

05-018

Influence of parameters ventilation flow rate in residential buildings energy demand of conditioning.

Alejandro Rincón Casado; Pablo Moreno-García; Pablo Pavón-Domínguez; Enrique Ángel Rodríguez-Jara

Universidad de Cádiz;

This work focuses on the ventilation of buildings with residential use, where Spanish regulations set the design criteria for the calculation and execution of the installation. At the moment the "Código Técnico de la Edificación"(CTE) is normative that regulates this type of installations. Formerly there is a vacuum in this field, which was covered by technological standards (NTE). It is true, that there has been considerable progress, however in this work shows that there are still deficiencies, especially in design flows. The current criteria for the calculation of ventilation flows are basically conditioned by health criteria. However, these criteria influence decisively on the demands of conditioning, especially in heating. In this paper we analyze the influence of the ventilation flows and their parameters associated with the demands of heating and cooling. Variables such as climatic zone and type of son building studied. In particular three geographic areas were studied (Cadiz, Madrid and Zaragoza) and the permeability variable of the building and the external wind velocity were analyzed in terms of energy demand. Some errors and deficiencies of the CTE have been found and analyzed.

Keywords: Energy demand ventilation; Ventilation of buildings; Ventilation flow rates

Influencia de los parámetros que determinan los caudales de ventilación sobre la demanda energética en edificios residenciales.

Este trabajo se enfoca en la ventilación de edificios con uso residencial, donde la normativa española fija los criterios de diseño para el cálculo y la ejecución de la instalación. Actualmente el Código Técnico de la Edificación (CTE) es la normativa que regula este tipo de instalaciones. Antiguamente existía un vacío en este campo, que era cubierto por normas tecnológicas (NTE). Cierta es que se ha producido un avance considerable, sin embargo en este trabajo se demuestra que existen aún carencias, sobre todo en los caudales de diseño. Los actuales criterios para el cálculo de caudales de ventilación están condicionadas fundamentalmente por criterios de salubridad. Sin embargo, estos criterios influyen de manera determinante sobre las demandas de acondicionamiento, sobre todo en calefacción. En este trabajo se analiza la influencia de los caudales de ventilación y sus parámetros asociados sobre las demandas de calefacción y refrigeración. Variables como la zona climática y el tipo de edificio son estudiadas. En concreto tres zonas geográficas fueron estudiadas (Cádiz, Madrid y Zaragoza) y la variable de permeabilidad del edificio y la velocidad de viento exterior han sido analizadas en términos de demanda energética. Algunos errores y deficiencias del CTE han sido encontrados y analizados.

Palabras clave: demandas energética ventilación; ventilación de edificios; caudales de ventilación

Correspondencia: alejandro.rincon@uca.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introduction

El cálculo de caudales de ventilación hasta hace relativamente poco tiempo estaba cubierto por normas tecnológicas (NTE), donde los diseñadores de instalaciones se limitaban a seguir las guías tecnológicas para el cálculo de caudales y el diseño de la instalación. Actualmente, las normativas actuales aplicables a instalaciones de ventilación en edificios residenciales, son la norma europea EN 15251:2008 y a nivel nacional el CTE HS-3:2013. En ambas normativas, se exige que los edificios residenciales actuales deben contar con un sistema de ventilación formado por aireadores y extractores, y además se debe asegurar el funcionamiento del sistema sin la intervención del usuario, es decir, que no dependa de la abertura de ventanas o puertas por parte del usuario. En el caso de CTE, se ha producido un avance considerable, sin embargo, los caudales mínimos exigidos, responden a criterios de salubridad del aire, no se tiene en cuenta la permeabilidad de la fachada que se recoge en la UNE-EN 15251:2008, ni tampoco la velocidad del aire exterior del edificio, parámetro que depende de la zona climática donde se encuentre el edificio. Además, el procedimiento de cálculo de caudales se basa un simple balanceo de caudales, sin posibilidad de tener en cuenta los agentes externos como velocidad de aire exterior ni permeabilidad de fachada.

Respecto a los métodos de cálculo, en la literatura científica aparecen tres tipos fundamentales de cálculo: los métodos empíricos; los métodos nodales; y los métodos CFD (Computer Fluid Dynamics). Los métodos CFD resuelven las ecuaciones de movimiento del fluido, son considerados como métodos detallados y muy precisos, sin embargo no son prácticos a la hora de estudiar la demanda anual. Por otro lado, los métodos empíricos tienen menor precisión que los CFD, ya que se basan en resultados de ensayos experimentales, sin embargo, su coste computacional es mucho menor, y son adecuados para el cálculo de las demandas de acondicionamiento anuales. Entre los métodos empíricos más populares se encuentran: el método de la British Standard, BS 5925-1991; el método de la ASHRAE (2005); el método de Axley(1989); el método de Gids y Phaff(1982) ; y el método de la UNE-EN 15242:2007. Por último se encuentran los métodos nodales, que se basan en el cálculo de caudales nodo a nodo y calculan el caudal en cualquier zona del edificio. Entre ellos encontramos el Bucle de Presiones propuesto por Axley (1989) y el Balance Másico, estos métodos son más precisos y fácilmente programables que los anteriores. Los programas actuales en España, realizan cálculos bajo criterios normativo, y no permiten flexibilidad para cambiar las condiciones de contorno, o introducir variables nuevas como la permeabilidad de las fachadas o ventanas. En el caso de HULC [8], realiza un cálculo anual de la demanda a partir de caudales medios anuales, sin embargo, no tiene en cuenta la permeabilidad del edificio, ni tampoco tiene flexibilidad para tenerlo en cuenta como capacidad adicional.

El CTE trata a la los caudales de ventilación como una carga térmica, siendo proporcional al caudal de infiltración o exfiltración. Por tanto, desde el punto de vista de la demanda energética, el cálculo preciso de los caudales de ventilación influye directamente sobre las demandas de calefacción y refrigeración. Muchos autores han estudiado la ventilación y su efecto sobre la demanda, como el estudio desarrollado por Cardinale, Micucci, and Ruggiero, (2003), donde se realiza un estudio de un edificio residencial en distintas ciudades italianas, calculando los caudales de ventilación por un método nodal y la demanda energética en refrigeración. Se demuestra que la ventilación controlada provoca un ahorro energético medio en la demanda de refrigeración de 40%. Otro estudio desarrollado por Van Den Bossche, Heijmans, Janssens (2011), estudia el potencial de ahorro energético y la calidad del aire interior provocada por distintas estrategias de ventilación en edificios residenciales. Las estrategias estudiadas son control de humedad, control de presencia, control de CO₂, y el

control de todas juntas. El ahorro energético alcanzado es de un 25% en el control de cada componente individual. Combinando todas las estrategias con el control del sistema de ventilación, se alcanza un ahorro del 60%. Otro estudio desarrollado Koinakis (2005) muestra un análisis de un edificio residencial donde se desarrolla un modelo mediante métodos nodales para el cálculo de los caudales de aire, y un modelo térmico para el cálculo de demanda energética, con ellos realiza un acoplamiento para su simulación conjunta. Los resultados obtenidos se comparan con las mediciones en un edificio real durante seis días, validándose así el modelo matemático.

El objetivo del presente trabajo es realizar un cálculo detallado de los caudales de ventilación y analizar la influencia sobre la demanda energética en edificios residenciales. Se emplea un método de cálculo unizona donde se utiliza un método de cálculo nodal combinando la metodología del bucle de presiones Axley (1989), con el balance másico y las ecuaciones de la UNE-EN 15242:2007. Se estudia un caso tipo donde se analizan las variables como permeabilidad del edificio (infiltración) y la velocidad de viento exterior. Estas variables tienen un efecto directo sobre la demanda energética, dependiendo de la localización geográfica donde se encuentre, y de las características constructivas. Tres zonas geográficas del territorio español son analizadas, estudiando el mismo edificio en tres localidades distintas, y comparando la demanda energética en función de los caudales de ventilación.

2. Metodología

El método de cálculo empleado en este trabajo para el cálculo de los caudales de ventilación se encuentra dentro de los clasificados como métodos nodales. Estos métodos presentan mayores ventajas a la hora de calcular las demandas energéticas anuales, debido a su bajo coste computacional. Concretamente se ha empleado una combinación de los tres métodos de cálculo nodales: Bucle de Presiones, Balance Másico y el método de la UNE-EN 15242:2007. El Bucle de Presiones consiste en la aplicación de la ecuación de Bernoulli Ec. (1) entre dos puntos de una línea de corriente que va desde el exterior al interior, y en todos los puntos debe cumplir la ecuación de continuidad. Es un método sistemático en el que se toman lazos de presiones desde el exterior a interior, para relacionar las presiones interiores con las exteriores. Desarrollando y agrupando la ecuación de Bernoulli se obtiene la Ec. (2), donde la diferencia de presión que provocan las fuerzas impulsoras del movimiento del aire (viento y temperatura) es igual a la caída de presión que se produce en cada uno de los componentes de ventilación que atraviesa la línea de corriente. El método nodal de Balance Másico, sirve para alcanzar las condiciones de equilibrio másico en cada recinto del edificio. El equilibrio se alcanza cuando el flujo de aire que entra en un recinto es igual al que sale, por tanto se cumple la Ec. (3). Aplicando la aproximación de Boussinesq se desprecia la variación de densidad del aire, simplificando la Ec.(3) a la Ec.(4). La formulación propuesta por la UNE-EN 15242:2007 proporciona la caída de presión en los distintos componentes del sistema de ventilación Ec.(5)-(10).

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho_1 v_1 + \rho_1 g z_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho_2 v_2 + \rho_2 g z_2 \quad (1)$$

$$\sum \Delta P_{Fuerzas\ Impulsoras} = \sum \Delta P_{Elementos\ Ventilación} \quad (2)$$

$$\sum_n^1 \rho_i Q_i = 0 \quad (3)$$

$$\sum_n^1 Q_i = 0 \quad (4)$$

El sistema de ventilación residencial, según el CTE-HS3:2013, el aire para la ventilación de los espacios, debe entrar por los recintos secos (dormitorio y salón), y salir por los recintos húmedos (baños y cocina), para evitar la transmisión de olores y contaminantes. Además, los caudales de ventilación exigidos en cada recinto, deben asegurarse con independencia de la actuación del usuario. Por tanto, en los recintos secos deben instalarse aireadores de ventilación que aseguren el caudal mínimo de entrada, y en los recintos húmedos deben instalarse extractores mecánicos que aseguren un caudal mínimo extraído. Sin embargo, el CTE no tiene en cuenta el caudal de aire de infiltración, es decir, el aire que entra por la permeabilidad de las ventanas, y por la permeabilidad de los cerramientos de fachada. Además, tampoco se tienen en cuenta el efecto del viento exterior, ni de la flotación causada por la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior del edificio. Esta información, se encuentra disponible en la norma Europea UNE-EN 15242:2007. Por tanto, para realizar un cálculo detallado, estas variables deben ser tenidas en cuenta en el cálculo de los caudales de ventilación e infiltración, ya que influyen directamente sobre la demanda energética.

Una de las fuerzas motoras más importantes en ventilación, es el viento exterior, que provoca una diferencia de presión entre el exterior y el interior del edificio (Ec. 5). Esta diferencia de presión depende del coeficiente de presión en la fachada (C_p), de la densidad del aire (ρ_{ext}), la velocidad del viento (V_{ref}) y de la presión interior (p_{ref}). Otra causa del movimiento del aire es el fenómeno de flotación (o efecto chimenea), provocado por la diferencia de temperaturas del aire, que provoca a su vez diferencia de densidades, influenciado por la altura donde se encuentre (Ec. 6). La diferencia de presión provocada por el viento se combina con la provocada por la temperatura para obtener la diferencia de presión total en las fachadas (Ec. 7). Otra fuerza motora importante es la realizada por los extractores mecánicos, que aseguran una diferencia de presión y un caudal constante de extracción. Por otra parte, los aireadores de ventilación o rejillas, están instalados normalmente en la parte superior de las ventanas, y trabajan por diferencia de presiones, es decir, el caudal que pasa a través de este elemento, depende de la diferencia de presión entre el exterior y el interior del edificio. En la Ec. (8) se muestra la ecuación de comportamiento estándar para un aireador, donde n y C dependen de las características del aireador. Estos aireadores deben proporcionar el caudal de diseño cuando trabajan a una diferencia de presión de 20Pa. Por último, aunque no son elementos de ventilación, existe entrada o salida de aire (infiltración o exfiltración) a través de las ventanas y la fachada, debido a su permeabilidad, estos caudales son considerados como fugas, pero participan directamente en los caudales de ventilación del edificio. En la Ec.(9) y Ec.(10), se muestran las ecuaciones para calcular el caudal de fuga por ventanas y por fachada, respectivamente. Al igual que el resto de elementos del sistema de ventilación, el caudal de fugas depende de la diferencia de presión entre el exterior y el interior, y de los coeficientes de permeabilidad definidos en la UNE-EN 15242:2007. Por último, para cumplir la ecuación del balance másico, todos los caudales de entrada debe ser igual a los caudales de salida, Ec.(11).

$$\Delta P_v = C_p \rho_{ext} \frac{V_{ref}^2}{2} - p_{ref} \quad (5)$$

$$\Delta P_T = (\rho_{ext} - \rho_{int}) g \Delta z \quad (6)$$

$$\Delta P = \Delta P_v + \Delta P_T \quad (7)$$

$$Q_{rej} = C \Delta P^n \quad (8)$$

$$Q_{fvent-i} = Q_{100} A_i \text{sing}(\Delta P) \left(\frac{|\Delta P|}{100} \right)^{0.667} \quad (9)$$

$$Q_{ffach-i} = Q_{4Pa} A_{exp} \left(\frac{1}{4} \right)^{0.667} \text{sing}(\Delta P) (|\Delta P|)^{0.667} \quad (10)$$

$$\sum Q_{rej-i} + \sum Q_{fvent-i} + \sum Q_{ffach-i} + Q_{ext} = 0 \quad (11)$$

El método utilizado para calcular un edificio puede ser unizona o multizona. El método unizona considera al edificio como una única zona, donde entran y salen caudales de ventilación a través de sus componentes. Por el contrario, el modelo multizona, el edificio se divide en zonas, como por ejemplo viviendas, y entre cada zona se intercambian caudales de ventilación. En modo empleado en este trabajo es unizona, ya que el objetivo de este trabajo es ver la influencia de los caudales de ventilación que intercambia el edificio con el exterior, y su influencia sobre la demanda.

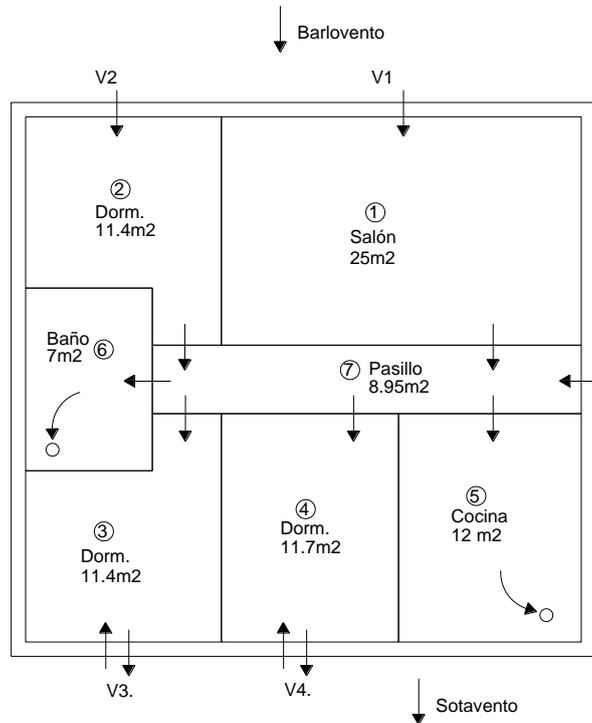
Para analizar el efecto de los caudales de ventilación sobre la demanda energética, se emplea el software de simulación dinámica TRNSYS 17 (2008), donde se crea el modelo del edificio a partir de su geometría, los materiales, y cargas térmicas de la localidad donde esté situado el edificio. De esta forma, a partir de la variación de las velocidades de viento, temperatura exterior y permeabilidad de fachadas y ventanas, se obtiene valores de demanda energética horarios. A través de esta herramienta se pueden comparar las demandas energéticas anuales entre distintos casos y ver la influencia sobre la demanda de las variables a estudiar.

3. Resultados y discusión.

Con el propósito de simplificar los cálculos y detectar de manera sencilla la influencia de los caudales sobre la demanda, el caso de estudio será una vivienda unifamiliar compuesta por tres dormitorios, baño, salón, cocina y pasillo distribuidor (Fig. 1). La superficie útil de la vivienda es de 90m² distribuido en una planta. Todas las dependencias, exceptuando el baño, cuentan con una ventana exterior. Las ventanas de los dormitorios y el salón cuentan con aireadores de ventilación, y en el baño y la cocina existe un extractor que funciona continuamente. Con esta configuración se consigue que el aire se dirija desde los espacios

secos hacia los espacios húmedos, donde es expulsado hacia el exterior a través de los extractores mecánicos.

Figure 1: Esquema caso de estudio.



Los caudales mínimos exigidos por criterios de salubridad, viene fijados por el CTE-HS3:2013, así por ejemplo en los dormitorios se exige un caudal de entrada de 5 l/s/pers., y en el salón de 3 l/s/pers, sin embargo en el baño exige una extracción mínima de 15l/s, y en la cocina 2 l/s/m². A partir de estos valores mínimos, se realiza un balanceo de caudales con el propósito de equilibrar el caudal de extracción con el caudal de admisión, para este caso es necesario aumentar la extracción por el baño de 15 a 24 l/s (ver tabla 1). Por tanto, el caudal resultante de extracción es de 48 l/s, con este caudal se cumplen los requisitos mínimos exigidos en la normativa HS-3. Según la normativa, seleccionando los aireadores y extractores que cumplan este caudal mínimo, ya estaría diseñada y justificada la instalación de ventilación. Sin embargo, este procedimiento, no calcula de manera detallada los caudales de ventilación hora a hora, y no tiene en cuenta la velocidad de viento exterior, y la diferencia de temperatura. Además, tampoco se tiene en cuenta el caudal de infiltración o exfiltración por la permeabilidad de fachada y las ventanas.

Tabla 1: Caudales mínimos y equilibrado de caudales según CTE-HS3:2013[2].

Dependencia	Dormitorio1	Dormitorio 2	Dormitorio 3	Salón	Baño	Cocina
Numero de ocupantes (N)	2	2	2	6	-	-
Area (m ²)	11,4	11,7	11,4	25	7	12

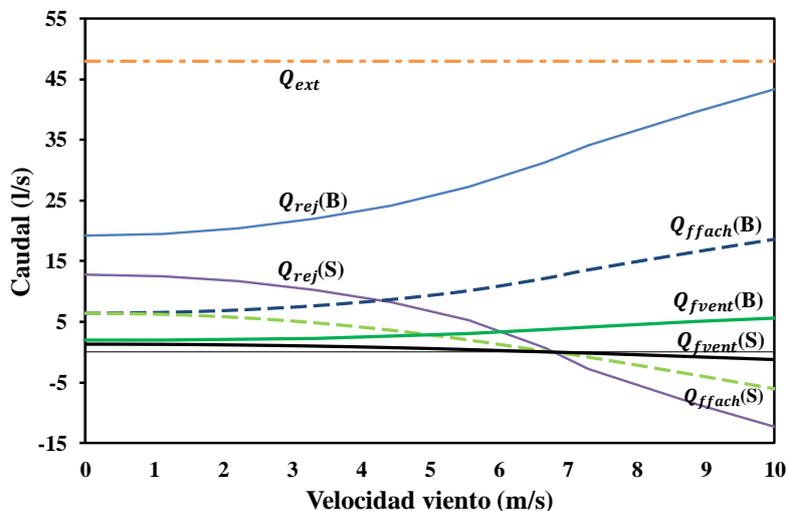
Caudales (l/s)	Unitario q_i	5	5	5	3	-15	-2
	Mínimo (q_iN)	10	10	10	18	-15	-24
	Equilibrado	10	10	10	18	-24	-24

Aplicando la metodología de la sección 2, se puede calcular el caudal real de los aireadores, el caudal por infiltración de fachada y ventanas, y la diferencia de presiones provocada por el viento exterior. Para los aireadores, se han seleccionado el modelo S13 4000 del fabricante Titon S13, que cumple con los ensayos exigidos por EN-13141-1:2004 con un coeficiente $C=2.226$ y un $n=0.5113$ para la Ec. (8). Para la fugas por fachada (Ec. 10), se ha considerado un nivel de fugas bajo de $0.5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ a 4Pa según UNE-EN 15242:2007. Y para la fugas por ventanas (Ec 9), se selecciona una clase de ventana 3, con permeabilidad de $9\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ a 100Pa según EN 12207:2000. Respecto a las fuerzas motoras: viento, temperatura y extractores. Para calcula la diferencia de presión provocada por el viento (Ec. 5), el coeficiente de presión en las fachadas se obtiene según la EN 15242:2007, donde 0.25 es a Barlovento y -0.5 es a Sotavento. En el caso de la diferencia de temperatura (Ec. 6), en este caso la vivienda tiene poca altura esta variable no es determinante. Por último, respecto al caudal de extracción se emplea como dato de entrada 48 l/s en la Ec.(11).

Al estudiar este caso como unizona, la presión interior es común a todas las dependencias (p_{ref}), por tanto, el caudal que entra o sale por las aberturas (aireadores, o fuga) dependen de la diferencia de presión entre el exterior y el interior (ΔP), pero siempre se debe cumplir el balance másico de la Ec.(11). Todas las ecuaciones definidas en la sección 2, ha sido programadas en el programa EES Solver (2003), de esta forma se puede calcular los caudales de ventilación que atraviesa cada componente, variando por ejemplo las velocidad de viento, o las permeabilidades de fachada o ventanas.

Para analizar la influencia de la velocidad del viento sobre los caudales que intervienen, se resuelven las ecuaciones variando la velocidad de 0 a 10m/s , en incrementos de 0.25m/s . La dirección de viento considerada es de barlovento a sotavento, y los parámetros de permeabilidad de ventanas y fachada se mantienen constantes en todos los casos estudiados. En la Fig. 2 se muestra los caudales en aireadores (Q_{rej}), fugas por fachada (Q_{ffach}), fugas por ventanas (Q_{fvent}) y el caudal de extracción (Q_{ext}), diferenciando entre fachada a barlovento (B) y fachadas a sotavento (S). Lo más destacado de la Fig. 2, sucede en velocidades de viento próximas a 7m/s , donde el caudal de entrada en la fachada a sotavento se anula debido al efecto de succión del viento. Produciendo incluso una inversión del flujo de ventilación en aireadores, fugas por fachada y ventanas, a velocidades mayores de 7m/s .

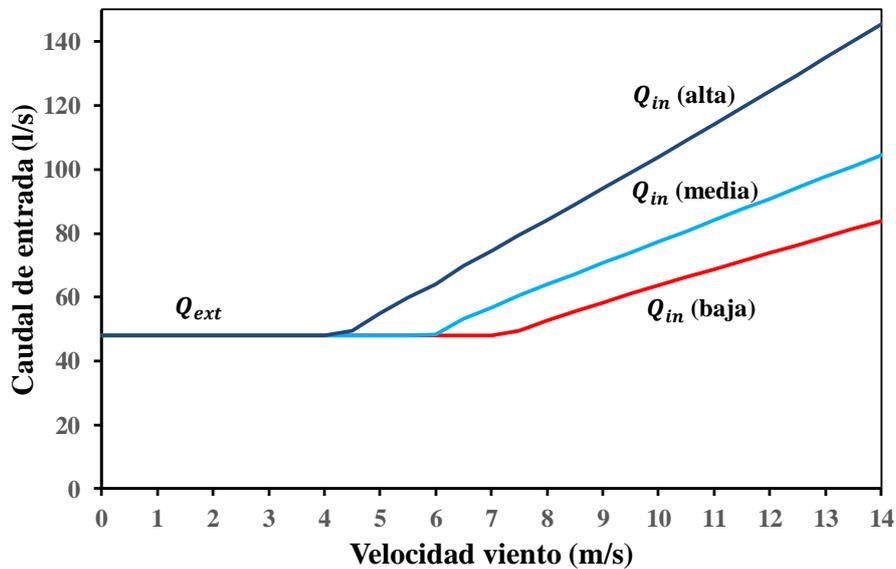
Figura 2. Variación de los caudales de ventilación en aireadores (Q_{rej}), extractores (Q_{ext}), fuga por fachadas (Q_{ffach}) y fuga por ventanas (Q_{fvent}), en función de la velocidad de viento exterior, para fachada a Barlovento (B) y Sotavento (S).



De manera similar a la influencia del viento, se puede analizar la influencia de los parámetros de permeabilidad de fachada y ventanas sobre los caudales de ventilación. Los parámetros de permeabilidad vienen determinados por el diseño arquitectónico; el sistema constructivo; y los materiales utilizados. Para el nivel de permeabilidad del edificio se ha considerado la permeabilidad conjunta de ventanas y cerramientos de fachada. Considerando tres niveles de permeabilidad (alto, medio y bajo). Para el caso de las ventanas según la EN 12207:2000 se consideran los valores de 50, 27 y 9 m³/h·m², para permeabilidades alta, media y baja, respectivamente. Y para el caso de fachas según la EN 15242:2007 se consideran los valores de 2, 1 y 0.5 m³/h·m², para permeabilidades alta, media y baja, respectivamente. Resolviendo las ecuaciones para cada nivel de permeabilidad y variando la velocidad entre 0 y 14 m/s, se obtienen los caudales de ventilación totales de entrada (Q_{in}) para cada nivel de permeabilidad. En la Fig. 3 se muestran los caudales de ventilación de entrada para los tres niveles de fuga estudiados, apreciándose que, con un nivel de permeabilidad alto, la inversión del caudal de ventilación se produce menor velocidad de viento exterior.

De manera similar a la influencia del viento, se puede analizar la influencia de los parámetros de permeabilidad de fachada y ventanas sobre los caudales de ventilación. Los parámetros de permeabilidad vienen determinados por el diseño arquitectónico; el sistema constructivo; y los materiales utilizados. Para el nivel de permeabilidad del edificio se ha considerado la permeabilidad conjunta de ventanas y cerramientos de fachada. Considerando tres niveles de permeabilidad (alto, medio y bajo). Para el caso de las ventanas según la EN 12207:2000 se consideran los valores de 50, 27 y 9 m³/h·m², para permeabilidades alta, media y baja, respectivamente. Y para el caso de fachas según la EN 15242:2007 se consideran los valores de 2, 1 y 0.5 m³/h·m², para permeabilidades alta, media y baja, respectivamente. Resolviendo las ecuaciones para cada nivel de permeabilidad y variando la velocidad entre 0 y 14 m/s, se obtienen los caudales de ventilación totales de entrada (Q_{in}) para cada nivel de permeabilidad. En la Fig. 3 se muestran los caudales de ventilación de entrada para los tres niveles de fuga estudiados, apreciándose que, con un nivel de permeabilidad alto, la inversión del caudal de ventilación se produce menor velocidad de viento exterior.

Figura 3. Caudales de ventilación de entrada (Q_{in}) para permeabilidad del edificio alta, media y baja, en función de la velocidad de viento exterior.



Analizados la influencia del viento y la permeabilidad sobre los caudales de ventilación, es interesante analizar cómo influyen estas variables sobre la demanda energética, sobre todo en modo calefacción. Para ello es necesario tener en cuenta el clima donde esté situado el edificio. Tres localidades son estudiadas Cádiz, Madrid y Zaragoza, diferenciándose entre ellas en la severidad climática y en la zona de viento. Para considerar el efecto del viento, se toma como referencia la norma CTE SE-AE: 2006, como se muestra en la Fig. 4 las localidades seleccionadas corresponden a las zonas de viento A, B, y C. Sin embargo, los datos de velocidades y frecuencias se obtienen del programa Meteonorm (2015) para cada localidad, en la Fig. 4 se representan las tres localidades estudiadas.

Figura 4. Distribución de frecuencias de velocidades de viento de localidades zona A, B y C.

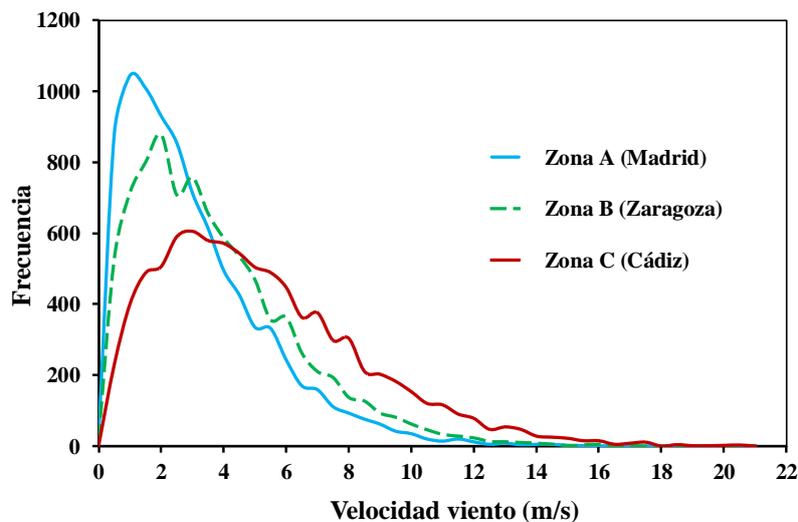
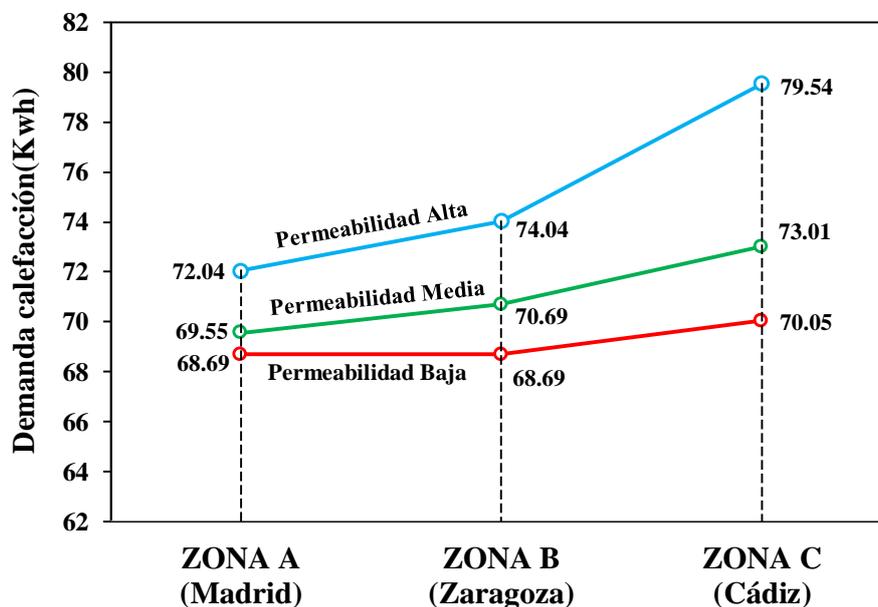


Tabla 2: Valores de transmitancia térmica de la envuelta del edificio.

<i>Elemento</i>	<i>Espesor(m)</i>	<i>U (W/K·m2)</i>
<i>Cubierta</i>	0.5	0.495
<i>Cerramiento</i>	0.2	0.669
<i>Suelo</i>	0.5	0.578
<i>Ventanas</i>	-	2.48

Para ver la influencia que tiene el caudal de ventilación sobre la demanda, se ha realizado simulaciones dinámicas anuales usando el software TRNSYS 17 (2008), donde las variables de entrada son: caudales de ventilación horarios; datos meteorológicos de la localidad; temperatura de consigna de 24°C; y las transmitancias térmicas de los materiales de la envuelta (tabla 2). Para realizar una comparativa, cada localidad se simula para tres grados de permeabilidad (alto, medio y bajo), y se calcula la demanda de calefacción anual. La comparación entre todos los casos se muestra en la Fig. 6, donde se representa la demanda anual de calefacción para tres niveles de permeabilidad, situando el edificio en tres localidades distintas. A la vista de los resultados, se aprecian diferencias significativas en las demandas de calefacción, en función del clima y de la permeabilidad, que varía desde un 5% y un 14% para el caso de la Zona C y comparando alto y bajo grado de permeabilidad.

Figura 6. Influencia de la zona de viento y la permeabilidad del edificio sobre la demanda de calefacción.



4. Conclusiones.

En este trabajo se presenta un método detallado para el cálculo de los caudales de ventilación e infiltración de un edificio, con el objetivo de analizar la influencia de las caudales de infiltración, que actualmente no se tienen en cuenta en el CTE-HS3:2013. Las variables

analizadas son la velocidad del viento exterior, y la permeabilidad de la fachada y ventanas. Además, se estudia el efecto de los caudales de ventilación sobre la demanda energética en calefacción.

Respecto al método de cálculo detallado de caudales de ventilación, se muestra el procedimiento para el cálculo de la ventilación hora a hora en función de la velocidad del viento exterior y la permeabilidad de la fachada. Dentro de los métodos de cálculo existentes, se emplea un método de cálculo zonal, que aporta simplicidad y ahorro en coste computacional en edificios grandes. En este método se tienen en cuenta las acciones que provocan el movimiento del aire en el edificio: el viento, la diferencia de temperatura y los extractores. Este método de cálculo es útil para los diseñadores de instalaciones de edificios nuevos o para edificios existentes, consiguiendo mayor precisión que los métodos que actualmente propone el CTE-HS3:2013.

Los resultados muestran que los caudales de ventilación están influenciados por la velocidad de viento exterior, además, que en las fachadas a sotavento, existe una velocidad de viento a partir del cual se invierte el flujo de ventilación. Este fenómeno provoca que haya un exceso de ventilación, provocando una disminución del confort, y aumentando la carga térmica asociada. Para combatir este exceso de carga, es necesario aumentar la demanda energética en modo calefacción. Este fenómeno es inevitable por parte del usuario, ya que según el CTE, la ventilación se debe producir sin actuación del usuario. Sin embargo, para evitar este reflujo en los aireadores, deberían instalarse aireadores de compuerta, donde el usuario pueda actuar en casos de exceso de viento exterior. Además del viento exterior, se ha analizado la influencia de la permeabilidad de fachada y ventanas sobre el caudal de ventilación. Descubriendo, que a mayor permeabilidad del edificio, mayor es el caudal de ventilación, y como consecuencia, la inversión del flujo se produce a menor velocidad del viento exterior.

Para cuantificar el impacto sobre la demanda de la permeabilidad y de la zona de viento donde se situó el edificio, se han realizado simulaciones dinámica hora a hora, variando los caudales de ventilación en función del viento y de las tres permeabilidades estudiadas. Con los resultados de simulación para las tres zonas geográficas y para los tres grados de permeabilidad estudiados, se observa que la influencia sobre las demandas varían desde un 5% hasta un 14% en los casos más desfavorables. Por tanto, queda demostrada y cuantificada la influencia de los caudales de ventilación sobre la demanda energética anual.

Finalmente, se deduce que la influencia sobre la demanda es significativa, sin embargo, éstas son consecuencias del exceso de ventilación. Para disminuir el impacto sobre la demanda, es necesario actuar sobre las causas que la provocan, es decir sobre el exceso de ventilación. Por tanto, como resultado de este estudio se derivan las siguientes recomendaciones de diseño y uso. Respecto al efecto del viento, es un fenómeno inevitable, sin embargo, su efecto puede minimizarse instalando aireadores con compuertas, así el usuario podrá manipularlos en caso de viento fuertes. Otra forma de minimizar este caudal de ventilación, sería apagando los extractores a partir de la señal procedente de un anemómetro instalado en la cubierta (ventilación híbrida). Respecto a la permeabilidad del edificio, en el caso de la fachada se debe cuidar la estanqueidad, en el caso de edificios nuevos, mediante el diseño del sistema constructivo y el control de su ejecución; y en el caso de edificios existentes, mediante impermeabilización. Respecto a la estanqueidad de las ventanas, se debe recurrir a ventanas con mejor clasificación, especialmente en zonas muy expuestas al viento.

5. Referencias.

- ASHRAE Handbook:2005 Chapter 27 - Fundamentals - SI Units. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers / 2005 / ISBN: 1931862710.
- Axley, J.M (1989). Multi-zone dispersal analysis by element assembly, *Building and Environment*, 24 (2), 113-130, ISSN 0360-1323, doi: 10.1016/0360-1323(89)90001-2.
- BS 5925-1991 “Code for practice for Design of Buildings: Ventilation principles and designing for natural ventilation”
- Cardinale, N., Micucci, M., and Ruggiero, F. (2003). Analysis of energy saving using natural ventilation in a traditional Italian building, *Energy and Buildings*, 35(2), 153-159, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00024-5.
- CTE HS-3:2013. Código Técnico de la Edificación Calidad del aire interior, 2013. La Ley 38/1999 de 5 de noviembre. España.
- CTE SE-AE:2006. Código Técnico de la Edificación Seguridad Estructural. Acciones. 2006. España
- EES (2003). Engineering Equation Solver. University of Wisconsin-Madison.
- EN 12207:2000. Windows and doors. Air permeability. Classification.
- EN 13141-1:2004. Ventilation for buildings. Performance testing of components/ products for residential ventilation.
- Gids, W. and Phaff, H. (1982). Ventilation Rates and Energy Consumption due to Open Windows. A Brief Overview of Research in the Netherlands, *Proc. of the Third IEA Air Infiltration Center Conference*, Vol. 1, pp. 4–5.
- Herramienta Unificada LIDER CALENER HULC (versión 1.0.1528.1109 de 12 de julio de 2016).
- Koinakis, C. J. (2005) Combined thermal and natural ventilation modeling for long-term energy assessment: validation with experimental measurements, *Energy and Buildings*, 37, (4), 311-323, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.06.022.
- Meteonorm 6.1 (2015) Jan Remund and Stefan Kunz. Meteotest. Fabrikstrasse, 14, CH-3012 Bern. Suiza.
- Titon UK. S13. <http://www.titon.co.uk/pages/window-door-hardware/ventilators/slot-vents/trimvent-select-s13.php>

Transys 17. (2008). Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison
1500 Engineering Drive, 1303 Engineering Research Building Madison, WI
53706 – U.S.A.

UNE-EN 15242: 2007 Ventilation for buildings. Calculation methods for the
determination of air flow rates in buildings including infiltration.

UNE-EN 15251:2008 Indoor environmental input parameters for design and
assessment of energy performance of buildings addressing indoor air
quality, thermal environment, lighting and acoustics.

Van Den Bossche, N., Heijmans, N., Janssens, A. (2011). Energy saving
potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled
residential ventilation strategies, *Building and Environment*, 46(7),1497-
1503, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.01.023.