

# **METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS MUROS DE TAPIA EN LA COMARCA DE LA SERRANÍA (VALENCIA)**

*Laura Balaguer Garzón. Arquitecto, Técnico Superior de Investigación, Instituto de Restauración del Patrimonio (Universitat Politècnica de València). Valencia, España.*

*Gabriel Barbeta i Solà. Doctor Arquitecto, Profesor Asociado, Universitat de Girona. Girona, España.*

*Fernando Vegas López-Manzanares. Doctor Arquitecto, Profesor Titular de Universidad, Departamento de Composición Arquitectónica (Universitat Politècnica de València). Valencia, España.*

*Camilla Mileto. Doctor Arquitecto, Profesor Titular de Universidad, Departamento de Composición Arquitectónica (Universitat Politècnica de València). Valencia, España.*

*PALABRAS CLAVE: comportamiento térmico, inercia térmica, tapia*

## **1. Introducción**

En distintas regiones de la Península Ibérica, la convergencia de factores geográficos, socioculturales y climáticos ha dado como resultado un conjunto de soluciones constructivas vernáculas que se caracterizan por su adaptación al entorno. Asimismo, los constructores anónimos, conocedores de las propiedades de los materiales tradicionales empleados en distintas técnicas a través de la experiencia, empleaban sus conocimientos para erigir inmuebles que respondieran tanto a las necesidades funcionales como de confort de sus usuarios.

Sin embargo, la normativa vigente actualmente en España no contempla las propiedades de los materiales tradicionales, como es el caso de los sistemas construidos con tierra, cuya gran inercia térmica contribuye a atenuar las variaciones térmicas. A la vista de la incongruencia existente entre el comportamiento térmico real de la arquitectura tradicional de tierra y la normativa en torno a los límites admisibles de parámetros como la transmitancia térmica, resulta necesario desarrollar métodos de evaluación que se ajusten a su comportamiento real.

Así, en este trabajo se describe la metodología experimental empleada en la evaluación del comportamiento térmico de cuatro casos de estudio situados en la comarca de la Serranía de Valencia, que a fecha de presentación de la comunicación se encuentra en una fase de desarrollo inicial. Esta pequeña región constituye un área de gran riqueza natural que alberga, entre otras, construcciones vernáculas de tapia en sus múltiples variantes (Balaguer 2017), cuya lógica constructiva sigue las directrices impuestas por el lugar donde se ubican y los materiales con las que se ejecutan. Cabe señalar, además, que este trabajo forma parte de una investigación más amplia<sup>i</sup> centrada en el estudio de la arquitectura tradicional de tierra en la Península Ibérica, donde se analiza este patrimonio desde distintos puntos de vista, como su comportamiento bioclimático y la eficiencia energética en las intervenciones.

## **2. Objetivos**

El presente artículo tiene como objetivo presentar la metodología de evaluación del comportamiento térmico de los muros de tapia desarrollada por los investigadores, mediante la que se realiza un análisis comparativo entre los parámetros teóricos y reales calculados a través de métodos normalizados. El procedimiento seguido se aplica al análisis de una serie de casos de estudio

representativos de la arquitectura tradicional de tierra en una zona acotada, con unas características geográficas y climáticas concretas, que presenta un gran número de inmuebles tradicionales construidos con tapia en distintas variantes que incorporan materiales locales. La metodología desarrollada podrá ser empleada para evaluar posteriormente otros edificios tradicionales ejecutados con tapia dada la facilidad de reproducción del procedimiento.

### 3. La comarca de La Serranía: contexto geográfico y climático

La comarca de La Serranía, situada al noroeste de la provincia de Valencia, es una región que se caracteriza por su singularidad geográfica, donde convergen dos paisajes característicos de las tierras valencianas: la montaña y la huerta. Su extenso territorio de orografía abrupta atravesada por el río Turia alterna los montes con un mosaico de campos de cultivo salpicado de asentamientos rurales.

La comarca se sitúa en la región geomorfológica correspondiente a la culminación sudoriental de las cadenas ibéricas, siendo la caracterización geológica de este territorio variada, con predominancia de calizas y margas y, en menor medida, dolomías y arcillas y margas con yesos.

Si bien el territorio valenciano disfruta de un clima mediterráneo de inviernos moderados y veranos poco calurosos, con un carácter semiárido, la situación geográfica de la comarca de La Serranía en una zona alejada de la costa junto con su relieve son los responsables de la existencia de ciertos matices a la hora de definir su clima. De este modo, en la comarca pueden distinguirse tres sectores con características climáticas propias (Pérez 1994), que se hacen más extremas hacia el norte y hacia el sur (Fig. 1):

- Clima de la franja de transición, donde se produce una mayor oscilación térmica y la distribución pluviométrica es heterogénea.
- Clima de montaña del noroeste, que se caracteriza por sus temperaturas medias más frías debido a la altitud del territorio y las precipitaciones son abundantes y regulares.
- Clima del sector central occidental, con una elevada oscilación térmica como consecuencia del carácter continental de la zona y caracterizada por la escasez de lluvias.



Figura 1. Mapa de los sectores climáticos en la comarca de La Serranía. Fuente: Laura Balaguer (en base a Pérez 1994)

La combinación del relieve accidentado, la variedad de materiales geológicos y el clima diverso según zonas ha dado como resultado una gran riqueza natural de la comarca, que tiene su reflejo en el amplio abanico de técnicas constructivas tradicionales presentes en La Serranía, especialmente aquellas construidas en tierra.

#### **4. El comportamiento bioclimático de la arquitectura tradicional**

La arquitectura tradicional nace como respuesta a las necesidades de los habitantes de una región concreta, empleando para su construcción los materiales disponibles en el entorno próximo y atendiendo a la realidad geográfica, climática, cultural y socioeconómica del lugar. En el caso de la comarca de La Serranía, donde la actividad económica se basaba hasta hace apenas unas décadas en el sector primario, la arquitectura vernácula está asociada tanto a los oficios tradicionales como al uso residencial. Así, las construcciones de tierra en esta pequeña región, particularmente aquellas ejecutadas con muros de tapia, corresponden a la tipología arquitectónica de vivienda tradicional ubicada en un núcleo de población y de pajar (inmuebles de carácter agrícola) situado en la zona de acceso al mismo, siendo el primer tipo más habitual (Balaguer 2017).

##### **4.1. Estrategias de diseño bioclimático de la arquitectura tradicional**

La lógica constructiva de estos inmuebles está notablemente condicionada por los parámetros climáticos, ya que las soluciones empleadas deben adaptarse tanto a las altas temperaturas que se registran en algunas jornadas estivales como a las bajas temperaturas y condiciones pluviométricas que caracterizan los inviernos.

De este modo, los muros portantes de tapia alcanzan, como mínimo, espesores de 45 centímetros en fachadas y medianeras para aprovechar su gran inercia térmica. Los muros presentan pocas perforaciones para evitar pérdidas calóricas, a excepción de los vanos de algún balcón ocasional y de la buhardilla. Esta última estancia, que está cubierto pero ventilado y ocupa el nivel superior de la vivienda en toda su superficie, constituye un elemento esencial para el acondicionamiento térmico del edificio, ya que actúa como un filtro que suaviza la transición de las condiciones higrótérmicas del exterior a las del interior. Por otra parte, la distribución interior de la vivienda presenta una sectorización en estancias de pequeñas dimensiones con el objetivo de minimizar las fugas de calor y acelerar el alcance de la temperatura de confort óptima en invierno (Matoses 2015).

A la vista de las estrategias de diseño descritas, queda patente que la arquitectura tradicional ya hacía uso de los criterios constructivos que actualmente se asocian a la arquitectura bioclimática, es decir, aquella que logra el máximo confort de los usuarios en el interior del edificio con el mínimo uso de recursos posible. En ambos casos, se trata de una arquitectura que se adapta a las condiciones climáticas de su entorno, aprovechando los elementos reguladores del clima del exterior mediante diferentes estrategias de diseño y recurriendo, en tiempos recientes, a fuentes de energía renovables.

##### **4.2. Fundamentos teóricos de la arquitectura bioclimática aplicados al estudio de la arquitectura tradicional**

El confort térmico y la eficiencia energética conseguidos por la arquitectura bioclimática se basan en el aprovechamiento de los recursos naturales del entorno donde se ubican los edificios estudiados, tales como la luz y la radiación solares, los vientos, la vegetación existente y las temperaturas del lugar. El aprovechamiento de los mismos requiere el conocimiento previo de una serie de características del edificio y de las propiedades de la materia prima, en los cuales se basa la metodología de evaluación del comportamiento térmico desarrollada en este trabajo.

En primer lugar, es fundamental estudiar la posición del edificio en su entorno (urbano o rural) y definir la orientación de sus fachadas, pues de estas características depende el aprovechamiento

óptimo la radiación solar como fuente de calentamiento de los elementos constructivos para la posterior cesión de calor al aire interior de los inmuebles.

La capacidad de acumulación térmica de los materiales que componen los sistemas constructivos determina la capacidad de alcanzar niveles de confort interior óptimos en el edificio. Así, esta propiedad conocida como inercia térmica juega un papel esencial en las estrategias de diseño de la arquitectura bioclimática tradicional, particularmente de los elementos constructivos como los muros. Esta propiedad depende de la masa térmica, el calor específico del material y su coeficiente de conductividad térmica.

La orientación de las fachadas está estrechamente relacionada con el aprovechamiento de la gran inercia térmica de los muros de tapia, de tal forma que aquellos cuya superficie está orientada al sur reciben mayor radiación solar durante el día y acumulan más calor, que se cede progresivamente al espacio interior que delimitan.

Cabe señalar que la inercia térmica lleva aparejada dos fenómenos complementarios que es necesario considerar al evaluar el comportamiento térmico de los muros de tapia: el retardo de la temperatura interior respecto a la temperatura exterior y la amortiguación, por el que la variación interior de temperatura es inferior a la variación exterior.

Por otra parte, la difusividad térmica caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura de un material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se trata de una propiedad que relaciona la conductividad térmica, el calor específico y la densidad del material.

#### 4.3. Contradicciones del comportamiento bioclimático con las exigencias del Código Técnico de la Edificación

En el marco del Código Técnico de la Edificación (CTE), normativa vigente en España, resulta relevante la existencia desde 2006 del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE), que tiene como objetivo mejorar la calidad de la edificación y conseguir un uso racional de la energía necesaria en la utilización de edificios como consecuencia de las características básicas de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Si bien los requisitos de esta normativa buscan la reducción del consumo de energía, estas exigencias pretenden, al mismo tiempo, mantener los servicios energéticos sin disminuir el confort y la calidad de vida, de modo que se asegure el abastecimiento y se proteja el medio ambiente.

Sin embargo, esta normativa no contempla las propiedades de los materiales tradicionales, como es el caso de los sistemas contruidos con tierra, cuya gran inercia térmica es despreciada pese a las ganancias y compensaciones térmicas que supone. Como consecuencia de su aplicación y a la vista de los valores de la transmitancia térmica teórica que establecen, los sistemas constructivos tradicionales de tierra requerirían un aumento de su aislamiento térmico para cumplir las exigencias de la normativa.

La fiabilidad de esta normativa en su aplicación a la evaluación de los edificios tradicionales contruidos en tierra resulta cuestionable, por lo que resulta conveniente recurrir a otros métodos normalizados que permiten calcular el valor de la transmitancia térmica real de estos elementos constructivos mediante la medición previa de variables ambientales in situ.

### 5. Metodología de evaluación del comportamiento térmico de los muros de tapia

La investigación propuesta tiene como objetivo evaluar el comportamiento térmico de los muros de tapia ejecutados con técnicas tradicionales en la comarca de La Serranía desde un punto de vista dinámico. A través del análisis de datos higrotérmicos recogidos por los aparatos de medición se realizará el cálculo de la transmitancia térmica de las fachadas estudiadas mediante la norma UNE

EN ISO 6946, para comparar posteriormente este valor obtenido experimentalmente con el valor teórico establecido por el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE).

### 5.1. Elección de casos de estudio

Considerando los medios disponibles y teniendo en cuenta los fundamentos teóricos en los que se basa el estudio, se define inicialmente el número de casos a analizar en el territorio estudiado, que asciende a un total de cuatro. Dada la amplia presencia de distintas variantes de tapia en la región estudiada, se escogen edificios construidos con esta técnica tradicional e intervenidos, repartidos en diferentes localidades y con características similares de inserción urbana, número de plantas, uso y orientación de la fachada principal (preferiblemente sur o sureste).

Para la elección de los casos de estudio se recurre a la base de datos resultante de una investigación previa centrada en el estudio de la arquitectura tradicional de tierra en La Serranía. La accesibilidad a los inmuebles y su uso actual resultan esenciales a la hora de realizar la elección, quedando así reducido el número de edificios susceptibles de ser estudiados. Los casos de estudio elegidos así como sus características básicas se recogen en la siguiente tabla 1.

CASOS DE ESTUDIO				
DIRECCIÓN	LOCALIZACIÓN	USO ACTUAL	PLANTAS	ORIENTACIÓN
C/San Miguel 15	Villar del Arzobispo	Residencial	PB+2	Sureste
C/Hospital 2	Villar del Arzobispo	Museo	PB+2	Sureste
C/Colladico 13	Bugarra	Residencial	PB+1	Este
C/Belenguer 1	Chelva	Residencial	PB+3	Sur

Tabla 1. Casos de estudio. Fuente: Laura Balaguer.

Los cuatro edificios estudiados se sitúan en tres localidades diferentes de la comarca de La Serranía, que se sitúan en dos sectores climáticos (Fig. 1) para comprobar si existen diferencias notables en el comportamiento térmico de los muros de tapia dependiendo de las variaciones climáticas. Asimismo, en una de las localidades se han monitorizado dos edificios puesto que tienen un uso actual diferente pero sus características de ubicación en el tejido urbano, técnica constructiva y tipología arquitectónica son análogas. Para cada uno de los casos de estudio se realiza un levantamiento métrico (Fig. 2).

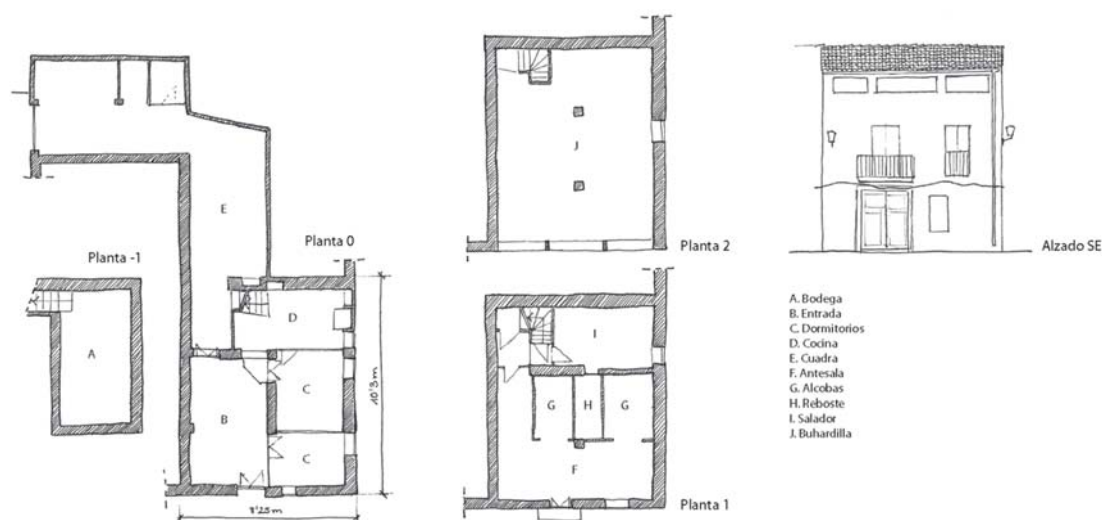


Figura 2. Croquis de la vivienda-museo sita en la calle del Hospital 2 (Villar del Arzobispo). Fuente: Laura Balaguer

## 5.2. Procedimiento

Se sigue la norma UNE EN ISO 6946 que describe el método de cálculo de la resistencia térmica y la transmitancia térmica de los componentes y elementos de la construcción. El método es de aplicación a los componentes y elementos que constan de capas térmicamente homogéneas, como es el caso de los muros de tapia.

En primer lugar, previo a la realización de cálculos, se efectúan lecturas reales de temperatura y humedad, tanto de la superficie como del ambiente, de los muros de tapia y las estancias delimitadas por estos paramentos. Para realizar estas mediciones se han empleado dispositivos de monitorización (*dataloggers*) colocados en los edificios, a razón de tres por inmueble. Los *dataloggers* se disponen en la fachada principal del inmueble (de orientación sur o sureste), en planta primera, colocados a ambas partes del muro adosados a su superficie y en el centro de una estancia contigua. Cada uno de los *dataloggers* registra datos en intervalos de una hora sobre la temperatura y la humedad relativa en la posición en la que se sitúan, distinguiendo así entre los valores de la superficie interior, los del interior y los de la superficie exterior.

Antes de colocar los *dataloggers* en las fábricas de los edificios se realiza una inspección con una cámara termográfica para comprobar que no existen anomalías ni discontinuidades materiales en los muros donde se coloca los dispositivos. Si bien la técnica constructiva de los casos de estudio es la tapia, esta es de una variante (tapia careada con piedra) que incluye en espesor de la fábrica tanto tierra como mampuestos. Esta condición se ha tenido en cuenta a la hora de colocar los *dataloggers*, que se han adosado a superficies de tierra (Fig. 3).

Por otra parte, los *dataloggers* colocados en la superficie exterior de la fachada se protegen de la radiación directa con un material frío y reflectante como el aluminio para evitar errores por sobrecalentamiento (Fig. 4).

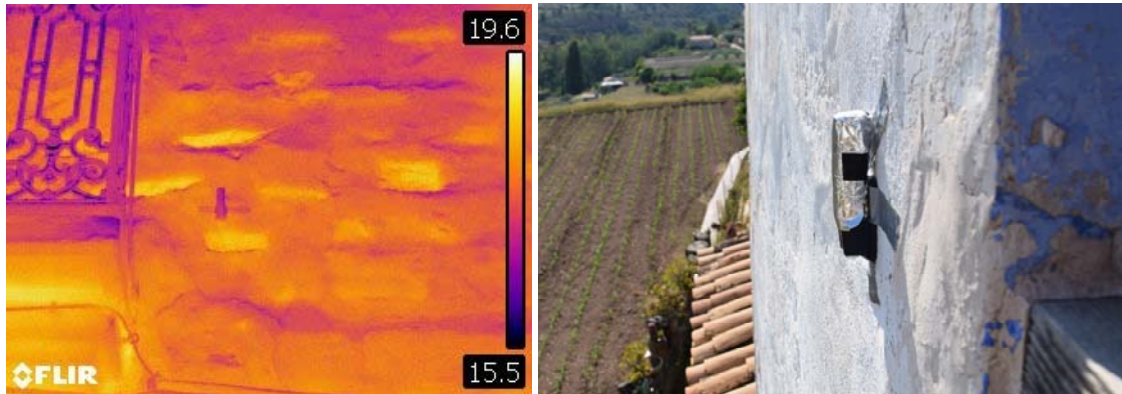


Fig 3. Imagen térmica donde se comprueba la correcta colocación del datalogger sobre la superficie revestida de tierra (Villar del Arzobispo). Fuente: Laura Balaguer

Fig. 4. Detalle del datalogger colocado en la fachada exterior de un caso de estudio (Chelva). Fuente: Laura Balaguer

Los datos adquiridos comprenden un período de tiempo de un año, obteniendo así información de los ciclos de primavera, verano, otoño e invierno. A fecha de presentación de la comunicación, se está procediendo a la extracción de datos correspondientes al período de primavera (Fig. 5). A partir del procesado de los datos obtenidos mediante los dispositivos, en cada muro de tapia monitorizado se realizará un análisis dinámico comparativo entre tres variables: la temperatura superficial exterior del muro ( $T_{se}$ ), la temperatura superficial interior del muro ( $T_{si}$ ) y la temperatura ambiente de la estancia ( $T_{amb}$ ). De este modo, será posible determinar la frecuencia de las variaciones entre la temperatura superficial interior y exterior del muro, así como respecto a la temperatura ambiente interior, que permitirán evaluar numéricamente la contribución de la capacidad calorífica del muro en la transmisión total del calor exterior hacia el interior, de acuerdo a la norma UNE ISO.

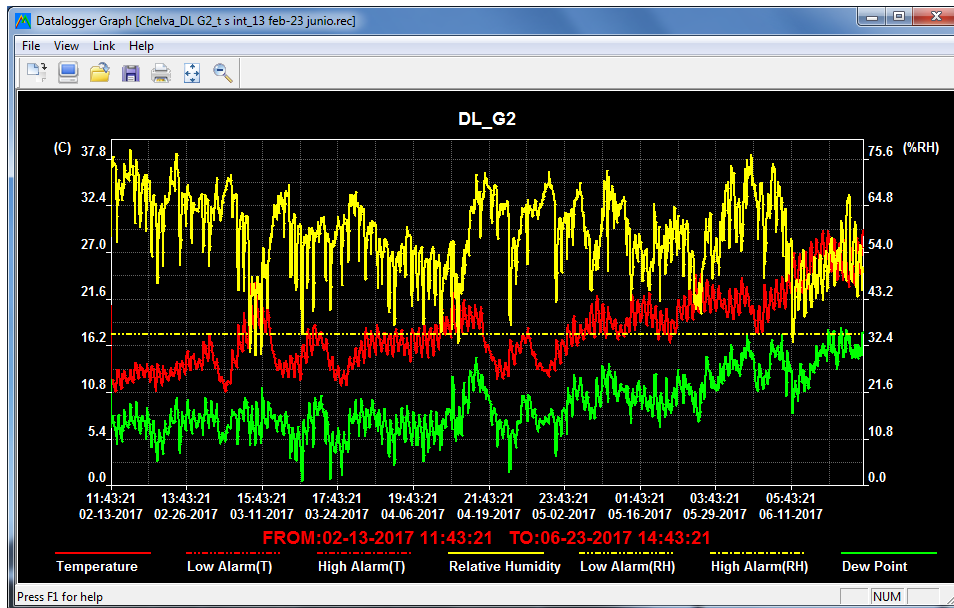


Fig 5. Extracción de datos de un datalogger colocado en la superficie interior de fachada mediante el software “Datalogger Graph”, donde se observan valores de temperatura y humedad antes de ser procesados. Fuente: Laura Balaguer

Los valores de la resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U) reales se calcularán a partir de los datos ambientales recogidos, aplicando la ecuación lineal de Fourier para la obtención de la resistencia térmica para temperatura estabilizada:

$$R = 1/((8*(T_{si} - T_{amb}))/((T_{se} - T_{si})))$$

$$U = 1/R$$

Estos datos se procesarán mediante un procedimiento de promedio progresivo, basado en la idea de que la media de las relaciones instantáneas entre el flujo de calor y las diferencias de temperatura en una escala de tiempo aumenta progresivamente hasta un estado estacionario de la transmitancia térmica.

Por otra parte, los datos se rectificarán en función de las variaciones de la humedad relativa del ambiente, ya que la entalpía (H) la se debería mantener constante. La diferencia es energía que se ha disipado en el aire recirculado o en las absorciones superficiales de humedad ambiental por parte de la tierra de los muros. Según la norma UNE EN ISO 6946 de adopta un coeficiente de convección interior  $h_{ci}$  de 2.5W/m<sup>2</sup>°K.

Una vez procesados los datos obtenidos en cuanto a transmitancia térmica real, en períodos cíclicos dinámicos acotados, se compararán con los valores límite de transmitancia teórica establecidos por el Código Técnico de la Edificación. De este modo, se determinará porcentualmente la disparidad existente entre ambos valores.

## 6. Conclusiones

La arquitectura tradicional de tierra está concebida siguiendo las estrategias de diseño de la arquitectura bioclimática, cuya lógica constructiva aprovecha tanto los condicionantes geográficos y climáticos del lugar como las propiedades de los materiales de construcción. Sin embargo, la aplicación de la normativa vigente supone que estos sistemas constructivos tradicionales son deficientes en cuanto a sus características térmicas, ya que establece valores teóricos de parámetros como la transmitancia térmica que no se corresponden con su comportamiento real. De

acuerdo con otros estudios de monitorización in situ contrastados, es posible determinar la disparidad existente entre los valores teóricos y reales de la transmitancia térmica.

La evaluación del comportamiento térmico real de los muros de tapia constituye un proceso complejo que requiere de una serie de conocimientos previos, no solo en torno a la ciencia térmica sino también sobre las técnicas constructivas tradicionales, las propiedades de los materiales de construcción y el contexto geográfico y climático del edificio objeto de estudio. Es previsible que, como resultado de la aplicación de la metodología de evaluación desarrollada en este trabajo, se muestre una discordancia medible entre los valores de transmitancia térmica teórica y real, obtenidos estos últimos al considerar períodos cíclicos dinámicos.

Por otra parte, cabe señalar que, aun adoptando una metodología de análisis térmico idéntica para los cuatro casos de estudio en una misma región y siendo rigurosos a la hora de realizar las mediciones in situ, los resultados en cuanto al comportamiento térmico de los muros de tapia podrían variar en función de la ubicación, el diseño y el uso de los edificios. En cualquier caso, la aplicación de este procedimiento normalizado garantiza como mínimo la obtención de resultados que muestren la contribución de la capacidad calorífica de los muros de tapia en la transmisión de calor. Así, quedaría patente que es necesaria una revisión de los valores de transmitancia térmica para los muros de tapia establecidos por la normativa actual.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los propietarios e inquilinos de las viviendas estudiadas durante la investigación.

## Bibliografía

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *UNE-EN ISO 6946: elementos y componentes de edificación: resistencia y transmitancia térmica: método de cálculo: (ISO 6946:1996)*. AENOR. Madrid, 1996. España.

BALAGUER GARZÓN, Laura. *La arquitectura tradicional de tierra en La Serranía. Análisis tipológico y constructivo*. Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de València. Valencia, 2017. España.

BARBETA, G.; PARETA, M.M.; CHAMORRO, M. A.; SABATA, M. "Thermal assessment of the behavior of retrofitted rammed earth in central Catalonia". *Vernacular and earthen architecture. Conservation and sustainability*. Taylor & Francis. Londres, 2017. Reino Unido.

MATOSSES ORTELLS, Ignacio. "La vivienda tradicional en La Serranía, equilibrio del acervo como respuesta al habitar". *Arquitectura tradicional y patrimonio de la Serranía Valenciana*. General de Ediciones de Arquitectura. Valencia, 2015. España.

MINISTERIO DE FOMENTO. *Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo*. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 2013. España.

PÉREZ CUEVA, Alejandro J. *Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana, (1961-1990)*. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Valencia, 1994. España.

---

<sup>1</sup>Este trabajo forma parte del proyecto de investigación "La restauración y rehabilitación de arquitectura tradicional de tierra en la Península Ibérica. Líneas guía y herramientas para una intervención sostenible", financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Ref.: BIA2014-55924-R; investigadores principales: Camilla Mileto and Fernando Vegas López-Manzanares).