

MEDICIÓN DE TRANSMITANCIAS PARA INTERVENCIONES SOSTENIBLES EN EDIFICIOS PATRIMONIALES: PROTOCOLO Y APLICACIÓN EN LA CASA-PALACIO DE LOS TORRERO DE ZARAGOZA

A. Borja Pellicena, A. Espinosa Fernández, M.Monzón Chavarrías, M. Gómez Gil, F. Kurtz, B. López Mesa

Built4Life Lab, University of Zaragoza, Zaragoza, España

RESUMEN

La intervención en edificios con valor patrimonial mediante principios de sostenibilidad requiere un conocimiento preciso de su comportamiento térmico para garantizar la adecuación de los cálculos y la pertinencia de las propuestas de mejora. En este contexto, la determinación de la transmitancia térmica de sus cerramientos constituye un parámetro crítico, especialmente en construcciones históricas cuyas soluciones constructivas no se encuentran recogidas en catálogos normativos ni bases de datos habituales. La falta de información fiable conduce a estimaciones excesivamente genéricas que comprometen tanto la exactitud de los modelos como la toma de decisiones en los procesos de rehabilitación.

La presente investigación aborda esta necesidad mediante el desarrollo de un procedimiento sistemático para identificar la solución constructiva existente en los cerramientos y caracterizar su comportamiento energético, incorporando la medición in situ de transmitancias en edificios patrimoniales dentro de un protocolo replicable orientado a intervenciones sostenibles. La metodología propuesta combina recopilación documental, análisis detallado de las soluciones constructivas, mediciones con equipos específicos para transmitancia in situ, termografías y catas, con el objetivo de obtener parámetros térmicos representativos del comportamiento efectivo de los elementos constructivos. Este enfoque se aplica al caso de estudio de la Casa Palacio de los Torrero de Zaragoza, edificio renacentista declarado Bien de Interés Cultural y sede del Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón, donde se desarrolla un estudio integral fruto de la colaboración entre dicho Colegio y la Universidad de Zaragoza.

Los resultados preliminares del caso de estudio ponen de manifiesto la elevada heterogeneidad de las soluciones constructivas originales, intermedias y añadidas, así como la frecuente insuficiencia documental en este tipo de edificios. Asimismo, se observan discrepancias significativas respecto a las estimaciones teóricas basadas en catálogos, lo que confirma la necesidad de procedimientos específicos en edificios donde concurren materiales tradicionales, fases constructivas superpuestas y condiciones de envejecimiento no documentadas. Estas diferencias repercuten de forma directa en la estimación de la demanda energética y en la priorización de intervenciones, pudiendo modificar la evaluación de la eficacia y viabilidad de las medidas propuestas.

PALABRAS CLAVE: transmitancia térmica, rehabilitación, patrimonio, medición in situ, sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de los objetivos europeos de descarbonización para 2050, la rehabilitación del parque edificado existente es una herramienta principal [1] para reducir el consumo energético y las emisiones gases de efecto invernadero y preservar el patrimonio arquitectónico.

Contar con un marco normativo claro y específico facilita su cumplimiento y fomenta el compromiso de los agentes implicados. Sin embargo, la normativa vigente, tanto a escala autonómica [2], nacional [3] o europea [4], establece directrices generalistas respecto a los edificios patrimoniales protegidos, permitiendo la aplicación flexible de los requisitos de eficiencia energética cuando su cumplimiento estricto pueda comprometer los valores históricos, constructivos o culturales del inmueble [3].

Este planteamiento subraya la necesidad de un conocimiento preciso del edificio patrimonial a intervenir, de modo que la integración de criterios de sostenibilidad se base en un análisis detallado in situ que permita identificar sus características técnicas, físicas, constructivas y funcionales, y orientar las soluciones de mejora hacia criterios específicos. En este sentido, la conservación patrimonial y la sostenibilidad energética no constituyen enfoques contrapuestos, sino complementarios, pues la propia preservación de estructuras y sistemas constructivos que han perdurado en el tiempo manteniendo una elevada energía incorporada y prolongando su vida útil, constituye en sí misma una estrategia sostenible [5], reforzada además por la implantación de soluciones pasivas propias de la arquitectura histórica, como la elevada inercia térmica [6].

Para evaluar adecuadamente la relación entre conservación patrimonial y sostenibilidad energética e intervenir con objetivos comunes [5], es imprescindible partir de un conocimiento profundo y específico del patrimonio construido. En muchos casos el acceso a la información dificulta la identificación de elementos objeto de ser protegidos o soluciones constructivas originales. En el amplio rango de tipologías y características de estos edificios, debemos ir más allá de estimaciones genéricas basadas en catálogos constructivos estandarizados, valores por defecto o hipótesis simplificadas, pues se pueden obtener resultados poco precisos que comprometan líneas de trabajo futuras [8], [9]. El análisis y la verificación in situ aumenta la fiabilidad en la toma de datos [7].

Para el conocimiento real del comportamiento térmico de los edificios se recurre a métodos experimentales (ensayos destructivos y no destructivos, mediciones in situ de transmitancia térmica, humedad, detección de puentes térmicos mediante cámara termográfica [10]) que no pueden obtenerse mediante métodos estándar. En un ámbito tan crítico como el patrimonio histórico protegido, este enfoque experimental mejora la calidad de la información acerca de las características de los edificios a la vez que permite la toma de decisiones de rehabilitación más adecuadas a las mismas [11]. El objetivo de esta comunicación es evidenciar la necesidad de aplicar metodologías específicas para la caracterización térmica y constructiva en edificios patrimoniales.

Aun siendo conscientes de la singularidad de cada edificio histórico, la creación de un procedimiento sistemático que recoja los distintos trabajos in situ puede ser aplicable en otros casos con características constructivas, históricas y climáticas similares [12].

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

Con el objetivo de definir las soluciones constructivas de una envolvente existente y caracterizar su comportamiento energético mediante un protocolo replicable de intervención sostenible, se ha recurrido a un caso práctico de estudio. En concreto, se ha seleccionado la Casa Palacio de los Torrero, situada en Zaragoza, un edificio renacentista declarado Bien de Interés Cultural en 1982 y actual sede del Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón (COAA). La metodología de investigación se desarrolla en las secciones posteriores.

2.1. Selección del caso de estudio

Desde su construcción, el edificio ha albergado distintos usos (residencial, colegio de enseñanza y colegio profesional), lo que ha implicado sucesivas intervenciones y ampliaciones para su adecuación funcional [13], [14]. La evolución histórica ha dado lugar a una superposición de sistemas constructivos, materiales y técnicas, generando así la elevada heterogeneidad y complejidad actual, que pueden recogerse en tres etapas constructivas:

- Fase I (1506-1908): Casa Palacio renacentista.

Corresponde a la construcción original concebida como un ejemplo tipológico de arquitectura doméstica renacentista aragonesa, organizado en torno a un patio central y resuelto mediante sistemas constructivos tradicionales basados en muros portantes de fábrica de gran espesor [14].

- Fase II (1908-1975): Colegio de enseñanza.

Para su adecuación como colegio de enseñanza, este periodo concentra las intervenciones más significativas, incluyendo ampliaciones en planta y altura, derribos parciales y nuevas fachadas.

- Fase III (1975-actualidad): Sede colegial.

En 1975 se inicia la etapa de rehabilitación, restauración y acondicionamiento orientada a la puesta en valor del conjunto histórico patrimonial [14]. Estas actuaciones consolidan la complejidad constructiva del edificio, incorporando nuevos sistemas y materiales que se suman a los de las fases anteriores.

2.2. Descripción de procedimientos

2.2.1. Recopilación documental

En la Tabla 1 se ordena cronológicamente la documentación a la que se ha tenido acceso. La mayor parte de la documentación recopilada y encontrada corresponde a la Fase III.

Tabla 1. Información encontrada acerca de soluciones constructivas en la documentación consultada

Nombre del documento				
Periodo	Fase constructiva	Contenido	Autor	Fuente consultada
<i>Proyecto de Acondicionamiento de edificio</i>				
1976 – 1977	III	Proyecto de ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA
<i>Proyecto de Restauración del Palacio de los Torrero</i>				
Julio 1982	III	Proyecto de Ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA

<i>Reforma, acondicionamiento y mobiliario de las oficinas de Visado y de Información</i>				
Febrero 1984	III	Proyecto de Ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA
<i>Proyecto de sala de reuniones para la Junta de Gobierno</i>				
Octubre 1985	III	Proyecto de Ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA
<i>Proyecto de Prevención de incendios Palacio de los Torrero</i>				
Diciembre 1985	III	Proyecto de Ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA
<i>Proyecto Acondicionamiento de local para Agencia Bancaria. Palacio de los Torrero</i>				
Febrero 1986	III	Proyecto de Ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA
<i>Acondicionamiento de Salón de Actos</i>				
Mayo 1990	III	Proyecto de Ejecución	M. Fernández, I. G. Elorza	Archivo COAA
<i>Proyecto Básico y de Ejecución de Colocación de Ascensor con eliminación de barreras arquitectónicas en Edificio Sede del CCOAA</i>				
Abril 2000	III	Proyecto de Ejecución	R. Pamplona, J.I. Navarro	Archivo COAA

2.2.2. Medición in situ de transmitancias térmicas

Uno de los indicadores que caracteriza el comportamiento energético de una unidad constructiva es su valor de transmitancia térmica, U ($W/m^2 K$), calculado de manera teórica [15] o mediante mediciones in situ. A continuación, se describe el proceso realizado para medir la transmitancia térmica de las unidades constructivas del caso de estudio, realizado con el aparato Testo 635-2.

Se realizaron mediciones en 39 unidades constructivas tipo fachadas, indicadas en la Figura 1, de las cuales se desconocía la composición exacta material del 55%. La mayor parte de las estancias del edificio, de uso administrativo, estaban ocupadas, excepto en los casos M01 y M02. Las mediciones no interfirieron con la actividad del edificio debido a la configuración puntual de su instalación.



Figura 1. Ubicación en planta de mediciones de transmitancia in situ realizadas.

La transmitancia de calor se midió directamente mediante sensores de temperatura instalados en la superficie interna de la unidad constructiva y sensores de temperatura ambiente interior y exterior. Se evitó instalar sensores sobre puentes térmicos y se controló la estabilidad de la temperatura interior.

El equipo de medición estaba compuesto por el termohigrómetro con memoria y software para PC y módulo de radio, una sonda de temperatura para determinar el valor U y una empuñadura por radio para cabezales de sondas acoplables: sonda para medición de humedad (%) y temperatura (°C).

Previo a la medición se verificó que la diferencia de temperatura interior-externa era mayor que 10 °C. El equipo se ubicó en una zona protegida de radiación directa de calor, a 30 cm del cerramiento y a la misma altura que la sonda superficial (ver Figura 2).

Todos los sensores se conectaron al aparato por radio frecuencia y mediante clavija. Para cada unidad constructiva se realizó un registro continuo durante 60 minutos, obteniéndose simultáneamente los valores de temperatura superficial interior, T_{si} (°C), temperatura ambiente interior, T_i (°C), y temperatura ambiente exterior, T_e (°C), simultáneamente con una frecuencia de muestreo de 1 dato por minuto.



Figura 2. Colocación del aparato y los sensores de temperatura interiores.

Para cada conjunto de datos de temperaturas obtenidos en una muestra de medida, el termohigrómetro calculó el valor de transmitancia U ($W/m^2 K$) conforme a la ecuación (1). En una muestra de medida se obtuvieron en total 60 valores de U.

Flujo de calor ambiente - pared

$$\frac{Q}{A} = (T_i - T_{si}) \cdot h_{ci} \quad (T_i - T_{si}) \cdot h_{ci} = U \cdot (T_i - T_e) \quad U = \frac{(T_i - T_{si}) \cdot h_{ci}}{(T_i - T_e)} \quad (1)$$

Flujo a través de una pared

$$\frac{Q}{A} = U \cdot (T_i - T_e)$$

Donde,

Q/A es igual a flujo de calor por unidad de área (W/m^2)

U es igual al coeficiente global de transmisión (W/m^2K)

T_i es igual a la temperatura ambiente interior (°C)

T_e es igual a la temperatura ambiente exterior (°C)

T_{si} es igual a la temperatura superficial interior (°C)

h_{ci} es igual al coeficiente de convección exterior (W/m^2K)

Tras la obtención de los datos de cada muestra mediante el software ComSoft Professional v4.6, se llevaron a cabo una serie de criterios para obtener la U característica como la desestimación de las primeras 15 mediciones por necesitar el aparato un tiempo de estabilización, la identificación de los valores iguales más frecuentes de todas las temperaturas en un periodo de tiempo continuo, la diferencia de temperatura interior- exterior correcta y mantenida en el tiempo.

2.2.3. Imágenes termográficas

El análisis de transmitancia de calor se complementó utilizando imágenes termográficas, tomadas con la cámara termográfica FLIR serie E60. Se utilizó para detectar discontinuidades o ausencia de aislamiento en la envolvente, puentes térmicos y fugas de aire en puntos críticos como ventanas o encuentros constructivos, afectando al confort y al consumo energético. Además, permitió localizar rápidamente las zonas problemáticas, reduciendo la necesidad de catas adicionales.

Para garantizar la fiabilidad, las inspecciones se realizaron con un gradiente térmico interior-externo de al menos 10 °C y evitando días de lluvia o viento fuerte, que podrían alterar la interpretación de las temperaturas superficiales.

2.2.4. Catas de inspección

Las catas de inspección consistieron en roturas controladas y localizadas de unidades constructivas seleccionadas, con el objetivo de caracterizar materiales, espesores y estructura real de los cerramientos. La planificación previa garantizó la ejecución controlada, minimizando la alteración del edificio y la actividad en curso, bajo supervisión técnica y coordinación con los operarios.

Se seleccionaron los puntos de cata según criterios de relevancia técnica y necesidad de información sobre la composición del cerramiento. La ejecución consistió en el picado de los elementos constructivos hasta exponer las capas interiores, utilizando herramientas adaptadas al tipo de acabado y resistencia del soporte. Una vez descubierta la sección, se analizaron los materiales presentes, se midieron espesores, se evaluó su estado de conservación y se registraron patologías, discontinuidades o intervenciones previas. Finalmente, las catas fueron reparadas, restituyendo el paramento y minimizando el impacto visual y funcional de la intervención.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Recopilación documental

La documentación consultada, permitió conocer parte de las soluciones constructivas existentes. De la Fase I no se pudo obtener ningún dato específico acerca de la composición de muros. En cuanto a la Fase II, si bien la documentación disponible no permite conocer con detalle las soluciones constructivas, se constata un claro respeto por los sistemas preexistentes, manteniendo el uso predominante de fábrica de ladrillo macizo cara vista como material principal. En la Fase III, los proyectos de intervención incorporaron una mayor sistematización documental y una descripción con mayor precisión en las soluciones constructivas adoptadas, pero se limitan generalmente a las capas añadidas sin aportar datos específicos sobre la composición completa de los cerramientos.

3.2. Medición in situ de transmitancias térmicas, U

La Tabla 2 recoge los resultados obtenidos en el proceso de medición de transmitancia térmica en los cerramientos del edificio con el aparato Testo 635-2. De cada cerramiento medido se recoge el valor máximo, mínimo y medio de U, así como su valor característico.

Los valores de U característica varían en función del tipo de cerramiento y de su fase constructiva. Los muros pertenecientes a la Fase I (M06, M13, M15, M21) tienden a presentar los valores característicos más bajos, debido a su espesor e inercia térmica. Para el resto de muros (M28), con menor espesor y composición más ligera y variada en cuanto al número de capas, se obtienen valores de transmitancia característica más elevados, aunque no sobrepasan los 3 W/m²K. El valor máximo de U característica (M27) no se debe a su composición sino a que en el momento de la medición la diferencia de temperatura exterior- interior fue notablemente menor que la requerida.

Tabla 2. Resultados de la medición de transmitancia in situ realizada con el aparato Testo 635-2

Ubicación del cerramiento*	Medición	Fase constructiva	Orientación**	Tiempo de medición (min)	No. de mediciones válidas	Periodo de cada medición (min)	U máx (W/m ² K)	U mín (W/m ² K)	U media (W/m ² K)	U característica (W/m ² K)
PB	M01	II, III	NO	60	58	1	3,580	1,656	2,207	1,80
	M02	II, III	NE	60	57	1	2,549	0,000	2,035	2,03
	M03	II, III	NO	60	60	1	1,218	0,585	0,823	0,68
	M04	II, III	NO	60	58	1	1,724	0,278	0,829	0,81
	M05	II, III	SO	60	58	1	1,324	0,270	1,064	1,07
	M06	I, III	SO	60	58	1	6,719	0,009	0,878	0,87
EP	M07	I,III	SO	60	58	1	2,547	0,022	0,775	0,81
P1	M08	II	SO	60	60	1	2,046	0,224	1,865	1,98
	M09	II	NO	60	59	1	1,233	1,016	1,126	1,21
	M10	II,III	SE	60	59	1	2,688	1,516	2,470	2,60
	M11	I, III	SO	60	59	1	2,648	0,733	2,312	2,20
	M12	II, III	NO	60	58	1	2,604	0,243	2,386	2,54
	M13	I	SO	60	59	1	0,624	0,026	0,512	0,62
P2	M14	I	NE	60	59	1	1,152	0,076	0,928	0,87
	M15	I, III	SO	60	59	1	1,114	0,003	0,322	0,38
	M16	I, III	SO	60	59	1	6,156	0,037	0,766	0,50
	M17	II	SO	60	60	1	1,750	1,393	1,659	1,67
	M18	II, III	SE	60	55	1	1,705	0,354	1,162	1,11
	M19	II	NO	60	60	1	1,263	0,807	1,093	0,96
	M20	II, III	NO	60	60	1	1,263	0,807	1,093	1,23
	M21	I	SE	60	60	1	4,893	0,048	0,604	0,63
P3	M22	I	SO	60	59	1	3,592	0,120	0,943	0,76
	M23	II	SO	60	56	1	2,153	0,186	0,825	0,79
	M24	II	NO	60	60	1	1,338	0,594	1,168	1,19

	M25	II	SE	60	58	1	2,866	0,926	2,348	2,53
	M26	III	NE	60	59	1	2,114	0,161	0,863	0,82
	M27	II, III	NO	60	59	1	7,896	0,013	6,713	6,36
	M28	II, III	SO	60	58	1	2,944	2,446	2,642	2,51
	M29	II, III	SE	60	57	1	62,355	1,197	9,392	1,73
	M30	II, III	SE	60	58	1	1,303	0,170	1,164	1,25
	M31	II, III	NO	60	60	1	3,310	2,772	3,122	3,03
P4	M32	II, III	SO	60	57	1	0,724	0,430	0,609	0,56
	M33	II, III	SE	60	52	1	33,296	0,092	4,149	2,22
	M34	II, III	NO	60	56	1	1,263	0,981	1,186	1,18
	M35	II, III	SO	60	56	1	4,626	0,033	2,345	2,54
	M36	II, III	NO	60	55	1	1,973	1,061	1,822	1,88
	M37	II, III	NE	60	60	1	1,852	0,075	1,670	1,70
	M38	II, III	NE	60	57	1	2,384	0,345	1,954	1,84
	M39	II, III	SE	60	57	1	4,484	2,210	2,903	2,31

*PB=Planta baja, EP=Entreplanta, P1=Planta primera, P2=Planta segunda, P3=Planta tercera, P4=Planta cuarta

** NO=Noroeste, NE=Noreste, SO=Suroeste, SE=Sureste

3.3. Imágenes termográficas

El análisis con la cámara termográfica ha permitido identificar puntos críticos de la envolvente y patrones térmicos asociados a las distintas fases constructivas.

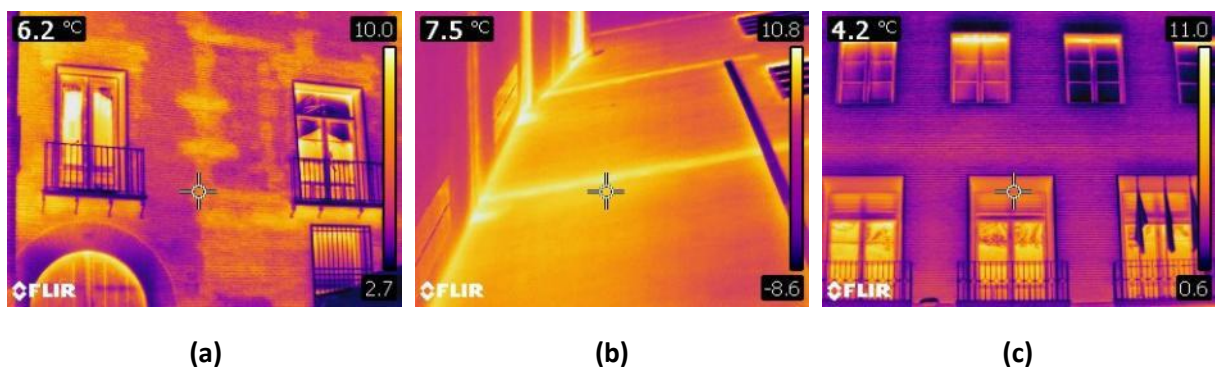


Figura 3. Puntos críticos en la envolvente del edificio.

En la fachada original (Figura 3a), se observan diferencias térmicas localizadas en los encuentros entre muros y huecos, así como contrastes entre las piezas de ladrillo y las juntas de mortero, lo que evidencia una mayor transmisión térmica en estas últimas. Asimismo, resulta especialmente significativa la detección de la traza de una antigua grieta estructural previamente restaurada y recogida en el proyecto de restauración de 1982, pese a no ser visible a simple vista.

Las termografías de las unidades constructivas del patio interior trasero, construido e intervenido en fases posteriores, muestran contrastes térmicos más notables, pudiéndose observar (Figura 3b)

puentes térmicos referidos a elementos estructurales, sobre todo forjados. Con esto se puede confirmar la ausencia de aislamiento en la envolvente que afecta al comportamiento energético del edificio y al confort térmico de sus usuarios.

Se detectaron patologías puntuales asociadas a la estanqueidad, especialmente en los encuentros perimetrales de muros y carpinterías (Figura 3c), lo que evidencia infiltraciones de aire no controladas.

3.4. Catas de inspección

Se realizaron un total de diez catas en unidades constructivas de las Fases II y III. No se intervinieron los muros originales de la Fase I por su valor patrimonial, cuya composición se asumió maciza y sin cámaras de aire a partir de la documentación y la observación visual.

Se ejecutaron dos catas en los muros de fachada noroeste y suroeste de la planta cuarta para confirmar la ausencia de cámaras de aire y validar posibles estrategias de mejora energética. Los resultados corroboran que se trata de muros macizos sin cámaras intermedias.

En las unidades constructivas de la medianera norte, las catas revelaron soluciones variadas: ladrillo hueco simple y doble, enfoscados y, en algunos casos, cámaras de aire intermedias. Se observó además la coexistencia de dos soluciones distintas en un mismo muro de la planta cuarta, sugiriendo intervenciones posteriores no documentadas.

4. CONCLUSIONES

Este estudio evidencia la necesidad de aplicar metodologías específicas e integrales para la caracterización térmica y constructiva de edificios patrimoniales, donde la información documental suele ser limitada o incompleta. La combinación de análisis histórico, mediciones in situ de transmitancia térmica, ensayos destructivos controlados y termografía infrarroja ha permitido obtener un conocimiento preciso del comportamiento real de la envolvente del caso de estudio. Este enfoque reduce la incertidumbre asociada al uso de valores genéricos y favorece una toma de decisiones fundamentada en procesos de rehabilitación energética compatibles con la conservación patrimonial. La sistematización del procedimiento desarrollado proporciona, además, una metodología replicable en otros edificios históricos con características tipológicas, constructivas y climáticas similares, contribuyendo a intervenciones más rigurosas, eficientes y sostenibles.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MCIU), a la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER, UE) por la financiación del Proyecto PID2023-151255OB-I00, así como al Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón (COAA) por su colaboración institucional a través del Convenio BUILT4LIFE-COAA Estudio integral de la Casa Palacio de los Torrero con criterios de sostenibilidad entre la Universidad de Zaragoza y el Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] European Commission (October, 2020). A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives, COM(2020) 662 final. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:662:FIN>
- [2] Gobierno de Aragón (2024). Borrador del Plan Energético de Aragón 2024–2030. [Online]. Available: <https://gobiernoabierto.aragon.es/agoab/documentos/borradores-leyes/232478861000/Plan%20Energ%C3%A9tico%20de%20Arag%C3%B3n%202024-2030.docx.pdf>
- [3] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2019). Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE: Ahorro de Energía. [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org>
- [4] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (Mayo 2024). Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
- [5] P. A. Fokaides, “Development of a Heritage Life Cycle Assessment (H-LCA) framework: Integrating sustainability metrics and cultural preservation in heritage buildings”, *Energy Reports*, vol.14, pp. 4437–4448, December 2025.
- [6] A. E. Çalışkan, G. Dişli, “Learning from historic buildings as drivers of sustainable and energy-efficient designs”, *Energy Efficiency*, vol. 18, no. 55, July 2025.
- [7] F. Titikpina, A. Caucheteux, A. Charki, D. Bigaud, “Uncertainty assessment in building energy performance with a simplified model”, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, vol. 6, no. 308, January 2015.
- [8] C. Ahern, B. Norton, “Energy Performance Certification: Misassessment due to assuming default heat losses,” *Energy and Buildings*, vol. 224, October 2020.
- [9] K. Raushan, C. Ahern, B. Norton, “Determining realistic U-values to substitute default U-values in EPC database to make more representative; a case-study in Ireland”, *Energy and Buildings*, vol. 274, November 2022.
- [10] K. Agrasar-Santiso, J. A. Millan-Garcia, J. P. Otaduy-Zubizarreta, A. Bañri, A. Martín-Garín, “Analyzing non-destructive methods for building inspection and energy performance: A focus on photogrammetry and infrared thermography” *Diagnosis of Heritage Buildings by Non-Destructive Techniques*, pp. 133–158, 2024.
- [11] M.Teni, H. Krstić, P. Kosiński, “Review and comparison of current experimental approaches for in-situ measurements of building walls thermal transmittance”, *Energy and Buildings*, vol. 203, November 2019.
- [12] M. J. López-Zambrano, J. Canivell, C. Calama-González, “Sistema de evaluación de soluciones de rehabilitación energética para edificios bien de interés cultural (SESREBIC). Su aplicación a monasterios BIC”, *Informes de la Construcción*, vol. 71, no. 555, e300, Septiembre 2019.
- [13] “Casa de los Torrero. Sede Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón. Monumento histórico de carácter nacional. Su evolución”, *Aldaba*, no. 2, pp. 39-49, 1982.

[14] R. Marco, “El Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón y su evolución arquitectónica”, *Cuadernos COAARAGÓN*, vol. 1, no. 03, pp. 10-21, 2018.

[15] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Enero, 2020). Código Técnico de la Edificación (CTE). DA DBHE / 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org>