

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE FACHADAS VENTILADAS CERÁMICAS

⁽¹⁾ **G. Silva,** ⁽¹⁾ **V. Cantavella,** ⁽¹⁾ **À. R. García,** ⁽¹⁾ **E. Bou,**
⁽²⁾ **A. Miralles,** ⁽²⁾ **E. Uviedo**

⁽¹⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC).

Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE).

Universitat Jaume I. Castellón. España.

⁽²⁾ Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos.

Castellón. España

RESUMEN

Los progresivos cambios en la reglamentación en materia de edificación están incidiendo en algunos aspectos hasta ahora poco considerados como la seguridad de uso, el aislamiento y especialmente la eficiencia energética de los edificios.

Si bien la bibliografía parece reconocer las ventajas para el ahorro energético de diferentes tipologías de cerramientos ventilados basados en el aprovechamiento de la energía solar térmica, no se dispone de apenas información ni de estudios científicos que avalen su eficacia y permitan promocionar de forma cuantitativa las ventajas de los cerramientos de fachada ventilada. Por esta razón, los criterios y programas informáticos utilizados para la asignación de la eficiencia energética de los edificios consideran que la utilización de fachadas ventiladas apenas mejora el comportamiento térmico del edificio, mientras que en la práctica se constatan sus ventajas, especialmente en ambientes de clima cálido para evitar la acumulación de calor y reducir los costes de refrigeración.

En el presente trabajo se ha desarrollado un estudio experimental en condiciones reales de exposición a lo largo de un ciclo anual completo, mediante un prototipo instrumentado que simula una fachada ventilada de altura real equivalente a la distancia entre forjados. El seguimiento de su comportamiento energético en las distintas condiciones atmosféricas y periodos estacionales ha permitido desarrollar y validar un modelo matemático para estimar su comportamiento en diferentes zonas climáticas y orientaciones de la fachada.

Paralelamente y al objeto de comprobar la influencia de otras variables no escalables mediante el prototipo, como la continuidad de la cámara ventilada en la vertical del edificio y la tipología de las aberturas de acceso al canal de convección, se han instrumentado sendos edificios reales para efectuar un seguimiento de estos aspectos a lo largo de los cuatro periodos estacionales.

Combinando la información obtenida en ambos estudios para efectuar una estimación del comportamiento del sistema de fachada ventilada a escala real, se ha comprobado que sus posibilidades en materia de ahorro energético son sensiblemente superiores a las que se obtienen al efectuar estimaciones utilizando las herramientas informáticas reconocidas para la certificación de eficiencia energética de edificios.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de fachada ventilada con baldosas cerámicas de gran formato se están posicionando en el mercado de las aplicaciones de cerramientos exteriores como una alternativa singular, tanto por sus posibilidades estéticas como por sus óptimas prestaciones funcionales, entre las que cabe destacar su resistencia a los agentes externos, ausencia de mantenimiento y sus prestaciones acústicas y térmicas.

Si bien la amplia bibliografía disponible relativa a los sistemas arquitectónicos aplicables en construcción sostenible sugiere cualitativamente las ventajas de los cerramientos ventilados como elementos de aprovechamiento energético, no se dispone de estudios específicos que aporten información respecto al comportamiento térmico de los mismos en condiciones reales y a la influencia de los diferentes mecanismos de transferencia térmica que coexisten (conducción, convección, radiación) así como el papel de la acumulación.

En el presente trabajo se ha desarrollado un estudio experimental en condiciones reales de exposición a lo largo de un ciclo anual completo. Para ello se ha utilizado un prototipo instrumentado que simula una fachada ventilada de altura real equivalente a la distancia entre forjados, al objeto de analizar la contribución de los diferentes mecanismos de transferencia térmica y comprobar la influencia de los parámetros de diseño del cerramiento. Asimismo, se han instrumentado sendos edificios reales para acotar el rango de variación de otras variables no escalables mediante el prototipo, como la continuidad de la cámara ventilada en la vertical del edificio y la tipología de las aberturas de acceso, que determinan el caudal de circulación a través del cerramiento ventilado.

A partir de la información obtenida se ha abordado el desarrollo y validación de un modelo matemático que permite estimar los cambios en el comportamiento energético del cerramiento en diferentes zonas climáticas y orientaciones de la fachada.

2. FACHADAS VENTILADAS CON BALDOSAS CERÁMICAS

La fachada ventilada es un cerramiento multi-estrato que se caracteriza fundamentalmente por incluir una cámara aireada, separada por dos hojas: una interior, encargada de resolver el aislante térmico y la estanqueidad, y otra hoja exterior, cuya misión principal es formar dicha cámara de aire, garantizando una ventilación continuada a lo largo de toda la superficie de la fachada (1). En la figura 1a se detalla el esquema típico de un cerramiento con fachada ventilada.

El muro soporte (1) está constituido en la mayoría de los casos por piezas cerámicas de albañilería, con espesor variable desde 12 hasta 29 cm, según zonas geográficas y requisitos de aislamiento. La capa de aislante térmico (2) puede ser de una variada tipología y espesor, aunque el material más habitual es una capa de poliuretano de celda cerrada proyectado in situ, con espesores mínimos recomendados de 3,5 cm. y conductividad aproximada de 0,035 W/mK. Para la subestructura metálica (3) sobre la que se fija la baldosa cerámica (4), generalmente se utiliza perfilaría vertical y/o horizontal de aluminio, por su ligereza y su amplio abanico de posibilidades de diseño. Las baldosas cerámicas pueden ser de formatos muy variados (desde 40x60cm hasta 100x300cm) y con una amplia gama de acabados superficiales. Con el aislante instalado sobre el muro soporte, la profundidad de la cámara ventilada suele estar entre 5 y 10 cm. Aunque en el mercado existe una amplia variedad de sistemas de anclaje vistos y ocultos, en principio no se prevé que tengan una influencia relevante en el comportamiento energético de la fachada.

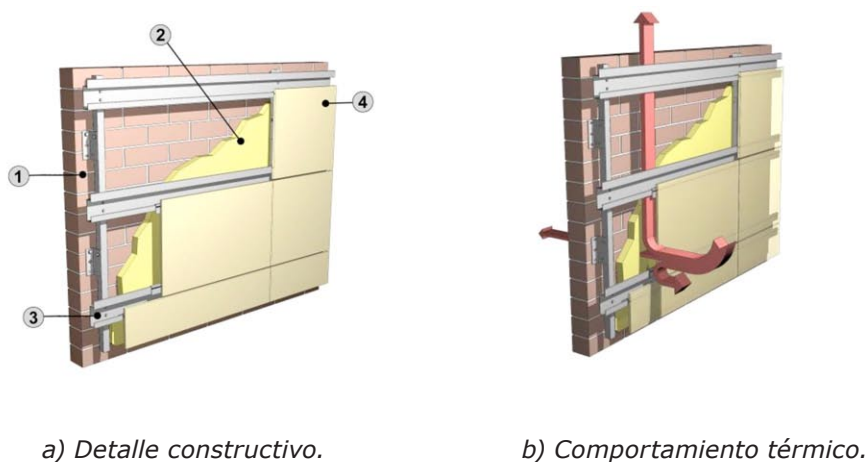


Figura 1.

Su comportamiento energético depende de la magnitud de la radiación solar recibida sobre la superficie de la baldosa cerámica. La energía procedente de la radiación solar es parcialmente absorbida por la pieza cerámica, la cual se calienta y transmite energía por convección hacia el aire en el interior de la cámara y por radiación a la superficie de la capa de aislante. El calentamiento del aire genera una

disminución de su densidad provocando su ascensión por el interior de la cámara y la evacuación hacia el exterior por la parte superior. La energía recibida por el aislante mediante convección desde el aire y radiación desde la pieza, se transmite por conducción a través del muro soporte penetrando en el recinto interior.

En su conjunto, el cerramiento ventilado limita la energía que alcanza la superficie de la capa de aislante, y por tanto produce una reducción de la energía transferida por conducción a través del muro soporte hacia el interior del recinto. Por ello, resulta especialmente adecuado en condiciones climáticas con temperatura ambiente y radiación solar elevadas, para reducir la demanda de refrigeración del edificio.

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.1. Módulo de cerramiento ventilado a escala.

Para estudiar la contribución de los distintos mecanismos de transferencia de energía en los cerramientos ventilados, se construyó en la azotea del ITC un módulo experimental que simula a escala el sistema constructivo habitual de fachada ventilada [2]. Dicho módulo, tiene una geometría similar a la de un cubo, con una base cuadrada y una altura equivalente a la distancia típica entre forjados (2,40 m), y dispone de tres paredes y el techo constituidos por paneles de aislante térmico de 60 mm con un recubrimiento de baja emisividad para minimizar la transferencia de calor.

El cerramiento ventilado se ha instalado en la cuarta pared, orientada en dirección sur, utilizando los sistemas de perfilería y fijación propios del sistema de anclaje mediante grapa vista sobre un muro soporte construido con bloques de arcilla aligerada de 14 cm de espesor. Con el fin de disponer de un muro con una conductividad térmica lo más homogénea posible, para la unión entre bloques se ha empleado, en lugar de juntas de mortero, unos cordones de adhesivo distribuidos en las aristas superiores del mismo. Por otro lado, entre cada una de las filas de bloques se ha colocado una lámina de papel para evitar la aparición del "efecto chimenea" por el interior del muro y prevenir así la acumulación excesiva de calor en el interior de su parte superior.

Como elemento colector de la radiación solar se han empleado piezas de gres porcelánico de color negro de 60x120 cm. La distancia entre la parte exterior del muro soporte y las piezas de gres porcelánico es de 10,5 cm y este espacio constituye el canal de transferencia de calor (CTC). Inicialmente no se incorporó la habitual capa de aislamiento térmico sobre la cara exterior del muro soporte, al objeto de favorecer el flujo de calor y poder determinar con mayor precisión la transferencia de energía a su través.



a) Módulo experimental. b) Sensores externos.

Figura 2.

El módulo consta de dos canales ventilados independientes, con cuatro piezas de gres porcelánico instaladas sobre la perfilería en posición horizontal, y sendas zarandas, una inferior y otra superior, que pueden utilizarse para regular la circulación de aire por el canal. De esta forma pueden realizarse ensayos comparativos con un canal en configuración de fachada ventilada y el otro simulando un cerramiento estanco de doble hoja.

Cada canal se ha instrumentado con sensores para registrar la evolución de las variables características del sistema de fachada ventilada y las condiciones ambientales:

- a) Colector: Temperatura en la cara interior de cada pieza (TPza).
- b) Canal de transferencia de calor: la temperatura (TACTC) y la velocidad del aire circulante se mide en su parte inferior y en la superior.
- c) Muro soporte: Temperatura de la cara exterior (TMurEx) e interior (TMurIn) a varias alturas. Sensores de flujo de calor situados en su cara interna para la medida de las pérdidas y ganancias a través del muro soporte (q_{MurIn}).
- d) Recinto interior: Temperatura del aire interior (TAIn) a tres alturas. Sendos dispositivos de calefacción y refrigeración para mantener la temperatura constante. Asimismo, aloja un sistema de adquisición de datos que almacena con una frecuencia de 1 minuto los valores de cada una de las variables.
- e) Ambiente exterior: Temperatura ambiente (TAEx), dos piranómetros para medir la radiación solar total (G_s) y difusa ($G_{s,\text{dif}}$), anemómetro para determinar la velocidad (v_{AEx}) y la dirección (dirAEx) del viento y un pirómetro para la medida de la temperatura del cielo (T_{sky}).

Una vez finalizada la instalación a finales de julio de 2008, se inició el seguimiento de todas las variables a lo largo de un periodo anual completo hasta principios de septiembre de 2009, manteniendo la temperatura media del aire interior constante e igual a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

3.2. Cerramientos ventilados en edificios.

Aunque a partir de la información obtenida del cerramiento ventilado a escala, de altura reducida, es posible validar la adecuación del modelo matemático desarrollado para la simulación de los diferentes mecanismos de transferencia de energía, resultaba necesario comprobar la influencia en el comportamiento del cerramiento real de otras variables no escalables, como la continuidad de la cámara ventilada en la vertical del edificio, la influencia del viento en diferentes alturas y la tipología de las aberturas de acceso al canal de convección.

Para ello, se seleccionaron dos edificios con diferentes sistemas de fachada ventilada al objeto de disponer de información experimental del comportamiento de los diseños del sistema constructivo en sus configuraciones extremas (figura 3).



a) Edificio 1

b) Edificio 2

Figura 3.

El primero corresponde a un cerramiento con menor capacidad de ventilación, con piezas de color gris, cámara ventilada de profundidad variable en altura entre 2,5 y 5 cm, junta horizontal cerrada y con placa aislante en el interior de la cámara. El segundo corresponde a un cerramiento con alta capacidad de captación y evacuación de calor, con piezas de color negro, cámara ventilada de profundidad continua de 9 cm, junta horizontal abierta de 7 mm y muro de alta densidad (hormigón armado) sin aislamiento por el exterior. Ambos edificios presentan la misma altura total (15m) y orientación de la fachada instrumentada (Suroeste, 205°).

Como en el caso del prototipo, en cada edificio se instalaron sensores de temperatura, densidad de flujo de calor y velocidad de aire, aproximadamente equiespaciados en cuatro posiciones de la vertical del edificio. Asimismo, en cada edificio se instaló un sistema de adquisición y transmisión de datos para registrar cada minuto los valores de las variables (figura 4).



a) Sensores instalados.

b) Sistema de adquisición y comunicación.

Figura 4.

En ambos edificios se ha efectuado el seguimiento de la evolución de las variables durante un periodo anual completo, al objeto de obtener la información necesaria para completar la validación de modelo matemático de simulación. En el caso del edificio 2, que se encontraba en fase de construcción durante el estudio, fue posible estudiar el funcionamiento del cerramiento en diferentes condiciones de superficie efectiva de acceso del aire al canal ventilación, desde la situación inicial con el canal completamente abierto, pasando por un periodo de apertura mínima, hasta la situación final de apertura media una vez coronada la fachada.

4. MODELIZACIÓN DEL CERRAMIENTO VENTILADO

Para poder evaluar el comportamiento energético de edificios con fachada ventilada, en diferentes condiciones climáticas y para distintas configuraciones de diseño del cerramiento, se ha desarrollado un modelo matemático de simulación. Para ello, se han planteado y resuelto las ecuaciones de los balances de energía correspondientes a cada uno de los sectores del cerramiento (colector, canal de transferencia de calor y muro soporte) [3]. El modelo matemático es capaz de simular de forma precisa la evolución a lo largo de un día completo de las variables características de cada uno de los sectores, permitiendo estimar la transferencia neta de energía a través del cerramiento.

Los coeficientes del modelo se han ajustado en primer lugar a partir de los datos experimentales obtenidos del módulo de cerramiento a escala, cuya temperatura interior se mantuvo constante, lo que permitía acotar con mayor precisión los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación. A continuación, utilizando los resultados obtenidos en el seguimiento de los edificios a escala real, se procedió a confirmar en el modelo los parámetros asociados a la circulación de aire a través del canal de transferencia de calor, especialmente en lo relativo a la pérdida de carga que se deriva de la continuidad del canal y del área efectiva de las aperturas superior e inferior, la cual condiciona el caudal másico de aire que circula por el interior de la cámara ventilada, y por lo tanto, la energía evacuada hacia el exterior.

Como puede observarse en la figura 5, el modelo matemático es capaz de simular con suficiente precisión la evolución a lo largo de un ciclo diario de los valores de las diferentes variables que definen el comportamiento energético del cerramiento, tanto en el caso de módulo a escala (2,4 m de altura) como en los edificios reales (15 m).

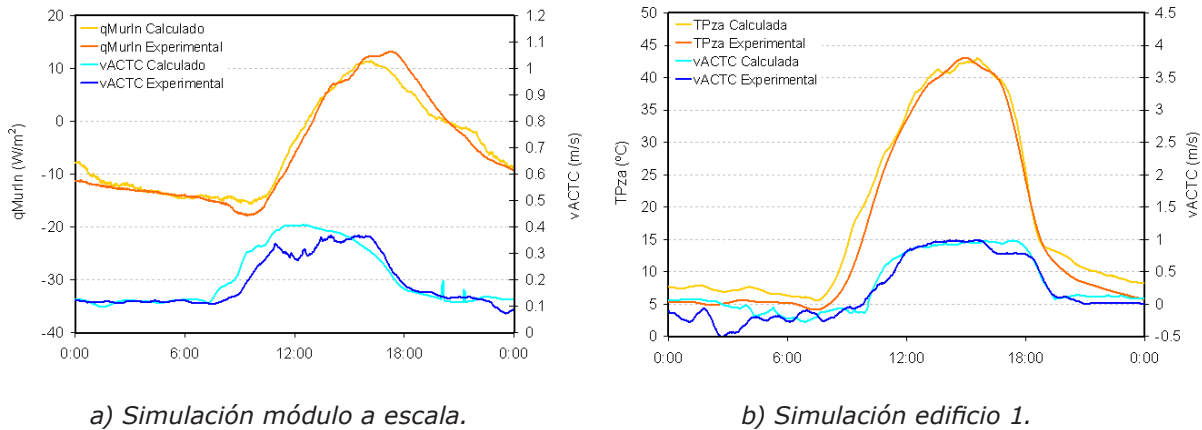


Figura 5.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Comparación entre cerramientos ventilados y estancos.

A lo largo del periodo anual de seguimiento, se efectuaron diversos ensayos con el prototipo a escala comparando el comportamiento de un canal en configuración de cerramiento ventilado con el otro canal simulando un cerramiento estanco (zarandas cerradas). Dado que ambos canales presentan idénticas características de diseño, mediante esta comparación es posible aislar la contribución energética del canal ventilado. En la figura 6 se presenta la evolución de las variables en ambos canales a lo largo de un día soleado de invierno.

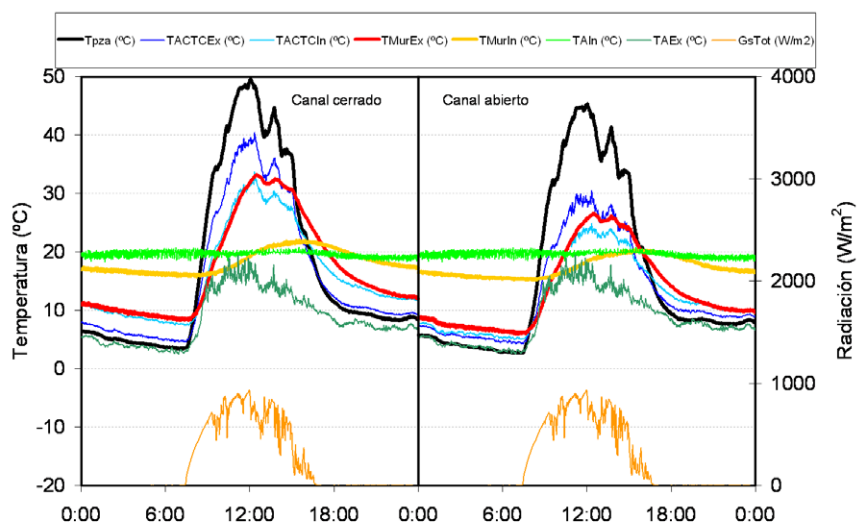


Figura 6. Comparación entre canal ventilado y canal estanco en invierno.

Como puede observarse en las horas centrales del día, tanto la temperatura máxima que alcanza la pieza (TPza) como las temperaturas del aire en el interior del canal de transferencia de calor (TACTC) son superiores en el caso del canal cerrado respecto al abierto, en el cual parte de la energía es evacuada hacia el exterior debido a la circulación del aire a través del canal. Por ello, la cantidad de energía que recibe la superficie del muro soporte, por radiación desde la pieza y convección desde el aire, es mayor en el cerramiento estanco en el que el gradiente de temperatura en el muro y la densidad de flujo de calor que lo atraviesa son también superiores.

El sistema de cerramiento ventilado actúa favoreciendo la evacuación de energía (se incrementa el efecto chimenea) hacia el exterior, siendo tanto más efectivo cuanto mayor es la radiación solar incidente y menor la temperatura del aire exterior. En la figura 7 se presenta la densidad de flujo de calor por m^2 de fachada que alcanza el interior del recinto, para un día típico de cada mes. Como puede observarse la diferencia respecto al canal estanco es máxima en el periodo de invierno y mínima en el periodo estival. Ello se debe a que en orientación Sur la radiación solar incidente en diciembre casi duplica la de junio, así como también a la mayor temperatura ambiente en los meses estivales.

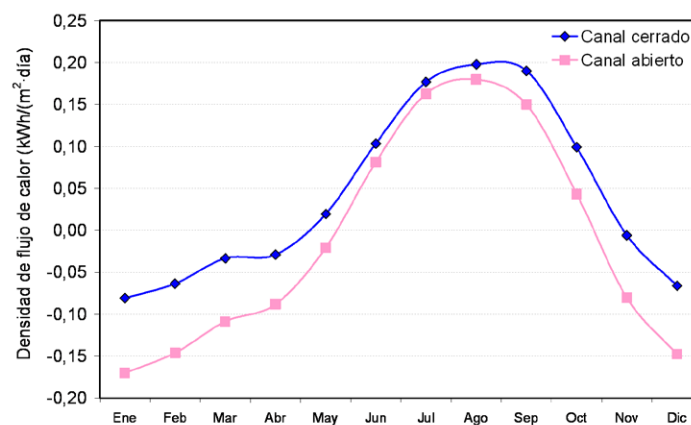


Figura 7. Energía diaria introducida por m^2 de cerramiento en el módulo experimental.

Asimismo, se observa que el sistema de cerramiento ventilado presenta un efecto contrapuesto, ya que si bien reduce la acumulación de calor en verano (menor demanda de refrigeración) también limita la penetración de calor en invierno (mayor demanda de calefacción). Por ello, resultará más adecuado en climas cálidos con alta demanda de refrigeración.

5.2. Influencia del diseño del canal de ventilación.

Al comparar los resultados experimentales de velocidad de circulación del aire en el interior del canal obtenidos en el módulo experimental respecto a los que se observaban en los edificios instrumentados, se comprobó que aunque en estos últimos la velocidades máximas llegaban a duplicar las obtenidas en el módulo experimental, se obtenían valores inferiores a los esperados considerando un

coeficiente de pérdida de carga (K) similar al obtenido experimentalmente con el módulo de 2,4 m [3]. Dado que la pérdida de carga en el interior de cada canal dependerá de su diseño (profundidad, altura, continuidad, etc.) y de la tipología de las aberturas de ventilación, se decidió determinar los rangos de variación del coeficiente de pérdida de carga, utilizando el modelo de simulación para acotar el valor que permitía reproducir la velocidad de circulación en cada una de las configuraciones. En la tabla siguiente se detallan los valores obtenidos para los distintos canales y superficies efectivas de ventilación.

CANAL	ESPESOR (cm)	ALTURA (m)	ABERTURA (cm ² /m DE LONGITUD)	COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA
Módulo experimental	10,5	2,4	600	4,9
Edificio 1	2,5/5	15	300	16
Edificio 2 Abertura máxima	9	15	900	7,3
Edificio 2 Abertura mínima	9	15	100	59,2
Edificio 2 Abertura definitiva	9	15	250	13,7

Tabla 1. Valores de coeficiente de pérdida de carga.

Como puede observarse, los coeficientes de pérdida de carga para los dos edificios en su configuración constructiva definitiva son de orden similar, por lo que cabe suponer que este valor sea representativo en condiciones reales y para las tipologías habituales de fachada ventilada en edificios.

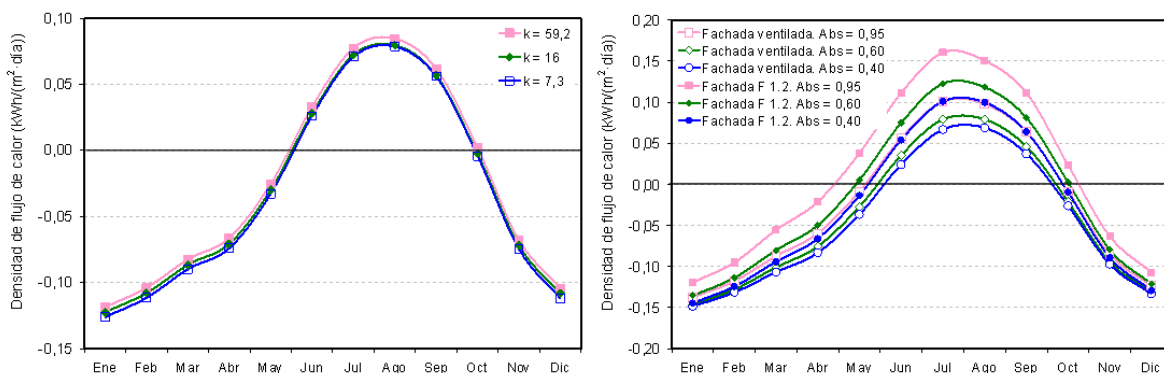
Para comprobar la influencia de la velocidad del aire respecto a la densidad de flujo de calor a través del cerramiento, se ha simulado el comportamiento de un edificio con fachada ventilada estándar (tabla 2) para las condiciones climáticas medias mensuales de Castellón en las tres configuraciones de apertura del edificio 2. Aunque experimentalmente se ha comprobado la pérdida de carga derivada de la reducción de las aberturas de accesos al canal de ventilación producen variaciones importantes en la velocidad de circulación de aire, lo que podría ser relevante en cerramientos poco aislados, se ha comprobado que para un edificio de fachada ventilada con el aislamiento mínimo recomendado no se aprecian cambios relevantes en la densidad de flujo de calor en las diferentes condiciones de apertura (figura 8a).

MURO SOPORTE + AISLANTE	CANAL VENTILADO	COLECTOR CERÁMICO
Resistencia térmica de diseño = 1,22 m ² K/W	Profundidad de 6 cm	h=9mm, λ=2,6 W/(mK) Absortividad = 0,6

Tabla 2. Características de la fachada ventilada estándar.

5.3. Influencia de las características del colector cerámico.

La cantidad de radiación solar que absorbe un cuerpo depende de su absorptividad, propiedad que está estrechamente relacionada con el color. Para analizar la influencia del color de las piezas cerámicas sobre el comportamiento térmico de una fachada ventilada estándar y de una fachada de doble hoja (R=1,22 m²K/W), se ha calculado la densidad de flujo de calor que alcanza el interior de estos dos cerramientos en un día típico de cada mes para tres acabados superficiales: color negro (absortividad = 0,95), gris/beige (0,60) y blanco (0,40). Los resultados se presentan en la figura 8b, en la cual se confirma como para ambos tipos de fachada, la energía transmitida por el cerramiento hacia el interior aumenta cuanto mayor es su absorptividad. Además se observa que, a igual valor de absorptividad, la densidad de flujo de calor es siempre mayor en la fachada de doble hoja que en la fachada ventilada, la cual presenta menor dependencia en su comportamiento térmico respecto al color. Este efecto se justifica debido a que absorptividades altas incrementan la captación de calor de la hoja externa pero, al mismo tiempo, esto aumentará el efecto chimenea y las pérdidas de calor, haciendo que el incremento térmico sea menor que en una cámara estanca. Cabe resaltar que la energía transmitida por una fachada ventilada de absorptividad máxima (0,95) es del mismo orden que la que se obtendría para el cerramiento de doble hoja de absorptividad mínima (0,40), lo permite mayor flexibilidad en el diseño exterior de las fachadas con menor acumulación de calor, incluso utilizando cerramientos de color negro.



a) Influencia la pérdida de carga.

b) Influencia del color de la fachada.

Figura 8.

5.4. Influencia de de la orientación de la fachada.

Otro aspecto que influye en el comportamiento térmico de una fachada es su orientación, puesto que la radiación solar incidente sobre un elemento vertical varía notablemente según la orientación y la época del año. En efecto, en la figura 9 se muestra la radiación solar incidente en Castellón a lo largo de un día soleado de invierno (a) y de verano (b) para cada una de las cuatro orientaciones. En esta representación se comprueba como en invierno (diciembre) la orientación sur es la que recibe una mayor cantidad de radiación solar, mientras que en verano (junio) las orientaciones este-oeste son las que reciben una mayor cantidad de energía. Entre estas dos situaciones extremas, en el periodo de diciembre a junio la orientación sur va recibiendo progresivamente menos radiación, mientras que la radiación incidente sobre las caras este-oeste aumenta, mientras que en el periodo de junio a diciembre esta tendencia tiene lugar en sentido contrario.

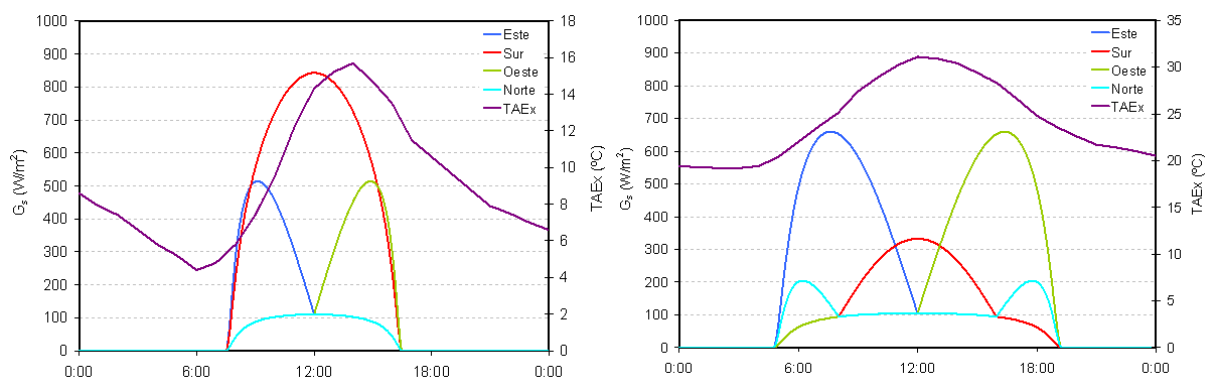


Figura 9. Radiación solar incidente en función de la orientación en invierno (a) y verano (b).

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en la figura 10 se muestra la evolución de la densidad de flujo de calor que alcanza el interior del cerramiento ventilado en cada una de las orientaciones para un día típico de cada mes. Se puede comprobar como para el periodo de invierno, la densidad de flujo de calor es mayor para la orientación sur, puesto que sobre ésta incide la mayor cantidad de radiación solar.

Conforme avanza el año, se reduce la diferencia respecto a la orientación este-oeste hasta que en los meses de mayo, junio y julio, ésta es la que presenta una mayor densidad de flujo de calor. Posteriormente, la tendencia se invierte de nuevo y las diferencias entre sur y este-oeste aumentan hasta llegar al periodo invernal. Obviamente, en la orientación norte la energía que atraviesa el cerramiento es menor que en las otras tres orientaciones, puesto que sobre esta fachada del edificio es la que recibe menor cantidad de energía procedente del sol.

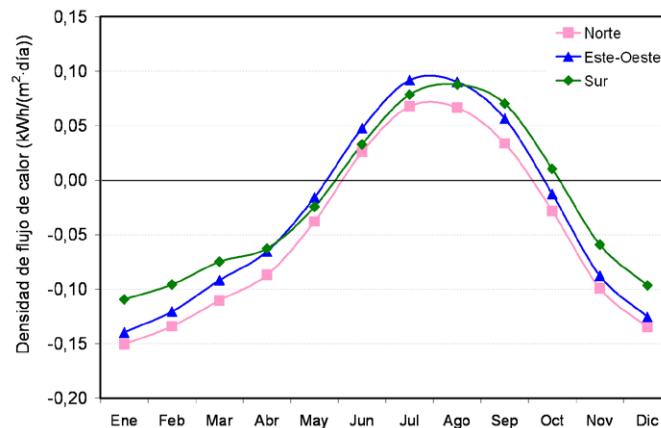


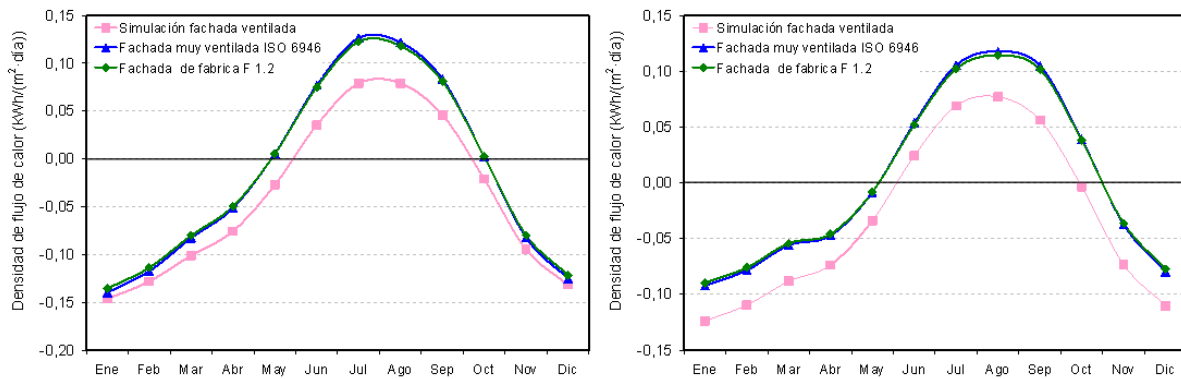
Figura 10. Energía diaria introducida por m^2 de cerramiento en función de la orientación.

5.5. Contribución a la eficiencia energética del edificio.

Aunque a partir del modelo de simulación es posible estimar los aportes de energía a través de cerramientos ventilados con diferentes configuraciones, para determinar la contribución a la eficiencia energética del edificio deben considerarse simultáneamente las ganancias y pérdidas del resto de componentes del edificio (acristalamientos, aportes internos, ventilación, etc.). Sin embargo, las herramientas de cálculo disponibles en la actualidad [4 ,5 ,6] no permiten integrar el sistema constructivo de fachada ventilada, salvo que se asimile a la opción prevista en la norma UNE-EN ISO 6946:1997 [7] para cámaras de aire muy ventiladas. Según esta norma, para estimar la resistencia térmica total en un cerramiento con cámara de aire muy ventilada se deben despreciar las capas exteriores (baldosa y cámara de aire) y considerar solo las capas interiores, pero asignando a la resistencia superficial exterior (R_{se}) el mismo valor que a la interior.

A efectos comparativos, se ha utilizado el método de cálculo mensual (UNE-EN ISO 13790:2008 [8]) para estimar la densidad de flujo de calor a través de $1 m^2$ de dos tipologías de cerramiento con resistencia de diseño equivalente a la de la fachada ventilada estándar (tabla 2). El primero corresponde a una fachada de fábrica vista con cámara de aire no ventilada (código F 1.2 [9]) y el segundo a la simulación de la fachada con cámara muy ventilada según la modificación de R_{se} antes citada, ambas con una superficie de absorción=0,6. En la figura 11 se presentan los resultados obtenidos para dos orientaciones en las condiciones climáticas mensuales de Castellón.

Como puede observarse, el cambio propuesto en la UNE-EN ISO 6946:1997 apenas modifica la densidad de flujo de calor respecto al cerramiento de fábrica vista F 1.2, y tampoco reproduce la capacidad de evacuación de calor de la fachada ventilada real que manifiesta una importante reducción de la densidad de flujo de calor a través del cerramiento, mucho más acusada en la orientación Sur. Por ello, debe descartarse la opción propuesta en la citada norma para la simulación de fachadas ventiladas cerámicas, ya que el concepto de cámara muy ventilada al que se refiere no resulta asimilable a este sistema constructivo.



a) Orientación Este y Oeste

b) Orientación Sur

Figura 11.

6. CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado y validado, con los datos experimentales obtenidos de sendos estudios con un módulo a escala y dos edificios reales, un modelo matemático que permite simular el comportamiento térmico de fachadas ventiladas cerámicas.
- Mediante este modelo es posible estimar la transferencia neta de energía a través del cerramiento en diferentes configuraciones del sistema constructivo, orientaciones y condiciones climáticas.
- Se ha comprobado que los supuestos utilizados para la integración de la fachada ventilada cerámica en las herramientas de cálculo para la evaluación de la eficiencia energética, no permiten estimar correctamente su capacidad para reducir la demanda de refrigeración.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado es resultado de un proyecto de investigación [Plan Sectorial de Competitividad - IMPCNC/2008/42] realizado gracias a la financiación del Instituto de la Pequeña y Mediana Industria de la Generalitat Valenciana (IMPIVA) y de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. BARTOLOMÉ et al. Fachadas ventiladas y pavimentos técnicos: cerámica para la arquitectura. Castellón: ASCER; ITC, 2009.
- [2] A. MÜLLER et al. Análisis del comportamiento térmico de la fachada ventilada de gres porcelánico sin aislante térmico en un clima subtropical - Brasil. En: Qualicer 2004:

- VII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, vol. 2, 2004, p. 79-91.
- [3] J. BOIX et al. Análisis de la eficiencia energética de un cerramiento bioclimático cerámico. En: Qualicer 2008: X Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, vol. 2, 2008, p. 63-79.
- [4] Programa LIDER v1.0. [en línea]. [Consulta: 2009-05-01]. <<http://www.codigotecnico.org>>
- [5] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Programa informático CALENER. [Consulta: 2009-05-01]. <www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/Paginas/DocumentosReconocidos.aspx>
- [6] Passiv Haus Institut. Passive House Planning Package 2007. [Cd-rom].
- [7] UNE-EN-ISO 6946:1997. Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.
- [8] UNE-EN-ISO_13790:2008. Eficiencia térmica de los edificios. Cálculo del consumo de energía para la calefacción de espacios
- [9] Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. [en línea]. [Consulta: 2009-09-01]. <<http://www.codigotecnico.org>>