

MOVIMIENTO DEL AIRE EN LA CÁMARA DE LA FACHADA VENTILADA. ESTUDIO DE CASOS EXISTENTES EN LA CIUDAD DE BARCELONA, ESPAÑA.

Julieta Balter (1); Cristina Pardal (2); Helena Coch (2); Ignacio Paricio (3); Carolina Ganem (4)

(1) PhD, becaria posdoctoral en el INAHE - CONICET, jbalter@mendoza-conicet.gob.ar

(2) PhD, Profesor e investigador en el departamento de Tecnología de la Arquitectura de la Universitat Politècnica de Catalunya, cristina.pardal@upc.edu, helena.coch@upc.edu

(3) PhD, Catedrático Emérito en el departamento de Tecnología de la Arquitectura de la Universitat Politècnica de Catalunya, ignacio.paricio@gmail.com

(4) PhD, Investigadora en el INAHE - CONICET, cganem@mendoza-conicet.gob.ar

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) del Centro Científico Tecnológico Mendoza, CONICET,
Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Mendoza (CP 5500), Argentina, Tel.: 54-261-5244345
Universitat Politècnica de Catalunya, Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Avda. Diagonal 649,
Barcelona (CP08028) España, Tel: 34-934016392

RESUMEN

La Fachada Ventilada (FV) presume una mejora frente a una convencional -de una sola hoja- en cuanto al comportamiento térmico de los espacios, mediante la ventilación de la cámara de aire, limitada por una hoja interior y una exterior, normalmente de juntas abiertas. Sin embargo, en los edificios construidos con FV la situación real en la cámara suele ser diferente a la considerada en los estudios académicos realizados por simulaciones o mediciones de prototipos. El presente trabajo analiza el movimiento de aire en la cámara de la FV de edificios existentes construidos en la ciudad de Barcelona. Se realizaron mediciones *in situ* en verano (agosto y setiembre) en diez casos de estudio mediante el uso de un anemómetro térmico Testo 405i con telescopio extensible de 400mm y con manejo a través de un teléfono inteligente. La metodología consistió en el monitoreo durante períodos de 30 minutos por la mañana y 30 minutos por la tarde. Los datos se registraron cada dos segundos, según la secuencia: 5 minutos en el exterior, 20 minutos en el interior de la cámara y 5 minutos en el exterior. Los resultados demuestran dos factores determinantes para el adecuado desempeño del movimiento del aire en la cámara de la FV: por un lado, el aumento de incidencia de radiación solar sobre la fachada, y por otro lado, el incremento de las aperturas de entrada y salida de aire en la cámara. En cuanto a las temperaturas las mismas tienden a aumentar en el interior, es decir que siempre hay ganancias de calor en la cámara de aire.

Palabras clave: Fachada Ventilada, movimiento de aire, mediciones *in situ*

ABSTRACT

The Ventilated Façade (VF) supposes an improvement compared with a conventional façade –single layer– in terms of thermal comfort, through the ventilation of the wall cavity, limited by an inner and an outer layer, usually of open joints. However, in buildings with VF the constructions characteristics in the wall cavity are often different from that considered in academic studies, performed by simulations or prototype measurements. The present work analyses the air movement in the VF wall cavity of existing buildings built in Barcelona city. In situ measurements were made in summer in 10 buildings, using a Testo405i thermal anemometer with management via a smartphone. The methodology consisted in the monitoring of the cases in periods of 30 minutes in the morning and 30 minutes in the afternoon. The data were recorded every two seconds, according to the sequence: 5 minutes outside, 20 minutes inside the wall cavity and 5 minutes outside. The extensible telescope (400mm long) of the anemometer was introduced by the open joints of the outer sheets, so that the sensor is perpendicular to the vertical air flow in the wall cavity. The results show two determining factors for the adequate performance of the air movement in the VF chamber: on the one hand, the increase in the incidence of solar radiation on the facade, and on the other hand, the increase of the

entrance and exit apertures of air in the chamber. Besides, temperatures tend to increase in the wall cavity, that is to say that there are always gains of heat in the air chamber.

Keywords: Ventilated Façade, air movement, in situ measurements

1. INTRODUCCIÓN

El sistema constructivo de Fachada Ventilada (FV) surge de la adopción de la doble fachada originada a fines del siglo XIX en el Reino Unido (*Cavity Wall*) en medio de la corriente higienista de la época y en un contexto climático de precipitaciones persistentes, en donde las fachadas tradicionalmente estaban construidas con materiales porosos. Dicho sistema se adopta en España en la década del 90 con la redenominación de Fachada Ventilada. Con este cambio se pone de manifiesto el menor interés por los problemas de estanqueidad al agua para dar relevancia al comportamiento térmico de la fachada (Paricio y Pardal, 2014). El sistema de cerramiento se caracteriza por resolver la estanqueidad al agua por medio de una cámara drenante continua en todo su plano. Para la definición de dicha cámara se precisan dos hojas que la limiten: la exterior -normalmente de juntas abiertas-, y la interior – liviana o de albañilería tradicional (Pardal March, 2009).

Su creciente industrialización y comercialización a nivel mundial se basa en una mejora frente a una fachada convencional en cuanto al comportamiento térmico de los espacios mediante la ventilación de la cámara, en la que el aire exterior accede libremente (efecto chimenea). Esta mejora se debe a la posibilidad de disponer el aislamiento térmico continuo por delante de los cantos de la losa o forjado y al hecho de disponer de una protección frente a la radiación solar directa sobre el cerramiento que limita el espacio habitable. Para que este segundo punto sea del todo efectivo hay que garantizar la ventilación de la cámara evitando su sobrecalentamiento; de lo contrario podría llegar a temperaturas superiores a las del aire exterior.

El estado del arte del funcionamiento de la FV señala considerables mejoras térmicas y energéticas en los espacios: un estudio por simulación computacional (CFD) indica tasas de ahorro de energía para enfriamiento pasivo entre el 35% y el 80% (Domínguez Delgado et al., 2013). Respecto al efecto chimenea y el desempeño térmico de la cámara, un estudio plantea un modelo numérico mediante simulación, y afirma que el rango de flujo de aire incrementa al aumentar el ancho de la cámara (Balocco, 2002). Contrariamente, un trabajo que apunta al dimensionado de anchos de cámara, mediante simulación de fluidos dinámicos, indica que el aumento de altura y el aumento de las diferencias de temperatura produce el incremento del caudal inducido (no así el ancho de la cámara) (Suárez y Molina, 2015). Por otro lado, un análisis experimental de un prototipo y la validación del modelo demuestra que el flujo de aire en la cámara depende de las variables meteorológicas, principalmente de la velocidad y dirección del viento, y de la radiación incidente (Peci López et al, 2012). El estudio de antecedentes advierte que los resultados varían según la metodología empleada y son escasos los casos de investigaciones basadas en mediciones de edificios reales. Un aspecto a considerar es que la situación real en la cámara de los edificios construidos con FV suele ser muy diferente a la de los estudios teóricos, en los cuales no se consideran los sistemas de fijación de la hoja exterior (perfils horizontales y/o verticales), elementos que se encuentran regularmente dispuestos dentro de la cámara y pueden interceder en el movimiento de aire en su interior. Esta información es crucial para entender y validar las predicciones del comportamiento del sistema.

Por otra parte, el Código Técnico de Edificación de España (CTE) incluye a la FV en las condiciones para cada solución constructiva de muros y fachadas. En el caso de que un proyecto pretenda la ventilación de la cámara, el CTE hace referencia a la clasificación de las cámaras de aire según el grado de ventilación: según el Documento Básico de Salubridad (DB-HS) para que una cámara ventile deben disponerse aberturas de ventilación como mínimo de $0.0012\text{m}^2/\text{m}^2$. Mientras que según el Documento de Ahorro de Energía (DB-HE-1) para que la cámara sea muy ventilada esta superficie debe ser como mínimo de $0.0015\text{m}^2/\text{m}^2$. En la gran mayoría de FV construidas la superficie de juntas de la hoja exterior excede considerablemente el valor mínimo requerido por la normativa tanto a efectos de salubridad como energéticos.

A partir de lo expuesto, el presente trabajo¹ propone, a partir del relevamiento de casos reales, caracterizar los sistemas de FV tal y como se construyen en el área de Barcelona, y realizar un diagnóstico

¹ La investigación se enmarca dentro de una pasantía posdoctoral realizada en el departamento de Tecnología en la Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña, dentro del grupo de investigación de “Arquitectura, energía y medio ambiente” financiada por el Programa de Estadías en el Exterior del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina.

del funcionamiento de la cámara en los tipos de fachadas seleccionados mediante mediciones ambientales *in situ*.

2. OBJETIVO

Realizar un diagnóstico del movimiento del aire en la cámara de la Fachada Ventilada en edificios existentes construidos en el área de Barcelona. Se plantea considerar la validez del Código Técnico de Edificación de España (CTE) respecto a las variables de ventilación de la FV según los resultados obtenidos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Identificación, caracterización y clasificación de tipos de fachadas ventiladas en edificios de altura media

3.1.1. Selección de casos estudio

La selección de casos de estudio constó en la identificación de 21 edificios (altura mínima de 18m) con el sistema de FV. Se confeccionó una ficha por caso, en las cuales se incluye la localización, orientación, uso del edificio, así como los detalles constructivos del sistema de cerramiento y la definición de las variables dimensionales y de superficie de la cámara ventilada. Dicha información se obtuvo a partir del relevamiento de los casos y de solicitar los detalles constructivos a las fuentes originales: arquitectos proyectistas, empresas constructoras y empresas que comercializan el sistema estudiado.

3.1.2. Caracterización de descriptores

Para la caracterización de casos se definieron los principales descriptores a considerar, estos son: apertura de la entrada y salida de aire de la cámara; metros lineales de apertura de las juntas abiertas de las placas exteriores; y ancho y altura de la cámara ventilada. En la Tabla 1 y Figura 1 se presenta la descripción y las nomenclaturas utilizadas.

Tabla 1 – Caracterización de descriptores del sistema de FV

Entrada y salida de aire	Metros lineales de la apertura en los extremos de la cámara	Apertura de entrada (inferior)	a_e
		Apertura de salida (superior)	a_s
Juntas abiertas	Metros lineales de la apertura de juntas verticales y/u horizontales y superficie de juntas abiertas en 1m ² de fachada	Apertura de juntas verticales	J_v
		Apertura de juntas horizontales	J_h
		Juntas abiertas en 1m ² de fachada	S_{ja}
Cámara	Metros lineales del ancho y altura de la cámara	Longitud entre la cara interior de la HE y la cara exterior de la HI (aislación)	A
		Longitud de tiro de la cámara	a
		Altura de la continuidad de la cámara	H

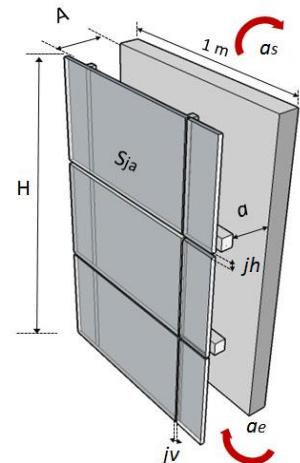


Figura 1 – Gráfico indicativo de los descriptores

3.1.3. Clasificación de la cámara ventilada

La clasificación (Tabla 2) se realizó a partir de la variable de entrada y salida de aire. Se observó que quince de los veintiún casos de estudio (el 70%) presentan ambos extremos de la cámara (inferior y superior) cerrados con placas estancas. De los seis edificios restantes, sólo dos cuentan con entrada y salida de aire abierta, y cuatro casos cuentan con alguno de los extremos abiertos.

Tabla 2– Clasificación de tipos de cámara ventilada

Cámaras Cerradas	Fachadas con entrada y salida de aire cerrada	CC
Cámaras Semi-Abiertas	Fachadas con sólo una de las aperturas de los extremos abierta, es decir, entrada cerrada y salida abierta o entrada abierta y salida cerrada	CS
Cámaras Abiertas	Fachadas con entrada y salida de aire abierta por los extremos	CA

En la Tabla 3 se presentan las dimensiones de los descriptores definidos en la caracterización para cada edificio en estudio, y en la Figura 2 los edificios seleccionados según la clasificación de la cámara.

Tabla 3– Dimensiones de descriptores para cada caso de estudio

	Entrada y salida de aire		Juntas abiertas			Cámara		
	<i>ae</i> (m)	<i>as</i> (m)	<i>Jv</i> (mm)	<i>Jh</i> (mm)	<i>Sja</i> (m ²)	<i>A</i> (m)	<i>a</i> (m)	<i>H</i> (m)
CC1 - Hospital Espíritu Santo	-	-	-	8	0.018	0.07	0.07	12.5
CC2 - Centro comercial La Illa Diagonal	-	-	6	8	0.015	0.03	0.03	12
CC3 - Hotel Capri	-	-	-	10	0.012	0.07	0.07	22
CC4 - Viviendas C. Aiguablava.	-	-	6	-	0.009	0.08	0.02	20
CC5 - Viviendas Av. Diagonal Poble Nou.	-	-	6	6	0.009	0.12	0.07	2.7
CC6 - Viviendas Av. Diagonal	-	-	6	-	0.003	0.027	-	2.7
CC7 - Biblioteca Campus Nord UPC	-	-	-	-	-	0.05	0.05	12
CC8 - Museo de Arte Contemporáneo de Bcn	-	-	-	-	-	0.07	0.07	23
CC9 - Viviendas Roc Boronat	-	-	-	8	0.013	0.05	0.05	16.5
CC10 - Hotel AC Forum.	-	-	-	6	0.011	0.05	0.05	18
CC11 - Viviendas Plaza Europa	-	-	6	-	0.01	0.03	0.02	2.7
CC12 - Viviendas Corp-Diagonal	-	-	3	-	0.009	0.06	0.048	15
CC13 - Viviendas Vertex	-	-	4	-	0.005	0.087	0.06	18
CC14 - Viviendas C. Lepant	-	-	4	-	0.005	0.087	0.06	15
CC15 - Viviendas C. Esplugues	-	-	6	-	-	0.09	0.05	12
CS1 - Viviendas C. Encuny, Zona Franca	-	0.02	10	-	0.006	0.1	0.1	2.9
CS2 - Sede RBA editores	-	0.015	-	8	0.014	0.085	0.058	2.7
CS3 - Edificio PIC - UAB	0.07	-	6	-	0.005	0.07	0.03	12
CS4 - Biblioteca Pompeu Fabra.	0.05	-	-	-	-	0.09	0.06	12
CA1 - Edificio Omega - UPC	0.02	0.02	-	8	0.013	0.02	0.02	18
CA2 - Facultad de Ciencias - UAB	0.04	0.03	-	-	-	0.07	0.07	14



Figura 2 – Casos de estudio clasificados según el tipo de cámara ventilada

3.2. Diagnóstico de casos existentes en condiciones reales

Se realizaron mediciones en verano -agosto y setiembre- en días con cielo despejado en 13 de los edificios caracterizados (señalados con asterisco en la Figura 2). Se utilizó un anemómetro térmico Testo 405i con telescopio extensible de 400mm, con manejo a través de un teléfono inteligente. El equipo registra la velocidad del aire (sensor de hilo caliente con un rango de medición 0 a 30m/s y resolución 0.01m/s) y la temperatura del aire (sensor de temperatura tipo NTC con un rango de medición -20 a 60°C y resolución 0.1°C) cada dos segundos. En algunos casos el telescopio extensible se introdujo por las juntas abiertas de las placas exteriores, y en otros se retiró y volvió a colocar una de las placas para poder instalar el anemómetro dentro de la cámara de aire (Figura 3). En todos los casos se consideró la previsión de que el sensor de hilo caliente quede perpendicular al flujo de aire vertical en la cámara. La metodología consistió en el monitoreo de los casos en períodos de 30 minutos por la mañana y 30 minutos por la tarde. Los datos se registraron según la secuencia: 5 minutos en el exterior, 20 minutos en el interior de la cámara y 5 minutos nuevamente en el exterior.



Figura 3 – Imágenes de las mediciones realizadas en casos de estudio

4. RESULTADOS

4.1. Casos puntuales con equivalentes condiciones de orientación, ancho de cámara y color de HE

A fines de comparar casos con diferentes condiciones de entrada y salida de aire, se presentan los resultados de las mediciones completas de dos edificios con equivalentes escenarios de orientación (fachada evaluada: Sur-Oeste), color de las placas exteriores (gris) y ancho de cámara ($A=0.07\text{m}$). Las mediciones se realizaron en el mes de setiembre, en días con cielo despejado en ambos casos (Radiación Global Horizontal anual media diaria en Barcelona: 4.8kWh/m^2).

4.1.1. Cámara Cerrada (CC1)- Hospital Espíritu Santo

El edificio (Figura 4) presenta una envolvente de muros de bloques de hormigón y placas exteriores de gres de 0.6m por 0.6m, con juntas horizontales abiertas ($S_{ja} 0,018 \text{ m}^2/\text{m}^2$). Las placas se encuentran sujetas a perfiles verticales de aluminio sección “T” de 0.07m. La longitud (ancho A) entre la cara interior de la placa exterior y la cara exterior de la placa interior (aislación de poliuretano proyectado de 6cm) es de 7cm. La cámara no cuenta con estrangulaciones por perfiles horizontales, por lo que el tiro de la cámara es de 7cm y su continuidad es la de la altura total del edificio (12.5m).

- Orientación de la fachada evaluada: Sur (54°C Oeste)
- Altura de la medición exterior e interior de la cámara: 1m

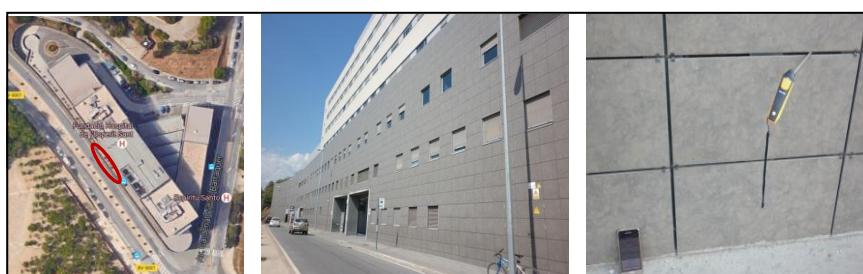


Figura 4 – Imagen aérea y fachada monitoreada del caso CC1

Los resultados de las mediciones demuestran que el movimiento del aire en el interior de la cámara desciende notablemente respecto al del aire exterior en ambos períodos monitoreados (ver Figura 5 y Tabla 4). Los datos demuestran una mayor velocidad del aire durante la tarde, periodo en el cual la máxima exterior alcanza casi los 7m/s, mientras que en el interior de la cámara la máxima alcanzada es de 0.52m/s.

En cuanto a las velocidades medias también se observan diferencias considerables: la media exterior es de 1.60m/s y la interior de 0.23m/s.

En cuanto a la temperatura del aire en el interior de la cámara, esta tiende a aumentar respecto al exterior en ambos períodos del monitoreo. Durante la mañana, con menor incidencia de radiación solar en la fachada Sur-Oeste, la temperatura media registrada en el exterior es de 28.6°C, y en el interior la misma es de 29°C. Mientras que por la tarde, con mayor incidencia de radiación sobre la fachada, la media en el exterior es de 33.5°C y en el interior de la cámara resulta de 38°C.

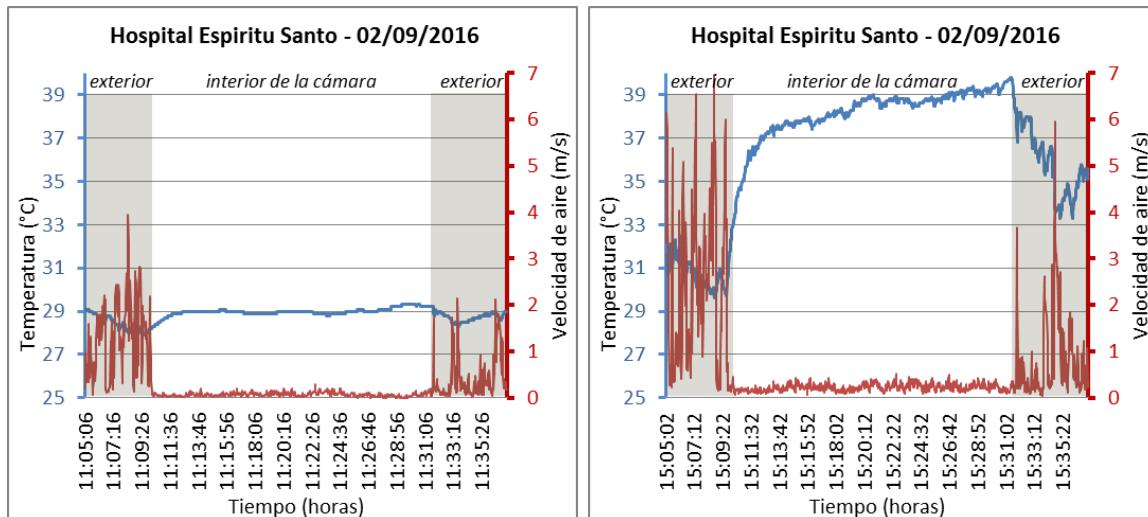


Figura 5 – Velocidad del aire y temperatura en la cámara (mañana y tarde) del caso CC1

4.1.2. Cámara Semi-abierta (CS3)- Edificio de Información Científica de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)

La envolvente del edificio (Figura 6) cuenta con muros de ladrillo y placas exteriores de resina fenólica laminadas compactas de la empresa *Trespa*, de 1m por 0.7m y de 0.70m por 0.35m, con juntas verticales abiertas de 6mm (S_{ja} 0,005 m^2/m^2). Las placas están sujetas a marcos de hierro de 0.4m sujetos a su vez a perfiles verticales. La longitud (ancho A) entre la cara interior de la placa exterior y la cara exterior de la placa interior (aislación de poliuretano proyectado de 3cm) es de 7cm. Las estrangulaciones por los marcos hacen una cámara de tiro continuo de 3cm (ancho a). La cámara cuenta con apertura de entrada de aire amplia, de 7cm, y salida de aire cerrada. La continuidad de la cámara es de la altura total del edificio (12m).

- Orientación de la fachada evaluada: Sur (40°C Oeste)
- Altura de la medición exterior e interior de la cámara: 1.5m

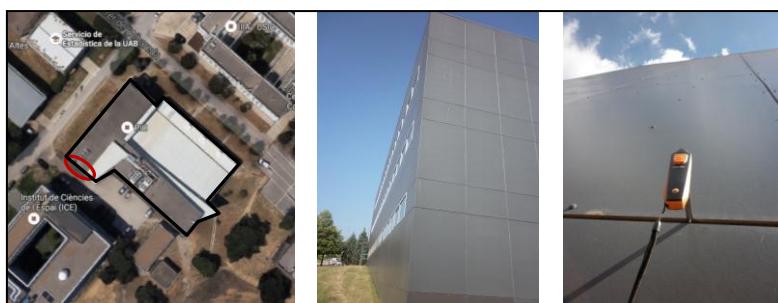


Figura 6 – Imagen aérea y fachada monitoreada del caso CS3

En este caso también se pueden observar descensos de la velocidad de aire en el interior de la cámara respecto al exterior en ambos períodos monitoreados (ver Figura 7 y Tabla 4). El movimiento del aire es mayor durante la tarde, presentando una máxima exterior de 4m/s y una máxima interior de 3.4m/s. En cuanto a las velocidades medias, los valores registrados son de 0.8m/s en el exterior y de 0.68m/s en el interior de la cámara.

Respecto a la temperatura se observa un aumento del aire en el interior de la cámara respecto al exterior en ambos períodos del monitoreo. Durante la mañana, la temperatura media registrada en el exterior es de 33.3°C, y en el interior la misma es de 35.5°C. Mientras que por la tarde, con mayor incidencia de radiación sobre la fachada, la media en el exterior es de 32°C y en el interior de la cámara resulta de 37°C.

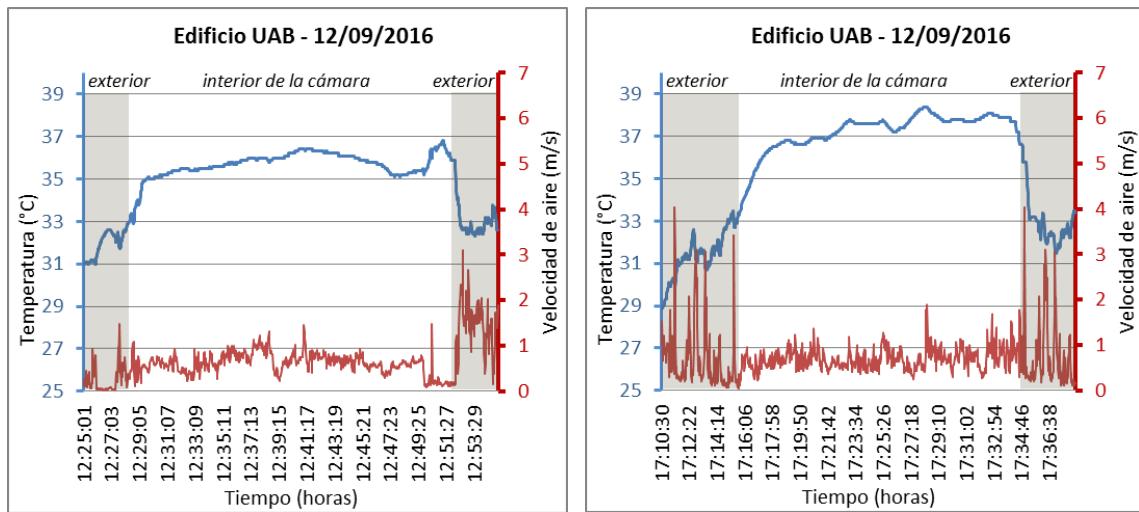


Figura 7 – Velocidad del aire y temperatura en la cámara (mañana y tarde) del caso CS3

Tabla 4 – Resultados térmicos y de velocidad de aire en los casos de estudio

			Temperatura del aire (°C)			Velocidad del aire (m/s)		
			Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Hospital Espíritu Santo	<i>Mañana</i>	Interior	29.30	28.20	28.98	0.29	0.00	0.07
		Exterior	28.90	27.90	28.63	3.94	0.02	0.84
	<i>Tarde</i>	Interior	39.80	30.70	38.08	0.52	0.07	0.23
		Exterior	38.20	29.60	33.48	6.96	0.03	1.58
Edificio UAB	<i>Mañana</i>	Interior	36.40	32.00	35.56	1.46	0.09	0.63
		Exterior	33.70	31.00	33.30	3.10	0.01	0.71
	<i>Tarde</i>	Interior	38.40	32.50	37.00	3.42	0.04	0.68
		Exterior	33.50	28.90	31.98	4.04	0.10	0.79

4.1.3. Comparación de casos

La comparación de casos advierte importantes diferencias en el movimiento de aire en el interior de la cámara respecto al exterior. En el caso del hospital, con cámara cerrada, la diferencia exterior-interior de las máximas es de 3.65m/s por la mañana y de 6.44m/s por la tarde. En cuanto a las medias, dichas diferencias son de 0.77m/s durante la mañana, y de 1.35 m/s por la tarde. En el caso del edificio de la UAB, con cámara semi-abierta, la diferencia exterior-interior de las máximas es de 1.64m/s durante la mañana y de 0.62m/s por la tarde. En las medias dichas diferencias resultan de 0.08m/s durante la mañana y de 0.11 m/s en la tarde. Es decir que la disminución de la velocidad máxima del aire interior respecto a la del exterior del caso con cámara cerrada es del 92.5%, mientras que en el caso con cámara semi-abierta dicha disminución es del 15.3%. Lo mismo sucede en las velocidades medias, la disminución del caso del hospital es del 87.6% y en el edificio de la UAB es del 12.6%. Estos valores demuestran la evidente incidencia de la apertura de la cámara en el movimiento de aire en su interior, resultando fundamental esta variable en el correcto funcionamiento de una FV.

En cuanto al comportamiento térmico, se observa que en los dos casos de estudio aumentan las temperaturas máximas, mínimas y medias en el interior de la cámara; y este ascenso es mayor en las horas de la tarde dada la mayor incidencia de radiación solar en las fachadas. En el caso del hospital las diferencias interiores-exteriores de las temperaturas medias son de 0.35°C durante la mañana y de 4.6°C en la tarde. Mientras que en el caso del edificio de la UAB dichas diferencias son de 2.26°C en el periodo de mañana y de 5.2°C en la tarde.

4.2. Relación de superficie de junta abierta y velocidad del aire en la cámara

Se presentan los resultados de las velocidades medias en el interior de la cámara de todos los casos de estudio, en relación al porcentaje de superficie de junta abierta. Se evaluaron diferentes orientaciones de fachadas: en 4 casos se midieron las fachadas con orientación Nor-Oeste -CC2, CC4, CC6 y CA2-, en 3 casos la orientación Nor-Este -CS1, CS3 y CS4- y en 4 casos de estudio la orientación Sur-Oeste -CC1, CC3, CC5 y CS3.

En los edificios en los que se evaluó la orientación NO (Figura 8) la mayor velocidad de aire media es de 0.37m/s correspondiente al caso de cámara abierta (CA2), con dimensiones de apertura de aire de 4cm en la entrada y 3cm en la salida. En este caso es posible considerar que el movimiento del aire sería mayor si el edificio contara con juntas abiertas en las placas exteriores. En el resto de los edificios, con cámara cerrada, se observa que el caso CC6 no presenta movimiento de aire en el interior de la cámara. Esto se debe al hecho de ser el único caso en el que los perfiles horizontales de sujeción de las placas exteriores hacen que el ancho a de la cámara sea nulo, y que el ancho A de la cámara, de apenas 3cm, tenga una altura discontinua ($H=2.7\text{m}$) por estrangulaciones en las losas o forjados (ver Tabla 3). En los casos CC2 y CC4 las velocidades de aire media por la tarde son de 0.17m/s y 0.15m/s respectivamente, siendo casos en los que el ancho a de la cámara es de 3 y 2cm respectivamente y la altura de la cámara es continua a lo largo de la altura total del edificio.

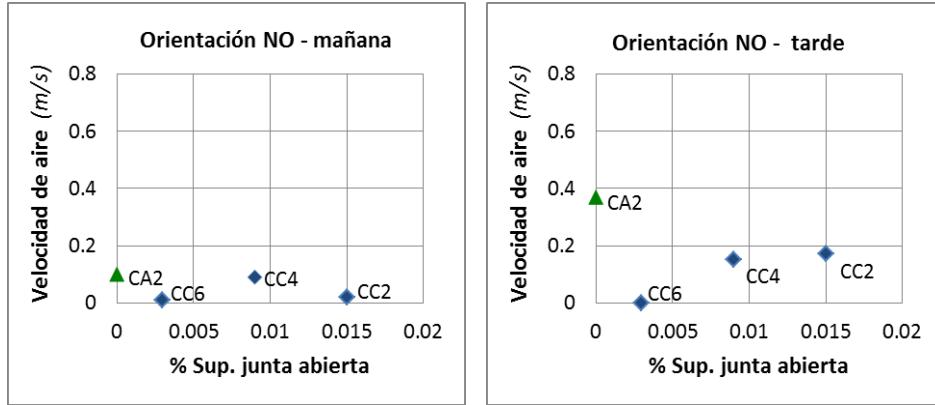


Figura 8 – Relación de superficie de juntas abiertas y velocidad de aire en los edificios orientados al Nor-Oeste

Los edificios en los que se monitoreó la orientación NE (Figura 9) corresponden todos a la caracterización de cámara semi-abierta. Las mayores velocidades medias corresponden al caso CS3: de 0.22m/s durante la mañana y de 0.31m/s en la tarde. Esto se debe a que es el edificio que cuenta con la mayor dimensión de apertura de entrada de aire (7cm). Asimismo, el ancho a de la cámara es de 3cm y la altura de la cámara es continua a lo largo de la altura total del edificio ($H=12\text{m}$). En cuanto al caso CS1 la velocidad de aire media es de 0.29m/s durante la mañana y de 0.19m/s en la tarde, siendo el caso de mayor superficie de junta abierta (0.006m^2), con cámara de ancho a de 10cm, pero con la entrada de aire cerrada y la menor dimensión de apertura de salida de aire (2cm) además de una altura de cámara discontinua ($H=2.9\text{m}$) por las estrangulaciones en las losas. Por último, en el caso CS4 la velocidad media en ambos horarios es de 0.19m/s, siendo un edificio sin juntas abiertas en las placas exteriores, pero con apertura de entrada de aire de 5cm, ancho de cámara a de 6cm y altura continua de la cámara a lo largo de la altura total del edificio ($H=12\text{m}$).

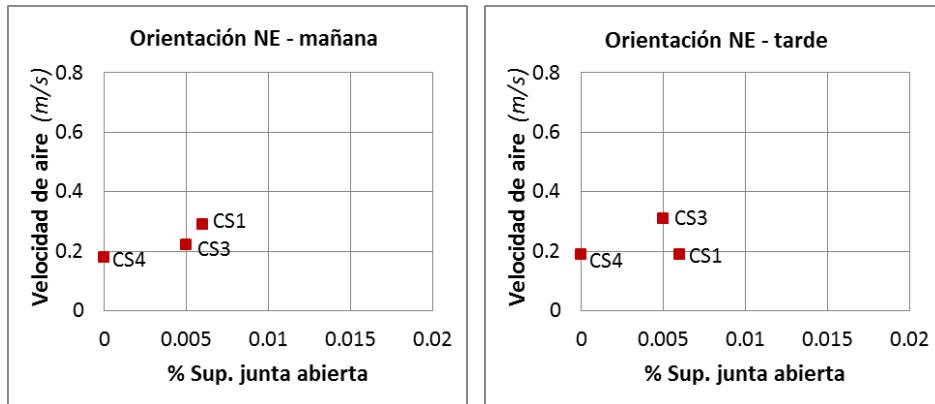


Figura 9 – Relación de superficie de juntas abiertas y velocidad de aire en los edificios orientados al Nor-Este

En la orientación SO (Figura 10) se monitorearon tres casos de cámara cerrada y un caso de cámara semi-abierta. Este último (CS3) a pesar de ser el de menor superficie de junta abierta, es el que mayores velocidades de aire presenta, de 0.63m/s durante la mañana y de 0.68m/s en la tarde. Esto se debe a sus características de apertura de aire y altura continua de la cámara ya mencionadas. En cuanto a los tres casos de cámara cerrada, los mismos cuentan con un ancho a de cámara de 7cm. El caso CC1 es el que mayores

velocidades presenta - media de 0.07m/s en la mañana y 0.23m/s por la tarde- debido a que es el de mayor superficie de junta abierta y cuenta con una altura continua de la cámara a lo largo del edificio ($H=12m$). Los casos CC3 y CC5 presentan velocidades medias similares, de 0.06m/s por la mañana y de 0.15m/s y 0.17m/s por la tarde respectivamente.

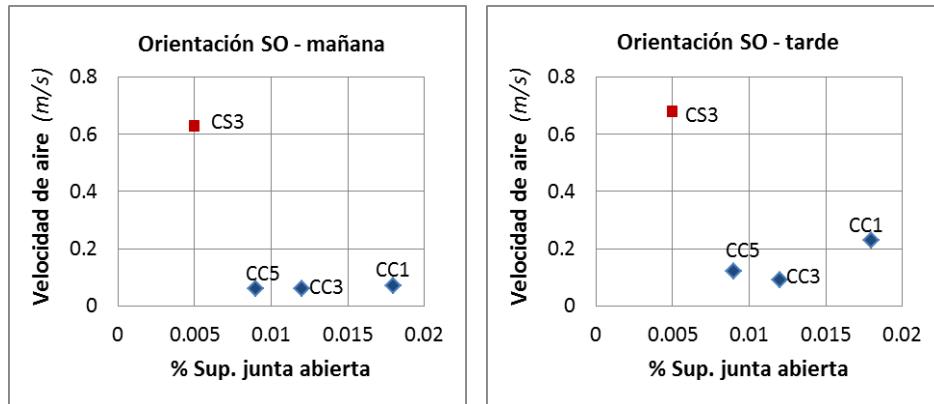


Figura 10 – Relación de superficie de juntas abiertas y velocidad de aire en los edificios orientados al Sur-Oeste

Por otra parte, teniendo en cuenta la sumatoria de velocidades medias del total de los casos evaluados por orientación y por periodo horario (mañana y tarde) se observó como éstas son mayores en los horarios de mayor incidencia de radiación solar sobre las fachadas: en los casos orientados al Nor-Oeste y al Sur-Oeste se registraron mayores velocidades por la tarde (de 0.7m/s y 1.12m/s respectivamente) y mayores velocidades en la mañana en los casos orientados al Nor-Este (1.1m/s). Esto indica que el incremento de radiación solar es una variable de importancia en el aumento del movimiento de aire en la cámara de la FV.

En la Figura 11 se muestran los resultados de todos los casos de estudio, en donde se puede ver la relación lineal del aumento de superficie de junta abierta en relación a la velocidad del aire. Esta relación es más evidente en los casos con cámara cerrada durante la tarde, y en los casos de cámara semi-abierta durante la mañana, debido a la mayor incidencia de radiación solar sobre las fachadas: los casos CC se encuentran orientados al Oeste (Sur-Oeste y Nor-Oeste), mientras que los casos CS se orientan al Este (Nor-Este). Asimismo, los edificios con apertura en una o en ambos extremos de la cámara son los que mayores velocidades presentan en su interior, demostrando el alto grado de influencia de esta característica en el adecuado desempeño de la FV.

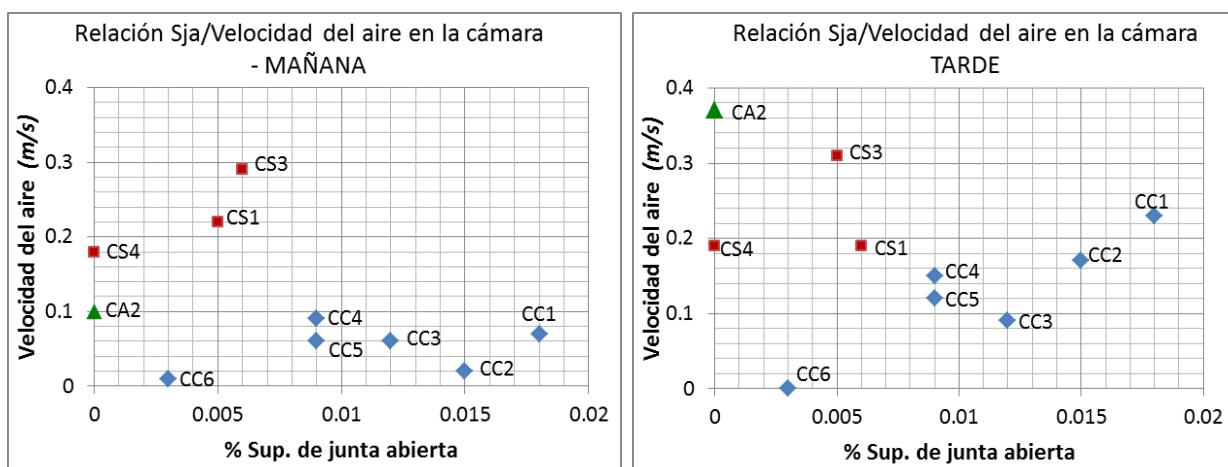


Figura 11 – Relación de superficie de juntas abiertas y velocidad de aire en todos los edificios monitoreados

5. CONCLUSIONES

El diagnóstico de casos demuestra un mejor desempeño del movimiento del aire en la cámara de la FV en función de dos aspectos: por un lado, cuando incrementa la radiación solar incidente (las velocidades de aire en el interior de la cámara son mayores en las orientaciones con mayor incidencia de radiación solar en sus fachadas). Y por otro lado, cuando se incrementa la apertura de entrada de aire: el mayor movimiento de aire se da en los casos con alguno o ambos extremos de la cámara abiertos, aspecto fundamental para el funcionamiento del “efecto chimenea”. Estos dos factores son coincidentes con los resultados obtenidos en el

trabajo de simulación computacional del análisis termo-dinámico de fluidos en la FV (Patania, Gagliano, 2010), el cual indica que los ahorros energéticos aumentan cuando incrementa la radiación solar (por eso se recomienda la FV para zonas de alta radiación) y cuando se incrementa la velocidad de aire de entrada.

Los resultados térmicos de los casos puntuales en estudio indican un considerable sobrecalentamiento del aire en el interior de la cámara, el cual es mayor en los horarios de mayor incidencia solar. Este sobrecalentamiento es necesario para favorecer el tiro por convección.

Por otra parte, si bien la gran mayoría de los casos en estudio cuentan con los extremos de la cámara cerrada, el Código Técnico de Edificación de España avala la ventilación de la cámara a través de las juntas abiertas de las hojas exteriores (todos los edificios evaluados en el presente trabajo cumplen con la superficie de junta abierta mínima para que la cámara ventile según el código). Se advierte entonces que si bien a medida que aumenta el porcentaje de superficie de junta abierta, asciende la velocidad del aire en la cámara (media de 0.09m/s), este aumento no resulta significativo en relación a la variable de apertura de entrada y salida de aire (media de 0.23m/s).

En función de la metodología empleada, se prevé en futuros trabajos profundizar el estudio térmico y del movimiento del aire a partir de mediciones realizadas a distintas alturas de la cámara de la fachada ventilada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALOCCHI, C. A simple model to study ventilated facades energy performance. **Energy and Buildings**, v.34, p. 469-475, 2002.
- DOCUMENTO BÁSICO DE SALUBRIDAD (DB-HS) - CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). Disponible en: <<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>>. Acceso: 9/5/2016
- DOCUMENTO DE AHORRO DE ENERGÍA (DB-HE-1) - CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). Disponible en: <<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>>. Acceso: 9/5/2016
- DOMINGUEZ DELGADO, A., DURAND NEYRA, P., DOMINGUEZ TORRES, C.A.. Estudio del enfriamiento pasivo por fachadas ventiladas en el sur de España. **Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes**. p. 193-205, 2013.
- PARDAL, C. **La hoja interior de la fachada ventilada. Análisis, taxonomía y prospectiva**. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.
- PARICIO, I., PARDAL, C. Añagazas de la fachada ventilada: ¿pluvial o revestida? **Revista Palimpsesto 09**. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2014.
- PATANIA, F., GAGLIANO, A., NOCERA, F., FERLITO, A., GALESI, A. Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. **Energy and Buildings**, v.42, p. 1148-1155, 2010.
- PECI LÓPEZ, F., JENSEN, R.L., HEISELBERG, P., RUIZ ANDANA DE SANTIAGO, M. Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade. **Building and Environment**, v.56, p 265-275, 2012.
- SUÁREZ, C., MOLINA, J.L. Análisis del efecto chimenea en fachadas ventiladas opacas mediante correlaciones del flujo másico inducido. Aplicación para el dimensionado de anchos de cámara. **Informes de la Construcción**, v 67, p. 1-9, 2015.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por el apoyo financiero a CONICET (Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica) y a la Universitat Politècnica de Catalunya; por colaborar en el monitoreo de los edificios a la empresa *Trespa*; y por brindar información técnica de los proyectos y detalles constructivos al grupo inmobiliario Vertix, y a los estudios de arquitectura de Barcelona: MSA+A, B72, SaAS, MO A y MBM.