



Received: 08-10-2018
Accepted: 27-12-2018

Análisis del comportamiento térmico del Sistema SATE: Edificio rehabilitado en Madrid. Analysis of the thermal behaviour of the ETICS system: Rehabilitated building in Madrid.

Sheila Varela, Carmen Viñas, Antonio Rodríguez, Patricia Aguilera

Universidad Politécnica de Madrid (sheila.varela.lujan@alumnos.upm.es; carmen.vinas@upm.es; antonio.rodriguez@upm.es; patricia.aguilera@upm.es)

Resumen—Las actuaciones para la rehabilitación del parque edificatorio existente son un punto clave en la reducción de la demanda de energía; objetivo principal de la normativa actual relativa a la eficiencia energética. Uno de los elementos más influyentes en la capacidad de ahorro energético en un edificio es su envolvente. Reducir las pérdidas de energía del interior de una vivienda a través de la mejora de las características de la fachada es una actuación que mejora notablemente los edificios, tanto energética como estéticamente. En el presente trabajo se analiza el comportamiento térmico de la fachada de un edificio típico de los años 50 que ha sido rehabilitado con un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE). El estudio se lleva a cabo a través de la monitorización de un edificio situado al sur de Madrid, concretamente en dos viviendas, una en estado original y otra ya rehabilitada. La monitorización se realiza en el mismo periodo de tiempo y teniendo en cuenta la similitud de las características constructivas de las dos viviendas estudiadas. A través de los datos obtenidos se compara la evolución de las temperaturas superficiales en los dos casos y en sus dos orientaciones, norte y sur. Se pretende conocer las mejoras en el comportamiento térmico y la influencia del sistema SATE en esta rehabilitación.

Palabras clave—Rehabilitación; SATE; Aislamiento térmico; Monitorización

Abstract—Actions for the existing buildings rehabilitation are a key point in the reduction of energy demand; main objective of the current regulations relating to energy efficiency. One of the most influential elements of energy saving capacity in buildings is its envelope. Reduce energy losses of the interior of a house through the improvement of the characteristics of the facade is a performance that significantly improves the buildings, both energy and aesthetically. In the present work the thermal behaviour of the facade of a typical building of the 50s that has been rehabilitated with an external thermal insulation system (ETICS), is analysed. The study was performed through the monitoring of a building located in the south of Madrid, specifically in two houses, one in its original state and another one already rehabilitated. The monitoring was carried out in the same period of time and taking into account the similarity of the constructive characteristics of the two houses studied. Through the data obtained, the evolution of surface temperatures is compared in both cases and in its two orientations, north and south. It is intended to know the improvements in thermal behaviour and the influence of the ETICS system in this rehabilitation.

Index Terms—Rehabilitation; ETICS; Thermal isolation; Monitoring.

P. Aguilera, A. Rodríguez, S. Varela y C. Vinas pertenecen a la E. T. S. de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid.

I. INTRODUCCIÓN

Los objetivos marcados por la Directiva 2012/27UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre del 2012, relativa a la eficiencia energética (Parlamento Europeo y del Consejo, 2012) marcan la ruta para lograr alcanzar las metas del Horizonte 2020 (European Commission, s. f.): conseguir un ahorro de un 20% de consumo de energía primaria.

Uno de los sectores de actuación para conseguir este ahorro es el de la edificación, ya que, a pesar de que la demanda de energía descende año tras año, el consumo de energía final en este sector es 18,5% del total según el Plan Nacional de Acción de eficiencia energética 2017-2020 (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, 2017). De todo ese consumo, aproximadamente un 60% se destina principalmente a usos en calefacción.

En España actualmente existen alrededor de 10 millones de edificios destinados a vivienda (Instituto Nacional de Estadística -INE-, 2012) de los cuales unos ochocientos mil tienen más de cincuenta años, construidos antes de la entrada en vigor de la Norma Básica de Edificación, NBE-CT-79 (Gobierno de España, 1979). Estos edificios hoy en día presentan carencias en cuanto a confort y habitabilidad. En el caso de Madrid, se superan los veinte mil edificios con estas características y esto hace que sea necesario ver la rehabilitación como algo imprescindible a la hora de alcanzar los objetivos propuestos.

Las actuaciones de rehabilitación tratan de adecuar el edificio a los requisitos que establecen las nuevas normativas, empleando unas técnicas tanto pasivas como activas y que ayuden a mejorar su calidad y su vida útil (Munarim, 2016; Ghisi et al., 2016). En España, se crea una Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética del Sector de la Edificación (ERESEE, 2017; Ministerio de Fomento) que contiene medidas de rehabilitación energética.

Estudios actuales determinan que se da un menor impacto económico y ambiental al rehabilitar edificios frente a su demolición y nueva construcción (Rodríguez, 2017; Martínez, 2017; González, 2017; Ferreira, 2017; Marrero et al., 2017; Santamaría, 2016; Campano, 2016; Girón et al., 2016). Más concretamente, existen investigaciones en las que se indica que la rehabilitación de la envolvente muestra una gran reducción en la demanda de energía del edificio (Lassandro, 2017; Di Turi et al., 2017) por lo que la mejora del aislamiento de la envolvente se convierte en una de las actuaciones más influyentes en la conservación de la energía. Es decir, aumentando la resistencia térmica de las fachadas se puede reducir el consumo de energía necesario para calentar o enfriar las viviendas.

Uno de los sistemas de rehabilitación de fachadas más utilizado en la actualidad es el sistema de aislamiento térmico

por el exterior (SATE) que, además de resolver problemas de puentes térmicos o condensaciones, tiene la ventaja de no reducir el espacio dentro de las viviendas y mejora el aspecto estético de los edificios (Fernandes, 2016; De Brito, 2016; Oliveira, 2016; Cruz et al., 2016; Kolaitis et al., 2013).

Diferentes estudios plantean diferentes hipótesis y escenarios en los que se estudian casos ejecutados a través de simulaciones sobre la viabilidad de los diferentes sistemas de rehabilitación de fachadas con aislamiento, pero para conocer su comportamiento real, se hace necesario un estudio in situ. (Fotopoulou, 2018; Martínez, 2018; Choi et al., 2018).

El propósito de este trabajo es el análisis del comportamiento térmico del cerramiento de la fachada en una vivienda rehabilitada con SATE y en una vivienda en su estado original, ambas del mismo edificio y con las mismas características. El estudio se ha realizado monitorizando las dos viviendas a la vez con termopares tipo k, midiendo la temperatura superficial tanto en el interior como en el exterior de las fachadas, en sus dos orientaciones norte y sur. A partir de los datos obtenidos se realiza una comprobación estadística de los resultados con el objetivo final de conocer la mejora del sistema SATE en la rehabilitación en esta tipología de vivienda.

II. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio, construido a finales de los años 50, está situado en el sur de Madrid, España, en la Calle Benimamet de San Cristóbal de los Ángeles. Cuenta con tres portales, de los que se han estudiado dos: el número 47, en estado original y el número 51, rehabilitado con el sistema SATE (Fig. 1).



Fig. 1. Imagen del edificio estudiado. Portales número 51 (Rehabilitado) y 47.

El cerramiento original del edificio tiene un espesor de 21,5cm formado, de exterior a interior, por un mortero monocapa, medio pie de ladrillo perforado, una cámara de aire

sin ventilar y un cerramiento de cámara con tabique de ladrillo hueco sencillo acabado con un enlucido y pintado. Todo el conjunto tiene una transmitancia térmica de $1,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ calculado según el Documento Básico de Ahorro de energía del Código Técnico (CTE, 2017). Las ventanas originales tienen marco de aluminio sin rotura de puente térmico, vidrio simple y de apertura correderas. La transmitancia tanto del vidrio como del marco es de $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, según CTE.

La rehabilitación del edificio se hizo por fases, comenzando en el 2015 por el portal 51. Consistió en la mejora de toda la envolvente, comprendiendo fachada, cubierta y forjado sanitario. Además, se añadió un espacio destinado a tendedero y se instaló un ascensor en cada portal modificando el recorrido de las escaleras mejorando la accesibilidad.

En concreto, la actuación en la fachada consistió en la adición de un aislamiento por el exterior (Fig. 2). El aislamiento son placas de poliestireno expandido (EPS), colocadas pegadas con mortero y sujetas a la fachada original mediante anclajes propios del sistema. El aislamiento se recubre con una malla de fibra de vidrio que a su vez sirve de agarre para el mortero de acabado. Los espesores del aislamiento dependen de la forma de la fachada del edificio, en este caso va de 4 a 6 cm en zonas con salientes y 8 cm en la fachada en general. La parte opaca de la fachada una vez rehabilitada tiene una transmitancia de $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ calculado según el CTE para una media de 7cm de aislamiento.

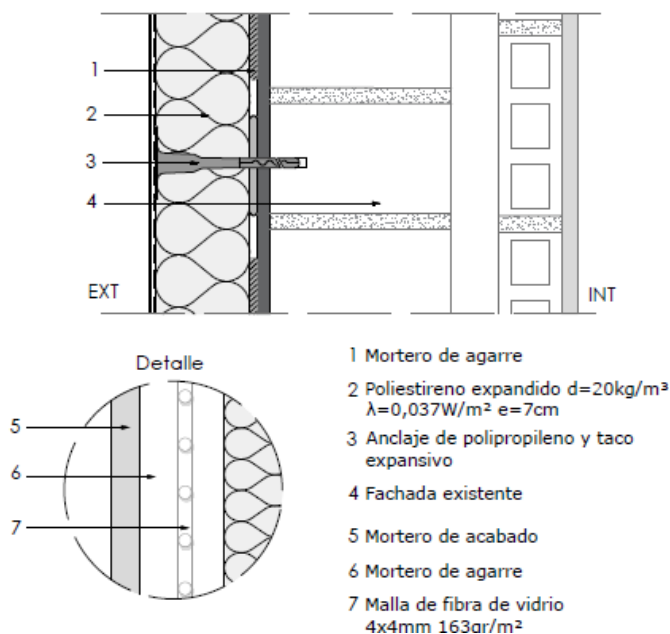


Fig. 2. Sección constructiva sistema SATE.

Además, en los huecos de ventana se coloca una segunda carpintería por el exterior, con marco de aluminio y vidrio doble, de apertura corredera, que tiene una transmitancia de $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ el vidrio y de $3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ el marco. La

transmitancia equivalente de la doble ventana tiene un valor de $1,92 \text{ W/m}^2\text{K}$ del vidrio y de $2,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ del marco, según CTE.

En la siguiente imagen (Fig. 3 y Fig. 4) se puede observar el estado rehabilitado y el estado original de los dos portales estudiados.



Fig. 3. Imagen de los edificios estudiados. Fachadas norte. Rehabilitado (izquierda) y original (derecha).



Fig. 4. Imagen de los edificios estudiados. Fachadas sur. Rehabilitado (izquierda) y original (derecha).

III. METODOLOGÍA

En este trabajo se analiza el comportamiento térmico del cerramiento de fachada del edificio en estado original y en estado rehabilitado. Para ello, se realiza una monitorización en el mismo periodo en dos viviendas, una en la parte del edificio en estado original y otra la parte del edificio rehabilitado. Las dos viviendas están situadas en la planta intermedia de cada portal, con la finalidad de obtener unas mediciones lo más optimizadas posibles, teniendo en cuenta su similitud en cuanto a distribución y el uso de la misma.

En cada vivienda se estudian distintos puntos (Fig. 5 y Fig. 6), en las fachadas norte y sur, colocando los termopares en la superficie exterior y la superficie interior de las mismas.

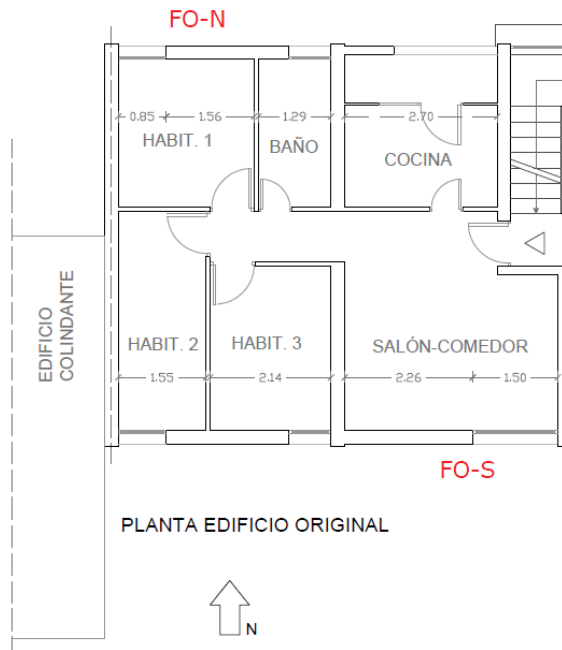


Fig. 5. Ubicación de la monitorización de la vivienda en estado original. Portal 47.

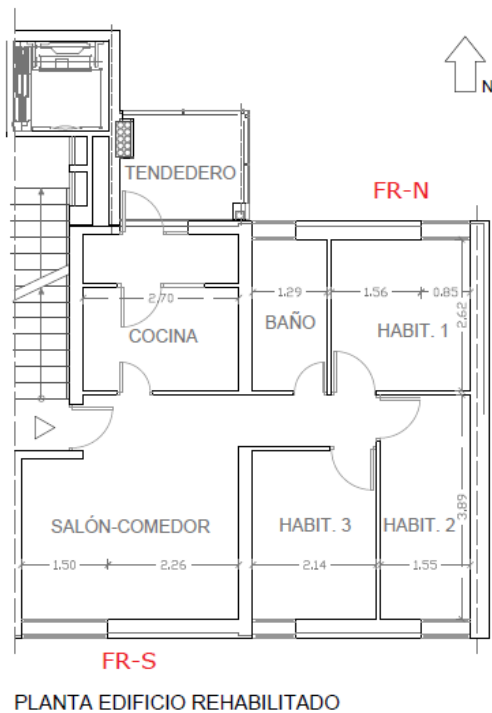


Fig. 6. Ubicación de la monitorización de la vivienda en estado rehabilitado. Portal 51.

Las mediciones se realizan con termopares tipo k (Fig. 7) conectados a unos datalogger OPUS200 que toman las temperaturas superficiales en los puntos monitorizados (Fig. 8) cada 10 segundos y las guardan cada 2 minutos.



Fig. 7. Ejemplo colocación termopares por el exterior y por el interior.

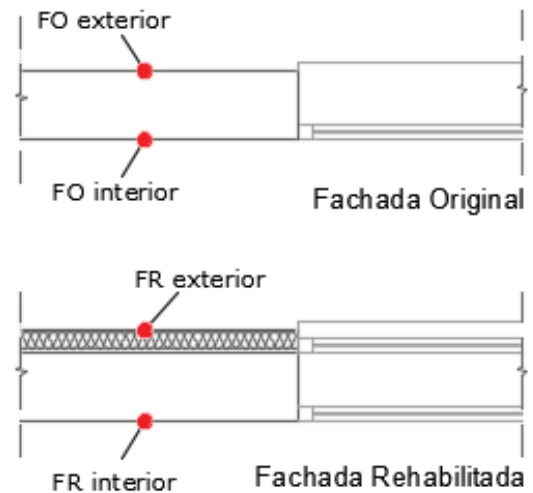


Fig. 8. Detalle de colocación de los termopares en las fachadas. Sección horizontal fachadas tipo.

El período de medición se realiza en el mes de marzo debido a que en el clima mediterráneo continental de Madrid durante ese mes se caracteriza por tener condiciones climatológicas de temperaturas medias pero con amplias oscilaciones de temperaturas entre el día y la noche (AEMET, 2015). Esto hace que este periodo sea el adecuado para observar el comportamiento del sistema SATE en distintas condiciones.

Después de un primer tratamiento de los datos, el periodo de mediciones escogido va desde las 22:00h del 2 de marzo hasta las 22:00h del 5 de marzo de 2015.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables estudiadas son las temperaturas superficiales interiores y exteriores de parte opaca de las fachadas y las temperaturas de ambiente exterior (T, en °C).

A partir de la base de datos registrada se trabaja con datos promediados cada 16 minutos para el periodo de tiempo elegido. En total se trabaja con 271 mediciones de cada termopar.

A. Fachada Original Norte (FO - N)

En la Fig. 9 se muestra la evolución de temperaturas superficiales interiores y exteriores en la orientación norte de la fachada en estado original.

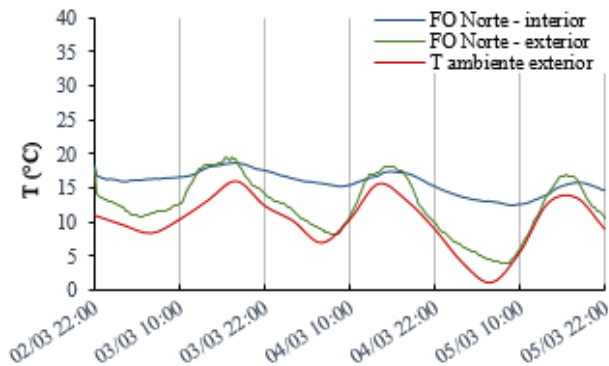


Fig. 9. Fluctuaciones térmicas en la fachada original norte (°C): temperatura superficial interior y exterior y ambiente exterior.

En este caso, la temperatura superficial exterior tiene la misma tendencia de comportamiento que la temperatura ambiente exterior, tal y como se esperaba. La temperatura superficial interior se muestra más estable, con una media de 15,89°C, pero tiende a elevarse cuando las temperaturas exteriores se elevan y a descender cuando las exteriores descienden.

En los periodos centrales del día (12:00h a 18:00h) se observa que las temperaturas superficiales llegan a igualarse entre el exterior y el interior, con una diferencia promedio entre ellas en todo el periodo únicamente de 3,57°C.

B. Fachada Rehabilitada Norte (FR - N)

Observando la evolución de temperaturas de la fachada rehabilitada (Fig. 10), como ocurre en la anterior, la temperatura superficial exterior tiene la misma tendencia que la temperatura ambiente exterior en el periodo. Sin embargo, las temperaturas superficiales interiores se mantienen mucho más constantes, independientes a las temperaturas exteriores, y con una media de 22,43 °C. La diferencia de temperaturas promedio entre la superficie interior y exterior es de 9,71 °C no llegando a igualarse en ningún momento del estudio.

C. Fachada Original Sur (FO - S)

Analizando la fachada original en su orientación sur (Fig. 11) la temperatura superficial exterior tiene la misma tendencia que la temperatura ambiente exterior, pero se observa que se alcanzan picos de temperatura (sobre las 17:30h en cada día de estudio) que superan a las temperaturas superficiales interiores. Esto es debido al calentamiento del paramento causa de la radiación solar propia de la orientación sur.

La temperatura superficial interior tiene similar comportamiento que la misma fachada en orientación norte (Fig. 9), mostrando ligeras oscilaciones entre máximas y

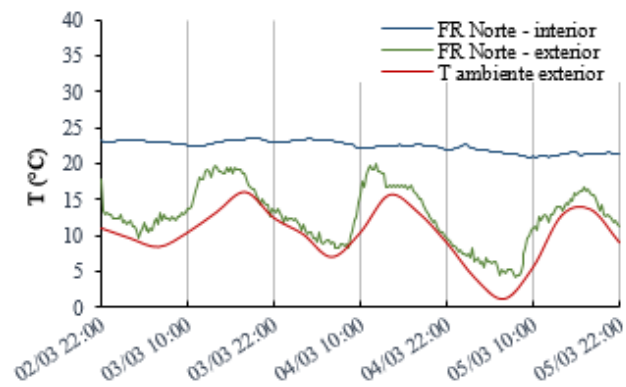


Fig. 10. Fluctuaciones térmicas en la fachada rehabilitada norte (°C): temperatura superficial interior y exterior y ambiente exterior.

mínimas; y con una media de 17,32°C.

En el sur, al igual que en el caso de su orientación norte (Fig. 9), en los periodos centrales del día cuando las temperaturas son más elevadas en el ambiente, las temperaturas superficiales interior y exterior se igualan y alcanzan su máximo prácticamente al mismo tiempo, teniendo una diferencia promedio entre ellas de tan solo 2,57 °C en todo el periodo.

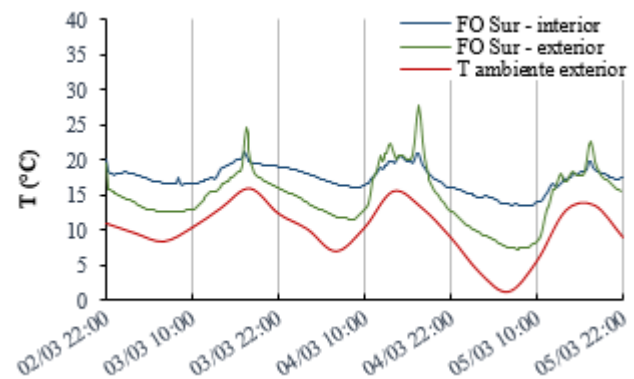


Fig. 11. Fluctuaciones térmicas en la fachada original sur (°C): temperatura superficial interior y exterior y ambiente exterior.

D. Fachada Rehabilitada Sur (FR - S)

En la fachada rehabilitada con orientación sur (Fig. 12) las oscilaciones entre las máximas y las mínimas son más pronunciadas por el exterior y por el interior. La temperatura superficial exterior, aunque tiene la misma tendencia que la temperatura ambiente, alcanza picos con elevadas temperaturas. Esto se atribuye a que la radiación solar incide sobre el paramento exterior elevando su temperatura y, debido a que el aislamiento tiene baja capacidad calorífica, impide que ese calor se transmita a través de las capas interiores del cerramiento. Se puede comprobar que las temperaturas máximas en el sur se alcanzan antes en la fachada rehabilitada que en la original por ese mismo motivo.

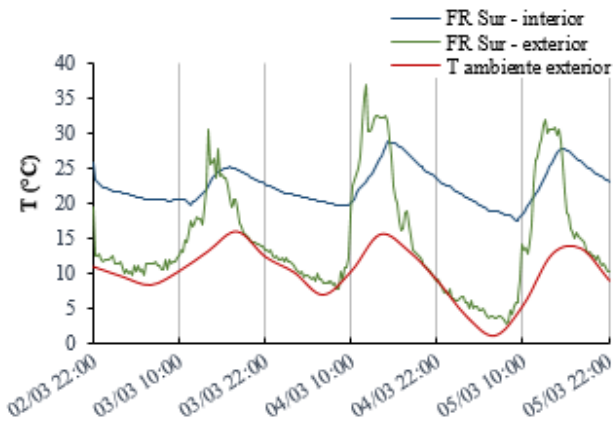


Fig.12. Fluctuaciones térmicas en la fachada rehabilitada sur (°C): temperatura superficial interior y exterior y ambiente exterior.

La temperatura interior en la superficie del cerramiento también se ve influida por las temperaturas que adquiere por el exterior, pero se observa que la máxima temperatura superficial interior se alcanza de 2 a 3 horas posteriores a que se alcancen por el exterior. Su media es de 22,50 °C.

En este caso, la diferencia promedio de las temperaturas superficiales interiores y exteriores es de 7,93 °C.

E. Análisis estadístico

Se realiza un estudio estadístico de las variables analizadas con el software Statgraphics. Se elige el modelo de regresión simple para comprobar la relación de las temperaturas superficiales interiores con las temperaturas superficiales exteriores, en las dos viviendas y en las dos orientaciones (TABLA I).

TABLA I
CORRELACIÓN DE TEMPERATURAS SUPERFICIALES DE LAS FACHADAS

	Fachada original		Fachada rehabilitada	
	Norte	Sur	Norte	Sur
Coef. de Correlación	0,839196	0,909743	0,240226	0,60488
R-Cuadrada	70,42%	82,76%	5,77%	36,59%

Los resultados en la fachada original muestran unos coeficientes de correlación muy cercanos al valor 1, es decir, una relación fuerte entre las variables. El modelo explica la relación entre las temperaturas superficiales interiores y las exteriores en un 70,42% en el norte y en un 82,76% en el sur.

Sin embargo, en la fachada rehabilitada los valores de coeficiente de correlación son relativamente bajos, y muestran una relación débil. En el sur, el modelo calculado explica la relación entre las temperaturas superficiales en un 5,77%, y un 36,59% en el norte.

V. CONCLUSIONES

Tras el análisis de los datos obtenidos se puede afirmar que los datos resultantes de la monitorización fueron suficientes para analizar el comportamiento de las dos fachadas en ese

mismo periodo de tiempo. En cuanto al comportamiento de las fachadas se puede decir que:

En las viviendas estudiadas las temperaturas superficiales interiores tienen una relación respecto a las temperaturas superficiales exteriores de un 71,37% menos en la rehabilitada que en la original por el norte, y un 33,51% menos en la rehabilitada que en la original por el sur. También, en ese periodo, el promedio de la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior e interior es menor en la fachada original (3,57 °C norte y 2,57 °C sur) que en la rehabilitada (9,71°C norte y 7,93°C sur) que se atribuye a la disminución del 74,67% de la transmitancia con la colocación del SATE respecto del estado original.

La orientación de las fachadas también juega un papel importante ya que la incidencia de la radiación solar influye en el calentamiento de los paramentos. En la orientación sur de la vivienda rehabilitada, la existencia de aislamiento con baja capacidad calorífica impide que ese calor pase a través de las capas del cerramiento, retardando la subida de temperaturas en la superficie interior una media de 2,5 horas en las horas centrales del periodo estudiado. En la original, las temperaturas superficiales máximas se alcanzan a la vez.

La obtención de datos experimentales contribuye al conocimiento sobre el comportamiento in situ de los sistemas empleados en rehabilitación, ya que la orientación o el comportamiento de las temperaturas exteriores influyen directamente en los cerramientos.

Así pues, el sistema SATE ayuda a que las temperaturas superficiales interiores sean más independientes de las temperaturas exteriores y que su colocación como método de rehabilitación influye positivamente al mantenimiento de las temperaturas interiores ayudando a optimizar el consumo energético para mantener la temperatura de confort en las viviendas.

REFERENCIAS

AEMET España (2015). Registros climáticos. Agencia Estatal de Meteorología. Gobierno de España. Recuperado 25 de febrero de 2018, a partir de <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=3200&k=mad>

CTE, (2017). Documento básico HE. Ahorro de energía, Código Técnico de la Edificación. Recuperado a partir de <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

European Commission. (s. f.). HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2018-2020. Recuperado a partir de http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-intro_en.pdf

Fernandes, C., De Brito, J., Oliveira, C., & Cruz, C. O. (2016). Architectural integration of ETICS in building

- rehabilitation. *Journal of Building Engineering*, 5, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.12.005>
- Fotopoulou, A., Semprini, G., Cattani, E., Schihin, Y., Weyer, J., Gulli, R., & Ferrante, A. (2018). Deep renovation in existing residential buildings through façade additions: A case study in a typical residential building of the 70s. *Energy & Buildings*, 166, 258-270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.056>
- Gobierno de España. Real Decreto 2429/1979, del 9 de julio, por el que le aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios, Boletín Oficial del Estado (1979). Recuperado a partir de <https://www.boe.es/boe/dias/1979/10/22/pdfs/A24524-24550.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012). Censos de Población y Viviendas 2011. https://doi.org/http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_resultados.htm
- Kolaitis, D. I., Malliotakis, E., Kontogeorgos, D. A., Mandilaras, I., Katsourinis, D. I., & Founti, M. A. (2013). Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. *Energy and Buildings*, 64, 123-131. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2013.04.004>
- Lassandro, P., & Di Turi, S. (2017). Façade retrofitting: from energy efficiency to climate change mitigation. *Energy Procedia*, 140, 182-193. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.11.134>
- M. Fomento. (2017). Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (Actualización 2017). Recuperado a partir de <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/24003A4D-449E-4B93-8CA5-7217CFC61802/143398/20170524REVISIONESTRATEGIA.pdf>
- Martinez, A., & Choi, J.-H. (2018). Analysis of energy impacts of facade-inclusive retrofit strategies, compared to system-only retrofits using regression models. *Energy and Buildings*, 158, 261-267. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.09.093>
- Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital. (2017). Plan Nacional De Acción De Eficiencia Energética 2017-2020, 224. Recuperado a partir de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_neeap_2017_es.pdf
- Munarim, U., & Ghisi, E. (2016). Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.334>
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2012). Directiva 2012/27/UE del parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado a partir de <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- Rodríguez, A., Martínez, M. D., González, A., Ferreira, P., & Marrero, M. (2017). Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 66, 115-126. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2017.06.002>
- Santamaría, J., Campano, M. A., & Girón, S. (2016). Method for the Economic Profitability of Energy Rehabilitation Operations: Application to Residential Dwellings in Seville. *Procedia Computer Science*, 83, 742-749. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2016.04.162>



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.