

05-013

APPLICATION OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR THE ASSESSMENT OF THE OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN A BUILDING ENVELOPE SITUATED IN VALENCIA.

Cañada Soriano, Mar ⁽¹⁾; Vilar Abad, Alejandro ⁽¹⁾; Aparicio Fernández, Carola ⁽¹⁾; Ferrer Gisbert, Pablo S. ⁽¹⁾; Vivancos, José Luis ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València

In many cases, the information about thermal characteristics of existing buildings is not available and therefore thermal properties of the envelope materials are unknown. In recent years, infrared thermography (IRT) has been applied to assess thermal parameters of buildings, such as the overall heat transfer coefficient (U-value), which is a parameter of paramount importance to evaluate the thermal performance of the building. In this work, the infrared thermography has been applied to assess the U-value of a building envelope situated in Valencia. The aim is to analyze the influence some factors have on the U-value, such as the façade orientation or the duration of the measurement procedure (in order to reach quasi-steady state conditions). Finally, implementing the technique in thermal simulation models in order to achieve accurate results about the thermal behaviour of buildings is intended.

Keywords: U-value; infrared; thermography; thermal efficiency; buildings; envelope.

APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR EN UN EDIFICIO.

En muchas ocasiones, la documentación relativa a los elementos constructivos de edificios existentes no está disponible y se desconocen las características térmicas de los materiales que componen la envolvente. En los últimos años se ha empleado la termografía infrarroja (TIR) para cuantificar parámetros térmicos de la fachada, como el coeficiente global de transmisión de calor (U), un parámetro clave para evaluar la calidad térmica de un edificio. En este trabajo se aplica la termografía infrarroja para cuantificar el coeficiente global de transmisión de calor en la envolvente de un edificio localizado en Valencia. El objetivo es analizar la influencia que tienen sobre el parámetro U factores como la orientación o duración del ensayo para alcanzar condiciones cuasi-estacionarias. Finalmente se pretende implementar la técnica en modelos de simulación térmica para lograr resultados más precisos acerca del comportamiento térmico de los edificios.

Palabras claves: U; Infrarroja; Termografía, eficiencia energética, edificios, fachada.

Correspondencia: José Luis Vivancos Bono jvivanco@dpi.upv.es

Agradecimientos: Esta comunicación se enmarca dentro del proyecto “Nuevas Metodologías en el Análisis del Confort Térmico y la Eficiencia Energética en Edificios con Modelos 5d (PID2019-108271RB-C33)”, financiado por la Agencia Estatal de Investigación.



1. Introducción

En la mayoría de los países europeos, el consumo en los edificios residenciales supone alrededor del 40% del consumo de la energía primaria y en concreto, los edificios ya existentes son sobre los que hay que prestar más atención ya que en su gran mayoría fueron construidos antes de la aparición de la reglamentación de eficiencia energética. La reducción del consumo de calefacción es, por tanto, un objetivo prioritario a la hora de acometer un proceso de rehabilitación y una de las estrategias para reducir la demanda de calefacción radica en reducir las pérdidas energéticas que se producen a través de los cerramientos. Por este motivo, la rehabilitación de edificios existentes presenta un gran potencial de mejora, constituyendo una actividad económica muy importante durante los próximos años.

Por otro lado, la obtención automática de modelos 3D de edificios mediante escáner es una técnica bastante desarrollada que ha cobrado interés con el auge más reciente de la implantación de los modelos BIM (Building Information Modelling) en el ámbito de la arquitectura e ingeniería. Así, la obtención automatizada de modelos de 3D de edificios no sólo geométricos sino también térmicos puede presentar ventajas significantes. Para ello, se ha pensado en incorporar la termografía infrarroja (TIR) realizada sobre los cerramientos interiores del edificio al modelo, de manera que resulte posible navegar por el mismo visualizando así el comportamiento térmico de las distintas zonas, salas o cerramientos. En este aspecto, se podría llevar a cabo un análisis tanto cualitativo, para la detección de puentes térmicos, humedades, infiltraciones, como cuantitativo, para determinar temperaturas superficiales y con ello obtener parámetros como la transmitancia térmica U [W/m^2K].

Se ha demostrado que la pérdida de calor a través de los cerramientos es uno de los factores principales que afectan a la demanda energética de un edificio y para caracterizar el comportamiento de la envolvente se evalúa la transmitancia térmica de un cerramiento, que se define como la cantidad de calor que lo atraviesa por unidad de tiempo y superficie cuando existe una diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. Para conseguir que una envolvente minimice las pérdidas de calor a través de ella, se deben emplear materiales de baja conductividad térmica resultando en valores bajos de transmitancias térmicas de la envolvente. Para determinar el parámetro de la transmitancia térmica se pueden aplicar métodos experimentales o se puede obtener mediante el método teórico. El método teórico se basa en la ISO 6946:2007 (International Organization for Standardization 2007), obteniendo el valor de U a partir de la estimación de la configuración constructiva de los cerramientos a través de los valores de espesor y conductividad térmica de cada capa del cerramiento, así como a partir de las resistencias térmicas superficiales de sus caras interiores y exteriores. Aunque el cálculo mediante este método es sencillo y no se deben llevar a cabo ensayos in-situ, los resultados suelen ser bastante imprecisos. En muchos casos se desconocen las propiedades exactas de los materiales empleados en la solución constructiva ya que no se dispone de la información técnica (Evangelisti et al. 2015) y, además, puede que las conductividades térmicas consideradas difieran de las reales como resultado de modificaciones debidas a cambios bruscos continuados de temperatura o humedad (Khoukhi et al. 2019). Los métodos experimentales, por su parte, estiman el valor de U mediante parámetros determinados de forma experimental. Existen diferentes métodos experimentales como el del medidor de flujo (HFM), el de caja caliente (SHB-HFM), la termometría o la termografía infrarroja (TIR). En un estudio reciente (Bienvenido-huertas et al. 2019), se describen algunos de ellos. El método del medidor de flujo se basa en la ISO 9869-1 (International Organization for Standardization 2014) y consiste en medir el flujo de calor por conducción a través de la pared, así como las temperaturas de los entornos a cada lado ésta. Aunque se trata de un método no destructivo, los tiempos mínimos de ensayo requeridos son elevados (entre 72h y 1 semana) (Biddulph et al. 2014; Li et al. 2015). Además, pueden producirse incertidumbres debidas a que el flujo no sea unidimensional, que el contraste térmico entre el interior y el exterior sea insuficiente (Ficco et al. 2015) o que el contacto entre

el transductor que mide el flujo de calor y el cerramiento no sea adecuado (Meng et al. 2015). El método de caja caliente, por su lado, se basa en obtener la transmitancia térmica a partir de medidas realizadas sobre una probeta en situación de laboratorio controlada. La probeta se coloca entre dos cámaras climatizadas, una caliente y una fría de forma que exista una diferencia de temperaturas constante y cercana a 20°C, y se miden las temperaturas superficiales del entorno, así como la potencia suministrada a la cámara caliente. Las limitaciones que presenta este método radican en que, aun tratándose de un método experimental, no es aplicable a cerramientos reales, ya que las muestras que se ensayan deben tener unas dimensiones específicas y son de materiales conocidos (Meng et al. 2015). En la termometría, se miden las temperaturas superficiales y del aire mediante termopares. El principal inconveniente que presenta este método es la incertidumbre en la medida ya que éstas son muy localizadas y no son representativas de la zona analizada (Bienvenido-Huertas et al. 2018). Por último, el método de obtención de la U empleando la Termografía Infrarroja se basa en la medida de las temperaturas a partir de la energía térmica emitida por la superficie de los objetos. Medidas que se pueden realizar en el interior (Fokaides and Kalogirou 2011; Madding 2008; Tejedor et al. 2017) o en el exterior del edificio a analizar (Albatici, Tonelli, and Chiogna 2015; O, Sarto, and Panza 2013). Aunque para llevar a cabo este método, las condiciones de ensayo deben ser estacionarias, y existir una diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de alrededor de 10°C, se puede reducir la duración de los ensayos. Además, al trabajar a partir de radiación IR emitida por la superficie de los elementos, se puede disponer de una cantidad de información térmica mucho mayor.

Con todo, la elección del método dependerá de los equipos y materiales disponibles, de las condiciones medioambientales dominantes en el área de estudio, del tiempo disponible para llevar a cabo el ensayo, del acceso al edificio, de la posibilidad de colocar termopares o de la disponibilidad de documentación técnica u otra información del cerramiento.

En este estudio se han comparado los valores de transmitancia térmica calculados mediante el método teórico y mediante termografía infrarroja realizada desde el interior.

2. Caso de estudio

2.1 Descripción del cerramiento analizado

El cerramiento analizado se corresponde a una parte de la fachada este de un edificio situado en el campus de la Universitat Politècnica de València (UPV) inaugurado en diciembre del 2004 (Figura 1). Se trata de un edificio destinado al ocio y trabajo para el alumnado.

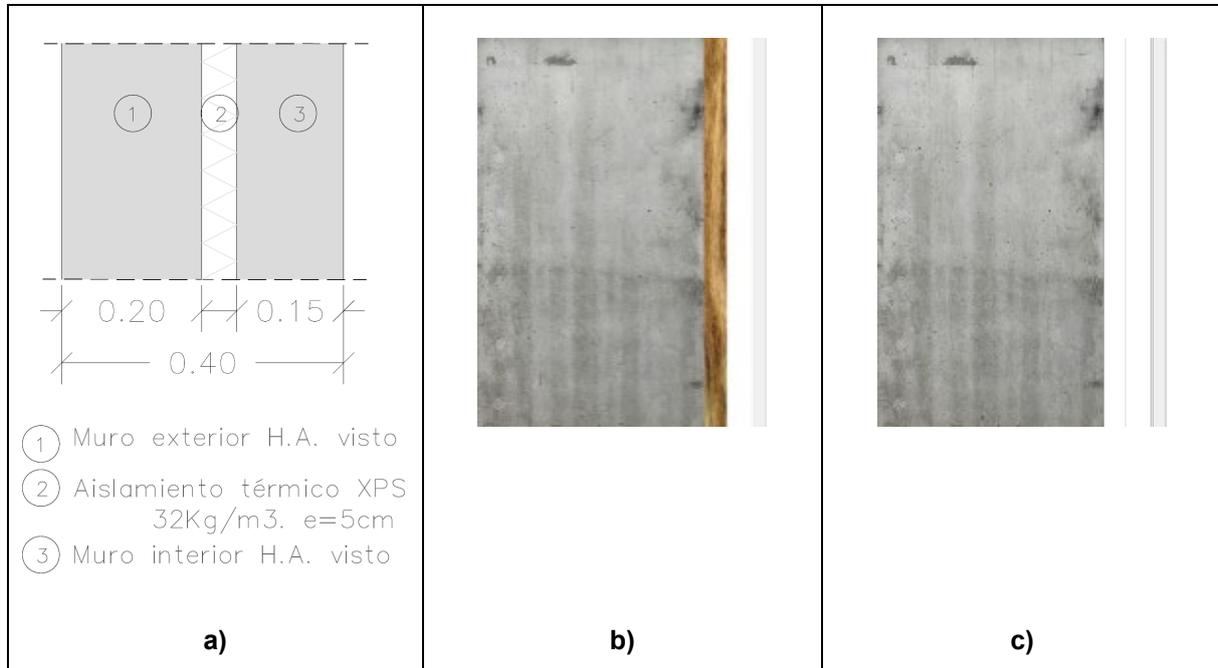
Figura 1. Cerramiento analizado.



La información de la que se parte son los planos donde se identifican los materiales que componen cada una de sus capas y los espesores de éstas (Figura 2), sin embargo, tras una

inspección visual y mediante termografía infrarroja cualitativa y la posterior consulta al director de obra, se dedujo que la solución constructiva real no correspondía con la descrita.

Figura 2. Sección constructiva a) de acuerdo con los planos disponibles, materiales y espesor de toda la zona analizada, b) la zona con aislamiento, c) considerada sin aislamiento térmico

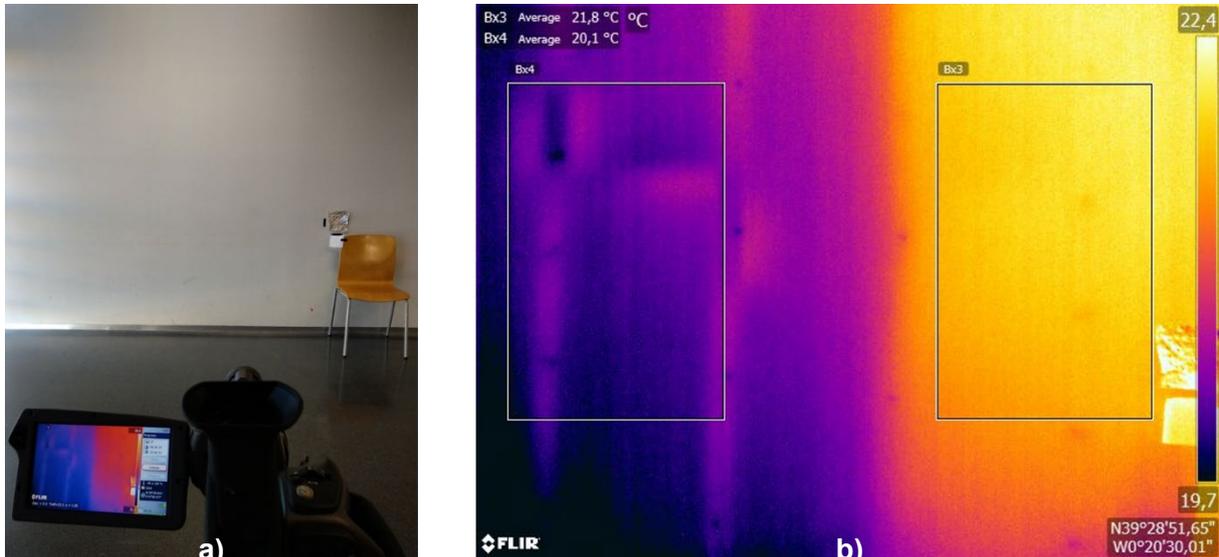


2.2 Descripción de los ensayos llevados a cabo mediante termografía infrarroja (TIR)

Los ensayos se llevaron a cabo durante los días 29 y 30 de diciembre de 2020, días en los que el cielo estuvo mayoritariamente cubierto y las temperaturas fueron bajas para el clima habitual de Valencia. El día anterior a la toma de medidas, se conectó el sistema de climatización del edificio, así como 2 equipos de calefacción portátiles adicionales de 1500 W para asegurar un contraste térmico entre el interior y el exterior del edificio suficiente. Como paso previo a la disposición del equipo termográfico en la sala a analizar, se llevó a cabo una inspección cualitativa con la que se pudo detectar un comportamiento térmico llamativo del cerramiento a analizar. Tal y como se aprecia en las imágenes mostradas en la figura 3, se identifican dos zonas con temperaturas superficiales distintas. Este comportamiento lo

podemos atribuir a la ausencia parcial o total de aislamiento en la zona izquierda de la imagen, con temperaturas superficiales menores.

Figura 3. Superficie interior analizada. a) Imagen general del montaje. b) Imagen IR con las dos zonas diferenciadas.



Debido a esta situación sobrevenida, se optó por realizar la medición en la parte del cerramiento que cubriera ambas zonas (sin aislamiento, con aislamiento) para poder comparar así los resultados. Cabe destacar, que debido a la situación actual provocada por la Covid-19, el edificio estaba cerrado al público y durante la realización de los ensayos no estaba ocupado.

Las medidas se realizan entre las 10:30 h del día 29 de diciembre y las 17:10 h del 30 de diciembre, tomando imágenes infrarrojas cada 30 min (62 imágenes). El equipo empleado para las medidas es una cámara infrarroja de onda larga FLIR SC 640 (Tabla 1).

Tabla 1. Características técnicas de la cámara infrarroja de onda larga FLIR SC 640 (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR)

Resolución	640 x 240 píxeles
Rango de temperaturas	-20°C a 120°C
Sensibilidad térmica (NETD)	< 30 mK
Instantaneous Field of View (IFOV)	0,65 mrad
precisión	± 2°C

Tal y como se muestra en las imágenes de la Figura 3, se emplean elementos adicionales para determinar la emisividad del cerramiento, la temperatura aparente reflejada, así como la temperatura del aire interior. De acuerdo con la UNE-EN ISO 6946:2012, se estima la emisividad de la pared de 0.9, empleando para ello la cinta eléctrica de emisividad conocida ($\epsilon = 0.95$). Para determinar la temperatura aparente reflejada, se emplea el papel de aluminio arrugado, situado en el mismo plano que el cerramiento analizar y cuyo objetivo es tener en

cuenta la radiación procedente de luminarias, convectores, dispositivos electrónicos, ocupación, etc., que puedan tener efecto sobre el elemento analizado. Sobre el papel situado también en el mismo plano se mide la temperatura del aire interior. Así, a través de todos estos elementos presentes en cada uno de los termogramas, se obtienen los parámetros instantáneos correspondientes a la temperatura superficial interior (T_{si}), temperatura del aire interior (T_i) y temperatura aparente reflejada (T_{refl}).

2.3 Cálculo de la U mediante el método teórico (según ISO 6946:2007)

Mediante el método teórico, que designaremos como MT, el valor de transmitancia térmica U se estima a través del espesor y conductividad térmica de cada material que conforma el cerramiento, así como a partir de las resistencias térmicas de las superficies internas y externas de éste. La ecuación que se emplea para su cálculo se muestra a continuación:

$$U \text{ [W/m}^2\text{K]} = \frac{1}{R_{\text{sup,ext}} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + R_{\text{sup,int}}} \quad (1)$$

Donde, $R_{\text{sup,ext}}$ y $R_{\text{sup,int}}$ [$\text{m}^2\text{K/W}$] son las resistencias térmicas de las superficies interiores y exteriores. Se determinan usando valores sugeridos en el método ISO 6946 (International Organization for Standardization 2007), siendo de 0,04 y 0,13 para la superficie exterior e interior respectivamente. El espesor y la conductividad térmica de cada capa del cerramiento se designan como e_i [m] y k_i [W/mK], siendo i la capa correspondiente.

2.4 Cálculo de la U mediante Termografía Infrarroja realizada desde el interior

En este caso se han analizado dos métodos que describimos a continuación. El primero de ellos se basa en el estudio realizado por (Tejedor et al. 2017) que designaremos como MTIR1. En él, la U se obtiene aplicando la ecuación 2:

$$U \text{ [W/m}^2\text{K]} = \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{refl}}^4 - T_{\text{sup,int}}^4) + h_c \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{sup,int}})}{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}} \quad (2)$$

Donde, T_{refl} , $T_{\text{sup,int}}$, T_{int} , T_{ext} [K] son la temperatura aparente reflejada, la temperatura superficial interior, y las temperaturas del aire interior y exterior respectivamente. La emisividad del cerramiento es ε [-], y σ , la constante de Stefan-Boltzmann cuyo valor es de $5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴. Por último, el coeficiente de convección h_c [W/m²K] se obtiene aplicando las correlaciones de convección para un cerramiento vertical (Tejedor et al. 2017).

Finalmente, se propone un segundo método (ec 3) que designaremos como MTIR2:

$$U \text{ [W/m}^2\text{K]} = \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{refl}}^4 - T_{\text{sup,int}}^4) + h_{\text{int}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{sup,int}})}{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}} \quad (3)$$

El único parámetro que se modifica con respecto al método anterior (MTIR1) es el coeficiente de convección interior h_{int} , asignándole un valor constante de 2.5 W/m²K de acuerdo con los valores propuestos en la ISO 6946 (International Organization for Standardization 2007).

3. Resultados

Como se ha establecido anteriormente, para obtener el valor de transmitancia térmica U, en este estudio se han analizado el método teórico (MT) y dos enfoques diferentes relativos al método experimental empleando la termografía infrarroja desde el interior del edificio (MTIR1 y MTIR2). Los resultados obtenidos en cada uno de ellos se describen a continuación.

3.1 Método teórico (MT)

Tal y como se constató en la visita y mediante la inspección termográfica cualitativa, la solución constructiva indicada en los planos (Tabla 2) no se correspondía con la ejecutada. Tras las inspecciones visuales y en base a la información disponible, se ha considerado la configuración del cerramiento mostrada en las Tablas 3 y 4 diferenciando la zona con y sin aislamiento, tomando de la ISO 6946 (International Organization for Standardization 2007) los valores de conductividad térmica de los materiales.

Tabla 2. Sección constructiva de acuerdo con los planos disponibles, materiales y espesor de toda la zona analizada

Material	Espesor (cm)	Conductividad térmica [W/mK]
Muro exterior HA visto	20	*
Aislamiento térmico PE 32 kg/m ³	5	*
Muro interior HA visto	15	*

(*) se han estimado los valores a partir de la norma.

Tabla 3. Sección constructiva de la zona con aislamiento, materiales, espesor y conductividad térmica de cada capa para la zona analizada considerada con aislamiento térmico

Material	Espesor (cm)	Conductividad térmica [W/mK]
Muro HA visto	30	2,5
Aislamiento térmico	4	0,039
Cámara de aire	3,6	*
Doble placa cartón-yeso	2,4	0,25

(*) la cámara de aire se cuantifica mediante el valor especificado en la UNE-EN ISO 6946, tomando 0,18 m²K/W en ambos casos.

Tabla 4. Sección constructiva de la zona con aislamiento, materiales, espesor y conductividad térmica de cada capa para la zona analizada considerada sin aislamiento térmico

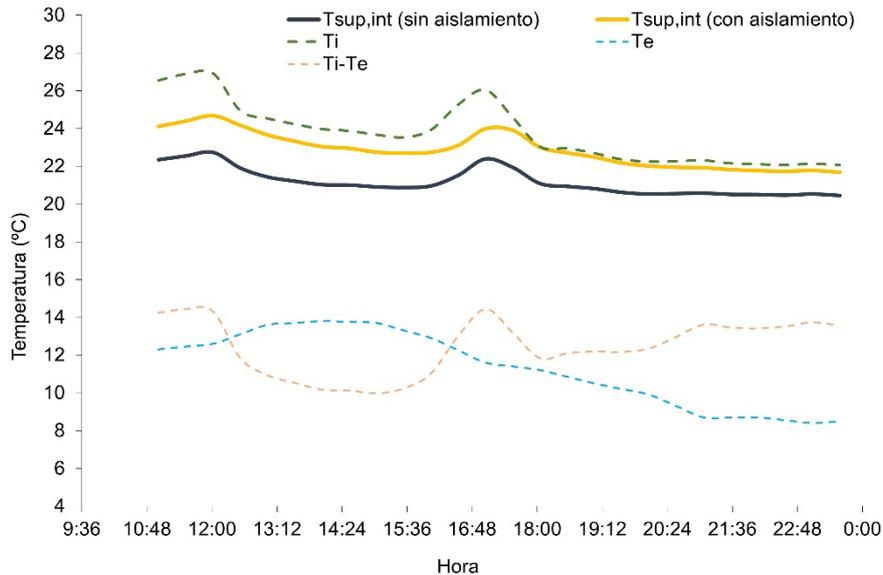
Material	Espesor (cm)	Conductividad térmica [W/mK]
Muro HA visto	30	2,5
Cámara de aire	7,6	*
Doble placa cartón-yeso	2,4	0,25

(*) la cámara de aire se cuantifica mediante el valor especificado en la UNE-EN ISO 6946, tomando 0,18 m²K/W en ambos casos.

3.2 Método experimental mediante termografía infrarroja (TIR) (MTIR1 y MTIR2)

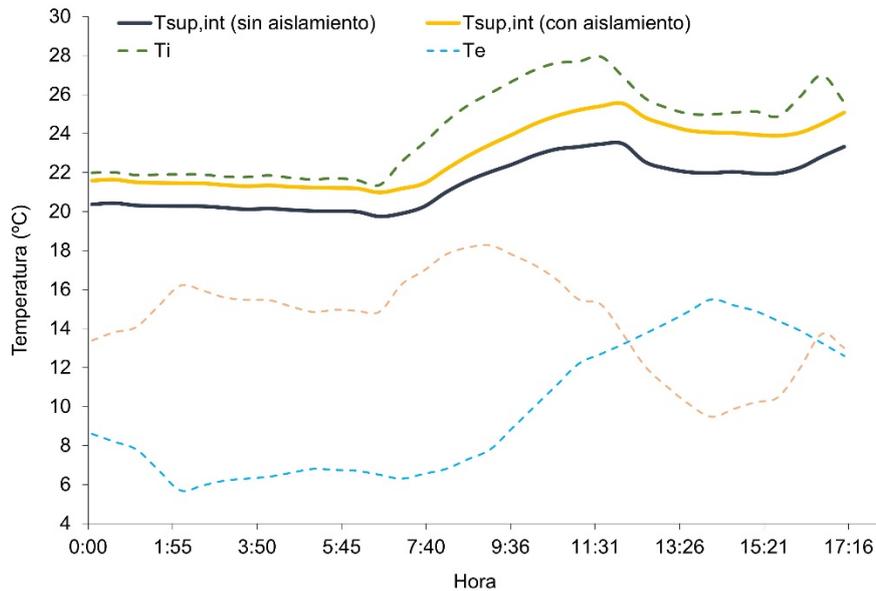
El análisis de las imágenes IR se ha llevado a cabo mediante el software FlirTools+ (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR), a partir del cual se han obtenido las medidas instantáneas de las temperaturas superficiales interiores (de la zona con y sin aislamiento), así como de la temperatura aparente reflejada y del aire interior. Por otro lado, la temperatura exterior se ha obtenido a partir de los datos correspondientes a la estación climatológica de la UPV.

Figura 4. Evolución de las temperaturas en el ensayo realizado el día 29 de diciembre (temperaturas superficiales sin aislamiento y con aislamiento, temperatura del aire interior T_i y la temperatura del aire exterior T_e).



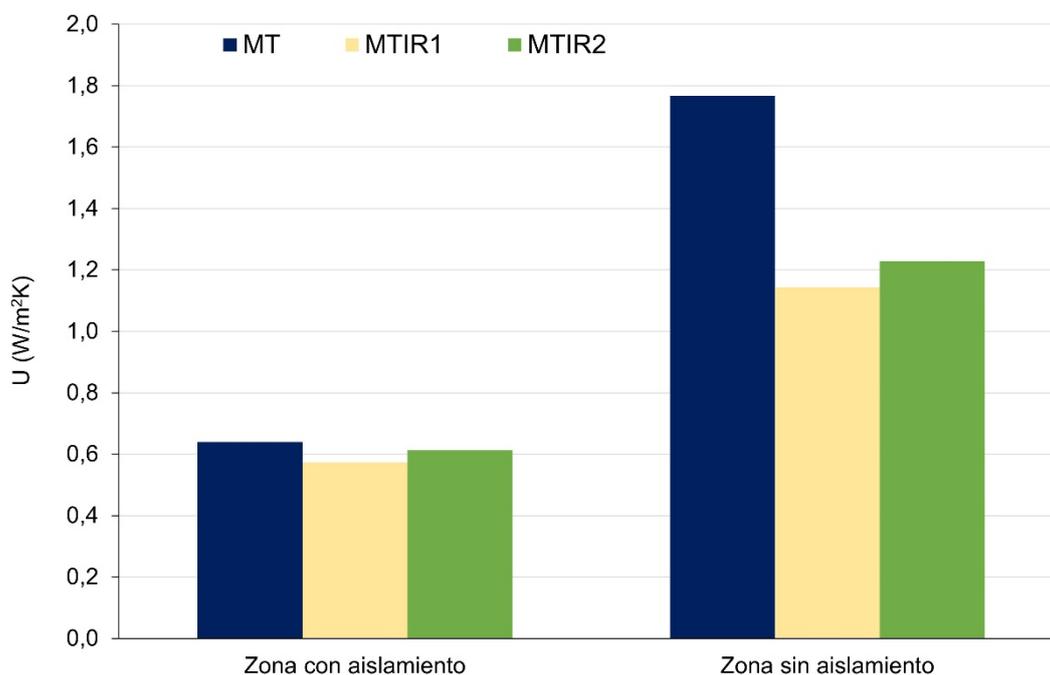
En ambos métodos, el valor de la transmitancia resultante se ha obtenido del promedio de las medidas realizadas en el intervalo comprendido entre las 02:05 h y las 06:05 h del día 30 de diciembre ya que, tal y como se muestra en la Figura 5, es para el cual la diferencia entre la temperatura del aire interior T_i y la temperatura del aire exterior T_e experimenta menos variaciones.

Figura 5. Evolución de las temperaturas en el ensayo realizado el día 30 de diciembre (temperaturas superficiales sin aislamiento y con aislamiento, temperatura del aire interior T_i y la temperatura del aire exterior T_e).



Los resultados obtenidos muestran una desviación del 10,5% y del 4,3% entre el valor teórico de U (MT) y el experimental 1 (MTIR1) y 2 (MTIR2) respectivamente para la zona con aislamiento y del 97,3% y del 94% para el caso de la zona sin aislamiento. En este último caso, la desviación es muy notable, pudiendo deberse a factores como la ausencia de información de la configuración constructiva y su consecuente estimación. Además, se ha podido detectar, que las paradas y arranques del sistema de climatización de la sala analizada repercuten directamente sobre la temperatura superficial interior del cerramiento, ocasionando un proceso transitorio, dificultando con ello el cálculo de la U para esos intervalos.

Figura 6. Comparación entre los valores de U obtenidos mediante los diferentes métodos para la zona con y sin aislamiento.



4. Discusión de resultados.

La transmitancia térmica de un cerramiento es uno de los parámetros que tiene mayor repercusión sobre el comportamiento térmico de un edificio, por lo que su correcta evaluación resulta de vital importancia. Sin embargo, no existe un método óptimo para su determinación, y más, cuando se analizan edificios ya existentes y construidos previo a la implantación de las regulaciones de eficiencia energética de los edificios.

Las limitaciones más destacables del método teórico radican en la dificultad a la hora de obtener información acerca de la solución constructiva (Domínguez-Muñoz et al. 2010). Asimismo, y aún disponiendo de ella, en muchas ocasiones no se corresponde con la realidad (Pérez-Bella et al. 2017). Por su parte, el método experimental basado en mediciones realizadas mediante termografía infrarroja presenta una serie de requisitos definidos de acuerdo con la EN 13187:1998 (Comite Europeen de Normalisation 1998). En primer lugar, el ensayo se debe llevar a cabo en condiciones estacionarias del cerramiento, condiciones difícilmente alcanzables en ensayos realizados sobre edificios reales. En ese caso, para poder considerar condiciones “cuasi-estacionarias”, se debe asegurar que la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior sea, al menos de entre 10 y 15°C (Tejedor, Casals, and Gangolells 2018) y que el flujo de calor sea lo más homogéneo posible durante un periodo de tiempo suficiente. Se establece, además, que la velocidad del viento sea baja (Vijver et al. 2014), así como evitar días de lluvia y nieve. Se recomienda que la orientación del cerramiento sea norte e inspeccionar a primeras horas de la mañana, previo al amanecer o tras la puesta de sol para evitar así la radiación solar directa (Albatici, Tonelli, and Chiogna 2015). Por último, los ensayos se deben llevar a cabo en paredes sin anomalías tales como puentes térmicos localizados (Grinzato et al. 2010), humedades, o infiltraciones, siendo así recomendable, realizar una inspección cualitativa en primer lugar.

En este estudio se ha analizado un cerramiento cuya solución constructiva dista significativamente de la proporcionada en la información técnica. Como consecuencia, los

valores de U teóricos se han obtenido a partir de una estimación tanto de los materiales empleados como de su configuración y características térmicas (conductividad). En cuanto a los valores de U obtenidos usando medidas de temperatura mediante termografía infrarroja (TIR), se debe subrayar que pese a tratarse de un cerramiento orientado al este, durante los días de ensayo, el cielo estuvo completamente cubierto por lo que no hubo radiación solar directa sobre éste. No obstante, tal y como se puede identificar en las figuras 3 y 4, en algunos intervalos de tiempo se produjeron fluctuaciones significativas de temperatura ocasionadas por los arranques y paradas del sistema de climatización. Estas variaciones bruscas de temperatura influyen negativamente sobre el cálculo de la transmitancia, motivo por el cual se han analizado las medidas comprendidas entre las 02:05 h y las 06:05 h del día 30 de diciembre (Tejedor et al. 2020). Asimismo, durante este periodo de tiempo, las temperaturas del aire interiores y exteriores no experimentan descensos ni incrementos significantes por lo que se puede asumir como “cuasi-estacionario”. Además, la diferencia entre las temperaturas interiores y exteriores están entorno a 15°C, constituyendo un contraste térmico significativo y óptimo para la aplicación de este método (Fokaides and Kalogirou 2011; Tejedor et al. 2017). Por último, tal y como demuestran estudios recientes, variaciones de tan solo 1°C en la temperatura aparente reflejada pueden causar desviaciones del valor de U calculado de hasta el 100%, generando, como consecuencia mucha incertidumbre. (Fokaides and Kalogirou 2011). En este sentido, y con el objetivo de evitar al máximo posible variaciones de la temperatura aparente reflejada y, por tanto, variaciones críticas en el resultado de U, es altamente recomendable que el edificio se encuentre desocupado y sin existencia de elementos que puedan aportar radiación adicional.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las desviaciones entre los métodos experimentales y el teórico son del 10,5% y del 4,3% entre el valor teórico de U (MT) y el experimental 1 (MTIR1) y 2 (MTIR2) respectivamente para la zona con aislamiento y del 97,3% y del 94% para el caso de la zona sin aislamiento. Mientras que para la zona con aislamiento los valores de U experimentales son razonablemente similares al valor teórico, en la zona sin aislamiento no sucede lo mismo. Esta diferencia puede deberse al sobredimensionamiento en el método teórico y producido, a su vez, por el desconocimiento de la configuración del cerramiento. (Ficco et al. 2015). Por otro lado, y para ambas zonas del cerramiento, la U obtenida mediante los métodos experimentales es menor que la obtenida teóricamente, estando este resultado en concordancia con un estudio que demuestra que los valores de U obtenidos con diferencias de temperatura entre el interior y exterior de alrededor 3-4°C se sobreestiman, mientras que si la diferencia se encuentra entre 16-21°C se subestiman (Tejedor, Casals, and Gangolells 2018).

5. Conclusiones.

Se puede afirmar que la termografía infrarroja (TIR) cuantitativa desde el interior de un edificio puede ayudar a la estimación de parámetros térmicos de la envolvente como la U, aunque existen muchas variables que pueden influir en su resultado. En este sentido, es necesario evitar al máximo las variaciones bruscas de radiación, tanto en el interior de la sala analizada como en el exterior, ya que esto se traduce en variaciones de temperatura y finalmente en el resultado del cálculo de la transmitancia térmica. Asimismo, se debe prestar especial atención a los sistemas de climatización empleados para lograr el contraste térmico entre el interior y el exterior, de forma que no experimenten variaciones bruscas de temperatura debido a arranques o paradas. Por último, para climas mediterráneos, como es el caso de Valencia,

estos ensayos se deben llevar a cabo en invierno, para poder así, alcanzar contrastes térmicos suficientes y evitar periodos largos de radiación solar intensa.

Esta comunicación se enmarca dentro del proyecto “Nuevas Metodologías en el Análisis del Confort Térmico y la Eficiencia Energética en Edificios con Modelos 5D (PID2019-108271RB-C33)”, financiado por la Agencia Estatal de Investigación.

6. Referencias.

- Albatici, Rossano, Arnaldo M Tonelli, and Michela Chiogna. 2015. “A Comprehensive Experimental Approach for the Validation of Quantitative Infrared Thermography in the Evaluation of Building Thermal Transmittance.” *Applied Energy* 141: 218–28.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.035>.
- Biddulph, Phillip et al. 2014. “Inferring the Thermal Resistance and Effective Thermal Mass of a Wall Using Frequent Temperature and Heat Flux Measurements.” *Energy and Buildings* 78: 10–16.
- Bienvenido-Huertas, David et al. 2018. “Determining the U-Value of Façades Using the Thermometric Method: Potentials and Limitations.” *Energies* 11(2).
- Bienvenido-huertas, David, Juan Moyano, David Marín, and Rafael Fresco-contreras. 2019. “Review of in Situ Methods for Assessing the Thermal Transmittance of Walls.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 102: 356–71.
- Comite Europeen de Normalisation. 1998. *EN 13187 Thermal Performance of Buildings - Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Building Envelopes - Infrared Method (ISO 6781:1983 Modified)*.
- Domínguez-Muñoz, Fernando, Brian Anderson, José M. Cejudo-López, and Antonio Carrillo-Andrés. 2010. “Uncertainty in the Thermal Conductivity of Insulation Materials.” *Energy and Buildings* 42(11): 2159–68.
- Evangelisti, Luca, Claudia Guattari, Paola Gori, and Roberto De Lieto Vollaro. 2015. “In Situ Thermal Transmittance Measurements for Investigating Differences between Wall Models and Actual Building Performance.” *Sustainability (Switzerland)* 7(8): 10388–98.
- Ficco, Giorgio et al. 2015. “U-Value in Situ Measurement for Energy Diagnosis of Existing Buildings.” *Energy and Buildings* 104: 108–21.
- Fokaides, Paris A., and Soteris A. Kalogirou. 2011. “Application of Infrared Thermography for the Determination of the Overall Heat Transfer Coefficient (U-Value) in Building Envelopes.” *Applied Energy* 88(12): 4358–65.
- Grinzato, E, P Bison, G Cadelano, and F Peron. 2010. “R-Value Estimation by Local Thermographic Analysis.” In *Proc.SPIE*,.
- International Organization for Standardization. 2007. *ISO 6946:2007 - Building Components and Building Elements - Thermal Resistance and Thermal Transmittance - Calculation Method*. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization. 2014. *ISO 9869:2014 Thermal Insulation. Building Elements, in: In-Situ Measurement of Thermal Resistance and Thermal Transmittance. Part 1: Heat Flow Meter Method*. Geneva.
- Khoukhi, Maatouk, Ahmed Hassan, Salah Al Saadi, and Shaimaa Abdelbaqi. 2019. “A Dynamic Thermal Response on Thermal Conductivity at Different Temperature and Moisture Levels of EPS Insulation.” *Case Studies in Thermal Engineering* 14: 100481.

- Li, Francis G N et al. 2015. "Solid-Wall U-Values: Heat Flux Measurements Compared with Standard Assumptions." *Building Research & Information* 43(2): 238–52.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2014.967977>.
- Madding, Robert. 2008. "Finding R-Values of Stud-Frame Constructed Houses with IR Thermography." In *Inframation*.
- Meng, Xi et al. 2015. "Feasibility Experiment on the Simple Hot Box-Heat Flow Meter Method and the Optimization Based on Simulation Reproduction." *Applied Thermal Engineering* 83: 48–56.
- O, Giuliano Dall, Luca Sarto, and Angela Panza. 2013. "Infrared Screening of Residential Buildings for Energy Audit Purposes: Results of a Field Test." *Energies* 6: 3859–78.
- Pérez-Bella, José María et al. 2017. "Adjusting the Design Thermal Conductivity Considered by the Spanish Building Technical Code for Façade Materials." *Dyna (Spain)* 92(2): 195–201.
- Tejedor, Blanca, Eva Barreira, D. Freitas, and Et Al. 2020. "Impact of Stationary and Dynamic Conditions on the U-Value Measurements of Heavy-Multi Leaf Walls by Quantitative IRT." *Energies* 13(6611).
- Tejedor, Blanca, Miquel Casals, and Marta Gangoellés. 2018. "Assessing the Influence of Operating Conditions and Thermophysical Properties on the Accuracy of In-Situ Measured U-Values Using Quantitative Internal Infrared Thermography." *Energy and Buildings* 171: 64–75.
- Tejedor, Blanca, Miquel Casals, Marta Gangoellés, and Xavier Roca. 2017. "Quantitative Internal Infrared Thermography for Determining In-Situ Thermal Behaviour of Façades." *Energy and Buildings* 151: 187–97.
- Vijver, S et al. 2014. *Influence of Environmental Parameters on the Thermographic Analysis of the Building Envelope*.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

