

Edificios de ECN mediante el sistema combinado de inyección en cámara y solución de puentes térmicos. Demostrador a escala real: edificio de viviendas.

Publicado: 15 Jul 2014

Autores

Belén Hernández, Investigadora, [Universidad Politécnica de Madrid](#) (UPM)

Sergio Rodríguez, Investigador, UPM

Elda Delgado, Investigadora, UPM

Cristóbal Contreras, Investigador, UPM

Sergio Vega, Profesor titular de la UPM

Ana Pallarés, [Saint Gobain ISOVER](#)

Resumen

La mejora de la envolvente del edificio mediante inyección de aislamiento térmico en cámara de aire es una opción de rehabilitación energética económicamente viable, sin pérdida de superficie útil, con poca incidencia en el aspecto exterior y mínima molestia al usuario. Pero para aproximarse a los Edificios de Energía Casi Nula conviene combinarlo con la resolución de puentes térmicos. Se proponen dos soluciones de intervención, desde el exterior y el interior del cerramiento, mediante paneles ligeros industrializados capaces de corregir el comportamiento en estos puntos. Se ha realizado una intervención de inyección en un demostrador en Madrid, que está siendo monitorizado como parte de la investigación del sistema de inyección y su repercusión sobre los puentes térmicos. Como segunda fase de la intervención se plantea la implementación de los sistemas de paneles.

Introducción

Los objetivos marcados por "Estrategia Europa 2020" y, más específicamente para el caso del rendimiento de edificios, la Directiva 2010/31/UE centran el desarrollo del mercado de la construcción en el campo de la rehabilitación energética de los edificios. En el caso particular de España, el parque residencial edificado actual se compone de un total aproximado de 25 millones de viviendas con características variables, pero que coinciden en la insuficiencia de medidas de ahorro energético.

Ante dichas políticas surge el proyecto [SIREIN+](#) (Sistema Integral de Rehabilitación Energética): una propuesta de rehabilitación energética eficiente y competitiva aplicable al mayor número de edificios posible mediante el diseño de un número reducido de elementos constructivos industrializados dirigidos a obtener el grado óptimo de mejora en eficiencia energética al mínimo coste, con unas condiciones de financiación atractivas para el usuario, promotor o propietario final.

Actualmente, están siendo desarrollados otros proyectos de investigación europeos que comparten algunos de los objetivos del proyecto objeto de esta publicación. Entre ellos, cabe destacar los siguientes: la propuesta de [BRITAINPuBs](#)(1) tiene como objetivo fomentar la entrada en el mercado de soluciones de rehabilitación energética que sean innovadoras y eficientes con el fin de mejorar la eficiencia energética e implementar las energías renovables con costes adicionales moderados. Por su parte, [MeeFS](#)(2) investiga a cerca de sistemas de fachada modular y eficiente energéticamente.

En relación a artículos científicos publicados, se encuentra la publicación de Giuliano Dall'O et al(3) cuya metodología de evaluación del potencial de ahorro energético de la rehabilitación de los edificios de viviendas se centra en una intervención de la envolvente completa de edificio residencial. Establecen como prioritarias opciones como el cambio de ventanas, aumentar el asilamiento por el exterior tanto de la fachada como en cubierta y mejorar el sellado de las zonas críticas para reducir las infiltraciones. Por su parte, Yu Huang et al(4) exponen la conveniencia de instalar elementos de sombreamiento exterior que bloqueen la entrada de radiación solar que genera un aumento de la temperatura interior, reduciendo, así, considerablemente las cargas de refrigeración.

Proyecto

El proyecto SIREIN+ propone, por tanto, el desarrollo de sistemas de rehabilitación energética combinados en edificación, que aúnen la viabilidad técnica, basada en soluciones técnicas existentes e innovadoras tanto para la envolvente completa del edificio como para el sistema de instalaciones eficientes.

Se pretende así posibilitar la rehabilitación energética abordada desde un punto de vista integrador de todos los factores, creando sistemas y combinaciones de sistemas globales válidos para un mercado emergente, que aporte beneficios tanto a los industriales involucrados, como al conjunto de la sociedad.

Se establecen diferentes líneas de investigación especializadas en cada uno de los elementos influyentes en la demanda energética. Se han desarrollado, así, prototipos de sistemas de rehabilitación eficiente para envolvente opaca, tanto por el exterior como por el interior, envolvente acristalada, cubierta y sistemas de instalaciones de calefacción, refrigeración e iluminación eficientes. Transversal a todas ellas, se realiza una línea económica que, además de evaluar la viabilidad económica de cada solución estudiada, busca nuevas propuestas de gestión que incentiven la rehabilitación energética.

En este punto y como objeto de esta ponencia, se propone la combinación del proceso de rehabilitación energética de inyectar aislamiento en la cámara de aire entre las dos hojas del cerramiento con una solución de paneles exteriores o interiores que resuelvan los puentes térmicos estructurales que la primera acción no solventa.

Metodología

La **metodología general** llevada a cabo en el proyecto está basada en el Principio de Pareto, también conocido como la "regla del 80/20". Éste defiende que el 20% de las causas genera el 80% de los efectos. Se puede decir entonces que dicho Principio defiende la efectividad de los métodos.

Tras una primera anualidad centrada en el estudio de las características predominantes del parque residencial edificado y una segunda en la que se para cada uno de las (envolvente opaca, acristalada, cubierta y sistemas de instalaciones).

El proyecto se estructura en diferentes líneas de investigación que desarrollan prototipos individualizados para envolvente opaca, acristalada, cubierta y sistemas de instalaciones. La metodología seguida en todas ellas ha sido común. Se ha realizado una primera fase teórica de diseño de prototipos y estudio del comportamiento térmico mediante simulaciones en programas informáticos que analizan flujo de calor y obtienen valores de demanda generados en un edificio tipo. Con dichos resultados, se ha diseñado el prototipo avanzado para ser construido y monitorizado.

El proyecto se encuentra en su tercera etapa basada en la **combinación de soluciones tipológicas** con un objetivo doble: aproximarse a los parámetros definitorios de los Edificios de Consumo de Energía Casi Nula y potenciar una intervención gradual y asumible por los propietarios.

Se establecen cuatro ramas combinadas de intervención:

- Solución optimizada de elemento acristalado con panel industrializado ligero para envolvente opaca.
- Solución optimizada de elemento acristalado con sistemas eficientes de iluminación, control solar y ventilación natural.
- Sistemas de recuperadores de calor combinado con instalaciones térmicas eficientes.
- Solución de inyección de aislamiento en cámara de aire con solución de puentes térmicos.

En concreto, la presente ponencia se va a centrar en dicha última opción. En los casos en los que no sea posible actuar en el exterior de la fachada completa, se plantea la combinación de inyectar aislamiento en la cámara de aire y solventar los puentes térmicos de fachada generados por la estructura (cantos de forjado y pilares) ya sea por el exterior o por el interior.

Con el fin de analizar y comparar todas ellas, se estudian implantadas en un edificio tipo. Dicho prototipo corresponde a un edificio de viviendas perteneciente al Área de Rehabilitación Integral del barrio de Ciudad de los Ángeles, Madrid. Fue construido en los años 60, de ocho alturas con dos viviendas por planta y representa a la tipología edificatoria más susceptible a ser rehabilitada tanto por sus características constructivas como por el perfil socioeconómico de los propietarios pertenecientes a un barrio obrero de recursos económicos limitados.

Resultados

Se ha estudiado en profundidad el proceso de rehabilitación de inyección en cámara ya que es una técnica relativamente sencilla y cerca del 80% de los edificios residenciales son susceptibles de emplear la cámara de aire como estrategia de mejora del comportamiento térmico de la fachada mediante la introducción, complementación o sustitución de aislamiento térmico de baja calidad.

Además, es económicamente viable gracias a su coste moderado y no supone una pérdida de superficie útil al aprovechar una cavidad existente en el cerramiento. Por otro lado, presenta poca incidencia en el aspecto exterior del edificio al ser aplicada en la mayoría de los casos desde el interior de las viviendas. La flexibilidad del sistema de aplicación tanto exterior como interior, unido a su rapidez y limpieza de ejecución, minimiza las molestias al usuario.

Tras un estudio de los diferentes materiales aislantes más usados, se elige realizar el análisis del sistema con lana mineral, en concreto de vidrio, debido a su triple aporte: térmico, acústico y protección a fuego (5).

En primer lugar, se ha analizado cómo afecta al flujo de calor a través del cerramiento mediante simulaciones energéticas con el programa Antherm para las condiciones de invierno. Con ello se estudia cómo la baja conductividad del aislamiento inyectado frena el flujo de calor interior hacia la hoja exterior, lo que conlleva un aumento de la temperatura superficial interior eliminando el efecto de "pared fría" que afecta a la sensación térmica del espacio.

La reducción del valor de la transmitancia conseguida tras la inyección se traduce a nivel energético en una reducción de la demanda global del edificio, se ha usado el programa DesignBuilder para simular los supuestos.

Los parámetros empleados en los cálculos son los siguientes:

- Cámara de aire: $R=0,18 \text{ m}^2\text{K/W}$; $e=60\text{mm}$.
- Inyección de aislamiento: lana de vidrio, $\lambda=0,034 \text{ W/mK}$; $e=60\text{mm}$

La Tabla 1 representa los valores de demanda anual esperados para una vivienda en el edificio tipo con cerramiento exterior con cámara de aire y tras realizar la inyección de aislamiento. En ella se observa que el aporte del aislamiento reduce la demanda anual alrededor de un 25%.

Demanda anual [kWh]		Reducción [%]
Cámara de aire	Inyección	
8.725	6.634	23,97

Tabla 1. Reducción de demanda anual gracias a la inyección de cámara.

Sin embargo, la solución de inyección no resuelve el problema generado en los puentes térmicos debido a la discontinuidad en la cámara. Por esa razón, se plantea su combinación con los nuevos productos propuestos para canto de forjado y pilares ya sea desde el exterior (paneles ligeros industrializados) o desde el interior (trasdosado directo de mínimo espesor).

Los sistemas propuestos permiten las siguientes combinaciones de soluciones:

- Inyección + pilares por el exterior [S1].
- Inyección + pilares por el interior [S2].
- Inyección + canto de forjado por el exterior [S3].
- Inyección + canto de forjado + pilar por el exterior [S4].
- Inyección + canto de forjado + pilar por el interior [S5].

En ellas, las propiedades físicas básicas del aislamiento empleado en los sistemas son los siguientes:

- Solución de puentes térmicos por el exterior: lana de roca, $\lambda=0,032$ W/mK; $e=60$ mm.
- Solución de puentes térmicos por el interior: lana de arena, $\lambda=0,032$ W/mK; $e=25$ mm.

De forma análoga al caso anterior, se han realizado estudios teóricos de los sistemas combinados obteniendo las demandas energéticas de su implantación así como las reducciones que cada uno de ellos proporciona respecto al caso inicial de cámara de aire vacía. La Tabla 2 muestra dichos resultados.

	Inyección	S1	S2	S3	S4	S5
Demanda anual [kWh]	6.634	6.179	6.257	6.165	5.763	5.847
Reducción de demanda [%]	23,97	29,18	28,28	29,34	33,94	32,98

Tabla 2. Reducción de demanda anual con la combinación de sistemas.

Si se observa la Gráfica 1 se aprecia cómo la mayor eficiencia se consigue con el sistema combinado correspondiente a inyección de aislamiento y solución de ambos puentes térmicos por el exterior [S4] que alcanza una reducción ligeramente inferior al 35% de la demanda inicial. En el caso opuesto se encuentra la suma de inyección con la solución única del trasdosado interior con un 28% [S2].



Gráfica 1: Reducción de demanda anual generada con la combinación de sistemas.

Las combinaciones restantes proporcionan beneficios intermedios mejorando los resultados de la inyección con valores aproximados de 5,2, 5,4 y 9% gracias a la solución de pilares por el exterior, canto de forjado por el exterior y la suma de canto de forjado y pilares por el interior respectivamente.

La inyección en cámara, por otro lado, presenta una serie de consideraciones previas a su ejecución a tener en cuenta. Como comprobación se han realizado estudios para descartar posibles condensaciones, siguiendo las instrucciones del DA DB-HE / 2(6). Del mismo se concluye que el riesgo de condensaciones superficiales es descartado y las condensaciones intersticiales producidas por las modificaciones realizadas en la envolvente para el caso de estudio, mencionado en el apartado anterior, son inferiores a la evaporación producida en el cerramiento.

El demostrador, situado en Ciudad de los Ángeles, se ha empleado para comprobar la eficacia tanto de la técnica de aplicación como de los resultados teóricos esperados. En plan de experimentación corresponde a la inyección en una primera fase de todo el edificio excepto una vivienda empleada como testigo de referencia para aislar, en una segunda fase, dicha vivienda restante una vez finalizado el periodo de medición. Por todo ello, se ha documentado el proceso de mejora y, actualmente, se está realizando la monitorización de ciertos parámetros de confort interior y el seguimiento de los contadores de gas natural.

De esta forma, además, se espera poder contrastar y validar los resultados obtenidos informáticamente.

Conclusiones

A lo largo del presente estudio se ha analizado los beneficios proporcionados por la combinación de dos técnicas empleadas comúnmente en rehabilitación energética de edificios: inyección de aislamiento en cámara de aire y colocación de una nueva capa aislamiento ya sea por el exterior o por el interior del cerramiento.

Los cálculos de demandas realizados para el caso de una vivienda perteneciente a un edificio tipo de los años 60 con una cámara de aire inicial de 60[SRT1] mm de espesor, muestran que, tras la inyección de aislamiento a base de lana mineral, la demanda anual puede llegar a reducirse en torno a un 25 % para las condiciones climatológicas de Madrid.

Además, se plantea su combinatoria con la mejora de los puentes térmicos, ya que no se ven afectados por la primera solución, a través de dos prototipos compuestos por paneles ligeros industrializados que aportan aislamiento exterior o interiormente.

Con ello, la reducción de demanda inicial vería aumentado su beneficio incluso hasta un 35% si se implementan los prototipos exteriores. Si, debido a condiciones particulares de un edificio específico, no se pudieran emplear soluciones por el exterior, los trasdosados también contribuirían con unas reducciones de valores cercanos al 30%.

Reconocimientos

La Información que se expone en el presente artículo es fruto de los trabajos de investigación realizados por las entidades Saint Gobain Cristalería (ISOVER), Universidad Politécnica de Madrid (Grupo TISE), Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid, Profine Iberia (Kömmerling), Fernández Molina, Tecnalia y R7 Consultores en el marco del Proyecto SIREIN+, subprograma INNPACTO, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Dichos resultados son, pues, propiedad exclusiva de las entidades que generaron dicha información en el ámbito del Proyecto SIREIN+.

Referencias

[BRITainPUBs](#)

[MeeFS](#)

Giuliano Dall'O et al. (2012). A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks. *Sustainable Cities and Society* 4 (2012): 12-21, doi: 10.1016/j.scs.2012.01.004.

Yu Huang et al. (2011). Energy and carbon emission payback analysis for energy-efficient retrofitting in buildings-Overhang shading option. *Energy and Buildings* 44 (2012): 94-103, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.027.

ISOVER. "La Guía Isover, Soluciones de Aislamiento", pág. 6

DA DB-HE / 2. Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (BOE 8/11/2013).