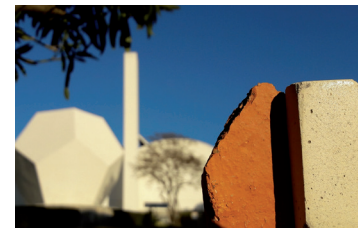


Estudio comparativo del efecto de las propiedades ópticas del revestimiento exterior de fachada sobre la demanda energética de un edificio



Comparative study of the optical properties effect of the facade exterior coating on the building energy demand



María Jesús Gavira-Galocha^{1,2}, Gloria Pérez-Álvarez-Quiriones² y Consolación Acha-Román¹

¹ Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Avda. Juan de Herrera, 4 - 28040 Madrid. Tfno: +34 913 364239.

² Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Departamento de Cementos y Reciclado de Materiales. Calle Serrano Galvache, 4 - 28033 Madrid. Tfno: +34 913 020440.

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8487> | Recibido: 15/06/2017 • Evaluado: 20/07/2017 • Aceptado: 12/12/2017

ABSTRACT

- With the aim of improving the building energy efficiency, different technologies have been developed that optimize the use of solar energy in building envelope and avoid warming of urban areas. Chromogenic devices based on materials whose optical properties can be reversibly modified by an external stimulus have become relevant among these technologies. The façade coating can have different types of texture or color that determine specific optical properties, including absorbance, which defines the amount of solar radiation absorbed by the material with respect to the incident radiation. In the present work, the influence of the optical properties of two types of exterior façade coatings on the building energy demand is analysed: a belitic cement synthesized in the laboratory through a low energy and low CO₂ emissions process and a brick representative of a typical building masonry, presenting the former a more polished surface and lighter color than the latter. This study has focused on determining the parameters that optimize the use of the optical properties of the studied coatings in the building energy efficiency. The results show that the N-S orientation and the uninsulated wall suppose greater impacts on the energy demand by the coating change. In turn, the effect of coating change is remarkable in the climates studied, but it is in the temperate A3 climate where lower demands are achieved, approaching those established for passive buildings. These parameters will be used for future studies with a new thermochromic mortar coating developed from belitic cement, analyzing its influence on the building energy demand.
- **Keywords:** Energy efficiency, facade coating, optical properties, buildings, solar absorbance.

RESUMEN

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de la edificación se han desarrollado tecnologías que optimizan el aprovechamiento de la energía solar en los sistemas constructivos evitando a su vez calentamiento de las zonas urbanas. Entre estas tecnologías han cobrado relevancia los dispositivos cromogénicos basados en materiales cuyas propiedades ópticas pueden modificarse de manera reversible mediante algún estímulo externo.

El revestimiento en fachada puede presentar diferentes tipos de textura o color, que determinan unas propiedades ópticas específicas, entre ellas la absorbancia, que determina la cantidad de radiación solar absorbida por el material respecto a la radiación incidente.

En el trabajo que se presenta se analiza la influencia de las propiedades ópticas de dos tipos de revestimiento exterior en fachada sobre la demanda energética del edificio un cemento belítico sintetizado en laboratorio mediante un proceso de baja energía y bajas emisiones de CO₂ y un ladrillo representativo de una fábrica caravista, presentando el primero un acabado más pulido y color más claro que el segundo.

Este estudio se ha centrado en determinar los parámetros que optimizan el aprovechamiento de las propiedades ópticas de los revestimientos estudiados en la eficiencia energética del edificio. Los resultados obtenidos muestran que la orientación N-S y el muro sin aislamiento suponen mayores impactos en la demanda energética por el cambio de revestimiento. A su vez, el efecto del cambio de revestimiento es notable en los climas estudiados, pero es en el clima templado A3 donde se llega a alcanzar demandas más bajas, acercándose a las establecidas para los edificios pasivos.

Estos parámetros servirán para próximos estudios con un nuevo revestimiento de mortero termocrómico desarrollado a partir de cemento belítico, analizando su influencia sobre la demanda energética del edificio.

Palabras clave: eficiencia energética, revestimiento fachada, propiedades ópticas, edificios, absorbancia solar.

1. INTRODUCCIÓN

El efecto del calentamiento global está llevando a condiciones climatológicas más extremas, con una gradual desertización de las zonas más cálidas. El apreciable aumento de las temperaturas alcanzadas en los últimos años requiere de estrategias bioclimáticas en los edificios capaces de adaptarse a estas condiciones exteriores cada vez más severas [1].

Del mismo modo, al efecto del calentamiento global se une el efecto isla de calor urbana, que se traduce en un aumento de la temperatura del entorno urbano en las grandes ciudades, respecto a los entornos circundantes más abiertos, o entornos rurales. Este efecto se ve potenciado por los materiales que se usan en la construcción tanto de los elementos urbanos como de los edificios [2].

El clima español es muy variado, y a diferencia de muchos países europeos en los que su principal interés es protegerse de un ambiente exterior frío, en España se presenta la combinación de inviernos fríos con veranos calurosos, incluso zonas en las que predomina el clima cálido teniendo poca presencia la temporada invernal [3][4]. Las periódicas revisiones y actualizaciones de la normativa española de edificios en sus exigencias de eficiencia

energética contribuyen a hacer los edificios cada vez más estancos, heredando modelos de climas fríos, cuando el clima mediterráneo se presta al aprovechamiento de las condiciones exteriores para favorecer el comportamiento bioclimático del edificio. Los materiales de revestimiento exterior de los edificios pueden llegar a tener una contribución significativa a este efecto. En este sentido resulta importante conocer su respuesta óptica a la radiación solar, para poder cuantificar su comportamiento y optimizar sus efectos mediante el estudio y posible desarrollo de nuevos materiales de construcción [5].

Según la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética [6], los edificios representan el 40 % del consumo de energía final de la Unión, de ahí que en su artículo 4 se obligue a que los Estados miembros diseñen una estrategia a largo plazo, que alcance más allá de 2020.

La estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España [7], analiza el parque edificatorio construido y define los escenarios estratégicos objeto de medidas de fomento de la rehabilitación para la reducción del consumo energético de los edificios. Entre dichas medidas se enmarcan las actuaciones de mejora del comportamiento energético del muro de fachada como parte de la envolvente del edificio entendiéndose ésta como el conjunto de cerramientos que delimitan el edificio del exterior [8].

La mejora de la eficiencia energética de los edificios contempla, entre otras tecnologías, aquellas que optimizan el aprovechamiento de la energía solar en los elementos constructivos y reducen el calentamiento de las zonas urbanas. Dicho aprovechamiento depende directamente de las propiedades ópticas de la superficie exterior de la fachada, que incluyen no sólo su color, sino también su reflectancia y absorbancia en todo el rango de longitudes de onda de la radiación solar [9][10].

Entre las tecnologías ópticas en edificación han cobrado relevancia recientemente los dispositivos cromogénicos basados en materiales cuyas propiedades ópticas pueden modificarse de manera reversible mediante algún estímulo externo adaptándose a las variaciones de la radiación solar.

En el caso de materiales opacos, que no transmiten la radiación solar, la propiedad de interés es la absorptividad, que determina la cantidad de radiación solar absorbida por el material respecto a la radiación incidente. La absorptividad del material de revestimiento exterior, varía con la composición, el color y la textura del mismo, y determina la temperatura superficial del paramento. El estudio que se presenta pretende avanzar hacia la propuesta de un nuevo material capaz de adaptar sus propiedades ópticas a las condiciones del ambiente exterior, un mortero termocrómico para revestimiento en fachadas. Este material debe presentar un color claro, con baja absorptancia solar cuando el clima es cálido, para mitigar el calentamiento superficial del paramento, y debe presentar un color más oscuro, con alta absorptancia solar cuando el clima es frío para favorecer una mayor temperatura superficial. En este contexto se presenta el análisis del comportamiento del muro de fachada en función de las propiedades ópticas de dos tipos de revestimiento exterior que representan los dos estados del mortero termocrómico. Por un lado, para representar el material a altas temperaturas se consideran un cemento belítico sintetizado en laboratorio, que presenta un color claro y es una alternativa más innovadora y eco-eficiente respecto a los cementos actuales del mercado. Por otro lado, para representar el material a bajas temperaturas se considera el acabado de una fábrica de ladrillo caravista.

Además de las propiedades ópticas del material del paramento, existen otros parámetros que influyen sobre la demanda energética del edificio, como son la zona climática, orientación y capacidad aislante del muro.

El objetivo principal de este estudio es determinar los valores de dichos parámetros que proporcionan un mayor efecto de las propiedades ópticas de los distintos tipos de revestimiento en fachada en la eficiencia energética de un modelo de edificio (nuevo o existente) y cuantificar su efecto. Las condiciones en las que se observe un mayor efecto, serán las que proporcionen un mayor potencial de aprovechamiento de las propiedades ópticas variables del mortero termocrómico.

2. METODOLOGÍA Y CASOS DE ESTUDIO

2.1. REVESTIMIENTOS DE FACHADA CONSIDERADOS

Se han considerado dos materiales diferentes como revestimiento de fachada: cemento belítico y ladrillo.

El cemento belítico es un cemento eco-eficiente sintetizado en laboratorio mediante tratamiento hidrotermal y calcinación a baja temperatura, utilizando como materias primas cenizas volantes procedentes de una central térmica y óxido de calcio comercial. Este cemento tiene como base principal la Belita o silicato dicálcico, en lugar de silicato tricálcico mayoritario en el cemento Portland convencional [11].

El ladrillo representa las fachadas de ladrillo visto en edificios. Se ha utilizado un ladrillo sin tratamiento superficial para evitar la posible influencia de sus propiedades ópticas sobre los resultados de comportamiento energético.

Se han preparado muestras de pasta del cemento belítico con un acabado pulido similar al revestimiento de ladrillo (ver Figura 1).

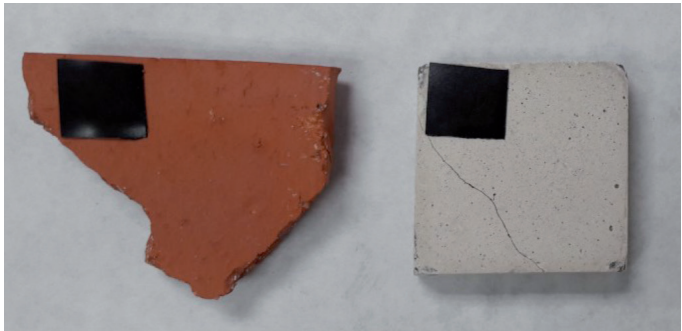


Fig. 1: Muestras de materiales de revestimiento: ladrillo y cemento belítico

Las muestras de materiales se han caracterizado para determinar las propiedades ópticas de interés para su estudio en revestimiento de fachadas. Estas propiedades, definidas en la herramienta de simulación *Design Builder* son, para materiales opacos, la absorptancia visible, la absorptancia solar y la absorptancia térmica (emisividad) [12]. Las absorptancias visible y solar de las muestras se han determinado a partir de los espectros de reflectancia obtenidos mediante un espectrofotómetro dispersivo de doble haz, según se describe en la norma UNE-EN 410:1998 [13]. Los valores

	Absorptancia		
	Térmica	Solar	Visible
Ladrillo	0,9	0,52	0,69
Cemento belítico	0,9	0,35	0,37

Tabla I: Propiedades ópticas de los materiales

de emisividad han sido tomados de la base de datos de *Design Builder*.

Las propiedades ópticas experimentales de los materiales considerados para representar distintos tipos de revestimiento exterior de fachada se recogen en la Tabla I.

2.2. MODELO EDIFICATORIO

Para realizar este estudio se ha elegido como modelo de edificio una vivienda unifamiliar adosada que se considera un tipo edificatorio habitual en el parque construido español [14][15].

La vivienda consta de dos plantas, con una superficie habitable total de 82 m². Dispone de una superficie de envolvente de 211 m² con un porcentaje de huecos en fachada del 15%, encerrando un volumen de espacio habitable de 222 m³. La compacidad resultante del edificio es de 1,05 m, definiéndose dicha compacidad como el resultado de dividir el volumen de espacio habitable entre la superficie de envolvente.



Fig. 2: Modelo de edificio con dos tipos de revestimientos: cemento belítico y fábrica de ladrillo

Como modelo de cerramiento se ha utilizado una fachada de doble hoja de fábrica con cámara de aire intermedia no ventilada en los casos sin aislamiento. En los casos estudiados de fachada con aislamiento, las transmitancias térmicas de los cerramientos son los valores orientativos que se recogen en el apéndice E del DB HE1 del CTE [16].

El análisis de la demanda energética del caso estudiado se realiza en base a simulaciones mediante la herramienta informática *Design Builder* (versión 4.7.0) [17], que integra el motor de cálculo de Energy Plus. *Design Builder* es un software especializado en la simulación ambiental y energética de los edificios que permite evaluar los consumos de energía del edificio entre otros aspectos [9].

El perfil de uso utilizado en la simulación de la vivienda ha sido el que incorpora la herramienta *Design Builder* en su base de datos como "Espacios Residenciales", asignando a cada estancia el perfil de uso específico correspondiente.

2.3. CASOS DE ESTUDIO

Para dar respuesta a los objetivos descritos, se han planteado una serie de casos, variando los parámetros de interés (zona climática, aislamiento de muro, orientación) con los tipos de revestimiento de fachada descritos anteriormente.

Para analizar la influencia de las propiedades ópticas de la fachada, según el clima, se ha estudiado el edificio en dos de las zonas climáticas en las que se clasifica la climatología española

para la verificación de las exigencias de demanda energética en edificios según el apéndice B del Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE [16]. Las zonas elegidas son la D3 (clima de Madrid), y la A3 (clima de Almería). La zona climática D3 representa un clima severo en invierno por sus bajas temperaturas, y severo en verano por sus altas temperaturas. La zona climática A3 representa la misma severidad climática de verano que la D3 combinado con un clima suave de invierno. Se plantean estas dos zonas climáticas con comportamientos muy diferentes en invierno, para ver el impacto de las propiedades ópticas de fachada sobre la demanda energética del edificio.

Para observar la influencia de las propiedades ópticas de la fachada sobre la demanda energética, en función de la capacidad aislante del muro, se han estudiado dos tipos de sistemas constructivos de muro en el mismo edificio, uno sin aislamiento y otro con aislamiento. Para observar este parámetro, solo se ha eliminado la capa aislante al muro de fachada. El resto de cerramientos de la envolvente permanecen igual, manteniendo el mismo valor de transmitancia térmica en ambos casos (los valores orientativos del apéndice E del DB HE1). Al haberse evaluado dos tipos de revestimiento en fachada para los distintos casos planteados, el valor de transmitancia térmica varía ligeramente para muros, según el revestimiento del que se trate.

En la Tabla II se recogen las propiedades térmicas de los cerramientos para cada caso, siendo:

- Um: Transmitancia térmica del muro
- Uc: Transmitancia térmica de la cubierta
- Us: Transmitancia térmica del suelo
- Uh: Transmitancia térmica del hueco (ventana)
- gv: Factor solar del hueco

Por otro lado, el efecto de las propiedades ópticas de la fachada sobre la demanda del edificio, puede ser más notable en unas orientaciones que en otras. Para valorar este efecto, se ha simulado el modelo del edificio orientando las fachadas a norte-sur, y a este-oeste.

3. RESULTADOS

3.1. ORIENTACIÓN

Los resultados para el edificio orientado N-S son más favorables que los correspondientes del edificio orientado E-O para todos los casos estudiados. Tanto las demandas de calefacción como de refrigeración son más bajas en la orientación N-S, presentándose mayor diferencia en refrigeración como se ve en la figura.

Asimismo, el incremento relativo de la demanda de calefacción por cambio de material de revestimiento es mayor para la orientación N-S, en torno al 10%, que para orientación E-O, en torno al 8%.

3.2. ZONA CLIMÁTICA

En la zona climática D3, las demandas de calefacción son más altas que en la zona climática A3, lo cual contribuye a que la varia-

	Um (W/m²·K)	Uc (W/m²·K)	Us (W/m²·K)	Uh (W/m²·K)	gv (-)
D3 - AISLADO	0,27	0,22	0,34	2,25	0,57
D3 - NO AISLADO	1,29-1,32	0,22	0,34	2,25	0,57
A3 - AISLADO	0,49	0,46	0,53	2,25	0,57
A3 - NO AISLADO	1,29-1,32	0,46	0,53	2,25	0,57

Tabla II: Propiedades térmicas de los cerramientos

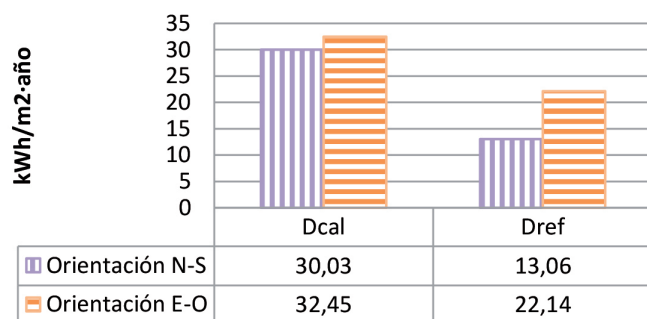


Fig. 3: Demanda energética ($\text{kWh/m}^2\text{-año}$). Zona climática D3: Sin aislamiento. Revestimiento de cemento

ción de demanda por el cambio de revestimiento sea más notable en la zona climática D3. Tal como se aprecia en la Fig.4, el efecto del revestimiento de cemento belítico sobre la demanda de calefacción hace que esta aumente más de 3 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ respecto a la demanda de calefacción del mismo edificio con un revestimiento exterior de fábrica de ladrillo. En el caso de la zona climática A3 la demanda de calefacción se modifica ligeramente con el cambio de revestimiento, algo menos de 1 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ de diferencia.

Respecto a la demanda de refrigeración, la diferencia en ambas zonas climáticas es similar en valores absolutos, en torno a 2,14–2,55 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$. En el caso de la zona climática A3, cuya demanda de refrigeración es la única destacable en este clima, la reducción que se consigue pasando de un revestimiento de ladrillo a uno de cemento belítico se acerca al valor de 15 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$, valor establecido para edificios *Passive House*. Esto hace interesante plantearse en estos climas la posibilidad de optimizar el comportamiento energético de la envolvente térmica con el objeto de aproximarnos a un edificio "pasivo" sin necesidad de sistemas de climatización.

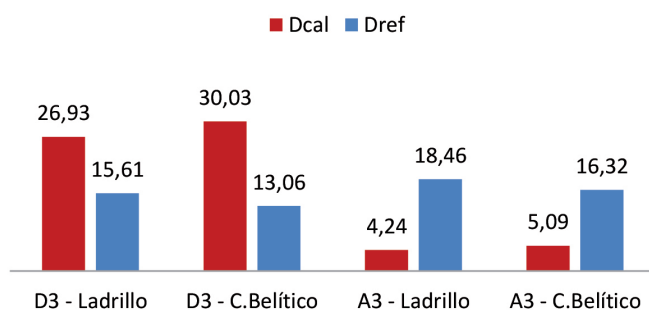


Fig. 4: Demanda energética ($\text{kWh/m}^2\text{-año}$). Orientación N-S. Sin aislamiento

3.3. CAPACIDAD AISLANTE DEL MURO

Se describen a continuación los resultados de demanda obtenidos para la zona climática A3, en la orientación N-S. En los valores de las demandas de refrigeración representados en la Fig.5, se aprecia que cuando el muro no está aislado, la diferencia es de más de 2 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$. Cuando el muro está aislado, esta diferencia no llega a 1 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$. Esta misma tendencia puede observarse, aunque en menor medida, para las demandas de calefacción, cuya diferencia entre ambos tipos de revestimiento son en torno a 0,20 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ para un muro aislado y de 0,85 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ en el caso de muro sin aislar.

Los resultados muestran que el efecto del cambio de revestimiento en fachada sobre la demanda energética del edificio es más notable cuando el muro no está aislado. Esta conclusión era esperable, pero resulta interesante contar con una cuantificación de esta diferencia.

Respecto a la demanda global del edificio, se reduce en ambos casos al pasar del revestimiento de ladrillo al revestimiento de cemento belítico, siendo este efecto ligeramente mayor en el caso de muro sin aislar.

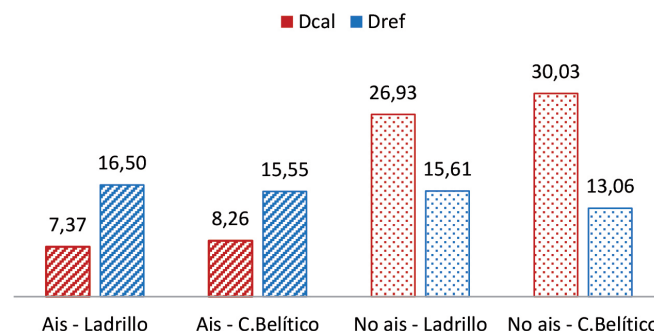


Fig. 5: Demanda energética ($\text{kWh/m}^2\text{-año}$). Zona climática A3. Orientación N-S

3.4. EFECTO DEL MATERIAL DE REVESTIMIENTO EN LAS CONDICIONES MÁS FAVORABLES

De los datos anteriores se pueden deducir las condiciones más favorables y que llevan a optimizar el comportamiento del modelo de edificio analizado respecto a la influencia del revestimiento exterior de la fachada sobre la demanda energética. Estas condiciones son: la orientación norte-sur, una zona climática poco severa en invierno, como la A3 analizada en este estudio, y muro de fachada sin aislar.

En la Fig.6, que representa las demandas de calefacción y refrigeración del modelo de edificio para las condiciones anteriores, se puede observar que, de los revestimientos analizados, el que tiene un mejor comportamiento respecto a la demanda de refrigeración es el cemento belítico, con un valor cercano a 15 $\text{kWh/m}^2\text{-año}$. El comportamiento frente a la demanda de calefacción es similar, aunque ligeramente mejor en el ladrillo.

Por lo tanto, en estas condiciones sería especialmente ventajoso contar con un material termocrómico que presentara las propiedades ópticas del cemento belítico en épocas de calor y las del ladrillo en épocas de frío.

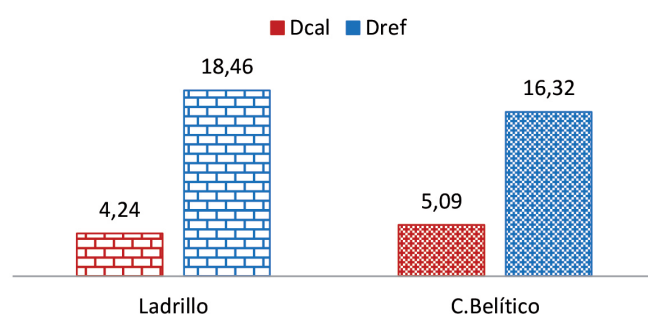


Fig. 6: Demanda energética ($\text{kWh/m}^2\text{-año}$). Zona climática A3. Orientación N-S. Sin aislamiento

4. CONCLUSIONES

Partiendo del modelo de edificio elegido, los resultados obtenidos reflejan que la orientación N-S es más favorable que la orientación E-O por sus valores más bajos de demanda, tanto de calefacción como de refrigeración. Este aspecto es independiente del tipo de revestimiento que tenga la fachada, pero es un condicionante a tener en cuenta para diseñar el edificio con valores óptimos de aprovechamiento de los parámetros ópticos de los ma-

teriales de revestimiento en fachada. Adicionalmente, el efecto del cambio de revestimiento de la fachada sobre la demanda de calefacción del edificio es más notable en la orientación N-S frente a la orientación E-O.

Respecto a las zonas climáticas estudiadas, la D3, (clima severo en invierno y verano), y la A3, (clima severo en invierno pero suave en verano), los resultados arrojan las siguientes conclusiones. En la zona climática D3 se dan valores de demanda de calefacción bastante más altos que en la A3 y valores de demanda de refrigeración ligeramente más bajos que en la A3. Esto es independiente del revestimiento exterior en fachada, donde la diferencia de demanda de refrigeración es similar en ambos climas, y mucho más notable en la zona climática D3 para la demanda de calefacción, ya que el clima es más frío. Así, el efecto del cambio de revestimiento es notable en ambos climas, siendo el clima A3 donde se pueden alcanzar demandas más bajas, acercándose a las establecidas para los edificios pasivos, con valor de 15 kWh/m²-año.

Mediante el análisis del modelo de edificio con dos tipos de muros de fachada, aislado y no aislado, se observa que las diferencias de demanda al cambiar el revestimiento en fachada son más notables en el caso del muro no aislado. Este aspecto era previsible, por lo que el objeto de considerarlo en este análisis, era poder cuantificar esa diferencia en el modelo de edificio estudiado. A raíz de los resultados que se muestran en la Fig.5, se observa que la reducción de demanda de refrigeración en la zona climática A3 al pasar de un revestimiento de ladrillo a uno de cemento belítico es del 11,6% en el modelo de edificio con muro sin aislar y de un 5,2% cuando el muro está aislado.

Las propiedades ópticas de cada revestimiento estudiado lo hacen más idóneo para cada época del año, el ladrillo para los meses fríos, cuando predomina la demanda de calefacción mientras que el cemento belítico, tiene un mejor comportamiento en épocas cálidas, cuando el edificio demanda refrigeración. Sería, por lo tanto, interesante un material de revestimiento termocrómico, que englobe las propiedades deseadas en cada época del año, las del ladrillo en invierno (alta absorbancia) y las del cemento belítico en verano (baja absorbancia).

Este material se adaptaría a la temperatura exterior cambiando su color de manera que varía su absorbancia, y con ello su respuesta a la radiación solar exterior. De esta forma se pretende conseguir aprovechar la radiación solar cuando se necesita por demanda de calefacción, y reflejarla cuando se requiere demanda de refrigeración.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., & Pomponi, F. 2015. Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19: 222-235
- [2] N. Alchapar, E. Correa (2015). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de la Construcción*. Vol. 67, 540, e112. ISSN-L: 0020-0883, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.131>
- [3] Sancho, J.M. et al. (2012). Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- [4] García, M.A. et al. (2011). Atlas Climático Ibérico. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Instituto de meteorología de Portugal.
- [5] Gavira, M.J., Pérez, G., Guerrero, A. 2016. Influence of the optical properties of facade coating on the building energy demand. 41st IAHS World Congress on Housing. *ITeCons. Sustainability and Energy Efficiency*, ID 13. ISBN: 978-989-98949-4-5

- [6] Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*
- [7] Ministerio de Fomento (2014). Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE
- [8] M.J. Gavira, V. Sanchez. "Aplicación de los criterios de ahorro energético del CTE a los edificios existentes". Cursos avanzados Eduardo Torroja – Seminario 07: Rehabilitación y habitabilidad. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. CSIC. Mayo, 2015.
- [9] Zinzi, M. 2016. Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications. *Energy and Buildings*, 114: 206-213.
- [10] Antonaia, A., Ascione, F., Castaldo, A., D'Angelo, A., De Masi, R. F., Ferrara, M., Vanoli, G. P., & Vitiello, G. 2016. Cool materials for reducing summer energy consumptions in Mediterranean climate: In-lab experiments and numerical analysis of a new coating based on acrylic paint. *Applied Thermal Engineering*, 102: 91-107.
- [11] Pérez, G.; Mota, C; Pons, A.; Guerrero, A.M. 2016. Caracterización del color y la reflectancia solar de un cemento eco-eficiente para revestimiento de fachadas. XI Congreso Nacional del color. Ourense. ISBN: 978-84-608-9872-6
- [12] Ordoñez, A. Manual de ayuda DesignBuilder en español. Versión del programa: 4 / Versión del manual 2016.04.23. Sol-Arq.
- [13] UNE-EN 410: 2011. "Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos"
- [14] Ministerio de Fomento (2008). Atlas estadísticos de la construcción en España.
- [15] Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (2015) Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Anual 2014.
- [16] 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.
- [17] Design Builder Versión 4.7.0.027 <https://ecoeiciente.es/descargas-designbuilder/>

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de las tareas desarrolladas para el proyecto BIA2014-56827-R "Desarrollo de un mortero de revestimiento inteligente basado en cementos ecoeficientes termocrómicos (MICET). Agradecimiento a Alicia Pons del Instituto de Óptica del CSIC, por los espectros de reflectancia de las muestras de este trabajo.