

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*¹, 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 aerualic 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.

1. Introduction

Currently, there are countless solutions for improving energy efficiency in buildings and their facilities, aimed at reducing their energy cost. To achieve these goals, windcatchers and wind extractors, which are described with more detail below, are rescued from ancient cultures as epidermis elements, of low complexity, that allow developing the natural forces induced by the wind to initiate the air movement inside the building, reducing the consumption of fans and increasing the facilities' efficiency (Allard et al., 2003). However, a double function appears under this slogan, which could further encourage its development and installation: a protection against the rain in the building's air intakes and outlets.

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

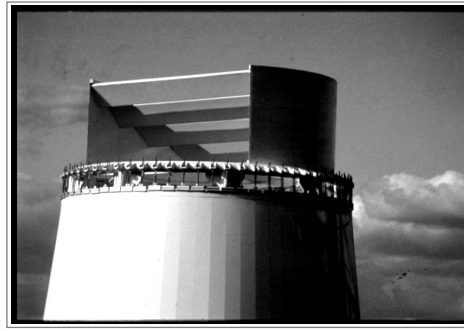


Figura 1. Captador de viento. Exposición Universal de Sevilla 1992
 Figure 1. Windcatcher. Seville World Expo '92

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.

Natural ventilation is applicable only in a limited range of climates, microclimates and types of buildings (Olsen and Chen, 2003). The wind affecting a building's front produces a positive pressure and a negative pressure on the opposite side. This pressure difference, and the pressure differences on the inside of the building, shall promote the air movement. Therefore, to act on the wind, the geometry of the epidermis has to be configured to optimize the positive and negative pressure created by it. Overpressure entails capture, that is air inlet; and suction is the extraction, air outlet. There are many techniques (Santamouris et al., 2006; Naghman, 2008) for the integration in the buildings and the use of natural ventilation. This paper is focused on wind catchers and extractors, assuming that most software for the design of hybrid ventilation systems (most natural mechanic) use simplified models by means of the pressure coefficient which characterizes that element.

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.

Windcatchers

Windcatchers are air capture and discharge systems used to improve the ventilation systems with the aim of reducing the electric consumption of fans, with the consequent energy saving.

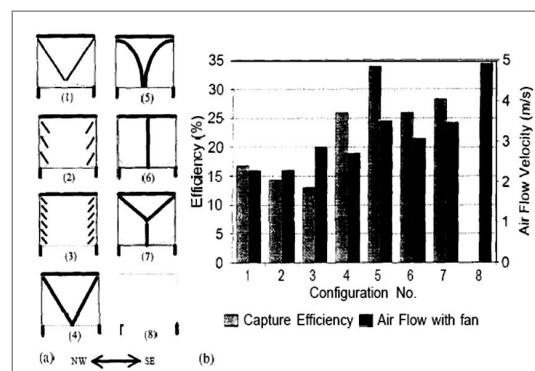


Figura 2. Eficiencia del Windcatcher en función de la velocidad del flujo de aire
 Figure 2. Windcatcher efficiency in terms of air flow velocity

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 ε 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 en 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).

An optimal configuration benefits from the wind's positive pressure when it is available and reduces the air flow resistance to the minimum in the fan of the tower. This opposite pressure balance can be dealt with changing capture geometry to optimize the catcher's geometry considering the wind's direction and magnitude; this is why they are equipped with an air catching system which basically consists in a mechanism allowing different configurations of the openings and deflectors. The wind capture is defined with an efficiency ε calculated as the quotient between the velocity of the air flow expelled from the catcher towards the inside v_i and the velocity of the external wind flow v_{ref} assuming that it acts with a normal component to the opening of the catcher's inlet.

The following Figure shows the results of the experiments carried out by D. Pearlmutter (1996): the defined efficiency and the speed of the driven air flow in terms of the different types of catchers.

At the same time, the chart above offers a good state-of-the-art of wind catchers which was also tested. It can be observed that geometries present a symmetric structure to increase the capture efficiency, provided that the openings are oriented according to the directions where the area's predominant wind usually blows. The first three designs use swinging lowers of different sizes in each opening. Configurations 4 and 5 use fixed deflectors that change the wind direction towards the tower. Models 6 and 7 have an additional central panel combined with the fixed deflectors in the capture unit. The most common windcatchers are models 4 and 5.

The chimney systems have been commercially available in the United Kingdom for more than a century (Santamouris et al., 2006), although until recently these systems were designed for specific solutions in enclosures rather than buildings. The commercial natural ventilation systems offer high air renewal rates, for example, 5 air renewals per hour under relatively low wind velocity conditions (3m/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.

These systems can be combined through an adequate control, using mechanic fans that can be adapted to the facility's wind conditions and face the building's ventilation, or any type of primary air pre-treatment, from heat recuperation of the extraction air to evaporative cooling.

Wind Extractors

Likewise, extractors (Naghman et al., 2008) are used to favor air extraction in chimneys, ducts or ventilated fronts, either reducing the fan's use or improving the air movement in the system.

Extractors can be classified in:

Mobile, such as a wind turbine that moves by effect of the wind, thus producing air extraction.

Fixed, the CFD study is focused on these ones, since the systems are considered a two-function element: a protection function both from rain and animals, and a natural extraction function by effect of the wind, due to its aerodynamic properties.

2. Simplified model

The following facts are set forth to contextualize the need and define the characteristics of the simplified model.

2.1 Explanation

In order to analyze the integration of this technology in the buildings, the “pressure loop method” (Álvarez et al., 2010) will be used. This method has been widely used for duct flow analysis and provides a useful analytical solution to dimension the natural and hybrid ventilation components and systems. The objective is to create a simplified model that allows evaluating how these systems influence the air movement inside the building.

With the aim of further contextualizing the above objectives, we shall consider the case illustrated in Figure 3, where the loops corresponding to each plan can be observed. Each loop represents the air movement from the inlet to the outlet of the building; this movement starts at the outdoor nodes and goes back outdoors, passing through the building's indoor zones.

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:

$$\sum_{loop1} [(p_x - p_y)] = 0 \quad (1)$$

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:

Δp_{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.

It is assumed that the illustrated building is to be operated in the natural ventilation mode, and that there is no type of mechanical force promoting the movement. For example, loop 1 includes from the node "a" to the node "s". This loop contains five different segments:

- Inlet segments: "a-b" and "c-d"
- Outlet segments: "i-j" and "s-t"
- Inlet chimney segment: "b-c"
- Outlet chimney segment: "j-s"
- Passing through doors' segment: "e-f" and "g-h"

The nodes pressure are sequentially identified as $p_a, p_b, p_c, p_d, \dots, p_t$ and again p_a . With this notation, the fundamental equation of the pressure loop is:

Where the indexes w and y are sequentially permuted in each node as we advance in the previously defined loop. The above equation can also be written as follows:

Where:

Δp_{loss} are the pressure losses in loop "i" due to the friction in the inlet, outlet and air movement inside the building.

$\Delta p_{catcher}$ is the pressure increase produced by the wind in loop "i", that is, in the inlet or capture.

$\Delta p_{extracción}$ is the pressure increase in the outlet chimney in loop "i", extraction is caused by the wind.

For a specific loop, the term at the left of the above equation is formed by the pressures opposing to the movement, and in the right term it identifies the pressures promoting the air movement.

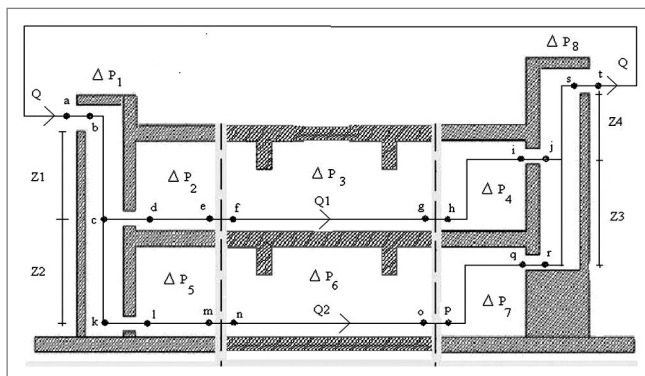


Figura 3. Sección vertical del edificio
Figure 3. Vertical section of the building

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:

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

ρ 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.

In the example above, two loops have been identified, so the equation system to be resolved is a system with two interconnected non-linear equations. The two unknown quantities in these equations are the air flows circulating in each floor plan. The interconnection is due to the fact that the air flow in the towers is, in the upper segment, the sum of the flows in each plant. A possible solution method is the Newton-Raphson method, modified to obtain a quadratic convergence. This method is called the “Ralston-Rabinowitz method” using an auxiliary function, and it is used by the PHDC AirFlow Tool (Salmerón et al., 2009; Montazeri, 2011; Montazeri, 2008). Therefore, the models of these systems have to offer pressure increases (inlet) or decreases (outlet) in terms of the wind’s velocity and direction.

2.2 Description

In order to quantify the effect of the wind in a building’s epidermis area, the following simplified formula is taken from the literature:

ρ is the mean air density; v is the wind velocity.

C_p is the pressure coefficient, in terms of the wind’s direction/magnitude and geometry of the building. Parameter that defines the simplified model, the pressure coefficient, which depends on the system’s geometry and the wind’s direction/magnitude. This coefficient is crucial for developing the simplified model, since in a theoretical way, it is a function of the wind’s velocity and direction, and of the geometry of the catcher/extractor-epidermis system, and therefore, its value is highly variable.

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.

Thus, the objective is to develop a catalogue of proven values, which allows the analysis of different configurations of wind catchers and extractors under the same conditions. To compensate the opposed effect of the pressure coefficient variability (depending on wind's the direction and incidence angle, they could operate with an effect opposed to the designed one; see next paragraph) there are dynamic capture/extraction systems, previously discussed, which modify their geometry in terms of the variation C_p .

The pressure coefficient can be positive and negative; positive means overpressure in relation to the ambient pressure (catchers), and negative, suction (extractors). Consequently, for the capture the purpose is to create systems with a geometry that allows containing the highest pressure coefficient; and for the extraction, the opposite. A building may involve capture and extraction in its air circulation loop, and the sum of both is the force coming from the wind.

2.3 CFD simulation

The purpose is to simulate a wind tunnel where the capture and extraction geometries will be analyzed, in order to estimate the mean pressure coefficient representing the nominal operation of these systems. Therefore, the CFD FLUENT will be used. The model's basic element is the wind tunnel (Montazeri, 2008), which is modeled as a big cubic model with a dimension of hundred meters to guarantee that it has no effects on the results.

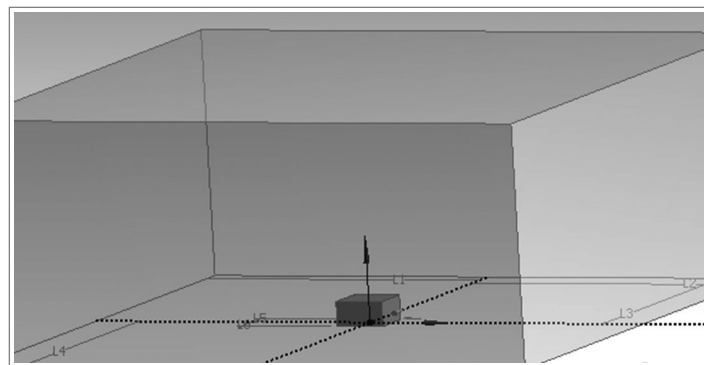


Figura 4. Esquema del "Túnel de viento modelado"

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).

Air shall be driven above this tunnel at different velocities and directions, varying the magnitude and direction of the air inlet velocity in each face of the facility. The rest of the contour conditions are referred to the ground, as a wall, and to the surface opposite to the air intake with the condition of flow freedom (air intake or outlet, at pressure null). The analysis for wind catchers (Rupak Biswas and Roger C. Strawn, 1998) and extractors, besides being independent in the simulation, differ in the model:

Catchers:

- They are connected to a building, represented as a rectangular prism, ten meters high, similar to a two-story building, and the dimensions of the ground plan are 6x10m.
- The influence of the catcher's position on the roof is evaluated, simulating the same catcher on the roof's central area and on the side opposed to the wind's incidence frontal side. As an example, the following Figures are given for the model (in green, the possible air inlets, in red, the surface to be studied).

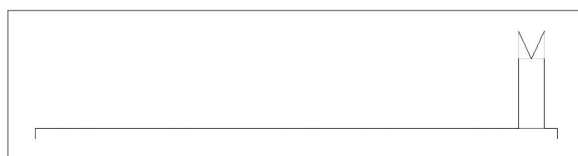


Figura 5. Modelo 4. Posición en central de la cubierta
Figure 5. Model 4. Position in central part of the roof

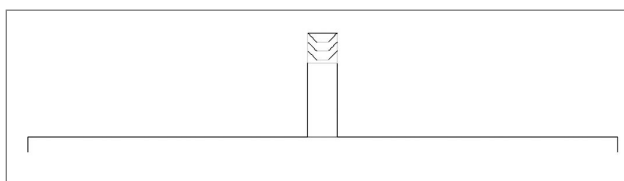


Figura 6. Modelo 1. Posición en lateral no frontal al viento de la cubierta
Figure 6. Model 1. Lateral position, but not frontal to the wind of the roof.

- 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.

- The 3D study is simplified to a two-dimensional analysis due to the symmetry both of the problem and the catchers, which simplifies the problem and allows a more detailed study of the catchers, because it reduces the grid's complexity.

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.

Extractors:

- They are analyzed connected to a ventilated front (chamber 15cm wide) since it is an optimal and innovative application covering other applications such as their installation in ducts.

- 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.
- A three-dimensional study is carried out, since qualitative rather than quantitative results are pursued. Analyzing the main parameters which impact on the air extraction of the ventilated front.
 - The purpose is to find a design pattern for the geometry of these elements, capable of reducing the pressure coefficient in the epidermis position where it is installed, and favoring the air suction from the cavity's interior.

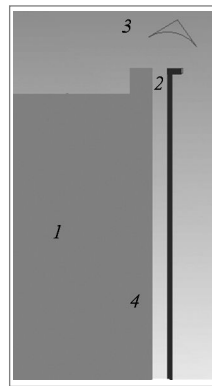


Figura 7. Vista simplificada en sección del modelo para el estudio de extractores. Los elementos que componen el modelo son: la vivienda (1), la fachada (2), el extractor (3) y la cámara de aire (4)

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.

The grid (for example, Figure 10) for both models has been optimized according to the particular characteristics of the geometry, with a node distribution in the neighborhood of millimeters near the wind capture and extraction systems, and meters in the rest of the wind tunnel. This variability is consistent with the numerical solution of the problem, and it is identical to that made by the rest of the authors (Rupak Biswas y Roger C. Strawn, 1998). The optimization consisted in creating a grid capable of obtaining pressure coefficient values from the tested wind catchers (Pearlmutter D. et al., 1996), since these values were facilitated by the author himself. The same procedure is used as validation procedure.

Although it is true that the quality control used in the CFD models does not guarantee quality results in phenomena such as boundary layer, turbulence, etc., it has been done this way, because the objective is an average and global value of the effect of these elements on the pressures, together with its applicability: pre-design stage.

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).

The grids of both models present more than a million nodes, grouped in tetrahedral elements, except in the capture systems' regions, where prismatic elements have been used to approximately calculate the effect of the kinetic boundary layer. Therefore, 15 prismatic elements 1mm high have been implemented, both in the capture and extraction system's contour.

A k-epsilon model has been chosen to calculate the turbulence shown in the critical regions after being affected by air flow. The inlet contour condition is a flat laminar profile, which is assumed to reach a high development level throughout its movement, before having an incidence on the building.

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:

3. Results

3.1 Windcatchers

Once the problem has been defined, the catchers can be assessed in the two roof positions. The analyzed capture models are simplified in the following figure:

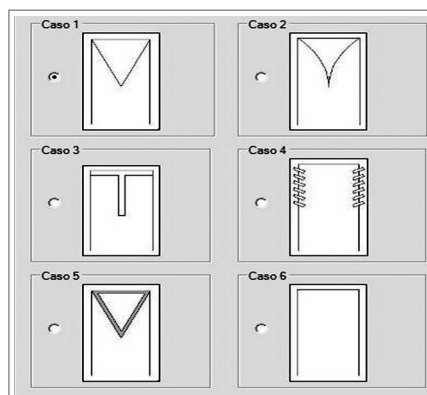


Figura 8. Captadores de viento analizados en este trabajo. Imagen extraída del programa PHDC AirFlow
 Figure 8. Windcatchers analyzed in this paper. Image taken from the PHDC AirFlow software

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.

In the figure, the first five cases represent the five defined models. These five models were chosen because they are typical of the main geometries existing in the global building market.

The following parameters were studied:

Pressure coefficient, as a parameter of the catcher's behavior in relation to the wind, which is an indicator of its aerodynamics and also of its influence on the building's roof. This parameter closes the simplified model described earlier.

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.

Catcher's efficiency, as the quotient between the velocity in the air inlet to the building (red-colored before) and the wind velocity, a relationship between the maximum flow that can enter and that which enters through the velocities.

The zoom made to the problem's interest area (Figure 7) shows a transition zone on the catcher's inside, where part of the air entering the cavity is introduced indoors, and another part goes outdoor through the depression appearing in the wind draft after reaching the catcher. Therefore, the interest surface for calculating the pressure coefficient and the efficiency shall be the entrance to the building itself.

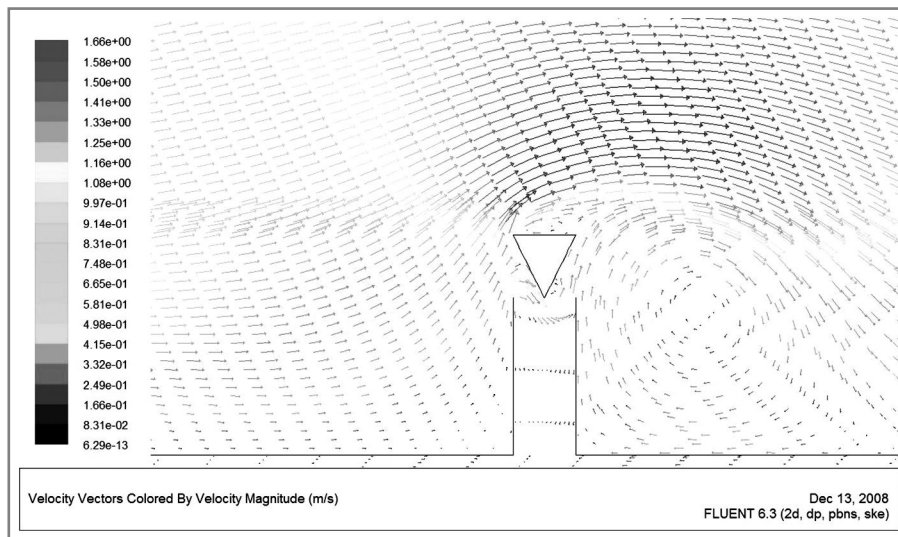


Figura 9. Patrón de flujo de la simulación del captador modelo 1 en la zona central de la cubierta
 Figure 9. Flow pattern of the simulation of the catcher model 1 in the central area of the roof

	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.

3.2 Extractors

In relation to the extractors, the purpose is to prepare a design guide of geometries suitable for the use of wind as a natural force for extraction and protection against rain. To analyze the air extraction from the ventilated front, the model is simplified to the analysis of one linear meter, since the aim is evaluating influences and behaviors, so a simplified model provides enough information for taking decisions. This simplified model is introduced into a wind tunnel and air at different velocities is thrust against it (low 1m/s, moderate 2m/s and high 4m/s).

The parameters chosen for the study are:

Height "h"

It is defined as the distance between the roofs (outlet from the air chamber of the ventilated front). This parameter was not included in the study on catchers due to the function difference of each element: the catchers take air from the outside and introduce it in the duct; the height above the surface must be such so that there are no obstacles between the air draft and the catcher. However, the extractor works differently, since the element must create suction from the cavity towards the exterior, therefore the system's control volume must show two effects: the wind crash that creates the depression and at the same time moves the air from the chamber, and the conduction of the wind draft so that it does not enter the chamber.

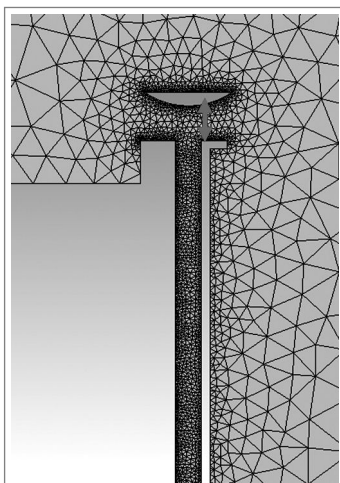


Figura 10. Malla depurada del volumen de aire para analizar el parámetro altura h
Figure 10. Grid where the air flow has been eliminated to analyze the height "h" parameter

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):

The chosen model corresponds to a roof with anti-rain system where water is collected and canalized towards the roof's drains. Even so, the objective is to assess the influence of the element-opening distance.

The height used in the sensitivity analysis for the selected model is shown in red. The result variable to be analyzed is the flow extracted from the ventilated chamber. The parameter " h " shall vary between 5 and 60cm (5-10-15-20-60).

The following Table shows the relative results for the distance of 20cm (reference):

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).

The results are shown in % in relation to the reference case, which means that percentages lower than 100 indicates that the extraction flow is reduced in relation to the reference situation.

The Table shows two trends which depend on the wind's velocity: for low velocities (calm situation), it is convenient to put the extractor at a small distance in relation to the opening; however, for high velocities, a greater distance indicates greater suction power.

The cause which may explain the reason why for low velocities it is best to have the element at a small distance is the effect of the secondary draft: for low velocities, the suction due to the aerodynamics of the element and the dragging are similar, so the flow increase is not caused thereby. But at low velocities, the secondary air draft which goes up the external front of the buildings becomes relevant; therefore, it is necessary to conduct it outside the opening area, so that this draft together with the main one creates the suction effect (trail).

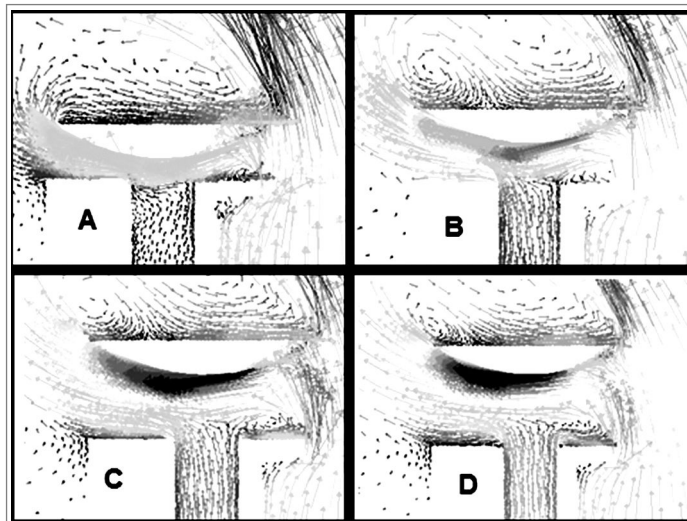


Figura 11. Vectores de velocidad para la simulación del modelo representado en la Figura 10: velocidad de viento 2 m/s, y una altura de A: 5cm, B: 10cm, C: 15cm y D: 20cm
 Figure 11. Velocity vectors for the simulation of model illustrated in Figure 10: wind velocity 2m/s; height for A: 5cm, B: 10cm,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

When increasing the velocity, it is convenient to separate the element from the opening to avoid its behavior as air catcher (overpressure in the epidermis). The image above shows the plug effect occurring when the wind that reaches the element and the wind draft going up the front try to penetrate through the separation between the element and the opening.

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.

Geometry of the Element

From the bibliographical/theoretical analysis of the optimal aerodynamic geometry, possible harmonizing solutions between manufacturing feasibility and associated cost are outlined. There are two areas to be taken into account in the geometry design: the draft attack area (located in the main direction of the winds of the area); and the area opposed to the attack. In the same way as in an airplane's wing, there is a zone similar to the extradós (attack + air draft conduction), where the air gains more velocity; and intradós (area opposed to the attack), where the draft has less velocity and more pressure.

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

The purpose of the geometry analysis is to obtain the correct knowledge to avoid:

- 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.

- Air capture towards the ventilated front.
- Overpressure reduction in the intradós area, since it is the chamber's extraction way.
- Analysis of situations not included in the design: behavior of the element in case that the wind is opposite to the selected attack.

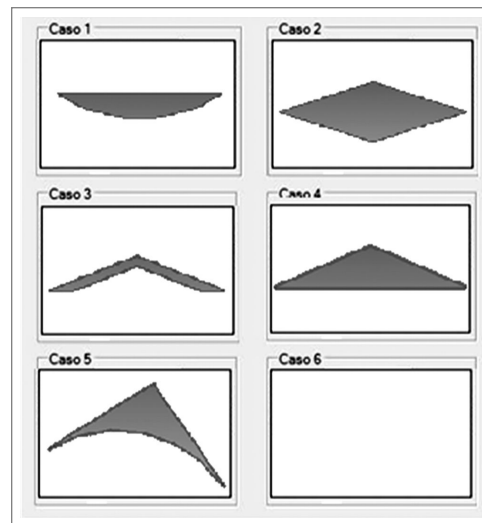


Figura 12. Catálogo de geometrías de extracción diseñadas y modeladas para el estudio
Figure 12. Catalogue of extraction geometries designed and modeled for the study

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.

Case 6 is the case without extraction geometry, and Case 1 is the previous one used as reference. From the geometries, Case 5 is worth mentioning, since it is not symmetrical as the other ones, and it is neither aligned in relation to the axis of the air chamber; it is rather out of place at the edge of the building front to conduct the secondary draft. Simulations are made for a 20cm height "h" and the wind velocities formerly used.

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.

The results show that the geometry of Case 5 is the best, with a slight margin over geometry one. The conclusions of the study regarding the analyzed geometries are the following:

- The best results are obtained when drives the secondary draft going up along the front, especially at low velocities when it is similar to the main draft. Therefore, geometries similar to Case 5 are needed, where the lower profile tries to receive and throw that draft out of the entrance opening.

- 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 isotrópica 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.

- For high velocities, the draft should not be influenced in the way of geometry one. Or, if there is an influence, it should not be conducted towards the opening (overpressure).
- Geometry 3 in relation to 4 adds a material and cost reduction which is interesting, but the lower part should be closed to avoid this quiet area.
- The extractor has to be placed in relation to the wind's main direction in the area, but due to its variability, the fact that other orientations are not adverse has to be considered. In this manner, geometries like number five, which are optimal for the main direction, can be negative for the other wind directions, and geometry one can be more convenient because it is more isotropic in the other orientations. This fact motivates the use of wind turbines, which are easy to install and have a greater efficiency than static ones.
- For high velocities, even without geometry, the extraction is good, so, besides keeping it away from the opening, the geometry with the lowest aerodynamics coefficient (area which faces the wind flow) is preferable.

4. Conclusions

- The studies considering the wind as a natural ventilation promoter have to take into account its variability, regarding magnitude and direction, and the influence of external constraints of the environment surrounding the element, in order to avoid obstacles.
- Any passive technique requiring the impulse of air from the outside must include the installation of a wind catcher that increases the efficiency and can be combined with mechanical systems which improve the system's manageability.
- The static wind extractors are recommended when used as anti-rain roofs. So, the aerodynamics of these elements has to be taken into account if we seek to foster the natural use of the wind's force. Their competitors are the wind turbines, since they are considerably efficient in terms of its simplicity and reliability.

- 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.
- Currently, the discussed work has been implemented in the PHDC AirFlow Tool (Salmerón et al., 2009) for the pre-design of passive and hybrid evaporative cooling systems for buildings.

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.