

## CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE FACHADAS ACTIVAS MEDIANTE ENSAYO

FLORES ABASCAL, Ivan<sup>(1)</sup>; ESCUDERO REVILLA, Cesar<sup>(1,2)</sup>; IRIBAR SOLABERRIETA, Eider<sup>(1)</sup>;

RUIZ DE VERGARA RUIZ DE AZUA, Imanol<sup>(1,2)</sup>; ODRIOZOLA MARITORENA, Moisés<sup>(3)</sup>;

ivan.flores@ehu.eus

<sup>(1)</sup>E.T.S.I. de Bilbao, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, UPV/EHU

<sup>(2)</sup>Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco. Área Térmica, (UPV/EHU).

<sup>(3)</sup>E.U. Politécnica de Donostia- San Sebastián, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, UPV/EHU

### RESUMEN

El uso de fachadas activas en los edificios es una de las alternativas existentes hoy en día para tratar de lograr reducir el consumo energético de los edificios. El problema que se plantea con este tipo de elementos es que muchas veces el proyectista no dispone de información suficiente para poder conocer cómo se va a comportar esa fachada en su edificio, teniendo en cuenta las particularidades propias de la ubicación, clima, sombreadamiento, etc.

Una manera de subsanar esa carencia consiste en caracterizar térmicamente dichas soluciones. La dificultad de dicha tarea reside en que es necesario hacerlo en condiciones exteriores e independizar los resultados de las condiciones particulares existentes durante el ensayo. La metodología desarrollada por la red PASLINK cumple con esas condiciones y permite que las propiedades térmicas obtenidas puedan ser usadas en un programa de simulación para predecir el comportamiento térmico del cerramiento en diferentes condiciones. Otra ventaja de esta caracterización es que no solo permite conocer la eficiencia del sistema sino que además proporciona información para su mejora.

En este trabajo se describen la celda de ensayo y las características principales de la metodología empleada para la caracterización térmica de dos sistemas de fachadas activas: un muro Trombe y una fachada fotovoltaica. Igualmente, se presentan algunos de los resultados obtenidos durante los ensayos.

**Palabras clave:** Fachadas activas, caracterización térmica.

## 1. Introducción

El elevado consumo energético de nuestros edificios (tanto residenciales como del sector terciario) ha propiciado que se estén realizando grandes esfuerzos por parte de todos los agentes del sector en mejorar la eficiencia energética de los edificios. Además de tratar de reducir la demanda energética, un aspecto importantes el aprovechamiento de la energía solar para su uso en el edificio. La energía solar puede ser empleada para calefacción o para refrigeración, por lo que en el mercado se encuentra una gran variedad de sistemas de fachadas activas. Sin embargo su diseño rara vez está optimizado para cada localidad en función de su climatología. Para alcanzar este objetivo es necesario conocer el comportamiento de las diferentes partes de la solución constructiva, para lo cual resulta imprescindible disponer de un buen método de ensayo.

Para conseguir una caracterización adecuada de las fachadas activas mediante ensayo son necesarios tres requisitos: equipamiento fiable, una muestra representativa y finalmente un proceso de cálculo y análisis de los datos obtenidos que sea preciso y seguro. Todos estos aspectos se pueden lograr trabajando con las celdas PASLINK y su metodología de ensayo [1]. El objetivo del presente trabajo es por tanto demostrar la idoneidad de este tipo de celdas para estos ensayos, analizando dos sistemas de fachadas activas diferentes.

Para ello, se describen en primer lugar las celdas existentes en el Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación (LCCE) del Gobierno Vasco situado en Vitoria-Gasteiz. La descripción se centra en los aspectos fundamentales para la realización de los ensayos. Una descripción más completa se puede encontrar en [2]. Posteriormente, se analizarán los resultados obtenidos en los ensayos de dos tipos de fachadas activas: un muro Trombe con diferentes configuraciones y una fachada ventilada fotovoltaica.

En todos los casos se analizará el comportamiento de la cámara ventilada, comparando la radiación solar incidente y el calor absorbido en la cámara de aire. Ese “rendimiento” así como la ganancia media diaria expresada en kWh/m<sup>2</sup>día serán determinados para cada solución.

## 2. Las celdas de ensayo

### 2.1. Descripción de las celdas

Las celdas Paslink tienen su origen a mediados de los años 80 en el proyecto europeo PASSYS (Passive Solar Systems and Component Testing) cuyo objetivo principal era llevar a cabo ensayos en condiciones climatológicas reales, de manera estandarizada y con un elevado grado de precisión. La información que se quería obtener del componente ensayado eran: su transmitancia térmica (U), su ganancia solar y su comportamiento dinámico (inercia térmica).

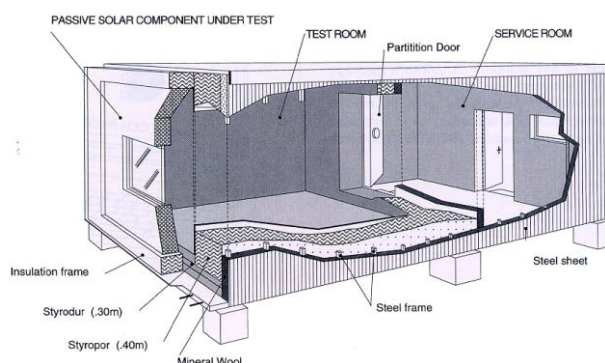


Figura 1: Esquema general de las celdas de ensayo Passys [3].

El diseño original de este tipo de celdas fue propuesto por Baker [3]. Básicamente, la celda (ver Figura 1) consiste en una estructura muy bien aislada (40 cm de EPS) de 8 x 2,7 x 2,7 m, dividida en dos espacios. Uno de 5 x 2,7 x 2,7 m llamada “sala de ensayo” en el sur, y otro espacio adyacente en el

norte, llamado “sala de servicio”, que contiene el sistema de adquisición y el equipo de acondicionamiento de aire. La fachada sur (y la cubierta cuando se desean ensayar elementos horizontales) son intercambiables por lo que se pueden ensayar diferentes componentes (muros o cubiertas).

Una mejora importante sobre el diseño original lo constituyen los HFS Tiles (Heat Flux Sensitive Tiles) [4]. Estos sensores permiten medir la transferencia de calor a través de la envolvente de la sala de ensayo con gran precisión. De esa manera, todo el calor que pasa a través de la muestra de ensayo puede ser evaluado adecuadamente sin necesidad de largos periodos de ensayo. Este tipo de sensores es el que se ha instalado en las celdas del LCCE. En total cada celda tiene 235 HFS Tiles, cubriendo las 5 superficies que no forman la muestra de ensayo (ver Figura 2).



Figura 2: HFS Tiles en una de las celdas Paslink del LCCE.

Además de esos sensores, la celda dispone de los siguientes sensores para la realización de los ensayos:

- 8 sensores de temperatura de aire protegidos contra la radiación (Pt100)
- 9 sensores de temperatura superficial (Pt100).

Para monitorizar las condiciones reales del ambiente exterior lo más detalladamente posible, se utilizan los siguientes sensores:

- 3 sensores de radiación solar (horizontal global, horizontal difusa y vertical global)
- 5 sensores de temperatura (Pt100) de aire.
- 3 sensores de temperatura (Pt100) superficial
- 1 estación meteorológica para la medida de Humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

Además, la celda dispone de un sistema para determinar las infiltraciones al inicio y al final de los ensayos, que permiten determinar si su efecto es relevante en el análisis o no.

Además de todos los sensores anteriores, comunes a cualquier ensayo, en cada ensayo se colocan sensores específicos, en función de la variable o fenómeno a medir.

## 2.2. Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo se basa en una rutina de aporte de calefacción en la sala de ensayos conocida como ROLBS [5]. Antes de aplicarla es necesario asegurar que tanto la muestra como la celda están en equilibrio. Una vez chequeado, la rutina de calefacción puede empezar. Los intervalos de calefacción de esta rutina duran días, horas o treinta minutos (ver figura 3izqda).

Esa variabilidad permite obtener la información necesaria para desconectar el comportamiento térmico inercial de la muestra y de la envolvente de la celda. La potencia a aplicar debe ser suficientemente grande como para garantizar un salto de temperaturas adecuado (ver figura 3 dcha.) entre el interior y el exterior de la celda (generalmente  $\geq 20$  °C). Esta condición y el elevado nivel de aislamiento de la celda, permite medir flujos de calor a través de la muestra de manera precisa.

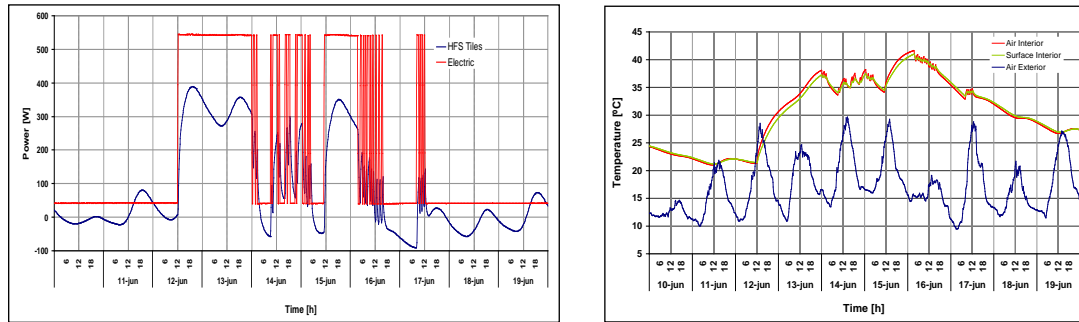


Figura 3: Rutina de calefacción según perfil ROLBS (izqda.) y temperaturas de aire exterior, aire interior y superficial interior durante el mismo periodo (dcha.).

La última parte del proceso es la determinación de las características térmicas principales de la muestra analizada. En general, las variables de interés en componentes opacos son la resistencia térmica  $R$  ( $m^2 \cdot K/W$ ) y la capacidad térmica  $C$  ( $J/m^2 \cdot K$ ), mientras que para los componentes semitransparentes además se suele determinar la ganancia solar  $g$ . Las herramientas empleadas para determinar estas propiedades son los programas LORD (LOGical R-Determination)[6] y CTSM (Continous Time StochasticModelling) [7]. Ambos métodos usan modelos de *caja gris* donde los parámetros son determinados a través de las ecuaciones diferenciales ordinarias de la transmisión de calor aplicada a un modelo de parámetros concentrados.

### 3. Resultados obtenidos

En los siguientes apartados se describen alguna de las soluciones de fachada activa ensayadas, así como los resultados más significativos que se han obtenido.

#### 3.1. Ensayo 1: Muro Trombe

El primer ejemplo es un Muro Trombe. El muro Trombe está formado por una pared con mucha masa, una cámara de aire, una lámina de vidrio y un sistema de ventilación formando un colector solar térmico.

En el caso concreto analizado, el objetivo del estudio era analizar diferentes modos de funcionamiento en función de la radiación solar acumulada y la época del año. Así, el diseño del muro permite que la energía capturada por la pared y almacenada por el efecto invernadero del vidrio bajo emisivo pueda ser introducida en invierno al interior calefactado de la vivienda mediante una cortina de aire interior-interior o exterior-interior. Además, el muro presenta un potencial de refrigeración en verano, mediante una corriente de aire interior-exterior o exterior-exterior. Esta versatilidad de funcionamiento, puede ser implementada en un sistema de control que permita elegir el modo más energéticamente eficiente en función de las predicciones climáticas y del comportamiento de la fachada. En la siguiente figura se muestra el esquema constructivo y una imagen de la muestra.

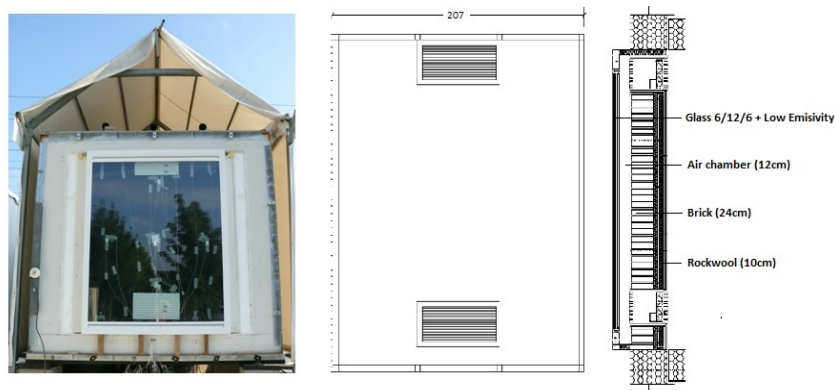


Figura 4: Muro Trombe en la celda de ensayos y esquema constructivo del sistema.

En la siguiente figura, se muestra la evolución del comportamiento de la fachada ventilada en condiciones de verano (rejillas exteriores abiertas). Se puede observar que el calor evacuado mediante la cortina de aire permanece prácticamente constante a lo largo del día, incluso cuando la irradiación era más baja debido a la nubosidad. Esos días permiten reducir la energía almacenada en el muro de ladrillo y mejorar las condiciones de partida para los días soleados. Se estima que se absorbe un 57 % de la radiación solar, con un promedio de 1,8 kWh/m<sup>2</sup> por día.

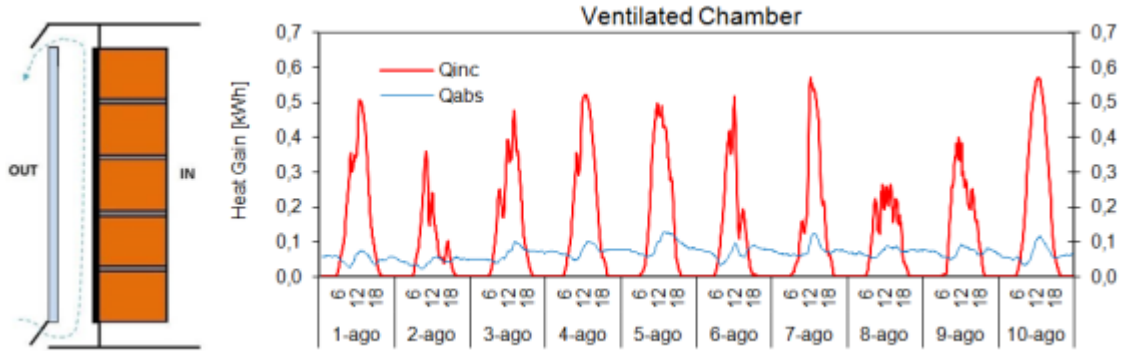


Figura5: Radiación incidente y calor disipado para la configuración exterior-exterior.

Para la configuración interior-exterior, puede observarse (ver figura 6) como el efecto refrigerante depende mucho más de la radiación solar que en el caso anterior. Esta circunstancia da lugar a menores porcentajes de calor disipado (en torno a 36 %, con un promedio de 1,4 kWh/m<sup>2</sup> por día.

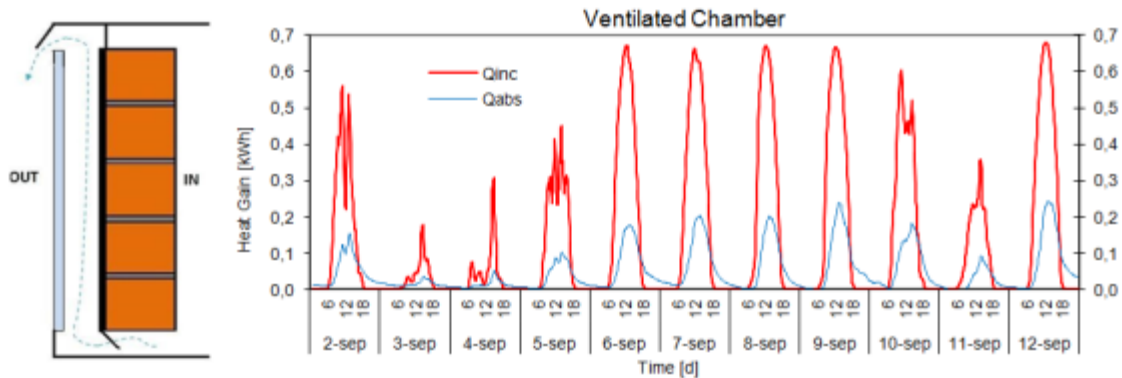


Figura6: Radiación incidente y calor disipado para la configuración interior-exterior.

En condiciones de invierno, la corriente de aire interior tiene un claro objetivo: calentar el edificio haciendo pasar el aire frío del interior de la vivienda a través de la cámara de aire. Los resultados se muestran en la siguiente figura, obteniendo un aprovechamiento del 58 % de la radiación solar, con un promedio de 1 kWh/m<sup>2</sup> al día.

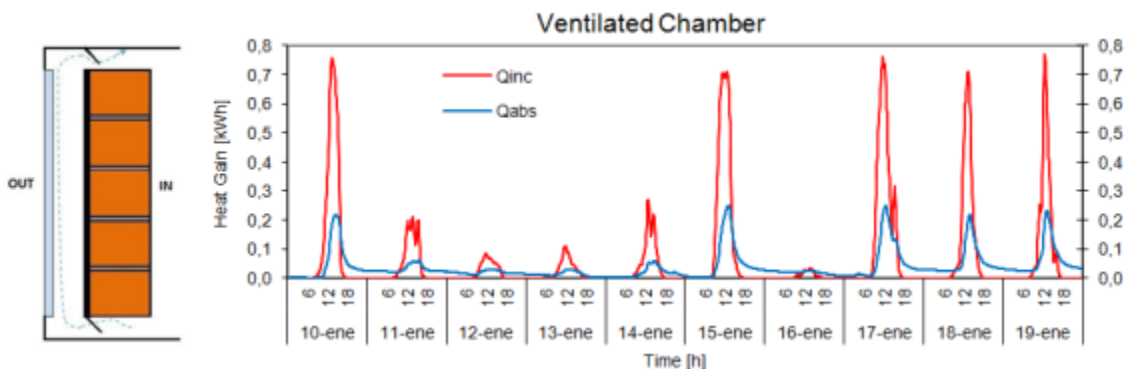


Figura7: Radiación incidente y calor aprovechado para la configuración interior-interior.

La última configuración, puede ser utilizada en verano, logrando mayores porcentajes de calor absorbido debido a la velocidad del aire en la cámara ventilada. Incluso en algunos días con poca radiación debido a la nubosidad, el calor absorbido se mantiene constante, o incluso mayor que la radiación incidente gracias al desfase provocado por la inercia del muro (ver Figura 8). En este caso, el calor absorbido se sitúa en torno al 61 % de la radiación solar, con un promedio de 2,6 kWh/m<sup>2</sup> al día.

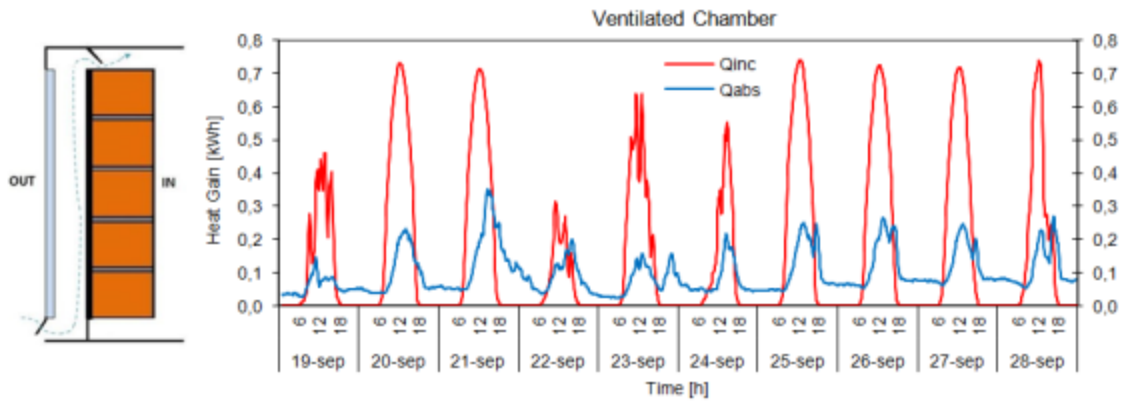


Figura8: Radiación incidente y calor aprovechado para la configuración exterior-interior.

### 3.2. Ensayo 2: Fachada ventilada fotovoltaica

El segundo ejemplo de fachada activa es una fachada ventilada fotovoltaica. Esta solución es el tipo de solución activa más habitual en las envolventes de los edificios. En general, se trata de maximizar la producción eléctrica, olvidando muchas veces que el calor intercambiado con la cámara ventilada puede servir para aumentar la eficiencia energética del edificio. En la mayoría de estas fachadas, la cortina de aire se utiliza únicamente para refrigerar los paneles fotovoltaicos y mejorar el comportamiento higroscópico de la fachada.

En la muestra ensayada, se ha estudiado el comportamiento de la cámara ventilada con objeto de conseguir un comportamiento eléctrico de los paneles mucho más eficiente y usar el calor absorbido dentro de la cámara. Este tipo de fachadas activas presenta un gran potencial de aprovechamiento energético mediante la incorporación de un sistema de extracción forzada que mejore la eficiencia energética global de la envolvente. En la figura siguiente (Figura 9) se muestra la muestra ensayada, así como el comportamiento eléctrico de la misma durante parte del periodo de ensayo. Los valores mostrados en la gráfica corresponden a valores unitarios (por panel).

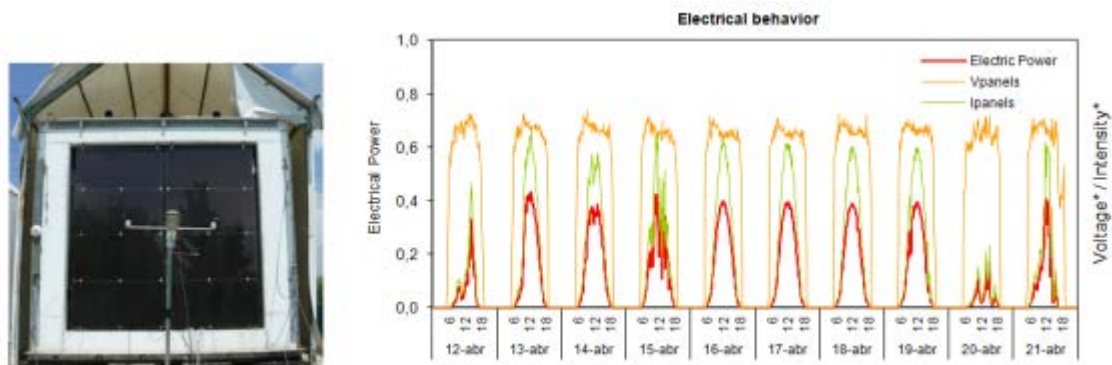


Figura9: Fachada fotovoltaica ensayada (izquierda) y comportamiento eléctrico durante el periodo de ensayo.

Como se ha mencionado anteriormente, un importante aspecto del estudio era la cuantificación del calor absorbido por el aire de la cámara ventilada en relación a la radiación solar incidente. Durante un periodo de ensayo de 15 días, considerado completamente representativo, la ganancia de calor estuvo cercana al 30 %, con un valor promedio de 1 kWh/m<sup>2</sup> al día, que podría ser usado para complementar

el sistema de calefacción del edificio. En la siguiente figura se muestra el calor absorbido y la radiación solar incidente durante una parte del periodo de ensayo.

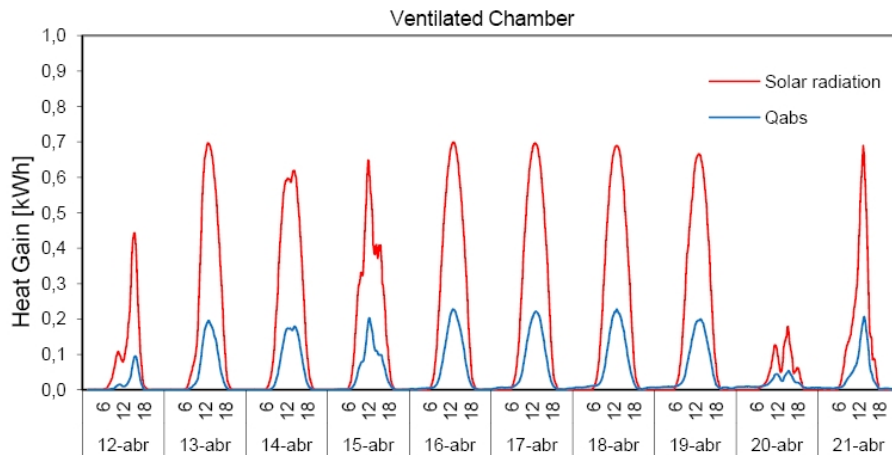


Figura10: Radiación solar y calor absorbido en la cámara de aire durante 10 días de ensayo.

#### 4. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha mostrado el potencial de las celdas Paslink en la caracterización de fachadas activas. Además de los valores de transmitancia térmica, capacidad térmica y ganancia solar, este tipo de celdas permite obtener información sobre el rendimiento (ratio entre calor obtenido y radiación solar incidente) de diferentes sistemas de fachadas. Esta información resulta fundamental para la optimización y adecuación de su funcionamiento a las condiciones propias de cada clima.

A modo de ejemplo se han mostrado los valores obtenidos con dos casos concretos: un muro Trombe y una fachada ventilada fotovoltaica. En el caso del muro Trombe se ha comprobado que cambiando únicamente la configuración de la cortina de aire (abriendo y cerrando rejillas) se pueden obtener grandes rendimientos en todas las épocas del año. Esta información podría ser utilizada para establecer criterios de funcionamiento programados en función de las temperaturas del exterior, del interior y de la cortina de aire.

En el caso de la fachada ventilada fotovoltaica, se ha comprobado que podría resultar interesante aprovechar el calor absorbido por el aire de la cámara ventilada como apoyo del sistema de ventilación. De esta manera, además de mejorar la producción eléctrica de los paneles (se refrigeran), reducimos el consumo en calefacción.

Estos resultados ponen en relieve la importancia de este tipo de ensayos, ya que si el objetivo es alcanzar edificios de consumo casi nulo (NZEB en inglés), el único camino es trabajar con datos experimentales de ensayo de diferentes soluciones que permitan diseñar fachadas activas óptimas, que generen energía y participen en la reducción de la demanda del edificio.

#### 5. Referencias

BAKER, P. H. VAN DIJK, H. A. L. *PASLINK and dynamic outdoor testing of building components*. Building and Environment, 2008 Vol. 43, pp. 143-151

ERKOREKA GONZALEZ, A., ESCUDERO REVILLA, C., FLORES ABASCAL, I., GARCIA GAFARO, C., SALA LIZARRAGA, J.M. "Upgrading and calibration of two PASLINK test cells. Evaluation through the "IQ-TEST" round-robin test". En *DYNASTEE workshop on Dynamic Methods for Building Energy Assessment Proceedings*. Brussels. DYNASTEE. 2010.

WOUTERS, P., VANDAELE, L. "PASSYS, COMPASS, PASLINK: a European approach for the full-scale evaluation of thermal and solar performances of building components". *Proc. of the European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, (Lyon, 24-26 noviembre 1994)*. 1994. pp. 29-36.

VAN DER LINDEN, G.P., VAN DICK, H.A., LOCK, A.J., VAN DER GRAAF, F. *Installation Guide for HFS Tiles for the PASSYS test cells*. Brussels: Belgian Building Research Institute WTCB-CSTC, 1995, 136 p.

VAN DICK, H.A., TELLEZ, F. *COMPASS. Measurement and Data Analysis Procedures*. Brussels: Belgian Building Research Institute WTCB-CSTC, 1995, 95 p.

GUTSCHKER, O. LORD - Modelling and identification software for thermal systems, user manual. Germany. BTU Cottbus. 2004, 31 p.

KRISTENSEN, N.R., MADSEN, H. *Continuous time stochastic modelling -CTSM 2.3- User Guide*. Denmark: Technical University of Denmark, Lyngby, 2003, 64 p.