

# Ventilación natural: estudio aerodinámico mediante CFD de extractores pasivos y captadores de viento

## Natural ventilation: CFD aerodynamic study about passive extractor and windcatcher

José Sanchez\*<sup>1</sup>, José Manuel Salmerón\*, Francisco José Sanchez\*\*, Servando Alvarez\*, José Luis Molina\*

\* Universidad de Sevilla, Sevilla. ESPAÑA

\*\* Universidad de Cádiz, Cádiz. ESPAÑA

Fecha de recepción: 12/ 09/ 2011

Fecha de aceptación: 20/ 03/ 2012

PAG. 40 - 56

### Resumen

La ventilación natural se ha ganado protagonismo en los últimos tiempos como una medida de ahorro de energía para edificios. Los dos principios fundamentales de ventilación natural son el tiro natural por diferencia de temperatura, y la fuerza del viento. El artículo pretende analizar la aerodinámica de los captadores y extractores de viento mediante fluido-mecánica computacional, optimizando las geometrías de estos elementos, y dando como producto del trabajo un modelo simplificado para poder tenerlos en cuenta el cálculo aerúlico de las instalaciones de ventilación y climatización de los edificios. Concretamente, se caracteriza una base de geometrías de captación de viento, y se elabora una guía para el diseño de geometrías de extracción ofreciendo varias de ellas como producto del trabajo realizado.

Palabras Clave: Captadores de viento, elementos pasivos, ventilación natural, coeficiente de presiones, CFD

### Abstract

In recent years, natural ventilation has won popularity as an energy saving measure for buildings. There are two fundamental principles of natural ventilation: natural draft by temperature differences, and wind force. The purpose of the article is to analyze the aerodynamics of windcatchers and wind-extractors by means of computational fluid mechanics, optimizing the geometries of these elements, and giving a simplified model as a result of the work, so as to include it in the aerulic calculation of the buildings' air conditioning systems. Therefore, a base for wind catching geometries has been characterized, and a guide for the design of extraction geometries has been developed; several of them are offered as a result of the work undertaken.

Keywords: Windcatcher, passive elements, natural ventilation, pressure coefficient, CFD

## 1. Introducción

En la actualidad se presentan innumerables soluciones para la mejora y eficiencia energética de edificios y de sus instalaciones, con el objetivo de reducir el consumo energético de los mismos. En la persecución de esas metas, se rescata de las culturas antiguas los captadores y extractores de viento, los cuáles aparecen mejor descritos líneas más abajo, como unos elementos de la epidermis, de baja complejidad, que permiten el aprovechamiento de las fuerzas naturales inducidas por el viento para promover el movimiento de aire en el interior del edificio, lo que reduce el consumo de ventiladores y aumenta la eficiencia de las instalaciones (Allard et al., 2003). Sin embargo, bajo este eslogan aparece su doble función, que quizás motiva aún más su desarrollo e instalación: protección contra la lluvia en las entradas o salidas del aire del edificio.

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: jsr@us.es

## 1. Introduction



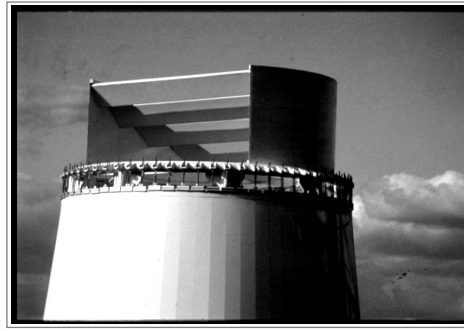


Figura 1. Captador de viento. Exposición Universal de Sevilla 1992  
 Figure 1. Windcatcher. Seville World Expo '92

La ventilación natural es aplicable sólo a un limitado rango de climas, microclimas y tipos de edificios (Olsen y Chen, 2003). El viento incidente en una fachada del edificio produce una presión positiva y una negativo presión en el lado opuesto. Esta diferencia de presión, así como las diferencias de presión en el interior del edificio será la promotora del movimiento del aire. Por tanto, para actuar sobre el viento se deben de configurar la geometría de la epidermis para optimizar la presión positiva y negativa creada por el mismo. La sobrepresión se traduce en captación, entrada de aire; y la succión es la extracción, salida de aire. Para la integración en los edificios, y el aprovechamiento de la ventilación natural, existen muchas técnicas (Santamouris et al., 2006; Naghman, 2008). De entre ellas, el artículo se centra en los captadores y extractores de viento, asumiendo que la mayoría de los software, para el diseño de sistemas de ventilación híbrida (mecánica más natural), emplean una modelización simplificada por medio del coeficiente de presión característico de ese elemento.

### Captadores de viento

Los captadores de viento ("windcatcher") son sistemas de captura e impulsión de aire, utilizados como mejora de los sistemas de ventilación con la intención de reducir el consumo eléctrico de ventiladores, con el consiguiente ahorro de energía.

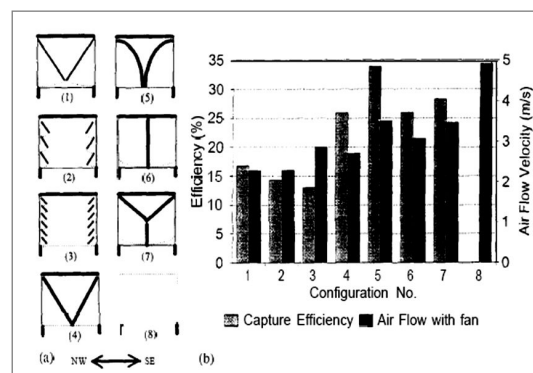


Figura 2. Eficiencia del Windcatcher en función de la velocidad del flujo de aire  
 Figure 2. Windcatcher efficiency in terms of air flow velocity

Una configuración óptima consistiría en aprovechar la presión del viento positiva cuando esté disponible y reducir al mínimo la resistencia del flujo de aire en el ventilador de la torre. Este balance opuesto de presiones, es resoluble mediante una geometría de captación cambiante para optimizar la geometría del captador en función de la dirección y magnitud del viento, por eso se equipan con un sistema de captura de aire que básicamente consiste en un mecanismo que permite diferentes configuraciones de las aberturas y de los deflectores. La captura del viento se define con una eficiencia  $\varepsilon$  calculada como el cociente entre la velocidad del flujo de aire que es expulsado del captador hacia el interior  $v_i$  y la velocidad de flujo del viento exterior  $v_{ref}$  suponiendo que incide con una componente normal a la apertura de entrada del captador.

En la siguiente Figura se pueden observar los resultados de los experimentos realizados por D. Pearlmutter (1996), observar la eficiencia definida y la velocidad del flujo de aire impulsado en función de los diferentes tipos de captadores.

A su vez la gráfica anterior perteneciente al estudio realizado el artículo mencionado, ofrece un buen estado del arte de los captadores de viento, que además ellos experimentaron. Se puede observar como las geometrías presentan una estructura simétrica para aumentar la eficiencia de captación, siempre y cuando las aberturas estén orientadas según las direcciones en las cuales suele soplar más el viento predominante de la zona. Los tres primeros diseños emplean unos balanceadores móviles de captura ("swinging lowers") de diferentes tamaños instalados en cada una de las aberturas. Las configuraciones 4 y 5 emplean deflectores fijos ("fixed deflectors") que cambian la dirección del viento hacia la torre. Los modelos 6 y 7 cuentan con un panel central adicional en combinación con los deflectores fijos en la unidad de captura. Los windcatcher más usuales son los modelos 4 y 5.

Los sistemas de chimeneas están disponibles comercialmente en el Reino Unido desde hace más de un siglo (Santamouris et al., 2006), aunque estos sistemas, hasta hace poco, estaban diseñados para soluciones particulares en recintos más que para edificios. Los sistemas de ventilación natural comerciales ofrecen tasas de renovación de aire altas como, por ejemplo, 5 renovaciones de aire por hora bajo las condiciones de velocidad del viento relativamente baja (3 m / s).

Estos sistemas pueden combinarse mediante el control adecuado, con ventiladores mecánicos, pudiendo adaptarse a las condiciones de viento del local, y afrontar la ventilación del edificio, o cualquier tipo de pre-tratamiento del aire primario, desde recuperación de calor del aire de extracción hasta enfriamiento evaporativo.

#### Extractores de viento

De forma análoga, los extractores (Naghman et al., 2008), son usados para favorecer la extracción de aire en chimeneas, conductos o fachadas ventiladas, bien reduciendo las necesidades del ventilador, o bien mejorando el movimiento de aire en el sistema.

Los extractores se pueden clasificar en:

Móviles, como por ejemplo una turbina de viento, que se mueve por efecto del viento produciendo una extracción de aire.

Fijos, en los que se centra el estudio CFD, por entender estos sistemas como un elemento con dos funciones: una de protección tanto a la lluvia como a los animales, y otra de extracción natural por efecto del viento gracias a sus propiedades aerodinámicas.

## 2. Modelo simplificado

Con el fin de contextualizar la necesidad y definir la caracterización del modelo simplificado, se exponen los siguientes puntos.

### 2.1 Justificación

Para analizar la integración de esta tecnología en los edificios se va a usar el método conocido como “método del bucle de presiones” (Álvarez et al., 2010). Este método ha sido usado extensamente en análisis de flujo en conductos y proporciona una solución analítica útil para dimensionar los componentes y sistemas de ventilación natural e híbrida. El objetivo, es crear un modelo simplificado que permita la evaluación de la influencia de estos sistemas en el movimiento de aire en el interior del edificio.

Para contextualizar aún más los objetivos anteriores, se va a considerar el caso del edificio representado en la Figura 3. En ella se puede observar los bucles correspondientes a cada planta. Cada bucle representa el movimiento del aire desde la entrada hasta la salida del edificio, este movimiento parte de nodos exteriores y vuelve al exterior pasando por las zonas interiores del edificio.

Se supone que el edificio representado quiere ser operado en modo ventilación natural, no existiendo ningún tipo de fuerza mecánica que promueva el movimiento. Por ejemplo, el bucle 1 comprende desde el nodo a al nodo s. En dicho bucle se encuentran cinco tramos diferenciados:

- Tramos de entrada: "a-b" y "c-d"
- Tramos de salida: "i-j" y "s-t"
- Tramo de chimenea de entrada: "b-c"
- Tramo de chimenea de salida: "j-s"
- Tramos de paso a través de puertas: "e-f" y "g-h"

Las presiones de los nodos se identifican secuencialmente como  $p_a, p_b, p_c, p_d, \dots, p_t$  y de nuevo  $p_a$ . Con esta notación la ecuación fundamental del bucle de presiones es:

$$\sum_{loopl} [(p_x - p_y)] = 0 \quad (1)$$

Donde los índices x e y se permutan secuencialmente en cada uno de los nodos conforme se avanza en el bucle definido previamente. La ecuación anterior se puede escribir también de la siguiente forma:

$$\Delta p_{loss} = \Delta p_{captador} + \Delta p_{extracción} \quad (2)$$

Donde:

$\Delta p_{loss}$  son las pérdidas de presión en el bucle "i" debidas a la fricción en la entrada, la salida y al movimiento del aire en el interior del edificio.

$\Delta p_{captador}$  es el incremento de presión producido por el viento en el bucle "i", es decir, en la entrada o captación.

$\Delta p_{extracción}$  es el incremento de presiones en la torre de salida en el bucle "i", extracción debida al viento.

Para un bucle dado, el término de la izquierda de la ecuación anterior está formado por las presiones que se oponen al movimiento y en el término de la derecha están las presiones que fomentan el movimiento del aire.

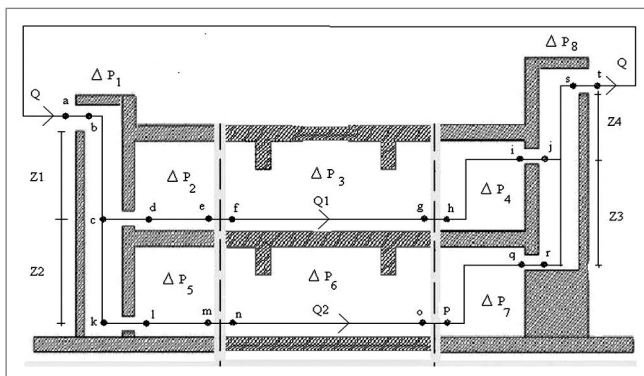


Figura 3. Sección vertical del edificio  
 Figure 3. Vertical section of the building

En el ejemplo anterior se han identificado dos bucles así que el sistema de ecuaciones que habrá que resolver será un sistema de dos ecuaciones no lineales acopladas entre sí. Las dos incógnitas en dichas ecuaciones serán los caudales de aire que circulan en cada planta. El acoplamiento se debe a que el flujo de aire en las torres es, en el tramo superior, la suma de los caudales por cada planta. Un posible método de resolución es el método de Newton-Raphson modificado para obtener convergencia cuadrática. Este método se denomina “método de Ralston-Rabinowitz” usando una función auxiliar, y es usado por la herramienta PHDC AirFlow (Salmerón et al., 2009; Montazeri, 2011; Montazeri, 2008). Por tanto, los modelos de estos sistemas tienen que ofrecer el incremento (entrada), o decremento (salida) de presiones, en función de la velocidad y dirección del viento.

## 2.2 Caracterización

Para cuantificar el efecto del viento en una zona de la epidermis del edificio se extrae de la literatura la siguiente formulación simplificada:

$$\Delta P_{viento} = \frac{1}{2} C_p \rho v^2 \quad (3)$$

$\rho$  es la densidad promedio del aire;  $v$  es la velocidad del viento.

$C_p$  es el coeficiente de presión, función de la dirección/magnitud del viento y geometría del edificio.

El parámetro que define el modelo simplificado, el coeficiente de presiones, que depende de la geometría del sistema y de la dirección/magnitud del viento. Este coeficiente es la pieza fundamental del desarrollo del modelo simplificado, ya que de forma teórica, es una función de la velocidad y dirección del viento, y de la geometría del sistema captador/extractor-epidermis, y por tanto altamente variable su valor.

El objetivo por tanto es, desarrollar un catálogo de valores probados, que permita el análisis de diferentes configuraciones de captadores y extractores de viento bajo las mismas condiciones. Para contrarrestar el efecto contrapuesto de la variabilidad del coeficiente de presiones (dependiendo de la dirección y ángulo de incidencia del viento podrían operar con un efecto contrario al diseñado, véase el siguiente párrafo) aparecen los sistemas de captación/extracción dinámicos, comentados anteriormente, que modifican su geometría en función de la variación del  $C_p$ .

El coeficiente de presiones puede ser positivo y negativo; positivo significa una sobrepresión con respecto a presión ambiente (captadores), y negativo una succión (extractores). Por consiguiente, para la captación el objetivo es crear sistemas con una geometría tal que tengan el mayor coeficiente de presiones; y en la extracción al contrario. Un edificio puede tener involucrados en su bucle de circulación de aire captación y extracción, siendo la fuerza debida al viento la suma de ambas.

### 2.3 Simulación CFD

El objetivo es simular un túnel de viento en el que se analizarán las geometrías de captación y extracción, para estimar el coeficiente de presiones promedio que representaría el funcionamiento nominal de estos sistemas. Para esta labor se usará el CFD FLUENT. El elemento fundamental del modelo es el túnel de viento (Montazeri, 2008), que es modelado como un gran módulo cúbico de cien metros de dimensión para garantizar su no influencia en los resultados.

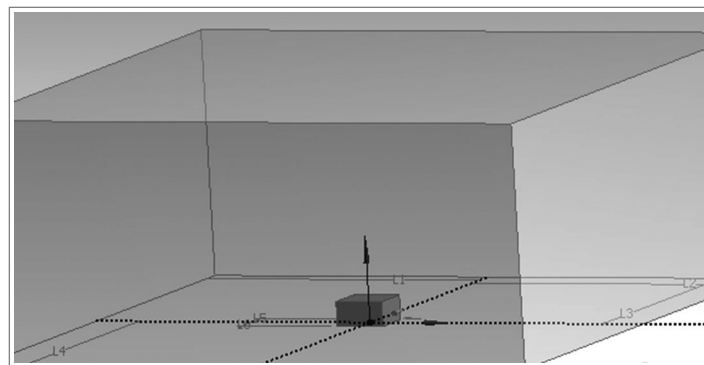


Figura 4. Esquema del "Túnel de viento modelado"  
Figure 4. Outline of a "Modeled Wind Tunnel"

Sobre este túnel se impulsará aire a diferentes velocidades y direcciones, variando en cada cara del recinto la magnitud y dirección de la velocidad de entrada de aire. El resto de condiciones de contorno son las referidas al suelo, como pared, y a la superficie opuesta a la entrada de aire con la condición de libertad de flujo (entrada o salida de aire, a presión nula). El análisis para captadores Rupak Biswas y Roger C. Strawn, 1998) y extractores de viento, además de ser independiente en la simulación, difiere en el modelo:

#### Captadores:

- Se acoplan a un edificio, representado como un prisma rectangular, de una altura de diez metros, semejante a un edificio de dos plantas, además en planta tendremos unas dimensiones de 6x10 m.
- Se evalúa la influencia de la posición del captador en cubierta, simulando el mismo captador en la zona central de la cubierta y en el lateral opuesto al frontal de incidencia del viento. Como ejemplo las siguientes Figuras del modelo (en verde entradas de aire posibles, en rojo la superficie a estudiar).

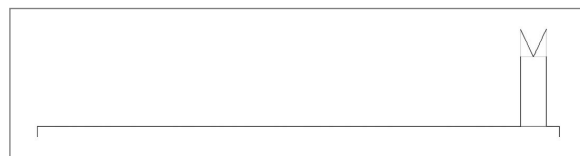


Figura 5. Modelo 4. Posición en central de la cubierta  
Figure 5. Model 4. Position in central part of the roof

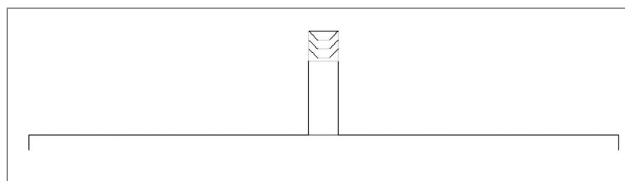


Figura 6. Modelo 1. Posición en lateral no frontal al viento de la cubierta  
Figure 6. Model 1. Lateral position, but not frontal to the wind of the roof.

- El estudio 3D queda simplificado a un análisis bidimensional por la simetría tanto del problema como de los captadores, lo cual simplifica el problema y permite un estudio más fino de los captadores al reducir la complejidad de la malla.

#### Extractores:

- Se analizan acoplados a una fachada ventilada (15cm de ancho de cámara), por ser una aplicación óptima e innovadora de los mismos, que cubre otras aplicaciones como puede ser su instalación en conductos.



- El estudio se hace tridimensional, ya que lo que se buscan son resultados más cualitativos que cuantitativos. Analizar los principales parámetros que influyen en la extracción de aire de la fachada ventilada.
- El objetivo es encontrar un patrón de diseño para la geometría de estos elementos, que sea capaz de reducir el coeficiente de presiones en la posición de la epidermis en la que se instale, favoreciendo la succión de aire del interior de la cavidad.

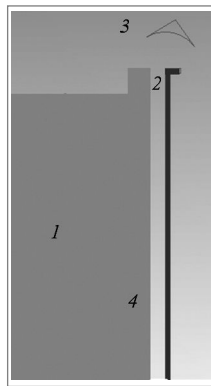


Figura 7. Vista simplificada en sección del modelo para el estudio de extractores. Los elementos que componen el modelo son: la vivienda (1), la fachada (2), el extractor (3) y la cámara de aire (4)

Figura 7. Simplified view in the model's section for the study of extractors. The elements composing the model are: housing (1), front (2), extractor (3) and air chamber (4)

La malla (p.ej. Figura 10) para ambos modelos se ha optimizado de acuerdo a las características singulares de la geometría, teniendo una distribución de nodos del orden de milímetros en las cercanías de los sistemas de captación y extracción de viento, y de metros en el resto del túnel de viento. Esta variabilidad es coherente con la resolución numérica del problema, y es idéntica a la realizada por el resto de autores (Rupak Biswas y Roger C. Strawn, 1998), 10]. La optimización que se ha empleado consistía en crear una malla que fuera capaz de conseguir valores del coeficiente de presión de los captadores de viento experimentados (Pearlmutter D. et al., 1996), puesto que estos valores fueron facilitados por el mismo autor. Este mismo procedimiento es el usado como procedimiento de validación.

Si bien es cierto que el control de calidad usado en los modelos CFD no asegura resultados de calidad en aquellos fenómenos, tales como capa límite, turbulencia... se ha hecho así puesto que el objetivo es un valor global y promediado del efecto en presiones de estos elementos, a lo que se le une su aplicabilidad: fase de prediseño.

Las mallas de ambos modelos presentan más de un millón de nodos, agrupados en elementos tetraédricos, salvo en las regiones de los sistemas de captación, en la que se han usado elementos prismáticos para calcular de forma aproximada el efecto de la capa límite cinética. Para esto último se han implementado 15 elementos prismáticos de una altura de 1mm, tanto en el contorno del sistema de captación o extracción.

Se ha elegido un modelo k-epsilon para calcular la turbulencia que aparece en las regiones críticas tras incidirle el flujo de aire. La condición de contorno de entrada es perfil plano laminar, que a lo largo de su movimiento antes de incidir con el edificio se supone que alcanza un nivel de desarrollo alto).

### 3. Resultados

#### 3.1 Captadores de viento

Una vez caracterizado el problema, ya se puede evaluar los captadores en las dos posiciones de la cubierta. Los modelos de captación analizados son los que aparecen simplificados en la siguiente Figura:

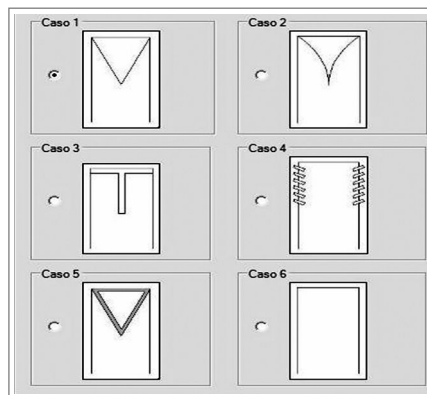


Figura 8. Captadores de viento analizados en este trabajo. Imagen extraída del programa PHDC AirFlow  
 Figure 8. Windcatchers analyzed in this paper. Image taken from the PHDC AirFlow software

Los cinco modelos caracterizados aparecen en la imagen como los cinco primeros casos. Se eligen estos cinco por ser característicos de las principales geometrías existentes en el parque edificatorio mundial.

Para su caracterización se estudian los siguientes parámetros:

Coeficiente de presiones, como parámetro del comportamiento del captador frente al viento, que es un indicativo de la aerodinámica del mismo y además de su influencia en la cubierta del edificio. Este parámetro cierra el modelo simplificado definido anteriormente.

Eficiencia del captador, como el cociente entre la velocidad en la entrada de aire al edificio (antes coloreada de rojo) y la velocidad del viento, una relación entre el máximo caudal que podría entrar y el que entra a través de las velocidades.

El zoom realizado a la zona (Figura 7) de interés del problema, muestra como en el interior del captador aparece una zona de transición, en la que parte del aire que penetra en la cavidad se introduce al interior del edificio, y como otra parte sale al exterior por la depresión que aparece en la corriente de viento tras incidir con el captador. Por tanto la superficie de interés para el cálculo del coeficiente de presiones y la eficiencia sea la entrada al propio edificio.

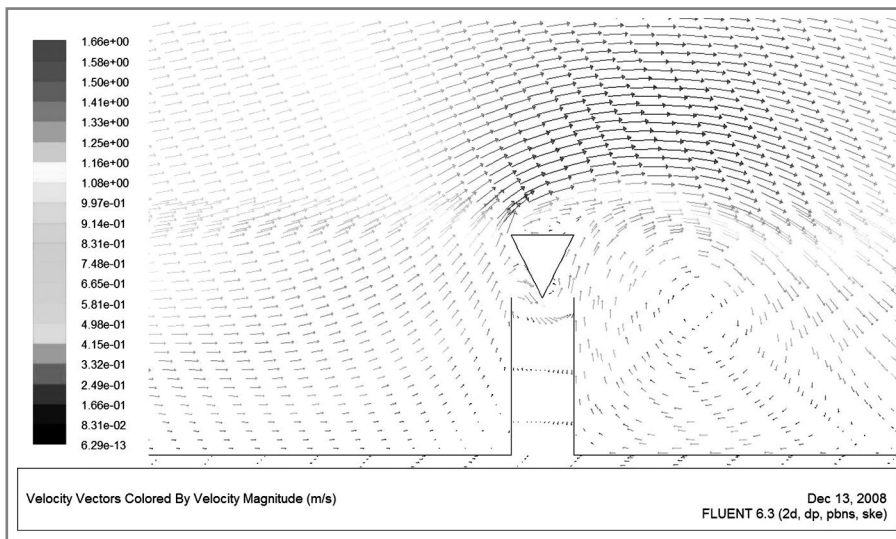


Figura 9. Patrón de flujo de la simulación del captador modelo 1 en la zona central de la cubierta  
 Figure 9. Flow pattern of the simulation of the catcher model 1 in the central area of the roof

	Cp	Eficiencia Captador/Catcher Efficiency
Mod. 1 Central	1.0	0.26
Mod. 1 Lateral	1.0	
Mod. 2 Central	0.9	0.17
Mod. 2 Lateral	0.5	
Mod. 3 Central	1.0	0.26
Mod. 3 Lateral	0.6	
Mod. 4 Central	0.8	0.15
Mod. 4 Lateral	0.6	
Mod. 5 Central	0.9	0.28
Mod. 5 Lateral	0.7	

Tabla 1. Tabla síntesis de resultados del estudio a los captadores de viento  
 Table 1. Results summary of the windcatcher study

### 3.2 Extractores

El objetivo en los extractores es elaborar una guía de diseño de geometrías aptas para el aprovechamiento del viento como fuerza natural a la extracción y de protección contra la lluvia. Para analizar la extracción de aire de la fachada ventilada, se simplifica el modelo al análisis de un metro lineal, ya que el objetivo es evaluar influencias y comportamientos, por lo que un modelo simplificado aporta suficiente información para la toma de decisiones. Ese modelo simplificado se introduce en un túnel de viento y se le impulsa contra él aire a diferentes velocidades (baja 1m/s, moderada 2m/s y alta 4m/s).

Los parámetros elegidos para el estudio son:

#### Altura h

Definida como la distancia entre cubierta (salida de la cámara de aire de la fachada ventilada). Este parámetro no aparecía en el estudio de captadores por la diferencia de función de cada elemento: los captadores recogen aire del exterior que se introduce en el conducto, por lo que la altura sobre la superficie debe ser tal para que no haya obstáculos entre la corriente de viento y el captador; en cambio en el extractor es diferente, ya que el elemento debe crear una succión desde la cavidad al exterior, por lo que tiene que aparecer en el volumen de control del sistema dos efectos: el choque del viento que crea la depresión y a su vez arrastra al aire de la cámara; y la conducción de la corriente de viento para que no penetre en la cámara.

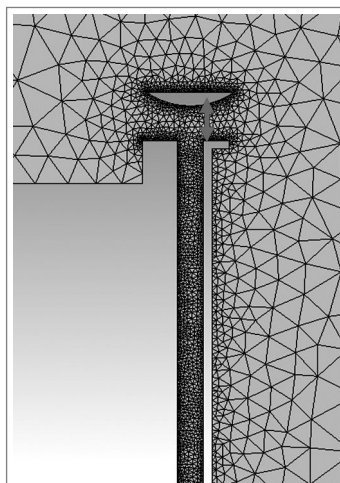


Figura 10. Malla depurada del volumen de aire para analizar el parámetro altura h  
Figure 10. Grid where the air flow has been eliminated to analyze the height "h" parameter

El modelo elegido responde a una cubierta antilluvia en la que el agua se recoge y se canaliza hasta los desagües de la cubierta. Aún así, el objetivo es evaluar la influencia de la distancia elemento-apertura.

En rojo aparece delimitada la altura con la que se va a realizar el análisis de sensibilidad para ese modelo elegido. La variable resultado a analizar es el caudal extraído de la cámara ventilada. El parámetro  $h$  se va a hacer variar entre 5 y 60 cm (5-10-15-20-60).

En la siguiente tabla se muestran los resultados relativos con respecto a la distancia de 20 cm (referencia):

DISTANCIA/DISTANCE cm	1 m/s	2 m/s	4 m/s
5	155	11	56
10	18	42	80
15	73	48	102
20	100	100	100
60	88	96	121

Tabla 2. Tabla síntesis del análisis de sensibilidad para la altura  $h$  (extractor-apertura)  
Table 2. Summary of the sensitivity analysis for height “ $h$ ” (extractor-opening)

Los resultados aparecen en forma de % con respecto al caso referencia, lo que indica que % inferiores a 100 es indicativo de que el caudal de extracción se reduce con respecto a la situación de referencia.

En la Tabla aparecen dos tendencias dependientes de la velocidad de viento: para velocidades bajas (situación de calma), conviene tener el extractor a una distancia baja con respecto a la apertura; en cambio para velocidades altas, mayor separación indica mayor poder de succión.

La causa posible de que para velocidades bajas sea mejor tener el elemento a una distancia baja es el efecto de la corriente secundaria: para velocidades bajas, la succión debida a la aerodinámica del elemento y el arrastre son del mismo orden, por lo que no se explica con ellas el crecimiento del caudal. Pero a bajas velocidades cobra importancia la corriente de aire secundaria que asciende por la fachada exterior del edificio, por lo que premia conducirla fuera de la zona de la apertura, para que esa corriente junto con la principal creen el efecto de succión (estela).

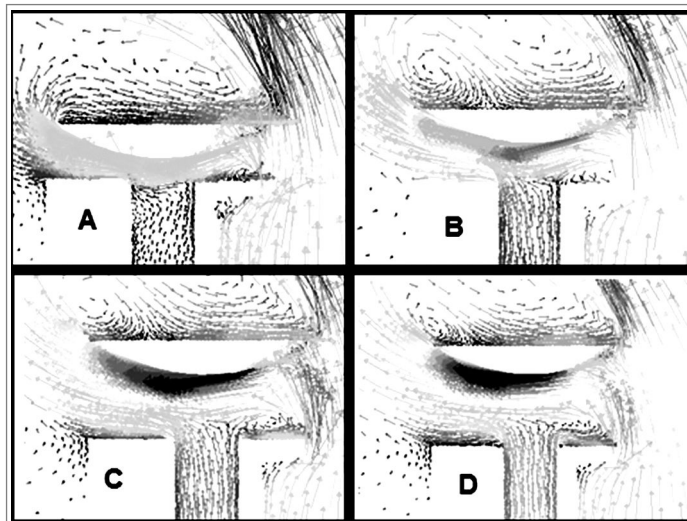


Figura 11. Vectores de velocidad para la simulación del modelo representado en la Figura 10: velocidad de viento 2 m/s, y una altura de A: 5cm, B: 10cm, C: 15cm y D: 20cm  
 Figure 11. Velocity vectors for the simulation of model illustrated in Figure 10: wind velocity 2m/s; height for A: 5cm, B: 10cm, C: 15cm and D: 20cm

Al aumentar la velocidad, conviene separar el elemento de la apertura, para evitar su comportamiento como captador de aire (sobrepresión en la epidermis). En la imagen superior se aprecia el efecto tapón que ocurre cuando el viento incidente en el elemento y la corriente de aire que asciende por la fachada, intentan penetrar por la separación entre elemento y apertura.

#### Geometría del elemento

Del análisis bibliográfico/teórico de la geometría aerodinámicamente óptima, se esbozan posibles soluciones de compromiso entre la viabilidad de fabricación y el coste asociado. Hay dos zonas a tener en cuenta en el diseño de la geometría: la zona de ataque de la corriente (situada en la dirección preferente de los vientos de la zona); y la zona opuesta al ataque. Al igual que sucede en la ala de un avión, aparece una zona que se puede asemejar al extradós (ataque + conducción de la corriente de aire), donde el aire adquiere más velocidad; e intradós (zona opuesta al ataque), donde la corriente tiene menos velocidad y más presión.

El objetivo del análisis de la geometría, es obtener las doctrinas correctas, para evitar:

- Captación de aire hacia la fachada ventilada
- Reducción de la sobrepresión en la zona de intradós, ya que es la vía de extracción de la cámara
- Análisis de situaciones fuera de diseño: comportamiento del elemento en caso de viento opuesto al ataque elegido.

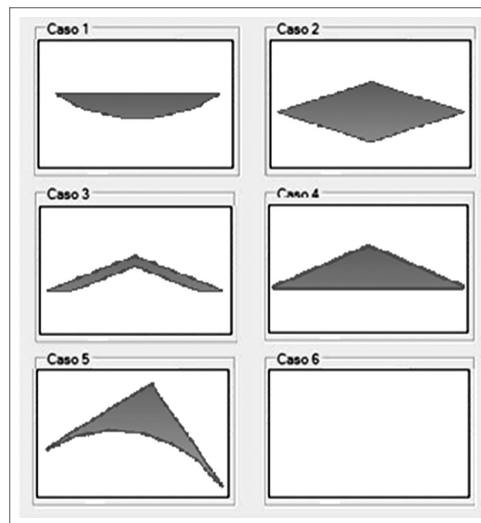


Figura 12. Catálogo de geometrías de extracción diseñadas y modeladas para el estudio  
Figure 12. Catalogue of extraction geometries designed and modeled for the study

El caso seis, es el caso sin geometría de extracción, y el caso uno es el anterior, que es usado de referencia. De las geometrías se destaca la quinta, que no es simétrica como el resto de las mismas, ni está alineada con respecto al eje de la cámara de aire, si no que aparece desplazada al borde de la fachada para conducir la corriente secundaria. Las simulaciones se hacen para una altura  $h$  de 20cm y las velocidades de viento usadas anteriormente.

Tabla 3. Tabla síntesis de resultados del estudio del parámetro geometría en extractores  
Table 3. Results summary of the geometry parameter study for extractors

CASO/CASE	1 m/s	2 m/s	4 m/s
1	100	100	100
2	90	58	96
3	94	76	93
4	92	72	94
5	106	110	116

Los resultados muestran que la geometría del caso cinco es la mejor con un margen estrecho sobre la geometría uno. Las conclusiones del estudio con respecto a las geometrías analizadas son las siguientes:

- Se consiguen los mejores resultados cuando conduce la corriente secundaria que asciende sobre la fachada, sobre todo a bajas velocidades cuando es del orden de la principal. Para ello se necesitan geometrías al estilo de la quinta, en la que el perfil inferior intenta recibir y expulsar esa corriente fuera de la apertura de entrada.

- Para altas velocidades, hay que intentar no influir en la corriente, al estilo de la geometría uno. O si se influye, intentar no conducirla hacia la apertura (sobrepresión).
- La geometría 3 con respecto a la 4, añade una reducción de material y coste que es interesante, pero conviene cerrar la parte inferior para evitar esa zona de remanso.
- El extractor debe estar colocado con respecto a la dirección preferencial de vientos en la zona, pero debido a la variabilidad del mismo, hay que tener en cuenta que el resto de orientaciones no sean perjudiciales. De ahí que geometrías como la cinco, que son óptimas para la dirección preferencial, pueden ser negativas para el resto de direcciones de viento, y sea conveniente la geometría uno por ser más isótropa en el resto de orientaciones. Este hecho motiva el uso de turbinas de viento, que tienen una fácil instalación y tienen una eficiencia superior que los estáticos.
- Para velocidades altas, incluso sin geometría la extracción es buena, por lo que conviene además de alejarlo de la apertura, tener una geometría con el menor coeficiente de aerodinámica (área enfrentada al flujo de viento).

## 4. Conclusiones

- Cuando se realicen estudios que tengan en cuenta el viento como promotor de ventilación natural, hay que tener en cuenta su variabilidad, en cuanto a magnitud y dirección, y la influencia de los condicionantes exteriores del ambiente que rodee al elemento, para evitar la presencia de obstáculos.
- Cualquier técnica pasiva que requiera la impulsión de aire del exterior debe concebir en su diseño la instalación de un captador de viento, que aumente la eficiencia y pueda ser combinado con sistemas mecánicos que aumenten la gestionabilidad del sistema.
- Los extractores de viento estáticos están motivados a partir de su uso como cubiertas anti-lluvia. Por lo que hay que tener en cuenta la aerodinámica de estos elementos si se quiere promover el aprovechamiento natural de la fuerza del viento. Sus competidores son las turbinas de viento, ya que tienen una eficiencia considerable de acuerdo a su simplicidad y fiabilidad.



- Actualmente, el trabajo comentado se encuentra implementado en la herramienta PHDC AirFlow (Salmerón et al., 2009) para el prediseño de sistemas de enfriamiento evaporativo pasivos e híbridos para edificios.

---

## 5. Referencias / References

- Allard F., Santamouris M., London, James and James (2003), "Natural Ventilation in Buildings, a design handbook". Capítulo 2.
- Álvarez S., Molina J.L., Salmerón J.M., Sánchez F.J., Sánchez J. (2010), "The architecture and engineering of downdraught cooling". Capítulo "PERFORMANCE ASSESSMENT METHODS", pág.148-168. Londres.
- Montazeri H. (2011), "Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers", *Building and Environment*, volumen 46, 370-378.
- Montazeri H. and Azizian R. (2008), "Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher". *Building and Environment*, volumen 43, 2193-2202.
- Naghman Khan, Yuehong Su, Saffa B. Riffat (2008), "A review on wind driven ventilation techniques", *Energy and Buildings*, volumen 40, 1586-1604.
- Olsen E., Chen Q., (2003), "Energy consumption and comfort analysis for different low energy cooling systems in a mild climate". *Energy & Buildings*, volumen 35, 561-571.
- Pearlmutter D., Erell E., Etzion Y., Meir I.A. and Di H. (1996), "Refining the use of evaporation in an experimental down-draft cool tower". *Energy and Buildings*, volumen 23, 191-197
- Rupak Biswas y Roger C. Strawn (1998), "Tetrahedral and hexahedral meshadaptation for CFD problems". *Applied Numerical Mathematics*, volumen 26, 135-151.
- Santamouris M., Wouters P., Earthscan (2006), "Building Ventilation, the state of the art". Capítulo 2.
- Salmerón J.M., Sánchez J., Ford B., Van Steenberghe T., and Álvarez S. (2009), "Passive and hybrid downdraught cooling in buildings and software for design". *REHVA JOURNAL*, pág. 34-39.