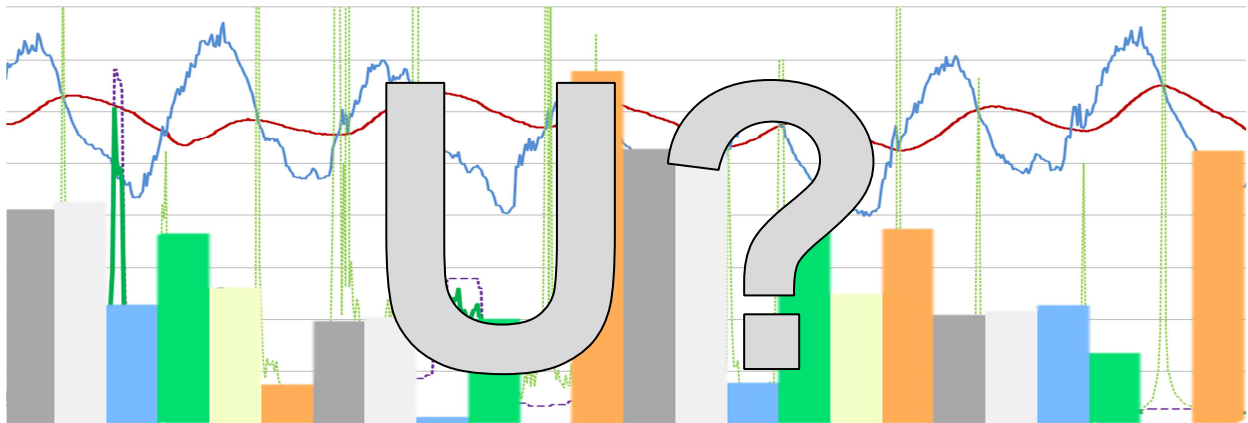




ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE TRANSMITANCIA TÉRMICA EN CERRAMIENTOS OPACOS DE EDIFICIOS EXISTENTES

CÁLCULO TEÓRICO, ANÁLISIS TERMOFLUJOMÉTRICO,
ANÁLISIS TERMOMÉTRICO Y ANÁLISIS CUANTITATIVO
MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA



TRABAJO FIN DE MÁSTER

JULIO 2016

MÁSTER EN GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN

ESPECIALIDAD EN MEDIO AMBIENTE

AUTOR:

RODRÍGUEZ ÁLVARO, ROBERTO

DIRECTORES:

Dr. D. MOYANO CAMPOS, JUAN JOSÉ

Dr. D. FERNÁNDEZ DE VALDERRAMA APARICIO, PEDRO

DEPARTAMENTO:

**EXPRESIÓN GRÁFICA E INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN
UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE TRANSMITANCIA TÉRMICA EN CERRAMIENTOS OPACOS DE EDIFICIOS EXISTENTES

CÁLCULO TEÓRICO, ANÁLISIS TERMOFLUJOMÉTRICO, ANÁLISIS TERMOMÉTRICO Y ANÁLISIS CUANTITATIVO MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Trabajo Final de Máster presentado para optar al Título de Máster en Gestión Integral de la Edificación por Roberto Rodríguez Álvaro, siendo tutores del mismo el Doctor D. Juan José Moyano Campos y el Doctor D. Pedro Fernández de Valderrama Aparicio.

Vº. Bº. de los tutores:

Alumno:

Dr. D. Juan José Moyano
Campos

Dr. D. Pedro Fernández
de Valderrama Aparicio

Roberto Rodríguez Álvaro

Sevilla, 4 de Julio de 2016

Agradecimientos

Quisiera agradecer a varias personas la ayuda que me han prestado en la realización de este Trabajo Final de Máster:

A mis directores Juan José y Pedro, por guiarme durante todo el proceso; a Rafael, por compartir conmigo su experiencia previa con el termoflujómetro; a Fernando y Daniel, por ayudarme a comprender los fundamentos de la termografía infrarroja; y a todo el Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación, por darme la oportunidad de trabajar con sus dispositivos y confiar en mí para empezar a utilizarlos.

Por otra parte, a mis compañeros del máster, por haber compartido conmigo sus conocimientos y experiencias. A todos les deseo un futuro lleno de éxitos.

Por último, a todas las personas que he conocido durante este curso, por haber hecho de mi experiencia en Sevilla algo inolvidable. Gracias por haberme hecho sentir como en casa al tiempo que cada día descubría algo nuevo.

Resumen

Durante los últimos años, ha crecido en Europa y España la preocupación por el cuidado del medio ambiente y en especial por la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global antropogénico. El sector de la construcción es uno de los que más ha contribuido a este fenómeno, por lo que se han establecido nuevas normas conducentes a disminuir su huella de carbono. Habiéndose reducido considerablemente la construcción de obra nueva, se centra la atención en el impacto medioambiental producido por el consumo energético del parque edificatorio existente. A nivel europeo y español, la actividad que contribuye en mayor medida a este consumo es la calefacción. Uno de los principales parámetros de los edificios que determina el consumo de calefacción es la transmitancia térmica de sus cerramientos, por lo que existe un gran interés en evaluar esta propiedad de manera sencilla a la vez que precisa.

El presente trabajo pretende analizar varios métodos de evaluación de la transmitancia térmica en cerramientos de edificios existentes (cálculo teórico, análisis termométrico, análisis termoflujométrico, y análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja), de tal manera que se consigan determinar las ventajas e inconvenientes que tienen los unos sobre los otros. Para ello, se han consultado diversos documentos de carácter normativo y científico y se ha llevado a cabo una campaña experimental en la que se han estudiado cuatro cerramientos situados en la ciudad de Sevilla.

El comportamiento térmico de los edificios y sus cerramientos se define en base a una gran cantidad de factores cuya comprensión resulta imprescindible a la hora de enfrentarse a un trabajo de investigación como este. Por tal motivo, previo al estado de la cuestión sobre los métodos de evaluación de transmitancia térmica, se expone un marco conceptual lo más completo posible.

A la hora de llevar a cabo la campaña experimental, se han encontrado diversos obstáculos entre los que destaca la imposibilidad de monitorizar los cerramientos durante largos periodos de tiempo en los que se diesen diferencias de temperatura elevadas entre el interior y el exterior de los edificios objeto de estudio. Las suaves temperaturas del invierno sevillano dificultan mucho la realización de los ensayos en las condiciones ambientales propuestas por la totalidad de la literatura científica consultada. Además, se han cometido algunos errores procedimentales que deberán ser evitados en futuras campañas experimentales similares.

Este trabajo abre el camino a nuevas líneas de investigación, entre las que destaca la propuesta de realizar campañas experimentales de monitorización de cerramientos en condiciones de verano.

Se concluye que los métodos teóricos son fáciles de aplicar aunque pueden conllevar un alto nivel de incertidumbre en sus resultados. Por otro lado, el análisis termométrico presenta un nivel de precisión aceptable cuando se alcanzan diferencias de temperatura entre el interior y el exterior del edificio superiores a los 10°C. El análisis termoflujométrico presenta un nivel de precisión similar pero su ejecución resulta más compleja. Los métodos de medición instantánea quedan totalmente descartados por su escasa precisión. Finalmente, la aplicación de un innovador método propuesto por científicos italianos no ofrece resultados que confirmen su validez.

Palabras clave

Eficiencia energética	Transmisión de calor	Transmitancia térmica / Valor-U
Termometría	Termoflujometría	Termografía Infrarroja Cuantitativa

Abstract

During the last few years, concerns are growing in Europe and Spain for the environment, in particular the anthropogenic global warming caused by greenhouse gas emissions. The construction sector is one of the largest contributors to this phenomenon, so new norms have been established in order to cut down on its carbon footprint. Due to a significant decrease in the construction of new buildings, more attention is being paid to the environmental impact produced by the energy consumption of existing buildings. At a European and Spanish level, the activity that contributes the most to this consumption is heating. One of the main building parameters that determines heating consumption is the thermal transmittance of its envelope and as such there is great interest in evaluating this property in a straightforward and accurate way.

This work aims to analyse several methods used to measure the thermal transmittance of existing buildings' envelopes (theoretical calculation, thermometric analysis, heat flow meter method and quantitative infrared thermovision technique), making it possible to determine the advantages and disadvantages of each of them. In order to reach this objective, a wide array of normative and scientific documents have been consulted and a series of tests have been carried out. In these tests, four external walls placed in the town of Seville have been studied using theoretical and experimental methods.

Thermal performance of buildings and their external walls is related to a large amount of factors, the understanding of which is indispensable when carrying out this type of research. For this reason, prior to studying the methods of thermal transmittance evaluation, we present a conceptual framework that is as complete as possible.

While carrying out the tests, several obstacles were encountered. Among them, the impossibility of monitoring the external building walls for long periods of time when large differences of temperature between the interior and the exterior of the study object buildings were available was the most significant. Mild winter temperatures in Seville make it much more difficult to carry out tests on the environmental conditions that all the scientific documents consulted suggest. Furthermore, some procedural errors have been committed so they will have to be avoided in future similar experiments.

This work opens several lines of research, in particular the proposal of monitoring external building walls in summer conditions.

We can conclude that theoretical methods are easy to apply although they might carry a high level of uncertainty on results. On the flip side, thermometric analysis presents an acceptable level of accuracy when a temperature difference of more than 10 °C between the inside and the outside of the building is reached. The heat flow meter method presents a similar level of accuracy but its application is more complex. Instantaneous measurement methods are totally discarded because of their low level of accuracy. Finally, the application of an innovative method suggested by Italian scientists does not offer results which confirm its validity.

Key words

Energy Efficiency	Heat transfer	Thermal transmittance / U-value
Thermometry	Heat Flow Meter Method (HFM)	Infrared Thermovision Technique (ITT)

Nota: La estructura de este trabajo se basa en las indicaciones para trabajos de tipo empírico de la Guía para la Redacción del Proyecto de Fin del Grado en Ciencia y Tecnología de la Edificación publicada por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad de Sevilla en su página web. Las citas en el texto y el formato de la lista de referencias se han realizado según la sexta edición de las normas de estilo de la Asociación Estadounidense de Psicología (APA), tal y como indica G. León, Orfelio (2016) en su libro *Cómo redactar textos científicos y seguir las normas APA 6.^a* para los trabajos de fin de Grado y fin de Máster, tesis doctorales y artículos.

Índice de contenido

1	Introducción	15
2	Justificación	19
2.1	Desarrollo energéticamente sostenible	19
2.2	Consumo energético de los edificios.....	19
2.3	La transmitancia térmica y su evaluación	22
3	Marco conceptual	25
3.1	Transmisión de calor	25
3.1.1	Régimen transitorio y régimen estacionario	26
3.1.2	Conducción	27
3.1.3	Convección.....	28
3.1.4	Radiación	28
3.2	Acumulación de calor	29
3.3	Cargas térmicas	30
3.3.1	Cargas térmicas externas.....	30
3.3.2	Cargas térmicas internas.....	31
3.4	Confort térmico	31
3.5	Propiedades de la envolvente térmica	34
3.5.1	Resistencia térmica interna.....	35
3.5.2	Resistencia térmica superficial	35
3.5.3	Transmitancia térmica	37
3.5.4	Capacidad térmica.....	39
3.5.5	Efecto conjunto de la transmitancia y la capacidad térmicas	40
3.5.6	Control de la ventilación	42
3.5.7	Estanqueidad.....	42
3.5.8	Absortividad, emisividad y reflectividad.....	43
4	Estado de la cuestión	47
4.1	Consideración previa: Análisis cualitativo mediante termografía infrarroja....	47
4.2	Cálculo teórico.....	48
4.3	Cálculo teórico modificado	49
4.4	Método de la caja caliente	50
4.5	Análisis termoflujométrico	51
4.5.1	Método de la media	53
4.5.2	Método dinámico	56
4.6	Análisis termométrico	56
4.7	Análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja.....	57
4.8	Comparación preliminar entre métodos	59

5	Hipótesis de trabajo y objetivos específicos.....	65
6	Campaña experimental.....	69
6.1	Objetos de estudio.....	69
6.2	Contexto geográfico y limitaciones asociadas.....	70
6.3	Procedimientos.....	71
6.3.1	Cálculo teórico.....	72
6.3.2	Monitorización de cerramientos y volcado de datos.....	73
6.3.3	Análisis termoflujométrico.....	77
6.3.4	Análisis termométrico.....	81
6.3.5	Fórmula propuesta por Albatici & Tonelli (2010).....	85
7	Resultados y discusión.....	91
8	Conclusiones.....	95
9	Futuras líneas.....	101
10	Lista de referencias.....	105
11	Anexo A: Resumen cálculo teórico.....	113
11.1	Caso C1.....	113
11.2	Caso C2.....	113
11.3	Caso C3.....	114
11.4	Caso C4.....	114
12	Anexo B: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1.....	115
12.1	Caso C1.....	115
12.2	Caso C2.....	115
12.3	Caso C3.....	116
12.4	Caso C4.....	116
13	Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica.....	117
13.1	Caso C3.....	117
14	Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica.....	135
14.1	Caso C4.....	135
15	Índice de tablas.....	161
16	Índices de figuras.....	162
16.1	Índice de imágenes.....	162
16.2	Índice de ecuaciones.....	164
16.3	Índice de gráficos.....	166
16.4	Índice de esquemas.....	168

Introducción

1 Introducción

Cerca de la mitad del consumo de energía de la Unión Europea se atribuye al sector de la construcción. Las distintas actividades implicadas en el ciclo de vida de los edificios están entre las que más contribuyen al calentamiento global, puesto que conllevan frecuentemente el uso de energías no renovables y la producción de gases de efecto invernadero. La mayor parte del consumo de energía ligado a los edificios se da durante la fase de uso de los mismos. Dentro de esta fase, el proceso que a nivel europeo y español demanda una mayor cantidad de energía es la calefacción de viviendas. Éste, como cualquier otro consumo de energía, puede reducirse mejorando el rendimiento de los equipos implicados en su suministro o disminuyendo la demanda del mismo. Para conseguir una reducida o nula demanda de calefacción en los edificios, debe disponerse de una buena envolvente térmica que impida la pérdida del calor generado en el interior. La calidad de la envolvente se define mediante varios parámetros, entre los que destaca la transmitancia térmica.

Tras la realización de un breve trabajo en el marco de la asignatura de Certificación y Auditoría Energéticas del Máster Universitario en Gestión Integral de la Edificación (MUGIE), el autor de este trabajo detecta la escasez de estudios comparativos entre métodos de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos opacos que incluyan la totalidad de los métodos existentes, desde los más convencionales a los más innovadores. Por este motivo se decide iniciar una investigación en este tema, abarcando los siguientes métodos y sus variantes:

- Cálculo teórico.
- Análisis termoflujométrico.
- Análisis termométrico¹.
- Análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja.

Para poder establecer la comparación entre todos ellos, se plantea la realización de una campaña experimental que incluye mediciones de distinto tipo sobre cuatro cerramientos opacos situados en la ciudad de Sevilla.

Previamente a la ejecución de esta campaña, se elabora un extenso marco teórico en el que se definen y relacionan los múltiples conceptos que rodean a la transmitancia térmica. De esta manera se posibilita la clara comprensión del estado de la cuestión desarrollado posteriormente.

El estado de la cuestión sobre métodos de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos opacos de edificios existentes se ha llevado a cabo a partir de la revisión bibliográfica de numerosos documentos de diferente naturaleza:

- Documentos sobre sostenibilidad y eficiencia energética en la edificación, elaborados por organismos oficiales de ámbito autonómico, estatal e internacional.
- Artículos científicos publicados en medios de impacto, referentes a campañas experimentales realizadas con diferentes métodos de evaluación de la transmitancia térmica en cerramientos de edificios existentes.
- Normativa reguladora de los métodos de evaluación.

¹ Este término ha sido creado por el autor del presente trabajo ante la ausencia de términos específicos para referirse a este método en la documentación técnica, científica y normativa consultada.

A partir del estado de la cuestión, se ha podido establecer una comparación preliminar entre los distintos métodos de evaluación de transmitancia térmica sobre cerramientos opacos de edificios existentes, y se ha elaborado un plan de trabajo siguiendo las normas reguladoras de cada ensayo así como las recomendaciones de las diversas fuentes consultadas.

Tras la ejecución de la campaña experimental y la obtención de los correspondientes resultados, estos se han discutido y se han establecido varias conclusiones. A partir de las mismas, se plantean diferentes recomendaciones referentes a los métodos de evaluación y futuras líneas de investigación que permitan seguir profundizando en este ámbito.

Justificación

2 Justificación

2.1 Desarrollo energéticamente sostenible

La mayoría de los términos que habitualmente se relacionan con el cuidado del medio ambiente han terminado por utilizarse en multitud de situaciones sin demasiado rigor. Sin embargo, la siguiente definición es ampliamente aceptada desde la celebración de la Conferencia de Río de Janeiro en 1992: “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Naciones Unidas, 1987).

La continuidad en el tiempo de una sociedad en la que todos sus miembros tengan cubiertas sus necesidades, es posible únicamente si se preserva el medio que satisface esas necesidades. La degradación del medio ambiente es, por lo tanto, uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la humanidad. Desde la revolución industrial se han provocado toda clase de impactos ambientales negativos sin ningún tipo de control. Entre ellos, por sus implicaciones globales, destaca el cambio climático antropogénico, provocado por la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero derivados de la quema de combustibles fósiles.

Sin embargo, se ha venido produciendo un aumento en la conciencia medioambiental de ciudadanos y mandatarios de todo el mundo, de forma que el problema empieza a valorarse con la preocupación que merece.

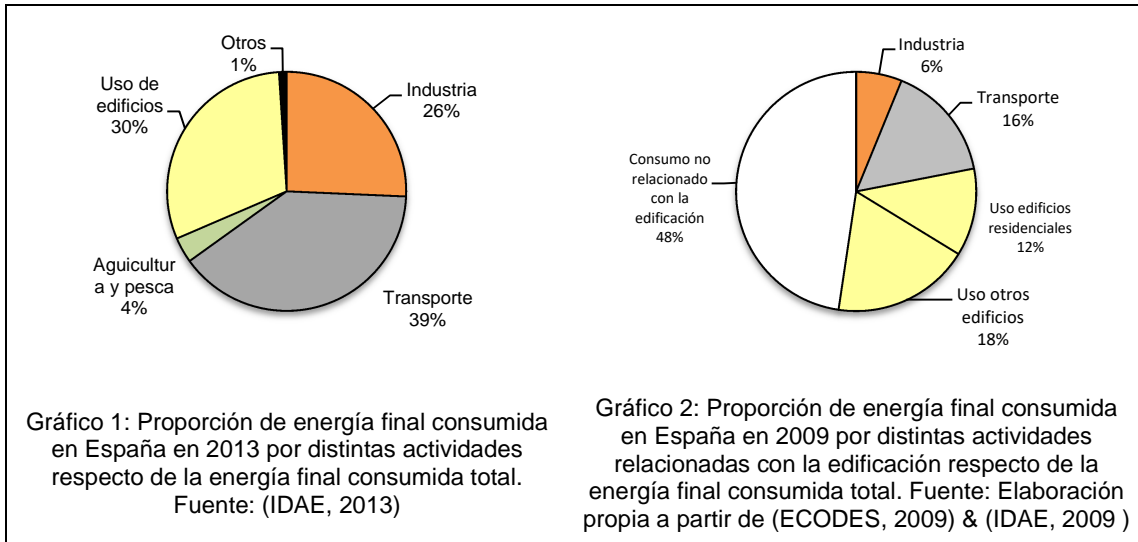
Muestra de este cambio de mentalidad son los sucesivos eventos internacionales que se han celebrado en las últimas décadas, en los cuales se han fraguado el vigente Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, que entrará en vigor a partir de 2020. Éste último ha supuesto que los países desarrollados y en vías de desarrollo se comprometan a provocar un aumento menor a 2 °C en la temperatura media del planeta hasta el año 2100 con respecto a la temperatura media preindustrial. El acuerdo de París implica grandes inversiones económicas y el establecimiento de compromisos sobre medidas concretas que se revisarán cada cinco años (Naciones Unidas, 2015).



2.2 Consumo energético de los edificios

El sector de la edificación es uno de los principales culpables de la degradación del medio ambiente y por consiguiente uno de los ámbitos de la actividad humana a escala global en los que urge actuar con mayor intensidad. En la Unión Europea, en el año 2005, se le atribuía el consumo del 40 % de los recursos y del 40 % de la energía primaria, así como la generación del 40 % de los residuos (Baño Nieva & Vigil-Escalera del Pozo, 2005). Su ingente consumo de energía final se ha llegado a corresponder en España con la suma de aproximadamente un cuarto del consumo energético de la industria y el 40 % del atribuible al transporte, además del total derivado del uso de los edificios (ECODES, 2009).

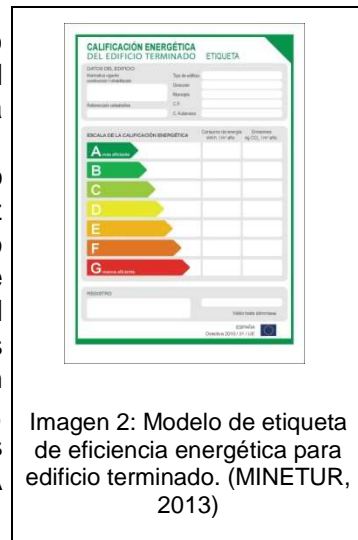
En 2013, los edificios residenciales consumían un 18,5 % de la energía final en España, mientras que el comercio, el sector servicios y las administraciones públicas consumían casi el 12 % (mayoritariamente imputable al uso de edificios) (IDAE, 2013).



La mayor parte de la energía destinada a satisfacer este consumo proviene de fuentes de energía no renovables emisoras de gases de efecto invernadero. El objetivo de reducción del consumo está justificado desde el punto de vista medioambiental por este motivo, aunque poco a poco las energías limpias van ganando terreno a los combustibles fósiles.

La Unión Europea ha creado varias normas conducentes a reducir el gran consumo energético de los edificios durante su fase de uso. Esta es la fase durante la que más energía se consume y ha adquirido aún más relevancia frente a las fases de construcción y demolición al reducirse drásticamente la actividad de obra nueva. Entre las normas establecidas destaca la actualmente vigente directiva 2010/31/UE. Esta norma, entre otras cosas, insta a todos los estados miembros de la unión a tomar medidas para que todos los edificios públicos y privados de nueva planta, construidos a partir de 2018 y 2020 respectivamente, sean de consumo de energía casi nulo (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).

España ha traspuesto esta directiva al ordenamiento jurídico a través del RD 235/2013, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios (Ministerio de la Presidencia, 2013). Este decreto obliga a facilitar a los compradores o usuarios un certificado de eficiencia energética cada vez que se construyan, reformen, rehabiliten, vendan o alquilen edificios o unidades de estos. El certificado de eficiencia energética incluye la calificación energética del edificio, que se expresa en kg de CO₂/(m²*año). Los posibles valores que puede adoptar la calificación energética se dividen en intervalos designados por letras, comprendiendo desde la letra G (inmuebles menos eficientes y con mayores emisiones) hasta la letra A (inmuebles más eficientes con menores emisiones).

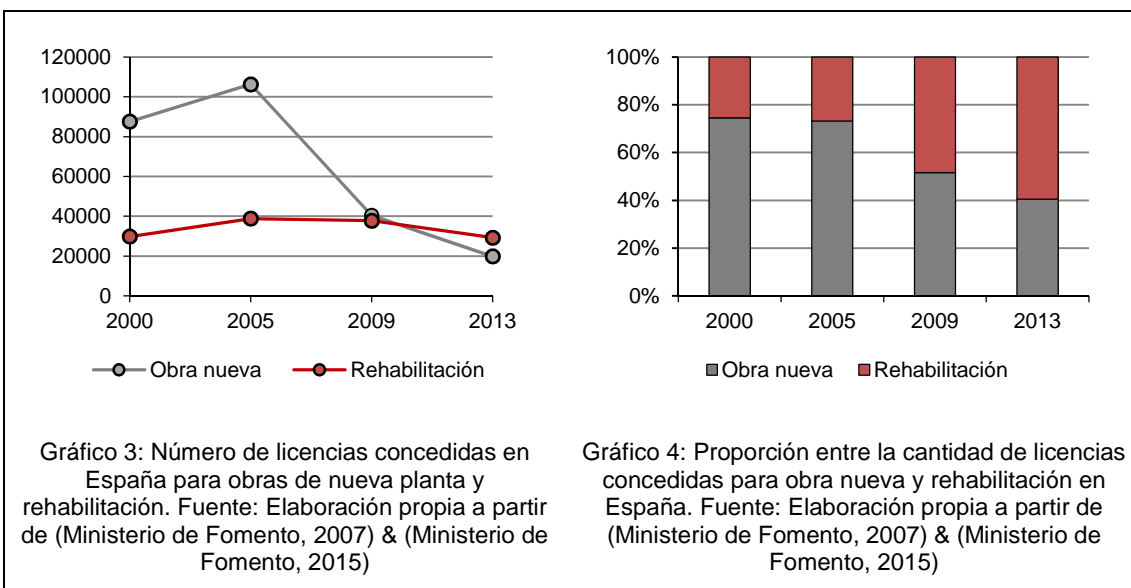


La calificación energética se calcula a partir de las características arquitectónicas y constructivas del edificio objeto así como de los datos referentes a sus consumos e instalaciones. El estudio sistemático de esta información es lo que se conoce como auditoría energética, y es la base no solamente para la calificación sino también para el establecimiento de medidas de ahorro energético (MAEs), que se incluyen en el certificado de eficiencia energética. La propuesta de estas medidas a los usuarios y

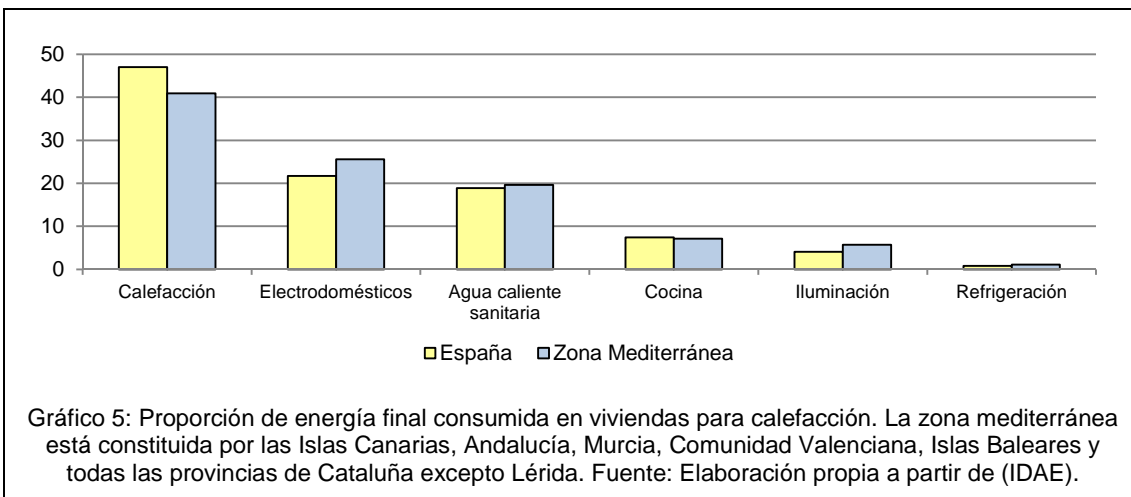
propietarios de los edificios es la base de potenciales procesos de rehabilitación energética.

Paralelamente a la promulgación del RD 235/2013, el documento básico de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HE) fue modificado, actualizándose sus exigencias respecto a la demanda y el consumo de energía no renovable de los edificios de nueva planta (Gobierno de España. Ministerio de Fomento, 2013).

Debido a la reducción drástica de la cantidad de obra nueva en los últimos años, la mayoría del consumo de energía del sector de la construcción en España se corresponde con el derivado de la fase de uso de los edificios existentes. Este cambio ha propiciado un aumento de los procesos de rehabilitación energética, destinados a implantar medidas de ahorro energético. De esta manera se ha logrado mantener el ritmo de actividad en el ámbito de la rehabilitación hasta equipararse en términos porcentuales con la cantidad de obra nueva en la actualidad.



Dentro de la fase de uso de los edificios, la mayor parte del consumo energético a nivel español y europeo se debe a la demanda de calefacción. Incluso en el área de España denominada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) como mediterránea (Islas Canarias, Andalucía, Murcia, Comunidad Valenciana, Islas Baleares y todas las provincias de Cataluña excepto Lérida) la calefacción es el destino predominante de la energía final consumida.



La reducción del consumo de calefacción es, por lo tanto, un objetivo prioritario a la hora de acometer un proceso de rehabilitación energética. Este consumo puede reducirse, o bien aumentando el rendimiento de los equipos calefactores, o bien reduciendo la demanda.

$$\text{Consumo de energía (kWh)} = \frac{\text{Demanda de energía (kWh)}}{\text{Rendimiento}}$$

Ecuación 1: Relación entre el consumo y la demanda de energía.

Una de las estrategias posibles a seguir con el objetivo de reducir la demanda de calefacción consiste en dificultar la pérdida del calor generado en el interior de los edificios. Una parte importante del calor que sale de éstos hacia el exterior lo hace atravesando su envolvente térmica. La propiedad que define el grado de oposición que ésta ofrece a la transmisión de calor a su través es la transmitancia térmica, propiedad en la que se centra este trabajo.

2.3 La transmitancia térmica y su evaluación

La transmitancia térmica de un cerramiento es la cantidad de calor que lo atraviesa por unidad de tiempo y superficie cuando existe una diferencia de temperatura entre los ambientes que separa igual a la unidad. Su unidad es el $W/(m^2 \cdot K)$. Es uno de los parámetros que mayor influencia tiene sobre la demanda de calefacción de los edificios, siendo ésta mayor cuanto mayor es la transmitancia térmica de los cerramientos.

Su evaluación forma parte de cualquier proceso de auditoría energética de un edificio. Existen diversos métodos para cuantificarla. Entre ellos destaca, por ser el más utilizado, el cálculo a partir de la estimación de la configuración constructiva de los cerramientos y de datos estándar sobre los materiales ofrecidos por fuentes oficiales (en adelante, método teórico). Sin embargo, en muchas ocasiones no se dispone de información verídica sobre la manera en que la envolvente del edificio está construida, y ante la imposibilidad de realizar un ensayo destructivo, ésta se deduce a partir de una simple inspección visual. Algunos estudios como Li et al. (2014), Biddulph et al. (2014) y Asdrubali, D'Alessandro, Baldenelli, & Bianchi (2014) revelan que este procedimiento puede provocar errores de gran magnitud respecto a los valores obtenidos experimentalmente mediante otros procedimientos como el análisis termoflujométrico.

La cuantificación errónea de la transmitancia térmica puede tener como consecuencia la variación de la estimación del consumo de energía de los edificios, llegando incluso a cambiar la letra en la escala de calificación energética. En consecuencia, puede variar notablemente los periodos de amortización de las MAEs directamente relacionadas con la envolvente.

Por todo lo comentado anteriormente, queda justificada la necesidad de seguir investigando sobre los métodos de evaluación de la transmitancia térmica cuyo uso está más extendido, así como sobre otros más innovadores, para de esta manera poder evaluar esta propiedad con mayor facilidad y precisión. Una correcta cuantificación de la transmitancia térmica de los cerramientos permite aplicar MAEs mejor fundamentadas, contribuyendo de manera indirecta a la sostenibilidad en el sector de la edificación.

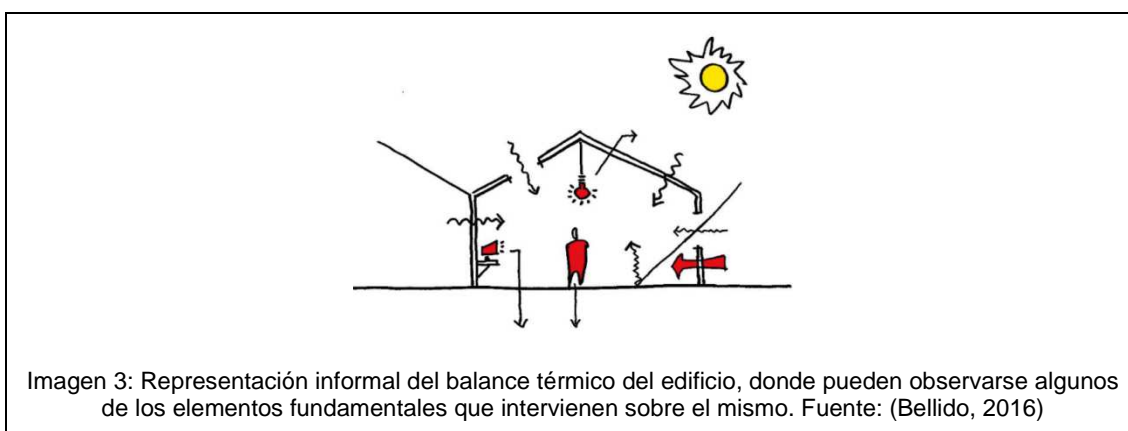
Marco

conceptual

3 Marco conceptual

Previamente a la exposición de los distintos métodos de evaluación de la transmitancia térmica en los cerramientos de los edificios, se ha considerado necesario desarrollar varios conceptos relacionados con el balance térmico de los mismos. De esta manera, se pretende describir un contexto en el cual poder comprender mejor el papel que juega la transmitancia térmica en relación a la eficiencia energética de los edificios, así como la importancia de su correcta evaluación cuando se realiza una auditoría energética.

Los edificios intercambian energía térmica con el exterior. A la diferencia entre el calor que ceden y el que ganan en un momento se le llama balance térmico. Éste se expresa en vatios (W) y su magnitud debe de ser tal que se alcancen siempre las condiciones de confort higrotérmico en el interior del edificio. Su valor puede controlarse interviniendo sobre parámetros relacionados con el uso del edificio, su configuración constructiva, y sus instalaciones de climatización.



A continuación, se describen importantes conceptos relacionados con el balance térmico de los edificios, desarrollando en más profundidad algunas características de la envolvente térmica por ser objeto principal de este trabajo.

3.1 Transmisión de calor

Al poner en contacto dos cuerpos a distinta temperatura, se produce una transmisión de calor desde el cuerpo a mayor temperatura hacia el cuerpo a temperatura menor, hasta que las temperaturas de ambos se igualan alcanzándose el equilibrio térmico. El calor transmitido de un cuerpo a otro (flujo de calor) varía en el tiempo según van cambiando las temperaturas de los dos cuerpos en contacto. Por eso, el flujo de calor se define como la cantidad de calor transmitida hacia o desde un sistema por unidad de tiempo.

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$

Ecuación 2: Flujo de calor [J/s] o [W]. Dónde: Q = Energía calorífica o calor (J); t = Tiempo (s).

En relación a los edificios, se produce transmisión de calor entre su interior y el ambiente exterior siempre que las temperaturas de ambos ambientes sean distintas. Es común expresar el intercambio de calor durante un periodo de tiempo por unidad de área o de volumen del edificio. Normalmente, al flujo de calor dividido por el área se le conoce como densidad de flujo superficial o simplemente densidad de flujo.

$$q = \frac{\phi}{A}$$

Ecuación 3: Densidad (superficial) de flujo de calor en régimen estacionario [J/(s*m²)] o [W/m²]. Dónde: ϕ = Flujo de calor (W); A = Área atravesada por el flujo de calor (m²).

Como se ha dicho, el flujo de calor entre dos cuerpos o ambientes varía en el tiempo. La consideración o no de este hecho a la hora de afrontar el estudio de un proceso de transmisión de calor da lugar a los conceptos de régimen transitorio (también llamado variable) y de régimen estacionario (también llamado permanente).

3.1.1 Régimen transitorio y régimen estacionario

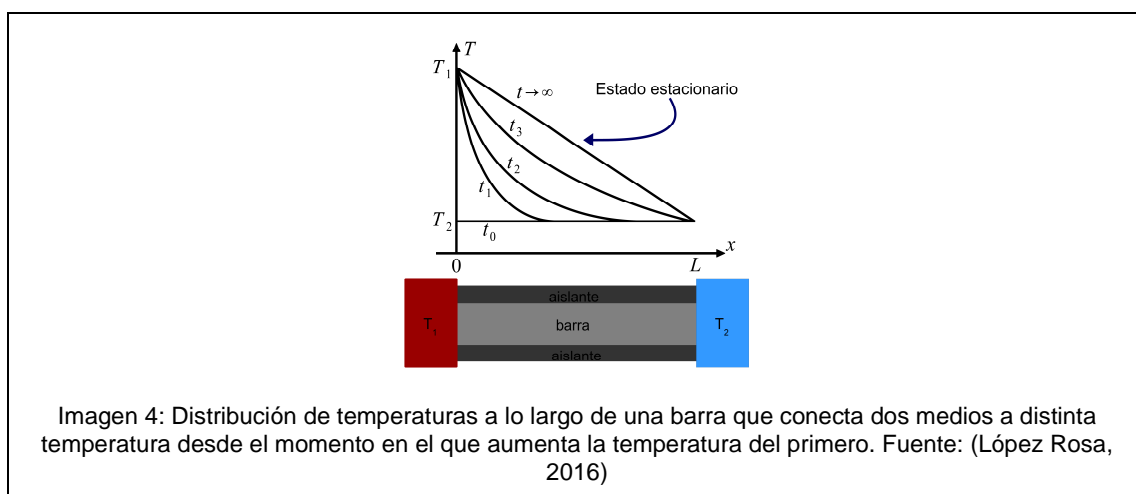
Antes de entrar a definir los diferentes mecanismos por los que se transmite calor entre los cuerpos, conviene explicar la diferencia entre los conceptos de régimen estacionario y régimen transitorio.

La transmisión de energía calorífica de un cuerpo a otro depende de la diferencia de las temperaturas que hay entre ellos. Por eso, en una transferencia de calor, según se va calentando el cuerpo más frío, al variar su temperatura y, por tanto, la diferencia entre los dos, la velocidad con la que se produce esa transmisión de calor se reduce. Este hecho complica la evaluación y el cálculo del proceso de transmisión de calor.

Para simplificarlo y llevarlo a una situación de cálculo más fácilmente abordable, se ha diseñado lo que se conoce como régimen permanente de temperaturas o régimen estacionario. Este régimen estacionario considera el funcionamiento de los sistemas independiente del tiempo y, por tanto, manteniendo las condiciones de trabajo estabilizadas durante un tiempo indefinido. Según este planteamiento, si dos sistemas van a intercambiar energía a través de un tercero, aquéllos mantienen sus temperaturas constantes mientras que la temperatura de los puntos del cuerpo intermedio es estable (Neila González & Acha Román, 2009).

Para entender mejor el régimen estacionario de transmisión de calor se muestra el siguiente ejemplo:

Una barra metálica aislada lateralmente conecta dos cuerpos que mantienen sus temperaturas constantes. En un momento inicial, las temperaturas de estos dos cuerpos son la misma, por lo que la barra se encuentra a una temperatura constante en todos sus puntos T_2 . Posteriormente, la temperatura del primer cuerpo aumenta hasta alcanzar el valor T_1 , haciendo que un extremo de la barra también aumente su temperatura hasta ese mismo valor. El resto de puntos de la barra van aumentando su temperatura con el paso del tiempo, hasta acabar posicionándose en respectivas temperaturas de transición entre T_1 y T_2 , como se muestra en la Imagen 4:



La no simplificación del proceso de transmisión de calor a régimen estacionario implica cálculos más complejos a la hora de su estudio, pero permite obtener datos más próximos a la realidad.

Como se ha comentado anteriormente, el régimen transitorio o variable es el estado térmico que no sólo depende de la temperatura de los sistemas que intercambian energía, sino también del tiempo (Neila González & Acha Román, 2009).

A la hora de estudiar la transmisión de calor a través de un cerramiento, la asunción del régimen variable tiene importantes consecuencias, ya que la temperatura a ambos lados del mismo varía considerablemente a lo largo de cada ciclo diario.

Este fenómeno se produce de forma muy significativa en verano, ya que a las condiciones de elevada temperatura exterior hay que añadir un incremento provocado por la radiación solar al incidir sobre las fachadas que, una vez absorbida, se convierte en un incremento de temperatura. El resultado es una temperatura ficticia denominada sol-aire, que puede ser entre 10 y 20 °C superior a la temperatura real del ambiente exterior. Dado que esta temperatura se alcanza cuando el sol incide sobre esa fachada, en el momento en el que deja de incidir se produce una rápida disminución (Neila González & Bedoya Frutos, 1997).

Esta notable fluctuación de las temperaturas exteriores a la hora de evaluar la transmisión de calor a través de un cerramiento, obliga a incorporar conceptos de régimen variable en su cálculo si se desea obtener resultados muy próximos a la realidad. Dos de las primeras consecuencias de la aplicación del régimen transitorio son la aparición de los conceptos de desfase (ver Ecuación 29) y amortiguación de la onda térmica (ver Ecuación 32) (Neila González & Bedoya Frutos, 1997). Estos conceptos están directamente relacionados con la capacidad de los elementos constructivos para almacenar calor debido a la densidad y calor específico de los materiales que los conforman (ver apartado 3.2).

3.1.2 Conducción

La conducción es el método predominante de transmisión de calor entre sólidos. Requiere que haya contacto directo entre ellos y no implica transporte de masa. En sólidos no metálicos, la propagación de calor por conducción se produce por vibración de los átomos o moléculas entorno a su posición de equilibrio en la red cristalina. En el caso de los sólidos metálicos, se produce, además, por la migración de electrones libres por el interior de la red cristalina, lo que los convierte en mejores conductores del calor (López Rosa, 2016).

Si se considera la transmisión de calor por conducción en régimen estacionario, se cumple la ley de Fourier. Esta ley dice que la densidad (superficial) de flujo de calor entre dos puntos es directamente proporcional al gradiente de temperaturas entre ellos (dT) e inversamente proporcional a la distancia entre ellos (dx).

$$\frac{\Phi}{A} = K * \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 4: Ley de Fourier. Dónde: K = Conductividad térmica del material entre ambos puntos [W/(m*K)]; T = Diferencia de temperatura entre ambos puntos (K); x = Distancia entre ambos puntos (m).

La conductividad térmica de un material se puede definir, cuando éste se presenta confinado entre dos superficies planoparalelas infinitas separadas a una distancia igual a la unidad (espesor, e), como la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo (flujo de calor, Φ) a través de una unidad de su superficie (A), al establecerse una diferencia de temperatura (ΔT) entre sus caras igual a la unidad. Su inverso es la resistividad térmica (r).

$$K = \frac{\Phi * e}{A * \Delta T}$$

Ecuación 5: Conductividad térmica de un material [W/(m*K)]. Dónde: Φ = Flujo de calor (J); e = espesor (m); A = Área (m²); ΔT = Diferencia de temperatura (K).

$$r = \frac{1}{K}$$

Ecuación 6: Resistividad térmica de un material [m*K/W]. Dónde: K = Conductividad térmica [W/m*K].

Tabla 1: Algunos materiales de construcción y su conductividad térmica aproximada. Fuente: (Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables)

Material	K [W/(m*K)]	Material	K [W/(m*K)]
Acero	50,00	Hormigón	1,60
Vidrio	0,95	Ladrillo	0,73
Madera	0,14	Poliestireno expandido	0,03

Cabe añadir que a la hora de caracterizar un producto para la construcción, puede emplearse el concepto de conductividad térmica aparente. Éste se utiliza cuando el material es tan poroso que se considera que el calor se transmite a su través no solamente por conducción, sino también por convección.

3.1.3 Convección

La convección térmica es el método de transmisión del calor en los fluidos. Implica un transporte de masa que puede ser natural, debido a la diferencia de densidad cuando la temperatura del fluido no es uniforme, o forzado, impulsado por algún dispositivo (López Rosa, 2016).

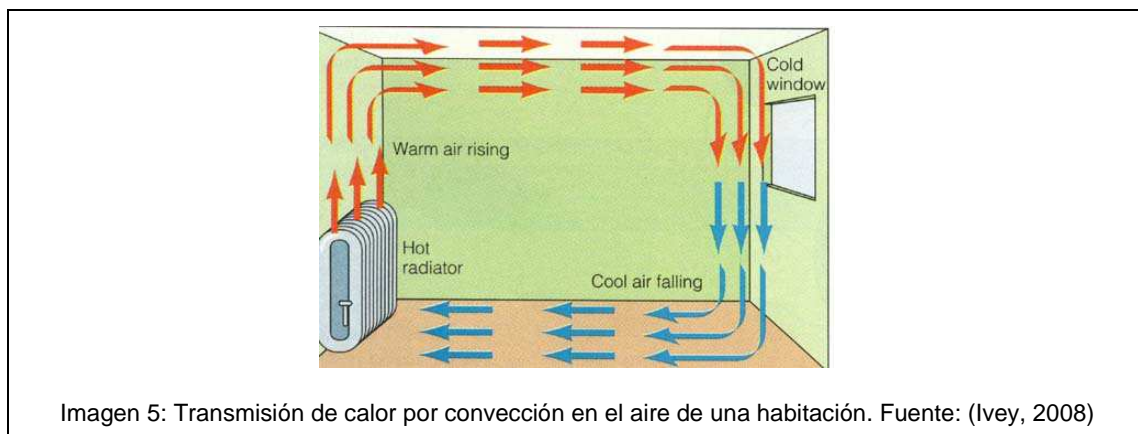


Imagen 5: Transmisión de calor por convección en el aire de una habitación. Fuente: (Ivey, 2008)

Los factores que influyen en la convección son muy diversos, por lo que no existe una ecuación sencilla que describa este fenómeno. El estudio práctico de la convección está basado en la experimentación.

3.1.4 Radiación

La radiación es el método de transmisión del calor producido por el hecho de que todos los cuerpos que se encuentran a una temperatura mayor que el cero absoluto emiten energía electromagnética (López Rosa, 2016). No necesita de un medio material para propagarse, puede hacerlo en el vacío. La potencia emitida por los cuerpos en función de su temperatura, en todas direcciones y por unidad de área, se denomina emitancia radiante.

$$R = \varepsilon * \sigma * T^4$$

Ecuación 7: Emitancia radiante de un cuerpo [W/m²]. ε = Emisividad (adimensional); T = temperatura del cuerpo (K); σ = constante de Stefan-Boltzmann = $5.6699 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴

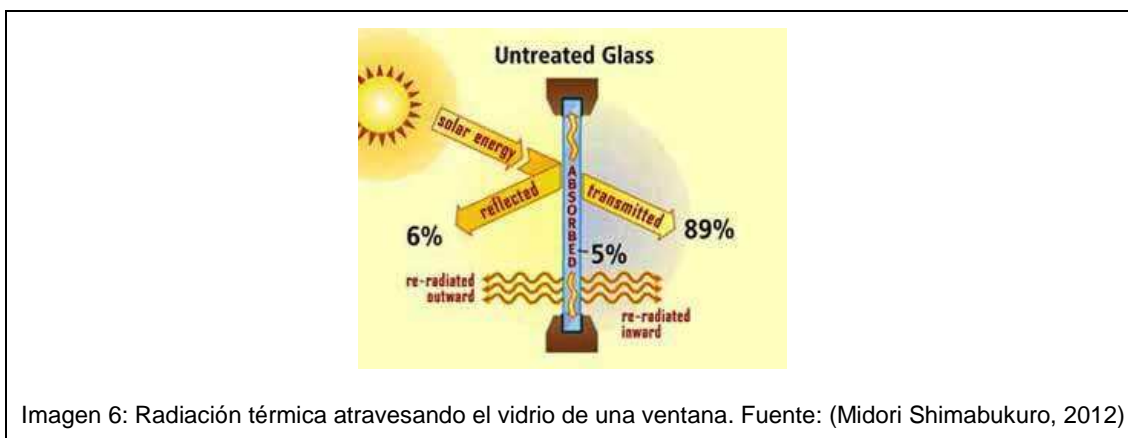
La emisividad es la proporción entre la radiación que emite un cuerpo a una determinada temperatura y la que emitiría un cuerpo negro. Se define cuerpo negro como aquel que, a una temperatura dada, emite la máxima cantidad de radiación a cada longitud de onda y en todas las direcciones posibles.

Además de emitir radiación electromagnética, todos los cuerpos la transmiten y absorben. Cuando la radiación incide sobre un objeto, ésta puede ser reflejada, absorbida y/o transmitida. Esta interacción entre la radiación y los cuerpos permite definir los siguientes coeficientes:

- Coeficiente de reflexión $\alpha_r = \frac{I_r}{I_i} \leq 1$ Ecuación 8: Coeficiente de reflexión (α_r) (adimensional), siendo I_r la radiación reflejada por un cuerpo e I_i la radiación incidente sobre el mismo.
- Coeficiente de transmisión $\alpha_t = \frac{I_t}{I_i} \leq 1$ Ecuación 9: Coeficiente de transmisión (α_t) (adimensional), siendo I_t la radiación transmitida por un cuerpo e I_i la radiación incidente sobre el mismo.
- Coeficiente de absorción $\alpha_a = \frac{I_a}{I_i} \leq 1$ Ecuación 10: Coeficiente de absorción (α_a) (adimensional), siendo I_a la radiación absorbida por un cuerpo e I_i la radiación incidente sobre el mismo.

$$\alpha_r + \alpha_t + \alpha_a = 1$$

Ecuación 11: Conservación de la radiación.



Según la ley de Kirchhoff, si un sistema se encuentra en equilibrio termodinámico con sus alrededores, su absorptividad debe ser igual a su emisividad. Por este motivo suele presentarse un único valor para ambas propiedades en la mayoría de fuentes de información sobre materiales.

3.2 Acumulación de calor

Todos los materiales tienen la capacidad de acumular calor, más cuanto mayor es su densidad y su calor específico.

El calor específico (C_e) es la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de un gramo de sustancia un grado (López Rosa, 2016). Para los sólidos, depende de la naturaleza del material y de su temperatura. En relación a los materiales de construcción, se trata de un parámetro que sólo representa diferencias importantes en el comportamiento térmico cuando se le considera en conjunto con otras propiedades como la densidad (ρ), dando lugar al concepto de calor específico volumétrico (Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables).

$$C_{ev} = C_e * \rho$$

Ecuación 12: Calor específico volumétrico [$J/(m^3 \cdot K)$]. Donde C_e = Calor específico [$J/(kg \cdot K)$]; ρ = Densidad (kg/m^3).

Tabla 2: Algunos materiales de construcción y su densidad, calor específico y calor específico volumétrico. Fuente: (Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables)

Material	ρ [kg/m ³]	Ce [J/(kg*K)]	Cev [kJ/(m ³ *K)]
Acero	7760	450	3492
Hormigón	2400	1050	2520
Vidrio	2500	836	2090
Ladrillo	1800	920	1656
Madera	600	1210	726
Poliestireno expandido	30	1700	51

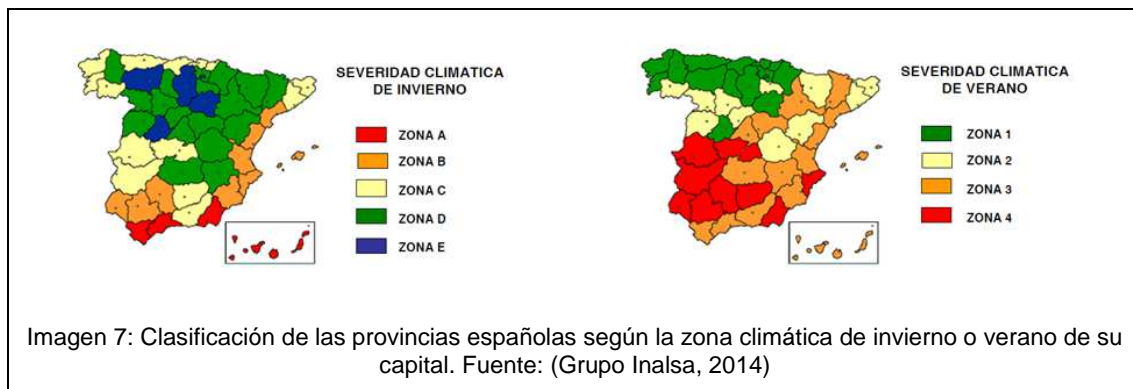
3.3 Cargas térmicas

Tras haber tratado los mecanismos de transmisión y acumulación de calor en relación al comportamiento térmico de los edificios, se exponen brevemente algunas cuestiones vinculadas al concepto de carga térmica. Las cargas térmicas son los flujos de calor que entran al edificio desde el exterior, a causa del clima, y que se generan en su interior, por diversas causas que a continuación se exponen.

3.3.1 Cargas térmicas externas

Los principales factores definitorios de un clima son la temperatura, la humedad, la radiación solar, el viento y las precipitaciones. Entre ellos, los que mayor importancia tienen en relación al balance térmico de los edificios son la temperatura y la radiación solar. Cuanto más se aleja la temperatura exterior del rango establecido como confortable, mayores esfuerzos hay que invertir sobre el control del balance térmico. Este control se realiza necesariamente interviniendo sobre otros factores distintos de las condiciones climáticas, ya que éstas varían de manera natural. En cuanto a la radiación solar, un mismo edificio puede verse afectado por la misma de muy distinta manera en función de su ubicación y orientación. Además, la acción del viento puede influir notablemente en la capacidad aislante de los cerramientos de los edificios, puesto que anula las resistencias térmicas superficiales de los mismos (ver apartado 3.5.2) y aumenta el flujo de aire por infiltración (ver apartado 3.5.7)

Con el fin de simplificar la caracterización climática de España, el CTE establece como normativo un sistema de clasificación según zonas de invierno y verano que permite facilitar los cálculos relativos al balance energético y las consiguientes demandas de calefacción y refrigeración.



3.3.2 Cargas térmicas internas

Las cargas internas se corresponden con el calor aportado o extraído al ambiente interior por varias fuentes que se encuentran en el edificio: los propios usuarios, que desprenden calor debido a su metabolismo corporal; el agua caliente utilizada en diversas actividades como el baño; las cocinas y otros aparatos como electrodomésticos y lámparas; y los equipos de climatización.

Entre todas estas fuentes, son de mayor importancia los equipos de climatización, puesto que son los que permiten regular en última instancia la temperatura interior para ajustarla a la de confort.

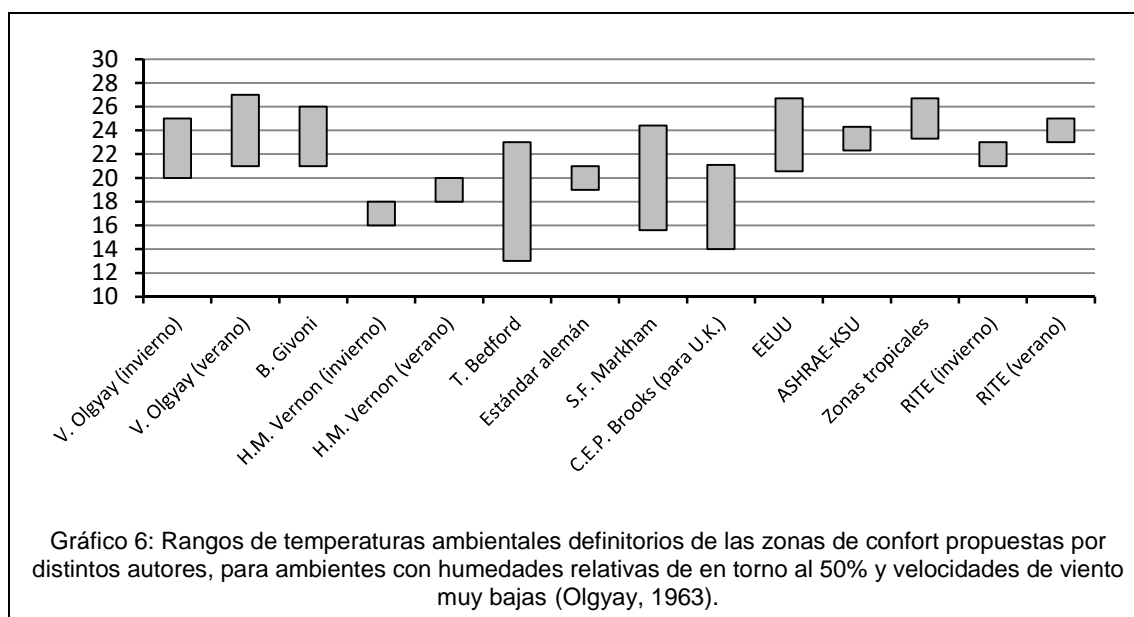
El valor de las cargas internas de un edificio depende en gran medida de la manera en que sus ocupantes lo utilizan. Los procedimientos de calificación energética asumen determinados perfiles o regímenes de uso estandarizados según el tipo de edificio. Sin embargo, el uso real del edificio depende de infinitos factores relacionados con las costumbres concretas de cada usuario y su percepción del confort térmico (ver apartado 3.4). La cuantificación precisa de las cargas internas de un edificio resulta compleja y exige la monitorización del mismo.

3.4 Confort térmico

El confort higrotérmico es un aspecto constantemente estudiado y de gran importancia en relación al balance térmico de los edificios, la eficiencia y la rehabilitación energéticas. Puede definirse como la sensación subjetiva de bienestar de una persona al estar expuesta a la combinación de unas determinadas condiciones de temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del aire y radiación térmica.

Uno de los conceptos manejados con mayor frecuencia para expresar numéricamente el confort higrotérmico es la temperatura efectiva. Ésta se trata de un índice arbitrario que expresa la sensación de calor, frío o confort que experimenta una persona expuesta a una combinación determinada de temperatura, humedad y velocidad del aire. Se identifica numéricamente con la temperatura ambiente cuando la humedad relativa es del 50 % y no hay viento. La definición de este concepto permite expresar con un mismo valor distintas combinaciones de temperatura ambiente, humedad y velocidad de viento, que producen la misma sensación térmica.

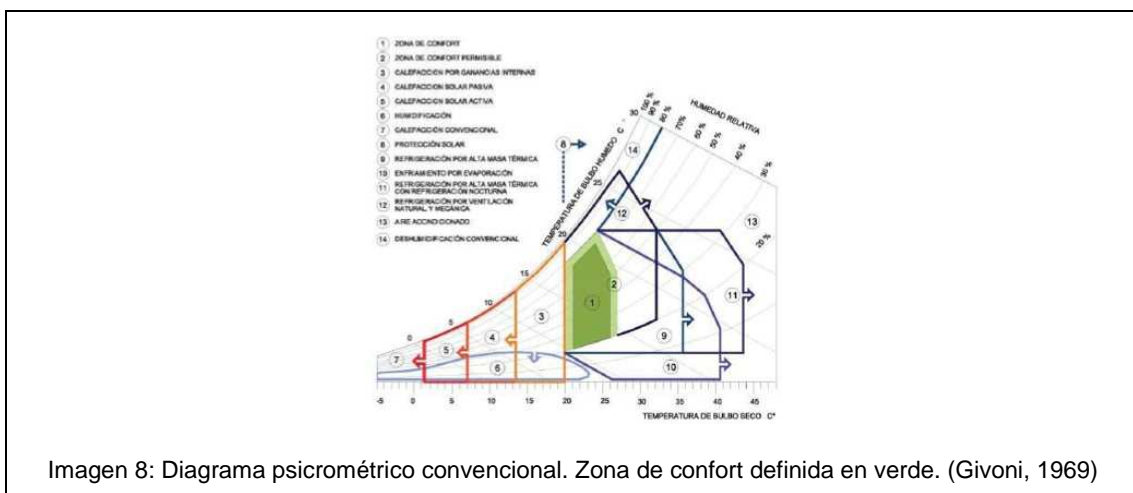
Como puede observarse en el gráfico siguiente, existe una gran disparidad entre las zonas de confort propuestas por varios científicos y normativas.



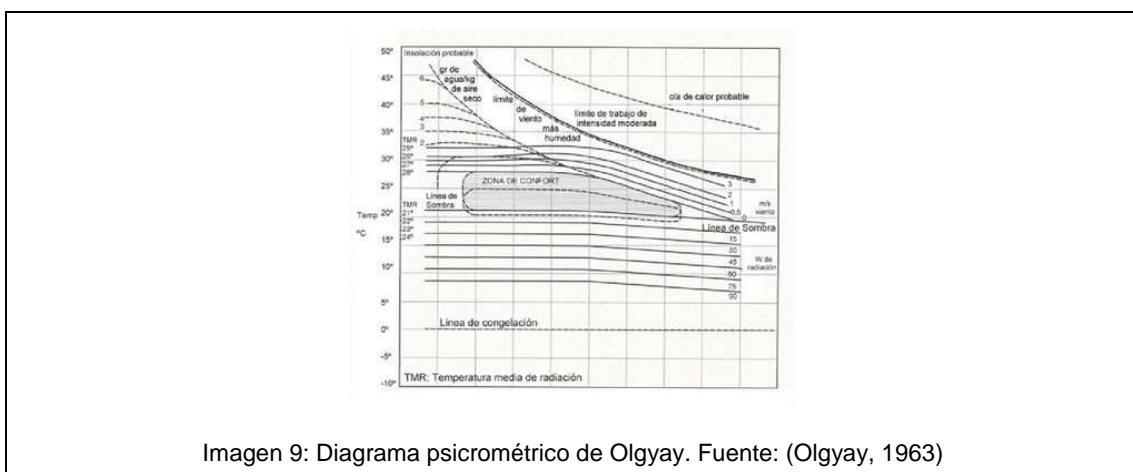
El confort está relacionado con multitud de factores personales y subjetivos, por lo que el establecimiento de estas temperaturas límite se realiza en base a estudios estadísticos. La sensación térmica de cada persona objeto de estudio varía en función de su metabolismo, su peso, el tipo y cantidad de ropa con la que se viste, su cultura y costumbres, e incluso según el color de las superficies de la estancia en la que se realiza el estudio. La diversidad en los resultados recogidos en el gráfico se debe posiblemente a que cada uno de los autores ha establecido unos valores distintos para cada uno de estos parámetros. Puede observarse cómo algunos autores proponen temperaturas de confort distintas para invierno y verano, siendo en todos los casos inferiores las primeras.

En cuanto a los rangos en los cuales deben situarse la humedad relativa y la velocidad del viento existe un consenso mayor. La humedad relativa sólo resulta inconfortable para las personas cuando supera valores extremos, por lo que suele definirse una zona de confort muy amplia, de entre el 20 y el 80 %. En el caso del viento, se considera ideal su ausencia, e inaceptable una velocidad superior a los 2 m/s. (Neila González & Bedoya Frutos, 1997)

La zona de confort higrotérmico puede representarse gráficamente en diagramas psicrométricos convencionales que relacionan varias propiedades del aire húmedo como las temperaturas seca, húmeda y de rocío, las humedades específica y relativa, el volumen específico o la entalpía.



Al margen del diagrama psicrométrico convencional, el diagrama de Olgay (1963) destaca por incorporar la velocidad del viento y la temperatura media radiante de las superficies interiores. Éste último es un parámetro muy importante a la hora de evaluar el confort aunque los diagramas convencionales no lo incluyan.



Como se ha dicho anteriormente, hay que tener en cuenta que la definición de una zona de confort se realiza de manera estadística y puede variar en función de múltiples parámetros. Los autores de los anteriores diagramas ofrecen instrucciones a fin de variar los límites de las zonas de confort propuestas para lugares situados en distintas latitudes y altitudes.

Para alcanzar el confort higrotérmico, la temperatura radiante media y todas las temperaturas radiantes utilizadas para su cálculo deben ser similares a la temperatura ambiental de confort. Un ejemplo de situación en la cual se percibe claramente la importancia de manejar este concepto es la de una persona en un ambiente refrigerado pero próxima a una ventana a través de la cual recibe la potente radiación solar del verano. Del mismo modo, la calefacción del aire es insuficiente para garantizar el confort en la proximidad a cerramientos poco aislantes en invierno (efecto pared fría) (Allen, 2008).

En este sentido, el estándar Passivhaus establece como uno de sus criterios a cumplir que la temperatura superficial interior de la envolvente térmica en invierno sea siempre superior a 17 °C (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE, 2007) es la norma que impone la zona de confort que debe alcanzarse en los edificios españoles. Introduce el concepto de temperatura operativa, que se define como el índice que combina los parámetros de temperatura ambiental, temperatura radiante media y velocidad del aire (no considera la humedad). Se calcula mediante la Ecuación 13, equivaliendo a la media entre la temperatura ambiental y la temperatura media radiante en ausencia de viento.

$$T_0 = A * t_a + (1 - A) * TMR$$

Ecuación 13: Temperatura Operativa (°C). Dónde: T_a = temperatura del aire (°C); TMR = temperatura media radiante (°C); A = constante que depende de la velocidad del aire. Su valor se toma de la Tabla 3.

Tabla 3: Tabla auxiliar para el cálculo de la temperatura operativa.

Velocidad del aire (m/s)	<0.2	0.2-0.6	0.6-1
Coeficiente A (adimensional)	0.5	0.6	0.7

Suponiendo una velocidad máxima del aire de entre 0,13 y 0,2 m/s, una actividad sedentaria y una vestimenta apropiada a cada estación del año, los límites higrotérmicos de la zona de confort normativa en España son los recogidos en la Tabla 4:

Tabla 4: Valores límite de la zona de confort establecida por el RITE para los edificios españoles

Estación	Temperatura operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Estos rangos de temperatura operativa de confort indicados por la normativa española RITE rondan los valores propuestos por diversos estudios y otras normativas extranjeras (ver Gráfico 6).

Cabe añadir la definición de otro concepto en relación a la temperatura, a fin de impedir su confusión con los anteriormente explicados: la temperatura de consigna. Ésta se corresponde con el rango de temperaturas interiores consideradas en el cálculo de la demanda energética que establece los límites a partir de los cuales

operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos (CTE DB-HE1, 2013). Estas temperaturas se corresponden en el funcionamiento real de los edificios con las temperaturas que cada usuario considere confortable en cada momento. A efectos de cálculo de instalaciones, en las viviendas españolas, deben utilizarse temperaturas de consigna pertenecientes a los rangos de temperatura operativa propuestos por el RITE.

3.5 Propiedades de la envolvente térmica

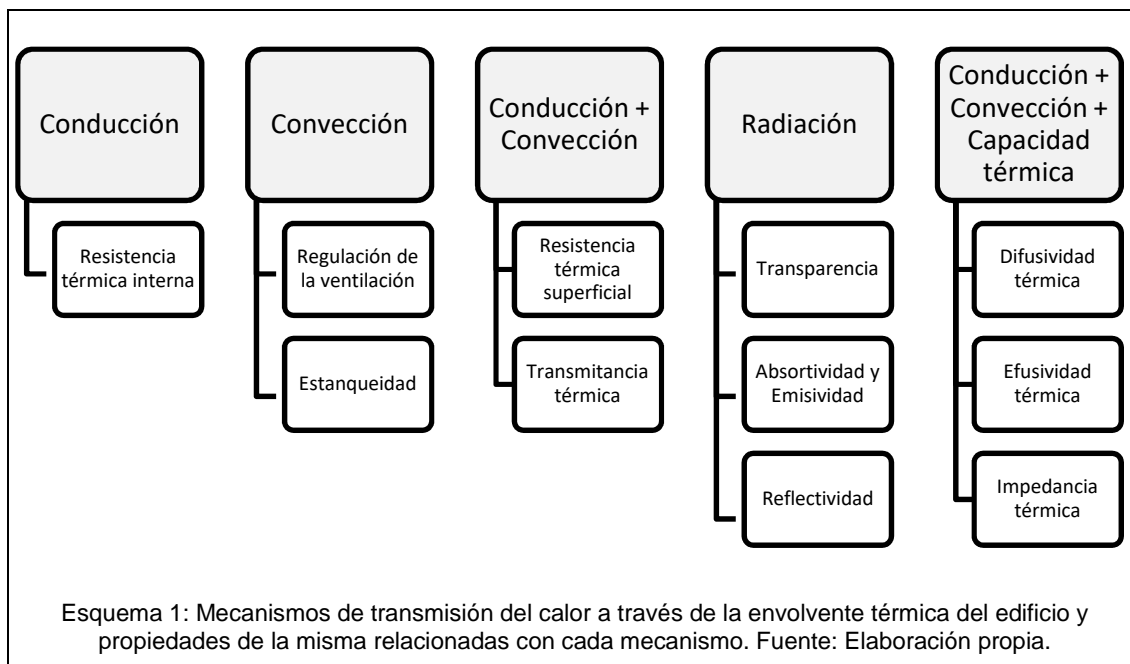
El flujo de calor entre el interior y el exterior del edificio atraviesa necesariamente una superficie que separa estos ambientes. Esta capa límite es la envolvente térmica, definida como la parte del edificio compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior (CTE DB-HE1, 2013).



Su configuración constructiva permite siempre una primera distinción entre dos partes que se comportan de manera diferente: parte semitransparente y parte opaca. Como elementos semitransparentes se consideran aquellos compuestos por una parte traslúcida (vidrios) y otra opaca (carpintería o marco). El resto del cerramiento, que no incluye ninguna parte transparente, es la parte llamada opaca. Las pérdidas de calor a través de los cerramientos de los edificios convencionales se reparten en un 80 % para la parte opaca y un 20 % para la parte semitransparente, de manera aproximada (Rivera & Fundación Laboral de la Construcción, 2013).

Los intercambios o flujos de calor se producen a través de la envolvente térmica mediante los tres mecanismos de transmisión de calor explicados anteriormente: conducción, convección y radiación (ver apartados 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4). La configuración constructiva de la envolvente y las propiedades de sus materiales son las que determinan la intensidad con la que estos flujos son regulados. El Esquema 1 recoge las propiedades de la envolvente que intervienen en la regulación de la transmisión de calor a su través mediante los diferentes mecanismos.

Las propiedades térmicas de la envolvente de los edificios, en una situación de invierno, deben ser tales que disminuyan las pérdidas de calor a su través. La consecución de este objetivo suele llevar aparejada la obtención de temperaturas radiantes superficiales interiores elevadas, que son un requisito indispensable para el confort térmico de los usuarios como se ha visto con anterioridad.



3.5.1 Resistencia térmica interna

Según la norma UNE-EN ISO 7345, suponiendo un régimen de transmisión de calor estacionario, la resistencia térmica (R) se define como la diferencia de temperatura entre dos puntos (ΔT) dividida por la densidad de flujo de calor (q) (AENOR, 1996):

$$R = \frac{\Delta T}{q}$$

Ecuación 14: Resistencia térmica [$K \cdot m^2/W$]. ΔT = Diferencia de temperatura (K); q = densidad superficial de flujo de calor (W/m^2).

Cuando se aplica a un cuerpo limitado por caras planoparalelas y se considera su conductividad térmica constante con la temperatura (como puede ser una capa constituyente de un cerramiento), la resistencia térmica interna puede expresarse como el cociente entre el espesor y la conductividad térmica, como indica la norma UNE-EN ISO 7345 (AENOR, 1996). Su inverso es la conductancia térmica.

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Ecuación 15: Resistencia térmica interna de cuerpos limitados por caras planoparalelas [$K \cdot m^2/W$]. Dónde: d = espesor (m); λ = Conductividad térmica [$W/(m \cdot K)$].

$$A = \frac{1}{R_i}$$

Ecuación 16: Conductancia térmica [$W/(K \cdot m^2)$]. Dónde: R_i = Resistencia térmica interna [$K \cdot m^2/W$].

La suma de la resistencia térmica de cada capa de un cerramiento tiene como resultado su resistencia térmica interna.

$$R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

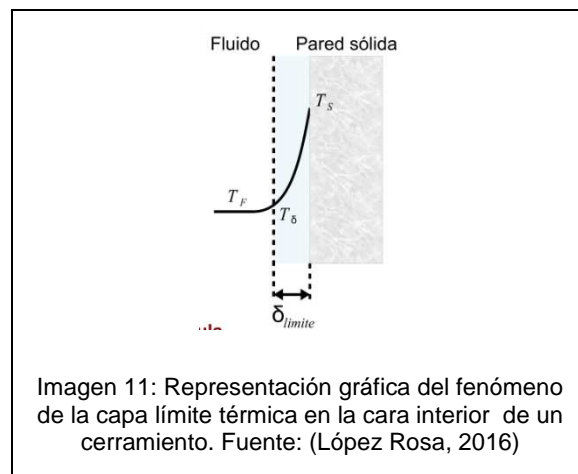
Ecuación 17: Resistencia térmica interna de un cerramiento [$K \cdot m^2/W$]. Dónde: R_n = Resistencia térmica interna de cada capa [$K \cdot m^2/W$].

3.5.2 Resistencia térmica superficial

La resistencia térmica superficial es la oposición que presenta cualquier cuerpo a la transmisión de calor entre su superficie y el ambiente que lo rodea, y está relacionada con los mecanismos de transmisión por conducción y convección.

La velocidad del aire en el interior de una capa puesta en contacto con una lámina sólida es variable, partiendo de un teórico valor nulo en la zona que está totalmente pegada a la superficie del sólido y elevándose según nos alejamos de ella, hasta que llega el momento en el que la separación de la pared es suficientemente grande para que las variaciones de velocidad sean nulas y permanezca una velocidad constante. En el caso de fluidos de baja viscosidad, como el aire, la capa próxima al sólido en la cual se producen variaciones de velocidad, suele ser bastante pequeña, aunque variable ya que su espesor depende de la velocidad del fluido. Esta lámina de aire se denomina capa límite de velocidad, y es aquella en la que la viscosidad influye sobre el movimiento. Fuera de esa capa límite los efectos de la pared sobre los movimientos convectivos pueden considerarse despreciables. El espesor de la capa límite de velocidad es difícil de precisar ya que, como se ha dicho, depende de la velocidad. Basándose en ello, el límite de esta capa se define arbitrariamente como el punto en el cual la velocidad del fluido se encuentra entre el 95 y el 99 % del valor máximo que se obtiene en la zona de movimiento libre. El movimiento del fluido dentro de la capa límite puede ser laminar o turbulento. Si es laminar, las capas con distinta densidad se mueven paralelas unas a otras y a su vez a la pared, produciéndose intercambios de calor entre capas por conducción y dentro de ellas por convección. Sin embargo, cuando el régimen es turbulento, el flujo paralelo a la pared se intercala con movimientos perpendiculares a ella, produciéndose no solamente transferencias de calor por conducción, sino también mezclas de fluidos de las distintas capas, lo que incrementa la transmisión de calor hacia el exterior de la pared.

Por otro lado, en esa capa de aire se produce un gradiente térmico en sentido perpendicular al paramento. Basándose en este fenómeno se puede hablar de una capa límite térmica que no se fundamenta en la velocidad del fluido, sino en su temperatura. Esta capa se encuentra limitada por una lámina en la cual la temperatura alcanza un porcentaje elevado de la máxima que se obtiene en la zona libre de temperatura constante (entre el 95 y el 99 %) (Neila González & Acha Román, 2009).



Las capas límite de velocidad y temperatura no tienen por qué coincidir, aunque frecuentemente lo hacen. Su dimensión suele encontrarse entre 12 y 19 mm (Neila González & Bedoya Frutos, 1997). Estas capas de aire son por lo explicado anteriormente resistentes al paso del calor entre el ambiente y el cerramiento, por lo que se les puede asignar un valor de resistencia térmica. Este valor se deduce experimentalmente y sobre él influyen factores muy diversos, entre los cuales se encuentran:

- Dirección y velocidad del flujo.
- Forma, orientación y ubicación de la superficie del cerramiento.
- Calor específico y conductividad térmica de las sustancias implicadas.
- Existencia de otros procesos como evaporación, condensación, etc.

$$R_{si} = \frac{(T_i - T_{si})}{q}$$

Ecuación 18: Resistencia térmica superficial interior [$m^2 \cdot K/W$]. Dónde: T_i = Temperatura ambiental interior (K); T_{si} = Temperatura superficial interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m^2).

$$R_{se} = \frac{(T_e - T_{se})}{q}$$

Ecuación 19: Resistencia térmica superficial exterior [m²*K/W]. Dónde: Te = Temperatura ambiental exterior (K); Tse = Temperatura superficial exterior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m²).

Los respectivos valores inversos a la resistencia térmica superficial interior y exterior son los denominados coeficientes de transmisión por convección superficiales exterior (h_e) e interior (h_i).

$$h_i = \frac{q}{(T_i - T_{si})}$$

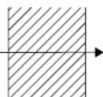


Ecuación 20: Coeficiente de convección superficial interior [W/(m²*K)]. Dónde: Ti = Temperatura ambiental interior (K); Tsi = Temperatura superficial interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m²).

$$h_e = \frac{q}{(T_e - T_{se})}$$

Ecuación 21: Coeficiente de convección superficial exterior [W/(m²*K)]. Dónde: Te = Temperatura ambiental exterior (K); Tse = Temperatura superficial exterior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m²).

El CTE establece valores normativos para la resistencia térmica superficial de cerramientos de edificios, según su posición y el sentido del flujo de calor.

Tabla 5: Valores de cálculo para las resistencias superficiales y coeficientes de convección superficial exteriores e interiores de los cerramientos exteriores de edificios. R_{se} = Resistencia superficial exterior; R_{si} = Resistencia superficial interior. Fuente: CTE DA DB-HE1 (Ministerio de Fomento, 2015) y UNE-EN ISO 10456 (AENOR, 2007).

		R _{se} [m ² *K/W]	h _e [W/(m ² *K)]	R _{si} [m ² *K/W]	h _i [W/(m ² *K)]
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	25,00	0,13	7,69
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal <60° y flujo ascendente (techo)		0,04	25,00	0,10	10,00
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	25,00	0,17	5,88

Estos valores han sido obtenidos de manera experimental bajo unas condiciones de ensayo concretas en laboratorio. En cualquier situación real, estos coeficientes cambiarán de valor, aunque permanezcan en el mismo orden de magnitud. En situaciones extremas, la acción del viento puede llegar a anular por completo las resistencias superficiales exteriores de los cerramientos, como ya se mencionó en el apartado 3.3.1.

3.5.3 Transmitancia térmica

La combinación entre la resistencia térmica interna y las resistencias superficiales interior y exterior permite definir los conceptos de resistencia térmica total y de transmitancia térmica o coeficiente de transmisión de calor, que se formulan a continuación.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Ecuación 22: Resistencia térmica total [m²*K/W]. Dónde: R_{si} = Resistencia térmica superficial interior [m²*K/W]; R_{se} = Resistencia térmica superficial exterior [m²*K/W]; R_n = Resistencia térmica de cada capa [m²*K/W].

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Ecuación 23: Transmitancia térmica [W/(m²*K)] como inversa de la resistencia térmica total (R_T) [m²*KW].

Considerando la transmisión de calor en régimen estacionario, la transmitancia térmica de un cerramiento puede definirse también, según indica la norma UNE-EN ISO 7345 (AENOR, 1996), como el flujo de calor dividido por el área y por la diferencia de temperatura de los medios situados a cada lado del sistema:

$$U = \frac{q}{(T_i - T_e)}$$

Ecuación 24: Transmitancia térmica en función del flujo y la diferencia de temperaturas interior y exterior [W/(m²*K)].
Dónde: T_e = Temperatura ambiental exterior (K); T_i = Temperatura ambiental interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m²).

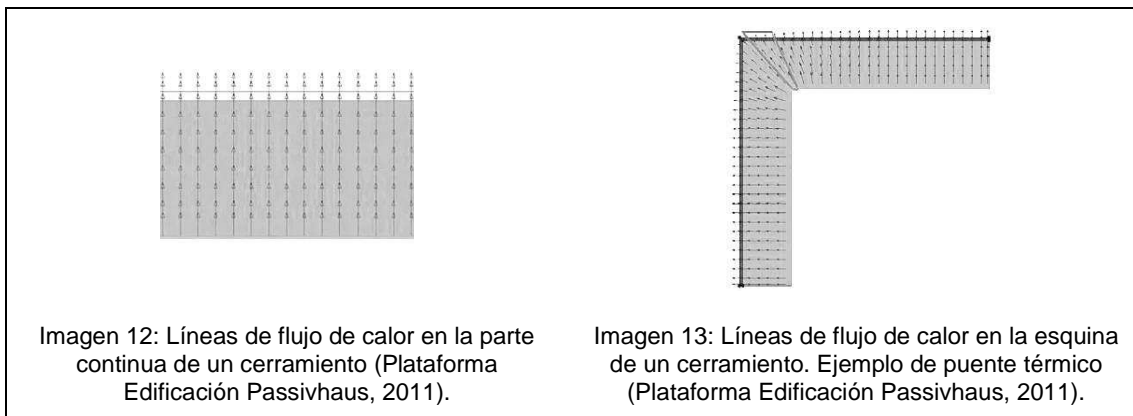
Tabla 6: Resumen de propiedades relacionadas con transmisión de calor por conducción y convección.
Fuente: Elaboración propia.

Medio / Signo	Material	Cerramiento o capa del mismo sin contar sus superficies	Cerramiento contando sus superficies
Permision al paso de calor	Conductividad térmica	Conductancia térmica	Transmitancia térmica
Oposición al paso de calor	Resistividad térmica	Resistencia térmica interna	Resistencia térmica total

Para conseguir una envolvente que se oponga eficazmente al paso del calor, los cerramientos deben tener una baja transmitancia térmica. Esto se consigue utilizando materiales de baja conductividad dispuestos en capas de gran espesor. Convencionalmente, la resistencia térmica de los cerramientos se confía a una sola capa constituida por un material aislante. Suelen considerarse materiales aislantes aquellos cuya conductividad térmica es inferior a 0,08 o 0,10 W/(m*K).

Habitualmente, la resistencia térmica de la parte opaca de los cerramientos no es homogénea. Existen zonas de la misma en las que la transmitancia térmica es considerablemente superior a la media del resto de la superficie, conocidas como puentes térmicos. En cerramientos convencionales, los puentes térmicos se producen generalmente por la disminución o ausencia de material aislante en determinadas zonas debido a fallos en la ejecución o en el diseño constructivo. Entre las zonas más comúnmente afectadas por discontinuidades en el aislamiento están los contornos de los huecos y los puntos de interacción entre el cerramiento y elementos estructurales como pilares embebidos o cantos de forjado pasantes. Estos dos grandes grupos de puentes térmicos son los causantes de aumentos en la demanda de calefacción de los edificios de aproximadamente un 20 % y un 5 % respectivamente (Rivera & Fundación Laboral de la Construcción, 2013). Por otro lado, cualquier lugar en el que el flujo de calor no sea unidireccional constituye un puente térmico. Por ejemplo, cualquier esquina de un cerramiento constituye un puente térmico porque a cada unidad de superficie en la cara interior le corresponde otra mayor en la cara exterior, como se ve en la Imagen 12 y en la Imagen 13 (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).

También pueden crearse puentes térmicos debido a la acumulación de humedad, ya que la conductividad térmica de los materiales aumenta si sus poros se saturan con agua.



Los puentes térmicos tienen una importancia relativa sobre la transmitancia térmica global de los cerramientos, de un 20 % aproximadamente en los edificios convencionales. Si la zona opaca homogénea y los huecos tienen resistencias térmicas elevadas, casi toda la energía se perderá a través de los puentes térmicos. Si un edificio está en general mal aislado, perderá mucha energía a través de la parte homogénea y las pérdidas a través de los puentes térmicos representarán una proporción pequeña de las totales.

Los puentes térmicos, además de facilitar la pérdida de calor del edificio, son zonas en las que la temperatura interior del cerramiento se aleja de la temperatura de confort. Este efecto, conocido como pared fría, dificulta la consecución del confort térmico en el edificio como se ha dicho anteriormente (ver apartado 3.4).

La evaluación de las pérdidas de calor a través de puentes térmicos de manera precisa puede exigir la aplicación de métodos de cálculo basados en la teoría de diferencias finitas, normalmente mediante el uso de software especializado, aunque el CTE ofrece métodos simplificados.

3.5.4 Capacidad térmica

La capacidad térmica o calorífica de un elemento es el calor que resulta necesario aportar para conseguir un determinado aumento de su temperatura, según indica la norma UNE-EN ISO 7345 (AENOR, 1996).

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Ecuación 25: Capacidad calorífica [J/K]. Dónde: Q = Energía calorífica o calor (J); T = Temperatura (K).

Se cuantifica como el producto del volumen del elemento por su densidad y su calor específico (volumen por calor específico volumétrico).

$$C = V * \rho * Ce = V * Cev$$

Ecuación 26: Capacidad calorífica [J/K]. V = Volumen (m³); ρ = Densidad (kg/m³); Ce = Calor específico [J/(kg*K)]; Cev = Calor específico volumétrico [kJ/(m³*K)].

La capacidad térmica es una propiedad importante en relación al comportamiento térmico de los edificios, puesto que denota la capacidad de sus elementos constructivos para almacenar calor. Los elementos con mayor capacidad térmica absorben y ceden calor lentamente, es decir, se oponen en gran medida a cambios en su temperatura, por lo que también se suele hacer referencia a este concepto como inercia térmica.

Al cuantificar la capacidad térmica de los cerramientos, no se puede contabilizar todo su volumen. Esto es así puesto que se establece en ellos un gradiente de temperatura que reduce su capacidad de acumulación de calor, al no poder alcanzar en toda su masa la misma temperatura (Neila González & Bedoya Frutos, 1997). Algunos

estudios han constatado que la masa térmica que realmente influye sobre las condiciones térmicas interiores de los edificios es la correspondiente a los primeros centímetros contados desde el interior. Esta masa térmica es la llamada masa térmica efectiva, cuyo espesor puede rondar los 4 cm desde el interior en un cerramiento macizo de 30 cm de espesor (Biddulph et al., 2014). Este fenómeno que reduce la masa térmica a un determinado espesor no se da en particiones interiores, por estar rodeadas por ambientes a la misma temperatura. Tampoco ocurre en los líquidos, cuya masa se calienta de manera homogénea al hacerlo fundamentalmente por convección (Neila González & Bedoya Frutos, 1997).

3.5.5 Efecto conjunto de la transmitancia y la capacidad térmicas

La capacidad térmica de los cerramientos influye sobre la intensidad con la que éstos regulan el paso de calor a su través. Es decir, la mayor o menor oposición al flujo de calor no depende únicamente de su transmitancia, sino también de su capacidad térmica. Este efecto combinado de ambas propiedades solamente puede estudiarse asumiendo el flujo de calor como transitorio, ya que el efecto de la capacidad térmica está directamente relacionado con los cambios que se producen en las temperaturas interiores y exteriores a lo largo del tiempo.

Olgay (1963) expresa el efecto combinado de la conductividad y la capacidad térmica de los materiales mediante el concepto de difusividad térmica.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho * c}$$

Ecuación 27: Difusividad térmica [m²/s] (Olgay, 1963). Dónde: λ =conductividad térmica [W/(m*K)]; ρ =densidad (kg/m³); c =calor específico [J/(kg*K)].

Esta propiedad caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura interior de un material ante un cambio en la temperatura de su superficie. Está relacionada con la sensación térmica superficial, siendo los materiales más cálidos al tacto cuando tienen menor difusividad porque mantienen el calor cerca de su superficie (Neila González & Acha Román, 2009).

Tabla 7: Difusividad materiales de construcción (Miliarium.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2016)

Material	Densidad [kg/m ³]	Calor específico [J/(kg*K)]	Conductividad térmica [W/(m*K)]	Difusividad térmica [m ² /(s*10 ⁻⁶)]
Acero	7850	460	47-58	13.01-16.06
Granito	2750	837	3	1.303
Hormigón	2200	837	1,4	0,761
Ladrillo	1800	840	0,8	0,529
Vidrio	2700	833	0,81	0,36
Madera	840	1381	0,13	0,112

Otro concepto que combina los efectos de la conductividad y la capacidad térmica de los materiales es la efusividad térmica, definida por la norma UNE-EN ISO 7345 (AENOR, 1996).

$$b = \sqrt{\lambda * \rho * c}$$

Ecuación 28: Efusividad térmica [J*K⁻¹*m⁻²*s^{-1/2}]. Dónde: λ =conductividad térmica [W/m*K]; ρ =densidad (kg/m³); c =calor específico [J/(kg*K)].

Entre otras cosas, la efusividad térmica nos da la respuesta de una temperatura superficial a un cambio en la densidad de flujo calorífico en la superficie. A menos efusividad térmica de un material, la temperatura superficial es más sensible a los cambios de densidad de flujo de calor en la superficie.

El desfase de onda térmica (d) se define como el tiempo que el calor tarda en atravesar el cerramiento. Provenga este calor de la climatización interior o del exterior, suele considerarse que reanuda su flujo a través del cerramiento cada 24 horas. Su expresión matemática es la siguiente:

$$d = 0,53 * \frac{T}{2} * \sqrt{\frac{\rho * Ce}{\pi * \lambda * T}} * L$$

Ecuación 29: Desfase de onda térmica (Neila González & Bedoya Frutos, 1997) (h). Dónde: λ = Conductividad térmica [W/m*K]; ρ = densidad (kg/m³); L = espesor (m); Ce = Calor específico [J/(kg*K)]; T = Periodo del fenómeno (24h)

Otros autores han desarrollado fórmulas para cuantificar igualmente este fenómeno, denominándolo impedancia térmica. Este concepto sólo puede aplicarse directamente a muros homogéneos, aunque podrían determinarse ecuaciones más complejas para elementos multicapa como un cerramiento convencional (Domínguez & Santamaría, 2001).

$$[Z] = R * \sqrt{\left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{1}{12} \left(19 \left(\frac{\omega RC}{9}\right) - \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^3\right)\right]^2}$$

Ecuación 30: Módulo de impedancia térmica (m²K/W)

$$\delta = \text{Arctg} \left\{ \frac{\left[\frac{1}{3} \left(19 \left(\frac{\omega RC}{9}\right) - \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^3\right)\right]}{4 - \frac{8}{3} \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^2} \right\}$$

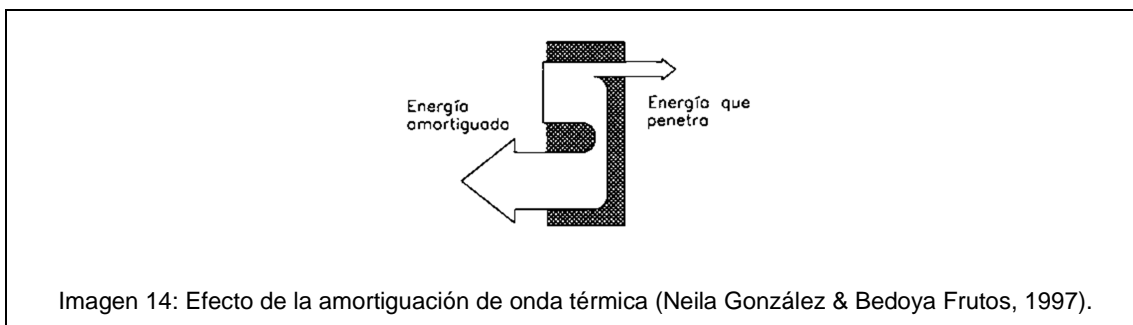
Ecuación 31: Fase del módulo de impedancia térmica (rad)

Dónde: R = resistencia térmica [m²K/W]; C = capacidad térmica (J/K); ω = Frecuencia de onda térmica a la que se somete el muro (rad/s).

La amortiguación de onda térmica es la proporción de calor que invierte su sentido de flujo antes de alcanzar la cara opuesta del cerramiento, abandonando éste por la misma cara por la que entró en él. Esto ocurre debido a la variación cíclica diaria de la climatización interior y la temperatura y radiación exteriores. Se cuantifica mediante la siguiente expresión:

$$A_T = 1 - e^{-d}$$

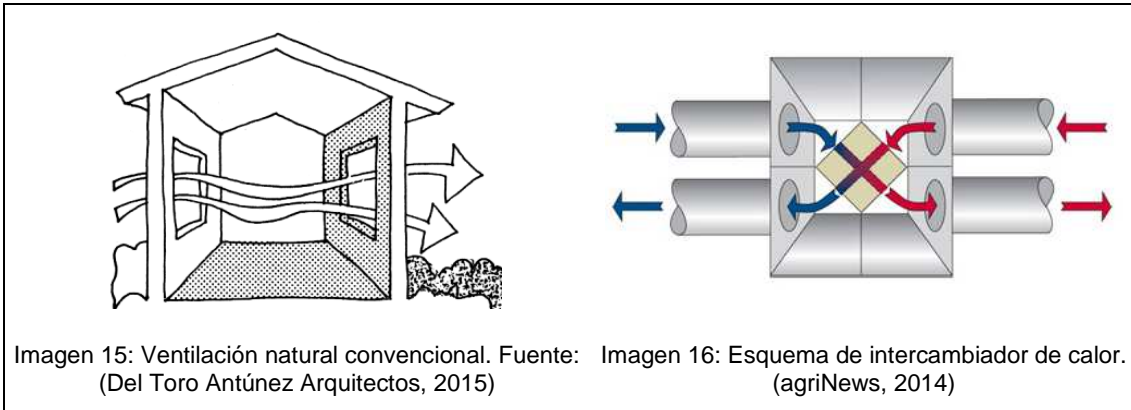
Ecuación 32: Amortiguación térmica (Neila González & Bedoya Frutos, 1997). Dónde: e = constante de Napier = 2,718... (adimensional); d = Desfase de onda térmica (h)



La resistencia térmica es la propiedad que contribuye de manera mayoritaria a la disminución de la amplitud térmica en el interior de los edificios, mientras que la capacidad térmica es la propiedad del cerramiento que provoca el desfase de onda térmica. Este desfase, sin embargo, contribuye también de manera indirecta a la reducción de la amplitud térmica. En cualquier caso, ambas propiedades son beneficiosas para el confort térmico en los edificios y sus efectos son difíciles de analizar por separado, ya que en la realidad siempre actúan conjuntamente.

3.5.6 Control de la ventilación

La ventilación consiste en el intercambio de aire entre el interior y el exterior del edificio a través de aberturas o conductos dispuestos al efecto. Puede provocar ganancias o pérdidas de calor, que pueden ser deseables o no en función de las temperaturas interior y exterior. Para controlar este flujo térmico y evitar los intercambios de calor indeseados, se puede sustituir la ventilación tradicional a través de ventanas por la ventilación controlada a través de intercambiadores de calor.

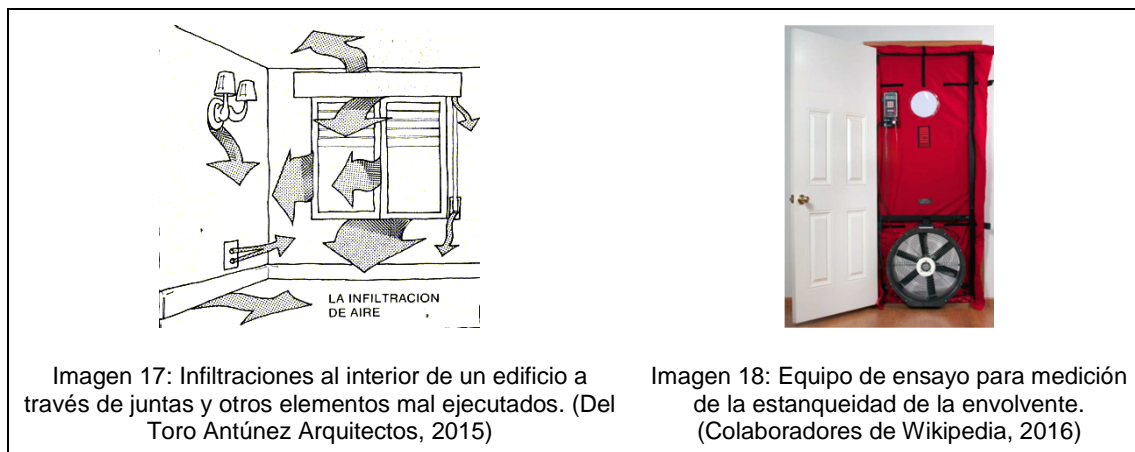


3.5.7 Estanqueidad

Existe también intercambio de aire entre el interior y el exterior del edificio a través de aberturas accidentales, como carpinterías no estancas y juntas mal selladas entre elementos constructivos. Este intercambio de aire, que en principio es incontrolable, suele denominarse infiltración y puede separarse del concepto de ventilación. Las infiltraciones más frecuentes son las que se producen en la unión entre las carpinterías y la parte opaca del cerramiento (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).

La existencia de infiltraciones de aire en los edificios provoca un intercambio de calor incontrolable con el exterior, por lo que éstas deben eliminarse en aras de la eficiencia energética. Una envolvente sin huecos por los que se produzcan infiltraciones es una envolvente estanca o impermeable al aire. La estanqueidad de un cerramiento puede definirse, por lo tanto, como la medida de la capacidad de éste para evitar el paso incontrolado de aire a su través.

En edificios existentes, la estanqueidad puede medirse mediante el método de presurización por medio de ventilador (también conocido como ensayo blowerdoor o de puerta soplante), que regula la norma UNE-EN 13829 (AENOR, 2002). El resultado puede expresarse como la cantidad de aire filtrado por área de envolvente, con una diferencia de presión de normalmente 50 Pa. Esta cantidad de aire puede compararse con el volumen del edificio, obteniéndose el número de renovaciones de aire que se producen por unidad de tiempo. Mientras que un edificio convencional que cumple el CTE puede tener una permeabilidad al aire de unas tres renovaciones por hora, el estándar passivhaus exige un valor menor a 0,6 ren/h (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).



La estanqueidad al aire es una propiedad muy importante para reducir el consumo de energía de un edificio, ya que puede contrarrestar el esfuerzo aplicado en mejorar otras propiedades de la envolvente.

Debe señalarse que el sellado de juntas y la instalación de carpinterías estancas no es la única estrategia a favor de la estanqueidad de los edificios. La ventilación forzada con sobrepresión puede llegar a equilibrar las presiones a ambos lados del cerramiento impidiendo las infiltraciones.

3.5.8 Absortividad, emisividad y reflectividad

El principal fenómeno relacionado con la radiación que afecta al balance térmico de los edificios es la ganancia de calor por radiación solar. La energía del Sol puede alcanzar al edificio de manera directa o tras rebotar en alguna superficie, y puede penetrar en su interior atravesando tanto la parte transparente como la opaca de la envolvente. Cada combinación entre los anteriores supuestos provoca una diferente intensidad en la ganancia de energía procedente del Sol.

La envolvente térmica de los edificios presenta distintas propiedades en relación a su comportamiento ante el fenómeno de la radiación. La absortividad o poder absorbente es la fracción de la radiación incidente isótropa de todas las longitudes de onda que es absorbida (no reflejada) por un cuerpo. Depende de la temperatura y naturaleza de la superficie del cuerpo. La reflectividad, por su parte, es la fracción de la radiación incidente isótropa de todas las longitudes de onda que es reflejada. Depende también de la temperatura y naturaleza de la superficie del cuerpo (López Rosa, 2016).

Existen varias medidas que se pueden aplicar sobre la envolvente de un edificio para controlar las ganancias por captación solar. En condiciones de invierno, con el objetivo de aumentar la captación, pueden ampliarse los huecos al sur (en el hemisferio norte) o instalarse invernaderos, galerías y muros trombe. En condiciones de verano, para disminuir la captación de radiación, pueden construirse aleros, instalarse toldos o persianas y utilizar vegetación para dar sombra. Los cerramientos opacos, en invierno, captan poca radiación solar durante el día y se compensa en su práctica totalidad con la que pierden mediante el mismo mecanismo durante la noche. En verano, sin embargo, la captación por radiación de la parte opaca de los cerramientos tiene mucha importancia debido a que éstos se recalientan dando lugar a ganancias significativas. Para paliar este efecto, la medida más efectiva es utilizar materiales de cobertura y revestimiento de color blanco, puesto que de esta forma se refleja la mayor parte de la radiación del espectro visible. Sin embargo, hay que señalar también que la reflexión del resto del espectro depende más de la composición molecular de los revestimientos que de su color (Olgyay, 1963).



Imagen 19: Pueblo de Casares (Málaga), cuyas edificaciones están pintadas de color blanco para favorecer la reflexión de la radiación solar. (Sánchez, 2015)

Estado de la cuestión

4 Estado de la cuestión

La transmitancia térmica de los cerramientos opacos es uno de los parámetros de los edificios que tiene una mayor repercusión sobre su comportamiento térmico, por lo que su correcta evaluación resulta muy importante en cualquier proceso de auditoría energética. Varios artículos corroboran que el cálculo teórico (ver apartado 4.2) puede arrojar resultados tan imprecisos que provoquen una calificación energética errónea, de hasta una letra de diferencia (Li et al. (2014), Biddulph et al. (2014) y Asdrubali et al. (2014)). Derivado de lo anterior, los periodos de amortización económica de medidas de ahorro energético aplicadas a la envolvente pueden verse seriamente alterados debido a la falta de precisión en la evaluación. Existe, en consecuencia, un gran interés en desarrollar métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos que ofrezcan resultados precisos y fiables. Además, se procura que estos métodos sean fáciles de llevar a cabo.

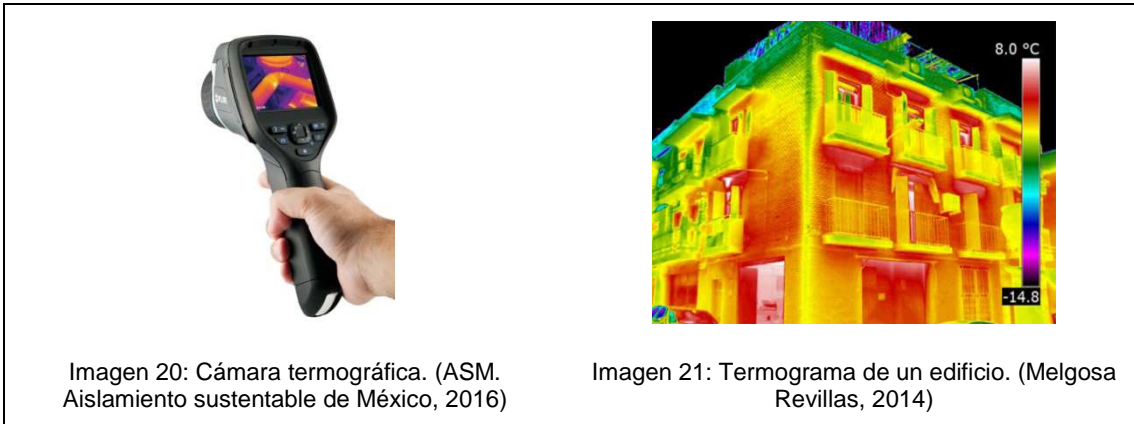
A continuación se explican diferentes métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos, desde los más convencionales a los más innovadores, haciendo referencia a sus correspondientes normativas y a algunas campañas experimentales llevadas a cabo por grupos de investigación en distintas partes del mundo.

4.1 Consideración previa: Análisis cualitativo mediante termografía infrarroja

La parte opaca de la envolvente de los edificios no es homogénea, existiendo zonas con distintos valores de transmitancia térmica y puentes térmicos. Por ello, cualquiera de los métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos requiere un análisis complementario relativo a la homogeneidad de los cerramientos evaluados. Este análisis puede hacerse a partir de la información técnica del edificio, aunque un análisis experimental puede arrojar resultados más fiables. El procedimiento común para evaluar la heterogeneidad de los cerramientos en cuanto a sus propiedades térmicas es el análisis cualitativo mediante termografía infrarroja, cuya norma reguladora a nivel internacional es la ISO 6781 (ISO, 1983).

La termografía infrarroja es un método de ensayo no destructivo y a distancia que permite conocer la temperatura a la que se encuentra la superficie de un cuerpo. Se basa en la relación existente entre temperatura, emisividad y emitancia radiante (ver Ecuación 7). La herramienta de ensayo capta la emitancia radiante emitida por el cuerpo objeto de estudio y la focaliza sobre un detector que, al cambiar su resistencia, genera una señal eléctrica que se traduce en un valor de temperatura (Antón García, Rico Delgado, & Moyano Campos, 2013). La emitancia radiante no es visible para el ojo humano puesto que se encuentra en la parte infrarroja del espectro electromagnético, hecho que da nombre a la técnica.

Se utiliza de manera frecuente como método de control de calidad en multitud de procesos industriales. En edificación se ha consolidado su uso como método de detección de puentes térmicos en envolventes (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011). El dispositivo de ensayo es una cámara termográfica que procesa la emitancia radiante emitida por una superficie y, tras combinarla con su valor de emisividad, genera una imagen en la que se representan con distintas tonalidades los puntos de esa superficie según cual sea su temperatura. A esta imagen se la denomina termograma y puede procesarse con herramientas informáticas especializadas para obtener los valores de temperatura correspondientes a los de emitancia radiante.



A la hora de realizar una termografía infrarroja sobre la envolvente de un edificio deben cumplirse varias condiciones, entre ellas las siguientes:

- Debe configurarse la cámara con el valor de emisividad del material cuya temperatura se pretende conocer (Hoyano, Asano, & Kanamaru, 1999). Algunos grupos de materiales de construcción tienen emisividades similares, por lo que sus temperaturas pueden obtenerse simultáneamente en un mismo termograma. Sin embargo, metales y vidrios tienen una emisividad muy diferente al hormigón o al ladrillo. Si se toma un termograma en el que aparecen, por ejemplo, un metal y una superficie de fábrica de ladrillo, únicamente será veraz el valor de temperatura de aquel material cuya emisividad se ha introducido en la cámara termográfica como dato. Debe señalarse que por otra parte esa serie de problemas pueden solucionarse en el posterior tratamiento de los datos mediante software.
- Debe evitarse la captación de la energía reflejada por cualquier objeto. De esta manera se registra únicamente la que el cuerpo emite por sí mismo, a partir de la cual se obtiene el valor de temperatura. Por otra parte, siempre debe realizarse la termografía apuntando la cámara con un ligero ángulo respecto de la superficie para evitar la captación de la radiación emitida por el cuerpo de la persona que está tomando la termografía.
- La termografía debe tomarse apuntando la cámara con un ángulo inferior a 45° respecto de la superficie para evitar distorsiones (Lezana, 2011).
- La diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del edificio debe ser la máxima posible. De este modo se consigue un mayor contraste entre las temperaturas superficiales exteriores.

La similitud en las temperaturas superficiales exteriores en una zona de cerramiento, con una configuración constructiva similar, puede asegurar que la transmitancia térmica es aproximadamente la misma en toda la zona. Su valor puede obtenerse aplicando a un punto, dentro la zona, cualquiera de los métodos que se exponen a continuación.

4.2 Cálculo teórico

Denominaremos así al método basado en calcular la transmitancia térmica del cerramiento a partir del espesor y la conductividad térmica de cada una de sus capas, así como de la resistencia térmica superficial de sus caras interior y exterior. Las fórmulas aplicadas son las que definen la resistencia y la transmitancia térmicas (Ecuación 15, Ecuación 22 y Ecuación 23) según indica la norma UNE-EN ISO 6946 (AENOR, 2007). Es el método más utilizado.

Los espesores de cada capa y los materiales que las integran se pueden determinar siguiendo distintos métodos, entre los cuales son comunes los siguientes:

- Asunción como veraz de la documentación técnica disponible sobre el cerramiento.
- Estimación a partir del espesor total de los cerramientos y la fecha de construcción del edificio. Se considera que la configuración constructiva del cerramiento analizado es análoga a la de otros edificios coetáneos de la misma tipología.
- Extracción de testigos. Este método destructivo es más costoso y molesto para el usuario del edificio, pero nos permite partir de información verídica sobre el cerramiento a analizar (Desogus, Mura, & Ricciu, 2011).

La determinación de la conductividad térmica de los materiales suele establecerse basándose en diversas fuentes bibliográficas, como puede ser el catálogo de elementos constructivos del CTE (Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA, 2010), la norma UNE-EN ISO 10456 (AENOR, 2007), o la información técnica aportada por el fabricante de cada producto o material.

Como resistencias superficiales para calcular la transmitancia térmica, se toman los valores predefinidos por el Documento de Apoyo a la Sección 1 del Documento Básico de Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE DA DB-HE1) (Ministerio de Fomento, 2015) y la UNE-EN ISO 10456 (AENOR, 2007), recogidos en la Tabla 5.

Al evaluar la transmitancia térmica de un cerramiento por el método de cálculo teórico, debe considerarse un cierto nivel de incertidumbre en relación a la estimación tanto del espesor como de la conductividad térmica de cada capa. Si éstos se determinan a partir de un testigo extraído del cerramiento, una desviación de 5 mm en los espesores es suficiente, mientras que la cuantificación de la desviación de la conductividad puede calcularse según la Ecuación 33, propuesta por (Ficco, Iannetta, Ianniello, Romana d'Ambrosio Alfano, & Dell'Isola, 2015).

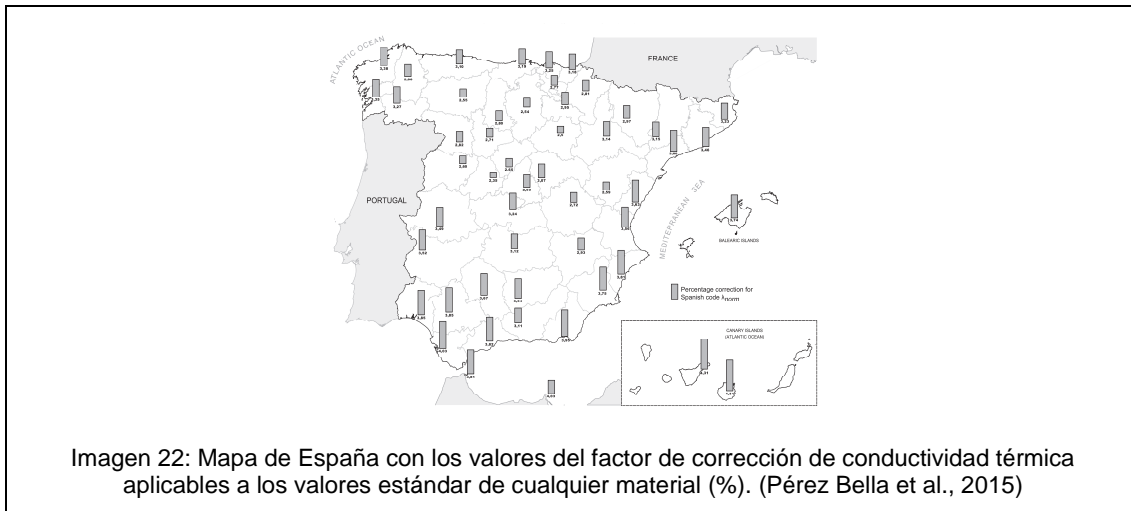
$$I_{\lambda i} = \frac{\lambda_{i,max} - \lambda_{i,min}}{2\sqrt{3}}$$

Ecuación 33: Incertidumbre asociada a la conductividad térmica de las capas del cerramiento, estimando su composición material a partir de un testigo extraído del mismo. Dónde: $\lambda_{i,max}$ & $\lambda_{i,min}$ = Conductividades máxima y mínima propuestas por una determinada fuente para un material.

En el caso de que la configuración constructiva del cerramiento sea estimada sin extraer ningún testigo, el nivel de incertidumbre es imposible de cuantificar y puede ser muy elevado.

4.3 Cálculo teórico modificado

Los valores de conductividad de los materiales varían debido a la temperatura a la que están sometidos, su contenido en humedad y su estado de conservación. La cuantificación de la variación debida a estos factores se puede llevar a cabo aplicando la norma UNE-EN ISO 10456 (AENOR, 2007), aunque un reciente ha propuesto coeficientes globales de variación de conductividad térmica de materiales para varias ciudades españolas a partir de sus temperaturas y humedades medias anuales. Estos coeficientes son aplicables a cualquier material que integre los cerramientos a analizar (Pérez Bella, Domínguez Hernández, Cano Suñén, del Coz Díaz, & Álvarez Rabanal, 2015). A continuación se muestra un mapa con los valores de los coeficientes propuestos para cada ciudad y la fórmula para aplicar el coeficiente a los valores obtenidos mediante cálculo teórico estándar.



Ecuación 34: Aplicación del factor de corrección de conductividad térmica.
 Dónde: λ_c = Conductividad térmica corregida [W/m*K]; CCF = Factor de Corrección de Conductividad térmica (adimensional); λ = Conductividad térmica genérica, sin corrección [W/m*K].

$$\lambda_c = CCF * \lambda$$

4.4 Método de la caja caliente

Este método suele emplearse para determinar la conductividad térmica característica de los materiales en laboratorio, ya que su aplicación in situ resulta muy compleja. Se basa en interponer la probeta a ensayar entre dos cámaras estancas y de gran resistencia térmica, una fría y otra caliente. Tras alcanzarse las condiciones estacionarias de flujo de calor, se miden las temperaturas ambientales de estas cámaras, las temperaturas superficiales a ambos lados de la probeta, y la cantidad de energía que es necesario suministrar a la cámara caliente para mantener su temperatura constante. A partir de estos datos se calcula la transmitancia térmica del elemento ensayado.

La norma UNE-EN ISO 8990 (AENOR, 1997), establece las características básicas de diseño que deben cumplir los aparatos necesarios para la aplicación del método, así como indicaciones sobre los procedimientos a seguir para su calibrado y la realización del propio ensayo. Propone dos métodos ligeramente distintos, llamados método de la caja caliente guardada y método de la caja caliente calibrada. Además, existen otras dos normas que regulan este ensayo a nivel internacional, la americana ASTM C1363-05 y la rusa GOST 26602.1-99. Existen estudios comparativos sobre los procedimientos que propone cada una de estas normativas, como el llevado a cabo por (Asdrubali & Baldinelli, 2011).

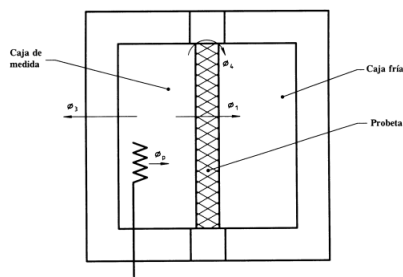


Imagen 23: Esquema de caja caliente calibrada. UNE-EN ISO 8990 (AENOR, 1997)

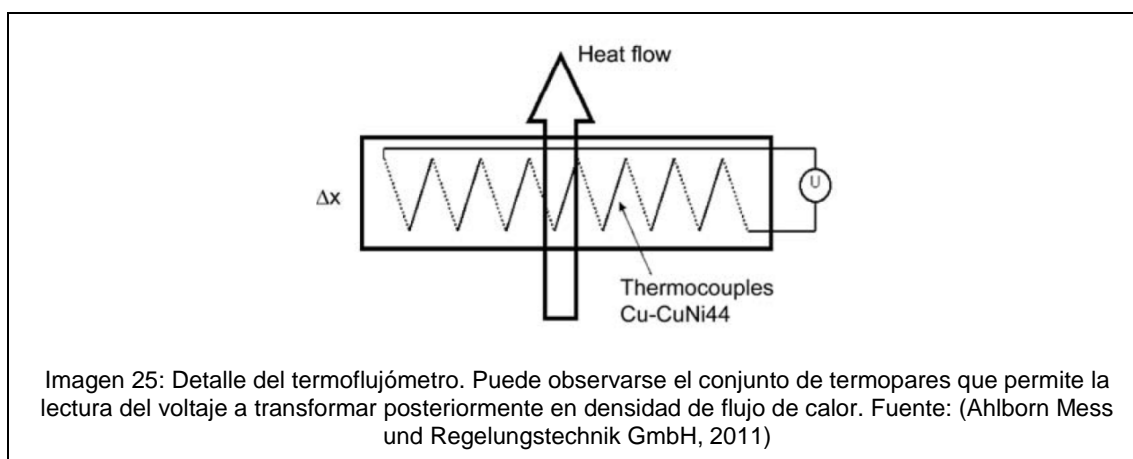


Imagen 24: Caja caliente guardada. (Gobierno Vasco. Departamento de Empleo y Políticas Sociales, 2009)

4.5 Análisis termoflujométrico

La termoflujometría es la medición del flujo de calor que atraviesa un cerramiento. Esta medida, combinada con la de las temperaturas superficiales del cerramiento (interior y exterior) y la de los ambientes que separa (interior y exterior), permite determinar el valor de la transmitancia térmica del cerramiento, así como su conductancia y sus resistencias térmicas superficiales. Al proceso que incluye la medición del flujo de calor y de las temperaturas junto con la posterior gestión de los datos obtenidos para obtener el resultado de transmitancia térmica, lo denominaremos análisis termoflujométrico.

El termoflujómetro es el dispositivo que se utiliza para medir el flujo de calor que atraviesa el cerramiento transversalmente. Consiste en un transductor en forma de placa que genera una señal eléctrica proporcional al flujo de calor que lo atraviesa. Esta señal es transformada en flujo y dividida entre la superficie de la placa por un dispositivo gestor de datos, obteniéndose el valor de densidad superficial de flujo de calor.



El análisis termoflujométrico es un método de cuantificación de la transmitancia bastante explorado y extendido, cuyo uso se recomienda por varias asociaciones que trabajan en el ámbito de la auditoría y la eficiencia energética, como la Plataforma Edificación Passivhaus.

A la hora de ejecutar el ensayo de termoflujometría, deben procurarse una serie de condiciones para conseguir una cierta precisión en los resultados, entre las que destacan las siguientes:

- Colocar el termoflujómetro y los sensores de temperatura en una zona del cerramiento con determinadas características, como las que siguen:
 - Ser representativa de su composición general. En este sentido, diversas fuentes recomiendan la realización de un análisis previo mediante termografía infrarroja para evitar los puentes térmicos (Biddulph et al., 2014) (ISO 9869-1) (ver apartado 4.1).
 - Ser homogénea. Resulta problemática la instalación del termoflujómetro sobre zonas del cerramiento que puedan esconder discontinuidades de material debido a su degradación o una ejecución deficiente (Ficco et al., 2015).
 - Estar alejada de fuentes de frío o calor tales como ventanas, equipos de climatización, electrodomésticos y cualquier otra máquina. (Ahlborn Mess und Regelungstechnik GmbH, 2011)

- Estar protegidos de los agentes meteorológicos como precipitaciones o radiación solar directa.
- Colocar el termoflujómetro en la cara del cerramiento cuya temperatura se mantenga más estable durante la realización del ensayo. En un edificio en condiciones normales de uso situado en el hemisferio norte, esta posición se corresponde con la cara interior los cerramientos orientados al norte.
- Colocar el termoflujómetro a una altura de más de 1,5 m sobre el nivel del suelo (Albatici & Tonelli, 2010).
- Interponer una sustancia de elevada conductividad térmica, entre el termoflujómetro y el cerramiento, para conseguir un mejor contacto entre ambos elementos (Biddulph et al., 2014) (Desogus et al., 2011) (Li et al., 2014). Algunos documentos proponen la utilización a este efecto de una pasta especial utilizada en la industria electrónica, silicona especial, o de pasta de dientes en su defecto (Hukseflux. Thermal Sensors, 2006) (ASTM, 1995)
- Colocar el sensor de temperatura interior unos 10 cm por encima del termoflujómetro y separado de la cara interior del cerramiento otros 10 cm perpendicularmente.
- Colocar el sensor de temperatura exterior lo más alineado posible al de temperatura interior y al termoflujómetro, y separado de la cara exterior del cerramiento unos 10 cm perpendicularmente.
- En caso de instalar varios sensores interiores o exteriores, éstos deben estar separados entre ellos al menos 10 cm.
- Proteger el cerramiento de la exposición a la radiación solar, puesto que provocaría el sobrecalentamiento del cerramiento y la consiguiente obtención de resultados erróneos. Con el objetivo de evitar por completo la radiación solar, la mayoría de los estudios consultados instalan los equipos de medición en cerramientos orientados al norte (Li et al., 2014) (Biddulph et al., 2014) (Albatici & Tonelli, 2010).
- Proteger el cerramiento del viento y las precipitaciones, puesto que cualquiera de estos factores provoca distorsiones en los valores de flujo y de temperaturas obtenidos (Ahlborn Mess und Regelungstechnik GmbH, 2011) (ISO, 2014). Algunos autores atribuyen a la fluctuación en las condiciones de viento y humedad la mayor parte del error estimado para sus resultados (Biddulph, et al., 2014).
- Mantener constante y entorno al valor de confort la temperatura del lado del cerramiento en el que se sitúa el termoflujómetro.

Una vez realizado el ensayo, debe procederse al análisis de los datos recogidos para obtener el valor de transmitancia térmica del cerramiento. En condiciones de flujo estacionarias, el cálculo de la transmitancia térmica es sencillo, pudiendo aplicarse la Ecuación 24:

Sin embargo, en la realidad, la fluctuación de las temperaturas interior y exterior y el efecto de la capacidad térmica del cerramiento a lo largo del tiempo provocan que el régimen de flujo en los cerramientos de los edificios sea siempre transitorio. Existen varias alternativas a la hora de enfrentarse a este problema que se exponen en el apartado 4.5.2.

Independientemente del proceso de gestión de datos escogido, existen algunos problemas inherentes al procedimiento y a los aparatos, que producen un cierto nivel de imprecisión en los resultados. Entre ellos se encuentra la perturbación que provoca

la colocación del termoflujómetro en el paramento, pudiendo modificar la transmitancia de este, o el hecho de que las superficies del paramento y el termoflujómetro tengan distinta emisividad (Cesaratto, De Carli, & Marinetti, 2011). Algunas medidas propuestas con el objetivo de eliminar los errores derivados de estos problemas son utilizar como temperatura superficial interior la de la superficie del termoflujómetro y cubrir éste con un acabado similar al de la superficie interior del cerramiento. Además, pueden estimarse pequeñas desviaciones debidas a distintos aspectos relacionados con las características de la superficie del cerramiento a analizar, con las condiciones ambientales, y con la calibración de los equipos de medición (Ficco et al., 2015). Todas estas incertidumbres pueden llegar a acumularse produciendo errores de entre un 14 % y un 28 %, como indica la propia norma ISO 9869-1 (ISO, 2014). En las siguientes tablas se recogen algunos de ellos y su desviación asociada, tal y como los describen algunos autores de manera resumida:

Tabla 8: Principales errores posibles en una medición con termoflujómetro, y su cuantificación, según (Ficco et al., 2015)

Causa del error	Cuantificación (%)
Cambio de dirección del flujo de calor	1-5
Fluctuación en los valores de flujo de calor y temperaturas	5-10
Resistencia térmica del termoflujómetro	2-3
Mal contacto entre el termoflujómetro y la superficie del cerramiento	2-5
Imprecisión en los equipos	
<ul style="list-style-type: none"> • Sensores de temperatura 	1-2
<ul style="list-style-type: none"> • Termoflujómetro 	1-2
<ul style="list-style-type: none"> • Gestor de datos 	1-2
Exposición de los equipos a temperaturas extremas, radiación solar o humedad.	1-2

Tabla 9: Principales errores posibles en una medición con termoflujómetro, y su cuantificación, según (Lorenzo Pérez, Molina García, & García Legaz-Quesada, 2014)

Causa del error	Cuantificación (%)
Imprecisión de equipos por errores en la calibración	~5
Variaciones aleatorias en la medida de temperaturas superficiales	~5
Error operativo del termoflujómetro	2-3
Fluctuación en los valores de flujo de calor y temperaturas	<10

Naturalmente, estas desviaciones pueden aumentar sin límite cuando se realiza el ensayo de termoflujometría bajo condiciones no recomendadas, como pueden ser la exposición del cerramiento a la radiación solar o la existencia de una diferencia de temperaturas baja a ambos lados del cerramiento (<10 °C). Los datos arriba expuestos se corresponden con campañas experimentales realizadas en condiciones ambientales óptimas y tomando todas las medidas posibles de prevención de errores.

4.5.1 Método de la media

Aunque las condiciones de flujo nunca son estacionarias en un cerramiento en condiciones reales, éstas suelen asumirse como tales con el fin de simplificar el

procedimiento de cálculo de la transmitancia térmica. De esta manera son de aplicación los conceptos de conductancia térmica (Ecuación 16), resistencia térmica interna (Ecuación 17) y transmitancia térmica (Ecuación 24). Esta última fórmula es la que se utiliza para obtener el valor de transmitancia térmica a partir de los datos de densidad de flujo superficial y temperaturas interior y exterior obtenidos en el ensayo de termoflujometría.

$$U = \frac{q}{(T_i - T_e)}$$

Ecuación 24: Transmitancia térmica en función del flujo y la diferencia de temperaturas interior y exterior [W/(m²*K)]. Dónde: Te = Temperatura ambiental exterior (K); Ti = Temperatura ambiental interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m²).

Los datos de temperatura y flujo de calor que se introducen en la referida ecuación deben resultar de calcular la media de los valores registrados durante periodos en los que exista una alta diferencia de temperatura entre los ambientes interior y exterior (10 °C según Ficco et al., (2015), Asdrubali et al., (2014), Desogus et al., (2011) y Ahlborn Mess und Regelungstechnik GmbH, (2011) y 15 °C según Albatici & Tonelli, (2010)). Cuanto mayor sea esta diferencia mayor será el flujo de calor entre ambos lados del cerramiento y, por lo tanto, la proporción de energía acumulada en el mismo será menor. De esta manera puede considerarse despreciable el efecto de la capacidad térmica de los materiales del cerramiento.

Sin embargo, una elevada diferencia de temperaturas entre los ambientes interior y exterior no es condición suficiente para considerar el régimen de flujo como asimilable a estacionario. Debe además prolongarse el ensayo el tiempo suficiente como para que la variación de la cantidad de calor almacenada en el cerramiento sea despreciable cuando se compara con la cantidad de calor que lo atraviesa (<5 %).

Para cerramientos ligeros, cuya capacidad térmica es inferior a 20 kJ/(m²K), el ensayo debe prolongarse según indica la norma ISO 9869-1 (ISO, 2014) durante varios periodos nocturnos seguidos hasta que los resultados correspondientes a tres consecutivos difieran entre ellos menos de un 5 %. La razón por la que se recomienda el análisis de los datos recogidos únicamente durante la noche es la ausencia de radiación solar. Sin embargo, como ya se ha comentado, diversos artículos científicos consideran válidos todos los datos recogidos durante periodos de noche y día en cerramientos orientados al norte.

Para cerramientos con una capacidad térmica mayor a 20 kJ/(m²K), el ensayo debe prolongarse:

- Durante más de 72 h.
- Hasta que el valor de transmitancia obtenido al final del ensayo varíe menos del 5 % respecto del obtenido 24 h antes.
- Hasta que el valor de transmitancia obtenido durante los dos primeros tercios del tiempo no se desvíe más de un 5 % respecto del valor obtenido durante los dos últimos tercios.

Varios de los artículos consultados indican que una duración del ensayo de tres días es casi siempre insuficiente y recomiendan prolongarlo como norma general al menos durante una semana (Asdrubali et al., 2014) (Albatici & Tonelli, 2010) o dos (Li et al., 2014) (Biddulph et al., 2014). Sin embargo, otros estudios han corroborado la validez de un periodo de tres días cuando las temperaturas a ambos lados del elemento permanecen constantes (Cucumo, De Rosa, Ferraro, Kaliakatsos, & Marinelli, 2006) (Desogus et al., 2011). Esta situación solamente puede darse al monitorizar una partición que separa dos estancias cuyas temperaturas se mantienen constantes de manera artificial. Una mayor capacidad térmica del cerramiento también exige una mayor duración del ensayo (Ficco et al., 2015).

La aplicación de este método puede resultar imposible por no alcanzarse la suficiente diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior o por no poder prolongar el ensayo durante el tiempo suficiente.

4.5.1.1 Coeficientes correctores de la capacidad térmica

Al estudiar cerramientos de gran resistencia térmica y capacidad térmica, resulta inviable realizar el ensayo durante el tiempo suficiente como para que se anule el efecto de su capacidad térmica. Por este motivo, resulta indispensable tener esta propiedad en cuenta mediante la incorporación al método de la media de unos coeficientes correctores.

La norma ISO 9869-1 (ISO, 2014) establece un procedimiento para calcular estos coeficientes y los consiguientes resultados de transmitancia. Para cada capa, se calculan:

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^{k-1} R_j + R_{si}$$

Ecuación 35: R_{ik} [$m^2 \cdot K/W$]. Dónde: R_j = Resistencia de cada capa j ; R_{si} = Resistencia superficial interior.

$$R_{ek} = \sum_{j=k+1}^N R_j + R_{se}$$

Ecuación 36: R_{ek} [$m^2 \cdot K/W$]. Dónde: R_j = Resistencia de cada capa j ; R_{se} = Resistencia superficial exterior.

Posteriormente, se calculan:

$$F_{ik} = C_k \left[\frac{R_{ek}}{R} + \frac{R_k^2}{3R^2} + \frac{R_{ik}R_{ek}}{R^2} \right]$$

Ecuación 37: F_{ik} [J/K].

$$F_{ek} = C_k \left[\frac{R_k}{R} \left(\frac{1}{6} + \frac{R_{ik} + R_{ek}}{3R} \right) + \frac{R_{ik}R_{ek}}{R^2} \right]$$

Ecuación 38: F_{ek} [J/K]

Siendo N el número de capas del cerramiento y numerándose estas de 1 a N , de interior a exterior, para cada capa k , se estima su resistencia térmica R_k y su capacidad térmica C_k . R denota la resistencia térmica estimada total, a la que habría que sumar, además de las resistencias de cada capa, la resistencia térmica superficial interior y exterior.

Finalmente, los factores de masa térmica para el cerramiento en su conjunto son:

$$F_i = \sum_{k=1}^N F_{ik}$$

Ecuación 39: Factor de masa térmica F_i [J/K]

$$F_e = \sum_{k=1}^N F_{ek}$$

Ecuación 40: Factor de masa térmica F_e [J/K]

Que deben sustituirse en la siguiente expresión, que sustituye al valor de flujo en la Ecuación 24 para los valores obtenidos tras las primeras 24 h de ensayo (los valores recogidos con anterioridad no se corrigen):

$$\sum q_j - \frac{(F_i \delta T_i + F_e \delta T_e)}{\Delta t}$$

Ecuación 41: Expresión por la que se deben sustituir los valores de flujo obtenidos tras las primeras 24 h de medición. Dónde: q_j = medición de densidad de flujo obtenida (W/m^2); Δt = Intervalo entre lecturas (s); δT_i = Diferencia entre la temperatura interior media durante las 24h anteriores a la medición y la temperatura interior media durante las primeras 24 h del ensayo (K); δT_e = Diferencia entre la temperatura exterior media durante las 24 h anteriores a la medición y la temperatura exterior media durante las primeras 24 h del ensayo (K); F_i & F_e = Factores definidos anteriormente [J/K].

4.5.2 Método dinámico

La opción alternativa es utilizar un método de cálculo dinámico que tenga en cuenta las fluctuaciones en el flujo de calor y en las temperaturas a lo largo del ensayo, así como el efecto de la capacidad térmica del cerramiento.

Diversos estudios han propuesto métodos de cálculo que permiten obtener los valores de transmitancia térmica y capacidad térmica de los cerramientos asumiendo las condiciones de régimen transitorio (Cucumo et al., 2006) (Gutschker, 2008) (Jiménez, Madsen, & Andersen, 2008) (Jiménez, Porcar, & Heras, 2009) (Li et al., 2014) (Biddulph et al., 2014). Fruto de estas investigaciones ha resultado el Anexo B de la norma ISO 9869-1 (ISO, 2014), que establece un método de cálculo dinámico normativo.

Todos estos estudios coinciden en el uso de sofisticados teoremas estadísticos como el de Bayesian, teorías de cálculo como el método de los elementos finitos, algoritmos y programas informáticos especializados. Su complejidad hace que su uso sea minoritario frente al método de la media (Ficco et al., 2015).

Además del valor de transmitancia térmica, el método dinámico permite obtener el valor de capacidad térmica efectiva de los cerramientos. Este dato puede servir de cara a realizar un estudio más amplio sobre el comportamiento térmico del cerramiento, no sólo en relación a su papel como parte de la envolvente, sino también como elemento acumulador de calor en el interior del edificio.

4.6 Análisis termométrico

El análisis termométrico parte de la medición de las temperaturas ambientales interior y exterior y de la temperatura superficial interior (lo que denominaremos termometría). Estas medidas, combinadas con el valor de resistencia superficial interior (o su inverso el coeficiente de convección superficial interior) del cerramiento, permiten determinar el valor de la transmitancia térmica del mismo. Como valor de resistencia térmica superficial interior se toma el propuesto por el CTE DA DB-HE1 (Ministerio de Fomento, 2015) y la UNE-EN ISO 10456 (AENOR, 2007), recogido en la Tabla 5. La fórmula aplicable resulta de sustituir la Ecuación 20 en la Ecuación 24 (Fresco Contreras, 2016).

$$U = \frac{h_i * (T_i - T_{si})}{(T_i - T_e)}$$

Ecuación 42: Transmitancia térmica a partir de temperaturas y coeficiente de convección superficial [W/(m²*K)]. Dónde: h_i = Coeficiente de convección superficial interior [W/(m²*K)]; T_i = Temperatura ambiental interior (K); T_{si} = Temperatura superficial interior (K); T_e = Temperatura ambiental exterior (K).

Se trata de un método bastante extendido a nivel profesional por su sencillez, ya que los equipos necesarios son sondas de temperatura y un dispositivo gestor de datos. Sin embargo, no existe una normativa que lo regule y ha sido poco explorado desde el punto de vista científico, por lo que no existen en este caso procedimientos de cálculo asumiendo el régimen como transitorio. Ante la inexistencia de normativa específica, todas las recomendaciones procedimentales respecto de la instalación de los equipos, los tiempos de duración del ensayo y el análisis de los datos explicados en referencia al análisis termoflujométrico (ver apartado 4.5) se consideran aplicables al análisis termométrico. También puede servir como guía la norma UNE-EN ISO 9869-1 (2014).

Los datos obtenidos mediante termometría suelen gestionarse como los obtenidos mediante termoflujometría en el análisis termoflujométrico según el método de la media, es decir, se registran valores durante un determinado periodo y se hace la media de los resultados instantáneos de transmitancia térmica obtenidos cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior supera un cierto valor. En este sentido, el manual de uso de una de las marcas comerciales que más ha extendido la

aplicación de este método propone la prolongación del ensayo durante un periodo nocturno (TESTO AG, 2008). Por otro lado, algunos documentos informales proponen un análisis termométrico instantáneo como válido para calcular el valor de transmitancia térmica de un cerramiento. En este caso se propone la aplicación de la Ecuación 42 a datos de temperatura obtenidos en un instante o durante un periodo de tiempo de pocos minutos, en lugar de a la media de datos obtenidos durante largos periodos de tiempo.

Se analicen los datos de una forma u otra, debe tenerse presente en todo caso que el coeficiente de resistencia térmica superficial (o su inverso el de convección superficial) son valores medios obtenidos experimentalmente en unas condiciones determinadas en un ambiente de laboratorio. En la realidad, estos coeficientes tienen un valor distinto al propuesto por las normas, aunque se mantenga dentro del mismo orden de magnitud. Este hecho aporta un cierto nivel de incertidumbre al ensayo, aunque no se han encontrado referencias al mismo en la documentación consultada.

4.7 Análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja

Si bien la aplicación tradicional de la termografía infrarroja en edificación ha sido la detección de puentes térmicos por comparación entre temperaturas de distintas zonas de la envolvente (ver apartado 4.1), recientes estudios proponen metodologías de análisis de los datos de temperatura que permiten realizar aproximaciones al valor de transmitancia térmica de los cerramientos (Albatici & Tonelli, 2010) (Albatici, Tonelli, & Chiogna, 2015) (Nardi, Paoletti, Ambrosini, Rubeis, & Sfarra, 2015) (Julie, Claesson, & Sartre, 2012). A este innovador método se le conoce como análisis cuantitativo.

El análisis cuantitativo de los datos obtenidos mediante termografía infrarroja para estimar la transmitancia térmica de cerramientos opacos se encuentra aún en fase investigativa y los mismos autores de los primeros estudios en este campo reconocen la necesidad de realizar más casos de estudio para perfeccionar y avalar la eficacia del método. Albatici & Tonelli (2010) proponen una metodología que permite obtener el valor de transmitancia térmica a partir de los valores en un determinado instante de velocidad del viento cerca del cerramiento, emisividad de éste y temperaturas interior, exterior y superficial exterior. La velocidad del viento se mide in situ con un anemómetro, mientras que la emisividad y las temperaturas se miden por distintos procedimientos que implican el uso de la termografía infrarroja:

- Temperatura exterior (T_{out}): Se mide a partir de una caja de cartón con un agujero, de manera que su comportamiento se asemeja a un cuerpo negro.
- Temperatura interior (T_{int}): Se obtiene a partir de la medición realizada mediante termografía infrarroja a través de la apertura parcial y momentánea de una ventana del edificio. En este caso, el cuerpo negro está representado por la apertura de la ventana, cuyas dimensiones son reducidas respecto de las de la habitación cuya temperatura es detectada.
- Emisividad (ϵ_v): Se mide aplicando la Ecuación 43 a los datos tomados mediante termografía infrarroja del conjunto formado por un elemento muy caliente próximo a la superficie del cerramiento. El elemento muy caliente puede ser un hierro soldador y debe colocarse a unos 10 cm del cerramiento. La medición debe tomarse inmediatamente, puesto que con el paso del tiempo la superficie del cerramiento se calienta provocando la distorsión de los datos obtenidos.



$$\varepsilon_v = 1 - \left[\frac{T_r^4 - T_{out}^4}{T_s^4 - T_{out}^4} \right]$$

Ecuación 43: Emisividad en función de los datos obtenidos tras la aproximación del hierro al cerramiento. Dónde: T_r = Temperatura reflejada en el cerramiento; T_{out} = Temperatura ambiental exterior; T_s = Temperatura del hierro soldador.

- Temperatura superficial exterior (T_i): Se mide a partir de la termografía de la superficie exterior del edificio, igual que si se tratase de una campaña experimental para análisis cualitativo, pero corrigiendo la imagen captada con el valor de emisividad obtenido experimentalmente. La fórmula aplicada por el software de la cámara es la definitoria de la emitancia radiante (Ecuación 7).

El autor justifica la utilización de estos procedimientos en lugar del empleo de termómetros argumentando una reducción en la magnitud del posible error acumulado. Nótese la complejidad de estos procedimientos frente a la obtención de temperaturas mediante la instalación de sondas.

Obtenidos estos datos, se aplica la Ecuación 44. La “emisividad total” (ε_{tot}) se puede obtener de fuentes teóricas.

$$U = \frac{5,67 * \varepsilon_{tot} * ((T_i/100)^4 - (T_{out}/100)^4) + 3,8054 * v * (T_i - T_{out})}{T_{int} - T_{out}}$$

Ecuación 44: Transmitancia térmica según (Albatici & Tonelli, 2010) [$W/(m^2 \cdot K)$]. Dónde: ε_{tot} = Emisividad total (adimensional); T_i = Temperatura superficial exterior (K); T_{int} = Temperatura interior (K); T_{out} = Temperatura exterior (K); v = Velocidad del viento cerca del cerramiento (m/s).

La validez de este método está supeditada al cumplimiento de algunas condiciones, que se suman a las que deben encontrarse en general en cualquier proceso de análisis de cerramientos mediante termografía infrarroja (ver apartado 4.1):

- La velocidad del viento en la proximidad al cerramiento debe ser inferior a 1m/s. Lo ideal es que ésta sea inferior a 0,2 m/s.
- Los datos deben tomarse para una diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del edificio lo máxima posible, y mínimo de 10 o 15 °C. Por este motivo suelen realizarse las campañas de termografía infrarroja poco antes del amanecer.
- Las condiciones meteorológicas deben ser de ausencia de viento y lluvias durante los días anteriores a la toma de datos, para evitar distorsiones en los resultados.

Se trata de un método instantáneo, es decir, la transmitancia térmica se calcula a partir de datos registrados en un instante, no a partir de datos registrados cada cierto tiempo a lo largo de un periodo de tiempo de varios días.

4.8 Comparación preliminar entre métodos

Una vez explicados los principales métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos, se realiza una comparación entre los mismos, determinando cuáles son las ventajas e inconvenientes de los unos sobre los otros.

Varios estudios han puesto en duda la precisión en los resultados obtenidos mediante cálculo teórico al compararlos con los valores obtenidos mediante análisis termoflujométrico, especialmente para cerramientos macizos sin aislamiento (Li et al., 2014) (Biddulph et al., 2014) (Asdrubali et al., 2014). Concretamente, Li et al. (2014) afirma que el cálculo teórico sobreestima los valores de transmitancia térmica en muros tradicionales macizos en casi un 100 % (de 1,3 a 2,1 W/m²K). Además, el cálculo teórico presenta diversas desventajas frente a cualquier método experimental, como las que siguen:

- La estimación de espesores a partir del espesor total del cerramiento y su año de construcción puede ser muy imprecisa, ya que se trata de una suposición muy vaga.
- La documentación técnica disponible sobre el cerramiento puede no corresponderse con la realidad debido a fallos en la ejecución (Asdrubali et al., 2014).
- Los valores de conductividad térmica de materiales ofrecidos por fuentes oficiales no contemplan las condiciones reales de humedad y envejecimiento de los materiales (Desogus et al., 2011) (Ficco et al., 2015).
- Los valores teóricos de conductividad térmica de materiales ofrecidos por los fabricantes pueden ser inferiores a los reales por razones de máquetin (Asdrubali et al., 2014).

Li et al. (2014) y Biddulph et al. (2014) concluyen que un tercio de las viviendas que estudian mediante termoflujometría en Reino Unido tienen una demanda de calefacción significativamente inferior a la calculada debido a la sobrecuantificación de la transmitancia térmica de los cerramientos opacos macizos.

Las correcciones sobre el método de cálculo teórico propuestas por Pérez Bella et al., (2015) para los valores de conductividad térmica, suponen una modificación de los valores originales muy reducida. Por lo tanto, se estima que la aplicación de estos coeficientes no puede salvar el error provocado por los motivos anteriormente descritos.

Respecto del análisis termoflujométrico, varios estudios concluyen que los resultados obtenidos según el método de la media y el método dinámico son coincidentes, aunque el segundo presenta varias ventajas sobre el primero, entre las que se encuentran.

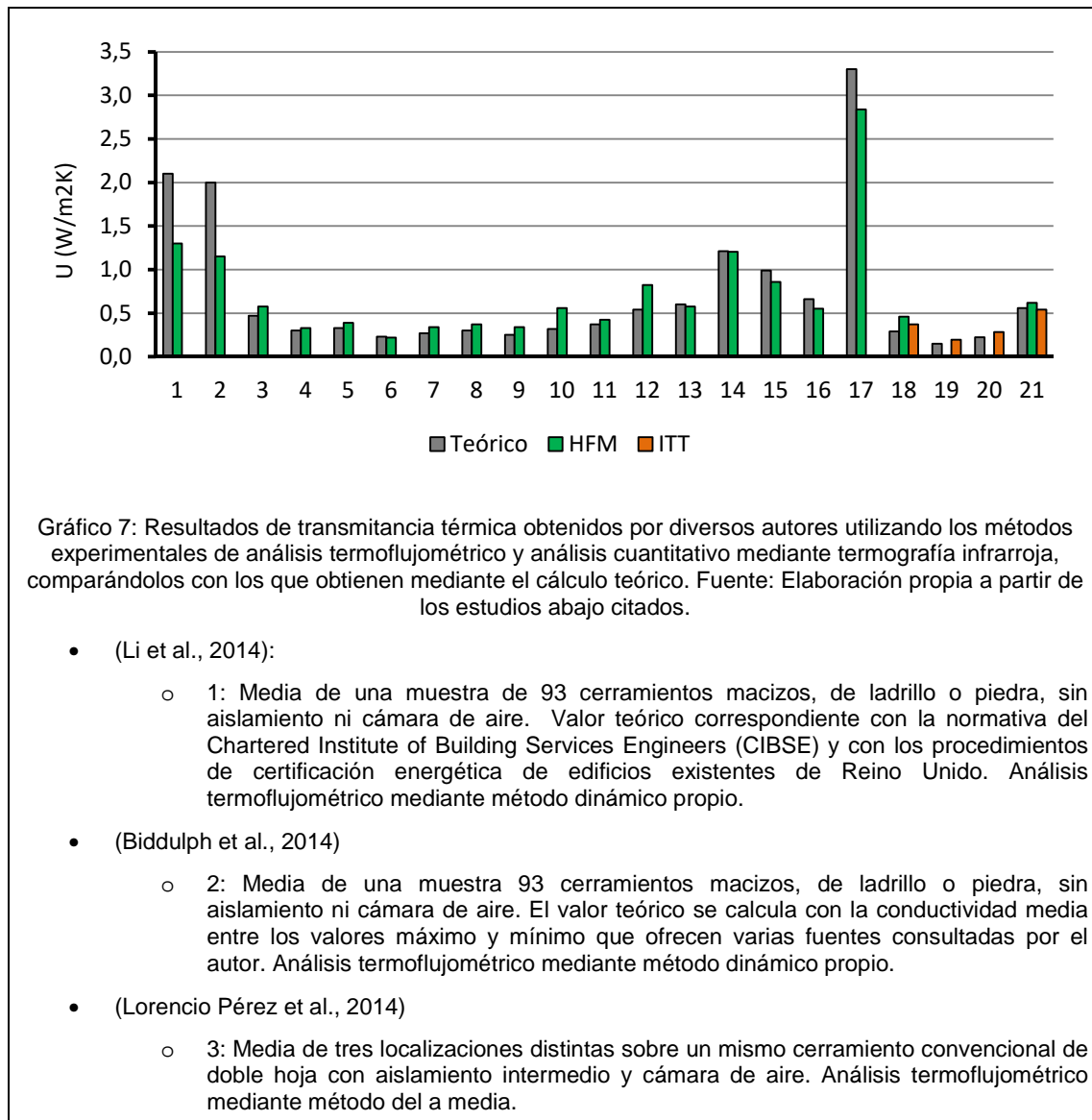
- Reducción del margen de error estimado (0,5 % frente a 15 %) (Li et al., 2014).
- Reducción del tiempo de ensayo.
- Posibilidad de aplicación cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio es pequeña (<10 °C) (Biddulph et al., 2014) (Cucumo et al., 2006).
- Obtención del valor de capacidad térmica efectiva del cerramiento.

El método de la media con coeficientes correctores es de una sencillez próxima al método de la media simple, pero no se dispone de documentación científica suficiente como para valorar su nivel de precisión respecto del método de la media estándar o del método dinámico.

El análisis termoflujométrico es un método experimental más sencillo que el análisis termoflujométrico, al evitar el uso del termoflujómetro. No se dispone de documentación científica suficiente como para valorar su precisión, pero lo extendido de su uso parece indicar que ofrece resultados aceptables. Además, la posibilidad de utilizar datos obtenidos de manera instantánea evita la invasión por un largo periodo de tiempo del espacio interior del edificio, lo cual puede ser determinante a la hora de acometer una campaña experimental en el ámbito de una auditoría energética real.

El análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja tiene como principal ventaja que se trata de un método rápido, no invasivo y a distancia. Además, el mismo dispositivo de ensayo puede utilizarse para realizar un análisis cualitativo complementario y para obtener la mayor parte de los datos necesarios para calcular la transmitancia térmica (Albatici & Tonelli, 2010). Sin embargo, presenta también algunos inconvenientes como la limitación a velocidades de viento inferiores a 1m/s. También, al tratarse de un método que considera el régimen de flujo cuasi estacionario, exige una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio muy elevada, de más de 15 °C.

A continuación se muestran los valores de transmitancia térmica obtenidos por diversos autores utilizando los métodos experimentales de análisis termoflujométrico y análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja, comparándolos con los que obtienen mediante el cálculo teórico.



- (Desogus et al., 2011)
 - 4: Cerramiento de hoja simple de ladrillo revestida por ambas caras. Análisis termoflujométrico por el método de la media manteniendo una diferencia de temperatura constante a ambos lados del cerramiento de 10 °C.
- (Asdrubali et al., 2014) Análisis termoflujométrico por el método de la media.
 - 5: Cerramiento macizo con aislamiento intermedio.
 - 6-9: Cerramiento de doble hoja con aislamiento intermedio y cámara de aire.
 - 10: Cerramiento macizo sin aislamiento.
- (Ficco et al., 2015) Cálculo teórico con valores medios de conductividad. Análisis termoflujométrico por el método de la media.
 - 11: Cerramiento macizo de mampostería con aislamiento por el exterior.
 - 12: Panel sándwich de aislamiento recubierto con aluminio.
 - 13: Cerramiento de doble hoja con aislamiento intermedio y cámara de aire.
 - 14-16: Cerramiento macizo sin aislamiento.
 - 17: Doble vidrio de ventana.
- (Albatici & Tonelli, 2010) Análisis a partir de datos obtenidos mediante termografía infrarroja, según método propio.
 - 18: Cerramiento ligero de madera. Análisis termoflujométrico por método dinámico propio.
 - 19: Cerramiento ligero de madera.
 - 20: Cerramiento de doble hoja con aislamiento intermedio y sin cámara de aire.
- (Nardi et al., 2015)
 - 21: Cerramiento de una hoja con aislamiento por el exterior. Análisis termoflujométrico por el método de la media y análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja, según método de (Albatici & Tonelli, 2010), sobre cerramiento sometido a ciclos de diferencia de temperaturas constante en una caja caliente. Los resultados obtenidos son la media de los obtenidos en cada ciclo.

Pese a la heterogeneidad de los cerramientos estudiados en los artículos científicos consultados, y a la aplicación de distintos métodos en distintas circunstancias, se puede valorar de manera aproximada cuáles son los tipos de cerramiento en los que la discordancia entre distintos métodos es mayor y cuál es su sentido.

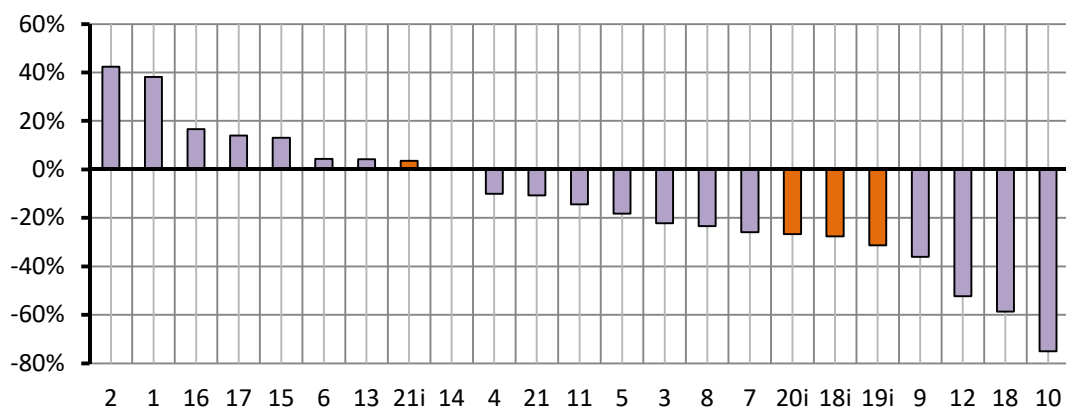


Gráfico 8: Variación del valor de transmitancia térmica obtenido mediante análisis termoflujométrico (violeta) o análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja (naranja) respecto del valor obtenido mediante cálculo teórico.

Puede observarse cómo los cerramientos macizos y sin aislamiento (1, 2 y 10) presentan las mayores diferencias entre el método teórico y el análisis termoflujométrico, mientras que otros de similares características (14, 15, 16) presentan variaciones más bajas. Esto podría deberse a que se tiene un mejor conocimiento de los espesores de cada capa del cerramiento en el segundo conjunto que en el primero, ya que Ficco et al. (2015) complementa su inspección visual con la extracción de testigos como paso previo al cálculo teórico.

Los cerramientos de tipo convencional, de doble hoja con aislamiento intermedio y cámara de aire (3, 6, 7, 8, 9 y 13), se sitúan en la parte central de la gráfica. Entre ellos, los cerramientos estudiados por Asdrubali et al. (2014) presentan discordancias mayores, probablemente debido a que los valores de conductividad declarada de algunos de sus materiales no aislantes esté siendo infravalorada.

En general, puede apreciarse cómo en la mayoría de los casos el cálculo teórico arroja valores de transmitancia mayores a los obtenidos mediante métodos experimentales. Esto puede deberse a múltiples factores ya mencionados a lo largo de este trabajo, como estrategias de máquetin, deterioro de materiales o presencia de humedad.

La Tabla 10 recoge de manera resumida la aptitud respecto de distintas propiedades según las que se pueden valorar, desde un punto de vista tanto científico como técnico, los distintos métodos de evaluación de la transmitancia térmica en cerramientos opacos de edificios existentes,

Tabla 10: Resumen de las principales características de los distintos métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos. Fuente: Elaboración propia a partir de la información estudiada durante la realización del estado de la cuestión.

Característica →		Grado de complejidad		Invasión del interior del edificio	Tiempo requerido	Grado de precisión
		Ensayo	Gestión de datos			
Método ↓						
Cálculo teórico	Estimación espesor + edad					
	Documentación técnica					
	Extracción de testigo					
Análisis termoflujométrico	Método de la media					
	Método dinámico					
Análisis termométrico	Método de la media					
	Método instantáneo					
Análisis cuantitativo mediante termografía Infrarroja						

	Favorable		Intermedio		Desfavorable		Sin datos
--	-----------	--	------------	--	--------------	--	-----------

Hipótesis de trabajo y objetivos específicos

5 Hipótesis de trabajo y objetivos específicos

Tras la realización de un breve trabajo en el marco de la asignatura de Certificación y Auditoría Energéticas del Máster Universitario en Gestión Integral de la Edificación (MUGIE), el autor de este trabajo detecta la escasez de estudios comparativos entre métodos de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos opacos que incluyan la totalidad de los métodos existentes, desde los más convencionales a los más innovadores. Se inicia entonces la consulta de diversas fuentes bibliográficas y se redactan el marco conceptual y el estado de la cuestión incluido en el presente trabajo. Se constata la carencia de estudios comparativos entre métodos de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos opacos que incluyan la totalidad de los métodos existentes. Ante esta situación, se plantea la siguiente hipótesis de trabajo:

Todos los métodos existentes de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos opacos de edificios pueden arrojar resultados precisos y fiables aunque cada uno presente ventajas e inconvenientes sobre los demás.

Para comprobar la validez de esta hipótesis se plantean los siguientes objetivos específicos:

- A. Calcular, según los métodos teóricos convencional y modificado, la transmitancia térmica de cuatro cerramientos ubicados en la ciudad de Sevilla (en adelante, cerramientos objeto de estudio). En la medida de lo posible, deberá disponerse de información fehaciente sobre la configuración constructiva de los cerramientos para conseguir la menor incertidumbre posible en los resultados.
- B. Realizar termogramas infrarrojos de los cerramientos objeto de estudio y analizarlos desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Esta parte del trabajo se realizará de manera conjunta con otro compañero del máster.
- C. Planificar y ejecutar la monitorización de los cerramientos objeto de estudio con los equipos de medición de transmitancia térmica de que dispone el Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación (Dpto. EGIE) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (ETSIE). Estos equipos son: un gestor de datos con varias sondas de temperatura (equipo TESTO 435-2) y un gestor de datos con varias sondas de temperatura y un termoflujómetro (equipo ALMEMO 2590-4AS). Los periodos de monitorización se harán corresponder con periodos de varios días durante los cuales las temperaturas se prevean especialmente bajas.
- D. Analizar los datos registrados por los distintos equipos y detectar posibles errores en la ejecución de los distintos métodos.
- E. Calcular la transmitancia térmica de cada cerramiento objeto de estudio a partir de los datos registrados por los equipos. Para ello se seguirán los distintos métodos de análisis de datos propuestos por la bibliografía consultada para cada método de medición.
- F. Comparar entre sí los resultados obtenidos mediante los distintos métodos de evaluación, determinando cuáles son los más fiables y cuáles son las razones por las que se han producido las principales desviaciones.
- G. Evaluar globalmente el nivel de complejidad de cada método, atendiendo a distintos aspectos como el tiempo necesario para su ejecución, el número de equipos a instalar, o la dificultad para gestionar los datos y obtener el resultado final de transmitancia térmica.

Campaña experimental

6 Campaña experimental

Como parte esencial de este trabajo se describen a continuación los elementos relacionados con la campaña experimental llevada a cabo a fin de poner en práctica los distintos métodos de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos.

6.1 Objetos de estudio

Se seleccionan cuatro cerramientos objeto de estudio. Tres de ellos pertenecen a distintos edificios de la ciudad de Sevilla, mientras el cuarto forma parte de una instalación experimental situada en el Laboratorio Dpto. EGIE de la ETSIE de la Universidad de Sevilla (US). Los criterios empleados a la hora de seleccionar los cerramientos han sido la búsqueda de diferentes configuraciones constructivas y la disponibilidad de los usuarios de los correspondientes edificios para colaborar con la campaña.

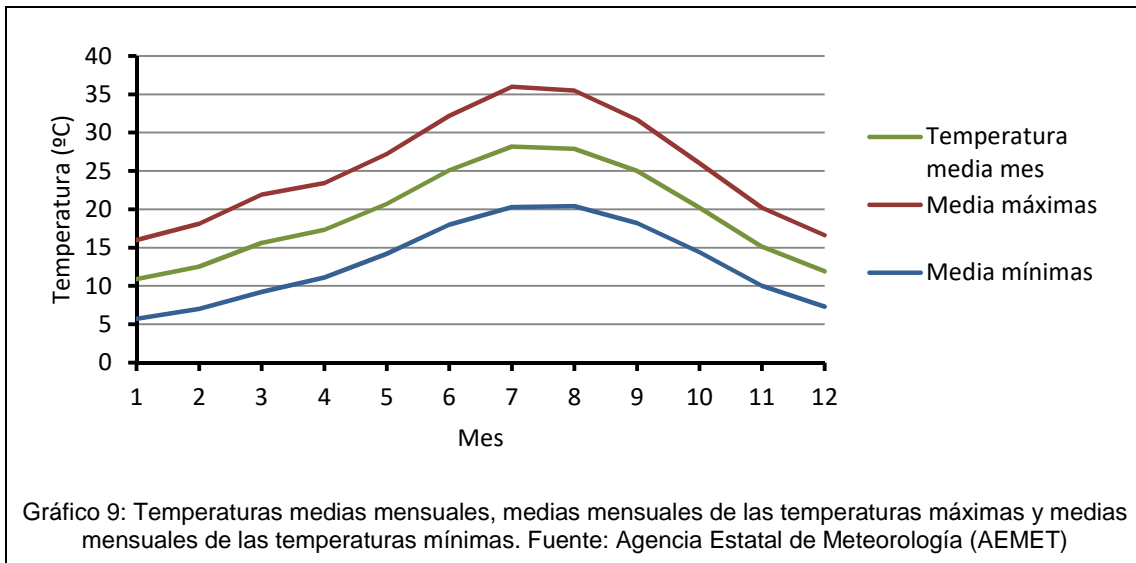
- Cerramiento 1 (C1): Pertenece a una vivienda en bloque plurifamiliar ubicada en el barrio sevillano de Bellavista, construida en 1970. Su orientación es norte, óptima tal y como se ha expuesto en apartados anteriores debido a que no recibe radiación solar directa que pueda distorsionar los resultados obtenidos mediante cualquiera de los métodos experimentales.
- Cerramiento 2 (C2): Perteneciente a una vivienda unifamiliar ubicada en el mismo barrio sevillano de Bellavista, construida en 2008. De nuevo su orientación es norte para evitar la captación de radiación solar directa.
- Cerramiento 3 (C3): Perteneciente a una vivienda en bloque plurifamiliar en el barrio de Bami en Sevilla, construida en 1963. Esta vez, ante la inexistencia de cerramientos orientados al norte, se monitoriza uno que separa la vivienda de un patio de manzana en el que se espera que no incida la radiación solar durante el periodo de ensayo.
- Cerramiento 4 (C4): Perteneciente a una caja térmica de dimensiones 0,96 x 1,10 x 1,30 m situada en el Laboratorio del Dpto. EGIE. Todas las caras están construidas con paneles sándwich metálicos autoportantes aislados con ocho centímetros de poliuretano, excepto la que separa la caja del exterior del edificio, que está construida como un cerramiento convencional. La orientación del cerramiento objeto de ensayo es norte y la caja carece de sistemas de calefacción y refrigeración. La cara opuesta al cerramiento convencional es practicable y dispone de pestillos de presión y junta de neopreno para su cierre estanco.



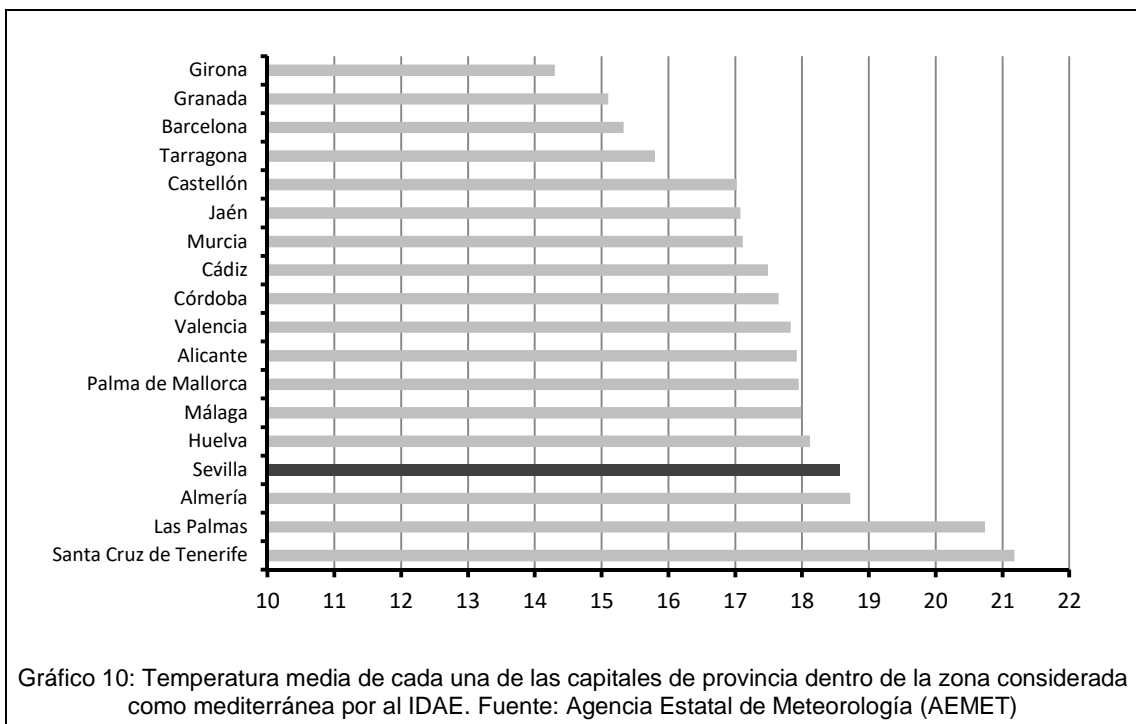
Imagen 27: Caja térmica instalada en el laboratorio. Al fondo, cara interior del cerramiento que la separa del ambiente exterior, con varias sondas de temperatura instaladas. Fuente: Elaboración propia.

6.2 Contexto geográfico y limitaciones asociadas

Los cuatro cerramientos objeto de estudio están situados en la ciudad de Sevilla, la cual posee unas características climáticas incomparables con las de otras zonas de Europa por sus inviernos suaves y veranos muy calurosos.

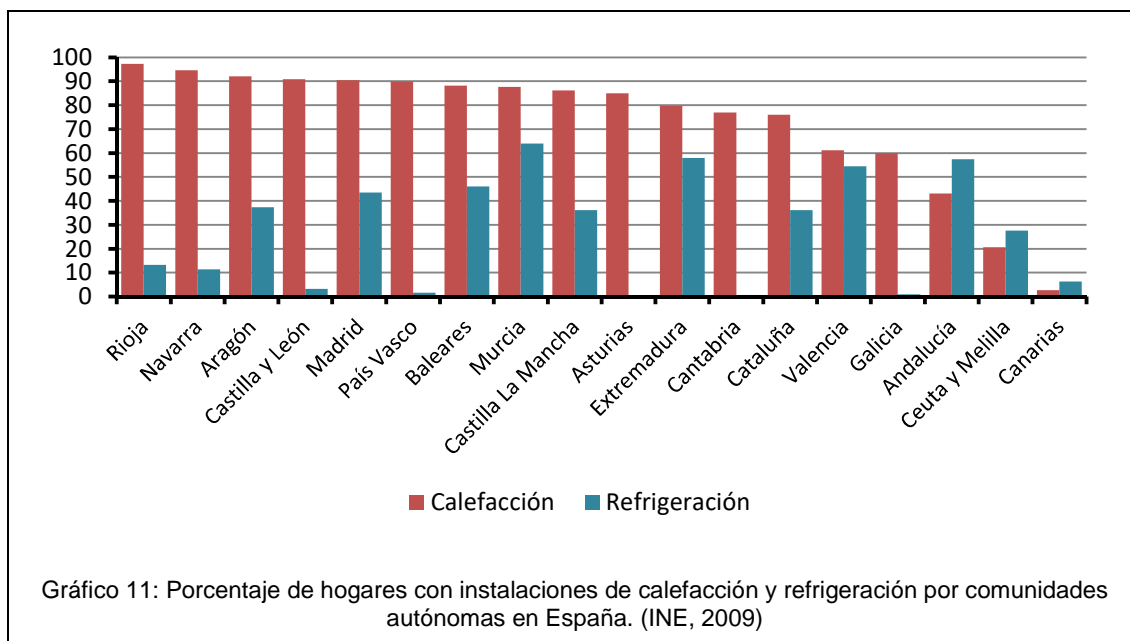


El clima de Sevilla es singularmente cálido incluso en comparación con el resto de España, e incluso con otros lugares de la zona considerada como mediterránea por el IDAE (Islas Canarias, Andalucía, Murcia, Comunidad Valenciana, Islas Baleares y todas las provincias de Cataluña excepto Lérida).



Esta mayor severidad del verano frente al invierno, sumada a una probable percepción particular del confort térmico y a otros motivos socioeconómicos, hacen que Andalucía sea una de las comunidades en las que la proporción de viviendas con instalaciones de calefacción sea menor mientras que la proporción de viviendas con instalaciones de refrigeración es mayor, como puede apreciarse en el Gráfico 11. El clima de Sevilla

es aún más benigno que el de Andalucía en su conjunto, por lo que esta tendencia es probablemente más acentuada en la capital.



La inexistencia de instalaciones de calefacción en muchas viviendas provoca que en ellas no se alcancen temperaturas de confort durante los meses de invierno, permaneciendo por debajo de los 21 °C estipulados por el RITE.

Esta situación, sumada a la suavidad de las temperaturas exteriores durante esos meses, provoca que la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de muchos edificios en Sevilla sea muy pequeña durante el invierno. Como se ha visto en capítulos anteriores, la validez de los métodos experimentales de medición de la transmitancia térmica en cerramientos está supeditada a la existencia de una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio de al menos 10 °C. La campaña experimental de este trabajo se ha afrontado sabiendo que esta condición necesaria sería difícil de cumplir, por lo que se han elegido cuidadosamente los periodos de ensayo en función de la previsión de temperaturas ofrecida por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Esta dificultad para conseguir grandes diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios durante el invierno en zonas mediterráneas ha sido también señalada por otros autores (Desogus et al., 2011).

Sin embargo, durante el verano, en Sevilla se alcanzan con facilidad los 40 °C, por lo que se plantea la monitorización de un cerramiento (C4) durante el mes de Junio. Este planteamiento busca comprobar la validez de los métodos experimentales de medición de la transmitancia térmica cuando la diferencia de temperatura es elevada entre el interior y el exterior durante el verano, caso no explorado por ninguno de los artículos científicos consultados. Sin embargo, se estima que la inexistencia de una instalación de refrigeración en el interior de la cámara provoque el alcance de temperaturas próximas a las exteriores en su interior. Ante esta carencia, se propone la introducción en la cámara térmica de una cierta cantidad de hielo con el objetivo de refrigerarla.

6.3 Procedimientos

A continuación se detallan los procedimientos concretos que se han llevado a cabo durante la campaña experimental para obtener los valores de transmitancia de los cuatro cerramientos objeto de estudio.

6.3.1 Cálculo teórico

La configuración constructiva de los cerramientos C1 y C3 se ha estimado a partir de su espesor total y del año en el que fueron construidos, al no disponerse de documentación técnica sobre los mismos. La de C2 y C4, por otra parte, se ha consultado en documentación técnica fiable. A continuación se muestran las secciones constructivas de cada cerramiento, en las que se identifican los materiales que componen cada una de sus capas, los espesores de éstas y los valores correspondientes de conductividad térmica. Éstos últimos se extraen del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, escogiendo valores medios ante el desconocimiento de los valores exactos para cualquiera de los casos de estudio.

Tabla 11: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C1. Fuente: Sección, materiales y espesores estimados. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE. excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946

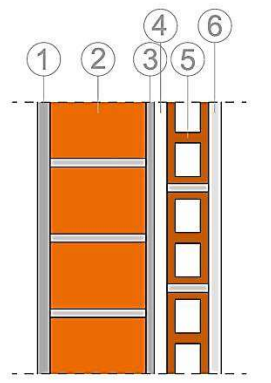
	Material	d (cm)	λ (W/m*K)
	1 Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,5	1,30
	2 Ladrillo perforado	11,5	0,35
	3 Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,0	1,3
	4 Cámara de aire	1,5	*
	5 Ladrillo hueco	5,0	0,32
	6 Enlucido de yeso ($1000 \text{ kg/m}^3 < \rho < 1300$)	1,5	0,57

Tabla 12: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C2. Fuente: Sección, materiales y espesores obtenidos de documentación técnica. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946

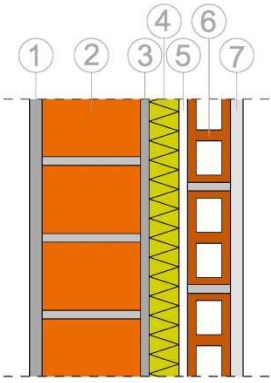
	Material	d (cm)	λ (W/m*K)
	1 Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,5	1,3
	2 Ladrillo perforado	11,5	0,35
	3 Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,0	1,3
	4 Poliestireno extruido (valor medio)	3,5	0,036
	5 Cámara de aire	1,0	*
	6 Ladrillo hueco	5,0	0,32
	7 Enlucido de yeso ($1000 \text{ kg/m}^3 < \rho < 1300$)	1,5	0,57

Tabla 13: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C3. Fuente: Sección, materiales y espesores estimados. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946

	Material	d (cm)	λ (W/m*K)
1	Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,5	1,3
2	Ladrillo macizo	11,5	0,85
3	Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,0	1,3
4	Cámara de aire	10,5	*
5	Ladrillo hueco	5,0	0,32
6	Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,5	1,3
7	Azulejo cerámico	1,0	1,3

Tabla 14: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C4. Fuente: Sección, materiales y espesores estimados. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946

	Material	d (cm)	λ (W/m*K)
1	Ladrillo perforado	11,5	0,35
2	Mortero de cemento o cal para revoco ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	1,5	1,3
3	Poliestireno extruido (valor medio)	3	0,036
4	Cámara de aire	7	*
5	Ladrillo hueco	7,0	0,32
6	Enlucido de yeso ($1000 \text{ kg/m}^3 < \rho < 1300$)	1,5	0,57

*La contribución de la cámara de aire a la transmitancia térmica se cuantifica directamente con su valor de transmitancia térmica. Según la norma UNE-EN ISO 6946 (AENOR, 2007), les corresponden a los cerramientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente transmitancias de 0,17, 0,15, 0,16 y 0,13 W/m²K.

6.3.2 Monitorización de cerramientos y volcado de datos

Para poder realizar el análisis termoflujométrico y termométrico, se monitorizan los cuatro cerramientos con dos equipos formados por sendas unidades de tratamiento de datos, diversas sondas de temperatura y un termoflujómetro. Se describen a continuación:

- Equipo TESTO 435-2 (en adelante, TESTO): formado por un gestor de datos al que se conectan tres sondas de medición de temperatura (para medición de la temperatura superficial interior del cerramiento) y con el que se comunica mediante radio una sonda externa de medición de temperatura (para medición de la temperatura ambiente exterior).

- Equipo ALMEMO 2590-4AS (en adelante ALMEMO): formado por un gestor de datos al que se conectan cuatro sondas de medición de temperatura (para medición de temperaturas ambientales y superficiales interior y exterior) y un termoflujómetro (en forma de placa cuadrada, para medición del flujo de calor a través del cerramiento).



Imagen 28: Equipo TESTO 435-2. Gestor de datos y sondas de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

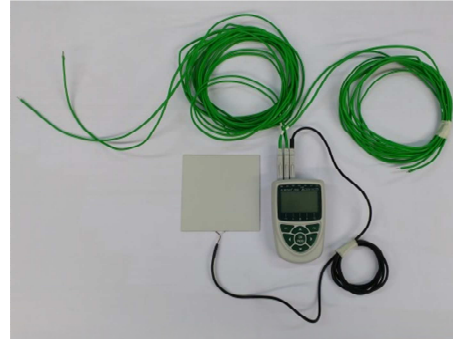


Imagen 29: Equipo ALMEMO 2590-4AS. Gestor de archivos, sondas de temperatura y termoflujómetro. Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de los cerramientos se monitoriza con ambos equipos durante un periodo de tiempo determinado, como se indica de manera aproximada en la Tabla 15. Para establecer los periodos de monitorización, se ha procurado que la predicción meteorológica pronosticase temperaturas frías y ausencia de viento y precipitaciones. De esta manera se buscaba registrar un mayor gradiente de temperatura a ambos lados de los cerramientos estudiados, así como evitar la influencia de los fenómenos meteorológicos sobre la transmitancia de los mismos o sobre los equipos de medición. La duración total de los periodos de ensayo no ha sido establecida conforme a la norma ISO 9869-1, aunque se ha procurado una duración de los mismos siempre superior al mínimo de 72 h. Los ensayos finalizaron contando con las preferencias y disponibilidad de los usuarios de los edificios.

Tabla 15: Periodos de monitorización de los cerramientos con las sondas de temperatura y el termoflujómetro.

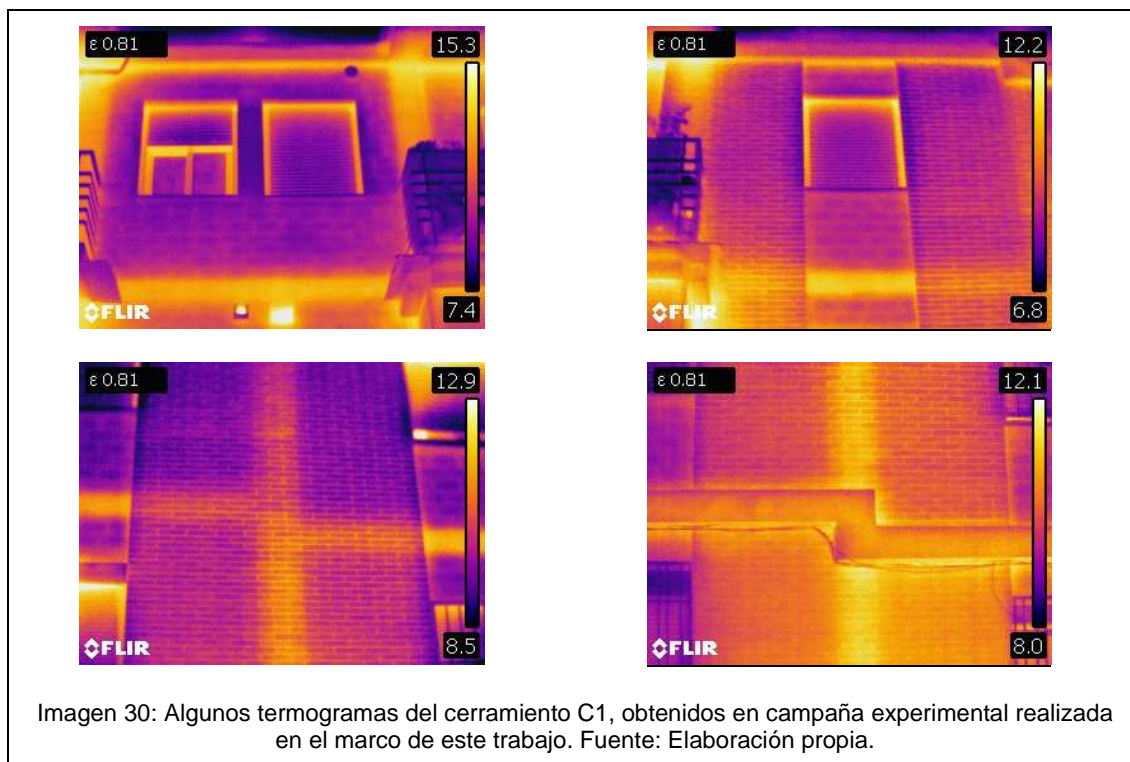
	Inicio	Fin	Duración (horas)
Caso 1	30/01/2016 10:00	02/02/2016 16:00	78,0
Caso 2	15/02/2016 19:30	19/02/2016 14:00	90,5
Caso 3	25/02/2016 14:30	01/03/2016 12:00	117,5
Caso 4	07/06/2016 13:00	14/06/2016 10:30	165,5

Los equipos se instalaron tratando de seguir las recomendaciones de los propios fabricantes y otras recogidas en diversos artículos científicos (ver apartado 4.5).

Entre estas medidas, destaca la realización de un análisis cualitativo previo mediante termografía infrarroja en el cerramiento C1, para decidir dónde colocar las sondas de temperatura y el termoflujómetro evitando los puentes térmicos. La termografía se llevó a cabo un día de invierno a primera hora de la mañana, con el objetivo de contar con grandes diferencias de temperatura entre el interior y el exterior del edificio. En estas condiciones, el contraste de temperatura entre los puentes térmicos y las zonas bien aisladas aumenta, lo cual permite obtener termogramas más precisos y fáciles de procesar. El equipo utilizado para la realización de esta campaña fue una cámara

termográfica modelo TH9100WR de la marca NEC, con una resolución de 0,03 °C y una precisión de $\pm 2\%$.

Los termogramas se vuelcan a un ordenador donde se procesan utilizando herramientas de software. En este caso se utiliza el programa informático FLIR Tools.



También se han consultado los termogramas obtenidos por el Dpto. EGIE en una campaña experimental realizada en el año 2013 sobre el edificio del cerramiento C2. En este caso, la consulta resultó en vano ya que no se había termografiado ningún cerramiento orientado al norte. Se optó por monitorizar este cerramiento igualmente ya que se podía intuir claramente que la zona analizada no era un puente térmico, al estar alejada de ventanas y elementos estructurales. No se realiza análisis cualitativo previo mediante termografía infrarroja en los cerramientos C3 y C4.

Durante el proceso de monitorización se sucedieron algunos errores que se enumeran a continuación:

- En los casos C1 y C3, se han instalado las sondas de temperatura superficial y el termoflujómetro a escasa distancia de ventanas, con el consiguiente riesgo de estar midiendo sobre un puente térmico, debido a la imposibilidad de realizar la instalación en otro lugar.
- En los casos C1 y C2, se ha instalado el termoflujómetro a una altura del suelo inferior a 1,5 m. Aunque solamente se ha encontrado una referencia a esta recomendación (Albatici & Tonelli, 2010), podría haber producido distorsiones en los resultados.
- En los casos C1, C2 y C3 no se ha interpuesto ninguna substancia entre el termoflujómetro y la superficie interior del cerramiento. Si bien las fuentes consultadas no hacían especial énfasis en este punto, lo cierto es que se cree que su incumplimiento ha sido el causante de la invalidez de las medidas tomadas por el termoflujómetro en estos casos.
- En el caso C2, un error en la programación del equipo TESTO provocó que éste no registrase ningún dato.

- En el caso C3, una de las sondas de temperatura del equipo TESTO se despegó de la superficie interior del cerramiento y se desconoce durante cuánto tiempo permaneció descolgada.
- En el caso C4, la sonda de temperatura exterior del equipo TESTO se apagó durante la monitorización debido al agotamiento de sus pilas. Por este motivo, no se incluyen en el trabajo los datos obtenidos por este equipo para este caso.
- En el caso C4, el hielo introducido en la cámara se derritió en pocas horas, por lo que produjo un descenso de la temperatura interior muy pequeño y durante poco tiempo.
- En el caso C4, el termoflujómetro se despegó de la pared interior de la cámara. Se intuye que esto ha podido deberse a la pérdida de adherencia de la cinta adhesiva ante el aumento de la humedad en la cámara provocado por la evaporación del agua procedente del hielo que se colocó en su interior y se derritió en pocas horas.
- Tras la recogida de datos de C1, se observa una ligera discordancia (± 1 °C) entre las temperaturas registradas por las sondas de los equipos TESTO, ALMEMO, una estación meteorológica portátil PCE FWS 20 (en adelante, estación meteorológica portátil) y los datos ofrecidos por AEMET para el mismo periodo. No se considera necesario recalibrar los aparatos, ya que estas diferencias se achacan a deficiencias en la estación meteorológica portátil y a la lejanía de la estación meteorológica de AEMET en Sevilla respecto de los objetos de estudio. Tras el análisis de los datos registrados en el caso C3, se detectan discordancias mayores entre la temperatura exterior registrada por el equipo TESTO y por el resto de equipos y AEMET, de magnitud significativa cuando se superan los 20 °C.



El gestor de datos del equipo TESTO fue configurado para registrar datos de sus correspondientes sondas cada 15 minutos, mientras que el del equipo ALMEMO se configuró para registrar datos cada 1 minuto en los casos C1, C2 y C3, y cada 15 minutos en el caso C4.

Tras finalizar cada periodo de monitorización, los datos son volcados a un ordenador mediante los siguientes programas informáticos específicos:

- Testo Comfort - Software Básico: Permite exportar los datos de la monitorización mediante el equipo TESTO en formato hoja de cálculo.
- ALMEMO Control: Permite exportar los datos de la monitorización mediante el equipo ALMEMO en formato hoja de cálculo.
- AMR WinControl (finalmente no fue utilizado por no disponerse de la licencia de uso): Permite calcular el valor de transmitancia térmica del cerramiento a partir de los valores obtenidos por el equipo ALMEMO. Realiza este cálculo según la norma DIN 4108.

6.3.3 Análisis termoflujométrico

Tras el volcado de los datos del equipo ALMEMO en el ordenador, se procede a su análisis y procesado para obtener la transmitancia térmica de los cerramientos siguiendo los diferentes métodos vistos con anterioridad.

6.3.3.1 Método de la media

Para obtener los valores de transmitancia térmica mediante el método de la media es necesario realizar varias acciones sobre los datos registrados directamente por las sondas, a partir de su visualización en forma de hoja de cálculo.

En primer lugar, se descartan aquellos datos tomados en momentos en los que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es baja. En nuestro caso, se han descartado los valores registrados cuando esta diferencia es inferior a 10 °C en C2 y a 5 °C en C1, C3 y C4. Este filtrado de datos se sobreentiende como paso previo necesario en cualquiera de las campañas experimentales presentes en los artículos científicos consultados, aunque únicamente encontramos referencia expresa a él en Albatici & Tonelli, 2010. En principio, se pretendió eliminar los datos obtenidos con una diferencia de temperatura inferior a 10 °C en todos los casos. Sin embargo, hubo que optar finalmente por los 5 °C en C1, C3 y C4 porque en ellos casi nunca se alcanzaban los 10 °C de diferencia de temperatura.

Adicionalmente, se ha comprobado la posible necesidad de eliminar algún dato por razones de excesivo viento o precipitaciones, pero las condiciones meteorológicas durante cualquiera de los periodos de ensayo fueron muy benignas en ese sentido. No se registró apenas viento ni lluvia.

Una vez son eliminados los datos obtenidos con diferencias de temperatura bajas, se procede a aplicar la Ecuación 24 al resto de datos.

$$U = \frac{q}{(T_i - T_e)}$$

Ecuación 24: Transmitancia térmica en función del flujo y la diferencia de temperaturas interior y exterior [W/(m²*K)]. Dónde: Te = Temperatura ambiental exterior (K); Ti = Temperatura ambiental interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m²).

Esta ecuación se entiende idónea para condiciones de invierno, cuando la temperatura interior de los edificios es superior a la exterior. Sin embargo, puesto que en los casos de estudio de este trabajo esta situación es en ocasiones inversa, se ha procedido a entender el denominador de la ecuación como un valor absoluto, evitando así valores de transmitancia térmica negativos que carecen de sentido físico. Finalmente, se hace la media del conjunto de valores obtenidos.

A continuación, se muestran las gráficas correspondientes a los datos registrados para C1, C2, C3 y C4, por el equipo ALMEMO. En ninguna de ellas se han representado las mediciones de ningún parámetro cuando la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior era inferior a 1 °C, puesto que esta circunstancia generaba valores de transmitancia de magnitud muy elevada (tanto negativos como positivos) que dificultaban la correcta visión del resto de la gráfica.

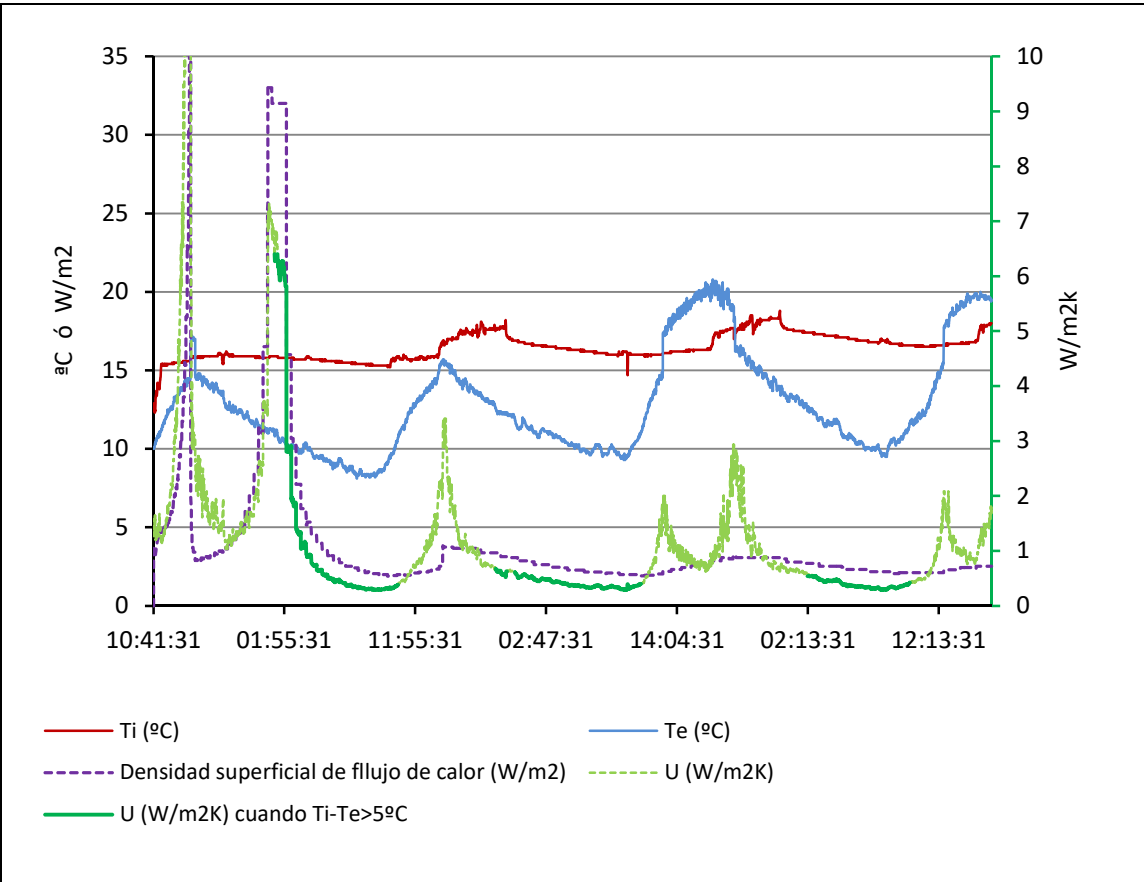


Gráfico 12: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C1.

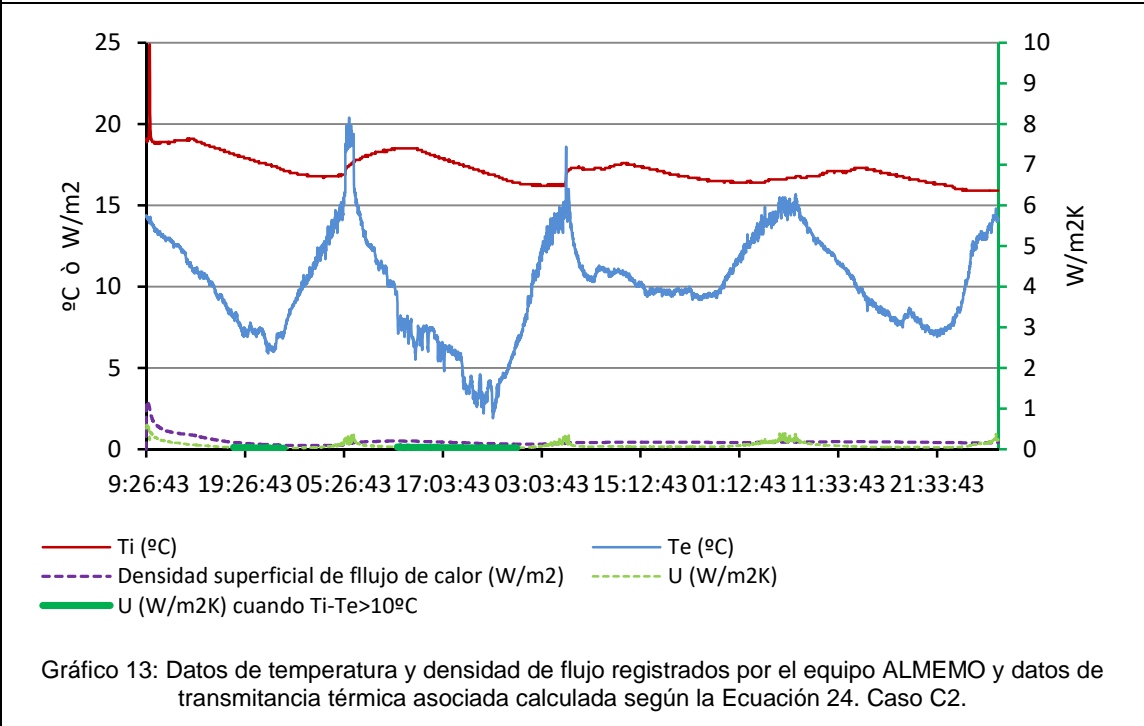


Gráfico 13: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C2.

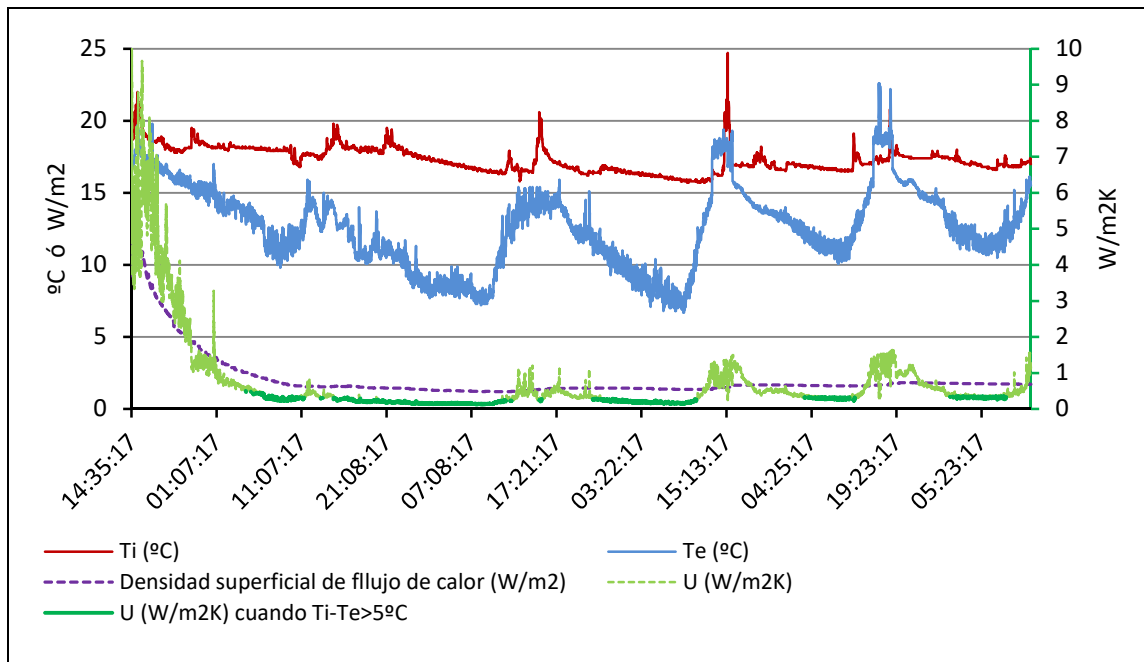


Gráfico 14: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C3.

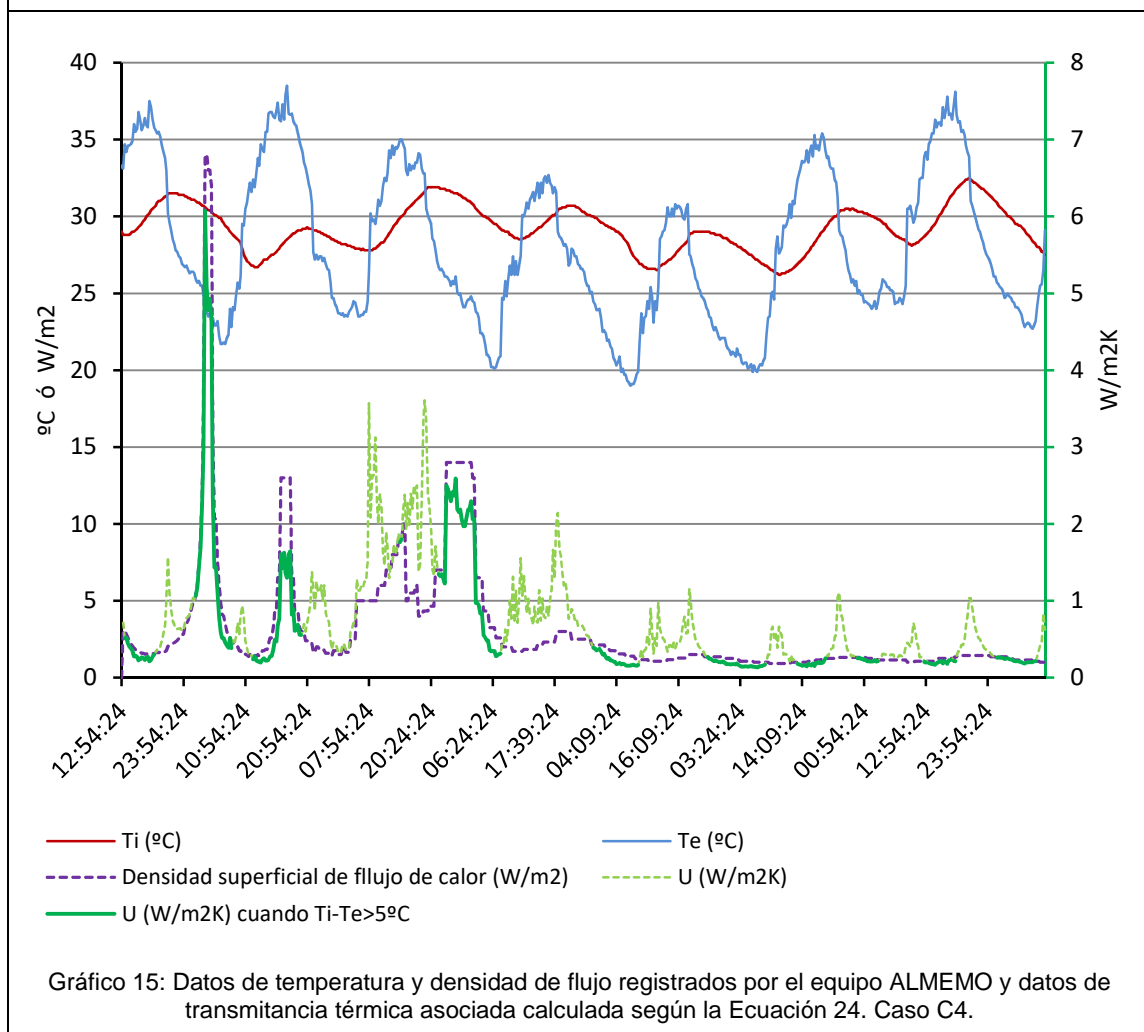


Gráfico 15: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C4.

Lo más importante en referencia a los datos registrados por ALMEMO es la caída de los valores de densidad de flujo de calor desde el momento de la instalación del equipo en los casos C2 y C3, tras un breve periodo de tiempo en el caso C1, y tras un periodo de tiempo algo mayor en el caso C4. Los valores de densidad de flujo deberían dibujar una línea sinusoidal de manera que su valor ascendiese cuando las diferencias de temperatura entre los ambientes interior y exterior fuesen mayores y disminuyese al reducirse éstas. Cuando no se obtiene este resultado, y en su lugar se dibujan perfiles planos y de valores muy bajos, se intuye que el termoflujómetro no ha sido correctamente instalado. En los casos C1, C2 y C3 el error puede haberse debido al hecho de no haber interpuesto una sustancia de elevada conductividad térmica entre la placa y el paramento, como recomendaban varios autores (Biddulph, y otros, 2014) (Desogus et al., 2011) (Li, y otros, 2014). La ausencia de esta sustancia intermedia ha podido ocasionar la aparición de una fina cámara de aire ventilada entre la placa y la pared, a igual temperatura que el interior de la estancia. Ante este problema, se decidió interponer pasta de dientes en el caso C4. La gráfica referente a este caso muestra cómo efectivamente esta medida ha surtido efecto, registrándose valores de flujo mayores cuando la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la caja eran mayores. Sin embargo, al proceder a la desinstalación de los equipos, se descubrió que el termoflujómetro estaba totalmente separado de la pared debido a que parte de la cinta adhesiva que lo fijaba a ella se había despegado. Este suceso ha podido deberse al aumento de la humedad relativa en el interior de la caja al permanecer en su interior una gran cantidad de agua procedente del hielo que se introdujo en la misma con el objetivo de refrigerarla.

La invalidez de los valores de flujo produce la automática invalidez de los resultados de transmitancia en los casos C1, C2 y C3, pudiendo salvarse los obtenidos en el caso C4 al haber permanecido el termoflujómetro correctamente colocado durante un periodo de tiempo considerable.

6.3.3.2 Método de la media y coeficientes correctores

A pesar de la falta de calidad de los datos obtenidos para el análisis termoflujométrico, se decide calcular los coeficientes correctores del flujo de calor para compensar el efecto del a capacidad térmica de los materiales, tal y como se explica en el apartado 4.5.1.1.

	C1	C2	C3	C4
F_i (adimensional)	64714,95	97461,50	150234,65	132442,70
F_e (adimensional)	31020,52	31258,11	56644,83	76057,42

Estos coeficientes han sido aplicados sobre los datos de flujo de calor recogidos por el equipo ALMEMO a sabiendas de que estos eran incorrectos. Los valores de transmitancia resultantes distan tanto de lo que sería razonable que no se recogen en este trabajo.

6.3.3.3 Método dinámico

Ante la imposibilidad de utilizar el software AMR WinControl por no disponer de la licencia de uso, no ha podido aplicarse el método dinámico de cálculo a los datos registrados por el equipo ALMEMO. De todos modos, ante la invalidez de los datos de flujo de calor registrados en los casos C1, C2 y C3, el método dinámico solamente hubiese podido ser de aplicación al caso C4 durante el periodo de tiempo en el que el termoflujómetro permaneció perfectamente adherido a la superficie interior de la caja.

6.3.4 Análisis termométrico

La Ecuación 42 se ha aplicado a los datos registrados por los equipos TESTO y ALMEMO para comprobar la correspondencia entre la transmitancia obtenida por ambos. Para los casos C2 y C4 no se dispone de datos del equipo TESTO debido a que en el primer caso se programó erróneamente y no pudo tomar ningún dato, mientras que en el segundo la sonda de temperatura exterior dejó de funcionar al agotarse sus pilas.

$$U = \frac{h_i * (T_i - T_{si})}{(T_i - T_e)}$$

Ecuación 42: Transmitancia térmica a partir de temperaturas y coeficiente de convección superficial [W/(m²*K)]. Dónde: h_i = Coeficiente de convección superficial interior [W/(m²*K)]; T_i = Temperatura ambiental interior (K); T_{si} = Temperatura superficial interior (K); T_e = Temperatura ambiental exterior (K).

Al igual que en el análisis termoflujométrico, se entiende que la Ecuación 42 está pensada para una situación de invierno en la que la temperatura interior es siempre superior a la superficial interior. El hecho de que en nuestros casos de estudio la temperatura exterior supere periódicamente a la interior provoca que la superficial interior sea en algunos momentos superior a la interior a causa de la inercia térmica del cerramiento. Por esta razón, se han considerado las dos restas presentes en la fórmula ($T_i - T_e$ & $T_i - T_{si}$) como valores absolutos. De esta manera se evitan valores de transmitancia térmica negativos, que carecen de sentido físico.

Como valor para el coeficiente de convección superficial interior (h_i), necesario para aplicar la Ecuación 42, se toma el aceptado de forma general por la bibliografía consultada: 7,69. Nótese que éste se trata de un valor obtenido experimentalmente en unas condiciones determinadas de laboratorio, y que su valor en condiciones reales puede variar considerablemente aun manteniéndose en el mismo orden de magnitud.

Al igual que en el análisis termoflujométrico por el método de la media, se han obtenido los valores de transmitancia utilizando únicamente los valores de temperatura registrados cuando la diferencia entre las temperaturas interior y exterior fue superior a 5 °C en los casos C1, C3 y C4 y a 10 °C en el caso C2.

A continuación, se muestran las gráficas correspondientes a los datos registrados para C1, C2, C3 y C4, por los equipos ALMEMO y TESTO, y los correspondientes datos de transmitancia térmica al aplicarles la Ecuación 42. En ninguna de ellas se han representado las mediciones de ningún parámetro cuando la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior era inferior a 1 °C, puesto que esta circunstancia generaba valores de transmitancia de magnitud muy elevada (tanto negativos como positivos) que dificultaban la correcta visión del resto de la gráfica.

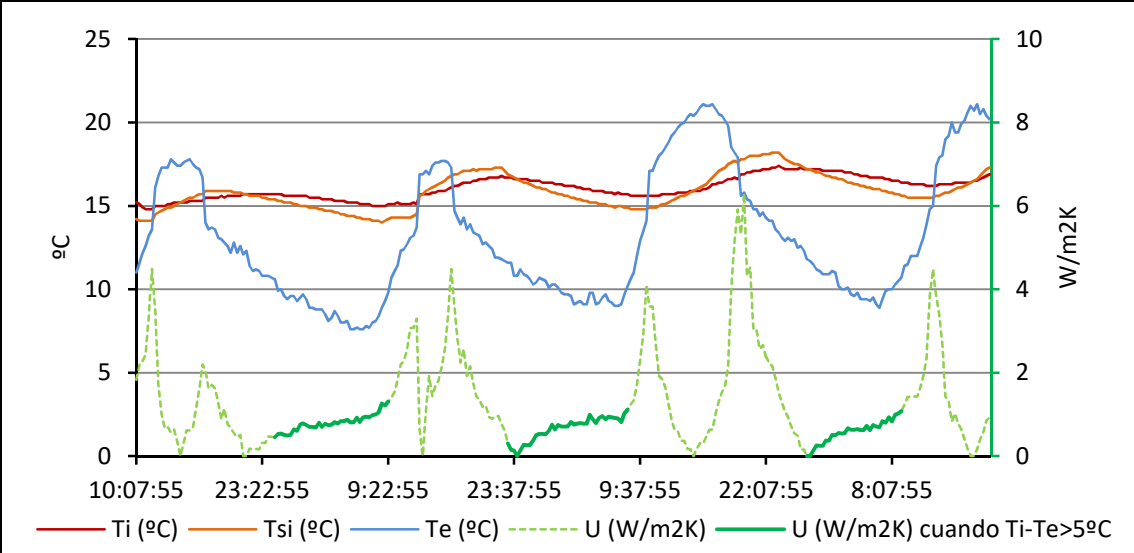


Gráfico 16: Datos de temperatura registrados por el equipo TESTO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C1.

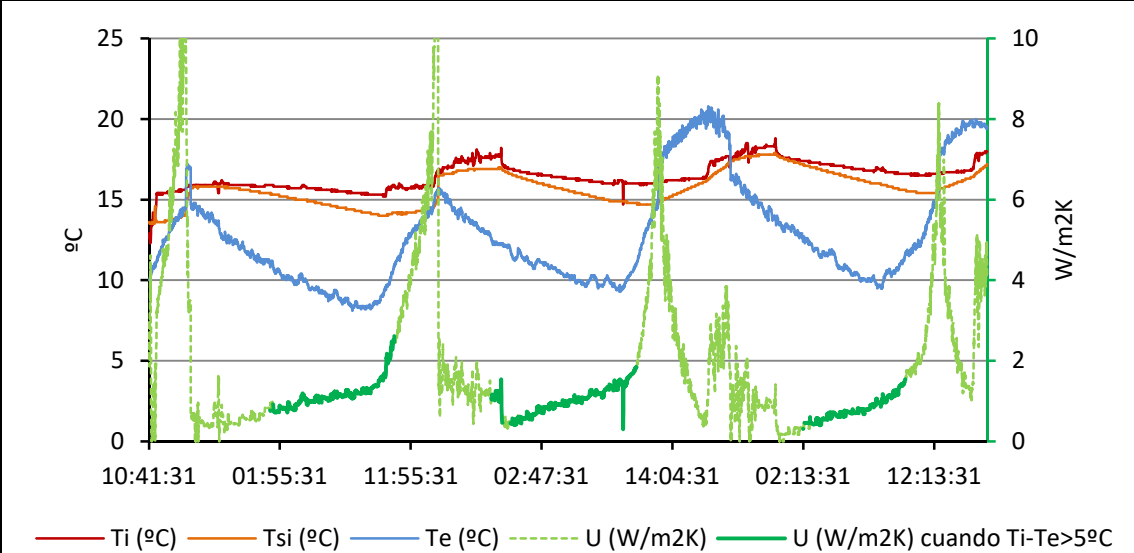


Gráfico 17: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C1.

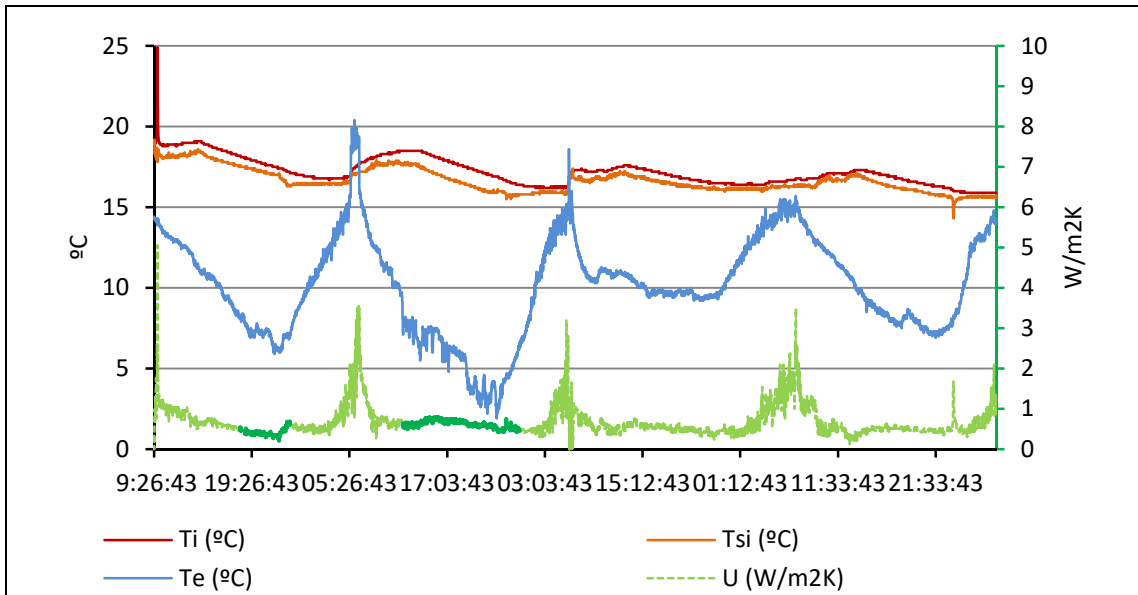


Gráfico 18: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C2.

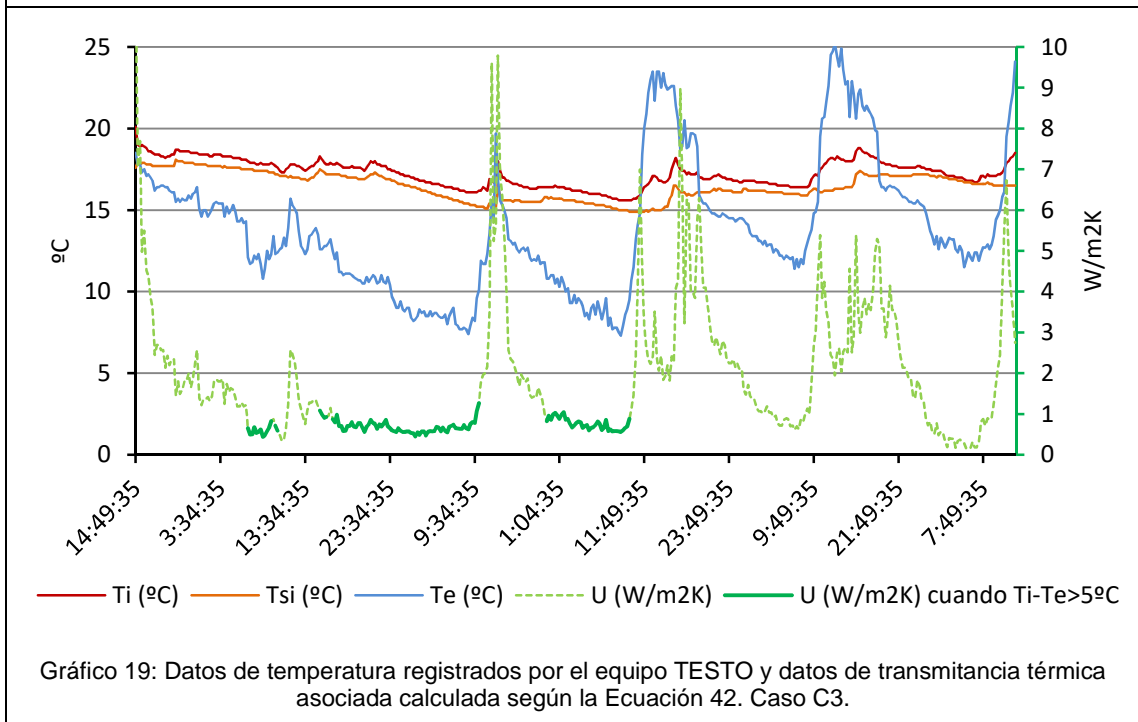


Gráfico 19: Datos de temperatura registrados por el equipo TESTO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C3.

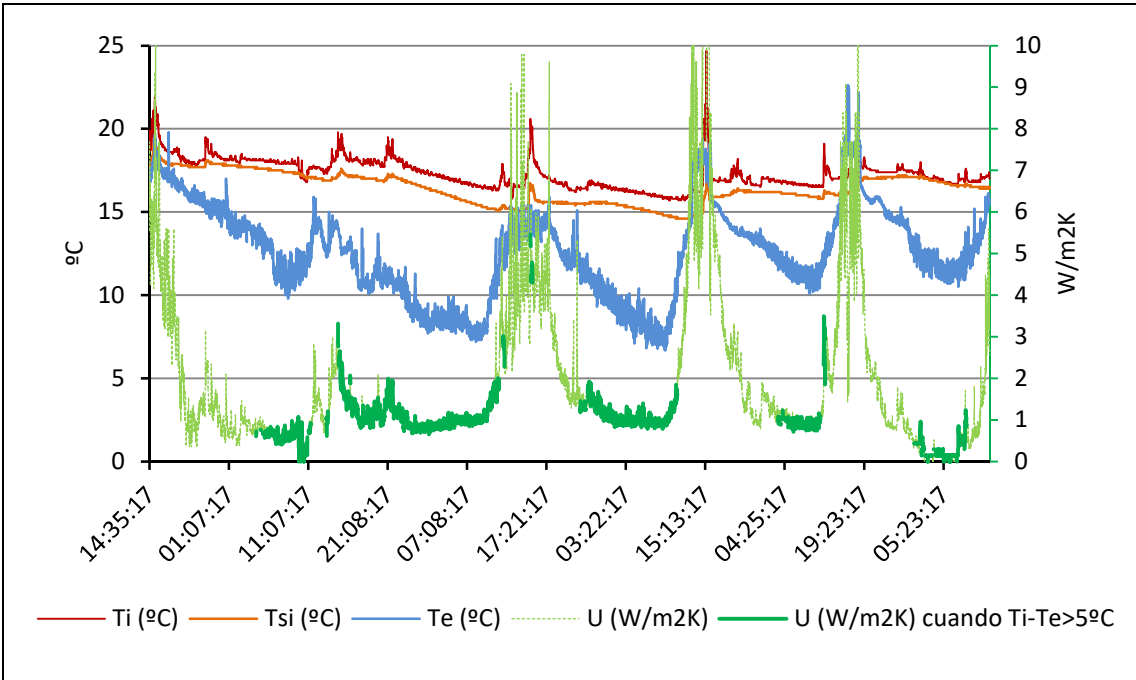


Gráfico 20: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C3.

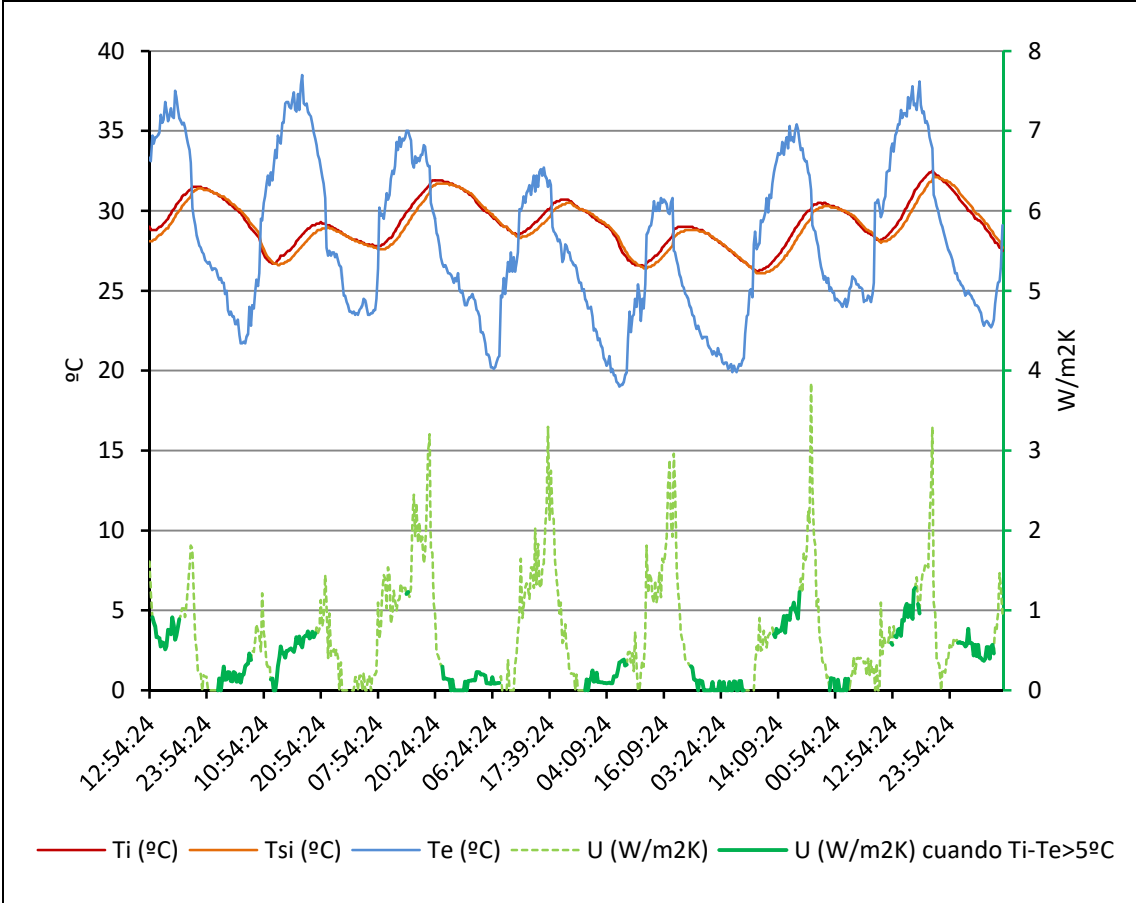


Gráfico 21: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C4.

Puede observarse cómo existe una notable diferencia en las temperaturas ambientales exteriores registradas entre los equipos TESTO y ALMEMO cuando se superan los 15 °C. En principio se considera más fiable la temperatura registrada por ALMEMO ya que concuerda mejor con los datos registrados por la estación meteorológica de AEMET en Sevilla-Tablada.

Al margen de esta discordancia en las temperaturas, en los datos obtenidos por ambos equipos se vuelven a apreciar importantes perturbaciones en los valores de transmitancia cuando la temperatura exterior supera a la interior.

Queda patente a la vista de las gráficas cómo no es viable la evaluación de la transmitancia térmica a partir de una medida instantánea sobre el cerramiento, ya que esta varía a lo largo del tiempo en función de las temperaturas. Es imprescindible prolongar el ensayo durante un cierto tiempo y obtener la transmitancia como media entre los valores registrados cuando la diferencia entre las temperaturas interior y exterior del edificio es elevada.

6.3.5 Fórmula propuesta por Albatici & Tonelli (2010)

Por último, se ha aplicado la Ecuación 44 a los datos de temperatura ambiente interior y exterior y superficial exterior obtenidos por el equipo ALMEMO para los casos C1, C2 y C3, en combinación con los datos de viento obtenidos con la estación meteorológica portátil, ubicada en un punto del barrio sevillano de Bellavista alejado de cualquiera de los edificios objeto de estudio. También se aplica la misma ecuación al caso C4, aunque considerando una ausencia total de viento ante la falta de registros tomados con la estación meteorológica. En todos los casos se considera como valor absoluto la diferencia $T_i - T_e$ con el objetivo de evitar valores de transmitancia térmica negativos, que carecen de sentido físico.

$$U = \frac{5,67 * \epsilon_{tot} * ((T_i/100)^4 - (T_{out}/100)^4) + 3,8054 * v * (T_i - T_{out})}{T_{int} - T_{out}}$$

Ecuación 44: Transmitancia térmica según (Albatici & Tonelli, 2010) [W/(m²*K)]. Dónde: ϵ_{tot} = Emisividad total (adimensional); T_i = Temperatura superficial exterior (K); T_{int} = Temperatura interior (K); T_{out} = Temperatura exterior (K); v = Velocidad del viento cerca del cerramiento (m/s).

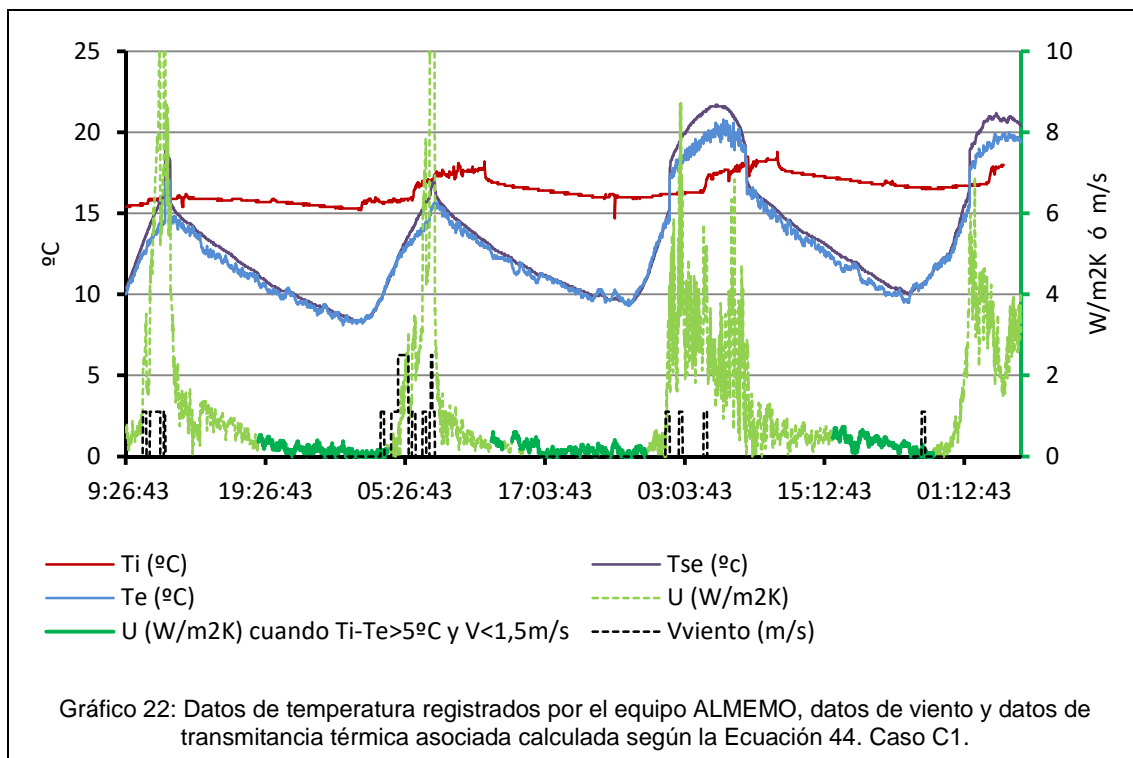
Como valor de la emisividad en el espectro entero (ϵ_{tot}) se toma 0,90 en los cuatro casos de estudio. Éste se halla por aproximación a diversas fuentes como Rico Delgado & Marín García (2009), que da un valor de emisividad a “pintura” de 0,96 y a “hormigón” de 0,85 y Givoni (1969), que da un valor de 0,90 para cualquier material no metálico de color no brillante.

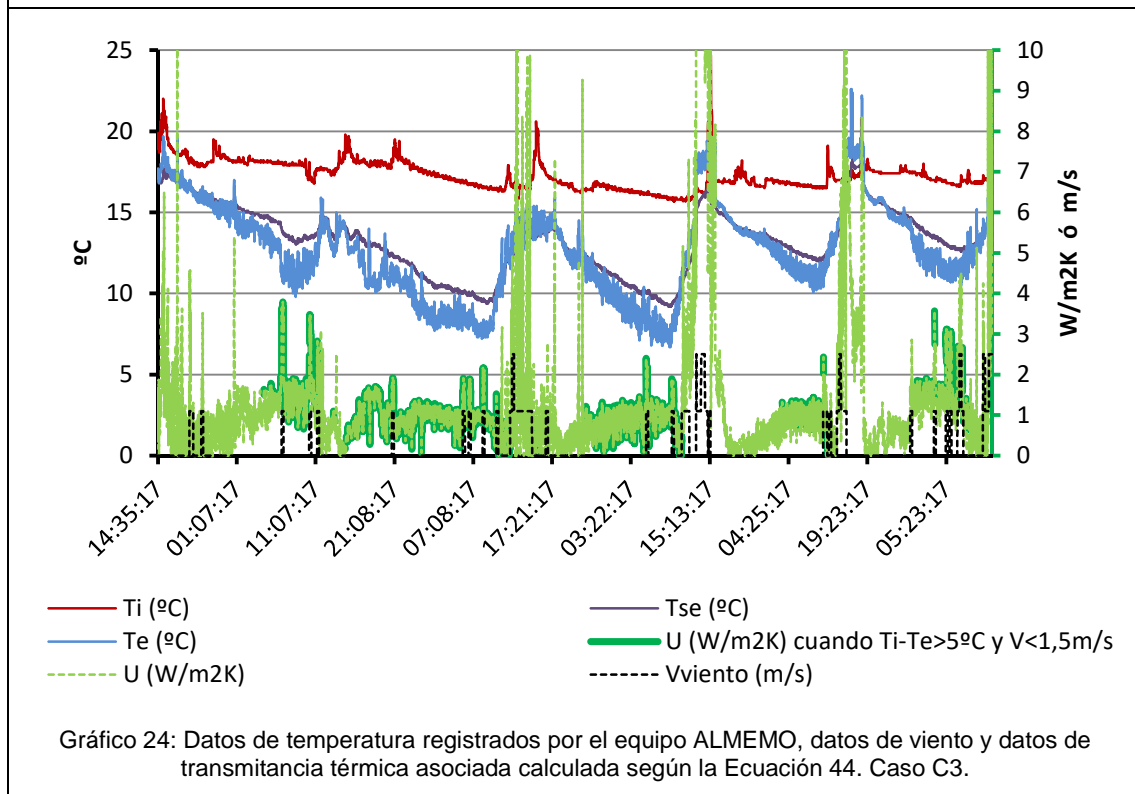
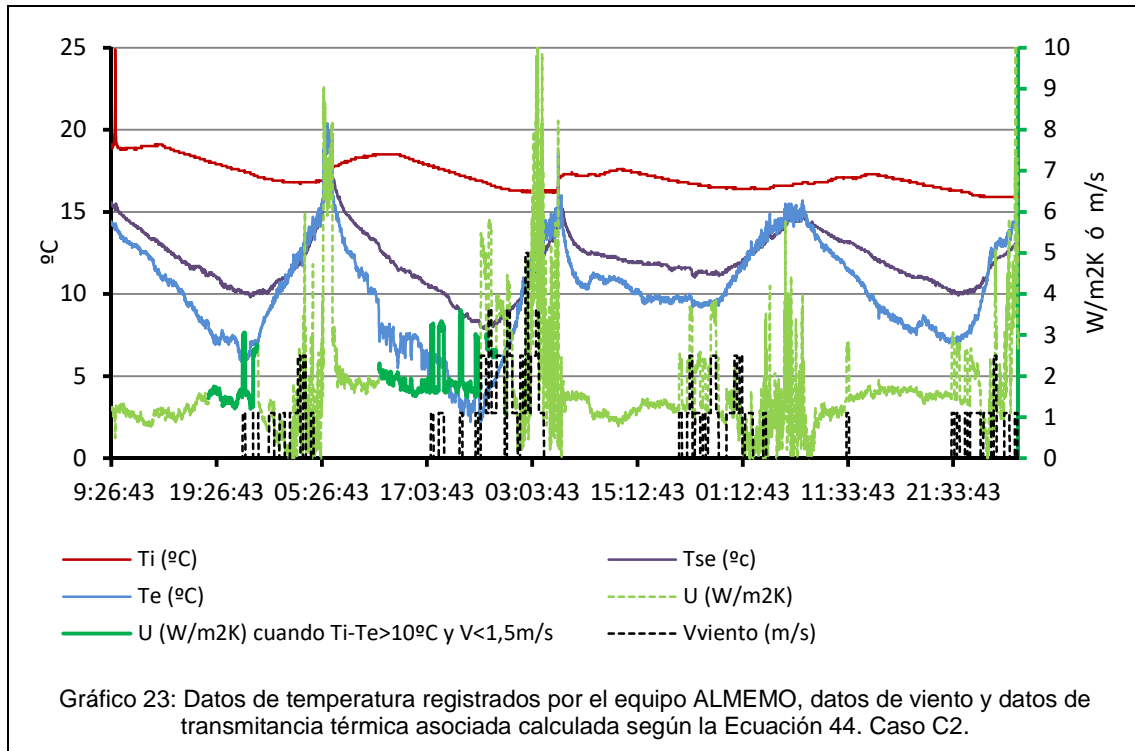
No se han utilizado por lo tanto los métodos propuestos por Albatici & Tonelli (2010) para hallar las temperaturas ambiente interior y exterior ni superficial exterior. La razón ha sido la complejidad de estos métodos respecto de la medición mediante sondas de temperatura, que además ya se iban a instalar de todos modos de cara a los análisis termoflujométrico y termométrico. Tampoco se ha medido la velocidad del viento a escasos centímetros de la pared, como indican Albatici & Tonelli (2010), sino que se han utilizado los datos procedentes de la estación meteorológica portátil, situada lejos de cualquiera de los cerramientos. En este caso no se ha llevado a cabo el procedimiento marcado por los autores del método debido a la imposibilidad de instalar de manera segura la estación meteorológica portátil en proximidad a ninguno de los cerramientos estudiados.

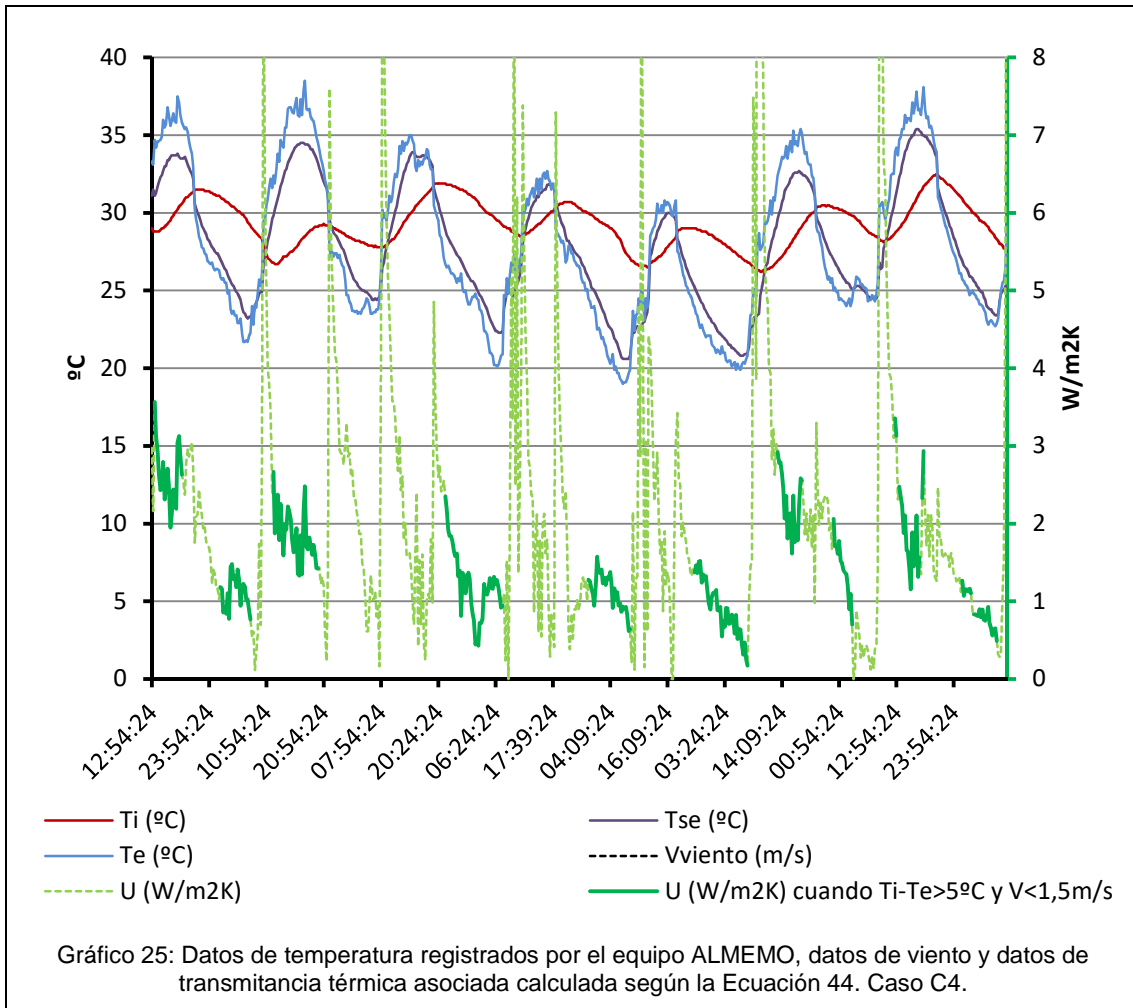
Además, se ha considerado como resultado de transmitancia la media de los valores obtenidos al aplicar la Ecuación 44 a todas las mediciones individuales en las que se da una diferencia de temperatura superior a 5 °C en los casos C1, C3 y C4 y a 10 °C

en el caso C2, al tiempo que la velocidad del viento registrada por la estación meteorológica portátil es inferior a 1,5 m/s.

A continuación se muestran en forma de gráfica los datos de temperatura ambiente exterior, superficial exterior y ambiente interior registrados por el equipo ALMEMO, los datos de viento registrados por la estación meteorológica portátil, y los valores de transmitancia térmica obtenidos a partir de ellos y de la emisividad estimada para la superficie exterior de los paramentos (0,90). También se visualizan los tramos de valores de transmitancia térmica cuando las diferencias de temperatura superan cierto valor y la velocidad del viento es inferior a 1,5 m/s. En ninguna de las gráficas se han representado las mediciones de ningún parámetro cuando la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior era inferior a 1 °C, puesto que esta circunstancia generaba valores de transmitancia de magnitud muy elevada (tanto negativos como positivos) que dificultaban la correcta visión del resto de la gráfica.







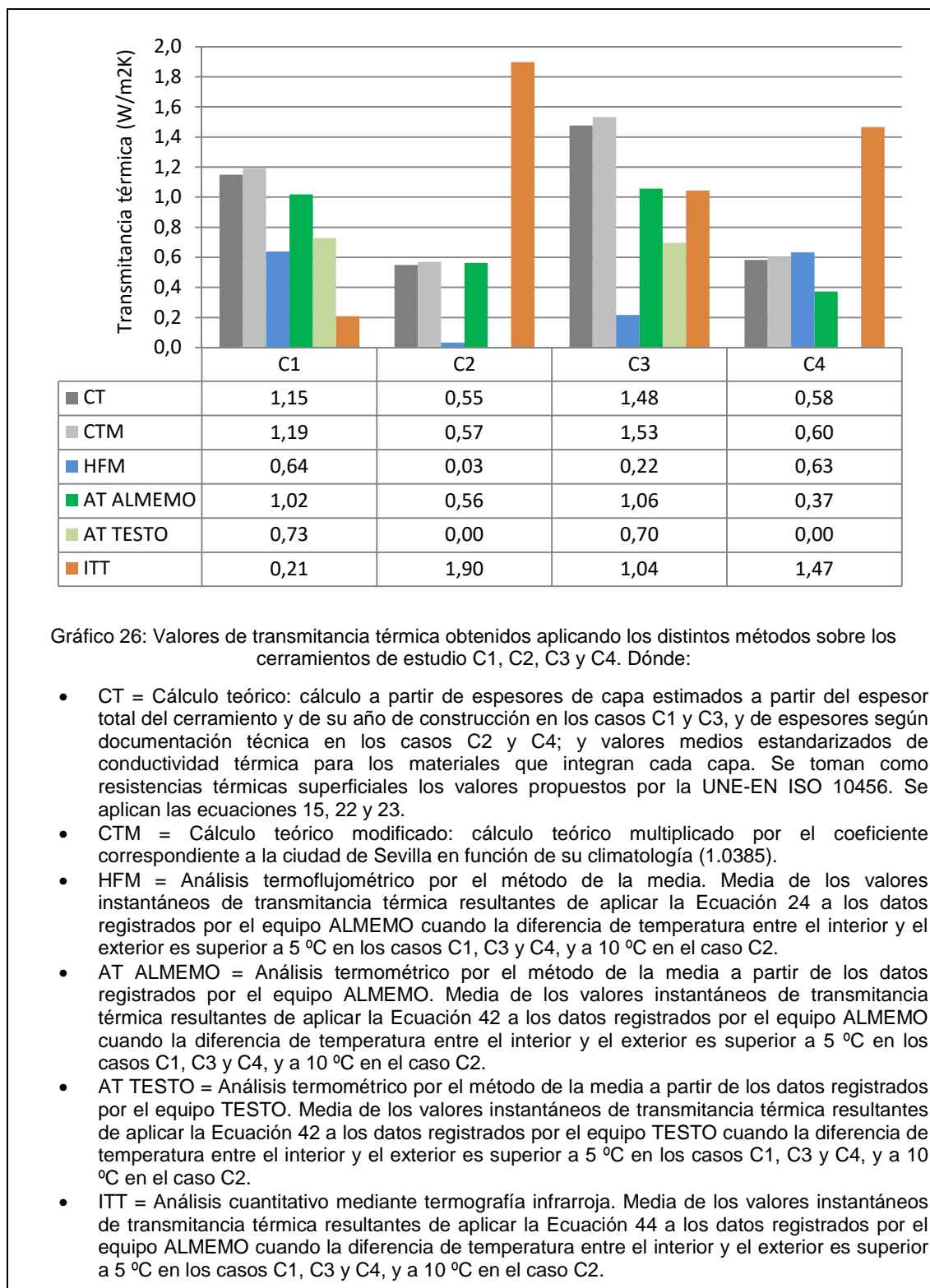
En estas gráficas podemos observar como el valor de transmitancia aumenta drásticamente no únicamente cuando las temperaturas ambientales exteriores son superiores a las interiores, sino también cuando la temperatura superficial exterior es menor que la temperatura ambiental exterior, fenómeno que puede darse debido a la inercia térmica del cerramiento.

Además, se observan aumentos de la transmitancia en los momentos en los que la velocidad del viento registra valores superiores a 0 m/s. Esta fuerte dependencia de los valores de viento es señalada también por los propios autores del método, que únicamente aceptan la aplicación del mismo bajo condiciones de velocidad de viento inferior a 1m/s, e incluso recomiendan que ésta sea inferior a 0,2 m/s.

Resultados y discusión

7 Resultados y discusión

Tras analizar los cerramientos objeto de estudio, tanto de manera teórica como experimentalmente, se obtienen los valores de transmitancia térmica según los distintos métodos propuestos. Estos resultados se representan en el Gráfico 26, si bien se omiten los obtenidos en el análisis termoflujométrico por el método de la media con coeficientes correctores, por ser su valor erróneo y tan elevado que se considera fuera del rango de lo que sería razonable.



Ya que la reducida diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de los edificios es una circunstancia muy perjudicial en relación a la precisión de los métodos experimentales, se van a comparar éstos con el teórico, asumiendo éste como el más veraz. Cabe cuestionarse la veracidad de los valores teóricos de transmitancia térmica obtenidos para los casos C1 y C3, cuya composición constructiva ha sido estimada a partir del espesor total del cerramiento y su año de construcción.

Los valores de transmitancia teóricos distan considerablemente entre los distintos cerramientos analizados. Como era previsible, los mejores cerramientos son los más recientes, C2 y C4, con transmitancias de 0,55 y 0,58 W/m²K respectivamente, mientras que el peor es el más antiguo, el C3, con una transmitancia de 1,48 W/m²K.

Los valores de transmitancia modificados con el coeficiente propuesto por Pérez Bella et al. (2015) son ligeramente superiores a los valores calculados de manera convencional. Esta diferencia se corresponde con el coeficiente propuesto por los autores para la ciudad de Sevilla (3,85 %).

Los valores obtenidos mediante análisis termoflujométrico por el método de la media en los casos C1, C2 y C3 deben descartarse, ya que el termoflujómetro no registró el flujo de calor convenientemente. Para el caso C4, puede otorgarse una cierta fiabilidad a este método ya que el termoflujómetro registró flujo durante varios días antes de desprenderse del paramento y, como se puede observar en la gráfica, el resultado final es próximo al teórico. Además, sabemos que el valor teórico de este cerramiento es válido puesto que su composición constructiva se conoce con total precisión.

En cuanto al análisis termométrico, se considera fiable el valor obtenido para el caso C2 a partir de los datos registrados por ALMEMO, al haberse dado durante su monitorización diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de más de 10^o C. Además, el valor experimental coincide con el teórico, el cual se considera fiable por basarse en documentación técnica. En el resto de los casos, no se han conseguido valores de calidad con ninguno de los equipos al haberse registrado diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios muy pequeñas, inferiores en cualquier caso a las recomendadas por los artículos científicos consultados. Cabe destacar que la transmitancia resultante del tratamiento de los datos del equipo TESTO dista más del valor teórico que la del ALMEMO en los casos C1 y C3. Además, en ambos casos el valor de TESTO es menor respecto del de ALMEMO en una proporción similar (-28,53 y -33,79% respectivamente). Esto se debe a que la sonda exterior del equipo TESTO registra temperaturas anormalmente altas cuando la temperatura exterior supera los 15 °C aproximadamente. Esta discordancia fue detectada tras la monitorización de C1, pero no se interpretó como un error de calibración grave que pudiese tener consecuencias notables sobre los resultados.

En el caso del valor obtenido al aplicar la fórmula propuesta por Albatici & Tonelli a los datos obtenidos por ALMEMO, puede observarse cómo varía enormemente respecto del teórico en todos los casos (-85'46, +245'84, -29'73% y +151'96 % respectivamente). La inexistencia de diferencias de temperatura superiores a los 10 °C en los casos C1, C3 y C4 podría argumentar esta disparidad. Sin embargo, en el caso C2, pese a darse diferencias de temperatura mayores, es en el que se da una discordancia mayor respecto del valor teórico. Se baraja como posible explicación la utilización de la medición del viento de la estación meteorológica portátil, alejada del cerramiento, en lugar de haber medido en la proximidad del mismo, ya que su velocidad tiene una influencia muy importante sobre el resultado final.

En definitiva, los únicos resultados experimentales con un cierto grado de fiabilidad son los correspondientes al análisis termométrico en el caso C2 y al termoflujométrico en el C4. Además, se consideran La incorrecta medición del flujo de calor en los casos C1, C2 y C3 y la inexistencia de diferencias de temperatura superiores a 10 °C entre el interior y el exterior en los casos C1, C3 y C4, invalidan el resto de los resultados.

Conclusiones

8 Conclusiones

A pesar de los problemas que se han tenido que afrontar a lo largo de la realización de la campaña experimental de este trabajo, el propio proceso de ejecución de la misma, sumado al pormenorizado análisis de documentación científica y normativa, han permitido obtener un buen número de conclusiones. Éstas se exponen, precedidas cada una de la letra correspondiente a los objetivos con los cuales está directamente relacionada.

- (A) El cálculo teórico de transmitancia térmica de cerramientos resulta fácil de aplicar. Sin embargo, es poco frecuente la disponibilidad de documentación fiable sobre la configuración constructiva de los cerramientos de edificios existentes de una cierta edad, por lo que la aplicación de este método suele pasar por la realización de estimaciones. En ocasiones se opta por la extracción de testigos, pero es un procedimiento poco frecuente debido a las molestias que provoca a los usuarios.
- (A) El método de cálculo teórico modificado varía muy poco los resultados respecto del método teórico estándar. Los coeficientes propuestos pueden corregir el valor de transmitancia en una magnitud muy pequeña en comparación con la desviación que se puede producir respecto del resultado real debido a las distintas estimaciones realizadas durante el proceso de cálculo.
- (B) La realización de análisis mediante termografía infrarroja precisa de un buen nivel de conocimientos sobre el manejo de la cámara termográfica. Además, pueden existir zonas de la envolvente de difícil visionado o que únicamente puedan termografiarse desde el interior de otros edificios. Esto, sumado a que los termogramas deben realizarse a primera hora de la mañana, puede provocar que resulte imposible aplicar esta técnica en ciertas zonas del cerramiento a estudiar.
- (B) El procedimiento de toma de datos mediante termografía infrarroja propuesto por Albatici & Tonelly (2014) resulta muy complejo respecto de la utilización de otros equipos como sondas de temperatura. Además, algunos de los procedimientos propuestos son de dudosa validez o contradicen el principio de no invasión del interior del edificio, una de las principales ventajas que se supone que tiene este método.
- (C) El clima de Sevilla, caracterizado por inviernos suaves, supone un problema difícil de sortear para la aplicación de cualquiera de los métodos experimentales recogidos en este trabajo. La exigencia de monitorizar los cerramientos durante periodos largos en los que la diferencia entre la temperatura interior y la exterior supere los 10 °C es difícil de cumplir.
- (C) La monitorización de cerramientos mediante sondas de temperatura es muy sencilla.
- (C,D) La instalación de un termoflujómetro presenta una dificultad notable: el correcto contacto entre la superficie del cerramiento y el mismo termoflujómetro. A partir del análisis de los datos registrados por el equipo ALMEMO, se concluye que la interposición de una pasta de elevada conductividad térmica entre el cerramiento y el termoflujómetro es indispensable para conseguir lecturas correctas de flujo de calor. La utilización de este material retrasa la instalación de los equipos, puede provocar molestias al usuario del edificio objeto de estudio (manchas en la pared) y aumenta la probabilidad de que el equipo sufra daños durante la aplicación y retirada de la sustancia.

- (D) En los métodos experimentales, resulta imprescindible disponer de equipos convenientemente calibrados, ya que diferencias de unos pocos grados en las temperaturas registradas pueden conllevar errores considerables. Lo atestiguan las desviaciones producidas en los casos de estudio C1 y C3 entre los resultados obtenidos mediante análisis termométrico a partir de los datos registrados por TESTO y ALMEMO respectivamente, puesto que la sonda exterior del equipo TESTO no parece estar bien calibrada.
- (E) El análisis de resultados mediante el método de la media, tanto en el caso de la termometría como de la termoflujometría, resulta sencillo a partir de la presentación de los datos registrados por los equipos en forma de hoja de cálculo.
- (E) El análisis de los datos obtenidos mediante termoflujometría por el método dinámico requiere de la utilización de software específico.
- (E) La aplicación de la fórmula propuesta por Albatici & Tonelli (2014) resulta sencilla, aunque la determinación de la emisividad total del cerramiento es difícil e imprecisa. La obtención del valor correcto de emisividad total de cerramientos es un objetivo aún por conseguir según la literatura científica.
- (F) Los métodos teóricos, al basarse frecuentemente en estimaciones de los espesores de las distintas capas de los cerramientos, y al tomar como válidos valores de conductividad térmica estándar, conllevan un alto nivel de incertidumbre, a veces imposible de cuantificar.
- (F) El análisis termométrico y el termoflujométrico son métodos de evaluación de la transmitancia térmica suficientemente precisos cuando se dan elevadas diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios. Esto queda patente en el caso de estudio C2, donde se dieron diferencias de temperatura superiores a 10 °C durante un tiempo considerable y se obtuvo mediante análisis termométrico un resultado muy similar al teórico, considerado como fiable al basarse en valores de espesor de capa registrados en documentación técnica.
- (F) El análisis termométrico conlleva un nivel de incertidumbre difícil de calcular, ya que se toma como cierto el valor estándar de coeficiente de resistencia superficial del cerramiento, cuando en cada situación real este valor puede variar considerablemente aun permaneciendo en el mismo orden de magnitud.
- (F) La aplicación de la fórmula propuesta por Albatici & Tonelli a los datos obtenidos tras la monitorización de los cerramientos no arroja resultados válidos. La inexistencia de diferencias de temperatura elevadas entre el interior y el exterior de los edificios analizados se puede considerar como la causa principal de la invalidez del método en este estudio. Además, se detecta su incompatibilidad con temperaturas exteriores superiores a las superficiales exteriores, situación que puede darse con facilidad debido a la capacidad térmica de los cerramientos.
- (F) Los métodos instantáneos como una termometría puntual, o el análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja, no son en absoluto fiables, ya que las temperaturas varían de manera continuada ofreciendo valores de transmitancia térmica distintos a cada instante. Resulta imprescindible obtener un resultado en base a la media de resultados instantáneos obtenidos durante un cierto periodo de tiempo.

- (G) El análisis termoflujométrico permite obtener el valor de capacidad térmica efectiva de los cerramientos. Esta propiedad es muy importante a la hora de evaluar el comportamiento térmico de los edificios.
- (G) Se resumen las ventajas e inconvenientes de cada método en la Tabla 16:

Tabla 16: Resumen de las principales características de los distintos métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos. Fuente: Elaboración propia a partir de la información estudiada durante la realización del estado de la cuestión y de la experiencia propia a lo largo de la realización de la campaña experimental.

Característica →		Grado de complejidad		Invasión del interior del edificio	Tiempo requerido	Grado de precisión
		Ensayo	Análisis de datos			
Método ↓						
Teórico	Estimación espesor + edad					
	Documentación técnica					
	Extracción de testigo					
Análisis termoflujométrico	Método de la media					
	Método dinámico					
Análisis Termométrico	Método de la media					
	Método instantáneo					
Análisis cuantitativo mediante termografía Infrarroja						

	Favorable		Intermedio		Desfavorable
--	-----------	--	------------	--	--------------

- (G) Se puede establecer como conclusión final que el método que presenta una mejor relación entre su complejidad y su precisión es el análisis termométrico, aunque esta declaración debería reforzarse con más casos de estudio.

Futuras líneas

9 Futuras líneas

Este trabajo de investigación ha supuesto la utilización por vez primera del equipo termoflujómetro adquirido recientemente por el Dpto. EGIE de la Universidad de Sevilla. Constituye por lo tanto el punto de partida para la realización de futuras investigaciones en el mismo ámbito, implementando las mejoras que se extraen como necesarias a raíz de los problemas y limitaciones encontrados a lo largo de la realización del mismo. Se establecen las siguientes futuras líneas de investigación

- Profundización en el estudio comparativo de los métodos de evaluación de la transmitancia térmica en cerramientos opacos, mediante la realización de nuevas campañas experimentales similares a la llevada a cabo en el marco de este trabajo. Deberán aplicarse algunas mejoras, entre las cuales destacan:
 - Respetar los tiempos de ensayo marcados por la ISO 9869-1.
 - Instalar convenientemente el termoflujómetro, interponiendo siempre una pasta de elevada conductividad térmica entre éste y la superficie del cerramiento, como por ejemplo pasta de dientes.
 - Ensayar más cerramientos y de diverso tipo para poder determinar en cuáles puede resultar más preciso cada método.
 - Aplicar el análisis termoflujométrico según el método dinámico, es decir, asumiendo el carácter transitorio del régimen de flujo de calor que atraviesa el cerramiento. Este método permite obtener el valor de capacidad térmica efectiva de los cerramientos, por lo que supondría un valor añadido importante.
- Determinación experimental de los coeficientes de convección superficial o resistencias térmicas superficiales de una muestra de cerramientos, y comparar los resultados obtenidos con los valores propuestos por la normativa.
- Estudio de viabilidad técnica de métodos experimentales de evaluación de transmitancia térmica en cerramientos opacos de edificios existentes en condiciones de verano. Este estudio podrá llevarse a cabo mediante la monitorización de la cámara térmica instalada en el laboratorio del Dpto. EGIE y se prevé su realización en el marco de una futura tesis doctoral.

Lista de referencias

10 Lista de referencias

- AENOR. (1996). *UNE-EN ISO 7345 Aislamiento térmico. Magnitudes físicas y definiciones.*
- AENOR. (1997). *UNE-EN ISO 8990. Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente guardada y calibrada.*
- AENOR. (2002). *UNE-EN 13829. Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.*
- AENOR. (2007). *UNE-EN ISO 10456. Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.*
- AENOR. (2007). *UNE-EN ISO 6946 Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo.*
- AENOR. (2010). *UNE-EN/CLC/TR 16103 IN Gestión energética y eficiencia energética. Glosario de términos.*
- Agencia Estatal de Meteorología. (s.f.). *Valores climáticos normales. Sevilla Aeropuerto.* Recuperado el 22 de 04 de 2016, de <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=5783&k=and>
- agriNews. (01 de 2014). *Una nueva visión del campo.* Recuperado el 22 de 06 de 2016, de ¿Qué es un intercambiador de calor?: <http://agrinews.es/2014/01/21/que-es-un-intercambiador-de-calor/>
- Ahlborn Mess und Regelungstechnik GmbH. (2011). *ALMEMO Manual, 9th edition.* Alemania.
- Albatici, R., & Tonelli, A. (2010). Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site. *Energy and Buildings*, 42, 2177-2183. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.07.010.
- Albatici, R., Tonelli, A., & Chiogna, M. (2015). A comprehensive experimental approach for the validation of quantitative infrared thermography in the evaluation of building thermal transmittance. *Applied Energy*, 141, 218-228. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.12.035.
- Allen, E. (2008). *Cómo funciona un edificio.* Gustavo Gili, S.L.
- Antón García, D., Rico Delgado, F., & Moyano Campos, J. (2013). *Patrones límite de pérdida energética en fachadas de cerramiento frío que establezcan necesidades de intervención mediante termografía infrarroja.* Trabajo Final de Máster, Universidad de Sevilla, Máster Universitario en Gestión Integral de la Edificación, Sevilla.
- Asdrubali, F., & Baldinelli, G. (2011). Thermal transmittance measurements with the hot box method: Calibration, experimental procedures, and uncertainty analyses of three different approaches. *Energy and Buildings*(43), 1618-1626. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.005.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Baldinelli, G., & Bianchi, F. (2014). Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries - A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 53-59. doi: 10.1016/j.cscm.2014.04.004.

- ASM. Aislamiento sustentable de México. (22 de 06 de 2016). *Termografía*. Obtenido de <http://www.aisumex.com.mx/termografia>
- ASTM. (1995). *Standard practice for in-situ measurement of heat flux and temperatura on building envelope components*.
- Baño Nieva, A., & Vigil-Escalera del Pozo, A. (2005). *Guía de construcción sostenible*.
- Bellido, D. C. (2016). III.2. Cálculo de cargas térmicas. En *Presentación para la asignatura de Instalaciones en Edificación Sostenible. Máster Universitario en Gestión Integral de la Edificación*.
- Bermejo Gómez de Segura, R. (s.f.). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Universidad del País Vasco & Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional.
- Biddulph, P., Gori, V., Elwell, C., Scott, C., Rye, C., Lowe, R., & Oreszczyn, T. (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. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.04.004.
- Cesaratto, P., De Carli, M., & Marinetti, S. (2011). Effect of different parameters on the in situ thermal conductance evaluation. *Energy and Buildings*, 43, 1792-1801. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.021.
- Colaboradores de Wikipedia. (01 de 06 de 2016). *Wikipedia*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de Blower door: https://en.wikipedia.org/wiki/Blower_door
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Naciones Unidas. (1987). *Nuestro futuro común*.
- Cucumo, M., De Rosa, A., Ferraro, V., Kaliakatsos, D., & Marinelli, V. (2006). A method for the experimental evaluation in situ of the wall conductance. *Energy and Buildings*, 38, 238-244. doi: 10.1016/j.enbuild.2005.06.005.
- Del Toro Antúnez Arquitectos. (09 de 09 de 2015). *Sustentable y Sostenible*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de Infiltración, renovación natural y forzada: <http://blog.deltoroantunez.com/2015/09/infiltracion-renovacion-natural-mecanica.html>
- Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos. (2006). *Colección de Tablas y Gráficas de Instalaciones Frío-Calor*. Universidad de Sevilla. Disponible en: http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/Apuntes/Coleccion_tablas_graficas_IFC.pdf.
- Desogus, G., Mura, S., & Ricciu, R. (2011). Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance. *Energy and Buildings*, 43, 2613-2620. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.05.025.
- Domínguez, M., & Santamaría, S. (10 de 2001). Importancia de la inercia térmica de los cerramientos. (I. d. CSIC, Ed.) *Conarquitectura*(03), 49-56. Disponible en: <http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/03.pdf>.
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Universidad de Sevilla. (s.f.). *Guía para la redacción del Proyecto de Fin de Grado del Grado en Ciencia y Teconología de la Edificación*.
- Ficco, G., Iannetta, F., Ianniello, E., Romana d'Ambrosio Alfano, F., & Dell'Isola, M. (2015). U-value in situ measurement of energy diagnosis of existing buildings. *Energy and Buildings*, 104, 108-121. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.071.
- Fresco Contreras, R. (2016). *Medición de transmitancia térmica in situ. Fundamentos y metodología de ensayo*.

- Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES). (2009). *Archivo ECODES*. Recuperado el 03 de 04 de 2016, de Urbanismo y vivienda: impactos medioambientales.: <http://ecodes.org/archivo/proyectos/archivo-ecodes/pages/areas/vivienda/impacto.html>
- G. León, O. (2016). *Cómo redactar textos científicos y seguir las normas APA 6.ª para los trabajos de fin de Grado y fin de Máster, tesis doctorales y artículos* (4.ª ed.). Madrid: Ibergarceta Publicaciones, S.L.
- Givoni, B. (1969). *Man, Clima and Architecture*. (H. J. Cowan, Ed.) Elsevier.
- Gobierno de España. Ministerio de Fomento. (2013). *Código Técnico de la Edificación - Documento Básico de Ahorro de Energía*.
- Gobierno Vasco. Departamento de Empleo y Políticas Sociales. (23 de 11 de 2009). *Área de Térmica - Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de Medida de la transmitancia térmica de ventanas según UNE-EN ISO 12567:2002: http://www.garraioak.ejgv.euskadi.eus/r41-19380/es/contenidos/informacion/area_termica/es_atlcce/transmitancia_termica.html
- Grupo Inalsa. (2014). *Ahorro de Energía*. Recuperado el 21 de 06 de 2016, de Determinación de la zonificación climática según el mapa y la tabla de zonas climáticas: <http://www.grupoinalsa.com/arquitectura/codigo-tecnico-edificacion/cte-energia/>
- Gutschker, O. (2008). Parameter identification with the software package LORD. *Building and Environment*, 43(2), 163-169 DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.10.010.
- Hoyano, A., Asano, K., & Kanamaru, T. (1999). Analysis of the sensible heat flux from the exterior surface of building using time-sequential thermography. *Atmospheric Environment*(33), 3941-3951. doi:10.1016/S1352-2310(99)00136-3.
- Hukseflux. Thermal Sensors. (2006). *User Manual. Version 0607*.
- IES Nuestra Sra. Remedios. (s.f.). www.scalofrios.es. Recuperado el 12 de 03 de 2016, de <http://www.scalofrios.es/CEE/tomadatos/pag/termoflujometria.htm>
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. (2010). *Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Vivienda. Disponible en: http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/nCatalog_infoEConstr/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística. (2009). *Encuesta de Hogares y Medio Ambiente. Año 2008*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2013). *Balances del consumo de energía final*. Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/reلمenu.363/mod.pags/mem.detalle>.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (s.f.). *Consumos del Sector Residencial en España*. Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/reلمenu.363/mod.pags/mem.detalle>.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2009). *Balances de consumo de energía*. Disponible en:

- <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/reلمenu.363/mod.pags/mem.detalle>.
- ISO. (1983). *Thermal insulation. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method*.
- ISO. (2014). *ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 1: Heat flow meter method*.
- Ivey, N. (2008). *Heat Transfer in the Atmosphere*. Recuperado el 21 de 06 de 2016, de <http://www.slideshare.net/guest451a35/heat-transfer-presentation>
- Jiménez, M., Madsen, H., & Andersen, K. (2008). Identification of the main thermal characteristics of building components using MATLAB. *Building and Environment*, 43(2), 170-180. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.030.
- Jiménez, M., Porcar, B., & Heras, M. (2009). Application of different dynamic analysis approaches to the estimation of the building component U-value. *Building and Environment*, 44(2), 361-367. doi: 10.1016/j.buildenv.2008.03.010.
- Julie, T., Claesson, J., & Sartre, V. (2012). *Find a modern and quick method to determine the U-value and the thermal characteristics of a building envelope using an IR camera*. Trabajo Final de Máster, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Suecia. KTH number: 900826-T100.
- Lezana, A. (2011). *Infrared thermography applied to construction*.
- Li, F., Smith, A., Biddulph, P., Hamilton, I., Lowe, R., Mavrogianni, A., . . . Oreszczyn, T. (2014). Solid-wall U-values: heat flux measurements compared with standard assumptions. *Building Research & Information*, 43(2), 238-252. doi: 10.1080/09613219.2014.967977.
- López Rosa, S. (2016). Mecanismos de transmisión de calor. En *Apuntes de la asignatura de Construcción Bioclimática y Bioconstrucción. Máster Universitario en Gestión Integral de la Edificación*.
- Lorenzo Pérez, S., Molina García, Á., & García Legaz-Quesada, I. (2014). *Análisis termoflujométrico en cerramientos para climas secos*. Trabajo Final de Grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Grado en Ingeniería de Edificación. Disponible en: <http://repositorio.upct.es/handle/10317/4525>.
- Melgosa Revillas, S. (01 de 08 de 2014). *Construible.es Todo Sobre Construcción Sostenible*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de II Congreso EECN: Resultados de los ensayos de hermeticidad de PREI: <https://www.construible.es/comunicaciones/ii-congreso-eeen-resultados-de-los-ensayos-de-hermeticidad-de-prei>
- Midori Shimabukuro, P. (27 de 01 de 2012). *Ecología Fácil*. Recuperado el 21 de 06 de 2016, de Ahorra en calefacción: mantén el calor dentro de casa: <http://ecologiafacil.com/2012/01/27/como-mantener-el-calor-dentro-de-casa/>
- Miliarium.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente*. (10 de 04 de 2016). Obtenido de <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>
- Ministerio de Fomento. (2007). *Atlas estadístico de la construcción en España. Años 2000-2005*.
- Ministerio de Fomento. (2015). *Atlas Estadístico de la Construcción y Vivienda en España. Años 2009-2013*.
- Ministerio de Fomento. (2015). *DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*.

- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2007). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. (versión consolidada de 2013).
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Secretaría de Estado de Energía. (2013). *Energía y desarrollo sostenible*. Recuperado el 23 de 06 de 2016, de Certificación de eficiencia energética de los edificios: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Paginas/certificacion.aspx>
- Ministerio de la Presidencia. (2013). *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*.
- Naciones Unidas. (2015). *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. París.
- Naciones Unidas. (2016). *Framework Convention on Climate Change*. Recuperado el 23 de 06 de 2016, de Acuerdo de París: http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php
- Nardi, I., Paoletti, D., Ambrosini, D., Rubeis, T., & Sfarra, S. (2015). Validation of quantitative IR thermography for estimating the U-value by a hot box apparatus. doi: 10.1088/1742-6596/655/1/012006.
- Neila González, F., & Acha Román, C. (2009). *Arquitectura bioclimática y construcción sostenible*. Pamplona: DAPP, Publicaciones Jurídicas, S.L.
- Neila González, F., & Bedoya Frutos, C. (1997). El comportamiento térmico y la inercia térmica de las fábricas con bloques Termoarcilla. *NA(5)*, 63-76.
- Neila González, F., & Bedoya Frutos, C. (1997). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. Munilla-Lería.
- Olgay, V. (1963). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. (J. Frontado, & L. Clavet, Trads.) Gustavo Gili, S.L.
- Parlamento Europeo. (2010). *Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios*.
- Pérez Bella, J., Domínguez Hernández, J., Cano Suñén, E., del Coz Díaz, J., & Álvarez Rabanal, F. (2015). A correction factor to approximate the design thermal conductivity of building materials. Application to Spanish facades. *Energy and Buildings*, 88, 153-164. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.12.005.
- Plataforma Edificación Passivhaus. (2011). *Guía del estándar Passivhaus*.
- Rico Delgado, F., & Marín García, D. (2009). Tabla de coeficientes de emisividad. En *Modelo de diagnóstico por imágenes en edificación mediante la aplicación de tecnologías avanzadas* (págs. 95-100). Departamento de Expresión Gráfica en la Edificación, Universidad de Sevilla.
- Rivera, Ó. R., & Fundación Laboral de la Construcción. (2013). *Eficiencia energética. Manual práctico de cálculos térmicos de edificios*. Tornapunta Ediciones, S.L.U.
- Sánchez, P. (03 de 2015). *El blog de experiencias de InterMundial*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de ¿Viajar al norte o al sur? 8 pueblos que te ayudarán a decidir.: <https://www.intermundial.es/blog/viajar-al-norte-o-al-sur-8-pueblos-que-te-ayudaran-a-decidir>
- Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables. (s.f.). *Características térmicas básicas*. Recuperado el 26 de 04 de 2016, de www.sol-arq.com: <http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales/caracteristicas-basicas>

- TESTO AG. (2008). *Sonda de temperatura para cálculo del valor en U. Información de la aplicación*. Alemania.
- Turégano, J., Hernández, M., & García, F. (06 de 2003). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. (U. d. Departamento de Ingeniería Mecánica, Ed.) *Conarquitectura*(08), 65-80. Disponible en: <http://conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/08.pdf>.
- Weber Saint-Gobain. (2016). *Eficiencia Energética en la Edificación*.

Anexos

11 Anexo A: Resumen cálculo teórico

A continuación se exponen los datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica de los cuatro cerramientos de estudio, así como los resultados correspondientes. Dónde: R_{si} = Resistencia térmica superficial interior; d = espesor de capa; λ = Conductividad térmica del material de que está hecho la capa; R = Resistencia térmica interna de cada capa; R_{se} = Resistencia térmica superficial exterior; R_t = Resistencia térmica total del cerramiento; U = Transmitancia térmica del cerramiento; U_{mod} = Transmitancia térmica del cerramiento corregida con el factor propuesto por Pérez Bella et al. (2015).

11.1 Caso C1

Tabla 17: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C1 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.

			R_{si} (m^2K/W)	d (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)	R_{se} (m^2K/W)	R_t (m^2K/W)	U (W/m^2K)	U_{mod} (W/m^2K)
Caso 1: Capas de exterior a interior	Enfoscado de mortero de cemento	1	0,13	0,015	1,3	0,01		0,870	1,149	1,193
	Hoja de ladrillo perforado	2		0,115	0,35	0,33				
	Enfoscado de mortero cemento	3		0,01	1,3	0,01				
	Cámara de aire	4		0,015		0,17				
	Hoja de ladrillo hueco	5		0,05	0,32	0,16				
	Guarnecido de yeso	6		0,015	0,57	0,03	0,04			

11.2 Caso C2

Tabla 18: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C2 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.

			R_{si} (m^2K/W)	d (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)	R_{se} (m^2K/W)	R_t (m^2K/W)	U (W/m^2K)	U_{mod} (W/m^2K)
Caso 2: Capas de exterior a interior	Enfoscado de mortero de cemento	1	0,13	0,015	1,3	0,01		1,823	0,549	0,570
	Hoja de ladrillo perforado	2		0,115	0,35	0,33				
	Enfoscado de mortero de cemento	3		0,01	1,3	0,01				
	Poliestireno extruido	4		0,035	0,036	0,97				
	Cámara de aire	5		0,01		0,15				

	Hoja de ladrillo hueco	6		0,05	0,32	0,16			
	Guarnecido de yeso	7		0,015	0,57	0,03	0,04		

11.3 Caso C3

Tabla 19: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C3 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.

			Rsi (m ² K/W)	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	Rse (m ² K/W)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Umod (W/m ² K)
Caso 3: Capas de exterior a interior	Enfoscado de mortero de cemento	1	0,13	0,015	1,3	0,01		0,678	1,476	1,533
	Ladrillo macizo	2		0,11	0,85	0,13				
	Enfoscado de mortero de cemento	3		0,01	1,3	0,01				
	Cámara de aire	4		0,1		0,18				
	Hoja de ladrillo hueco	5		0,05	0,32	0,16				
	Enfoscado de mortero de cemento	6		0,015	1	0,02				
	Alicatado	7		0,01	1,3	0,01	0,04			

11.4 Caso C4

Tabla 20: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C4 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.

			Rsi (m ² K/W)	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	Rse (m ² K/W)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Umod (W/m ² K)
Caso 4: Capas de exterior a interior	Hoja de ladrillo perforado visto	1	0,13	0,115	0,35	0,33		1,719	0,582	0,604
	Enfoscado de mortero de cemento	2		0,015	1,3	0,01				
	Poliestireno extruido	3		0,03	0,036	0,83				
	Cámara de aire	4		0,07		0,13				
	Hoja de ladrillo hueco	5		0,07	0,32	0,22				
	Guarnecido de yeso	6		0,015	0,57	0,03	0,04			

12 Anexo B: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1

A continuación se exponen los datos necesarios para el cálculo de los factores correctores del flujo de calor según ISO 9869-1, así como los propios factores resultantes. Dónde: R_{si} = Resistencia térmica superficial interior; d = espesor de cada capa; λ = Conductividad térmica del material de que está hecho cada capa; R_k = Resistencia térmica interna de cada capa; C_e = Calor específico del material de que está hecho cada capa; ρ = Densidad del material de que está hecho cada capa; C_k = Capacidad térmica de cada capa; R_{se} = Resistencia térmica superficial exterior; R = Resistencia térmica total del cerramiento; R_{ik} = Ver Ecuación 35; R_{ek} = Ver Ecuación 36; F_{ik} = Ver Ecuación 37; F_{ek} = Ver Ecuación 38; F_i = Factor corrector interior; F_e = Factor corrector exterior.

12.1 Caso C1

Tabla 21: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C1.

		R_{si} (m ² K/W)	d (m)	λ (W/mK)	R_k (m ² K/W)	C_e (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	C_k (J/m ² K)	R_{se} (m ² K/W)	R (m ² K/W)	R_{ik} (m ² K/W)	R_{ek} (m ² K/W)	F_{ik} (J/m ² K)	F_{ek} (J/m ² K)	F_i (J/m ² K)	F_e (J/m ² K)
Caso 1: Capas de exterior a interior	1	0,13	0,015	1,3	0,01	1000,00	1900,00	2,85E+04	0,870		0,13	0,73	20302,45	3289,74	64714,95	31020,52
	2		0,115	0,35	0,33	1000,00	780,00	8,97E+04			0,14	0,40	38803,55	18508,67		
	3		0,01	1,3	0,01	1000,00	1900,00	1,90E+04			0,47	0,39	3941,44	4112,14		
	4		0,015		0,17	0,00	0,00	0,00E+00			0,48	0,22	0,00	0,00		
	5		0,05	0,32	0,16	1000,00	770,00	3,85E+04			0,52	0,07	1601,86	4217,02		
	6		0,015	0,57	0,03	1000,00	1150,00	1,73E+04			0,04	0,80	0,04	65,66		

12.2 Caso C2

Tabla 22: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C2.

		R_{si} (m ² K/W)	d (m)	λ (W/mK)	R_k (m ² K/W)	C_e (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	C_k (J/m ² K)	R_{se} (m ² K/W)	R (m ² K/W)	R_{ik} (m ² K/W)	R_{ek} (m ² K/W)	F_{ik} (J/m ² K)	F_{ek} (J/m ² K)	F_i (J/m ² K)	F_e (J/m ² K)
Caso 2: Capas de exterior a interior	1	0,13	0,015	1,3	0,01	1000,00	1900,00	2,85E+04	1,823		0,13	1,68	24412,18	3507,11	97461,50	31258,11
	2		0,115	0,35	0,33	1000,00	780,00	8,97E+04			0,14	1,35	62365,81	16534,94		
	3		0,01	1,3	0,01	1000,00	1900,00	1,90E+04			0,47	1,34	10403,15	6630,47		
	4		0,035	0,036	0,97	0,00	0,00	0,00E+00			0,48	0,37	0,00	0,00		
	5		0,01		0,15	0,00	0,00	0,00E+00			1,45	0,22	0,00	0,00		

6	Hoja de ladrillo hueco		0,05	0,32	0,16	1000,00	770,00	3,85E+04			1,60	0,07	265,38	3797,35		
7	Guarnecido de yeso		0,015	0,57	0,03	1000,00	1150,00	1,73E+04	0,04		1,76	0,04	14,97	788,23		

12.3 Caso C3

Tabla 23: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C3.

		Rsi (m ² K/W)	d (m)	λ (W/mK)	Rk (m ² K/W)	Ce (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	Ck (J/m ² K)	Rse (m ² K/W)	R (m ² K/W)	Rik (m ² K/W)	Rek (m ² K/W)	Fik (J/m ² K)	Fek (J/m ² K)	Fi (J/m ² K)	Fe (J/m ² K)
Caso 3: Capas de exterior a interior	1	0,13	0,015	1,3	0,01	1000,00	1900,00	2,85E+04		0,678	0,13	0,54	18223,72	3170,98	150234,65	56644,83
	2		0,11	0,85	0,13	1000,00	2300,00	2,53E+05			0,14	0,41	123191,96	42573,93		
	3		0,01	1,3	0,01	1000,00	1900,00	1,90E+04			0,27	0,40	6714,19	3138,06		
	4		0,1		0,18	0,00	0,00	0,00E+00			0,28	0,22	0,00	0,00		
	5		0,05	0,32	0,16	1000,00	770,00	3,85E+04			0,46	0,06	1833,43	5390,35		
	6		0,015	1	0,02	1000,00	1900,00	2,85E+04			0,61	0,05	190,26	1544,27		
	7		0,01	1,3	0,01	840,00	2300,00	1,93E+04	0,04		0,63	0,04	81,11	827,24		

12.4 Caso C4

Tabla 24: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C4.

		Rsi (m ² K/W)	d (m)	λ (W/mK)	Rk (m ² K/W)	Ce (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	Ck (J/m ² K)	Rse (m ² K/W)	R (m ² K/W)	Rik (m ² K/W)	Rek (m ² K/W)	Fik (J/m ² K)	Fek (J/m ² K)	Fi (J/m ² K)	Fe (J/m ² K)
Caso 4: Capas de exterior a interior	1	0,13	0,115	0,35	0,33	1000,00	780,00	8,97E+04		1,719	0,13	1,26	114715,60	40549,75	132442,70	76057,42
	2		0,015	1,3	0,01	1000,00	1900,00	2,85E+04			0,46	1,25	19342,50	19055,70		
	3		0,03	0,036	0,83	1000,00	0,00	0,00E+00			0,47	0,42	0,00	0,00		
	4		0,07		0,13	0,00	0,00	0,00E+00			1,30	0,29	0,00	0,00		
	5		0,07	0,32	0,22	1000,00	770,00	5,39E+04			1,30	0,07	-908,55	14717,23		
	6		0,015	0,57	0,03	1000,00	1150,00	1,73E+04	0,04		1,65	0,04	-706,86	1734,74		

13 Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

A continuación se muestran los datos procedentes de la monitorización con el equipo TESTO 435-2, así como los resultados instantáneos de transmitancia térmica aplicando la Ecuación 42. Únicamente se recogen los datos correspondientes al caso de estudio C3, puesto que para el caso C2 el equipo no fue programado correctamente y en los casos C1 y C4 no se registraron los datos de la sonda de temperatura exterior.

13.1 Caso C3

Tabla 25: Datos procedentes de la monitorización del cerramiento C3 con el equipo TESTO 435-2 y resultados instantáneos de transmitancia térmica aplicando la Ecuación 42. Dónde: T_{si} = Temperatura superficial interior; T_i = Temperatura ambiental interior; T_e = Temperatura ambiental exterior; U = Transmitancia térmica calculada para los datos obtenidos en cada medida.

Medida Nº	Día	Hora	T_{si} (°C)	T_i (°C)	T_e (°C)	$T_i - T_e$ (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando $T_i - T_e > 5^\circ\text{C}$
1	25/02/2016	14:49:35	17,6	20,1	18,5	1,6	12,016	
2	25/02/2016	15:04:35	18,1	19,8	18,9	0,9	14,526	
3	25/02/2016	15:19:35	18,5	20,1	20,1	0,01	1230,400	
4	25/02/2016	15:34:35	18,6	20,3	20,9	0,6	21,788	
5	25/02/2016	15:49:35	18,5	20	19,1	0,9	12,817	
6	25/02/2016	16:04:35	18,3	19,8	20,7	0,9	12,817	
7	25/02/2016	16:19:35	18,2	19,5	19	0,5	19,994	
8	25/02/2016	16:34:35	18,1	19,3	18,3	1	9,228	
9	25/02/2016	16:49:35	18	19,2	18,3	0,9	10,253	
10	25/02/2016	17:04:35	17,9	19,1	18,8	0,3	30,760	
11	25/02/2016	17:19:35	17,9	19	17,8	1,2	7,049	
12	25/02/2016	17:34:35	17,9	18,9	18	0,9	8,544	
13	25/02/2016	17:49:35	17,8	18,8	17,8	1	7,690	
14	25/02/2016	18:04:35	17,8	18,9	17,8	1,1	7,690	
15	25/02/2016	18:19:35	17,9	19	17,3	1,7	4,976	
16	25/02/2016	18:34:35	17,9	18,9	17,5	1,4	5,493	
17	25/02/2016	18:49:35	17,8	18,8	17,1	1,7	4,524	

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
18	25/02/2016	19:04:35	17,8	18,6	17,2	1,4	4,394	
19	25/02/2016	19:19:35	17,8	18,6	17	1,6	3,845	
20	25/02/2016	19:34:35	17,7	18,5	16,8	1,7	3,619	
21	25/02/2016	19:49:35	17,7	18,4	16,2	2,2	2,447	
22	25/02/2016	20:04:35	17,7	18,4	16,4	2	2,692	
23	25/02/2016	20:19:35	17,7	18,4	16,4	2	2,692	
24	25/02/2016	20:34:35	17,7	18,3	16,5	1,8	2,563	
25	25/02/2016	20:49:35	17,7	18,3	16,5	1,8	2,563	
26	25/02/2016	21:04:35	17,7	18,2	16,4	1,8	2,136	
27	25/02/2016	21:19:35	17,7	18,3	16,4	1,9	2,428	
28	25/02/2016	21:34:35	17,7	18,3	16,2	2,1	2,197	
29	25/02/2016	21:49:35	17,7	18,4	16,1	2,3	2,340	
30	25/02/2016	22:04:35	17,7	18,4	16,1	2,3	2,340	
31	25/02/2016	22:19:35	18,1	18,7	15,5	3,2	1,442	
32	25/02/2016	22:34:35	18	18,7	15,7	3	1,794	
33	25/02/2016	22:49:35	18	18,6	15,5	3,1	1,488	
34	25/02/2016	23:04:35	18	18,6	15,7	2,9	1,591	
35	25/02/2016	23:19:35	17,9	18,6	15,6	3	1,794	
36	25/02/2016	23:34:35	17,9	18,6	15,6	3	1,794	
37	25/02/2016	23:49:35	17,9	18,6	15,9	2,7	1,994	
38	26/02/2016	0:04:35	17,9	18,5	15,7	2,8	1,648	
39	26/02/2016	0:19:35	17,9	18,5	16	2,5	1,846	
40	26/02/2016	0:34:35	17,8	18,5	16,1	2,4	2,243	
41	26/02/2016	0:49:35	17,8	18,5	16,4	2,1	2,563	
42	26/02/2016	1:04:35	17,8	18,4	15,1	3,3	1,398	
43	26/02/2016	1:19:35	17,8	18,4	14,6	3,8	1,214	
44	26/02/2016	1:34:35	17,8	18,4	15	3,4	1,357	

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
45	26/02/2016	1:49:35	17,8	18,4	15	3,4	1,357	
46	26/02/2016	2:04:35	17,7	18,4	14,6	3,8	1,417	
47	26/02/2016	2:19:35	17,7	18,3	14,8	3,5	1,318	
48	26/02/2016	2:34:35	17,7	18,3	15,1	3,2	1,442	
49	26/02/2016	2:49:35	17,7	18,4	15,4	3	1,794	
50	26/02/2016	3:04:35	17,7	18,4	15,5	2,9	1,856	
51	26/02/2016	3:19:35	17,7	18,4	15,4	3	1,794	
52	26/02/2016	3:34:35	17,7	18,4	15,4	3	1,794	
53	26/02/2016	3:49:35	17,6	18,3	15,4	2,9	1,856	
54	26/02/2016	4:04:35	17,7	18,3	14,6	3,7	1,247	
55	26/02/2016	4:19:35	17,6	18,3	15,2	3,1	1,736	
56	26/02/2016	4:34:35	17,6	18,3	14,8	3,5	1,538	
57	26/02/2016	4:49:35	17,6	18,3	15	3,3	1,631	
58	26/02/2016	5:04:35	17,6	18,2	15,3	2,9	1,591	
59	26/02/2016	5:19:35	17,6	18,2	14,9	3,3	1,398	
60	26/02/2016	5:34:35	17,6	18,2	14,3	3,9	1,183	
61	26/02/2016	5:49:35	17,6	18,2	14,3	3,9	1,183	
62	26/02/2016	6:04:35	17,5	18,1	14,5	3,6	1,282	
63	26/02/2016	6:19:35	17,5	18,1	14,2	3,9	1,183	
64	26/02/2016	6:34:35	17,5	18,1	14,3	3,8	1,214	
65	26/02/2016	6:49:35	17,5	18	12,1	5,9	0,652	0,652
66	26/02/2016	7:04:35	17,5	17,9	11,7	6,2	0,496	0,496
67	26/02/2016	7:19:35	17,5	17,9	11,8	6,1	0,504	0,504
68	26/02/2016	7:34:35	17,4	17,9	12,2	5,7	0,675	0,675
69	26/02/2016	7:49:35	17,4	17,8	12	5,8	0,530	0,530
70	26/02/2016	8:04:35	17,4	17,8	12,3	5,5	0,559	0,559
71	26/02/2016	8:19:35	17,4	17,9	11,7	6,2	0,620	0,620

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m²K)	U (W/m²K) cuando T _i -T _e >5°C
72	26/02/2016	8:34:35	17,4	17,8	10,8	7	0,439	0,439
73	26/02/2016	8:49:35	17,4	17,8	11,4	6,4	0,481	0,481
74	26/02/2016	9:04:35	17,4	17,8	12,5	5,3	0,580	0,580
75	26/02/2016	9:19:35	17,3	17,8	12	5,8	0,663	0,663
76	26/02/2016	9:34:35	17,3	17,9	12,3	5,6	0,824	0,824
77	26/02/2016	9:49:35	17,3	17,8	13,4	4,4	0,874	
78	26/02/2016	10:04:35	17,2	17,7	12,3	5,4	0,712	0,712
79	26/02/2016	10:19:35	17,2	17,6	12,4	5,2	0,592	0,592
80	26/02/2016	10:34:35	17,1	17,4	12,6	4,8	0,481	
81	26/02/2016	10:49:35	17,1	17,3	12,7	4,6	0,334	
82	26/02/2016	11:04:35	17,1	17,3	13,3	4	0,384	
83	26/02/2016	11:19:35	17,1	17,5	12,8	4,7	0,654	
84	26/02/2016	11:34:35	17	17,6	13,9	3,7	1,247	
85	26/02/2016	11:49:35	17,1	17,8	15,7	2,1	2,563	
86	26/02/2016	12:04:35	17	17,8	15,3	2,5	2,461	
87	26/02/2016	12:19:35	17	17,8	15,1	2,7	2,279	
88	26/02/2016	12:34:35	17	17,7	14,8	2,9	1,856	
89	26/02/2016	12:49:35	17	17,7	13,7	4	1,346	
90	26/02/2016	13:04:35	16,9	17,6	12,8	4,8	1,121	
91	26/02/2016	13:19:35	16,9	17,5	12,6	4,9	0,942	
92	26/02/2016	13:34:35	16,9	17,4	12,3	5,1	0,754	0,754
93	26/02/2016	13:49:35	16,8	17,5	12,6	4,9	1,099	
94	26/02/2016	14:04:35	16,9	17,6	13,4	4,2	1,282	
95	26/02/2016	14:19:35	17	17,7	13,5	4,2	1,282	
96	26/02/2016	14:34:35	17	17,7	13,7	4	1,346	
97	26/02/2016	14:49:35	17,2	17,9	13,9	4	1,346	
98	26/02/2016	15:04:35	17,3	18	13,5	4,5	1,196	

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
99	26/02/2016	15:19:35	17,5	18,3	12,6	5,7	1,079	1,079
100	26/02/2016	15:34:35	17,4	18,1	12,6	5,5	0,979	0,979
101	26/02/2016	15:49:35	17,3	17,9	12,8	5,1	0,905	0,905
102	26/02/2016	16:04:35	17,2	17,8	12,8	5	0,923	0,923
103	26/02/2016	16:19:35	17,2	17,8	13	4,8	0,961	
104	26/02/2016	16:34:35	17,2	17,9	13,2	4,7	1,145	
105	26/02/2016	16:49:35	17,2	17,8	12,5	5,3	0,871	0,871
106	26/02/2016	17:04:35	17,2	17,8	12	5,8	0,796	0,796
107	26/02/2016	17:19:35	17,2	17,9	12,4	5,5	0,979	0,979
108	26/02/2016	17:34:35	17,2	17,8	11,2	6,6	0,699	0,699
109	26/02/2016	17:49:35	17,1	17,7	11,2	6,5	0,710	0,710
110	26/02/2016	18:04:35	17,1	17,6	11	6,6	0,583	0,583
111	26/02/2016	18:19:35	17,1	17,6	11,1	6,5	0,592	0,592
112	26/02/2016	18:34:35	17	17,6	11,1	6,5	0,710	0,710
113	26/02/2016	18:49:35	17	17,6	11,1	6,5	0,710	0,710
114	26/02/2016	19:04:35	17	17,7	11	6,7	0,803	0,803
115	26/02/2016	19:19:35	17	17,6	10,9	6,7	0,689	0,689
116	26/02/2016	19:34:35	17	17,6	10,8	6,8	0,679	0,679
117	26/02/2016	19:49:35	16,9	17,6	10,7	6,9	0,780	0,780
118	26/02/2016	20:04:35	16,9	17,6	10,7	6,9	0,780	0,780
119	26/02/2016	20:19:35	16,9	17,5	10,5	7	0,659	0,659
120	26/02/2016	20:34:35	16,9	17,4	10,5	6,9	0,557	0,557
121	26/02/2016	20:49:35	17	17,6	10,9	6,7	0,689	0,689
122	26/02/2016	21:04:35	17,1	17,8	10,6	7,2	0,748	0,748
123	26/02/2016	21:19:35	17,2	18	10,8	7,2	0,854	0,854
124	26/02/2016	21:34:35	17,2	17,9	11	6,9	0,780	0,780
125	26/02/2016	21:49:35	17,3	18	10,9	7,1	0,758	0,758

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
126	26/02/2016	22:04:35	17,2	17,8	10,5	7,3	0,632	0,632
127	26/02/2016	22:19:35	17,1	17,8	10,6	7,2	0,748	0,748
128	26/02/2016	22:34:35	17,1	17,7	11	6,7	0,689	0,689
129	26/02/2016	22:49:35	17	17,7	10,6	7,1	0,758	0,758
130	26/02/2016	23:04:35	16,9	17,7	10,5	7,2	0,854	0,854
131	26/02/2016	23:19:35	16,9	17,5	10,9	6,6	0,699	0,699
132	26/02/2016	23:34:35	16,9	17,5	10,4	7,1	0,650	0,650
133	26/02/2016	23:49:35	16,8	17,4	9,7	7,7	0,599	0,599
134	27/02/2016	0:04:35	16,8	17,4	9,4	8	0,577	0,577
135	27/02/2016	0:19:35	16,7	17,3	9	8,3	0,556	0,556
136	27/02/2016	0:34:35	16,6	17,3	9	8,3	0,649	0,649
137	27/02/2016	0:49:35	16,6	17,2	9,4	7,8	0,592	0,592
138	27/02/2016	1:04:35	16,6	17,2	8,9	8,3	0,556	0,556
139	27/02/2016	1:19:35	16,5	17,1	8,8	8,3	0,556	0,556
140	27/02/2016	1:34:35	16,5	17,1	9	8,1	0,570	0,570
141	27/02/2016	1:49:35	16,5	17,1	9	8,1	0,570	0,570
142	27/02/2016	2:04:35	16,4	17	8,4	8,6	0,537	0,537
143	27/02/2016	2:19:35	16,4	17	8,2	8,8	0,524	0,524
144	27/02/2016	2:34:35	16,4	16,9	8,3	8,6	0,447	0,447
145	27/02/2016	2:49:35	16,3	16,9	8,5	8,4	0,549	0,549
146	27/02/2016	3:04:35	16,3	16,8	8,9	7,9	0,487	0,487
147	27/02/2016	3:19:35	16,2	16,8	8,7	8,1	0,570	0,570
148	27/02/2016	3:34:35	16,2	16,8	8,8	8	0,577	0,577
149	27/02/2016	3:49:35	16,2	16,7	8,5	8,2	0,469	0,469
150	27/02/2016	4:04:35	16,1	16,7	8,5	8,2	0,563	0,563
151	27/02/2016	4:19:35	16,1	16,7	8,8	7,9	0,584	0,584
152	27/02/2016	4:34:35	16	16,6	8,5	8,1	0,570	0,570

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
153	27/02/2016	4:49:35	16	16,6	8,7	7,9	0,584	0,584
154	27/02/2016	5:04:35	15,9	16,6	8,7	7,9	0,681	0,681
155	27/02/2016	5:19:35	15,9	16,6	8,5	8,1	0,665	0,665
156	27/02/2016	5:34:35	15,9	16,5	8,4	8,1	0,570	0,570
157	27/02/2016	5:49:35	15,8	16,5	8,4	8,1	0,665	0,665
158	27/02/2016	6:04:35	15,8	16,4	8,6	7,8	0,592	0,592
159	27/02/2016	6:19:35	15,8	16,4	8	8,4	0,549	0,549
160	27/02/2016	6:34:35	15,7	16,4	8,5	7,9	0,681	0,681
161	27/02/2016	6:49:35	15,7	16,4	8,8	7,6	0,708	0,708
162	27/02/2016	7:04:35	15,6	16,3	9	7,3	0,737	0,737
163	27/02/2016	7:19:35	15,6	16,3	8	8,3	0,649	0,649
164	27/02/2016	7:34:35	15,6	16,3	7,9	8,4	0,641	0,641
165	27/02/2016	7:49:35	15,5	16,2	7,7	8,5	0,633	0,633
166	27/02/2016	8:04:35	15,5	16,2	7,7	8,5	0,633	0,633
167	27/02/2016	8:19:35	15,4	16,2	7,8	8,4	0,732	0,732
168	27/02/2016	8:34:35	15,4	16,1	7,7	8,4	0,641	0,641
169	27/02/2016	8:49:35	15,4	16,1	7,4	8,7	0,619	0,619
170	27/02/2016	9:04:35	15,3	16,1	7,9	8,2	0,750	0,750
171	27/02/2016	9:19:35	15,3	16,1	8,4	7,7	0,799	0,799
172	27/02/2016	9:34:35	15,3	16,1	8,2	7,9	0,779	0,779
173	27/02/2016	9:49:35	15,2	16,1	9,6	6,5	1,065	1,065
174	27/02/2016	10:04:35	15,2	16,2	10,1	6,1	1,261	1,261
175	27/02/2016	10:19:35	15,2	16,2	11,9	4,3	1,788	
176	27/02/2016	10:34:35	15,2	16,4	11,7	4,7	1,963	
177	27/02/2016	10:49:35	15,1	16,3	11,7	4,6	2,006	
178	27/02/2016	11:04:35	15,1	16,2	12,3	3,9	2,169	
179	27/02/2016	11:19:35	15,2	16,6	16,3	0,3	35,887	

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m²K)	U (W/m²K) cuando T _i -T _e >5°C
180	27/02/2016	11:34:35	15,4	17	16,8	0,2	61,520	
181	27/02/2016	11:49:35	15,4	16,9	13,6	3,3	3,495	
182	27/02/2016	12:04:35	15,3	16,8	15,6	1,2	9,612	
183	27/02/2016	12:19:35	15,2	16,7	14,5	2,2	5,243	
184	27/02/2016	12:34:35	15,2	17	17	0,01	1384,200	
185	27/02/2016	12:49:35	15,2	17,1	19,7	2,6	5,620	
186	27/02/2016	13:04:35	15,2	16,7	15,9	0,8	14,419	
187	27/02/2016	13:19:35	15,1	16,7	16,2	0,5	24,608	
188	27/02/2016	13:34:35	15,2	16,9	17,9	1	13,073	
189	27/02/2016	13:49:35	15,2	16,8	16,3	0,5	24,608	
190	27/02/2016	14:04:35	15,1	16,7	17,7	1	12,304	
191	27/02/2016	14:19:35	15,1	16,8	17,3	0,5	26,146	
192	27/02/2016	14:34:35	15,1	16,8	16,9	0,1	130,730	
193	27/02/2016	14:49:35	15,4	17	16,9	0,1	123,040	
194	27/02/2016	15:04:35	15,7	17,2	16,5	0,7	16,479	
195	27/02/2016	15:19:35	16,6	17,5	16,5	1	6,921	
196	27/02/2016	15:34:35	16,6	18	16,9	1,1	9,787	
197	27/02/2016	15:49:35	16,1	17,8	17	0,8	16,341	
198	27/02/2016	16:04:35	15,8	17,6	17,7	0,1	138,420	
199	27/02/2016	16:19:35	15,8	17,6	17,7	0,1	138,420	
200	27/02/2016	16:34:35	15,8	17,4	15,6	1,8	6,836	
201	27/02/2016	16:49:35	15,7	17,3	17	0,3	41,013	
202	27/02/2016	17:04:35	15,7	17,3	17,2	0,1	123,040	
203	27/02/2016	17:19:35	15,7	17,2	17	0,2	57,675	
204	27/02/2016	17:34:35	15,6	17,2	16,2	1	12,304	
205	27/02/2016	17:49:35	15,6	17,1	16,4	0,7	16,479	
206	27/02/2016	18:04:35	15,6	17,1	16,1	1	11,535	

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
207	27/02/2016	18:19:35	15,6	17	15,3	1,7	6,333	
208	27/02/2016	18:34:35	15,6	17	15	2	5,383	
209	27/02/2016	18:49:35	15,6	16,8	14,5	2,3	4,012	
210	27/02/2016	19:04:35	15,6	16,8	13,2	3,6	2,563	
211	27/02/2016	19:19:35	15,6	16,7	13,1	3,6	2,350	
212	27/02/2016	19:34:35	15,5	16,6	12,9	3,7	2,286	
213	27/02/2016	19:49:35	15,6	16,6	13	3,6	2,136	
214	27/02/2016	20:04:35	15,6	16,6	12,6	4	1,923	
215	27/02/2016	20:19:35	15,6	16,5	12,4	4,1	1,688	
216	27/02/2016	20:34:35	15,5	16,5	12,6	3,9	1,972	
217	27/02/2016	20:49:35	15,5	16,4	12,7	3,7	1,871	
218	27/02/2016	21:04:35	15,5	16,4	12,5	3,9	1,775	
219	27/02/2016	21:19:35	15,5	16,4	12,7	3,7	1,871	
220	27/02/2016	21:34:35	15,5	16,3	12,1	4,2	1,465	
221	27/02/2016	21:49:35	15,5	16,3	11,9	4,4	1,398	
222	27/02/2016	22:04:35	15,5	16,3	12	4,3	1,431	
223	27/02/2016	22:19:35	15,5	16,3	11,9	4,4	1,398	
224	27/02/2016	22:34:35	15,5	16,4	12,2	4,2	1,648	
225	27/02/2016	22:49:35	15,5	16,4	11,7	4,7	1,473	
226	27/02/2016	23:04:35	15,6	16,4	11,8	4,6	1,337	
227	27/02/2016	23:19:35	15,8	16,4	11,8	4,6	1,003	
228	27/02/2016	23:34:35	15,8	16,4	10,8	5,6	0,824	0,824
229	27/02/2016	23:49:35	15,7	16,4	10,8	5,6	0,961	0,961
230	28/02/2016	0:04:35	15,8	16,4	11	5,4	0,854	0,854
231	28/02/2016	0:19:35	15,7	16,4	11	5,4	0,997	0,997
232	28/02/2016	0:34:35	15,7	16,5	10,5	6	1,025	1,025
233	28/02/2016	0:49:35	15,7	16,4	10,8	5,6	0,961	0,961

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
234	28/02/2016	1:04:35	15,7	16,4	10,3	6,1	0,882	0,882
235	28/02/2016	1:19:35	15,7	16,4	10,9	5,5	0,979	0,979
236	28/02/2016	1:34:35	15,6	16,4	10,5	5,9	1,043	1,043
237	28/02/2016	1:49:35	15,6	16,3	10	6,3	0,854	0,854
238	28/02/2016	2:04:35	15,6	16,3	10,2	6,1	0,882	0,882
239	28/02/2016	2:19:35	15,6	16,3	9,3	7	0,769	0,769
240	28/02/2016	2:34:35	15,6	16,2	9,3	6,9	0,669	0,669
241	28/02/2016	2:49:35	15,6	16,2	9,8	6,4	0,721	0,721
242	28/02/2016	3:04:35	15,5	16,2	9,3	6,9	0,780	0,780
243	28/02/2016	3:19:35	15,5	16,2	9,6	6,6	0,816	0,816
244	28/02/2016	3:34:35	15,5	16,2	9,4	6,8	0,792	0,792
245	28/02/2016	3:49:35	15,5	16,1	9,1	7	0,659	0,659
246	28/02/2016	4:04:35	15,4	16,1	8,5	7,6	0,708	0,708
247	28/02/2016	4:19:35	15,4	16,1	8,7	7,4	0,727	0,727
248	28/02/2016	4:34:35	15,4	16	8,3	7,7	0,599	0,599
249	28/02/2016	4:49:35	15,4	16	9	7	0,659	0,659
250	28/02/2016	5:04:35	15,4	16	9,2	6,8	0,679	0,679
251	28/02/2016	5:19:35	15,3	16	8,6	7,4	0,727	0,727
252	28/02/2016	5:34:35	15,3	16	9,4	6,6	0,816	0,816
253	28/02/2016	5:49:35	15,3	16	8,9	7,1	0,758	0,758
254	28/02/2016	6:04:35	15,3	15,9	8,3	7,6	0,607	0,607
255	28/02/2016	6:19:35	15,3	15,9	8,8	7,1	0,650	0,650
256	28/02/2016	6:34:35	15,2	15,9	9,6	6,3	0,854	0,854
257	28/02/2016	6:49:35	15,2	15,8	7,9	7,9	0,584	0,584
258	28/02/2016	7:04:35	15,2	15,8	8,4	7,4	0,624	0,624
259	28/02/2016	7:19:35	15,1	15,7	7,7	8	0,577	0,577
260	28/02/2016	7:34:35	15,1	15,7	7,8	7,9	0,584	0,584

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
261	28/02/2016	7:49:35	15,1	15,7	7,8	7,9	0,584	0,584
262	28/02/2016	8:04:35	15	15,6	7,5	8,1	0,570	0,570
263	28/02/2016	8:19:35	15	15,6	7,3	8,3	0,556	0,556
264	28/02/2016	8:34:35	15	15,6	7,9	7,7	0,599	0,599
265	28/02/2016	8:49:35	15	15,6	8,6	7	0,659	0,659
266	28/02/2016	9:04:35	15	15,6	8,9	6,7	0,689	0,689
267	28/02/2016	9:19:35	14,9	15,6	9,5	6,1	0,882	0,882
268	28/02/2016	9:34:35	14,9	15,6	10,7	4,9	1,099	
269	28/02/2016	9:49:35	14,9	15,7	11,5	4,2	1,465	
270	28/02/2016	10:04:35	14,9	15,7	13,2	2,5	2,461	
271	28/02/2016	10:19:35	14,9	15,8	14,1	1,7	4,071	
272	28/02/2016	10:34:35	14,9	15,9	14,8	1,1	6,991	
273	28/02/2016	10:49:35	14,9	15,9	15,8	0,1	76,900	
274	28/02/2016	11:04:35	14,9	16	16,8	0,8	10,574	
275	28/02/2016	11:19:35	14,9	16,2	17,2	1	9,997	
276	28/02/2016	11:34:35	14,9	16,2	18,4	2,2	4,544	
277	28/02/2016	11:49:35	14,9	16,4	20	3,6	3,204	
278	28/02/2016	12:04:35	15	16,5	20,9	4,4	2,622	
279	28/02/2016	12:19:35	14,9	16,6	22,2	5,6	2,334	
280	28/02/2016	12:34:35	15	16,8	23	6,2	2,233	
281	28/02/2016	12:49:35	15,1	17,1	23,5	6,4	2,403	
282	28/02/2016	13:04:35	15	17,1	21,7	4,6	3,511	
283	28/02/2016	13:19:35	15	17	23,5	6,5	2,366	
284	28/02/2016	13:34:35	15	16,8	23,5	6,7	2,066	
285	28/02/2016	13:49:35	15	16,8	22,5	5,7	2,428	
286	28/02/2016	14:04:35	15,1	16,7	23,4	6,7	1,836	
287	28/02/2016	14:19:35	15,2	16,7	22,7	6	1,923	

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
288	28/02/2016	14:34:35	15,2	16,8	22,4	5,6	2,197	
289	28/02/2016	14:49:35	15,7	17	22,5	5,5	1,818	
290	28/02/2016	15:04:35	15,9	17,5	22,6	5,1	2,413	
291	28/02/2016	15:19:35	16,5	17,9	22,6	4,7	2,291	
292	28/02/2016	15:34:35	16,5	18,2	21,4	3,2	4,085	
293	28/02/2016	15:49:35	16,3	17,8	20,5	2,7	4,272	
294	28/02/2016	16:04:35	16,1	17,5	18,7	1,2	8,972	
295	28/02/2016	16:19:35	16,1	17,4	18,9	1,5	6,665	
296	28/02/2016	16:34:35	16,1	17,4	20,5	3,1	3,225	
297	28/02/2016	16:49:35	15,9	17,2	18,8	1,6	6,248	
298	28/02/2016	17:04:35	16,1	17,4	18,4	1	9,997	
299	28/02/2016	17:19:35	16	17,3	18,9	1,6	6,248	
300	28/02/2016	17:34:35	15,9	17,2	19,7	2,5	3,999	
301	28/02/2016	17:49:35	15,9	17,2	19,7	2,5	3,999	
302	28/02/2016	18:04:35	16	17,2	19,6	2,4	3,845	
303	28/02/2016	18:19:35	16,1	17,3	18,9	1,6	5,768	
304	28/02/2016	18:34:35	16	17,2	18,2	1	9,228	
305	28/02/2016	18:49:35	16,1	17,2	17,6	0,4	21,147	
306	28/02/2016	19:04:35	16	17,2	16,9	0,3	30,760	
307	28/02/2016	19:19:35	16	17,1	16,4	0,7	12,084	
308	28/02/2016	19:34:35	16	17,1	16,2	0,9	9,399	
309	28/02/2016	19:49:35	16,1	17	16,1	0,9	7,690	
310	28/02/2016	20:04:35	16	17	16,1	0,9	8,544	
311	28/02/2016	20:19:35	16,1	17	15,9	1,1	6,292	
312	28/02/2016	20:34:35	16,1	17	15,6	1,4	4,944	
313	28/02/2016	20:49:35	16,1	16,9	15,4	1,5	4,101	
314	28/02/2016	21:04:35	16,1	16,9	15,4	1,5	4,101	

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
315	28/02/2016	21:19:35	16,1	16,9	15,2	1,7	3,619	
316	28/02/2016	21:34:35	16,1	16,9	15	1,9	3,238	
317	28/02/2016	21:49:35	16,2	17	14,8	2,2	2,796	
318	28/02/2016	22:04:35	16,3	17,1	14,8	2,3	2,675	
319	28/02/2016	22:19:35	16,2	17,1	14,7	2,4	2,884	
320	28/02/2016	22:34:35	16,3	17,2	14,6	2,6	2,662	
321	28/02/2016	22:49:35	16,3	17,1	14,6	2,5	2,461	
322	28/02/2016	23:04:35	16,2	17	14,8	2,2	2,796	
323	28/02/2016	23:19:35	16,2	17	14,7	2,3	2,675	
324	28/02/2016	23:34:35	16,2	16,9	14,6	2,3	2,340	
325	28/02/2016	23:49:35	16,2	16,9	14,5	2,4	2,243	
326	29/02/2016	0:04:35	16,2	16,9	14,5	2,4	2,243	
327	29/02/2016	0:19:35	16,1	16,8	14,5	2,3	2,340	
328	29/02/2016	0:34:35	16,1	16,8	14,3	2,5	2,153	
329	29/02/2016	0:49:35	16,1	16,8	14,4	2,4	2,243	
330	29/02/2016	1:04:35	16,1	16,7	14,5	2,2	2,097	
331	29/02/2016	1:19:35	16,1	16,7	14,5	2,2	2,097	
332	29/02/2016	1:34:35	16,3	16,8	14,4	2,4	1,602	
333	29/02/2016	1:49:35	16,3	16,8	14,2	2,6	1,479	
334	29/02/2016	2:04:35	16,2	16,8	14,1	2,7	1,709	
335	29/02/2016	2:19:35	16,2	16,8	13,6	3,2	1,442	
336	29/02/2016	2:34:35	16,2	16,8	13,4	3,4	1,357	
337	29/02/2016	2:49:35	16,2	16,8	13,4	3,4	1,357	
338	29/02/2016	3:04:35	16,2	16,7	13,4	3,3	1,165	
339	29/02/2016	3:19:35	16,2	16,7	13,1	3,6	1,068	
340	29/02/2016	3:34:35	16,2	16,7	13,1	3,6	1,068	
341	29/02/2016	3:49:35	16,2	16,7	12,9	3,8	1,012	

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
342	29/02/2016	4:04:35	16,2	16,7	13,1	3,6	1,068	
343	29/02/2016	4:19:35	16,1	16,7	12,8	3,9	1,183	
344	29/02/2016	4:34:35	16,1	16,6	12,9	3,7	1,039	
345	29/02/2016	4:49:35	16,1	16,6	12,9	3,7	1,039	
346	29/02/2016	5:04:35	16,1	16,6	12,4	4,2	0,915	
347	29/02/2016	5:19:35	16,1	16,6	12,6	4	0,961	
348	29/02/2016	5:34:35	16,1	16,5	12,5	4	0,769	
349	29/02/2016	5:49:35	16,1	16,5	12,2	4,3	0,715	
350	29/02/2016	6:04:35	16,1	16,5	12,2	4,3	0,715	
351	29/02/2016	6:19:35	16	16,5	12	4,5	0,854	
352	29/02/2016	6:34:35	16	16,5	12,2	4,3	0,894	
353	29/02/2016	6:49:35	16	16,5	12,1	4,4	0,874	
354	29/02/2016	7:04:35	16	16,4	12	4,4	0,699	
355	29/02/2016	7:19:35	16	16,4	12,1	4,3	0,715	
356	29/02/2016	7:34:35	16	16,4	11,4	5	0,615	0,615
357	29/02/2016	7:49:35	16	16,4	12	4,4	0,699	
358	29/02/2016	8:04:35	16	16,4	11,5	4,9	0,628	
359	29/02/2016	8:19:35	15,9	16,4	12	4,4	0,874	
360	29/02/2016	8:34:35	15,9	16,4	11,7	4,7	0,818	
361	29/02/2016	8:49:35	15,9	16,4	12,5	3,9	0,986	
362	29/02/2016	9:04:35	15,9	16,4	13	3,4	1,131	
363	29/02/2016	9:19:35	16,1	16,5	13,4	3,1	0,992	
364	29/02/2016	9:34:35	16,2	16,9	13,8	3,1	1,736	
365	29/02/2016	9:49:35	16,3	17,1	14,8	2,3	2,675	
366	29/02/2016	10:04:35	16,3	17,2	14,9	2,3	3,009	
367	29/02/2016	10:19:35	16,2	17,1	15,5	1,6	4,326	
368	29/02/2016	10:34:35	16,1	17,2	16,6	0,6	14,098	

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
369	29/02/2016	10:49:35	16,1	17,3	17,4	0,1	92,280	
370	29/02/2016	11:04:35	16,1	17,4	18,4	1	9,997	
371	29/02/2016	11:19:35	16,1	17,5	19,5	2	5,383	
372	29/02/2016	11:34:35	16,1	17,6	20,6	3	3,845	
373	29/02/2016	11:49:35	16,2	17,8	20,7	2,9	4,243	
374	29/02/2016	12:04:35	16,2	17,9	21,6	3,7	3,533	
375	29/02/2016	12:19:35	16,2	18,1	22,6	4,5	3,247	
376	29/02/2016	12:34:35	16,2	18,2	24,5	6,3	2,441	
377	29/02/2016	12:49:35	16,2	18,2	24,7	6,5	2,366	
378	29/02/2016	13:04:35	16,3	18,1	25,2	7,1	1,950	
379	29/02/2016	13:19:35	16,3	18,3	24,4	6,1	2,521	
380	29/02/2016	13:34:35	16,3	18,2	23,8	5,6	2,609	
381	29/02/2016	13:49:35	16,3	18,1	24,9	6,8	2,036	
382	29/02/2016	14:04:35	16,3	18,1	23,6	5,5	2,517	
383	29/02/2016	14:19:35	16,4	18	22,7	4,7	2,618	
384	29/02/2016	14:34:35	16,4	18	22,9	4,9	2,511	
385	29/02/2016	14:49:35	16,4	18	20,7	2,7	4,557	
386	29/02/2016	15:04:35	16,4	18	22,9	4,9	2,511	
387	29/02/2016	15:19:35	16,6	18,1	22,1	4	2,884	
388	29/02/2016	15:34:35	17,2	18,6	20,6	2	5,383	
389	29/02/2016	15:49:35	17,3	18,8	22,1	3,3	3,495	
390	29/02/2016	16:04:35	17,4	18,8	22,4	3,6	2,991	
391	29/02/2016	16:19:35	17,3	18,6	21,4	2,8	3,570	
392	29/02/2016	16:34:35	17,2	18,5	21,1	2,6	3,845	
393	29/02/2016	16:49:35	17,2	18,5	21,4	2,9	3,447	
394	29/02/2016	17:04:35	17,1	18,4	21,1	2,7	3,703	
395	29/02/2016	17:19:35	17,1	18,3	20,9	2,6	3,549	

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
396	29/02/2016	17:34:35	17,1	18,3	20,6	2,3	4,012	
397	29/02/2016	17:49:35	17,1	18,2	19,9	1,7	4,976	
398	29/02/2016	18:04:35	17,1	18,2	19,8	1,6	5,287	
399	29/02/2016	18:19:35	17,1	18,2	19,2	1	8,459	
400	29/02/2016	18:34:35	17,1	18,1	18,6	0,5	15,380	
401	29/02/2016	18:49:35	17,1	18,1	17,6	0,5	15,380	
402	29/02/2016	19:04:35	17,1	18	17,4	0,6	11,535	
403	29/02/2016	19:19:35	17,2	18	17	1	6,152	
404	29/02/2016	19:34:35	17,2	18	16,8	1,2	5,127	
405	29/02/2016	19:49:35	17,2	17,9	16,4	1,5	3,589	
406	29/02/2016	20:04:35	17,2	17,9	16,4	1,5	3,589	
407	29/02/2016	20:19:35	17,2	17,8	16,2	1,6	2,884	
408	29/02/2016	20:34:35	17,2	17,8	16,4	1,4	3,296	
409	29/02/2016	20:49:35	17,1	17,8	16,5	1,3	4,141	
410	29/02/2016	21:04:35	17,1	17,7	16,4	1,3	3,549	
411	29/02/2016	21:19:35	17,1	17,7	16,4	1,3	3,549	
412	29/02/2016	21:34:35	17,1	17,7	16,3	1,4	3,296	
413	29/02/2016	21:49:35	17,1	17,6	16,2	1,4	2,746	
414	29/02/2016	22:04:35	17,1	17,6	16	1,6	2,403	
415	29/02/2016	22:19:35	17,1	17,6	15,8	1,8	2,136	
416	29/02/2016	22:34:35	17,1	17,6	15,8	1,8	2,136	
417	29/02/2016	22:49:35	17,1	17,6	15,7	1,9	2,024	
418	29/02/2016	23:04:35	17,1	17,6	15,5	2,1	1,831	
419	29/02/2016	23:19:35	17,1	17,6	15,5	2,1	1,831	
420	29/02/2016	23:34:35	17,2	17,6	15,4	2,2	1,398	
421	29/02/2016	23:49:35	17,2	17,6	15,4	2,2	1,398	
422	01/03/2016	0:04:35	17,2	17,7	15,6	2,1	1,831	

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
423	01/03/2016	0:19:35	17,2	17,7	15,4	2,3	1,672	
424	01/03/2016	0:34:35	17,2	17,6	15,3	2,3	1,337	
425	01/03/2016	0:49:35	17,2	17,6	15,2	2,4	1,282	
426	01/03/2016	1:04:35	17,2	17,5	14,8	2,7	0,854	
427	01/03/2016	1:19:35	17,2	17,5	14,3	3,2	0,721	
428	01/03/2016	1:34:35	17,1	17,5	13,7	3,8	0,809	
429	01/03/2016	1:49:35	17,1	17,4	13,4	4	0,577	
430	01/03/2016	2:04:35	17,1	17,4	12,9	4,5	0,513	
431	01/03/2016	2:19:35	17	17,4	13,4	4	0,769	
432	01/03/2016	2:34:35	17,1	17,4	12,6	4,8	0,481	
433	01/03/2016	2:49:35	17,1	17,4	13,3	4,1	0,563	
434	01/03/2016	3:04:35	17	17,3	13	4,3	0,537	
435	01/03/2016	3:19:35	17	17,2	12,7	4,5	0,342	
436	01/03/2016	3:34:35	17	17,1	13	4,1	0,188	
437	01/03/2016	3:49:35	16,9	17,1	13,3	3,8	0,405	
438	01/03/2016	4:04:35	16,9	17,1	13,2	3,9	0,394	
439	01/03/2016	4:19:35	16,9	17,1	13,2	3,9	0,394	
440	01/03/2016	4:34:35	16,9	17	12,6	4,4	0,175	
441	01/03/2016	4:49:35	16,8	17	12,4	4,6	0,334	
442	01/03/2016	5:04:35	16,8	17	12,8	4,2	0,366	
443	01/03/2016	5:19:35	16,8	17	12,5	4,5	0,342	
444	01/03/2016	5:34:35	16,7	16,9	11,5	5,4	0,285	0,285
445	01/03/2016	5:49:35	16,7	16,8	11,9	4,9	0,157	
446	01/03/2016	6:04:35	16,7	16,8	12,4	4,4	0,175	
447	01/03/2016	6:19:35	16,7	16,8	12,1	4,7	0,164	
448	01/03/2016	6:34:35	16,6	16,8	11,9	4,9	0,314	
449	01/03/2016	6:49:35	16,6	16,7	12,4	4,3	0,179	

Anexo C: Datos de monitorización con TESTO 435-2 y datos derivados instantáneos de transmitancia térmica

Medida Nº	Día	Hora	T _{si} (°C)	T _i (°C)	T _e (°C)	T _i -T _e (°C)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K) cuando T _i -T _e >5°C
450	01/03/2016	7:04:35	16,6	16,7	12,4	4,3	0,179	
451	01/03/2016	7:19:35	16,6	16,8	11,9	4,9	0,314	
452	01/03/2016	7:34:35	16,6	17,1	12,4	4,7	0,818	
453	01/03/2016	7:49:35	16,6	17,1	12,7	4,4	0,874	
454	01/03/2016	8:04:35	16,6	17	12,7	4,3	0,715	
455	01/03/2016	8:19:35	16,7	17,2	12,9	4,3	0,894	
456	01/03/2016	8:34:35	16,6	17,1	12,6	4,5	0,854	
457	01/03/2016	8:49:35	16,6	17,1	12,9	4,2	0,915	
458	01/03/2016	9:04:35	16,5	17,1	13,4	3,7	1,247	
459	01/03/2016	9:19:35	16,5	17,1	14,4	2,7	1,709	
460	01/03/2016	9:34:35	16,5	17,2	14,7	2,5	2,153	
461	01/03/2016	9:49:35	16,5	17,2	15	2,2	2,447	
462	01/03/2016	10:04:35	16,5	17,3	15,8	1,5	4,101	
463	01/03/2016	10:19:35	16,5	17,5	16,1	1,4	5,493	
464	01/03/2016	10:34:35	16,5	17,6	16,9	0,7	12,084	
465	01/03/2016	10:49:35	16,5	17,7	18,6	0,9	10,253	
466	01/03/2016	11:04:35	16,5	17,9	19,5	1,6	6,729	
467	01/03/2016	11:19:35	16,5	18	20,4	2,4	4,806	
468	01/03/2016	11:34:35	16,5	18,2	21,4	3,2	4,085	
469	01/03/2016	11:49:35	16,5	18,3	22,2	3,9	3,549	
470	01/03/2016	12:04:35	16,5	18,5	24,1	5,6	2,746	

14 Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

A continuación se muestran los datos procedentes de la monitorización con el equipo ALMEMO 2590-4AS, así como los resultados instantáneos de transmitancia térmica aplicando las Ecuaciones 24, 42 y 44, así como los coeficientes correctores por razón de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1. Únicamente se recogen los datos correspondientes al cerramiento C4 porque en el resto de los casos se programó el equipo para tomar una medida cada minuto, lo cual ha resultado en unas tablas de datos de un tamaño excesivo para su inclusión en este trabajo.

14.1 Caso C4

Tabla 26: Datos procedentes de la monitorización del cerramiento C4 con el equipo ALMEMO 2590-4AS y resultados instantáneos de transmitancia térmica aplicando las Ecuaciones 24, 42 y 44, así como los coeficientes correctores por razón de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 (2014). Dónde: T_e = Temperatura ambiental exterior; T_{se} = Temperatura superficial exterior; T_{si} = Temperatura superficial interior; T_i = Temperatura ambiental interior; q/dt = Densidad superficial de flujo de calor en el momento de cada medida; U_{qT} = Transmitancia térmica calculada según Ecuación 42; U_{hT} = Transmitancia térmica calculada según Ecuación 42; q_F = Densidad superficial de flujo de calor corregida con los factores de masa térmica F_i y F_e ; $U_{qT,F}$ = Transmitancia térmica calculada en base al flujo de calor corregido con los factores de masa térmica; V_V = Velocidad del viento; $U_{A\&T}$ = Transmitancia térmica calculada según Ecuación 44.

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)	V_V (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)
07.06.2016	12:54:24	33,3	31,1	28,1	29,0	-	4,3			1,610					0	2,969	
07.06.2016	13:09:24	33,1	31,5	28,1	28,8	3,07	4,3	0,714		1,252		3,07	0,714		0	2,161	
07.06.2016	13:24:24	34,7	31,1	28,1	28,8	3,04	5,9	0,515	0,515	0,912	0,912	3,04	0,515	0,515	0	3,565	3,565
07.06.2016	13:39:24	34,2	31,3	28,2	28,8	2,83	5,4	0,524	0,524	0,854	0,854	2,83	0,524	0,524	0	3,133	3,133
07.06.2016	13:54:24	34,6	31,7	28,2	28,8	2,60	5,8	0,448	0,448	0,796	0,796	2,60	0,448	0,448	0	2,929	2,929
07.06.2016	14:09:24	34,6	32,0	28,3	28,8	2,38	5,8	0,410	0,410	0,663	0,663	2,38	0,410	0,410	0	2,630	2,630
07.06.2016	14:24:24	34,7	32,3	28,4	28,9	2,22	5,8	0,383	0,383	0,663	0,663	2,22	0,383	0,383	0	2,432	2,432
07.06.2016	14:39:24	34,9	32,4	28,5	29,0	2,07	5,9	0,351	0,351	0,652	0,652	2,07	0,351	0,351	0	2,494	2,494
07.06.2016	14:54:24	36,0	32,7	28,5	29,0	1,93	7,0	0,276	0,276	0,549	0,549	1,93	0,276	0,276	0	2,794	2,794
07.06.2016	15:09:24	35,5	33,0	28,6	29,1	1,83	6,4	0,286	0,286	0,601	0,601	1,83	0,286	0,286	0	2,313	2,313
07.06.2016	15:24:24	35,7	33,0	28,7	29,2	1,74	6,5	0,268	0,268	0,592	0,592	1,74	0,268	0,268	0	2,462	2,462
07.06.2016	15:39:24	36,8	33,4	28,8	29,3	1,70	7,5	0,227	0,227	0,513	0,513	1,70	0,227	0,227	0	2,706	2,706

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
07.06.2016	15:54:24	36,3	33,4	28,9	29,4	1,65	6,9	0,239	0,239	0,557	0,557	1,65	0,239	0,239	0	2,503	2,503
07.06.2016	16:09:24	35,6	33,6	28,9	29,5	1,60	6,1	0,262	0,262	0,756	0,756	1,60	0,262	0,262	0	1,948	1,948
07.06.2016	16:24:24	35,9	33,7	29,1	29,7	1,60	6,2	0,258	0,258	0,744	0,744	1,60	0,258	0,258	0	2,112	2,112
07.06.2016	16:39:24	36,4	33,7	29,2	29,8	1,52	6,6	0,230	0,230	0,699	0,699	1,52	0,230	0,230	0	2,441	2,441
07.06.2016	16:54:24	35,9	33,7	29,3	30,0	1,55	5,9	0,263	0,263	0,912	0,912	1,55	0,263	0,263	0	2,220	2,220
07.06.2016	17:09:24	35,8	33,7	29,5	30,1	1,55	5,7	0,272	0,272	0,809	0,809	1,55	0,272	0,272	0	2,192	2,192
07.06.2016	17:24:24	37,5	33,8	29,6	30,2	1,55	7,3	0,212	0,212	0,632	0,632	1,55	0,212	0,212	0	3,042	3,042
07.06.2016	17:39:24	37,1	33,6	29,8	30,4	1,55	6,7	0,231	0,231	0,689	0,689	1,55	0,231	0,231	0	3,126	3,126
07.06.2016	17:54:24	36,3	33,5	29,9	30,5	1,58	5,8	0,272	0,272	0,796	0,796	1,58	0,272	0,272	0	2,876	2,876
07.06.2016	18:09:24	35,8	33,5	30,0	30,6	1,58	5,2	0,304	0,304	0,887	0,887	1,58	0,304	0,304	0	2,629	2,629
07.06.2016	18:24:24	35,6	33,5	30,1	30,7	1,63	4,9	0,333		0,942		1,63	0,333		0	2,545	
07.06.2016	18:39:24	35,4	33,6	30,3	30,9	1,63	4,5	0,362		1,025		1,63	0,362		0	2,374	
07.06.2016	18:54:24	35,5	33,4	30,4	31,0	1,63	4,5	0,362		1,025		1,63	0,362		0	2,768	
07.06.2016	19:09:24	35,2	33,1	30,5	31,0	1,68	4,2	0,400		0,915		1,68	0,400		0	2,957	
07.06.2016	19:24:24	34,6	32,9	30,6	31,1	1,68	3,5	0,480		1,099		1,68	0,480		0	2,862	
07.06.2016	19:39:24	34,2	32,7	30,7	31,2	1,74	3,0	0,580		1,282		1,74	0,580		0	2,937	
07.06.2016	19:54:24	33,8	32,5	30,8	31,3	1,70	2,5	0,680		1,538		1,70	0,680		0	3,046	
07.06.2016	20:09:24	33,0	32,2	30,9	31,3	1,76	1,7	1,035		1,809		1,76	1,035		0	2,741	
07.06.2016	20:24:24	32,0	31,9	30,9	31,4	1,82	0,6	3,033		6,408		1,82	3,033		0	0,965	
07.06.2016	20:39:24	31,6	31,5	31,0	31,4	1,85	0,2	9,250		15,380		1,85	9,250		0	2,883	
07.06.2016	20:54:24	31,0	31,2	31,1	31,4	1,92	0,4	4,800		5,767		1,92	4,800		0	2,870	
07.06.2016	21:09:24	30,5	30,9	31,1	31,5	1,96	1,0	1,960		3,076		1,96	1,960		0	2,287	
07.06.2016	21:24:24	30,2	30,6	31,2	31,5	2,04	1,3	1,569		1,775		2,04	1,569		0	1,754	
07.06.2016	21:39:24	29,6	30,3	31,2	31,5	2,08	1,9	1,095		1,214		2,08	1,095		0	2,091	
07.06.2016	21:54:24	29,1	30,0	31,3	31,5	2,13	2,4	0,888		0,641		2,13	0,888		0	2,120	
07.06.2016	22:09:24	28,5	29,8	31,3	31,5	2,22	3,0	0,740		0,513		2,22	0,740		0	2,440	

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)
07.06.2016	22:24:24	28,2	29,5	31,4	31,5	2,28	3,3	0,691		0,233		2,28	0,691		0	2,212	
07.06.2016	22:39:24	27,8	29,2	31,4	31,5	2,35	3,7	0,635		0,208		2,35	0,635		0	2,117	
07.06.2016	22:54:24	27,7	29,0	31,4	31,5	2,42	3,8	0,637		0,202		2,42	0,637		0	1,911	
07.06.2016	23:09:24	27,4	28,8	31,4	31,4	2,55	4,0	0,638		0,000		2,55	0,638		0	1,950	
07.06.2016	23:24:24	27,3	28,6	31,3	31,4	2,64	4,1	0,644		0,188		2,64	0,644		0	1,764	
07.06.2016	23:39:24	26,9	28,3	31,3	31,4	2,75	4,5	0,611		0,171		2,75	0,611		0	1,725	
07.06.2016	23:54:24	26,8	28,2	31,3	31,4	2,86	4,6	0,622		0,167		2,86	0,622		0	1,686	
08.06.2016	00:09:24	26,7	28,0	31,3	31,3	3,30	4,6	0,717		0,000		3,30	0,717		0	1,563	
08.06.2016	00:24:24	26,8	27,8	31,3	31,3	3,50	4,5	0,778		0,000		3,50	0,778		0	1,228	
08.06.2016	00:39:24	26,5	27,7	31,2	31,2	3,72	4,7	0,791		0,000		3,72	0,791		0	1,409	
08.06.2016	00:54:24	26,3	27,5	31,2	31,2	4,10	4,9	0,837		0,000		4,10	0,837		0	1,348	
08.06.2016	01:09:24	26,4	27,4	31,1	31,1	4,44	4,7	0,945		0,000		4,44	0,945		0	1,171	
08.06.2016	01:24:24	26,4	27,4	31,1	31,1	4,87	4,7	1,036		0,000		4,87	1,036		0	1,171	
08.06.2016	01:39:24	26,3	27,2	31,1	31,1	4,87	4,8	1,015		0,000		4,87	1,015		0	1,031	
08.06.2016	01:54:24	25,9	27,0	31,0	31,0	5,42	5,1	1,063	1,063	0,000	0,000	5,42	1,063	1,063	0	1,182	1,182
08.06.2016	02:09:24	25,7	26,8	31,0	30,9	6,16	5,2	1,185	1,185	0,148	0,148	6,16	1,185	1,185	0	1,157	1,157
08.06.2016	02:24:24	25,8	26,6	30,9	30,9	7,40	5,1	1,451	1,451	0,000	0,000	7,40	1,451	1,451	0	0,858	0,858
08.06.2016	02:39:24	25,5	26,4	30,9	30,8	9,00	5,3	1,698	1,698	0,145	0,145	9,00	1,698	1,698	0	0,926	0,926
08.06.2016	02:54:24	25,5	26,3	30,9	30,7	12,00	5,2	2,308	2,308	0,296	0,296	12,00	2,308	2,308	0	0,839	0,839
08.06.2016	03:09:24	24,8	26,0	30,8	30,7	17,50	5,9	2,966	2,966	0,130	0,130	17,50	2,966	2,966	0	1,103	1,103
08.06.2016	03:24:24	25,0	25,8	30,7	30,6	34,00	5,6	6,071	6,071	0,137	0,137	34,00	6,071	6,071	0	0,775	0,775
08.06.2016	03:39:24	23,8	25,6	30,7	30,5	34,00	6,7	5,075	5,075	0,230	0,230	34,00	5,075	5,075	0	1,447	1,447
08.06.2016	03:54:24	23,5	25,4	30,6	30,4	33,00	6,9	4,783	4,783	0,223	0,223	33,00	4,783	4,783	0	1,479	1,479
08.06.2016	04:09:24	23,7	25,3	30,5	30,4	33,00	6,7	4,925	4,925	0,115	0,115	33,00	4,925	4,925	0	1,283	1,283
08.06.2016	04:24:24	23,4	25,1	30,4	30,3	32,00	6,9	4,638	4,638	0,111	0,111	32,00	4,638	4,638	0	1,321	1,321
08.06.2016	04:39:24	23,4	24,9	30,4	30,2	16,00	6,8	2,353	2,353	0,226	0,226	16,00	2,353	2,353	0	1,181	1,181

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ\text{C}}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ\text{C}}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ\text{C}}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ\text{C}}$ (W/m ² K)
08.06.2016	04:54:24	22,9	24,8	30,3	30,1	10,33	7,2	1,435	1,435	0,214	0,214	10,33	1,435	1,435	0	1,409	1,409
08.06.2016	05:09:24	22,9	24,6	30,2	30,1	10,33	7,2	1,435	1,435	0,107	0,107	10,33	1,435	1,435	0	1,259	1,259
08.06.2016	05:24:24	23,2	24,4	30,1	30,0	7,50	6,8	1,103	1,103	0,113	0,113	7,50	1,103	1,103	0	0,942	0,942
08.06.2016	05:39:24	22,2	23,9	30,1	29,9	6,00	7,7	0,779	0,779	0,200	0,200	6,00	0,779	0,779	0	1,169	1,169
08.06.2016	05:54:24	21,7	23,6	30,0	29,9	4,83	8,2	0,589	0,589	0,094	0,094	4,83	0,589	0,589	0	1,222	1,222
08.06.2016	06:09:24	21,7	23,5	29,9	29,7	4,14	8,0	0,518	0,518	0,192	0,192	4,14	0,518	0,518	0	1,186	1,186
08.06.2016	06:24:24	21,8	23,3	29,8	29,6	4,00	7,8	0,513	0,513	0,197	0,197	4,00	0,513	0,513	0	1,013	1,013
08.06.2016	06:39:24	21,7	23,2	29,7	29,4	3,50	7,7	0,455	0,455	0,300	0,300	3,50	0,455	0,455	0	1,026	1,026
08.06.2016	06:54:24	22,1	23,3	29,6	29,3	3,00	7,2	0,417	0,417	0,320	0,320	3,00	0,417	0,417	0	0,880	0,880
08.06.2016	07:09:24	22,3	23,3	29,5	29,2	2,70	6,9	0,391	0,391	0,334	0,334	2,70	0,391	0,391	0	0,766	0,766
08.06.2016	07:24:24	24,0	23,5	29,3	29,0	2,60	5,0	0,520	0,520	0,461	0,461	2,60	0,520	0,520	0	0,533	
08.06.2016	07:39:24	22,8	23,5	29,2	28,9	2,36	6,1	0,387	0,387	0,378	0,378	2,36	0,387	0,387	0	0,608	0,608
08.06.2016	07:54:24	24,1	24,0	29,1	28,8	2,27	4,7	0,483		0,491		2,27	0,483		0	0,114	
08.06.2016	08:09:24	23,9	24,2	29,0	28,7	2,08	4,8	0,433		0,481		2,08	0,433		0	0,334	
08.06.2016	08:24:24	24,9	24,5	28,9	28,6	2,00	3,7	0,541		0,624		2,00	0,541		0	0,582	
08.06.2016	08:39:24	25,7	24,8	28,8	28,5	2,00	2,8	0,714		0,824		2,00	0,714		0	1,741	
08.06.2016	08:54:24	25,3	24,9	28,7	28,4	1,76	3,1	0,568		0,744		1,76	0,568		0	0,698	
08.06.2016	09:09:24	26,1	24,9	28,5	28,3	1,76	2,2	0,800		0,699		1,76	0,800		0	2,961	
08.06.2016	09:24:24	27,3	25,2	28,5	28,2	1,69	0,9	1,878		2,563		1,69	1,878		0	12,764	
08.06.2016	09:39:24	28,6	25,5	28,4	28,2	1,69	0,4	4,225		3,845		1,69	4,225		0	42,735	
08.06.2016	09:54:24	27,7	25,9	28,3	28,1	1,57	0,4	3,925		3,845		1,57	3,925		0	24,751	
08.06.2016	10:09:24	27,8	26,3	28,2	28,1	1,57	0,3	5,233		2,563		1,57	5,233		0	27,570	
08.06.2016	10:24:24	29,5	26,7	28,0	27,9	1,50	1,6	0,937		0,481		1,50	0,937		0	9,751	
08.06.2016	10:39:24	29,4	27,2	27,8	27,5	1,50	1,9	0,789		1,214		1,50	0,789		0	6,465	
08.06.2016	10:54:24	30,5	27,7	27,6	27,3	1,53	3,2	0,478		0,721		1,53	0,478		0	4,924	
08.06.2016	11:09:24	30,9	28,2	27,4	27,1	1,46	3,8	0,384		0,607		1,46	0,384		0	4,017	

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T} si T_i - T_e > 5^\circ C$ (W/m ² K)
08.06.2016	11:24:24	31,7	28,6	27,2	27,0	1,38	4,7	0,294		0,327		1,38	0,294		0	3,751	
08.06.2016	11:39:24	32,2	29,0	27,1	26,9	1,50	5,3	0,283	0,283	0,290	0,290	1,50	0,283	0,283	0	3,449	3,449
08.06.2016	11:54:24	31,6	29,6	27,0	26,8	1,41	4,8	0,294		0,320		1,41	0,294		0	2,380	
08.06.2016	12:09:24	32,4	29,8	26,9	26,8	1,33	5,6	0,238	0,238	0,137	0,137	1,33	0,238	0,238	0	2,665	2,665
08.06.2016	12:24:24	31,9	30,2	26,8	26,7	1,45	5,2	0,279	0,279	0,148	0,148	1,45	0,279	0,279	0	1,876	1,876
08.06.2016	12:39:24	32,8	30,6	26,7	26,7	1,36	6,1	0,223	0,223	0,000	0,000	1,36	0,223	0,223	0	2,083	2,083
08.06.2016	12:54:24	33,8	30,9	26,7	26,7	1,50	7,1	0,211	0,211	0,000	0,000	1,50	0,211	0,211	0	2,374	2,374
08.06.2016	13:09:24	33,3	31,3	26,7	26,8	1,40	6,5	0,215	0,215	0,118	0,118	51,46	7,918	7,918	0	1,787	1,787
08.06.2016	13:24:24	34,7	31,7	26,6	26,9	1,55	7,8	0,199	0,199	0,296	0,296	73,94	9,480	9,480	0	2,254	2,254
08.06.2016	13:39:24	34,4	32,0	26,6	27,0	1,75	7,4	0,236	0,236	0,416	0,416	119,02	16,084	16,084	0	1,901	1,901
08.06.2016	13:54:24	34,2	32,3	26,7	27,2	1,75	7,0	0,250	0,250	0,549	0,549	155,43	22,205	22,205	0	1,591	1,591
08.06.2016	14:09:24	35,5	32,7	26,7	27,2	1,85	8,3	0,223	0,223	0,463	0,463	180,18	21,709	21,709	0	1,994	1,994
08.06.2016	14:24:24	35,5	32,8	26,7	27,2	1,85	8,3	0,223	0,223	0,463	0,463	204,83	24,679	24,679	0	1,924	1,924
08.06.2016	14:39:24	36,7	33,2	26,8	27,3	2,16	9,4	0,230	0,230	0,409	0,409	215,42	22,917	22,917	0	2,220	2,220
08.06.2016	14:54:24	36,8	33,4	26,8	27,4	2,60	9,4	0,277	0,277	0,491	0,491	227,44	24,195	24,195	0	2,159	2,159
08.06.2016	15:09:24	36,8	33,6	26,9	27,5	2,60	9,3	0,280	0,280	0,496	0,496	251,12	27,002	27,002	0	2,056	2,056
08.06.2016	15:24:24	36,5	33,8	26,9	27,5	3,25	9,0	0,361	0,361	0,513	0,513	275,11	30,568	30,568	0	1,792	1,792
08.06.2016	15:39:24	36,4	34,0	27,0	27,6	4,33	8,8	0,492	0,492	0,524	0,524	303,45	34,483	34,483	0	1,630	1,630
08.06.2016	15:54:24	36,9	34,2	27,1	27,7	4,33	9,2	0,471	0,471	0,502	0,502	338,56	36,799	36,799	0	1,760	1,760
08.06.2016	16:09:24	37,4	34,3	27,2	27,8	6,50	9,6	0,677	0,677	0,481	0,481	362,76	37,788	37,788	0	1,942	1,942
08.06.2016	16:24:24	36,3	34,4	27,3	27,9	6,50	8,4	0,774	0,774	0,549	0,549	390,02	46,431	46,431	0	1,354	1,354
08.06.2016	16:39:24	36,2	34,4	27,4	28,1	13,00	8,1	1,605	1,605	0,665	0,665	429,01	52,965	52,965	0	1,329	1,329
08.06.2016	16:54:24	37,3	34,5	27,5	28,2	13,00	9,1	1,429	1,429	0,592	0,592	453,66	49,853	49,853	0	1,851	1,851
08.06.2016	17:09:24	36,3	34,5	27,6	28,3	13,00	8,0	1,625	1,625	0,673	0,673	487,12	60,890	60,890	0	1,347	1,347
08.06.2016	17:24:24	37,9	34,5	27,7	28,4	13,00	9,5	1,368	1,368	0,567	0,567	498,36	52,459	52,459	0	2,160	2,160
08.06.2016	17:39:24	38,5	34,4	27,8	28,5	13,00	10,0	1,300	1,300	0,538	0,538	523,98	52,398	52,398	0	2,480	2,480

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
08.06.2016	17:54:24	36,7	34,4	27,9	28,6	13,00	8,1	1,605	1,605	0,665	0,665	570,17	70,391	70,391	0	1,703	1,703
08.06.2016	18:09:24	36,6	34,4	28,0	28,7	13,00	7,9	1,646	1,646	0,681	0,681	607,21	76,862	76,862	0	1,669	1,669
08.06.2016	18:24:24	36,7	34,3	28,1	28,8	6,50	7,9	0,823	0,823	0,681	0,681	629,91	79,736	79,736	0	1,821	1,821
08.06.2016	18:39:24	36,2	34,1	28,2	28,9	6,50	7,3	0,890	0,890	0,737	0,737	663,03	90,826	90,826	0	1,718	1,718
08.06.2016	18:54:24	36,0	34,1	28,3	28,9	4,33	7,1	0,610	0,610	0,650	0,650	698,53	98,385	98,385	0	1,597	1,597
08.06.2016	19:09:24	35,9	33,9	28,4	29,0	4,33	6,9	0,628	0,628	0,669	0,669	738,82	107,075	107,075	0	1,727	1,727
08.06.2016	19:24:24	35,4	33,7	28,5	29,1	4,33	6,3	0,687	0,687	0,732	0,732	779,44	123,721	123,721	0	1,602	1,602
08.06.2016	19:39:24	34,9	33,5	28,6	29,1	3,25	5,8	0,560	0,560	0,663	0,663	819,96	141,372	141,372	0	1,428	1,428
08.06.2016	19:54:24	34,5	33,2	28,6	29,1	3,00	5,4	0,556	0,556	0,712	0,712	863,57	159,921	159,921	0	1,420	1,420
08.06.2016	20:09:24	34,1	32,9	28,7	29,2	3,00	4,9	0,612		0,785		907,44	185,192		0	1,439	
08.06.2016	20:24:24	33,5	32,6	28,8	29,2	3,00	4,3	0,698		0,715		948,70	220,627		0	1,225	
08.06.2016	20:39:24	33,2	32,3	28,8	29,2	2,40	4,0	0,600		0,769		982,48	245,620		0	1,313	
08.06.2016	20:54:24	32,7	32,0	28,8	29,3	2,40	3,4	0,706		1,131		1015,89	298,792		0	1,196	
08.06.2016	21:09:24	32,1	31,8	28,9	29,2	2,40	2,9	0,828		0,796		1051,58	362,614		0	0,599	
08.06.2016	21:24:24	31,7	31,6	28,9	29,2	2,40	2,5	0,960		0,923		1088,24	435,296		0	0,231	
08.06.2016	21:39:24	30,8	31,2	28,9	29,2	2,20	1,6	1,375		1,442		1132,54	707,836		0	1,434	
08.06.2016	21:54:24	30,2	31,0	28,9	29,2	2,20	1,0	2,200		2,307		1177,04	1177,037		0	4,570	
08.06.2016	22:09:24	29,1	30,6	29,0	29,2	2,20	0,1	22,000		15,380		1229,38	#####		0	85,048	
08.06.2016	22:24:24	28,6	30,3	28,9	29,2	1,83	0,6	3,050		3,845		1280,04	2133,400		0	16,001	
08.06.2016	22:39:24	28,3	29,9	28,9	29,2	1,83	0,9	2,033		2,563		1331,07	1478,970		0	10,005	
08.06.2016	22:54:24	27,7	29,6	28,9	29,1	1,66	1,4	1,186		1,099		1386,83	990,590		0	7,604	
08.06.2016	23:09:24	27,2	29,2	29,0	29,1	1,66	1,9	0,874		0,405		1447,98	762,092		0	5,871	
08.06.2016	23:24:24	27,5	29,0	28,9	29,1	2,00	1,6	1,250		0,961		1499,35	937,093		0	5,232	
08.06.2016	23:39:24	27,2	28,7	28,9	29,0	2,00	1,8	1,111		0,427		1555,27	864,039		0	4,636	
08.06.2016	23:54:24	27,4	28,6	28,9	29,0	1,80	1,6	1,125		0,481		1603,15	1001,970		0	4,175	
09.06.2016	00:09:24	27,4	28,5	28,8	28,9	1,80	1,5	1,200		0,513		1652,20	1101,468		0	4,080	

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)
09.06.2016	00:24:24	27,1	28,3	28,8	28,9	1,80	1,8	1,000		0,427		1701,59	945,328		0	3,700	
09.06.2016	00:39:24	27,3	28,1	28,7	28,8	1,80	1,5	1,200		0,513		1751,95	1167,965		0	2,960	
09.06.2016	00:54:24	26,9	27,9	28,7	28,8	1,60	1,9	0,842		0,405		1801,14	947,966		0	2,912	
09.06.2016	01:09:24	26,6	27,7	28,7	28,7	1,60	2,1	0,762		0,000		1854,11	882,908		0	2,891	
09.06.2016	01:24:24	26,5	27,6	28,6	28,7	1,60	2,2	0,727		0,350		1907,42	867,007		0	2,757	
09.06.2016	01:39:24	25,7	27,3	28,6	28,6	1,40	2,9	0,483		0,000		1973,25	680,433		0	3,026	
09.06.2016	01:54:24	24,7	27,0	28,5	28,5	1,40	3,8	0,368		0,000		2053,33	540,350		0	3,298	
09.06.2016	02:09:24	24,7	26,7	28,5	28,5	1,75	3,8	0,461		0,000		2126,25	559,540		0	2,863	
09.06.2016	02:24:24	24,3	26,5	28,4	28,4	1,75	4,1	0,427		0,000		2201,44	536,937		0	2,910	
09.06.2016	02:39:24	24,1	26,2	28,4	28,4	1,75	4,3	0,407		0,000		2280,55	530,360		0	2,642	
09.06.2016	02:54:24	23,7	26,0	28,3	28,3	1,50	4,6	0,326		0,000		2360,71	513,198		0	2,697	
09.06.2016	03:09:24	23,7	25,7	28,3	28,3	1,50	4,6	0,326		0,000		2438,85	530,185		0	2,342	
09.06.2016	03:24:24	23,6	25,6	28,2	28,2	1,50	4,6	0,326		0,000		2511,42	545,962		0	2,339	
09.06.2016	03:39:24	23,7	25,5	28,2	28,2	2,00	4,5	0,444		0,000		2583,53	574,117		0	2,152	
09.06.2016	03:54:24	23,5	25,3	28,1	28,2	2,00	4,7	0,426		0,164		2639,79	561,657		0	2,056	
09.06.2016	04:09:24	23,6	25,2	28,1	28,2	1,66	4,6	0,361		0,167		2688,21	584,392		0	1,868	
09.06.2016	04:24:24	23,5	25,1	28,1	28,1	1,66	4,6	0,361		0,000		2743,16	596,339		0	1,866	
09.06.2016	04:39:24	23,8	25,0	28,0	28,1	1,66	4,3	0,386		0,179		2788,00	648,371		0	1,498	
09.06.2016	04:54:24	23,9	25,0	28,0	28,1	2,50	4,2	0,595		0,183		2830,09	673,831		0	1,407	
09.06.2016	05:09:24	24,1	24,9	28,0	28,0	2,50	3,9	0,641		0,000		2862,20	733,897		0	1,102	
09.06.2016	05:24:24	24,5	24,9	27,9	28,0	2,50	3,5	0,714		0,220		2889,08	825,450		0	0,615	
09.06.2016	05:39:24	24,4	24,8	27,9	27,9	2,50	3,5	0,714		0,000		2921,18	834,624		0	0,615	
09.06.2016	05:54:24	24,0	24,7	27,9	27,9	5,00	3,9	1,282		0,000		2945,67	755,301		0	0,963	
09.06.2016	06:09:24	23,5	24,6	27,8	27,9	5,00	4,4	1,136		0,175		2967,66	674,469		0	1,338	
09.06.2016	06:24:24	23,5	24,4	27,8	27,9	5,00	4,4	1,136		0,175		2985,10	678,432		0	1,093	
09.06.2016	06:39:24	23,6	24,4	27,8	27,8	5,00	4,2	1,190		0,000		3002,54	714,891		0	1,019	

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
09.06.2016	06:54:24	23,6	24,5	27,8	27,9	5,00	4,3	1,163		0,179		3011,85	700,429		0	1,120	
09.06.2016	07:09:24	23,8	24,4	27,7	27,8	5,00	4,0	1,250		0,192		3023,76	755,941		0	0,803	
09.06.2016	07:24:24	23,8	24,5	27,7	27,8	5,00	4,0	1,250		0,192		3036,02	759,005		0	0,937	
09.06.2016	07:39:24	24,5	24,6	27,7	27,8	5,00	3,3	1,515		0,233		3056,79	926,301		0	0,163	
09.06.2016	07:54:24	26,4	25,3	27,6	27,8	5,00	1,4	3,571		1,099		3034,78	2167,701		0	4,281	
09.06.2016	08:09:24	27,0	25,7	27,6	27,8	5,00	0,8	6,250		1,922		3019,64	3774,549		0	8,898	
09.06.2016	08:24:24	27,6	26,0	27,6	27,8	5,00	0,2	25,000		7,690		2991,77	#####		0	44,002	
09.06.2016	08:39:24	27,9	26,5	27,6	27,8	5,00	0,1	50,000		15,380		2970,77	#####		0	77,312	
09.06.2016	08:54:24	28,4	26,6	27,6	27,8	5,00	0,6	8,333		2,563		2951,41	4919,022		0	16,617	
09.06.2016	09:09:24	30,2	26,5	27,6	27,8	5,00	2,4	2,083		0,641		2901,03	1208,763		0	8,612	
09.06.2016	09:24:24	28,8	26,6	27,6	27,8	5,00	1,0	5,000		1,538		2877,13	2877,126		0	12,210	
09.06.2016	09:39:24	29,7	26,8	27,6	27,8	5,00	1,9	2,632		0,809		2854,86	1502,560		0	8,518	
09.06.2016	09:54:24	28,0	27,0	27,6	27,9	5,00	0,1	50,000		23,070		2869,53	#####		0	55,389	
09.06.2016	10:09:24	29,8	27,4	27,6	27,9	5,00	1,9	2,632		1,214		2846,64	1498,232		0	7,074	
09.06.2016	10:24:24	29,5	27,8	27,6	27,9	5,00	1,6	3,125		1,442		2828,98	1768,110		0	5,953	
09.06.2016	10:39:24	30,2	28,2	27,6	28,0	5,00	2,2	2,273		1,398		2817,55	1280,706		0	5,121	
09.06.2016	10:54:24	31,1	28,6	27,7	28,1	6,00	3,0	2,000		1,025		2782,68	927,561		0	4,725	
09.06.2016	11:09:24	30,7	28,9	27,7	28,2	6,00	2,5	2,400		1,538		2759,59	1103,835		0	4,080	
09.06.2016	11:24:24	31,0	29,3	27,8	28,3	6,00	2,7	2,222		1,424		2730,97	1011,472		0	3,581	
09.06.2016	11:39:24	32,0	29,7	27,9	28,3	6,00	3,7	1,622		0,831		2697,47	729,046		0	3,560	
09.06.2016	11:54:24	32,5	30,1	27,9	28,4	6,00	4,1	1,463		0,938		2659,41	648,638		0	3,367	
09.06.2016	12:09:24	32,3	30,4	28,0	28,6	7,00	3,7	1,892		1,247		2610,30	705,488		0	2,955	
09.06.2016	12:24:24	32,8	30,9	28,1	28,7	7,00	4,1	1,707		1,125		2561,84	624,839		0	2,680	
09.06.2016	12:39:24	34,3	31,4	28,2	28,9	7,00	5,4	1,296	1,296	0,997	0,997	2480,41	459,336	459,336	0	3,136	3,136
09.06.2016	12:54:24	33,8	31,8	28,3	29,0	7,00	4,8	1,458		1,121		2415,00	503,126		0	2,432	
09.06.2016	13:09:24	34,6	32,2	28,4	29,2	8,00	5,4	1,481	1,481	1,139	1,139	2348,66	434,937	434,937	0	2,610	2,610

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)
09.06.2016	13:24:24	34,0	32,6	28,6	29,4	8,00	4,6	1,739		1,337		2280,34	495,727		0	1,785	
09.06.2016	13:39:24	34,5	32,8	28,7	29,5	8,00	5,0	1,600	1,600	1,230	1,230	2223,79	444,758	444,758	0	2,001	
09.06.2016	13:54:24	34,4	33,1	28,8	29,6	8,00	4,8	1,667		1,282		2164,62	450,963		0	1,596	
09.06.2016	14:09:24	34,6	33,3	29,0	29,8	9,00	4,8	1,875		1,282		2101,23	437,756		0	1,599	
09.06.2016	14:24:24	35,0	33,6	29,1	29,9	9,00	5,1	1,765	1,765	1,206	1,206	2046,32	401,239	401,239	0	1,626	1,626
09.06.2016	14:39:24	35,0	33,8	29,2	30,0	9,00	5,0	1,800	1,800	1,230	1,230	1989,14	397,827	397,827	0	1,423	
09.06.2016	14:54:24	34,7	33,9	29,4	30,1	10,00	4,6	2,174		1,170		1952,56	424,469		0	1,030	
09.06.2016	15:09:24	34,4	33,9	29,5	30,2	10,00	4,2	2,381		1,282		1920,20	457,191		0	0,704	
09.06.2016	15:24:24	33,0	33,7	29,7	30,4	5,00	2,6	1,923		2,070		1898,87	730,333		0	1,580	
09.06.2016	15:39:24	32,7	33,6	29,8	30,5	5,00	2,2	2,273		2,447		1880,26	854,662		0	2,396	
09.06.2016	15:54:24	33,4	33,6	29,9	30,6	5,50	2,8	1,964		1,923		1851,69	661,319		0	0,420	
09.06.2016	16:09:24	33,0	33,6	30,0	30,7	5,50	2,3	2,391		2,340		1834,39	797,560		0	1,530	
09.06.2016	16:24:24	33,3	33,6	30,2	30,8	5,50	2,5	2,200		1,846		1819,70	727,880		0	0,705	
09.06.2016	16:39:24	33,1	33,7	30,3	30,9	5,50	2,2	2,500		2,097		1793,25	815,113		0	1,601	
09.06.2016	16:54:24	33,5	33,7	30,4	31,0	6,00	2,5	2,400		1,846		1763,04	705,216		0	0,471	
09.06.2016	17:09:24	33,5	33,6	30,5	31,1	6,00	2,4	2,500		1,923		1746,70	727,794		0	0,245	
09.06.2016	17:24:24	34,1	33,6	30,6	31,2	4,00	2,9	1,379		1,591		1707,46	588,780		0	1,017	
09.06.2016	17:39:24	34,0	33,5	30,7	31,3	4,00	2,7	1,481		1,709		1692,43	626,827		0	1,091	
09.06.2016	17:54:24	33,1	33,4	30,9	31,4	4,00	1,7	2,353		2,262		1697,01	998,240		0	1,035	
09.06.2016	18:09:24	32,8	33,2	31,0	31,5	4,33	1,3	3,331		2,958		1682,31	1294,086		0	1,800	
09.06.2016	18:24:24	32,8	33,0	31,1	31,6	4,33	1,2	3,608		3,204		1665,98	1388,314		0	0,974	
09.06.2016	18:39:24	31,8	32,7	31,1	31,7	4,33	0,1	43,300		46,140		1664,02	#####		0	52,251	
09.06.2016	18:54:24	31,6	32,4	31,2	31,7	4,33	0,1	43,300		38,450		1660,41	#####		0	46,331	
09.06.2016	19:09:24	31,1	32,1	31,3	31,8	4,33	0,7	6,186		5,493		1658,45	2369,221		0	8,241	
09.06.2016	19:24:24	31,0	31,8	31,4	31,8	4,33	0,8	5,413		3,845		1658,77	2073,464		0	5,757	
09.06.2016	19:39:24	30,5	31,6	31,5	31,8	4,33	1,3	3,331		1,775		1661,36	1277,972		0	4,855	

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
09.06.2016	19:54:24	30,1	31,2	31,5	31,9	4,33	1,8	2,406		1,709		1660,37	922,429		0	3,492	
09.06.2016	20:09:24	29,8	30,9	31,6	31,9	4,66	2,1	2,219		1,099		1658,41	789,717		0	2,985	
09.06.2016	20:24:24	29,5	30,6	31,6	31,9	4,66	2,4	1,942		0,961		1657,08	690,449		0	2,604	
09.06.2016	20:39:24	28,6	30,2	31,7	31,9	4,66	3,3	1,412		0,466		1659,67	502,930		0	2,737	
09.06.2016	20:54:24	28,4	29,9	31,7	31,9	4,66	3,5	1,331		0,439		1660,95	474,558		0	2,413	
09.06.2016	21:09:24	27,8	29,6	31,7	31,9	7,00	4,1	1,707		0,375		1668,16	406,869		0	2,461	
09.06.2016	21:24:24	27,1	29,3	31,7	31,9	7,00	4,8	1,458		0,320		1672,06	348,346		0	2,556	
09.06.2016	21:39:24	26,7	28,9	31,7	31,9	7,00	5,2	1,346	1,346	0,296	0,296	1675,96	322,300	322,300	0	2,350	2,350
09.06.2016	21:54:24	26,5	28,6	31,7	31,8	7,00	5,3	1,321	1,321	0,145	0,145	1672,99	315,658	315,658	0	2,196	2,196
09.06.2016	22:09:24	26,6	28,4	31,7	31,8	7,00	5,2	1,346	1,346	0,148	0,148	1660,87	319,397	319,397	0	1,917	1,917
09.06.2016	22:24:24	26,4	28,2	31,7	31,8	7,00	5,4	1,296	1,296	0,142	0,142	1636,98	303,145	303,145	0	1,843	1,843
09.06.2016	22:39:24	26,1	28,0	31,7	31,8	7,00	5,7	1,228	1,228	0,135	0,135	1610,49	282,542	282,542	0	1,838	1,838
09.06.2016	22:54:24	26,1	27,9	31,6	31,7	14,00	5,6	2,500	2,500	0,137	0,137	1589,35	283,812	283,812	0	1,771	1,771
09.06.2016	23:09:24	26,0	27,7	31,7	31,7	14,00	5,7	2,456	2,456	0,000	0,000	1552,40	272,350	272,350	0	1,641	1,641
09.06.2016	23:24:24	25,8	27,5	31,6	31,7	14,00	5,9	2,373	2,373	0,130	0,130	1511,52	256,191	256,191	0	1,582	1,582
09.06.2016	23:39:24	25,5	27,3	31,6	31,6	14,00	6,1	2,295	2,295	0,000	0,000	1480,77	242,749	242,749	0	1,617	1,617
09.06.2016	23:54:24	25,8	27,2	31,6	31,6	14,00	5,8	2,414	2,414	0,000	0,000	1439,90	248,258	248,258	0	1,324	1,324
10.06.2016	00:09:24	25,6	27,1	31,5	31,5	14,00	5,9	2,373	2,373	0,000	0,000	1406,53	238,395	238,395	0	1,392	1,392
10.06.2016	00:24:24	26,1	26,9	31,5	31,5	14,00	5,4	2,593	2,593	0,000	0,000	1364,35	252,658	252,658	0	0,812	0,812
10.06.2016	00:39:24	25,1	26,7	31,5	31,5	14,00	6,4	2,188	2,188	0,000	0,000	1331,32	208,019	208,019	0	1,363	1,363
10.06.2016	00:54:24	24,9	26,5	31,4	31,4	14,00	6,5	2,154	2,154	0,000	0,000	1303,52	200,541	200,541	0	1,339	1,339
10.06.2016	01:09:24	25,0	26,3	31,4	31,4	14,00	6,4	2,188	2,188	0,000	0,000	1269,18	198,310	198,310	0	1,104	1,104
10.06.2016	01:24:24	24,5	26,1	31,3	31,3	14,00	6,8	2,059	2,059	0,000	0,000	1237,46	181,979	181,979	0	1,275	1,275
10.06.2016	01:39:24	24,1	25,9	31,3	31,2	14,00	7,1	1,972	1,972	0,108	0,108	1211,93	170,695	170,695	0	1,369	1,369
10.06.2016	01:54:24	24,1	25,8	31,2	31,2	14,00	7,1	1,972	1,972	0,000	0,000	1173,67	165,306	165,306	0	1,293	1,293
10.06.2016	02:09:24	24,4	25,6	31,2	31,1	14,00	6,7	2,090	2,090	0,115	0,115	1118,43	166,929	166,929	0	0,967	0,967

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT, si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT, si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT, F}$ (W/m ² K)	$U_{qT, F, si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T, si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)
10.06.2016	02:24:24	24,6	25,6	31,1	31,0	14,00	6,4	2,188	2,188	0,120	0,120	1062,84	166,069	166,069	0	0,845	0,845
10.06.2016	02:39:24	24,6	25,5	31,1	31,0	14,00	6,4	2,188	2,188	0,120	0,120	999,76	156,212	156,212	0	0,760	0,760
10.06.2016	02:54:24	24,8	25,3	31,0	30,9	14,00	6,1	2,295	2,295	0,126	0,126	933,72	153,068	153,068	0	0,443	0,443
10.06.2016	03:09:24	24,5	25,1	30,9	30,8	13,00	6,3	2,063	2,063	0,122	0,122	865,37	137,360	137,360	0	0,513	0,513
10.06.2016	03:24:24	24,4	24,9	30,8	30,7	13,00	6,3	2,063	2,063	0,122	0,122	801,61	127,239	127,239	0	0,427	0,427
10.06.2016	03:39:24	23,8	24,7	30,7	30,5	6,50	6,7	0,970	0,970	0,230	0,230	740,15	110,471	110,471	0	0,720	0,720
10.06.2016	03:54:24	23,7	24,6	30,6	30,4	6,50	6,7	0,970	0,970	0,230	0,230	690,09	102,998	102,998	0	0,719	0,719
10.06.2016	04:09:24	23,4	24,4	30,5	30,3	6,50	6,9	0,942	0,942	0,223	0,223	643,61	93,276	93,276	0	0,774	0,774
10.06.2016	04:24:24	22,4	24,2	30,4	30,2	6,50	7,8	0,833	0,833	0,197	0,197	613,78	78,689	78,689	0	1,225	1,225
10.06.2016	04:39:24	22,4	24,0	30,3	30,1	6,50	7,7	0,844	0,844	0,200	0,200	582,64	75,667	75,667	0	1,102	1,102
10.06.2016	04:54:24	22,2	23,8	30,2	30,0	4,33	7,8	0,555	0,555	0,197	0,197	558,14	71,557	71,557	0	1,086	1,086
10.06.2016	05:09:24	21,7	23,5	30,2	30,0	4,33	8,3	0,522	0,522	0,185	0,185	543,65	65,500	65,500	0	1,143	1,143
10.06.2016	05:24:24	21,0	23,2	30,0	29,9	4,33	8,9	0,487	0,487	0,086	0,086	540,93	60,778	60,778	0	1,297	1,297
10.06.2016	05:39:24	21,0	23,0	30,0	29,9	4,33	8,9	0,487	0,487	0,086	0,086	543,43	61,060	61,060	0	1,178	1,178
10.06.2016	05:54:24	20,8	22,8	29,9	29,8	3,25	9,0	0,361	0,361	0,085	0,085	546,16	60,684	60,684	0	1,162	1,162
10.06.2016	06:09:24	20,2	22,6	29,8	29,7	3,25	9,5	0,342	0,342	0,081	0,081	554,86	58,406	58,406	0	1,316	1,316
10.06.2016	06:24:24	20,2	22,4	29,8	29,6	3,25	9,4	0,346	0,346	0,164	0,164	559,30	59,500	59,500	0	1,218	1,218
10.06.2016	06:39:24	20,1	22,4	29,6	29,5	3,25	9,4	0,346	0,346	0,082	0,082	567,32	60,353	60,353	0	1,272	1,272
10.06.2016	06:54:24	20,2	22,3	29,6	29,5	2,60	9,3	0,280	0,280	0,083	0,083	572,41	61,550	61,550	0	1,174	1,174
10.06.2016	07:09:24	20,5	22,3	29,5	29,4	2,60	8,9	0,292	0,292	0,086	0,086	578,79	65,033	65,033	0	1,053	1,053
10.06.2016	07:24:24	20,8	22,3	29,4	29,3	2,60	8,5	0,306	0,306	0,090	0,090	583,86	68,689	68,689	0	0,921	0,921
10.06.2016	07:39:24	20,9	22,4	29,3	29,2	2,60	8,3	0,313	0,313	0,093	0,093	589,90	71,072	71,072	0	0,944	0,944
10.06.2016	07:54:24	24,7	23,8	29,2	29,1	2,00	4,4	0,455		0,175		557,10	126,614		0	1,097	
10.06.2016	08:09:24	24,6	24,4	29,1	29,1	2,00	4,5	0,444		0,000		551,04	122,454		0	0,239	
10.06.2016	08:24:24	25,8	24,9	29,0	29,0	2,00	3,2	0,625		0,000		539,42	168,568		0	1,525	
10.06.2016	08:39:24	24,8	24,8	29,0	29,0	2,00	4,2	0,476		0,000		548,70	130,643		0	0,000	

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
10.06.2016	08:54:24	25,9	24,9	29,0	29,0	2,00	3,1	0,645		0,000		547,53	176,622		0	1,750	
10.06.2016	09:09:24	26,8	24,9	28,9	28,8	2,00	2,0	1,000		0,384		545,68	272,841		0	5,176	
10.06.2016	09:24:24	26,2	24,6	28,8	28,8	2,00	2,6	0,769		0,000		575,20	221,230		0	3,338	
10.06.2016	09:39:24	27,4	24,9	28,7	28,7	1,71	1,3	1,315		0,000		572,72	440,556		0	10,509	
10.06.2016	09:54:24	26,2	25,1	28,6	28,6	1,71	2,4	0,712		0,000		600,26	250,107		0	2,492	
10.06.2016	10:09:24	27,1	25,4	28,6	28,6	1,71	1,5	1,140		0,000		596,09	397,392		0	6,199	
10.06.2016	10:24:24	26,2	25,6	28,5	28,6	1,71	2,4	0,712		0,320		627,20	261,335		0	1,363	
10.06.2016	10:39:24	26,8	26,0	28,4	28,5	1,71	1,7	1,006		0,452		648,84	381,668		0	2,578	
10.06.2016	10:54:24	27,6	26,3	28,4	28,5	1,71	0,9	1,900		0,854		671,43	746,038		0	7,957	
10.06.2016	11:09:24	27,4	26,6	28,4	28,5	1,71	1,1	1,555		0,699		710,68	646,077		0	4,008	
10.06.2016	11:24:24	27,7	26,9	28,4	28,5	1,71	0,8	2,138		0,961		743,06	928,828		0	5,528	
10.06.2016	11:39:24	28,2	27,3	28,3	28,5	1,71	0,3	5,700		5,127		775,10	2583,674		0	16,658	
10.06.2016	11:54:24	28,4	27,6	28,3	28,5	1,71	0,1	17,100		15,380		817,60	8175,969		0	44,532	
10.06.2016	12:09:24	30,1	28,0	28,3	28,5	1,71	1,6	1,069		0,961		846,69	529,178		0	7,383	
10.06.2016	12:24:24	28,4	28,2	28,3	28,6	1,71	0,2	8,550		11,535		897,65	4488,257		0	5,583	
10.06.2016	12:39:24	30,0	28,6	28,3	28,6	1,85	1,4	1,321		1,648		936,66	669,042		0	5,639	
10.06.2016	12:54:24	30,3	29,0	28,4	28,6	1,85	1,7	1,088		0,905		995,76	585,740		0	4,327	
10.06.2016	13:09:24	30,9	29,4	28,4	28,7	1,85	2,2	0,841		1,049		1040,48	472,947		0	3,877	
10.06.2016	13:24:24	30,5	29,6	28,4	28,7	1,85	1,8	1,028		1,282		1105,44	614,134		0	2,841	
10.06.2016	13:39:24	31,1	30,0	28,4	28,8	1,85	2,3	0,804		1,337		1156,99	503,041		0	2,731	
10.06.2016	13:54:24	31,3	30,3	28,5	28,9	1,85	2,4	0,771		1,282		1212,47	505,194		0	2,385	
10.06.2016	14:09:24	31,6	30,5	28,5	28,9	1,85	2,7	0,685		1,139		1264,99	468,514		0	2,337	
10.06.2016	14:24:24	31,0	30,7	28,6	29,0	1,85	2,0	0,925		1,538		1330,24	665,119		0	0,859	
10.06.2016	14:39:24	31,6	30,8	28,6	29,1	1,85	2,5	0,740		1,538		1392,87	557,150		0	1,839	
10.06.2016	14:54:24	32,2	31,1	28,7	29,2	2,16	3,0	0,720		1,282		1447,98	482,660		0	2,116	
10.06.2016	15:09:24	31,2	31,0	28,8	29,3	2,16	1,9	1,137		2,024		1511,93	795,750		0	0,604	

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)
10.06.2016	15:24:24	32,2	31,3	28,8	29,3	2,16	2,9	0,745		1,326		1561,16	538,330		0	1,793	
10.06.2016	15:39:24	31,5	31,3	28,9	29,4	2,16	2,1	1,029		1,831		1603,52	763,579		0	0,548	
10.06.2016	15:54:24	32,4	31,4	29,0	29,5	2,33	2,9	0,803		1,326		1630,36	562,194		0	1,995	
10.06.2016	16:09:24	32,6	31,5	29,1	29,6	2,33	3,0	0,777		1,282		1663,57	554,525		0	2,125	
10.06.2016	16:24:24	32,2	31,5	29,2	29,7	2,33	2,5	0,932		1,538		1696,78	678,714		0	1,619	
10.06.2016	16:39:24	32,7	31,8	29,2	29,8	2,33	2,9	0,803		1,591		1727,38	595,649		0	1,802	
10.06.2016	16:54:24	32,2	31,8	29,3	29,9	2,33	2,3	1,013		2,006		1761,90	766,043		0	1,007	
10.06.2016	17:09:24	32,0	31,9	29,4	30,0	2,33	2,0	1,165		2,307		1804,26	902,129		0	0,289	
10.06.2016	17:24:24	31,5	31,7	29,5	30,1	2,33	1,4	1,664		3,296		1853,15	1323,680		0	0,824	
10.06.2016	17:39:24	31,9	31,7	29,6	30,1	2,33	1,8	1,294		2,136		1906,93	1059,408		0	0,642	
10.06.2016	17:54:24	31,6	31,7	29,7	30,2	2,80	1,4	2,000		2,746		1963,80	1402,715		0	0,412	
10.06.2016	18:09:24	31,1	31,5	29,8	30,3	2,80	0,8	3,500		4,806		2014,97	2518,711		0	2,876	
10.06.2016	18:24:24	30,0	31,3	29,9	30,4	3,00	0,4	7,500		9,613		2076,79	5191,981		0	18,573	
10.06.2016	18:39:24	29,0	30,8	30,0	30,4	3,00	1,4	2,143		2,197		2153,76	1538,400		0	7,293	
10.06.2016	18:54:24	28,7	30,4	30,0	30,5	3,00	1,8	1,667		2,136		2221,58	1234,211		0	5,339	
10.06.2016	19:09:24	28,6	30,0	30,1	30,5	3,00	1,9	1,579		1,619		2288,09	1204,259		0	4,155	
10.06.2016	19:24:24	28,4	29,7	30,2	30,6	3,00	2,2	1,364		1,398		2350,68	1068,493		0	3,324	
10.06.2016	19:39:24	28,1	29,4	30,2	30,6	3,00	2,5	1,200		1,230		2415,89	966,356		0	2,916	
10.06.2016	19:54:24	28,2	29,2	30,3	30,6	3,00	2,4	1,250		0,961		2473,25	1030,523		0	2,336	
10.06.2016	20:09:24	27,9	29,0	30,3	30,7	3,00	2,8	1,071		1,099		2529,31	903,326		0	2,197	
10.06.2016	20:24:24	26,8	28,5	30,4	30,7	3,00	3,9	0,769		0,592		2595,83	665,596		0	2,418	
10.06.2016	20:39:24	27,0	28,2	30,4	30,7	3,00	3,7	0,811		0,624		2655,80	717,785		0	1,798	
10.06.2016	20:54:24	27,9	28,2	30,4	30,7	2,50	2,8	0,893		0,824		2691,76	961,343		0	0,597	
10.06.2016	21:09:24	27,8	28,0	30,5	30,7	2,50	2,9	0,862		0,530		2726,91	940,313		0	0,384	
10.06.2016	21:24:24	27,4	27,9	30,5	30,7	2,50	3,3	0,758		0,466		2759,44	836,195		0	0,840	
10.06.2016	21:39:24	27,4	27,7	30,5	30,6	2,50	3,2	0,781		0,240		2785,11	870,346		0	0,520	

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
10.06.2016	21:54:24	26,9	27,5	30,5	30,6	2,50	3,7	0,676		0,208		2812,08	760,020		0	0,896	
10.06.2016	22:09:24	26,8	27,4	30,4	30,5	2,50	3,7	0,676		0,208		2837,74	766,956		0	0,895	
10.06.2016	22:24:24	26,6	27,3	30,3	30,4	2,50	3,8	0,658		0,202		2869,60	755,157		0	1,015	
10.06.2016	22:39:24	26,6	27,2	30,3	30,3	2,50	3,7	0,676		0,000		2901,12	784,086		0	0,893	
10.06.2016	22:54:24	26,4	27,1	30,2	30,3	2,50	3,9	0,641		0,197		2931,33	751,624		0	0,987	
10.06.2016	23:09:24	25,8	26,8	30,2	30,2	2,50	4,4	0,568		0,000		2969,39	674,861		0	1,244	
10.06.2016	23:24:24	25,5	26,6	30,1	30,1	2,50	4,6	0,543		0,000		3012,33	654,855		0	1,305	
10.06.2016	23:39:24	25,5	26,5	30,1	30,1	2,50	4,6	0,543		0,000		3052,66	663,623		0	1,186	
10.06.2016	23:54:24	25,0	26,2	30,1	30,1	2,50	5,1	0,490	0,490	0,000	0,000	3093,33	606,536	606,536	0	1,279	1,279
11.06.2016	00:09:24	25,1	26,0	30,0	30,0	2,14	4,9	0,437		0,000		3138,53	640,516		0	0,998	
11.06.2016	00:24:24	24,5	25,8	30,0	30,0	2,14	5,5	0,389	0,389	0,000	0,000	3187,04	579,462	579,462	0	1,279	1,279
11.06.2016	00:39:24	24,3	25,6	30,0	29,9	2,14	5,6	0,382	0,382	0,137	0,137	3246,97	579,817	579,817	0	1,253	1,253
11.06.2016	00:54:24	23,9	25,2	29,9	29,9	2,14	6,0	0,357	0,357	0,000	0,000	3299,07	549,844	549,844	0	1,165	1,165
11.06.2016	01:09:24	23,9	25,1	29,9	29,8	2,14	5,9	0,363	0,363	0,130	0,130	3348,54	567,550	567,550	0	1,093	1,093
11.06.2016	01:24:24	24,0	25,0	29,8	29,7	2,14	5,7	0,375	0,375	0,135	0,135	3400,30	596,544	596,544	0	0,943	0,943
11.06.2016	01:39:24	23,4	24,8	29,8	29,6	2,14	6,2	0,345	0,345	0,248	0,248	3453,36	556,994	556,994	0	1,209	1,209
11.06.2016	01:54:24	22,5	24,6	29,7	29,6	2,14	7,1	0,301	0,301	0,108	0,108	3510,68	494,462	494,462	0	1,575	1,575
11.06.2016	02:09:24	22,6	24,4	29,6	29,5	2,14	6,9	0,310	0,310	0,111	0,111	3568,97	517,242	517,242	0	1,388	1,388
11.06.2016	02:24:24	22,4	24,2	29,6	29,4	1,87	7,0	0,267	0,267	0,220	0,220	3633,52	519,074	519,074	0	1,365	1,365
11.06.2016	02:39:24	21,9	23,9	29,5	29,4	1,87	7,5	0,249	0,249	0,103	0,103	3705,22	494,029	494,029	0	1,410	1,410
11.06.2016	02:54:24	22,0	23,7	29,4	29,3	1,87	7,3	0,256	0,256	0,105	0,105	3777,88	517,518	517,518	0	1,231	1,231
11.06.2016	03:09:24	21,6	23,5	29,4	29,3	1,75	7,7	0,227	0,227	0,100	0,100	3855,99	500,778	500,778	0	1,300	1,300
11.06.2016	03:24:24	21,4	23,2	29,3	29,2	1,75	7,8	0,224	0,224	0,099	0,099	3932,91	504,219	504,219	0	1,213	1,213
11.06.2016	03:39:24	20,8	22,9	29,3	29,2	1,75	8,4	0,208	0,208	0,092	0,092	4014,09	477,868	477,868	0	1,308	1,308
11.06.2016	03:54:24	20,6	22,7	29,2	29,1	1,75	8,5	0,206	0,206	0,090	0,090	4087,77	480,914	480,914	0	1,290	1,290
11.06.2016	04:09:24	20,3	22,6	29,1	29,0	1,55	8,7	0,178	0,178	0,088	0,088	4163,86	478,605	478,605	0	1,378	1,378

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
11.06.2016	04:24:24	20,5	22,5	29,1	29,0	1,55	8,5	0,182	0,182	0,090	0,090	4231,34	497,805	497,805	0	1,227	1,227
11.06.2016	04:39:24	20,9	22,3	29,0	28,9	1,55	8,0	0,194	0,194	0,096	0,096	4280,53	535,066	535,066	0	0,913	0,913
11.06.2016	04:54:24	19,9	21,9	28,9	28,8	1,55	8,9	0,174	0,174	0,086	0,086	4342,78	487,953	487,953	0	1,164	1,164
11.06.2016	05:09:24	20,1	21,8	28,8	28,7	1,55	8,6	0,180	0,180	0,089	0,089	4399,81	511,606	511,606	0	1,025	1,025
11.06.2016	05:24:24	19,7	21,6	28,7	28,5	1,55	8,8	0,176	0,176	0,175	0,175	4460,08	506,827	506,827	0	1,116	1,116
11.06.2016	05:39:24	19,7	21,3	28,6	28,4	1,40	8,7	0,161	0,161	0,177	0,177	4511,05	518,512	518,512	0	0,949	0,949
11.06.2016	05:54:24	19,3	21,0	28,5	28,3	1,40	9,0	0,156	0,156	0,171	0,171	4569,68	507,742	507,742	0	0,971	0,971
11.06.2016	06:09:24	19,2	20,7	28,4	28,1	1,40	8,9	0,157	0,157	0,259	0,259	4629,27	520,143	520,143	0	0,865	0,865
11.06.2016	06:24:24	19,0	20,6	28,2	27,8	1,40	8,8	0,159	0,159	0,350	0,350	4688,19	532,749	532,749	0	0,932	0,932
11.06.2016	06:39:24	19,1	20,6	28,0	27,6	1,40	8,5	0,165	0,165	0,362	0,362	4748,08	558,598	558,598	0	0,905	0,905
11.06.2016	06:54:24	19,1	20,6	27,8	27,4	1,40	8,3	0,169	0,169	0,371	0,371	4808,94	579,390	579,390	0	0,926	0,926
11.06.2016	07:09:24	19,3	20,6	27,7	27,3	1,27	8,0	0,159	0,159	0,384	0,384	4870,63	608,829	608,829	0	0,834	0,834
11.06.2016	07:24:24	19,7	20,6	27,5	27,2	1,18	7,5	0,157	0,157	0,308	0,308	4931,06	657,475	657,475	0	0,617	0,617
11.06.2016	07:39:24	19,9	20,8	27,4	27,1	1,18	7,2	0,164	0,164	0,320	0,320	4992,89	693,457	693,457	0	0,644	0,644
11.06.2016	07:54:24	22,0	21,8	27,2	26,9	1,18	4,9	0,241		0,471		5030,85	1026,705		0	0,214	
11.06.2016	08:09:24	23,7	22,4	27,1	26,9	1,18	3,2	0,369		0,481		5093,99	1591,871		0	2,152	
11.06.2016	08:24:24	22,4	22,3	27,0	26,8	1,18	4,4	0,268		0,350		5175,08	1176,154		0	0,120	
11.06.2016	08:39:24	23,4	22,6	26,9	26,7	1,18	3,3	0,358		0,466		5258,78	1593,570		0	1,283	
11.06.2016	08:54:24	23,5	22,7	26,8	26,7	1,18	3,2	0,369		0,240		5328,11	1665,034		0	1,325	
11.06.2016	09:09:24	24,5	22,6	26,8	26,6	1,18	2,1	0,562		0,732		5401,02	2571,914		0	4,816	
11.06.2016	09:24:24	24,0	22,6	26,7	26,6	1,08	2,6	0,415		0,296		5487,58	2110,606		0	2,859	
11.06.2016	09:39:24	25,4	22,7	26,6	26,6	1,08	1,2	0,900		0,000		5548,09	4623,412		0	12,038	
11.06.2016	09:54:24	24,7	22,9	26,6	26,6	1,08	1,9	0,568		0,000		5631,17	2963,772		0	5,056	
11.06.2016	10:09:24	23,1	23,0	26,5	26,6	1,08	3,5	0,309		0,220		5717,19	1633,483		0	0,151	
11.06.2016	10:24:24	24,5	23,3	26,5	26,6	1,08	2,1	0,514		0,366		5796,68	2760,325		0	3,053	
11.06.2016	10:39:24	23,9	23,6	26,4	26,5	1,08	2,6	0,415		0,296		5874,53	2259,434		0	0,615	

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
11.06.2016	10:54:24	25,8	24,1	26,4	26,5	1,08	0,7	1,543		1,099		5933,11	8475,870		0	13,112	
11.06.2016	11:09:24	25,4	24,5	26,4	26,5	1,08	1,1	0,982		0,699		6007,37	5461,247		0	4,417	
11.06.2016	11:24:24	25,6	24,8	26,4	26,5	1,08	0,9	1,200		0,854		6076,41	6751,564		0	4,811	
11.06.2016	11:39:24	26,8	25,2	26,4	26,6	1,08	0,2	5,400		7,690		6131,41	#####		0	43,651	
11.06.2016	11:54:24	26,3	25,6	26,4	26,6	1,08	0,3	3,600		5,127		6199,47	#####		0	12,725	
11.06.2016	12:09:24	27,2	25,9	26,4	26,6	1,08	0,6	1,800		2,563		6258,39	#####		0	11,887	
11.06.2016	12:24:24	27,6	26,3	26,4	26,6	1,08	1,0	1,080		1,538		6334,30	6334,301		0	7,161	
11.06.2016	12:39:24	27,7	26,6	26,4	26,7	1,08	1,0	1,080		2,307		6386,69	6386,686		0	6,071	
11.06.2016	12:54:24	27,6	27,0	26,4	26,7	1,08	0,9	1,200		2,563		6461,29	7179,208		0	3,685	
11.06.2016	13:09:24	28,5	27,2	26,4	26,8	1,08	1,7	0,635		1,809		6525,77	3838,689		0	4,250	
11.06.2016	13:24:24	28,7	27,4	26,5	26,8	1,08	1,9	0,568		1,214		6597,76	3472,505		0	3,811	
11.06.2016	13:39:24	29,0	27,9	26,5	26,9	1,08	2,1	0,514		1,465		6658,32	3170,630		0	2,929	
11.06.2016	13:54:24	29,1	28,2	26,5	26,9	1,08	2,2	0,491		1,398		6727,70	3058,044		0	2,292	
11.06.2016	14:09:24	29,6	28,4	26,6	27,0	1,08	2,6	0,415		1,183		6793,15	2612,750		0	2,595	
11.06.2016	14:24:24	30,6	28,8	26,6	27,1	1,18	3,5	0,337		1,099		6847,28	1956,366		0	2,912	
11.06.2016	14:39:24	30,0	29,0	26,7	27,2	1,18	2,8	0,421		1,373		6901,31	2464,754		0	2,018	
11.06.2016	14:54:24	30,0	29,2	26,8	27,2	1,18	2,8	0,421		1,099		6965,46	2487,663		0	1,616	
11.06.2016	15:09:24	30,5	29,5	26,8	27,3	1,18	3,2	0,369		1,202		7030,91	2197,160		0	1,774	
11.06.2016	15:24:24	30,0	29,6	26,9	27,4	1,18	2,6	0,454		1,479		7089,83	2726,858		0	0,872	
11.06.2016	15:39:24	30,8	29,7	27,0	27,5	1,27	3,3	0,385		1,165		7149,18	2166,417		0	1,897	
11.06.2016	15:54:24	30,5	29,9	27,1	27,7	1,27	2,8	0,454		1,648		7200,93	2571,761		0	1,219	
11.06.2016	16:09:24	30,7	30,0	27,2	27,8	1,27	2,9	0,438		1,591		7261,83	2504,081		0	1,375	
11.06.2016	16:24:24	30,6	30,0	27,3	27,9	1,27	2,7	0,470		1,709		7326,66	2713,576		0	1,266	
11.06.2016	16:39:24	30,4	30,0	27,4	28,0	1,27	2,4	0,529		1,923		7388,87	3078,694		0	0,948	
11.06.2016	16:54:24	29,9	29,9	27,5	28,1	1,27	1,8	0,706		2,563		7464,14	4146,746		0	0,000	
11.06.2016	17:09:24	29,8	29,8	27,6	28,2	1,27	1,6	0,794		2,884		7534,19	4708,870		0	0,000	

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT, si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT, si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT, F}$ (W/m ² K)	$U_{qT, F, si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A&T}$ (W/m ² K)	$U_{A&T, si T_i - T_e > 5°C}$ (W/m ² K)
11.06.2016	17:24:24	30,5	29,7	27,7	28,3	1,27	2,2	0,577		2,097		7592,48	3451,128		0	2,067	
11.06.2016	17:39:24	30,8	29,5	27,8	28,4	1,40	2,4	0,583		1,922		7640,44	3183,519		0	3,080	
11.06.2016	17:54:24	29,0	29,3	27,9	28,5	1,40	0,5	2,800		9,228		7714,75	#####		0	3,378	
11.06.2016	18:09:24	29,0	29,2	28,0	28,6	1,40	0,4	3,500		11,535		7785,14	#####		0	2,814	
11.06.2016	18:24:24	28,8	29,0	28,1	28,6	1,40	0,2	7,000		19,225		7853,88	#####		0	5,617	
11.06.2016	18:39:24	28,5	28,8	28,2	28,7	1,40	0,2	7,000		19,225		7912,17	#####		0	8,404	
11.06.2016	18:54:24	28,6	28,6	28,3	28,8	1,40	0,2	7,000		19,225		7953,81	#####		0	0,000	
11.06.2016	19:09:24	27,5	28,3	28,3	28,8	1,50	1,3	1,154		2,958		8008,28	6160,214		0	3,422	
11.06.2016	19:24:24	27,4	28,1	28,4	28,9	1,50	1,5	1,000		2,563		8060,37	5373,580		0	2,591	
11.06.2016	19:39:24	26,9	27,8	28,5	28,9	1,50	2,0	0,750		1,538		8118,66	4059,329		0	2,489	
11.06.2016	19:54:24	26,6	27,4	28,6	29,0	1,50	2,4	0,625		1,282		8174,67	3406,113		0	1,837	
11.06.2016	20:09:24	26,0	27,1	28,6	29,0	1,50	3,0	0,500		1,025		8239,83	2746,611		0	2,012	
11.06.2016	20:24:24	25,8	26,9	28,7	29,0	1,50	3,2	0,469		0,721		8305,96	2595,613		0	1,882	
11.06.2016	20:39:24	25,3	26,5	28,7	29,0	1,50	3,7	0,405		0,624		8364,25	2260,608		0	1,768	
11.06.2016	20:54:24	25,2	26,3	28,7	29,0	1,50	3,8	0,395		0,607		8426,46	2217,489		0	1,576	
11.06.2016	21:09:24	24,8	26,0	28,8	29,0	1,50	4,2	0,357		0,366		8505,66	2025,156		0	1,550	
11.06.2016	21:24:24	24,7	25,8	28,8	29,0	1,50	4,3	0,349		0,358		8584,85	1996,478		0	1,385	
11.06.2016	21:39:24	24,5	25,6	28,8	29,0	1,36	4,5	0,302		0,342		8661,30	1924,733		0	1,321	
11.06.2016	21:54:24	24,1	25,4	28,8	29,0	1,36	4,9	0,278		0,314		8740,83	1783,844		0	1,430	
11.06.2016	22:09:24	23,9	25,2	28,8	29,0	1,36	5,1	0,267	0,267	0,302	0,302	8816,45	1728,716	1728,716	0	1,371	1,371
11.06.2016	22:24:24	23,5	25,0	28,8	29,0	1,36	5,5	0,247	0,247	0,280	0,280	8893,71	1617,038	1617,038	0	1,462	1,462
11.06.2016	22:39:24	23,4	24,8	28,8	28,9	1,36	5,5	0,247	0,247	0,140	0,140	8969,66	1630,848	1630,848	0	1,363	1,363
11.06.2016	22:54:24	22,9	24,6	28,8	28,9	1,36	6,0	0,227	0,227	0,128	0,128	9049,87	1508,312	1508,312	0	1,511	1,511
11.06.2016	23:09:24	22,6	24,4	28,8	28,9	1,36	6,3	0,216	0,216	0,122	0,122	9131,39	1449,427	1449,427	0	1,520	1,520
11.06.2016	23:24:24	22,8	24,2	28,8	28,8	1,36	6,0	0,227	0,227	0,000	0,000	9202,46	1533,743	1533,743	0	1,241	1,241
11.06.2016	23:39:24	22,5	24,1	28,7	28,8	1,36	6,3	0,216	0,216	0,122	0,122	9271,24	1471,626	1471,626	0	1,349	1,349

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T \text{ si } T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)
11.06.2016	23:54:24	22,2	23,8	28,7	28,8	1,36	6,6	0,206	0,206	0,117	0,117	9343,95	1415,751	1415,751	0	1,283	1,283
12.06.2016	00:09:24	22,0	23,7	28,7	28,8	1,36	6,8	0,200	0,200	0,113	0,113	9412,74	1384,227	1384,227	0	1,321	1,321
12.06.2016	00:24:24	22,1	23,5	28,7	28,7	1,36	6,6	0,206	0,206	0,000	0,000	9481,53	1436,595	1436,595	0	1,121	1,121
12.06.2016	00:39:24	22,1	23,3	28,6	28,6	1,36	6,5	0,209	0,209	0,000	0,000	9544,75	1468,424	1468,424	0	0,974	0,974
12.06.2016	00:54:24	22,1	23,2	28,6	28,6	1,25	6,5	0,192	0,192	0,000	0,000	9602,98	1477,381	1477,381	0	0,893	0,893
12.06.2016	01:09:24	21,6	23,0	28,6	28,6	1,25	7,0	0,179	0,179	0,000	0,000	9662,62	1380,374	1380,374	0	1,051	1,051
12.06.2016	01:24:24	21,4	22,9	28,5	28,5	1,25	7,1	0,176	0,176	0,000	0,000	9724,87	1369,700	1369,700	0	1,109	1,109
12.06.2016	01:39:24	21,3	22,8	28,4	28,4	1,25	7,1	0,176	0,176	0,000	0,000	9789,74	1378,837	1378,837	0	1,108	1,108
12.06.2016	01:54:24	21,0	22,6	28,4	28,3	1,25	7,3	0,171	0,171	0,105	0,105	9850,69	1349,409	1349,409	0	1,146	1,146
12.06.2016	02:09:24	21,2	22,4	28,3	28,3	1,25	7,1	0,176	0,176	0,000	0,000	9897,26	1393,980	1393,980	0	0,884	0,884
12.06.2016	02:24:24	21,1	22,3	28,2	28,2	1,25	7,1	0,176	0,176	0,000	0,000	9946,44	1400,908	1400,908	0	0,883	0,883
12.06.2016	02:39:24	20,9	22,2	28,2	28,2	1,25	7,3	0,171	0,171	0,000	0,000	9993,35	1368,953	1368,953	0	0,929	0,929
12.06.2016	02:54:24	21,4	22,1	28,1	28,1	1,25	6,7	0,187	0,187	0,000	0,000	10029,47	1496,936	1496,936	0	0,546	0,546
12.06.2016	03:09:24	21,0	22,0	28,1	28,0	1,16	7,0	0,166	0,166	0,110	0,110	10072,03	1438,862	1438,862	0	0,745	0,745
12.06.2016	03:24:24	21,0	21,9	28,0	28,0	1,07	7,0	0,153	0,153	0,000	0,000	10109,37	1444,195	1444,195	0	0,670	0,670
12.06.2016	03:39:24	20,5	21,8	27,9	27,9	1,07	7,4	0,145	0,145	0,000	0,000	10150,71	1371,718	1371,718	0	0,913	0,913
12.06.2016	03:54:24	20,4	21,7	27,9	27,8	1,07	7,4	0,145	0,145	0,104	0,104	10187,80	1376,730	1376,730	0	0,912	0,912
12.06.2016	04:09:24	20,5	21,5	27,8	27,8	1,07	7,3	0,147	0,147	0,000	0,000	10218,69	1399,821	1399,821	0	0,711	0,711
12.06.2016	04:24:24	20,5	21,5	27,7	27,7	1,07	7,2	0,149	0,149	0,000	0,000	10245,66	1423,008	1423,008	0	0,720	0,720
12.06.2016	04:39:24	20,1	21,3	27,6	27,6	1,07	7,5	0,143	0,143	0,000	0,000	10282,75	1371,033	1371,033	0	0,827	0,827
12.06.2016	04:54:24	20,2	21,3	27,6	27,5	1,07	7,3	0,147	0,147	0,105	0,105	10323,75	1414,213	1414,213	0	0,780	0,780
12.06.2016	05:09:24	20,4	21,2	27,5	27,5	1,07	7,1	0,151	0,151	0,000	0,000	10346,80	1457,296	1457,296	0	0,583	0,583
12.06.2016	05:24:24	19,9	21,1	27,4	27,4	1,07	7,5	0,143	0,143	0,000	0,000	10379,00	1383,867	1383,867	0	0,826	0,826
12.06.2016	05:39:24	20,3	21,0	27,4	27,3	1,00	7,0	0,143	0,143	0,110	0,110	10398,40	1485,485	1485,485	0	0,517	0,517
12.06.2016	05:54:24	20,0	20,9	27,3	27,2	1,00	7,2	0,139	0,139	0,107	0,107	10421,78	1447,470	1447,470	0	0,645	0,645
12.06.2016	06:09:24	19,9	20,8	27,2	27,2	1,00	7,3	0,137	0,137	0,000	0,000	10438,97	1429,997	1429,997	0	0,635	0,635

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
12.06.2016	06:24:24	20,2	20,8	27,1	27,1	1,00	6,9	0,145	0,145	0,000	0,000	10448,66	1514,299	1514,299	0	0,449	0,449
12.06.2016	06:39:24	20,4	20,8	27,1	27,0	1,00	6,6	0,152	0,152	0,117	0,117	10448,57	1583,117	1583,117	0	0,313	0,313
12.06.2016	06:54:24	20,3	20,9	27,0	26,9	1,00	6,6	0,152	0,152	0,117	0,117	10448,82	1583,155	1583,155	0	0,470	0,470
12.06.2016	07:09:24	20,6	20,9	26,9	26,9	1,00	6,3	0,159	0,159	0,000	0,000	10440,60	1657,237	1657,237	0	0,246	0,246
12.06.2016	07:24:24	20,8	21,0	26,8	26,8	1,00	6,0	0,167	0,167	0,000	0,000	10432,37	1738,729	1738,729	0	0,173	0,173
12.06.2016	07:39:24	22,3	21,4	26,8	26,8	1,00	4,5	0,222		0,000		10407,50	2312,777		0	1,046	
12.06.2016	07:54:24	23,4	22,5	26,7	26,7	1,00	3,3	0,303		0,000		10370,86	3142,685		0	1,443	
12.06.2016	08:09:24	23,5	22,6	26,6	26,6	0,93	3,1	0,300		0,000		10358,01	3341,295		0	1,538	
12.06.2016	08:24:24	25,0	22,9	26,5	26,5	0,93	1,5	0,620		0,000		10350,13	6900,086		0	7,483	
12.06.2016	08:39:24	25,1	23,3	26,5	26,5	0,93	1,4	0,664		0,000		10321,67	7372,622		0	6,889	
12.06.2016	08:54:24	24,6	23,3	26,4	26,4	0,93	1,8	0,517		0,000		10312,82	5729,342		0	3,860	
12.06.2016	09:09:24	27,1	23,3	26,4	26,4	0,93	0,7	1,329		0,000		10272,60	#####		0	29,384	
12.06.2016	09:24:24	27,9	23,4	26,3	26,3	0,93	1,6	0,581		0,000		10234,99	6396,870		0	15,293	
12.06.2016	09:39:24	28,7	23,5	26,2	26,3	0,93	2,4	0,388		0,320		10180,40	4241,832		0	11,835	
12.06.2016	09:54:24	26,2	23,9	26,2	26,2	0,93	0,0	93,000		0,000		10179,05	#####		0	#iDIV/0!	
12.06.2016	10:09:24	27,0	24,2	26,2	26,2	0,93	0,8	1,163		0,000		10158,09	#####		0	19,021	
12.06.2016	10:24:24	27,6	24,7	26,1	26,2	0,93	1,4	0,664		0,549		10108,39	7220,276		0	11,320	
12.06.2016	10:39:24	27,8	25,2	26,1	26,2	0,93	1,6	0,581		0,481		10074,36	6296,478		0	8,911	
12.06.2016	10:54:24	28,0	25,6	26,1	26,3	0,93	1,7	0,547		0,905		10025,34	5897,256		0	7,765	
12.06.2016	11:09:24	29,4	26,4	26,1	26,3	0,93	3,1	0,300		0,496		9982,84	3220,271		0	5,382	
12.06.2016	11:24:24	29,3	26,6	26,1	26,3	0,93	3,0	0,310		0,513		9936,43	3312,142		0	5,007	
12.06.2016	11:39:24	29,5	26,8	26,1	26,4	0,93	3,1	0,300		0,744		9887,74	3189,592		0	4,856	
12.06.2016	11:54:24	29,9	27,4	26,1	26,4	0,93	3,5	0,266		0,659		9851,77	2814,793		0	4,002	
12.06.2016	12:09:24	30,8	27,8	26,2	26,5	0,93	4,3	0,216		0,537		9795,24	2277,964		0	3,934	
12.06.2016	12:24:24	29,9	28,2	26,2	26,5	1,00	3,4	0,294		0,679		9762,30	2871,266		0	2,813	
12.06.2016	12:39:24	31,0	28,5	26,2	26,6	1,00	4,4	0,227		0,699		9717,87	2208,607		0	3,218	

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
12.06.2016	12:54:24	30,8	28,9	26,3	26,7	1,00	4,1	0,244		0,750		9677,36	2360,332		0	2,627	
12.06.2016	13:09:24	31,7	29,1	26,3	26,8	1,00	4,9	0,204		0,785		9621,50	1963,572		0	3,025	
12.06.2016	13:24:24	32,4	29,6	26,4	26,9	1,00	5,5	0,182	0,182	0,699	0,699	9568,26	1739,684	1739,684	0	2,920	2,920
12.06.2016	13:39:24	32,8	30,0	26,5	27,0	1,00	5,8	0,172	0,172	0,663	0,663	9510,13	1639,678	1639,678	0	2,779	2,779
12.06.2016	13:54:24	33,1	30,2	26,5	27,1	1,00	6,0	0,167	0,167	0,769	0,769	9452,00	1575,333	1575,333	0	2,790	2,790
12.06.2016	14:09:24	33,6	30,7	26,6	27,2	1,00	6,4	0,156	0,156	0,721	0,721	9386,37	1466,620	1466,620	0	2,628	2,628
12.06.2016	14:24:24	33,5	30,9	26,7	27,3	1,00	6,2	0,161	0,161	0,744	0,744	9328,57	1504,609	1504,609	0	2,433	2,433
12.06.2016	14:39:24	33,6	31,4	26,8	27,4	1,00	6,2	0,161	0,161	0,744	0,744	9282,54	1497,184	1497,184	0	2,065	2,065
12.06.2016	14:54:24	34,3	31,6	26,9	27,6	1,00	6,7	0,149	0,149	0,803	0,803	9217,24	1375,708	1375,708	0	2,356	2,356
12.06.2016	15:09:24	33,5	31,7	27,0	27,7	1,07	5,8	0,184	0,184	0,928	0,928	9160,20	1579,344	1579,344	0	1,808	1,808
12.06.2016	15:24:24	34,2	31,9	27,2	27,8	1,07	6,4	0,167	0,167	0,721	0,721	9100,47	1421,948	1421,948	0	2,103	2,103
12.06.2016	15:39:24	34,6	32,2	27,2	28,0	1,07	6,6	0,162	0,162	0,932	0,932	9026,70	1367,682	1367,682	0	2,135	2,135
12.06.2016	15:54:24	33,9	32,3	27,4	28,1	1,07	5,8	0,184	0,184	0,928	0,928	8972,53	1546,988	1546,988	0	1,615	1,615
12.06.2016	16:09:24	35,3	32,5	27,5	28,3	1,07	7,0	0,153	0,153	0,879	0,879	8896,15	1270,879	1270,879	0	2,360	2,360
12.06.2016	16:24:24	34,4	32,6	27,6	28,4	1,15	6,0	0,192	0,192	1,025	1,025	8834,23	1472,371	1472,371	0	1,763	1,763
12.06.2016	16:39:24	34,6	32,6	27,8	28,6	1,15	6,0	0,192	0,192	1,025	1,025	8766,02	1461,004	1461,004	0	1,961	1,961
12.06.2016	16:54:24	34,3	32,6	27,9	28,7	1,15	5,6	0,205	0,205	1,099	1,099	8699,13	1553,415	1553,415	0	1,783	1,783
12.06.2016	17:09:24	35,0	32,7	28,1	28,9	1,15	6,1	0,189	0,189	1,009	1,009	8614,27	1412,176	1412,176	0	2,224	2,224
12.06.2016	17:24:24	35,4	32,6	28,2	29,0	1,25	6,4	0,195	0,195	0,961	0,961	8522,99	1331,716	1331,716	0	2,584	2,584
12.06.2016	17:39:24	35,1	32,5	28,4	29,1	1,25	6,0	0,208	0,208	0,897	0,897	8444,67	1407,444	1407,444	0	2,554	2,554
12.06.2016	17:54:24	34,3	32,4	28,5	29,3	1,25	5,0	0,250	0,250	1,230	1,230	8378,45	1675,689	1675,689	0	2,230	
12.06.2016	18:09:24	33,8	32,4	28,6	29,4	1,25	4,4	0,284		1,398		8295,24	1885,281		0	1,863	
12.06.2016	18:24:24	33,9	32,3	28,8	29,5	1,25	4,4	0,284		1,223		8210,72	1866,073		0	2,129	
12.06.2016	18:39:24	33,3	32,2	28,9	29,7	1,25	3,6	0,347		1,709		8126,88	2257,467		0	1,783	
12.06.2016	18:54:24	33,1	32,0	29,1	29,8	1,25	3,3	0,379		1,631		8041,74	2436,890		0	1,941	
12.06.2016	19:09:24	33,1	31,9	29,2	29,9	1,25	3,2	0,391		1,682		7957,90	2486,843		0	2,182	

Fecha	Hora	T_e (°C)	T_{se} (°C)	T_{si} (°C)	T_i (°C)	q/dt (W/m ²)	$T_i - T_e$ (°C)	U_{qT} (W/m ² K)	$U_{qT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	U_{hT} (W/m ² K)	$U_{hT si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	q_F (W/m ²)	$U_{qT,F}$ (W/m ² K)	$U_{qT,F si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)	V_v (m/s)	$U_{A\&T}$ (W/m ² K)	$U_{A\&T si T_i - T_e > 5^\circ C}$ (W/m ² K)
12.06.2016	19:24:24	32,4	31,7	29,3	30,0	1,25	2,4	0,521		2,243		7866,55	3277,731		0	1,690	
12.06.2016	19:39:24	32,2	31,4	29,4	30,0	1,25	2,2	0,568		2,097		7778,80	3535,816		0	2,102	
12.06.2016	19:54:24	31,3	31,1	29,5	30,1	1,25	1,2	1,042		3,845		7693,99	6411,656		0	0,958	
12.06.2016	20:09:24	30,5	30,8	29,6	30,2	1,33	0,3	4,433		15,380		7615,79	#####		0	5,715	
12.06.2016	20:24:24	30,0	30,4	29,7	30,2	1,33	0,2	6,650		19,225		7536,21	#####		0	11,379	
12.06.2016	20:39:24	29,4	30,1	29,8	30,3	1,33	0,9	1,478		4,272		7459,58	8288,425		0	4,405	
12.06.2016	20:54:24	29,1	29,8	29,9	30,3	1,33	1,2	1,108		2,563		7380,34	6150,283		0	3,294	
12.06.2016	21:09:24	28,8	29,5	30,0	30,4	1,33	1,6	0,831		1,923		7301,43	4563,397		0	2,463	
12.06.2016	21:24:24	28,7	29,3	30,0	30,4	1,33	1,7	0,782		1,809		7218,61	4246,241		0	1,984	
12.06.2016	21:39:24	28,2	29,1	30,1	30,4	1,33	2,2	0,605		1,049		7141,01	3245,914		0	2,292	
12.06.2016	21:54:24	27,8	28,8	30,1	30,5	1,33	2,7	0,493		1,139		7063,75	2616,204		0	2,068	
12.06.2016	22:09:24	27,1	28,5	30,2	30,5	1,33	3,4	0,391		0,679		6990,41	2056,003		0	2,288	
12.06.2016	22:24:24	26,5	28,2	30,2	30,5	1,33	4,0	0,333		0,577		6922,30	1730,575		0	2,351	
12.06.2016	22:39:24	26,2	28,0	30,2	30,4	1,33	4,2	0,317		0,366		6855,16	1632,180		0	2,364	
12.06.2016	22:54:24	25,7	27,7	30,3	30,5	1,33	4,8	0,277		0,320		6788,69	1414,310		0	2,289	
12.06.2016	23:09:24	25,9	27,5	30,3	30,5	1,33	4,6	0,289		0,334		6713,07	1459,364		0	1,911	
12.06.2016	23:24:24	25,5	27,3	30,3	30,4	1,33	4,9	0,271		0,157		6641,04	1355,314		0	2,012	
12.06.2016	23:39:24	25,8	27,2	30,3	30,4	1,33	4,6	0,289		0,167		6565,43	1427,266		0	1,669	
12.06.2016	23:54:24	25,0	27,0	30,3	30,3	1,33	5,3	0,251	0,251	0,000	0,000	6498,62	1226,155	1226,155	0	2,059	2,059
13.06.2016	00:09:24	25,2	26,8	30,2	30,3	1,33	5,1	0,261	0,261	0,151	0,151	6425,28	1259,859	1259,859	0	1,712	1,712
13.06.2016	00:24:24	24,9	26,6	30,2	30,3	1,33	5,4	0,246	0,246	0,142	0,142	6353,25	1176,527	1176,527	0	1,713	1,713
13.06.2016	00:39:24	24,9	26,5	30,2	30,3	1,33	5,4	0,246	0,246	0,142	0,142	6280,25	1163,009	1163,009	0	1,612	1,612
13.06.2016	00:54:24	24,4	26,3	30,2	30,2	1,33	5,8	0,229	0,229	0,000	0,000	6213,78	1071,341	1071,341	0	1,776	1,776
13.06.2016	01:09:24	24,5	26,1	30,2	30,2	1,33	5,7	0,233	0,233	0,000	0,000	6146,00	1078,246	1078,246	0	1,521	1,521
13.06.2016	01:24:24	24,4	26,0	30,1	30,2	1,25	5,8	0,216	0,216	0,133	0,133	6072,92	1047,056	1047,056	0	1,493	1,493
13.06.2016	01:39:24	24,3	25,8	30,1	30,1	1,25	5,8	0,216	0,216	0,000	0,000	5998,61	1034,244	1034,244	0	1,398	1,398

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
13.06.2016	01:54:24	24,2	25,7	30,1	30,1	1,25	5,9	0,212	0,212	0,000	0,000	5922,03	1003,734	1003,734	0	1,373	1,373
13.06.2016	02:09:24	24,0	25,5	30,0	30,0	1,25	6,0	0,208	0,208	0,000	0,000	5844,14	974,023	974,023	0	1,347	1,347
13.06.2016	02:24:24	24,2	25,5	30,0	30,0	1,25	5,8	0,216	0,216	0,000	0,000	5766,25	994,181	994,181	0	1,209	1,209
13.06.2016	02:39:24	24,5	25,4	30,0	29,9	1,25	5,4	0,231	0,231	0,142	0,142	5683,13	1052,432	1052,432	0	0,900	0,900
13.06.2016	02:54:24	24,0	25,2	29,9	29,9	1,25	5,9	0,212	0,212	0,000	0,000	5603,93	949,819	949,819	0	1,094	1,094
13.06.2016	03:09:24	24,4	25,1	29,9	29,8	1,15	5,4	0,213	0,213	0,142	0,142	5525,94	1023,323	1023,323	0	0,698	0,698
13.06.2016	03:24:24	25,1	25,1	29,8	29,8	1,15	4,7	0,245		0,000		5431,40	1155,617		0	0,000	
13.06.2016	03:39:24	25,3	25,2	29,8	29,7	1,15	4,4	0,261		0,175		5336,52	1212,846		0	0,123	
13.06.2016	03:54:24	25,9	25,3	29,7	29,6	1,15	3,7	0,311		0,208		5227,27	1412,775		0	0,881	
13.06.2016	04:09:24	25,8	25,3	29,7	29,5	1,15	3,7	0,311		0,416		5118,01	1383,246		0	0,734	
13.06.2016	04:24:24	25,7	25,3	29,6	29,5	1,15	3,8	0,303		0,202		5011,37	1318,782		0	0,571	
13.06.2016	04:39:24	25,4	25,2	29,5	29,3	1,15	3,9	0,295		0,394		4910,93	1259,212		0	0,278	
13.06.2016	04:54:24	25,4	25,1	29,4	29,2	1,15	3,8	0,303		0,405		4805,25	1264,540		0	0,428	
13.06.2016	05:09:24	25,2	25,0	29,3	29,1	1,15	3,9	0,295		0,394		4703,50	1206,026		0	0,277	
13.06.2016	05:24:24	25,2	24,9	29,2	29,0	1,15	3,8	0,303		0,405		4606,64	1212,273		0	0,427	
13.06.2016	05:39:24	25,1	24,8	29,1	28,9	1,15	3,8	0,303		0,405		4504,55	1185,408		0	0,426	
13.06.2016	05:54:24	24,3	24,6	29,0	28,8	1,15	4,5	0,256		0,342		4418,14	981,809		0	0,358	
13.06.2016	06:09:24	24,4	24,6	28,9	28,7	1,15	4,3	0,267		0,358		4326,51	1006,164		0	0,250	
13.06.2016	06:24:24	24,4	24,5	28,8	28,7	1,15	4,3	0,267		0,179		4233,56	984,550		0	0,125	
13.06.2016	06:39:24	24,7	24,5	28,8	28,6	1,15	3,9	0,295		0,394		4140,62	1061,698		0	0,276	
13.06.2016	06:54:24	24,6	24,5	28,7	28,6	1,15	4,0	0,288		0,192		4049,32	1012,331		0	0,134	
13.06.2016	07:09:24	24,3	24,6	28,7	28,5	1,15	4,2	0,274		0,366		3960,64	943,010		0	0,384	
13.06.2016	07:24:24	24,8	24,5	28,6	28,5	1,15	3,7	0,311		0,208		3869,34	1045,769		0	0,436	
13.06.2016	07:39:24	25,5	24,7	28,5	28,4	1,15	2,9	0,397		0,265		3771,51	1300,522		0	1,492	
13.06.2016	07:54:24	27,4	26,0	28,5	28,4	1,07	1,0	1,070		0,769		3668,37	3668,374		0	7,693	
13.06.2016	08:09:24	27,7	26,3	28,4	28,4	1,00	0,7	1,429		0,000		3573,42	5104,892		0	11,023	

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
13.06.2016	08:24:24	27,4	26,5	28,4	28,3	1,00	0,9	1,111		0,854		3483,77	3870,858		0	5,508	
13.06.2016	08:39:24	29,1	26,7	28,3	28,3	1,00	0,8	1,250		0,000		3389,23	4236,538		0	16,683	
13.06.2016	08:54:24	30,5	26,8	28,3	28,3	1,00	2,2	0,455		0,000		3277,70	1489,864		0	9,423	
13.06.2016	09:09:24	30,5	26,4	28,3	28,2	1,00	2,3	0,435		0,334		3159,64	1373,755		0	9,968	
13.06.2016	09:24:24	28,7	26,3	28,2	28,2	1,00	0,5	2,000		0,000		3097,76	6195,529		0	26,587	
13.06.2016	09:39:24	30,7	26,5	28,2	28,2	1,00	2,5	0,400		0,000		3017,94	1207,174		0	9,408	
13.06.2016	09:54:24	28,5	26,7	28,1	28,1	1,00	0,4	2,500		0,000		2979,59	7448,970		0	24,950	
13.06.2016	10:09:24	28,4	27,0	28,1	28,2	1,00	0,2	5,000		3,845		2905,32	#####		0	38,850	
13.06.2016	10:24:24	28,7	27,3	28,1	28,1	1,00	0,6	1,667		0,000		2839,87	4733,119		0	12,989	
13.06.2016	10:39:24	30,2	27,7	28,1	28,1	1,00	2,1	0,476		0,000		2762,66	1315,551		0	6,690	
13.06.2016	10:54:24	29,6	28,0	28,0	28,2	1,00	1,4	0,714		1,099		2693,62	1924,015		0	6,413	
13.06.2016	11:09:24	29,9	28,3	28,1	28,2	1,07	1,7	0,629		0,452		2625,62	1544,485		0	5,297	
13.06.2016	11:24:24	30,6	28,8	28,1	28,3	1,07	2,3	0,465		0,669		2564,43	1114,969		0	4,431	
13.06.2016	11:39:24	30,9	29,1	28,1	28,3	1,07	2,6	0,412		0,592		2498,01	960,772		0	3,931	
13.06.2016	11:54:24	32,4	29,7	28,1	28,4	1,07	4,0	0,268		0,577		2414,60	603,649		0	3,873	
13.06.2016	12:09:24	32,5	30,0	28,2	28,5	1,07	4,0	0,268		0,577		2332,83	583,207		0	3,593	
13.06.2016	12:24:24	32,5	30,4	28,2	28,6	1,07	3,9	0,274		0,789		2262,82	580,211		0	3,102	
13.06.2016	12:39:24	33,9	30,9	28,3	28,7	1,07	5,2	0,206	0,206	0,592	0,592	2160,49	415,478	415,478	0	3,354	3,354
13.06.2016	12:54:24	34,2	31,3	28,4	28,8	1,07	5,4	0,198	0,198	0,570	0,570	2068,60	383,075	383,075	0	3,133	3,133
13.06.2016	13:09:24	33,7	31,8	28,4	28,9	1,07	4,8	0,223		0,801		1980,64	412,634		0	2,309	
13.06.2016	13:24:24	34,7	32,3	28,5	29,0	1,07	5,7	0,188	0,188	0,675	0,675	1891,37	331,820	331,820	0	2,475	2,475
13.06.2016	13:39:24	34,9	32,6	28,6	29,1	1,07	5,8	0,184	0,184	0,663	0,663	1808,64	311,834	311,834	0	2,336	2,336
13.06.2016	13:54:24	35,4	33,1	28,7	29,3	1,07	6,1	0,175	0,175	0,756	0,756	1722,32	282,348	282,348	0	2,232	2,232
13.06.2016	14:09:24	35,4	33,5	28,8	29,4	1,07	6,0	0,178	0,178	0,769	0,769	1639,92	273,321	273,321	0	1,879	1,879
13.06.2016	14:24:24	36,3	33,9	28,9	29,5	1,15	6,8	0,169	0,169	0,679	0,679	1552,38	228,291	228,291	0	2,107	2,107
13.06.2016	14:39:24	35,8	34,1	29,0	29,7	1,15	6,1	0,189	0,189	0,882	0,882	1467,71	240,608	240,608	0	1,661	1,661

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
13.06.2016	14:54:24	36,1	34,4	29,2	29,9	1,25	6,2	0,202	0,202	0,868	0,868	1378,25	222,298	222,298	0	1,639	1,639
13.06.2016	15:09:24	36,1	34,7	29,3	30,1	1,25	6,0	0,208	0,208	1,025	1,025	1297,83	216,305	216,305	0	1,397	1,397
13.06.2016	15:24:24	35,9	34,8	29,4	30,2	1,25	5,7	0,219	0,219	1,079	1,079	1209,58	212,206	212,206	0	1,155	1,155
13.06.2016	15:39:24	37,1	35,0	29,6	30,4	1,25	6,7	0,187	0,187	0,918	0,918	1112,51	166,046	166,046	0	1,889	1,889
13.06.2016	15:54:24	36,4	35,0	29,8	30,6	1,25	5,8	0,216	0,216	1,061	1,061	1029,82	177,555	177,555	0	1,449	1,449
13.06.2016	16:09:24	37,0	35,3	29,9	30,7	1,25	6,3	0,198	0,198	0,977	0,977	930,14	147,642	147,642	0	1,627	1,627
13.06.2016	16:24:24	37,8	35,4	30,1	30,9	1,25	6,9	0,181	0,181	0,892	0,892	838,31	121,494	121,494	0	2,107	2,107
13.06.2016	16:39:24	36,6	35,4	30,2	31,1	1,25	5,5	0,227	0,227	1,258	1,258	748,11	136,020	136,020	0	1,314	1,314
13.06.2016	16:54:24	36,7	35,3	30,4	31,3	1,25	5,4	0,231	0,231	1,282	1,282	659,23	122,079	122,079	0	1,561	1,561
13.06.2016	17:09:24	36,3	35,2	30,5	31,4	1,25	4,9	0,255		1,412		571,65	116,663		0	1,349	
13.06.2016	17:24:24	37,2	35,0	30,7	31,5	1,25	5,7	0,219	0,219	1,079	1,079	483,73	84,865	84,865	0	2,327	2,327
13.06.2016	17:39:24	38,1	35,0	30,9	31,7	1,36	6,4	0,213	0,213	0,961	0,961	387,11	60,486	60,486	0	2,933	2,933
13.06.2016	17:54:24	36,6	34,9	31,0	31,8	1,36	4,8	0,283		1,282		306,07	63,764		0	2,128	
13.06.2016	18:09:24	36,1	34,9	31,1	31,9	1,45	4,2	0,345		1,465		223,47	53,207		0	1,712	
13.06.2016	18:24:24	36,2	34,7	31,2	32,0	1,45	4,2	0,345		1,465		132,94	31,652		0	2,139	
13.06.2016	18:39:24	35,5	34,6	31,4	32,1	1,45	3,4	0,426		1,583		52,86	15,548		0	1,579	
13.06.2016	18:54:24	35,6	34,4	31,5	32,2	1,45	3,4	0,426		1,583		-34,09	-10,025		0	2,105	
13.06.2016	19:09:24	35,3	34,3	31,7	32,3	1,45	3,0	0,483		1,538		-119,73	-39,909		0	1,984	
13.06.2016	19:24:24	34,6	34,1	31,8	32,4	1,45	2,2	0,659		2,097		-196,22	-89,191		0	1,347	
13.06.2016	19:39:24	34,2	33,8	31,8	32,4	1,45	1,8	0,806		2,563		-274,36	-152,422		0	1,312	
13.06.2016	19:54:24	33,9	33,6	31,9	32,5	1,45	1,4	1,036		3,296		-353,47	-252,476		0	1,263	
13.06.2016	20:09:24	33,3	33,2	32,0	32,5	1,45	0,8	1,813		4,806		-434,22	-542,774		0	0,733	
13.06.2016	20:24:24	32,8	32,8	32,1	32,5	1,45	0,3	4,833		10,253		-516,62	#####		0	0,000	
13.06.2016	20:39:24	32,3	32,5	32,1	32,4	1,45	0,1	14,500		23,070		-596,74	#####		0	11,628	
13.06.2016	20:54:24	31,7	32,0	32,1	32,5	1,45	0,8	1,813		3,845		-676,86	-846,073		0	2,169	
13.06.2016	21:09:24	31,0	31,6	32,2	32,4	1,45	1,4	1,036		1,099		-749,48	-535,341		0	2,465	

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T si T_i-T_e>5°C} (W/m ² K)
13.06.2016	21:24:24	30,7	31,2	32,1	32,3	1,45	1,6	0,906		0,961		-817,54	-510,965		0	1,791	
13.06.2016	21:39:24	30,3	30,9	32,1	32,2	1,45	1,9	0,763		0,405		-879,41	-462,850		0	1,804	
13.06.2016	21:54:24	30,0	30,6	32,1	32,2	1,45	2,2	0,659		0,350		-943,90	-429,045		0	1,553	
13.06.2016	22:09:24	29,6	30,3	32,0	32,1	1,45	2,5	0,580		0,308		-1003,83	-401,533		0	1,589	
13.06.2016	22:24:24	29,2	30,0	32,0	32,0	1,45	2,8	0,518		0,000		-1065,41	-380,504		0	1,616	
13.06.2016	22:39:24	29,0	29,8	32,0	31,9	1,45	2,9	0,500		0,265		-1129,94	-389,635		0	1,557	
13.06.2016	22:54:24	28,6	29,5	31,9	31,8	1,45	3,2	0,453		0,240		-1193,16	-372,864		0	1,582	
13.06.2016	23:09:24	28,3	29,2	31,9	31,8	1,45	3,5	0,414		0,220		-1256,72	-359,064		0	1,442	
13.06.2016	23:24:24	27,9	29,0	31,9	31,7	1,45	3,8	0,382		0,405		-1310,17	-344,781		0	1,619	
13.06.2016	23:39:24	27,6	28,7	31,8	31,6	1,45	4,0	0,363		0,384		-1364,92	-341,230		0	1,533	
13.06.2016	23:54:24	27,4	28,4	31,8	31,5	1,45	4,1	0,354		0,563		-1410,86	-344,113		0	1,356	
14.06.2016	00:09:24	27,2	28,2	31,7	31,4	1,45	4,2	0,345		0,549		-1464,64	-348,725		0	1,321	
14.06.2016	00:24:24	26,9	27,9	31,6	31,3	1,36	4,4	0,309		0,524		-1509,71	-343,115		0	1,258	
14.06.2016	00:39:24	26,5	27,6	31,6	31,2	1,36	4,7	0,289		0,654		-1551,10	-330,021		0	1,291	
14.06.2016	00:54:24	26,1	27,3	31,5	31,1	1,36	5,0	0,272	0,272	0,615	0,615	-1584,98	-316,997	-316,997	0	1,319	
14.06.2016	01:09:24	26,1	27,1	31,4	31,0	1,36	4,9	0,278		0,628		-1625,40	-331,715		0	1,120	
14.06.2016	01:24:24	25,7	26,9	31,3	30,9	1,36	5,2	0,262	0,262	0,592	0,592	-1657,02	-318,657	-318,657	0	1,263	1,263
14.06.2016	01:39:24	25,6	26,6	31,1	30,7	1,36	5,1	0,267	0,267	0,603	0,603	-1684,08	-330,211	-330,211	0	1,071	1,071
14.06.2016	01:54:24	25,4	26,5	31,0	30,6	1,36	5,2	0,262	0,262	0,592	0,592	-1709,83	-328,813	-328,813	0	1,154	1,154
14.06.2016	02:09:24	25,3	26,4	30,9	30,5	1,36	5,2	0,262	0,262	0,592	0,592	-1733,31	-333,328	-333,328	0	1,152	1,152
14.06.2016	02:24:24	25,1	26,2	30,8	30,4	1,36	5,3	0,257	0,257	0,580	0,580	-1756,79	-331,469	-331,469	0	1,128	1,128
14.06.2016	02:39:24	24,7	25,9	30,7	30,3	1,36	5,6	0,243	0,243	0,549	0,549	-1770,15	-316,098	-316,098	0	1,161	1,161
14.06.2016	02:54:24	24,8	25,9	30,6	30,2	1,36	5,4	0,252	0,252	0,570	0,570	-1780,89	-329,795	-329,795	0	1,104	1,104
14.06.2016	03:09:24	25,0	25,8	30,5	30,0	1,25	5,0	0,250	0,250	0,769	0,769	-1796,35	-359,270	-359,270	0	0,868	
14.06.2016	03:24:24	24,8	25,6	30,4	30,0	1,25	5,2	0,240	0,240	0,592	0,592	-1806,13	-347,332	-347,332	0	0,833	0,833
14.06.2016	03:39:24	24,7	25,5	30,3	29,9	1,25	5,2	0,240	0,240	0,592	0,592	-1803,17	-346,764	-346,764	0	0,832	0,832

Anexo D: Datos de monitorización con ALMEMO 2590-4AS y datos instantáneos derivados de transmitancia térmica

Fecha	Hora	T _e (°C)	T _{se} (°C)	T _{si} (°C)	T _i (°C)	q/dt (W/m ²)	T _i -T _e (°C)	U _{qT} (W/m ² K)	U _{qT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	U _{hT} (W/m ² K)	U _{hT} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	q _F (W/m ²)	U _{qT,F} (W/m ² K)	U _{qT,F} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)	V _v (m/s)	U _{A&T} (W/m ² K)	U _{A&T} si T _i -T _e >5°C (W/m ² K)
14.06.2016	03:54:24	24,5	25,3	30,2	29,8	1,25	5,3	0,236	0,236	0,580	0,580	-1795,00	-338,678	-338,678	0	0,815	0,815
14.06.2016	04:09:24	24,4	25,2	30,0	29,7	1,16	5,3	0,219	0,219	0,435	0,435	-1777,76	-335,426	-335,426	0	0,814	0,814
14.06.2016	04:24:24	24,1	25,0	29,9	29,5	1,16	5,4	0,215	0,215	0,570	0,570	-1755,54	-325,101	-325,101	0	0,896	0,896
14.06.2016	04:39:24	24,1	24,9	29,8	29,5	1,16	5,4	0,215	0,215	0,427	0,427	-1734,63	-321,228	-321,228	0	0,796	0,796
14.06.2016	04:54:24	24,0	24,9	29,8	29,4	1,16	5,4	0,215	0,215	0,570	0,570	-1718,61	-318,262	-318,262	0	0,895	0,895
14.06.2016	05:09:24	23,8	24,6	29,7	29,4	1,16	5,6	0,207	0,207	0,412	0,412	-1702,26	-303,974	-303,974	0	0,765	0,765
14.06.2016	05:24:24	23,6	24,4	29,6	29,3	1,16	5,7	0,204	0,204	0,405	0,405	-1685,90	-295,772	-295,772	0	0,751	0,751
14.06.2016	05:39:24	23,1	24,0	29,5	29,2	1,16	6,1	0,190	0,190	0,378	0,378	-1663,01	-272,624	-272,624	0	0,785	0,785
14.06.2016	05:54:24	22,8	23,9	29,4	29,1	1,16	6,3	0,184	0,184	0,366	0,366	-1637,50	-259,921	-259,921	0	0,928	0,928
14.06.2016	06:09:24	23,0	23,8	29,2	28,9	1,16	5,9	0,197	0,197	0,391	0,391	-1622,79	-275,049	-275,049	0	0,721	0,721
14.06.2016	06:24:24	23,1	23,8	29,2	28,8	1,16	5,7	0,204	0,204	0,540	0,540	-1608,07	-282,118	-282,118	0	0,653	0,653
14.06.2016	06:39:24	23,0	23,6	29,1	28,7	1,16	5,7	0,204	0,204	0,540	0,540	-1589,78	-278,908	-278,908	0	0,559	0,559
14.06.2016	06:54:24	22,8	23,5	28,9	28,6	1,16	5,8	0,200	0,200	0,398	0,398	-1564,95	-269,819	-269,819	0	0,640	0,640
14.06.2016	07:09:24	22,7	23,4	28,8	28,4	1,16	5,7	0,204	0,204	0,540	0,540	-1535,57	-269,398	-269,398	0	0,650	0,650
14.06.2016	07:24:24	22,9	23,4	28,7	28,3	1,16	5,4	0,215	0,215	0,570	0,570	-1512,72	-280,133	-280,133	0	0,491	0,491
14.06.2016	07:39:24	23,2	23,5	28,5	28,2	1,07	5,0	0,214	0,214	0,461	0,461	-1485,07	-297,015	-297,015	0	0,319	
14.06.2016	07:54:24	24,2	24,4	28,4	28,0	1,07	3,8	0,282		0,809		-1458,98	-383,943		0	0,282	
14.06.2016	08:09:24	25,0	24,8	28,3	28,0	1,07	3,0	0,357		0,769		-1418,52	-472,839		0	0,360	
14.06.2016	08:24:24	25,5	25,0	28,2	27,9	1,00	2,4	0,417		0,961		-1378,46	-574,357		0	1,128	
14.06.2016	08:39:24	25,6	25,0	28,1	27,7	1,00	2,1	0,476		1,465		-1341,28	-638,705		0	1,548	
14.06.2016	08:54:24	26,5	25,3	27,9	27,7	1,00	1,2	0,833		1,282		-1293,65	#####		0	5,451	
14.06.2016	09:09:24	26,7	24,8	27,9	27,6	1,00	0,9	1,111		2,563		-1228,06	#####		0	11,490	
14.06.2016	09:24:24	26,9	24,8	27,8	27,6	1,00	0,7	1,429		2,197		-1167,36	#####		0	16,345	
14.06.2016	09:39:24	29,1	25,0	27,7	27,5	1,00	1,6	0,625		0,961		-1156,66	-722,912		0	14,130	
14.06.2016	09:54:24	27,2	25,4	27,7	27,5	1,00	0,3	3,333		5,127		-1094,99	#####		0	32,837	
14.06.2016	10:09:24	26,8	25,6	27,6	27,5	1,00	0,7	1,429		1,099		-1059,12	#####		0	9,372	

15 Índice de tablas

Tabla 1: Algunos materiales de construcción y su conductividad térmica aproximada. Fuente: (Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables).....	28
Tabla 2: Algunos materiales de construcción y su densidad, calor específico y calor específico volumétrico. Fuente: (Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables) ...	30
Tabla 3: Tabla auxiliar para el cálculo de la temperatura operativa.....	33
Tabla 4: Valores límite de la zona de confort establecida por el RITE para los edificios españoles	33
Tabla 5: Valores de cálculo para las resistencias superficiales y coeficientes de convección superficial exteriores e interiores de los cerramientos exteriores de edificios.....	37
Tabla 6: Resumen de propiedades relacionadas con transmisión de calor por conducción y convección. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 7: Difusividad materiales de construcción (Miliarium.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2016)	40
Tabla 8: Principales errores posibles en una medición con termoflujómetro, y su cuantificación, según (Ficco et al., 2015).....	53
Tabla 9: Principales errores posibles en una medición con termoflujómetro, y su cuantificación, según (Lorencio Pérez, Molina García, & García Legaz-Quesada, 2014)	53
Tabla 10: Resumen de las principales características de los distintos métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos. Fuente: Elaboración propia a partir de la información estudiada durante la realización del estado de la cuestión.....	62
Tabla 11: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C1. Fuente: Sección, materiales y espesores estimados. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE. excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946.....	72
Tabla 12: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C2. Fuente: Sección, materiales y espesores obtenidos de documentación técnica. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946	72
Tabla 13: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C3. Fuente: Sección, materiales y espesores estimados. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946.....	73
Tabla 14: Sección constructiva, materiales, espesor de cada capa y conductividad de cada material para el cerramiento C4. Fuente: Sección, materiales y espesores estimados. Valores de conductividad tomados del catálogo de elementos constructivos del CTE excepto el de la cámara de aire, que se toma de la UNE-EN ISO 6946.....	73
Tabla 15: Periodos de monitorización de los cerramientos con las sondas de temperatura y el termoflujómetro.	74
Tabla 16: Resumen de las principales características de los distintos métodos de evaluación de la transmitancia térmica de cerramientos. Fuente: Elaboración propia a partir de la información estudiada durante la realización del estado de la cuestión y de la experiencia propia a lo largo de la realización de la campaña experimental.....	97

Tabla 17: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C1 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.	113
Tabla 18: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C2 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.	113
Tabla 19: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C3 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.	114
Tabla 20: Datos necesarios para el cálculo teórico de la transmitancia térmica del cerramiento C4 y resultado de transmitancia térmica según UNE-EN ISO 6946 y aplicando el coeficiente corrector propuesto para Sevilla por Pérez Bella et al. (2015), igual a 1,0385.	114
Tabla 21: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C1.	115
Tabla 22: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C2.	115
Tabla 23: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C3.	116
Tabla 24: Factores correctores del flujo de calor por efecto de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 y datos necesarios para su cálculo. Cerramiento C4.	116
Tabla 25: Datos procedentes de la monitorización del cerramiento C3 con el equipo TESTO 435-2 y resultados instantáneos de transmitancia térmica aplicando la Ecuación 42.	117
Tabla 26: Datos procedentes de la monitorización del cerramiento C4 con el equipo ALMEMO 2590-4AS y resultados instantáneos de transmitancia térmica aplicando las Ecuaciones 24, 42 y 44, así como los coeficientes correctores por razón de la capacidad térmica de los materiales según ISO 9869-1 (2014).	135

16 Índices de figuras

16.1 Índice de imágenes

Imagen 1: Logotipo de la Conferencia por el Cambio Climático celebrada en París en 2015, donde se redactó y aprobó el Acuerdo de París. (Naciones Unidas, 2016).....	19
Imagen 2: Modelo de etiqueta de eficiencia energética para edificio terminado. (MINETUR, 2013)	20
Imagen 3: Representación informal del balance térmico del edificio, donde pueden observarse algunos de los elementos fundamentales que intervienen sobre el mismo. Fuente: (Bellido, 2016).....	25

Imagen 4: Distribución de temperaturas a lo largo de una barra que conecta dos medios a distinta temperatura desde el momento en el que aumenta la temperatura del primero. Fuente: (López Rosa, 2016)	26
Imagen 5: Transmisión de calor por convección en el aire de una habitación. Fuente: (Ivey, 2008).....	28
Imagen 6: Radiación térmica atravesando el vidrio de una ventana. Fuente: (Midori Shimabukuro, 2012)	29
Imagen 7: Clasificación de las provincias españolas según la zona climática de invierno o verano de su capital. Fuente: (Grupo Inalsa, 2014)	30
Imagen 8: Diagrama psicrométrico convencional. Zona de confort definida en verde. (Givoni, 1969)	32
Imagen 9: Diagrama psicrométrico de Olgay. Fuente: (Olgay, 1963)	32
Imagen 10: Esquema de la envolvente térmica de un edificio. Fuente: CTE-DB HE1 (2006)	34
Imagen 11: Representación gráfica del fenómeno de la capa límite térmica en la cara interior de un cerramiento. Fuente: (López Rosa, 2016)	36
Imagen 12: Líneas de flujo de calor en la parte continua de un cerramiento (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).	39
Imagen 13: Líneas de flujo de calor en la esquina de un cerramiento. Ejemplo de puente térmico (Plataforma Edificación Passivhaus, 2011).....	39
Imagen 14: Efecto de la amortiguación de onda térmica (Neila González & Bedoya Frutos, 1997).	41
Imagen 15: Ventilación natural convencional. Fuente: (Del Toro Antúnez Arquitectos, 2015)	42
Imagen 16: Esquema de intercambiador de calor. (agriNews, 2014)	42
Imagen 17: Infiltraciones al interior de un edificio a través de juntas y otros elementos mal ejecutados. (Del Toro Antúnez Arquitectos, 2015)	43
Imagen 18: Equipo de ensayo para medición de la estanqueidad de la envolvente. (Colaboradores de Wikipedia, 2016).....	43
Imagen 19: Pueblo de Casares (Málaga), cuyas edificaciones están pintadas de color blanco para favorecer la reflexión de la radiación solar. (Sánchez, 2015).....	44
Imagen 20: Cámara termográfica. (ASM. Aislamiento sustentable de México, 2016)..	48
Imagen 21: Termograma de un edificio. (Melgosa Revillas, 2014).....	48
Imagen 22: Mapa de España con los valores del factor de corrección de conductividad térmica aplicables a los valores estándar de cualquier material (%). (Pérez Bella et al., 2015)	50
Imagen 23: Esquema de caja caliente calibrada. UNE-EN ISO 8990 (AENOR, 1997) 50	
Imagen 24: Caja caliente guardada. (Gobierno Vasco. Departamento de Empleo y Políticas Sociales, 2009).....	50
Imagen 25: Detalle del termoflujómetro. Puede observarse el conjunto de termopares que permite la lectura del voltaje a transformar posteriormente en densidad de flujo de calor. Fuente: (Ahlborn Mess und Regelungstechnik GmbH, 2011)	51

Imagen 26: Termograma de un hierro soldador a 400K próximo a la superficie de un cerramiento, del cual se pueden extraer los datos necesarios para hallar la emisividad de su superficie. Fuente: (Albatici & Tonelli, 2010)	58
Imagen 27: Caja térmica instalada en el laboratorio. Al fondo, cara interior del cerramiento que la separa el ambiente exterior, con varias sondas de temperatura instaladas. Fuente: Elaboración propia.	69
Imagen 28: Equipo TESTO 435-2. Gestor de datos y sondas de temperatura. Fuente: Elaboración propia.....	74
Imagen 29: Equipo ALMEMO 2590-4AS. Gestor de archivos, sondas de temperatura y termoflujómetro. Fuente: Elaboración propia.	74
Imagen 30: Algunos termogramas del cerramiento C1, obtenidos en campaña experimental realizada en el marco de este trabajo. Fuente: Elaboración propia.....	75
Imagen 31: Equipos instalados en C1. Fuente: Elaboración propia.	76
Imagen 32: Equipos instalados en C2. Fuente: Elaboración propia.	76
Imagen 33: Equipos instalados en C3. Fuente: Elaboración propia.	76
Imagen 34: Sondas para temperaturas exteriores superficial y ambiente en C3. Fuente: Elaboración propia.....	76

16.2 Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Relación entre el consumo y la demanda de energía.	22
Ecuación 2: Flujo de calor [J/s] o [W]. Dónde: Q = Energía calorífica o calor (J); t = Tiempo (s).	25
Ecuación 3: Densidad (superficial) de flujo de calor en régimen estacionario [J/(s*m ²)] o [W/m ²]. Dónde: ϕ = Flujo de calor (W); A = Área atravesada por el flujo de calor (m ²).	25
Ecuación 4: Ley de Fourier. Dónde: K = Conductividad térmica del material entre ambos puntos [W/(m*K)]; T = Diferencia de temperatura entre ambos puntos (K); x = Distancia entre ambos puntos (m).	27
Ecuación 5: Conductividad térmica de un material [W/(m*K)]. Dónde: ϕ = Flujo de calor (J); e = espesor (m); A = Área (m ²); ΔT = Diferencia de temperatura (K).	27
Ecuación 6: Resistividad térmica de un material [m*K/W]. Dónde: K = Conductividad térmica [W/m*K].	27
Ecuación 7: Emitancia radiante de un cuerpo [W/m ²]. ϵ = Emisividad (adimensional); T = temperatura del cuerpo (K); σ = constante de Stefan-Boltzmann = 5.6699*10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴	28
Ecuación 8: Coeficiente de reflexión (α_r) (adimensional), siendo I_r la radiación reflejada por un cuerpo e I_i la radiación incidente sobre el mismo.	29
Ecuación 9: Coeficiente de transmisión (α_t) (adimensional), siendo I_t la radiación transmitida por un cuerpo e I_i la radiación incidente sobre el mismo.	29
Ecuación 10: Coeficiente de absorción (α_a) (adimensional), siendo I_t la radiación absorbida por un cuerpo e I_i la radiación incidente sobre el mismo.....	29
Ecuación 11: Conservación de la radiación.	29
Ecuación 12: Calor específico volumétrico [J/(m ³ *K)]. Dónde C_e = Calor específico [J/(kg*K)]; ρ = Densidad (kg/m ³).	29

Ecuación 13: Temperatura Operativa ($^{\circ}\text{C}$). Dónde: T_a = temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$); TMR = temperatura media radiante ($^{\circ}\text{C}$); A = constante que depende de la velocidad del aire. Su valor se toma de la Tabla 3..... 33

Ecuación 14: Resistencia térmica [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. ΔT = Diferencia de temperatura (K); q = densidad superficial de flujo de calor (W/m^2). 35

Ecuación 15: Resistencia térmica interna de cuerpos limitados por caras planoparalelas [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. Dónde: d = espesor (m); λ = Conductividad térmica [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]. 35

Ecuación 16: Conductancia térmica [$\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$]. Dónde: R_i = Resistencia térmica interna [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. 35

Ecuación 17: Resistencia térmica interna de un cerramiento [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. Dónde: R_n = Resistencia térmica interna de cada capa [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. 35

Ecuación 18: Resistencia térmica superficial interior [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. Dónde: T_i = Temperatura ambiental interior (K); T_{si} = Temperatura superficial interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m^2). 36

Ecuación 19: Resistencia térmica superficial exterior [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. Dónde: T_e = Temperatura ambiental exterior (K); T_{se} = Temperatura superficial exterior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m^2). 37

Ecuación 20: Coeficiente de convección superficial interior [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]. Dónde: T_i = Temperatura ambiental interior (K); T_{si} = Temperatura superficial interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m^2). 37

Ecuación 21: Coeficiente de convección superficial exterior [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]. Dónde: T_e = Temperatura ambiental exterior (K); T_{se} = Temperatura superficial exterior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m^2). 37

Ecuación 22: Resistencia térmica total [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. Dónde: R_{si} = Resistencia térmica superficial interior [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]; R_{se} = Resistencia térmica superficial exterior [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]; R_n = Resistencia térmica de cada capa [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. 37

Ecuación 23: Transmitancia térmica [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] como inversa de la resistencia térmica total (R_T) [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. 38

Ecuación 24: Transmitancia térmica en función del flujo y la diferencia de temperaturas interior y exterior [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]. Dónde: T_e = Temperatura ambiental exterior (K); T_i = Temperatura ambiental interior (K); q = Densidad superficial de flujo de calor (W/m^2). 38

Ecuación 25: Capacidad calorífica [J/K]. Dónde: Q = Energía calorífica o calor (J); T = Temperatura (K). 39

Ecuación 26: Capacidad calorífica [J/K]. V = Volumen (m^3); ρ = Densidad (kg/m^3); C_e = Calor específico [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]; C_{ev} = Calor específico volumétrico [$\text{kJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$]. 39

Ecuación 27: Difusividad térmica [m^2/s] (Olgay, 1963). Dónde: λ =conductividad térmica [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]; ρ =densidad (kg/m^3); c =calor específico [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]. 40

Ecuación 28: Efusividad térmica [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$]. Dónde: λ =conductividad térmica [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]; ρ =densidad (kg/m^3); c =calor específico [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]. 40

Ecuación 29: Desfase de onda térmica (Neila González & Bedoya Frutos, 1997) (h). Dónde: λ = Conductividad térmica [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]; ρ = densidad (kg/m^3); L = espesor (m); C_e = Calor específico [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]; T = Periodo del fenómeno (24h). 41

Ecuación 30: Módulo de impedancia térmica ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) 41

Ecuación 31: Fase del módulo de impedancia térmica (rad) 41

Ecuación 32: Amortiguación térmica (Neila González & Bedoya Frutos, 1997). Dónde: e = constante de Napier = 2,718... (adimensional); d = Desfase de onda térmica (h).	41
Ecuación 33: Incertidumbre asociada a la conductividad térmica de las capas del cerramiento, estimando su composición material a partir de un testigo extraído del mismo. Dónde: $\lambda_{i, \max}$ & $\lambda_{i, \min}$ = Conductividades máxima y mínima propuestas por una determinada fuente para un material.	49
Ecuación 34: Aplicación del factor de corrección de conductividad térmica. Dónde: λ_c = Conductividad térmica corregida [W/m*K]; CCF = Factor de Corrección de Conductividad térmica (adimensional); λ = Conductividad térmica genérica, sin corrección [W/m*K].	50
Ecuación 35: R_{ik} [m ² *K/W]. Dónde: R_j = Resistencia de cada capa j ; R_{si} = Resistencia superficial interior.	55
Ecuación 36: R_{ek} [m ² *K/W]. Dónde: R_j = Resistencia de cada capa j ; R_{se} = Resistencia superficial exterior.	55
Ecuación 37: F_{ik} [J/K].	55
Ecuación 38: F_{ek} [J/K].	55
Ecuación 39: Factor de masa térmica F_i [J/K].	55
Ecuación 40: Factor de masa térmica F_e [J/K].	55
Ecuación 41: Expresión por la que se deben sustituir los valores de flujo obtenidos tras las primeras 24 h de medición. Dónde: q_j = medición de densidad de flujo obtenida (W/m ²); Δt = Intervalo entre lecturas (s); δT_i = Diferencia entre la temperatura interior media durante las 24h anteriores a la medición y la temperatura interior media durante las primeras 24 h del ensayo (K); δT_e = Diferencia entre la temperatura exterior media durante las 24 h anteriores a la medición y la temperatura exterior media durante las primeras 24 h del ensayo (K); F_i & F_e = Factores definidos anteriormente [J/K].	55
Ecuación 42: Transmitancia térmica a partir de temperaturas y coeficiente de convección superficial [W/(m ² *K)]. Dónde: h_i = Coeficiente de convección superficial interior [W/(m ² *K)]; T_i = Temperatura ambiental interior (K); T_{si} = Temperatura superficial interior (K); T_e = Temperatura ambiental exterior (K).	56
Ecuación 43: Emisividad en función de los datos obtenidos tras la aproximación del hierro al cerramiento. Dónde: T_r = Temperatura reflejada en el cerramiento; T_{out} = Temperatura ambiental exterior; T_s = Temperatura del hierro soldador.	58
Ecuación 44: Transmitancia térmica según (Albatici & Tonelli, 2010) [W/(m ² *K)]. Dónde: ϵ_{tot} = Emisividad total; T_i = Temperatura superficial exterior; T_{int} = Temperatura interior; T_{out} = Temperatura exterior; v = Velocidad del viento cerca del cerramiento.	58

16.3 Índice de gráficos

Gráfico 1: Proporción de energía final consumida en España en 2013 por distintas actividades respecto de la energía final consumida total. Fuente: (IDAE, 2013)	20
Gráfico 2: Proporción de energía final consumida en España en 2009 por distintas actividades relacionadas con la edificación respecto de la energía final consumida total. Fuente: Elaboración propia a partir de (ECODES, 2009) & (IDAE, 2009)	20
Gráfico 3: Número de licencias concedidas en España para obras de nueva planta y rehabilitación. Fuente: Elaboración propia a partir de (Ministerio de Fomento, 2007) & (Ministerio de Fomento, 2015)	21

Gráfico 4: Proporción entre la cantidad de licencias concedidas para obra nueva y rehabilitación en España. Fuente: Elaboración propia a partir de (Ministerio de Fomento, 2007) & (Ministerio de Fomento, 2015)	21
Gráfico 5: Proporción de energía final consumida en viviendas para calefacción. La zona mediterránea está constituida por las Islas Canarias, Andalucía, Murcia, Comunidad Valenciana, Islas Baleares y todas las provincias de Cataluña excepto Lérida. Fuente: Elaboración propia a partir de (IDAE).....	21
Gráfico 6: Rangos de temperaturas ambientales definitorios de las zonas de confort propuestas por distintos autores, para ambientes con humedades relativas de en torno al 50% y velocidades de viento muy bajas (Olgay, 1963).....	31
Gráfico 7: Resultados de transmitancia térmica obtenidos por diversos autores utilizando los métodos experimentales de análisis termoflujométrico y análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja, comparándolos con los que obtienen mediante el cálculo teórico. Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios abajo citados.	60
Gráfico 8: Variación del valor de transmitancia térmica obtenido mediante análisis termoflujométrico (violeta) o análisis cuantitativo mediante termografía infrarroja (naranja) respecto del valor obtenido mediante cálculo teórico.....	61
Gráfico 9: Temperaturas medias mensuales, medias mensuales de las temperaturas máximas y medias mensuales de las temperaturas mínimas. Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)	70
Gráfico 10: Temperatura media de cada una de las capitales de provincia dentro de la zona considerada como mediterránea por al IDAE. Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)	70
Gráfico 11: Porcentaje de hogares con instalaciones de calefacción y refrigeración por comunidades autónomas en España. (INE, 2009).....	71
Gráfico 12: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C1.....	78
Gráfico 13: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C2.....	78
Gráfico 14: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C3.....	79
Gráfico 15: Datos de temperatura y densidad de flujo registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 24. Caso C4.....	79
Gráfico 16: Datos de temperatura registrados por el equipo TESTO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C1.	82
Gráfico 17: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C1.	82
Gráfico 18: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C2.	83
Gráfico 19: Datos de temperatura registrados por el equipo TESTO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C3.	83

Gráfico 20: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C3.	84
Gráfico 21: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 42. Caso C4.	84
Gráfico 22: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO, datos de viento y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 44. Caso C1.	86
Gráfico 23: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO, datos de viento y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 44. Caso C2.	87
Gráfico 24: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO, datos de viento y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 44. Caso C3.	87
Gráfico 25: Datos de temperatura registrados por el equipo ALMEMO, datos de viento y datos de transmitancia térmica asociada calculada según la Ecuación 44. Caso C4.	88
Gráfico 26: Valores de transmitancia térmica obtenidos aplicando los distintos métodos sobre los cerramientos de estudio C1, C2, C3 y C4. Dónde:	91

16.4 Índice de esquemas

Esquema 1: Mecanismos de transmisión del calor a través de la envolvente térmica del edificio y propiedades de la misma relacionadas con cada mecanismo. Fuente: Elaboración propia.	35
---	----