

ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO PASIVO POR FACHADAS VENTILADAS EN EL SUR DE ESPAÑA

¹Domínguez Delgado, A.; ²Duránd Neyra, P.; ³Dominguez Torres, C. A.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Avda. Reina Mercedes, 2. 41002 Sevilla.
e-mail: ¹domdel@us.es; ²percy@us.es; ³cardomtor@us.es

RESUMEN

En este trabajo, se estudia el efecto de enfriamiento pasivo por fachadas ventiladas, en edificios bajo las condiciones climáticas habituales del sur de España. En dichas condiciones climáticas, conseguir confort en el interior de las viviendas supone generalmente un fuerte consumo energético en los periodos de verano. El uso de fachadas ventiladas, cuando su diseño es correcto, puede reducir considerablemente dicho consumo en verano, especialmente en situaciones de fuerte irradiación solar.

Las fachadas ventiladas presentan generalmente una capa exterior unida al muro interior del edificio por medio de estructuras especiales. De esta forma entre las dos capas se crea una cámara de aire, ventilada de forma natural.

En nuestro contexto, la función más relevante de la capa exterior es proteger el muro interno de la radiación solar, así como dar carácter y definir la estética del edificio. Por otro lado, la radiación solar al calentar la hoja externa provoca en el interior de la cámara ventilada un flujo de aire ascendente, debido a la convección natural, que produce un fenómeno de ventilación transportando el calor desde las caras de dicha cámara al exterior.

Algunos autores señalan la disminución de rendimiento energético de estas fachadas cuando la temperatura ambiental es alta. Fenómeno que puede agravarse cuando la presencia de viento hace aumentar el flujo de aire caliente hacia el interior de la cámara ventilada.

El objetivo del presente trabajo consiste en determinar si en las condiciones climáticas habituales del sur de España, donde se pueden dar ambos fenómenos, las fachadas ventiladas aportan algún tipo de ahorro energético respecto las fachadas no ventiladas y deducir sus patrones de comportamiento en cuanto a su eficiencia energética.

Para simular el flujo en el canal de aire, se utilizan las ecuaciones de Navier-Stokes para flujos termodinámicos. Se modeliza la fachada como un canal con dos planos verticales calentados de forma asimétrica mediante una aproximación por Elementos Finitos bidimensionales (2D).

Los resultados obtenidos por la computación CFD, muestran que el efecto combinado de sombra de la capa externa y de ventilación producido en el interior de la cámara de aire, consiguen un significativo efecto de enfriamiento del edificio, que ha sido evaluado comparando el comportamiento térmico de las fachada ventiladas con otra no ventilada.

Por último, se analiza el comportamiento de dichas fachadas bajo diversas condiciones atmosféricas como viento variable, y diferentes niveles de irradiación solar y temperatura ambiente.

Keywords: Enfriamiento pasivo, fachadas ventiladas, edificios energéticamente eficientes, CFD, FEM.

1.- Introducción.

En los últimos años el interés por el desarrollo de sistemas pasivos, tanto para calefacción como para refrigeración, ha tenido un notable auge ante la necesidad de reducir los costes energéticos para la climatización de los edificios.

El objetivo de este trabajo es analizar la transferencia de calor a través del sistema formado por fachadas ventiladas en condiciones atmosféricas propias del verano en el sur de España y determinar si en dichas condiciones climáticas, las fachadas ventiladas consideradas aportan algún tipo de ahorro energético respecto las no ventiladas. Concretamente se consideran diversos valores de temperatura ambiente, radiación solar y velocidades de viento, propias de dicho marco geográfico y estacional.

La configuración más habitual para las fachadas ventiladas consiste en un cerramiento convencional, de ladrillo o cualquier otro material que pueda ejercer funciones de soporte, sobre el que se dispone una capa de material aislante y una subestructura que fija un sistema exterior de revestimiento que puede ser de materiales muy variados y que constituye la cara vista del edificio en dicha fachada. Esta disposición produce una cámara de aire entre el muro interior y la placa exterior que es ventilada a través de aberturas situadas en las partes inferior y superior de la fachada.

Por otro lado, es de destacar que las fachadas ventiladas permiten múltiples configuraciones y geometrías que condicionan de forma determinante el comportamiento termodinámico de las mismas. En el presente trabajo nos centramos en una fachada con canales de ventilación abiertos al frente de la fachada y estudiamos dos dimensiones diferentes para las aberturas de ventilación.

La principal ventaja atribuida a las fachadas ventiladas en climas cálidos es la reducción de la carga de enfriamiento de climatización del edificio debido a dos factores fundamentales: la ventilación inducida por la convección natural en la cámara ventilada y el papel protector respecto de la radiación solar que desempeña la hoja externa de la fachada.

En concreto se produce un efecto chimenea en la cámara ventilada por el calentamiento provocado por la radiación solar en la superficie externa de la fachada. Este calor se transmite por conducción a través de la hoja externa calentando la superficie de la misma que da a la cámara ventilada, y calentando por radiación la superficie del muro interior que delimita interiormente la cámara ventilada. De esta forma la convección natural provoca un flujo de aire a través del canal formado por ambas superficies, que extrae el calor acumulado en las mismas, lo que en principio debería traducirse en una reducción de la temperaturas de dichas paredes y por tanto de la ganancia de calor hacia el interior del edificio.

Sin embargo, este efecto de ventilación inducido por la convección natural es sensible a las temperaturas ambientes, los diferentes niveles de radiación solar y la velocidad del aire que impacta contra la fachada.

En el presente trabajo se extraen conclusiones sobre los patrones del comportamiento termodinámico de las fachadas ventiladas consideradas, bajo la acción de distintos factores ambientales.

2.- El modelo físico.

El tipo de fachada ventilada que estudiamos se ha modelizado como un sistema bidimensional (fig.1), mediante un muro compuesto interno y una capa externa, creándose entre ambas superficies una cámara de aire. Esta cámara o canal de aire está delimitado en la parte superior por la cubierta del edificio y en la parte inferior por la base del mismo, y su comunicación con el ambiente exterior se produce, en la configuración geométrica considerada, mediante aberturas situadas en la base y en

la parte superior de la pared externa. Las dimensiones y características físicas de las distintas capas que conforman la fachada estudiada se describen en la Tabla 1.

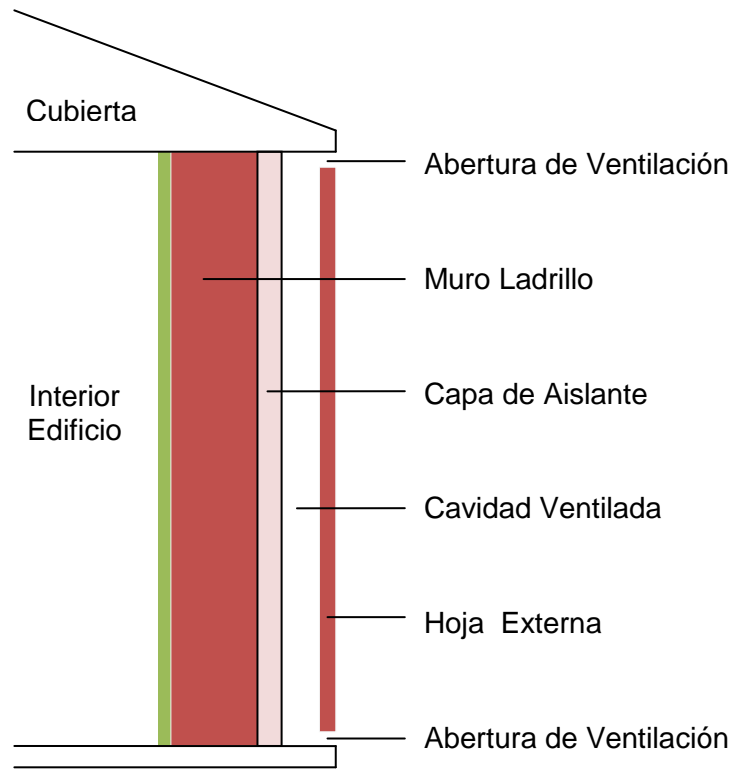


Fig.1 Sección esquemática de la Fachada Ventilada.

En el sistema formado por la fachada ventilada se dan los tres mecanismos básicos de transferencia de calor: radiación, convección y conducción. Concretamente, la transferencia de calor en la fachada está determinada por:

- Ganancia de calor en la superficie externa debida a la irradiación solar de la misma.
- Intercambio de calor por convección y radiación entre la superficie externa de la fachada y el ambiente.
- Transferencia de calor por conducción a través de la placa externa de la fachada.
- Intercambio radiativo de calor entre las dos superficies que delimitan la cámara ventilada.
- Intercambio de calor por convección entre dichas superficies y el aire que circula por dentro de la cámara.
- Transferencia de calor por conducción a través de la pared interna.
- Intercambio de calor por convección y radiación entre la superficie de la pared interna que da al interior del edificio y el ambiente interior del mismo.

Para establecer el modelo físico, hay que tener en cuenta que el aire que fluye por el canal interior, extrae o adiciona calor a las paredes del canal a un ritmo determinado fundamentalmente por la velocidad a la que circula el aire por la cámara y la diferencia de temperaturas entre las paredes del canal y el aire. La velocidad de dicho flujo de aire a través de la cámara ventilada viene condicionado por el fenómeno de convección natural que se produce en la misma y por el flujo de aire a través de las aberturas de ventilación de la fachada que a su vez viene condicionado

por la velocidad del aire exterior e incluso, por la temperatura a que se encuentra dicho aire.

Por tanto debemos resolver de forma acoplada las ecuaciones de Navier-Stokes que describen el movimiento del aire, la ecuación de transporte de energía para el movimiento del aire, y las ecuaciones de transferencia de calor a través de las distintas paredes de la fachada.

3.- Formulación matemática.

3.1.- Ecuaciones que gobiernan el fluido.

Las variaciones que se esperan para la temperatura relativa $T - T_{amb}/T_{amb}$, no son demasiado grandes y por tanto se puede emplear la simplificación de Boussinesq para modelizar los efectos de flotabilidad debido a la convección natural. Así, asumimos que las propiedades termofísicas del aire son constantes excepto la densidad, que se supone variable en la ecuación para la conservación del momento vertical.

Las ecuaciones entonces que rigen el comportamiento del fluido son las de conservación de masa, momento y energía:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Continuidad :} \\ \text{Momento:} \\ \text{Energía:} \end{array} \right. \quad \begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla \vec{U} - \nabla \cdot (\nu \nabla \vec{U}) + \nabla p = \vec{b} \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla T - \nabla \cdot (\alpha \nabla T) = 0 \end{cases}$$

siendo $\vec{U} = (u, v)$ el vector de velocidad en las direcciones x e y , respectivamente; p la presión; T la temperatura; ν y α la viscosidad cinemática y la difusividad térmica del aire.

En estas ecuaciones $\vec{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \beta (T - T_{amb}) \end{pmatrix}$ representa la fuerza de flotabilidad debida a la convección natural, siendo g la aceleración de la gravedad, T_{amb} la temperatura ambiente y β el coeficiente de expansión térmica que bajo la hipótesis de gases ideales podemos aproximar por $\beta = 1/T_{amb}$.

Para el fluido se impone la condición de no-slip sobre todas las superficies de la fachada ventilada y del suelo exterior. En la frontera de entrada del aire al dominio computacional se fija la velocidad y la temperatura del mismo, y en las fronteras restantes los valores de la velocidad y la temperatura del aire son los resultantes del propio cálculo efectuado.

En la frontera de suelo exterior se ha tomado una temperatura constante igual a la temperatura ambiente.

3.2.- Conducción térmica a través de las paredes sólidas.

La conducción del calor a través de la placa exterior y del muro interior se modeliza mediante la ecuación

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (\alpha \nabla T) = 0$$

donde ahora, el coeficiente de difusividad α es variable tomando el valor correspondiente a cada material de los que constituyen las distintas capas del muro interior y de la placa exterior.

Esta ecuación se cierra con las condiciones de frontera correspondientes que resultan de escribir para cada superficie la ecuación de balance energético correspondiente. Para la cara externa de la placa exterior este balance energético debe recoger:

- La radiación solar incidente sobre dicha superficie. El valor efectivo considerado para esta radiación es la componente perpendicular absorbida de la radiación solar que incide sobre la superficie exterior de dicha fachada.
- El intercambio radiativo entre la superficie externa de la placa exterior y el ambiente. Para este intercambio el valor de la temperatura del cielo lo calculamos en función de la temperatura ambiente mediante una correlación de las más habituales dadas en ASHRAE [1], dada por

$$T_{sky} = 0.0552 T_{amb}^{1.5}$$

donde ambas temperaturas son absolutas.

- El intercambio de calor por convección con el ambiente. Para este intercambio se ha empleado un coeficiente de transferencia de calor por convección promedio a través del área de la superficie. Para la determinación de este coeficiente se usa la correlación dada por Sharples [2]

$$h_c = 5.1 + 1.7 U \quad W/m^2K$$

donde U es la velocidad del viento en m/s medido cerca de la superficie de la fachada. Esta correlación nos permite un cálculo más preciso de h_c al tener en cuenta la velocidad del viento cerca de la fachada, y no del viento atmosférico que entra en el dominio de cálculo.

Para las superficies, tanto de la placa exterior, como del muro interior, que delimitan la cámara ventilada, la ecuación del balance energético deben tener en cuenta:

- El intercambio radiativo entre ambas superficies.
- El intercambio de calor por convección con el aire que circula por la cámara. Para este intercambio se ha usado la correlación anterior, para el caso de velocidades de viento de entrada no nulas, y las correlaciones establecidas en ASHRAE [3] para convección natural dadas para flujo ascendente por $h_c = 2.39 (\Delta T/H)^{1/4}$ y para flujo descendente por $h_c = 1.06 (\Delta T/H)^{1/4}$.

Finalmente, para la superficie del muro interno que da al interior del edificio, la ecuación de balance energético se define teniendo en cuenta una temperatura interior constante de $T_{room} = 24^\circ C$ y un intercambio de calor por convección y radiación para el que se toma un coeficiente de transferencia mixto dado por $h_i = 8 W/m^2K$, que es el habitualmente recomendado en las especificaciones técnicas para este tipo de intercambio de calor en interior.

4.- Simulación Numérica.

4.1.- Dominio de cálculo.

Para la resolución numérica del conjunto de ecuaciones que describen el problema se ha partido de un dominio bidimensional que abarca tanto la fachada ventilada como una amplia región exterior a la misma para poder simular de forma adecuada los flujos de aire frente a la fachada. Dicho dominio se ha mallado mediante elementos triangulares para efectuar una discretización del problema por el Método de Elementos Finitos (MEF). La malla considerada (fig.2), consta de un total de 13415 triángulos lo que permite una razonable precisión en los resultados numéricos que se obtienen.

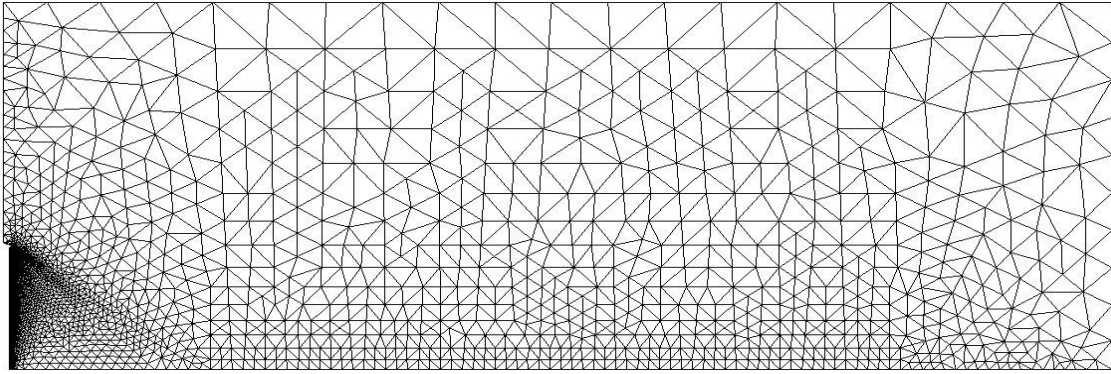


Fig. 2 Mallado del dominio de cálculo

En la anterior figura, el edificio al que pertenece la fachada ventilada se encuentra en la esquina inferior izquierda, mientras que la frontera derecha del dominio es la frontera de entrada de aire, para los casos de velocidad no nula del mismo. En (fig.3) se pueden ver algunos detalles del mallado de las secciones inferior y superior de la cámara ventilada.

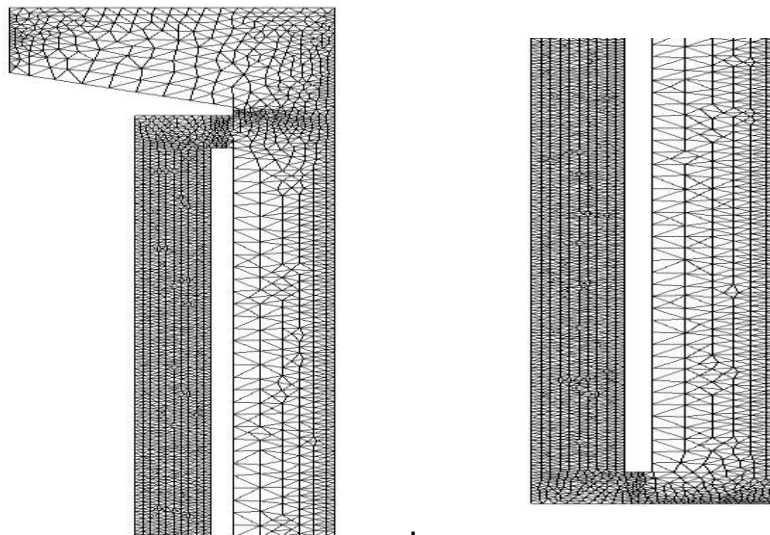


Fig.3 Detalles del mallado de la parte superior e inferior de la cámara ventilada.

4.2.- Resolución numérica.

La resolución numérica del problema se ha llevado a cabo mediante una discretización por Elementos Finitos de las ecuaciones termodinámicas de Navier-Stokes. En dicha resolución se ha empleado el logicial de código abierto FreeFem del INRIA francés. Las ecuaciones de transferencia de calor a través del muro interno y la capa externa se han resuelto mediante una discretización por diferencias finitas de las mismas.

En la simulación efectuada, se ha buscado alcanzar el estado estacionario para cada caso considerado. Dicho estado se ha alcanzado resolviendo de forma iterativa las ecuaciones consideradas, tomando en cada paso de tiempo como condiciones de frontera para el fluido en las superficies de la fachada ventilada, los valores resultantes de resolver las ecuaciones de conducción en las capas interna y externa de la fachada.

4.3.- Condiciones ambientales.

Se ha considerado un conjunto de condiciones ambientales que intenta reproducir las características más relevantes del verano en el sur de España.

Estas condiciones se caracterizan por temperaturas elevadas en las horas centrales del día, así como por niveles de radiación relativamente elevados.

Los vientos no suelen ser fuertes pero pueden variar desde la calma total hasta vientos relativamente moderados que pueden incrementar de forma notable la sensación de calor. Así los valores estudiados en el presente trabajo son de 300 y 400 W/m^2 para la radiación solar incidente normal a la superficie exterior de la fachada [4], temperaturas ambientales de 30° y 40°C, y velocidades de entrada para el viento de 0, 2, 4 y 6 m/s . Estos valores permiten elaborar patrones de comportamiento para la fachada ventilada en las condiciones climáticas buscadas.

4.4.- Características de la fachada estudiada.

La fachada estudiada se ha tomado con una geometría semejante a la esquematizada en Fig.1. El Código Técnico de la Edificación [5] señala para las fachadas ventiladas que el ancho de la cámara debe estar comprendido entre 30 y 100 mm y que las aberturas de ventilación deben tener un área efectiva total como mínimo igual a 120 cm^2 por cada 10 m^2 de paño de fachada entre forjados repartidas al 50 % entre la abertura superior y la inferior. Aunque algunos autores [6] señalan que el rendimiento energético óptimo de la fachada ventilada se alcanza para una anchura de la cámara en torno a 15 cm , en el presente trabajo nos ceñimos a los valores marcados por el Código Técnico y todo el estudio se centra en dos fachadas ventiladas con una anchura de la cámara de 10 cm para ambas y dos anchos diferentes en cada fachada para las aberturas de ventilación, concretamente de 10 cm para una y 15 cm para la otra. Con estas dimensiones se cumplen los requisitos especificados en el Código Técnico. Ambas fachadas se designaran a partir de aquí como FVP1 y FVP2, respectivamente.

Las características termofísicas de las dos fachadas estudiadas se detallan en la Tabla 1.

Nº de capa	Descripción	Espesor (m)	Densidad (kg/m^3)	Calor esp. ($J/kg K$)	Conductividad ($W/m K$)
1(Capa Ext.)	Hoja de cerámica	.013	2000	800	1
2	Cámara de aire	0.1	1.184	1005	0.0255
3	Aislante PUR	0.035	40	1674	0.028
4	Ladrillo perforado, mortero de cal y cemento	0.115	1600	1000	0.59
5 (Int.)	Enlucido	0.015	1800	1000	0.90

Tabla 1. Características termofísicas de las Fachadas Ventiladas estudiadas.

Para la superficie exterior de la capa externa se considera un valor de absortividad de la radiación solar de 0.63. El coeficiente de emisividad de las dos superficies de dicha capa se ha tomado como 0.93, y para la superficie del muro interno que da a la cámara ventilada se ha tomado para dicho coeficiente un valor de 0.75. Estos valores se han tomado según las especificaciones técnicas para los materiales considerados.

5.- Resultados y discusión.

Para el estudio del comportamiento energético de las fachadas consideradas se han llevado a cabo varias series de simulaciones que recogen las distintas condiciones

ambientales de temperatura, intensidad solar y velocidad del viento descritos en el apartado 4.3.

Como paso previo, se ha validado el modelo de cálculo comparando los resultados que el mismo da para las fachadas ventiladas estudiadas en [7]. En el citado trabajo, se considera velocidad del aire de entrada nula, temperatura ambiente de 28°C e intensidad solar de 400 W/m^2 . Los resultados de nuestra simulación para la velocidad promedio del aire dentro de la cámara ventilada y el flujo de calor hacia el interior del edificio, muestran una buena analogía con los presentados en dicho trabajo.

5.1 Flujo de calor en las fachadas ventiladas para distintas condiciones ambientales.

Los resultados de las simulaciones muestran el comportamiento cualitativo esperable para las fachadas ventiladas (fig.4). Así, a mayores niveles de radiación solar y de temperatura exterior, corresponde un mayor flujo de calor hacia el interior de la vivienda.

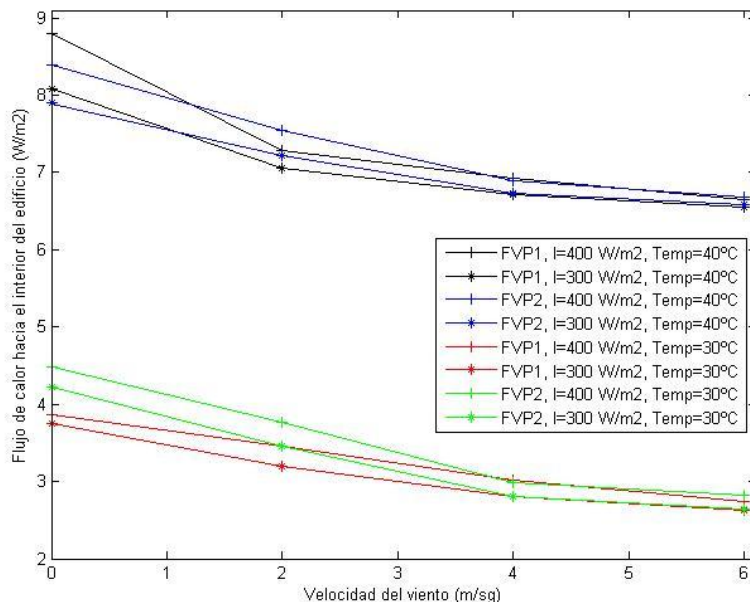


Fig.4. Flujo de calor hacia el interior del edificio para las dos fachadas ventiladas (FVP1, FVP2), bajo distintas condiciones ambientales.

En cuanto a la influencia de la velocidad del aire exterior, cabe reseñar como el flujo de calor disminuye a medida que se incrementa la velocidad del viento. Esto puede venir motivado por el aumento de la ventilación en el interior de la cámara de ventilación y también por el aumento de intercambio energético en la cara externa de la fachada para mayores valores de la velocidad del viento. Se observa como si bien para velocidades de aire en reposo hay cierta diferencia entre los flujos de calor de ambas fachadas, cuando la velocidad del aire va en aumento, el flujo de calor tiende a ser muy semejante.

5.2 Flujos de calor con respecto a las temperaturas.

El flujo de calor para las fachadas ventiladas es netamente menor respecto a la fachada no ventilada. Para temperatura ambiental de 30°C (fig.5) y fachadas ventiladas, los valores mayores de transferencia de calor al interior, se corresponden con velocidad de aire nula, observándose una paulatina disminución en el flujo de calor hacia el interior a medida que aumenta la velocidad del aire. Para la fachada

no ventilada, en cambio, se observa un fenómeno contrario. Esto se puede corresponder con el hecho de que el movimiento de aire en dicha fachada solo influye en la superficie externa de la misma sin extraer calor del interior de la misma.

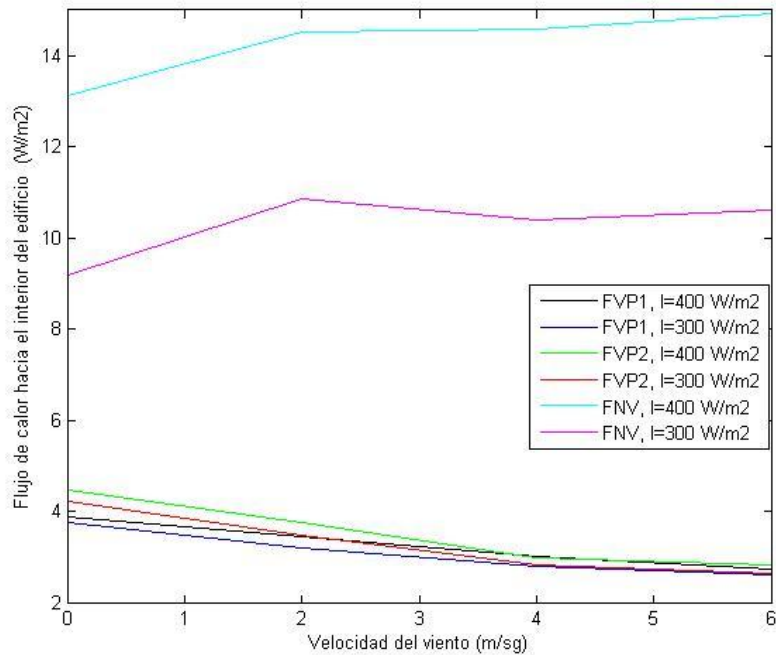


Fig.5 Flujos de calor a temperatura ambiente de 30°C, para las fachadas ventiladas (FVP1, FVP2) y la no ventilada (FNV).

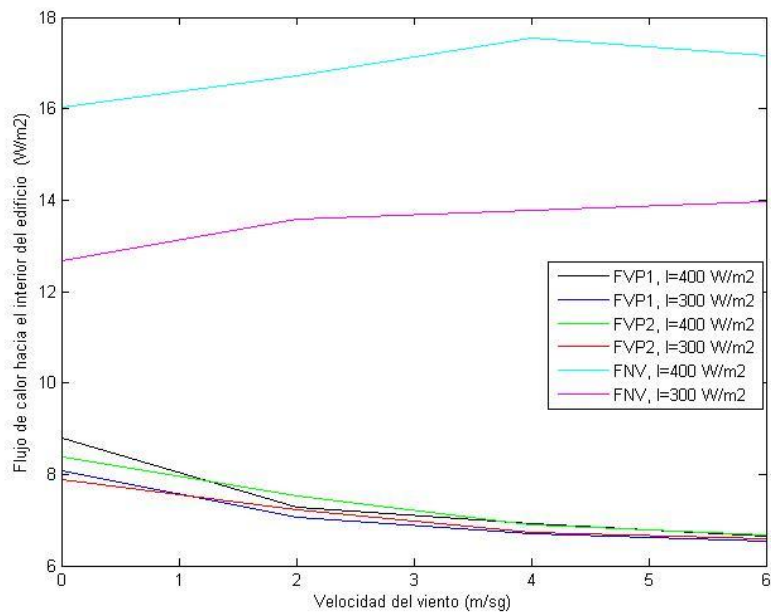


Fig.6 Flujos de calor a temperatura ambiente de 40°C, para las fachadas ventiladas (FVP1,FVP2) y no ventilada (FNV).

Para la temperatura de 40°C (fig.6), el comportamiento de las fachadas ventiladas y de la no ventilada es similar al caso anterior.

5.3 Flujos de calor con respecto a la intensidad de radiación solar

En (fig.7) y (fig.8), se observa como la convección natural para el caso de aire en reposo, produce los peores resultados. Es de resaltar que para las intensidades de

radiación solar consideradas, la presencia de viento en movimiento produce una disminución del flujo de calor hacia el interior, en línea con lo observado anteriormente.

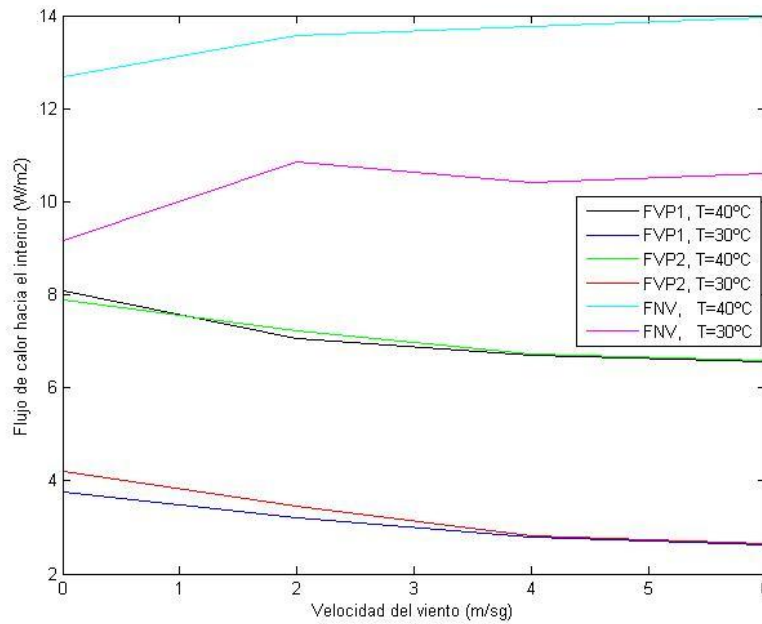


Fig.7 Flujos de calor para una radiación solar de 300 W/m^2

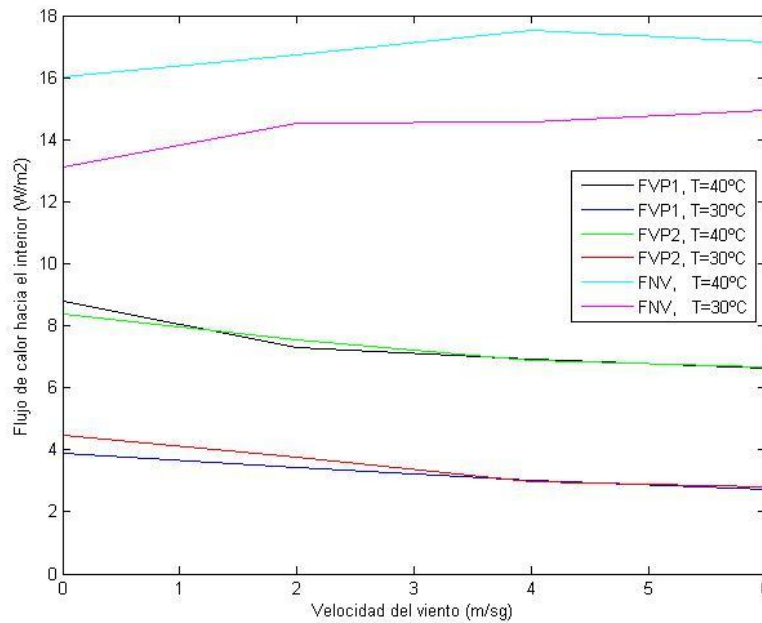


Fig.8. Flujos de calor para una radiación solar de 400 W/m^2

Nuevamente podemos concluir de las dos gráficas, que la llegada de aire con velocidades no nulas a las fachadas ventiladas, aumenta el efecto de ventilación de las mismas, siendo muy similar el comportamiento de las dos fachadas consideradas frente a las radiaciones estudiadas.

5.4.- Diferenciales en el flujo de calor entre la fachada ventilada y la no ventilada.

Las diferencias en el flujo de calor más pequeñas se producen en todos los casos estudiados para el caso de velocidad del aire exterior nula. Es de observar nuevamente el papel de la radiación solar a la hora de producir buenos resultados en la fachada ventilada. Efectivamente vemos que para la temperatura más elevada, dicha diferencia en el flujo de calor es mayor para los niveles de radiación más alta, lo que ya hemos observado anteriormente y supuestamente se debe al efecto de aumento de la convección natural que produce en la cámara ventilada niveles de radiación más alta. Como vemos, el peor resultado se obtiene para el caso de una temperatura de 40°C y una radiación de 300 W/m^2 , lo que refuerza el hecho observado de que los niveles de evacuación del calor que produce dicha radiación compensa en menor medida la entrada de aire más caliente procedente del exterior.

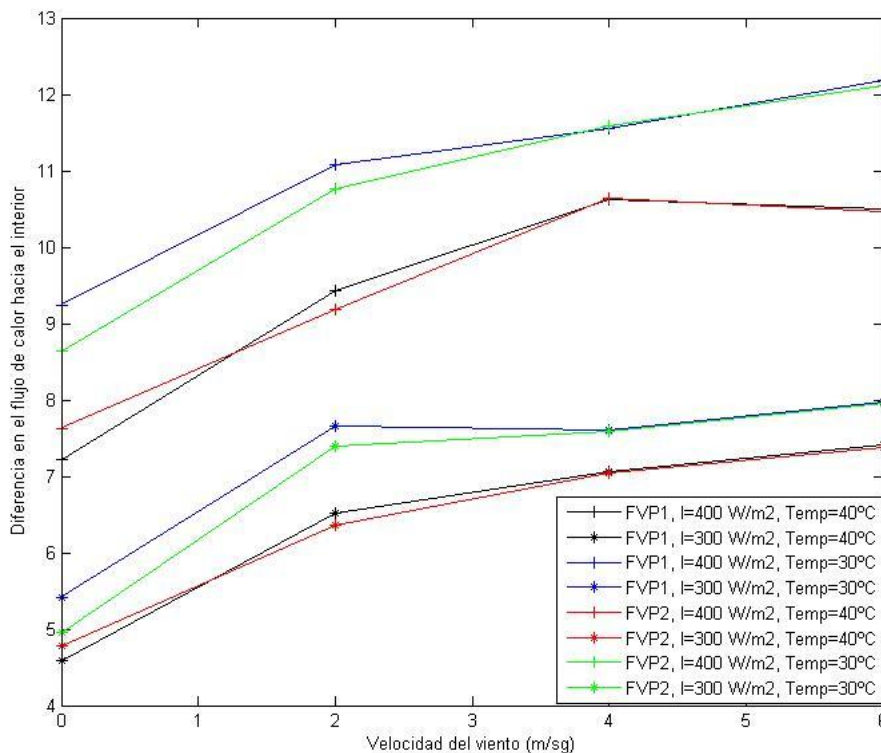


Fig.9 Diferenciales del flujo de calor entre las fachadas no ventiladas y la ventilada.

5.5 Tasas de ahorro de energía.

En (fig. 10) se presentan las tasas de ahorro de energía para las distintas condiciones ambientales estudiadas.

De forma general cabe reseñar que la menor tasa de ahorro de las fachadas ventiladas respecto la no ventilada, se produce para el aire en reposo. En este caso, la evacuación de calor a través de las aberturas de ventilación se produce únicamente por convección natural, sin que el movimiento de aire externo apoye dicho mecanismo. Para las distintas velocidades de aire consideradas se observa que la tasa de ahorro aumenta gradualmente respecto al aire en reposo. Si bien para velocidades de viento nula o bajas hay ciertas diferencias para la tasa de ahorro energético entre los dos tipos de fachadas consideradas, dicha tasa tiende a homogeneizarse a medida que aumenta la velocidad del viento.

Los peores resultados se obtienen para una temperatura ambiental elevada, 40°C , y nivel de radiación más moderada, 300 W/m^2 . Este comportamiento lo presentan las

dos fachadas ventiladas FVP1 y FVP2. Esto puede deberse a que el aire que entra en la cámara ventilada no es evacuado con la suficiente rapidez de la misma, debido a que la menor radiación solar recibida por la capa externa se traduce en un menor calentamiento de las superficies de la cámara y por tanto en una menor velocidad del flujo de aire debido a convección natural.

Así por ejemplo, cabe reseñar que para la misma temperatura de 40°C, la tasa de ahorro es bastante mejor para una intensidad de radiación solar absorbida de 400 W/m^2 , debido justamente al mayor efecto de evacuación que dicha intensidad provoca al aumentar las velocidades del flujo de aire dentro de la cámara. Este efecto es común a todas las velocidades de aire exterior consideradas.

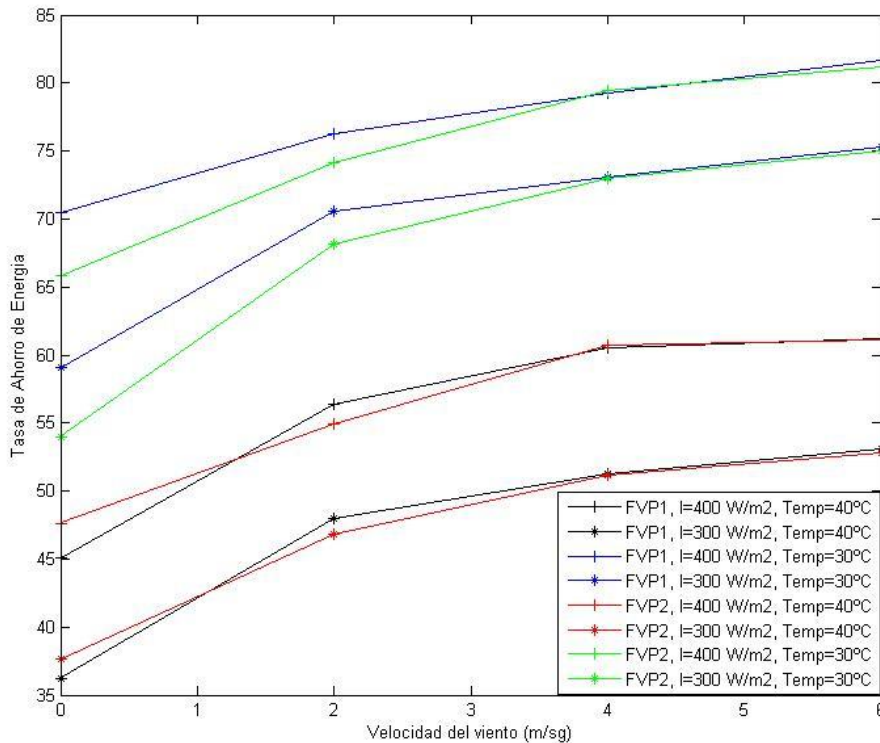


Fig.10. Tasas de ahorro energético de las dos fachadas ventiladas bajo distintas condiciones ambientales

Otro hecho que se puede deducir de las gráficas es que el rendimiento de las fachadas ventiladas es menor para altas temperaturas, como se observa en (fig.10). Este hecho ya señalado por algunos autores [6,7] para aire en reposo, es aquí también observado y puesto de manifiesto para velocidades del aire no nulas.

6.- Conclusiones.

- Se ha desarrollado un código numérico para la simulación del comportamiento de una fachada ventilada bajo condiciones atmosféricas típicas de la estación de verano en el Sur de España. El código se ha validado con los resultados presentados en [7].
- Se ha estudiado el comportamiento termodinámico de dos casos particulares de fachadas ventiladas, comparando sus rendimientos frente a otra no ventilada con las mismas características termofísicas, con especial atención en el análisis de cómo la temperatura ambiente, la radiación solar y la velocidad del viento influyen en el flujo de calor hacia el interior del edificio.
- De los resultados obtenidos se puede concluir que las fachada ventiladas estudiadas en general presentan un mejor comportamiento respecto a la no

ventilada en cuanto a la refrigeración del edificio. Así las fachadas consideradas dan tasas de ahorro de energía en un rango entre un 35% y más de un 80% respecto a la no ventilada en el contexto climático considerado, dependiendo de las condiciones ambientales. Esto se debe a que en la estación cálida, el aire que circula por la cámara ventilada extrae parte del calor acumulado en las superficies de la fachada ventilada, reduciendo de esta forma la ganancia de calor hacia el interior del edificio.

- Se observa que aunque para altos niveles de radiación y temperatura ambiente la ganancia de calor aumenta, la tasa de ahorro energético sigue siendo considerable, si bien cuando la temperatura ambiente alta va acompañada de niveles de irradiación bajo, dicha tasa disminuye notablemente.

- Se concluye que, en las condiciones ambientales propias de la estación de verano en el sur de España, el uso de las fachadas ventiladas permite una notable reducción de la carga de calor del edificio respecto a la no ventilada, si bien la tasa de ahorro energético que se consigue es relativamente sensible a la combinación de dichas condiciones ambientales.

- Como línea de trabajo futura, sería interesante ampliar el estudio a fachadas con distintas configuraciones, estudiando como distintos colores del revestimiento exterior, espesores de la cámara ventilada, tamaños de las aberturas de ventilación, y dimensiones de la fachada, se comportan bajo la acción de las variables climáticas propias del estío en el Sur de España.

REFERENCIAS

[1] ASHRAE Fundamentals/75 p.43

[2] Sharples S. (1984). Full scale measurements of convective energy losses from exterior building surfaces. *Building and Environment*. **19**,31-39.

[3] ASHRAE (1999). HVAC Applications.

[4] Giancola E., Sanjuan C., Blanco E., Heras M.R. (2012). Experimental assessment and modeling of the performance of an open joint ventilated facade during actual operating conditions in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*. **54**, 363-375.

[5] Código Técnico de la Edificación (Rd 314/2006 de 17 de Marzo).

[6] Ciampi M., Leccese F., Tuoni G. (2003). Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy*. **75**, 491-502.

[7] Patania F., Gagliano A., Nocera F., Ferlito A., Galesi A. (2010). Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. *Energy and Buildings*. **42**, 1148-1155.