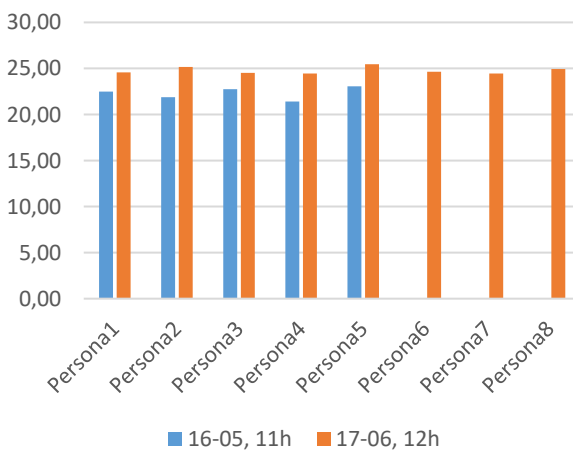
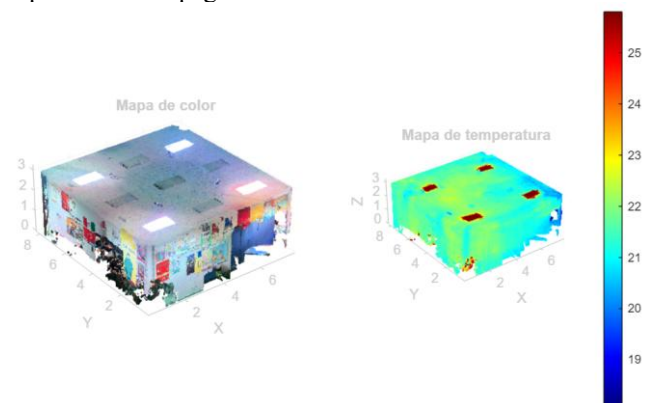


Figura 4. Valores calculados de MTR utilizando la ecuación (1)

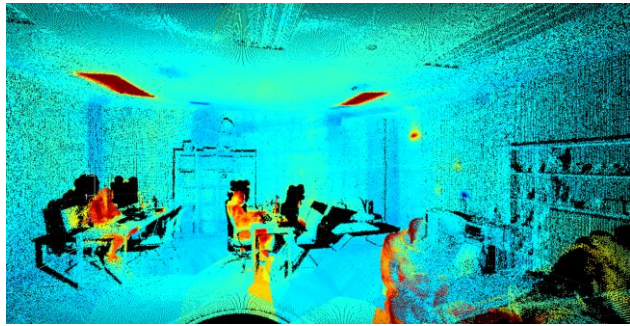
Tabla 1. Temperatura Media Radiante MRT calculada para cada persona presente en la sala

Sesión/ Persona	16/05 11h	17/06 12h
#1	22.49	24.57
#2	21.89	25.17
#3	22.74	24.53
#4	21.41	24.46
#5	23.05	25.45
#6		24.64
#7		24.45
#8		24.94
Media	22.32	24.78
Desv.Std..	0.66	0.37

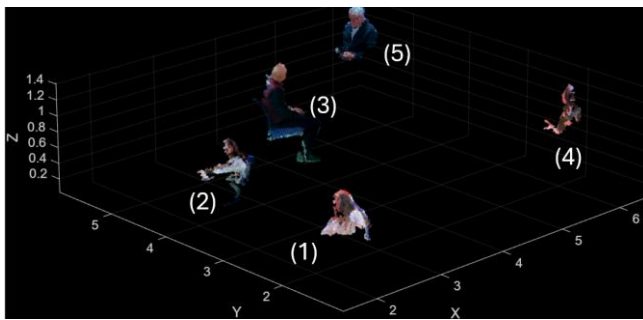
La Figura 5 ilustra los resultados del procesamiento durante la primera de las sesiones. En la Figura 5 a) se visualizan las nubes de puntos RGB y térmica desde el exterior, mientras que en b), se visualizan ambas nubes desde el interior. Se aprecian ligeras variaciones de temperatura en paramentos y altas temperaturas correspondientes a personas y luminarias. Las nubes de puntos de segmentos en el rango de temperaturas impuesto están pintadas en color amarillo. Después del algoritmo de agrupamiento se obtienen los segmentos de personas etiquetados mostrados en la Figura 5 c). Todos estos resultados corresponden a la fase de segmentación semántica explicada en la sección 2. En la Figura 5 d) se presentan las nubes correspondientes a cada uno de los grupos de puntos reconocidos como persona y, superpuesto, se muestra la partición de las esferas con los resultados de MRT. En e) se presentan los FDF de las 5 personas identificadas como personas recibiendo radiación de los 6 paramentos. Se aprecia, en cada color, la parte de la esfera correspondiente a la proyección de cada paramento. Notar que, los factores de forma (FDF), y por ende los valores de MRT, para cada persona varían debido a varios parámetros, como son la distancia a los paramentos, su área y la heterogeneidad térmica de los paramentos. En el ejemplo propuesto, la mayor variación de MRT se observa entre las personas (4) y (5). Aunque ambas están cerca del paramento de las ventanas, la persona (5) da la espalda a las ventanas y, además, existe heterogeneidad térmica, recibiendo mayormente radiación de un panel interior pegado a la ventana.



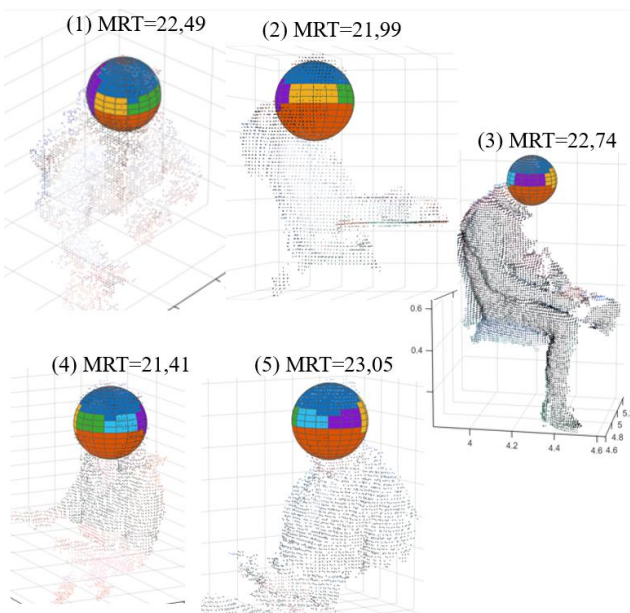
a)



b)



c)



d)

(1)	Surface element 1. FDF = 0.305. Tsurf = 22.15 °C
	Surface element 2. FDF = 0.367. Tsurf = 23.28 °C
	Surface element 3. FDF = 0.022. Tsurf = 20.87 °C
	Surface element 4. FDF = 0.163. Tsurf = 21.97 °C
	Surface element 5. FDF = 0.028. Tsurf = 22.00 °C
	Surface element 6. FDF = 0.115. Tsurf = 19.71 °C
(2)	Surface element 1. FDF = 0.347. Tsurf = 21.94 °C
	Surface element 2. FDF = 0.407. Tsurf = 22.10 °C
	Surface element 3. FDF = 0.030. Tsurf = 21.20 °C
	Surface element 4. FDF = 0.045. Tsurf = 21.79 °C
	Surface element 5. FDF = 0.040. Tsurf = 21.75 °C
	Surface element 6. FDF = 0.130. Tsurf = 20.12 °C
(3)	Surface element 1. FDF = 0.362. Tsurf = 23.87 °C
	Surface element 2. FDF = 0.410. Tsurf = 22.02 °C
	Surface element 3. FDF = 0.058. Tsurf = 21.60 °C
	Surface element 4. FDF = 0.030. Tsurf = 21.86 °C
	Surface element 5. FDF = 0.087. Tsurf = 21.86 °C
	Surface element 6. FDF = 0.052. Tsurf = 20.46 °C
(4)	Surface element 1. FDF = 0.333. Tsurf = 20.85 °C
	Surface element 2. FDF = 0.390. Tsurf = 21.91 °C
	Surface element 3. FDF = 0.133. Tsurf = 21.14 °C
	Surface element 4. FDF = 0.095. Tsurf = 21.87 °C
	Surface element 5. FDF = 0.022. Tsurf = 21.87 °C
	Surface element 6. FDF = 0.028. Tsurf = 20.19 °C
(5)	Surface element 1. FDF = 0.333. Tsurf = 21.92 °C
	Surface element 2. FDF = 0.375. Tsurf = 24.44 °C
	Surface element 3. FDF = 0.138. Tsurf = 22.01 °C
	Surface element 4. FDF = 0.020. Tsurf = 21.72 °C
	Surface element 5. FDF = 0.107. Tsurf = 21.86 °C
	Surface element 6. FDF = 0.028. Tsurf = 20.49 °C

e)

Figura 5. Resultados del método en una de las sesiones llevadas a cabo. a) Visión externa de las nubes de puntos RGB y térmica. b) Visión desde el interior de la nube térmica y segmentación de personas. c) Reconocimiento de las cinco personas en la sala. d) Representación de la partición de las esferas utilizadas para el cálculo de los FDF y resultados de MRT. e) Valores de FDF y temperaturas medias de paramentos.

4. Conclusiones

La automatización del cálculo de la Temperatura Radiante Media mediante procesamiento de nubes de puntos térmicos nos encamina a mejorar las predicciones de confort de humanos en interiores al proporcionar un conocimiento amplio y preciso de los parámetros del entorno. Por una parte, se evitan los tediosos procesos manuales que deben acometerse con la ayuda de software comercial para calcular los Factores de Forma de manera automática. Por otra, se proporcionan valores de temperatura más precisos en la ecuación (1) al tratar con temperaturas discretas en los paramentos.

Aunque el procedimiento propuesto ha sido experimentado con éxito en dos casos de estudio sobre la misma sala, no se puede asegurar que la versión actual sea generalizable a toda la tipología de entornos interiores ocupados. La investigación futura esta precisamente orientada a generalizar el método en tres sentidos. En primer lugar, se trabajará en extender la tipología de la geometría del entorno, considerando plantas no rectangulares, con un número mayor de paramentos. En segundo lugar, se pretende mejorar el método de reconocimiento de personas a casos más complejos, como son aulas de estudiantes o salas de conferencias, con un número elevado de personas. Por último, en el futuro se experimentará en interiores con significativos gradientes térmicos entre paramentos, con el objetivo de contrastar mejor los resultados de confort expresados por los humanos con los calculados por el procedimiento automático.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos PID2022-141275OB-C21 (CIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE) y SBPLY23180225000113, cofinanciados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Referencias

- Adán A., López-Rey A., Ramon A. (2023). Robot for thermal monitoring of buildings. *Automation in Construction* 154, 105009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105009>
- AENOR (2006). UNE-EN ISO 7730. Ergonomía del 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 (ISO 7730: 2005). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). MADRID (España).
- Bigladder Software (s.f.). Occupant Thermal Comfort. Engineering Reference — EnergyPlus 9.3. Consultado el 20-6-2025 en <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-3/engineering-reference/occupant-thermal-comfort.html>
- Biswas, B. K., Ishii, K., Okamoto, K., Watanabe, Y., Li, J., Tan, Y., ... & Wakabayashi, H. (2025). Investigating real-time thermal sensation predictions using predicted mean vote and local skin temperature analysis via infrared thermography as a nonintrusive tool. *Energy and Buildings*, 338, 115763. DOI: [10.1016/j.enbuild.2025.115763](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115763).
- Cengel, Y.A. & Ghajar, A.J. (2011). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*. 4ª Ed. McGraw-Hill.
- Chen, Y., He, Y., & Li, N. (2024). A novel model for calculating human-body angle factor in radiant heat transfer: Balancing computation accuracy and speed. *Buildings*, 14(2), 366. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14020366>.
- Chen, M., Risto, K., & Simo, K. (2025, June). Facial skin temperature as an indicator of thermal comfort in older adults: an infrared thermography study. In *REHVA HVAC World Congress* (pp. 841-850). Cham: Springer Nature Switzerland. DOI: [10.1007/978-3-032-06810-1_85](https://doi.org/10.1007/978-3-032-06810-1_85).
- Guo, H., Ferrara, M., Coleman, J., Loyola, M., & Meggers, F. (2020). Simulation and measurement of air temperatures and mean radiant temperatures in a radiantly heated indoor space. *Energy*, 193, 116369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116369>.
- Lee, C.M., Jin, S.P., Doh, E.J., Lee, D.H., & Chung, J.H. (2019) Regional Variation of Human Skin Surface Temperature. *Annals of Dermatology*;31(3):349–352. DOI: [10.5021/ad.2019.31.3.349](https://doi.org/10.5021/ad.2019.31.3.349).
- Li, D., Menassa, C. C., & Kamat, V. R. (2018). Non-intrusive interpretation of human thermal comfort through analysis of facial infrared thermography. *Energy and Buildings*, 176, 246-261. DOI: [10.1016/j.enbuild.2018.07.025](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.025).
- Li, Z., Zhang, Z., Xia, L., & Sun, J. (2023, December). Thermal comfort evaluation method using facial thermal imaging. In *International Conference on Computer Science and its Applications and the International Conference on Ubiquitous Information Technologies and Applications* (pp. 235-239). Singapore: Springer Nature Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-2447-5_36.
- Pavlin, B., Pernigotto, G., Cappelletti, F., Bison, P., Vidoni, R., & Gasparella, A. (2017). Real-time monitoring of occupants' thermal comfort through infrared imaging: A preliminary study. *Buildings*, 7(1), 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings7010010>.
- Tian, M., Zhou, S., Xu, X., Li, R., Li, H. & Yuan, L. (2026). Non-invasive thermal sensation prediction using infrared thermography under fan-assisted air conditioning and natural ventilation. *Building and Environment*, 114599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2026.114599>.
- Torr, P H. S. & Zisserman, A. (2019). MLESAC: A New Robust Estimator with Application to Estimating Image Geometry, *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 78, no. 1, pp. 138–156. <https://doi.org/10.1006/cviu.1999.0832>.
- Wang, Z., Matsushashi, R., & Onodera, H. (2023). Intrusive and non-intrusive early warning systems for thermal discomfort by analysis of body surface temperature. *Applied Energy*, 329, 120283. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120283>.
- Williams, A., Barrus, S., Morley, R. K., & Shirley, P. (2005). An efficient and robust ray-box intersection algorithm. *Journal of Graphics Tools*, 10(1), 49–54. DOI: <https://doi.org/10.1145/1198555.1198748>.