

THERMAL BEHAVIOR OF VENTILATED FACADES IN BUILDINGS

Ferrer Gisbert, Pablo S.¹; Vivancos Bono, José Luis¹⁻²; Aparicio Fernández, Carolina Sabina³

¹ Dpto. Proyectos de Ingeniería (U. Politècnica de València), ² Universitat Politècnica de València – CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN) –Valencia,

³ Dpto. de Construcciones Arquitectónicas (U. Politècnica de València)

Losses and heat gains through the facades have a significant influence on annual consumption of heating and cooling of buildings. Moreover, there is a recent trend among some architects considering facades as sophisticated membranes that should be carefully designed.

Although the use of double-skin façades (glass skins separated by a cavity) in the construction sector and their thermal benefits have been widely studied quantitatively over the last 30 years, the rainscreen ventilated façade (characterized by an open joint opaque external skin) has received less attention and there are still few studies that focus on their energy performance.

In this article we review the latest contributions to the thermal behavior of ventilated facades including the most recent studies on the use of natural ventilation in buildings as an alternative system to reduce energy demand.

Keywords: *Ventilated facades; Natural ventilation; Energy efficiency in buildings*

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS FACHADAS VENTILADAS EN EDIFICACIÓN

Las ganancias y pérdidas de calor a través de las fachadas tienen una influencia significativa en el consumo de climatización de los edificios. Además, existe una tendencia reciente entre algunos arquitectos a considerar las fachadas como sofisticadas membranas que deberían ser diseñadas cuidadosamente.

Aunque el uso de fachadas de doble piel (cerramientos de cristal separados por una cavidad) en el sector de la construcción y sus beneficios térmicos ha sido ampliamente estudiado durante los últimos treinta años, la fachada ventilada o “pantalla de lluvia” (caracterizada por una pantalla exterior opaca con aberturas) ha recibido menos atención y existen todavía pocos estudios sobre su comportamiento energético.

En esta ponencia revisamos las últimas contribuciones al comportamiento térmico de las fachadas ventiladas incluyendo los estudios más recientes respecto al uso de la ventilación natural en edificios como sistema para reducir la demanda energética.

Palabras clave: *Fachadas ventiladas; Ventilación natural; Eficiencia energética en edificios*

1. Introducción

Las ganancias y pérdidas de calor a través de las fachadas tienen una influencia significativa en el consumo de energía para la climatización de los edificios. Además, existe una tendencia reciente entre algunos arquitectos a considerar las fachadas como sofisticadas membranas que deberían ser diseñadas cuidadosamente.

Existen muchos términos similares al de fachadas ventiladas tal como fachadas dobles o fachadas activas. A este respecto la norma UNE-EN 13119 "Fachadas ligeras. Terminología" (AENOR, 2007) establece las siguientes diferencias:

- Fachada ventilada: "fachada ligera con cavidad de aire ventilada exterior y aislamiento térmico y sellado interior".
- Fachada ligera: "fachada exterior del edificio, generalmente constituida de metal, madera o PVC-U, consistente en elementos estructurales verticales y horizontales conectados entre ellos y anclados a la estructura portante del edificio, que proporciona, por sí misma o junto con la construcción del edificio, todas las funciones normales de una pared exterior pero no contribuye en la estabilidad del edificio".
- Fachada de doble piel: "construcción de fachada ligera que incluye una piel exterior de vidrio y una pared interior construida como una fachada ligera que junto con la piel exterior proporciona la función completa de un muro.

Aunque el uso de fachadas de doble piel ha sido ampliamente estudiado, la fachada ligera o "pantalla pluvial" (caracterizada por una pantalla exterior opaca con aberturas) ha recibido menos atención y existen todavía pocos estudios sobre su comportamiento energético (Giancola et al., 2012).

Estos cerramientos se componen de tres elementos fundamentales:

- Revestimiento exterior colgado o pantalla pluvial, que asume la funcionalidad estética de la fachada debiendo tener un adecuado comportamiento frente al agua, radiación solar, viento y temperatura exterior.
- Cámara de aire con juntas abiertas, que impide la penetración del agua por capilaridad hasta la hoja interior.
- Hoja interior o barrera al aire, que debe garantizar la estanqueidad.

Entre las principales ventajas que aportan se encuentran (IPUR, 2014):

- Ausencia de puentes térmicos debido a la instalación del aislamiento por el exterior.
- Fácil resolución de puentes acústicos y continuidad del aislamiento.
- Resistencia a la penetración de la lluvia y ausencia de condensaciones intersticiales.
- Estabilidad y minimización de problemas por dilataciones al independizar las hojas interior y exterior.
- Alto y versátil (piedra, hormigón, metal...) acabado estético.
- Sencillo de reparar y mantener.

Por otra parte, la ventilación natural de los edificios para la reducción de su demanda energética, y el caso específico del aprovechamiento del aire de la cavidad exterior en fachadas ventiladas, también ha sido y es objeto de estudio.

2. Objetivos

La comunicación plantea una revisión de aportaciones al comportamiento térmico de las fachadas ventiladas para clarificar su funcionamiento, incluyendo el aprovechamiento energético del aire interior.

3. Las fachadas ventiladas en la legislación vigente

Estas fachadas no quedan completamente recogidas en los Documentos Básicos del Código Técnico de la Edificación (DB-CTE) por lo que, desde el punto de vista legal, deben ser planteados como soluciones alternativas. Para ello hay que recurrir a las especificaciones técnicas armonizadas por el Reglamento Europeo de Productos de Construcción N° 305/2011 (sustitutivo de la anterior Directiva): normas armonizadas y Documentos de Evaluación Europeos (DEE) (o Documentos de Idoneidad Técnica Europeos, DITE, disponibles).

El DB-HS1 (protección frente a la humedad) recomienda un espesor de entre 3 y 10 cm de la cámara de aire para el nivel de prestación B3. En cuanto a las aberturas mínimas de ventilación es el DITE 034 el que da el valor más restrictivo de 5.000 mm² por metro lineal en el arranque y coronación de la fachada, frente a los 1.500 mm²/m indicado en los DB (Bento Fernández, 2014).

Los valores límite y el método de verificación del aislamiento térmico indicados en DB HE1 son aplicables a la hoja interior, pero los resultados (opción general) pueden ser desfavorables si no se considera la hoja exterior. Su consideración en los programas de cálculo oficiales requeriría ciertas adaptaciones.

Por otra parte, el régimen estacionario sólo tiene en cuenta las temperaturas del mes más frío del año, por lo que se desprecian las ganancias de calor en la cámara de aire en periodos cálidos. Además, para el caso de cámaras de aire muy ventiladas, el DB HE1 simplifica la obtención del perfil de temperaturas despreciando las capas entre la cámara y el exterior, y considerando la temperatura de la cámara igual a la exterior. A esto se añade que el coeficiente de convección exterior se iguala al interior y no se contempla el calentamiento de la cámara producido por las ganancias solares.

Si se trata de cámaras sin ventilar o ligeramente ventiladas, no se desprecia ninguna capa del cerramiento y se considera la transmitancia de la cámara a partir de valores tabulados y simplificados. Para realizar el cálculo de la temperatura en el interior de la cámara, modifica el coeficiente de convección exterior, simplificando el cálculo, lo que lo hace poco realista (Aparicio Fernández, 2010).

Si se utiliza el programa oficial Lider, el problema reside en que la base de datos no incorpora fachadas con cámaras de aire muy ventiladas (UNE EN ISO 6946). Para estos casos el DB recomienda despreciar la resistencia térmica de la cámara y sustituir el valor de resistencia térmica superficial exterior por el de resistencia superficial del aire en calma.

4. Comportamiento térmico de las fachadas ventiladas

El empleo de fachadas ventiladas no supone de manera inmediata un ahorro de energía y por lo tanto los parámetros climatológicos y el diseño de la fachada deben ser estudiados cuidadosamente (Poirazis, 2004). Ésta permite reducir la ganancia o pérdida de calor mediante cuatro mecanismos: reflexión o absorción de la radiación solar, ventilación de la cámara de aire, aislamiento e inercia térmica. Si se calcula con precisión el flujo de aire y las temperaturas a diferentes alturas, el comportamiento de la fachada podrá optimizarse. Para ello se han venido aplicando diversos tipos de modelos numéricos (De Gracia et al. 2013):

- Modelos analíticos y concentrados.
- Análisis no dimensional.
- Modelos de redes.
- Modelos de volumen de control.
- Enfoque por zonas.
- Dinámica de fluidos computacional (CFD).

Todos ellos son válidos dependiendo de la complejidad del sistema modelizado y de la precisión requerida pero la integración de modelos de simulación energética con modelos de flujos de aire mediante CFD constituye la opción más potente y prometedora.

Según el Asistente Técnico para la Construcción Sostenible (ATECOS) la fachada ventilada no aporta ningún beneficio durante la estación fría, pero esto no es cierto como demuestran numerosos resultados publicados.

Giancola et al. (2012) resumen del siguiente modo el comportamiento térmico de las fachadas ventiladas en climas mediterráneos. Durante los meses fríos la fachada puede mejorar el aislamiento térmico del edificio si los valores de radiación solar son elevados, llegando incluso a aportar calor al recinto colindante. Sin embargo, si dicha radiación es baja, el efecto puede llegar a invertirse al ser la temperatura de salida del aire de la cavidad, inferior a la del aire interior. Durante los meses cálidos se produce un efecto similar. La ventilación de la fachada puede suponer un efecto beneficioso al reducir las ganancias de calor hacia el interior. Pero si la temperatura y radiación solar son elevadas, el efecto puede ser perjudicial.

Las variables meteorológicas más determinantes del comportamiento térmico de las fachadas son la velocidad y dirección del viento, y la radiación solar (López et al., 2012). Cuando prevalece la velocidad del viento, las temperaturas disminuyen y cuando lo hace el efecto chimenea provocado por la radiación, éstas aumentan. Por ello en invierno, con radiaciones solares elevadas, son deseables vientos flojos ya que la pantalla exterior puede alcanzar temperaturas elevadas y transmitir las a la cavidad y al interior del edificio (Marinosci et al., 2011).

Por otra parte, la temperatura a lo largo de la cámara de una fachada soleada asciende con la altura hasta alcanzar un máximo cerca del extremo superior.

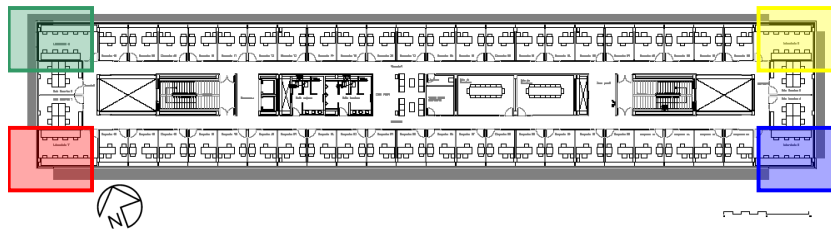
Los autores de esta comunicación han podido también contrastar este comportamiento a través de un modelo desarrollado mediante Trnsys-17 y Trnflow para un edificio de oficinas situado en la ciudad de Valencia (Aparicio-Fernández et al., 2014).

Las características de la fachada ventilada simulada y analizada pueden verse en la tabla 1 y en la figura 1 se muestra la planta del edificio con la ubicación de los sensores utilizados.

Tabla 1. Características de la fachada analizada

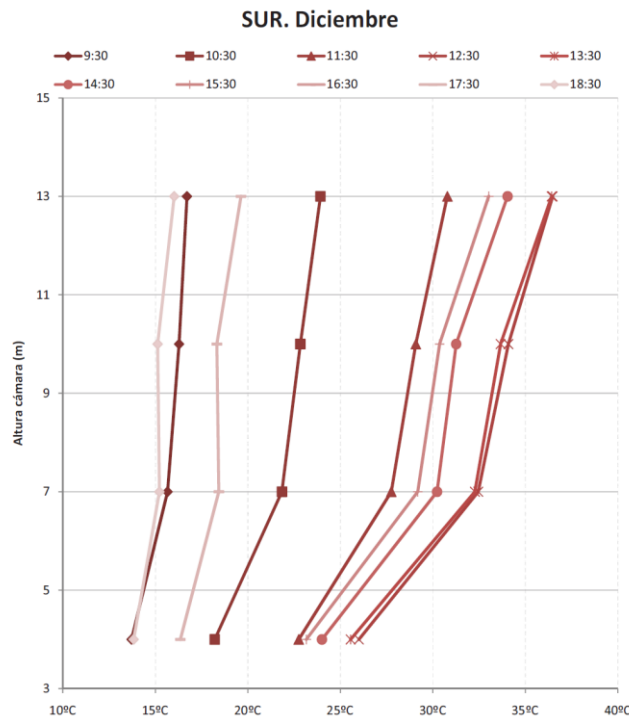
Capa	Espesor (m)
Panel compuesto, Alucobond®	0,004
Cavidad ventilada	0,100
Espuma rígida de poliuretano	0,040
Panel de mortero	0,010
Lana mineral	0,080
Placa de yeso	0,016

Figura 1. Planta del edificio con la ubicación de los sensores



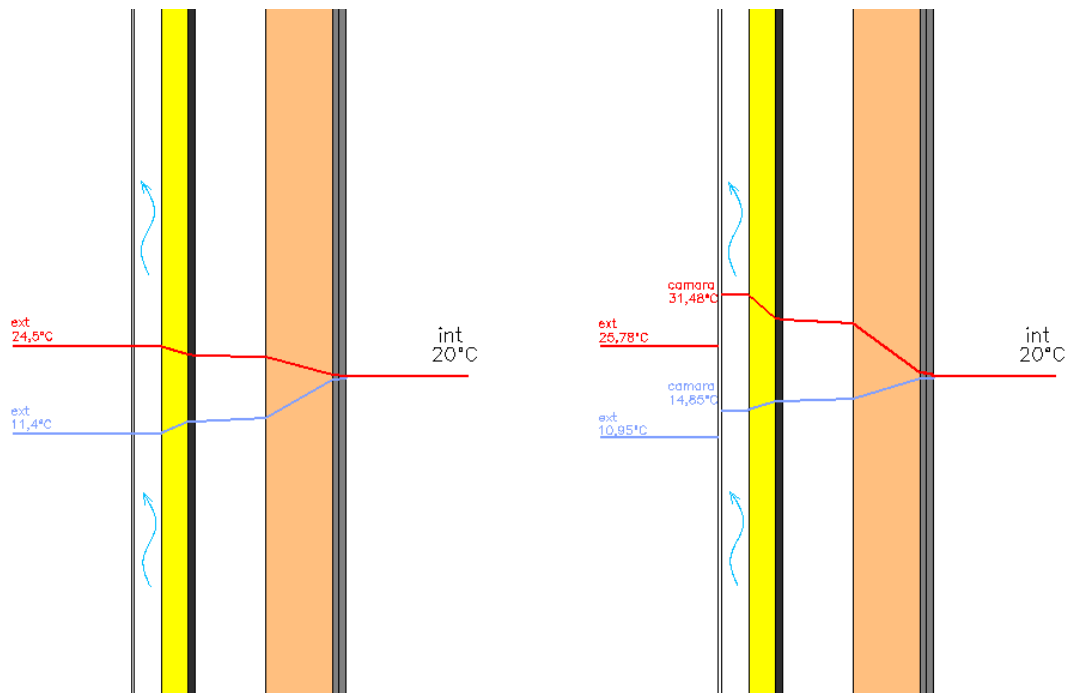
El modelo fue contrastado mediante los datos procedentes de 24 sensores, tomando 6 datos a la hora durante un año, comprobándose su buen comportamiento. En la figura 2 se representan las temperaturas modelizadas para la cámara de aire en la fachada sur durante un día del mes de diciembre en las que se comprueba el perfil ascendente antes referido debido al efecto chimenea.

Figura 2. Temperatura de la cámara a distintas alturas y horas para la fachada sur, en el mes de diciembre (Aparicio-Fernández et al., 2014)



En la figura 3 se compara el perfil de temperaturas para la fachada analizada según CTE DB HE1, con los valores medidos, promedio de invierno y verano. Como puede observarse, aunque se trata de una fachada clasificada como muy ventilada, la temperatura de la cámara difiere bastante de la exterior lo que corrobora la importancia de considerar en los modelos las ganancias por radiación solar y los coeficientes de radiación y convección en el interior de la cámara.

Figura 3. Comparativa del perfil de temperaturas (estacionario) según reglamentación y medido para el promedio de verano e invierno (Aparicio-Fernández, 2010)



5. Ventilación natural y ahorro de energía

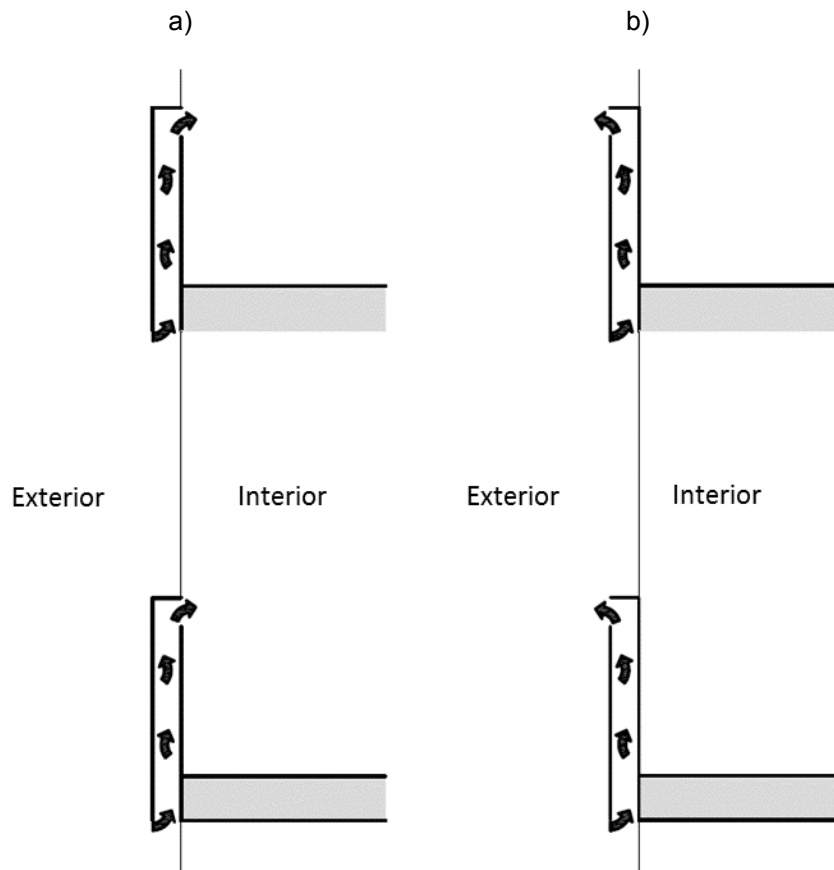
Recientemente Suárez et al. (2012) han estudiado el ahorro que proporciona una fachada ventilada frente a una convencional de cavidad cerrada, para las orientaciones norte y sur, en Madrid (clima continental mediterráneo). Durante el verano, la fachada ventilada sur requiere un 15% menos de energía que la convencional, mientras que para la orientación norte ambas se comportan de manera similar. Para un día típico de invierno la fachada ventilada sur requiere un 7% menos de energía que la convencional. En el conjunto del año, los autores concluyen que para la orientación norte, el comportamiento de la fachada sellada es un 4% mejor mientras que para la sur, la ventilada proporciona ahorros del 9%. Finalmente establecen el ahorro energético anual en términos económicos en 0,65 €/m² lo que difícilmente compensa el sobrecoste que suponen las fachadas ventiladas.

Generalmente la fachada ventilada funciona como una cortina exterior de aire sin comunicación con el aire exterior pero la utilización ocasional del mismo como ventilación natural puede contribuir al ahorro energético siempre que se evite la mezcla de aire fresco y contaminado del interior. La mayoría de estudios en esta línea se han desarrollado para el caso concreto de las fachadas doble piel, especialmente para climas fríos (Shameri et al., 2011). Es lo que se conoce en ese ámbito como fachada activa, en la que la energía absorbida por las persianas interiores es eliminada mediante ventilación durante los periodos cálidos, y recuperada mediante intercambiadores durante los periodos fríos (Poirazis, 2004).

Aunque para el caso de una ventana doble, Carlos et al. (2012) han comparado el calor recuperable utilizando el aire interior recirculado, frente al captado por la ventana debido a la radiación solar, obteniendo una proporción de 70% y 30% del calor total respectivamente. También han comprobado cómo, a pesar de resultar la orientación sur favorable, el calor recuperable puede seguir siendo significativo (en función del emplazamiento) en cualquier otra orientación.

Con estos antecedentes, los autores de la presente comunicación (Aparicio-Fernández et al., 2014) simularon en el modelo desarrollado y contrastado, una conexión de la cavidad de la fachada ventilada con el aire interior del edificio de oficinas analizado (figura 4). Y se obtuvieron reducciones en la demanda de calor del edificio en el entorno del 70% para cualquier fachada excepto la norte. Por lo que se vislumbra como una solución prometedora para climas cálidos y soleados.

Figura 4. a) simulación de aprovechamiento del aire caliente, b) fachada ventilada convencional



Recientemente (de Gracia et al., 2013) se han realizado experiencias para tratar de aprovechar aún más el potencial de ahorro de las fachadas ventiladas opacas, utilizando un material de cambio de fase encapsulado en la cavidad de las mismas como fuente de almacenamiento de calor o frío.

6. Conclusiones

Las fachadas ventiladas constituyen un tipo de cerramiento en auge por sus buenas prestaciones térmicas, acústicas, estéticas y constructivas. El comportamiento térmico de las fachadas de doble piel se ha analizado y modelizado mediante diversos tipos de

modelos numéricos. Sin embargo, el caso específico de las fachadas ligeras o pantallas de lluvia ha recibido una atención menor y la mayoría de estudios son muy recientes.

Frente a las simplificaciones legislativas y para el caso de fachadas clasificadas como muy ventiladas, se ha comprobado cómo la temperatura de la cámara difiere bastante de la exterior lo que corrobora la importancia de considerar en los modelos las ganancias por radiación solar y los coeficientes de radiación y convección en el interior de la cámara.

En general, durante los meses fríos, la fachada puede mejorar el aislamiento térmico del edificio si los valores de radiación solar son elevados (aunque el efecto puede llegar a invertirse si dicha radiación es baja). Y, de manera análoga, durante los meses cálidos la ventilación de la fachada puede suponer un efecto beneficioso al reducir las ganancias de calor hacia el interior.

Las variables meteorológicas más determinantes del comportamiento térmico de las fachadas son la velocidad y dirección del viento, y la radiación solar. Cuando prevalece la velocidad del viento, las temperaturas disminuyen y cuando lo hace el efecto chimenea provocado por la radiación, éstas aumentan.

Los autores de esta comunicación han podido corroborar este comportamiento a través de un modelo, empíricamente contrastado, desarrollado mediante Trnsys-17 y Trnflow, para un edificio de oficinas situado en la ciudad de Valencia. A partir del mismo se simuló una conexión de la cavidad de la fachada ventilada con el aire interior del edificio de oficinas analizado, obteniéndose reducciones en la demanda de calor del edificio en el entorno del 70% para cualquier fachada excepto la norte. Por lo que se vislumbra como una solución prometedora para climas cálidos y soleados.

7. Referencias

- ATECOS (Asistente técnico para la construcción sostenible). Fachadas ventiladas.
<http://www.miliarium.com/Servicios/Atecos.asp>. (abril 2014).
- AENOR. (2007) UNE-EN 13119. Fachadas ligeras. Terminología.
- Aparicio-Fernández, C. (2010). Revestimientos ventilados en la arquitectura contemporánea. Influencia del diseño constructivo y su entorno en el comportamiento térmico. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.
- Aparicio-Fernández, C., Vivancos, J.L., Ferrer-Gisbert, P.S., Royo-Pastor, R. (2014) Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation. *Applied Thermal Engineering* 66, 563-570.
- Bento Fernández, M. Los sistemas de cerramiento de fachadas ventiladas y el CTE. Artículo técnico Conarquitectura.
<http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/35.pdf> (abril 2014).
- De Gracia, A., Castell, A., Navarro, L., Oró, E., Cabeza, L.F.(2013). Numerical modelling of ventilated façades: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, 539–549.
- Giancola, E., Sanjuan, C., Blanco, E., Heras, M.R. (2012). Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 54, 363-375.
- IPUR. Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido. Guía de ejecución de fachadas ventiladas con productos aislantes de poliuretano. www.aislaconpoliuretano.com (abril, 2014).
- López F.P., Jensen, R.L., Heiselberg P., Ruiz de Adana Santiago, M. (2012). Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated façade. *Building and Environment*. 56, 265-275

- Marinosci, C., Strachan, P.A., Semprini, G., Morini, G.L. (2011). Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen façade building. *Energy and Buildings*, 43, 853-863.
- Poirazis, H. Double-skin façades for office buildings: literature review. (2004). Lund University, Sweden.
- Shameri, M.A., Alghoul, M.A., Sopian, K., Fauzi M., Zain, A., Elayeb, O. (2011). Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 1468–1475.
- Suárez, M.J., Sanjuan, C., Gutiérrez, A.J., Pistono, J., Blanco, E. (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. *Applied Thermal Engineering*, 37, 302-313.