



Imagen cedida por JAGA

# VENTILACIÓN EN VIVIENDAS: EL RETO DE UNA VENTILACIÓN EFICAZ Y EFICIENTE

Víctor J. del Campo / Jon Terés

*En España el consumo energético en edificación supone el 20% del consumo de energía final, representando la climatización un 40% del mismo. Uno de los objetivos generales del CTE es reducir este consumo energético de las viviendas. Asimismo, en el caso particular de su DB-HS3 uno de los objetivos es garantizar unos caudales de ventilación mínimos. El equilibrio entre ambos supone un importante reto tecnológico necesario de abordar. La búsqueda de este equilibrio supone obtener la mejor calidad de aire con el mínimo consumo energético, mediante una ventilación eficiente y eficaz, que responda adecuadamente a CUÁNDO, DÓNDE y CUÁNTO.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La ventilación es el proceso de renovación de aire mediante medios naturales o mecánicos de un local. Para mantener una buena Calidad de Aire Interior, en adelante IAQ (Indoor Air Quality), el aire viciado, entendiéndose éste como aquel afectado por las fuentes contaminantes interiores: el ser humano, mascotas, cocción, mobiliario, elementos de decoración, tabaco..., debe ser sustituido por aire fresco del exterior. Caudales de ventilación deficientes pueden causar excesiva humedad, y patologías asociadas: condensaciones, hongos, bacterias..., sobrecalentamiento y olores, así como concentraciones de contaminantes mayores de las recomendadas. Por otra parte, caudales de ventilación excesivos garantizarán, por lo general, dependiendo de la calidad de aire exterior, una adecuada IAQ, pero implicarán un mayor consumo energético, tanto directo, consumo del propio sistema, como indirecto, consumo de los sistemas de climatización empleados para adecuar ese caudal de aire nuevo a las condiciones de confort interior.

El desarrollo de nuevas técnicas constructivas dirigidas a una reducción del consumo energético ha dado lugar a edificios cada vez más estancos, en detrimento de los caudales de ventilación que, de forma involuntaria, se producían a través de las imperfecciones constructivas. Nos encontramos ante un problema que hace unos años se solucionaba 'solo' y que en la actualidad constituye un aspecto a tener muy en cuenta en cualquier tipo de edificación actual, independientemente de su uso. Es necesario implementar sistemas de ventilación que renueven eficazmente el aire viciado. La eficiencia energética de la ventilación estará íntimamente ligada a que ésta repercuta mínimamente en el aumento del consumo energético global de la vivienda.

El presente trabajo revisa en primer lugar distintos conceptos referidos a la IAQ poniéndolos en relación con el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE)<sup>1</sup>, y el CTE<sup>2</sup>. Se continúa con las distintas tecnologías de ventilación más eficientes y se comentan diversos ensayos realizados para evaluar dichas tecnologías. Finalmente, se exponen las conclusiones obtenidas de esta revisión.

## 2. CALIDAD DE AIRE INTERIOR Y VENTILACIÓN. NORMATIVA ESPAÑOLA.

Actualmente una persona de zonas urbanas pasa entre el 80% y 90% de su tiempo en ambientes interiores. Esta situación pone de manifiesto la importancia que tiene la IAQ tanto en la eficiencia energética global como en el confort de las personas en los locales en los que desarrollan su actividad cotidiana.

ASHRAE<sup>3</sup> define una IAQ aceptable como aquella en la que el aire no tiene contaminantes conocidos en concentraciones peligrosas para la salud y respecto del cual al menos un 80% de las personas expuestas a él no expresa disconformidad<sup>4</sup>. De esta definición deriva la normativa específica que cada país de la Unión Europea ha desarrollado en relación con las exigencias de IAQ.

En España la normativa relativa a la IAQ en recintos no industriales se recoge en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) para edificios en general, y en el Código Técnico de la Edificación (CTE) para el caso concreto del sector residencial. El RITE categoriza la IAQ en distintos niveles, denominados IDA (del Inglés "Indoor Air"). Así, se define la IDA 1 como un aire de alta calidad, IDA 2 de calidad mediana, IDA 3 de calidad moderada e IDA 4 de baja calidad.

### 2. 1. Exigencias de la IAQ según el uso del edificio

Categorizada la IAQ, el RITE establece la calidad de aire mínima que debe tener un recinto, de aplicación del RITE: todos los no industriales salvo uso residencial, según su uso. A continuación, se presenta la IAQ exigida para los diferentes tipos de recinto (RITE, IT 1.1.4.2.2.):

IDA 1: Hospitales, clínicas, guarderías, laboratorios y similares.

IDA 2: Oficinas, residencias, locales comunes de edificios hoteleros, salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y similares y pabellones destinados a piscinas.

IDA 3: Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de edificios hoteleros, restaurantes, cafeterías bares,

salas de fiestas, gimnasios locales para el deporte (salvo piscinas) salas de ordenadores y similares.

IDA 4: Nunca se empleará, salvo para casos especiales debidamente justificados.

En ausencia de fuentes contaminantes en ambientes residenciales<sup>5</sup> la IAQ se puede medir en función de la concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente<sup>6</sup>. El CO<sub>2</sub> es un buen indicador de la concentración del resto de bioefluentes humanos al estar íntimamente ligado con ellos. Y por tanto, resulta ser también un indicador adecuado para categorizar la IAQ de las viviendas. Además, en los recintos donde no haya una fuente de vapor adicional en la vivienda, todos los habitáculos salvo cocinas y baños, las variaciones en la humedad ambiental también son consecuencia de la actividad metabólica y el número de personas, por lo que, indirectamente, es tenida en cuenta.

Argumentado que la concentración de CO<sub>2</sub> es un parámetro adecuado para categorizar la IAQ, queda por establecer los niveles de concentración para cada IDA. Para ello, es preciso conocer la incidencia que tienen las concentraciones de CO<sub>2</sub> sobre el ser humano<sup>7</sup>:

350 ppm: concentración media en el aire exterior (aumenta cerca de 1 ppm por año, por el momento)

400 - 475 ppm: equilibrio normal

500 - 800 ppm: condiciones de bienestar en los edificios

800 - 1.000 ppm: media aceptable en recintos interiores

1.000 ppm: empiezan a percibirse fallos en las destrezas humanas

1.200 ppm: límite recomendado en recintos interiores

1.500 ppm: límite superior de las condiciones de bienestar

1.800 ppm: la percepción del cerebro disminuye un 30%, aumentan un 50% los errores mecanográficos, disminuye la capacidad de aprendizaje y empeoran las prestaciones del trabajador.

18.000 ppm: concentración máxima en un submarino

35.000 ppm: problemas de respiración. No por toxicidad, sino por desplazamiento, por la disminución de O<sub>2</sub> en el aire que implica.

45.000 ppm: aire exhalado por una persona

85.000 ppm: síntomas de paralización

200.000 ppm: mortal en poco tiempo

## 2.2. Categorización de la IAQ

Para categorizar la IAQ, el RITE establece diversos criterios con su exigencia correspondiente: por nivel de CO<sub>2</sub>, por calidad de aire percibido, por tasa de aire exterior por persona o superficie (métodos indirectos) y por niveles de concentración de contaminantes específicos.

Por nivel de CO<sub>2</sub>. La Tabla 1 muestra las categorías de IAQ en función de los valores de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre el nivel de concentración en el aire exterior.

CATEGORÍA	ppm
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1200

Tabla 1. Categoría del aire interior en función de la concentración de CO<sub>2</sub> medida sobre la concentración exterior (Tabla 1.4.2.3., IT 1.1.4.2.3., RITE)

Por calidad de aire percibido. Basado en la percepción de sustancias olorosas, es un método procedente del informe CR 1752 del

CEN. Se pueden encontrar algunos estudios de este método en la bibliografía, como el publicado por Fanger en 1988<sup>8</sup>. La dificultad de su puesta en práctica es la razón de que el método descrito en este informe apenas se aplique en la actualidad. En la Tabla 2 se muestran las categorías en función de este criterio.

CATEGORÍA	Dp
IDA 1	0,8
IDA 2	1,2
IDA 3	2,0
IDA 4	3,0

Tabla 2. Categoría del aire interior por calidad de aire percibido, en decipols (Tabla 1.4.2.2., IT 1.1.4.2.3., RITE)

Por tasa de aire exterior por persona (método indirecto). Es el método empleado por el CTE para viviendas en dormitorios (5 l/s por persona) y salas de estar (3 l/s por persona). Se asigna una tasa de aire de renovación por persona. La Tabla 3 indica las tasas en función de la categoría exigida en función del uso.

CATEGORÍA	dm <sup>3</sup> /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 3. Categoría del aire interior y tasa de ventilación (Tabla 1.4.2.1., IT 1.1.4.2.3., RITE)

Estos valores, según el RITE, son válidos para locales donde se dan emisiones de baja intensidad, para actividades de 1,2 Met y en ausencia de fumadores. Para otras actividades, las tasas de aire de la tabla deberán multiplicarse por el factor resultante de dividir la actividad metabólica en Met<sup>9</sup> por 1,2. En el caso de fumadores, los caudales por persona deben duplicarse.

Por tasa de aire exterior por unidad de superficie (método indirecto). Es también el utilizado por el CTE para algunas estancias, como cocinas. Según el RITE, en espacios interiores no industriales ni residenciales este método sólo puede emplearse para recintos no destinados a ocupación humana permanente, y sin un uso claramente definido (almacenes...). Para estos locales, tal y como se muestra en la Tabla 4, no es aplicable la calidad de aire IDA 1.

CATEGORÍA	dm <sup>3</sup> / (s · m <sup>2</sup> )
IDA 1	No aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Tabla 4. Caudales de aire exterior por superficie (Tabla 1.4.2.4., IT 1.1.4.2.3., RITE)

Por niveles de concentración de contaminantes específicos. Para recintos donde hay unas emisiones contaminantes específicas y conocidas (laboratorios, almacenes de pintura...) se empleará el método de dilución. Este método se basa en el cálculo del caudal de aire necesario para la reducción de la concentración de contaminantes. El caudal de aire requerido se calcula según la ecuación:

CATEGORÍA	TASA DE VENTILACIÓN		CONCENTRACIÓN CO <sub>2</sub> (SOBRE AIRE EXTERIOR) ppm	TASA DE VENTILACIÓN POR UNIDAD DE SUPERFICIE dm <sup>3</sup> / (s · m <sup>2</sup> )
	POR PERSONA l/s	MÉTODO OLFATIVO		
IDA 1	20	0,8	350	no aplicable
IDA 2	12,5	1,2	500	0,83
IDA 3	8	2,0	800	0,55
IDA 4	5	3,0	1200	0,28

Tabla 5. Resumen de los cuatro métodos para alcanzar la categoría de aire deseado<sup>10</sup>

$$Q_{IMP} = q_{emi} / (C_{IDA} - C_{IMP})$$

Donde:

Q<sub>IMP</sub> es el caudal volumétrico de aire de impulsión (m<sup>3</sup>/s)

q<sub>emi</sub> es el caudal másico de emisión en el recinto (mg/s)

C<sub>IDA</sub> es la concentración permitida en el recinto (mg/m<sup>3</sup>)

C<sub>IMP</sub> es la concentración en aire de impulsión (mg/m<sup>3</sup>)

La Tabla 5 resume los distintos niveles exigidos en los distintos parámetros según el método para alcanzar la categoría de aire interior deseada.

### 3. EL RETO TECNOLÓGICO DE LA VENTILACIÓN

Por lo tanto, el objetivo último de la normativa no es cómo conseguir una calidad de aire, sino conseguir esa calidad de aire. Ventilar no es el fin, sino que es el medio para conseguir un fin: mantener una buena IAQ. El método establecido por el CTE (número de ventilaciones constante) es una vía para alcanzar el objetivo, pero no la única ni necesariamente la mejor.

La mejora en este campo se logrará utilizando estrategias que aseguren la consecución de una adecuada IAQ con el mínimo consumo energético. Actuando sobre la ventilación, se actúa indirectamente sobre el consumo asociado a la climatización de la vivienda, que representa el mayor porcentaje del consumo global de la vivienda. La ventilación se convierte así en un factor clave para la IAQ, y en las estrategias de reducción de consumos en las instalaciones de la vivienda.

La ventilación es cuantificada mediante su caudal. El caudal de ventilación es la cantidad volumétrica por unidad de tiempo que debemos tomar del exterior para mantener el interior en condiciones higiénicas y de salud. A través de la ventilación se obtiene la renovación de aire necesaria para obtener y mantener una adecuada IAQ.

En una vivienda, este caudal de ventilación puede darse de dos formas: la ventilación voluntaria (a través de apertura de ventanas, puertas, y ventilación a través de aberturas o conductos, bien de forma natural, mecánica o híbrida). La ventilación involuntaria (debida principalmente a infiltraciones).

Como se ha mencionado en la introducción, el problema de la ventilación se hace mucho más presente con el desarrollo de las construcciones cada vez más estancas. Con el fin de garantizar la IAQ a través de unos caudales mínimos, desde la aprobación del CTE, las viviendas, locales y garajes de nueva construcción deben ajustarse al CTE DB HS3 de calidad del aire interior. Esta normativa establece la exigencia de garantizar unos caudales mínimos de renovación de aire de manera permanente. Es decir, tomando como referencia la clasificación realizada anteriormente, utiliza métodos indirectos de control de la

	q <sub>v</sub> caudal de ventilación mínimo exigido (l/s)	Por ocupante		Otros parámetros
		Por m <sup>2</sup> útil		
Dormitorios	5			
Salas de estar	3			
Aseos y cuartos de baño				15 por local
Cocinas		2		50 por local
Trasteros y sus zonas comunes		0,7		
Aparcamientos y garajes				120 por plaza
Almacenes de residuos		10		

Tabla 6. Caudales de ventilación exigidos por el CTE (Tabla 2.1, DB – HS3, CTE)

calidad del aire: tasa de aire exterior por persona o por unidad de superficie. Estos caudales de ventilación dependen del tipo de estancia de la vivienda (CTE, DB-HS), tal y como se indica en la Tabla 6.

Conviene destacar tres aspectos dentro de este documento normativo: el primero es que no se considera la renovación de aire que se da por las infiltraciones. Es decir, la ventilación según el CTE tendría un caudal de ventilación exigido *per se* + uno no cuantificado (las infiltraciones). El segundo, que se exige esa ventilación de manera continuada, independientemente de la ocupación real y de la actividad de la vivienda en cada momento. Y el tercero es que trasladando estos valores a los criterios de ventilación expuestos en el RITE y aplicando los valores de la Tabla 3, la vivienda tiene valores de IDA 4 en habitaciones, e inferiores a esa categoría en los salones, lo cuál resulta llamativo.

Estos tres aspectos tienen un margen de mejora muy amplio en cuanto al necesario equilibrio ideal de sostenibilidad-calidad de aire. Por una parte, en el hecho de establecer caudales de ventilación sin considerar las infiltraciones. Por otra parte, al exigir esos caudales de ventilación de forma permanente. En el primer aspecto, aunque las infiltraciones pueden resultar de difícil cuantificación, este problema puede quedar soslayado por los avances tecnológicos actualmente al alcance, como se mostrará más adelante. En el segundo aspecto, se están obviando los horarios de ocupación de la vivienda de la familia actual, caracterizada en muchos casos por la escasa presencia en el hogar salvo al atardecer y durante la noche. Incluso en épocas de vacaciones, en muchos casos la vivienda permanece vacía durante una gran parte del tiempo.

Si añadimos una comparación entre los números de personas que viven en la casa obtenidos según los cálculos del CTE, y el número de personas que realmente tiene de media una vivienda en España, 2,84 personas/vivienda (INE 2001), se puede observar que, de acuerdo a este criterio, se estará sobreventilando durante gran parte del tiempo de uso de la vivienda.

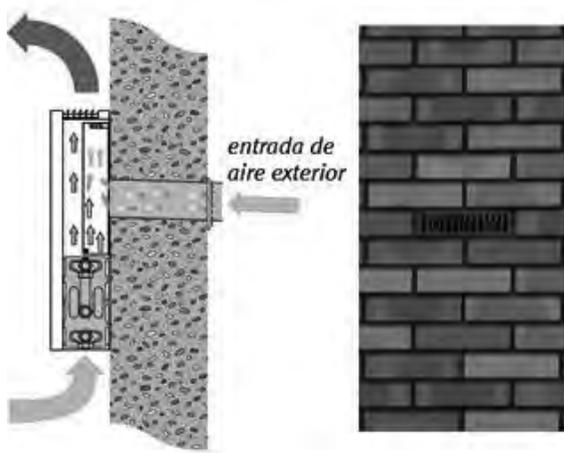
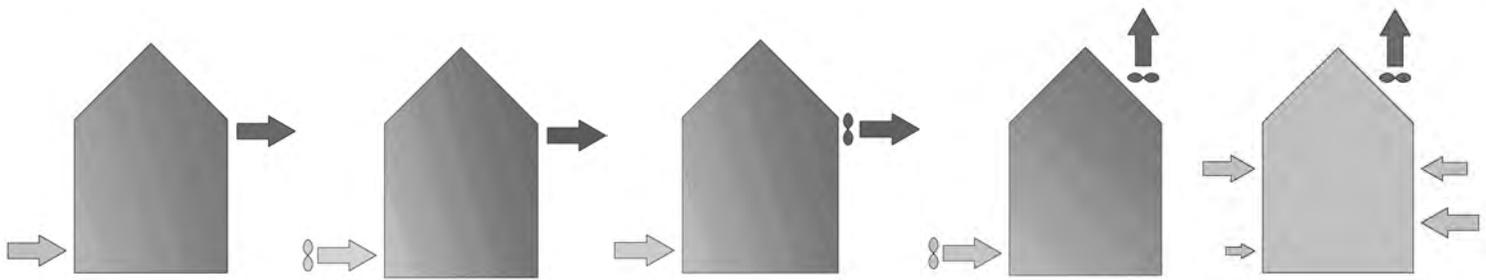


Fig. 1. Sistema A. Entrada y salida natural. Sistema B. Entrada mecánica y salida natural. Sistema C. Entrada natural y salida mecánica. Sistema D. Entrada y salida mecánica. Sistema D+. Entrada y salida mecánica (ventilación controlada). Redibujado de JAGA

Fig. 2. Esquema del Sistema D+ con unidad de climatización mediante agua a baja temperatura. En la foto de la derecha, aspecto de la apertura en fachada. Imagen cedida por JAGA

A la luz de todo esto, no se considera desacertado el hecho de que la unidad de ventilación según la normativa sean  $\text{litros} \cdot \text{segundo}^{-1} \cdot \text{persona}^{-1}$ , siempre que se añada a 'persona' el adjetivo 'presente'. Esta pequeña puntualización requiere de unos medios tecnológicos que posibilitan la denominada ventilación bajo demanda y actualmente ya disponibles en el mercado (una de cuyas variantes es contemplada por el CTE para el caso de ventilación de garajes, utilizando en este caso el CO como gas testigo).

De acuerdo al espíritu del CTE, la IAQ obtenida por la ventilación se debe lograr de la forma energéticamente más sostenible. Para ello, el sistema de ventilación debe tener la respuesta adecuada a las preguntas CUÁNDO, DÓNDE y CUÁNTO ventilar. De esta forma, se tendrá una ventilación eficaz, consiguiendo su objetivo final, que es la IAQ adecuada, y eficiente, con requerimientos mínimos de energía. La ventilación bajo demanda resulta una solución viable para responder a estos requerimientos adecuadamente.

Según el RITE este tipo de tecnología entraría dentro de una IDA C6 "Control por sensores que miden parámetros de calidad de aire (VOC o CO<sub>2</sub>)" El RITE lo recomienda para locales de gran ocupación<sup>11</sup>.

## 4. TECNOLOGÍAS ACTUALES DE VENTILACIÓN BAJO DEMANDA

### 4.1. Ventilación bajo demanda: concepto y funcionamiento

Consiste en un sistema de ventilación conectado a un sensor y dotado de una sistema inteligente que la activa automáticamente a partir de un estímulo exterior de naturaleza diversa (concentración de un gas testigo, movimiento...).

Actualmente existen en el mercado distintas tecnologías de estímulo-respuesta. Algunos ejemplos son:

- Sistema higrotérmico híbrido: se trata de un sistema de control de caudales de ventilación en función de la humedad ambiental. El suministro de aire se hace a través de unos aireadores situados en el marco de la ventana, cuya sección de paso varía en función de la humedad. La extracción se realiza igualmente por rejillas higrorregulables situadas en los locales húmedos.

- Detectores de presencia por infrarrojos: el sistema de ventilación se activa, a través de un sensor de movimiento infrarrojo sólo cuando el local está ocupado. Presenta como principal carencia el emplear la presencia como único criterio sin emplear otros factores importantes en la IAQ como puede ser la actividad metabólica que se desempeñe. Es interesante su uso en almacenes, zonas de paso, trasteros, etc.

- Ventilación en función de la concentración de gas testigo: se necesita instalar sensores del gas testigo, estableciéndose los caudales de ventilación en función de la concentración interior de dicho gas.

### 4.2. Gestión de admisión y extracción de aire

Determinada la forma de activación del sistema, queda por establecer la gestión de la impulsión y extracción del aire. Existen diversos tipos de sistemas (Fig. 1.):

**SISTEMA A:** Entrada y Salida natural. Es el más sencillo y económico. Sus principales desventajas son la ausencia de regulación, las malas prestaciones energéticas y que el caudal de ventilación es dependiente de las condiciones meteorológicas exteriores.

**SISTEMA B:** Entrada mecánica y Salida natural (sobre-presión). Ha sido empleado en países como Holanda. También es el sistema empleado en coches. Se controla la entrada de aire, y la salida se produce de manera natural, por fisuras, aberturas de la envolvente...

**SISTEMA C:** Entrada natural y Salida mecánica (Local en depresión). Es un sistema aceptable de ventilación y fácil de instalar. Los principales inconvenientes son la difícil regulación, o su comportamiento energético. Es el exigido por el CTE, y el que en Holanda se impuso como obligatorio en 1975, siendo abandonado

hace algunos años. En este caso, se fuerza el caudal de extracción de aire, efectuándose la entrada de forma natural, a través de aberturas, fisuras...

**SISTEMA D:** Entrada y Salida mecánica (Local Equilibrado). Se controlan tanto los caudales de entrada como de salida. Proporciona una buena renovación de aire y supone un ahorro energético mayor que los anteriores. Existe una toma de aire exterior que a través de conductos interiores se va ramificando a los distintos locales a ventilar. Igualmente, la expulsión de ese aire se realiza a través de tomas en cada uno de los locales, que convergen en una conducción y salen al exterior a través de una salida única, permitiendo mejorar la eficiencia del sistema a través de un sistema de ventilación efectivo con recuperación de calor.

**SISTEMA D+:** Entrada y Salida mecánica (Ventilación controlada). Este sistema surge de una evolución del sistema D (Fig. 2.). Al igual que en el sistema D, tanto la entrada como la salida son controladas mecánicamente. La salida se puede realizar en cada local, convergiendo todas ellas en un único conducto de salida que las agrupa, o por medio de extracciones en locales húmedos. La peculiaridad de este sistema consiste en que cada habitáculo tiene su toma a través de la fachada exterior. Permitiendo incorporar un sistema de acondicionamiento previo a su emisión, regulando de manera sencilla el caudal de ventilación y las condiciones de climatización para cada local. Este sistema de calefacción puede ser de agua a baja temperatura (Low H<sub>2</sub>O), para aumentar la eficiencia energética global.

5. EXPERIENCIAS Y ENSAYOS

Se han realizado distintas experiencias con ventilación bajo demanda en edificios de distintos usos. Un proyecto de investigación llevado a cabo por el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad del País Vasco (EHU-UPV) y VISE-SA (Vivienda y Suelo de Euskadi S.A.) dotó a los salones de 90 viviendas de Bilbao de este sistema y estudió su comportamiento. El equipo de ventilación estaba dotado de sensores de CO<sub>2</sub> que controlaban la ventilación de manera dinámica. Se adoptó el sistema D+.

El sistema ensayado entraba en funcionamiento cuando la concentración de CO<sub>2</sub> superaba el umbral de 800 ppm y el caudal de impulsión aumentaba dinámicamente alcanzando su máximo para una concentración ambiental de CO<sub>2</sub> de 1200 ppm (Fig. 3.).

Con la técnica de gases trazadores<sup>12</sup> se evaluaron los caudales de ventilación por el método de caída de la concentración. La fiabilidad de los resultados obtenidos en cada sonda se calculó mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson, verificando la validez de las mediciones (Fig. 4.). Los ahorros de calefacción para el salón que se obtuvieron para un día típico de invierno en Bilbao fueron de en torno al 10% en el caso más desfavorable. Además, mediante los gases trazadores se probó que la edad del aire<sup>13</sup> era adecuada en todos los puntos del área ocupada, mostrando así la ausencia de zonas de estancamiento.

También se pueden encontrar ensayos similares en otros ámbitos como en edificios de colegios, habiéndose desarrollado estudios en distintos colegios de Europa. En este caso, si se aplicase la normativa española, según el RITE, los recintos utilizados como "Aulas de Enseñanza", deberían tener una categoría IAQ IDA 2. El "¡Error! No se encuentra el origen de la referencia" muestra el comportamiento de este sistema en una de las monitorizaciones

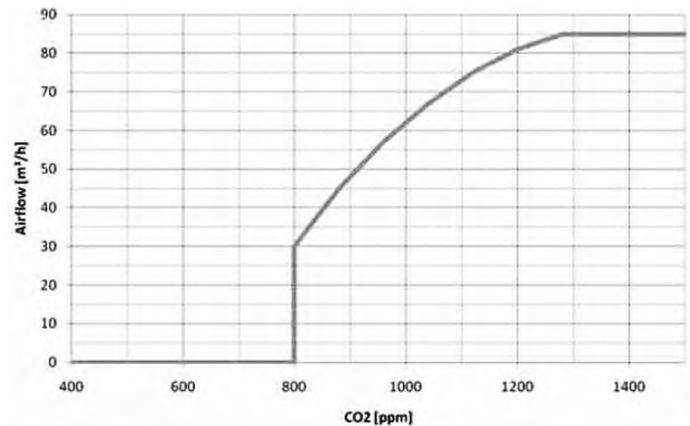


Fig. 3. Curva de comportamiento del sistema. Caudal en m³/h en función de la concentración interior de CO<sub>2</sub>, en ppm. Imagen cedida por JAGA

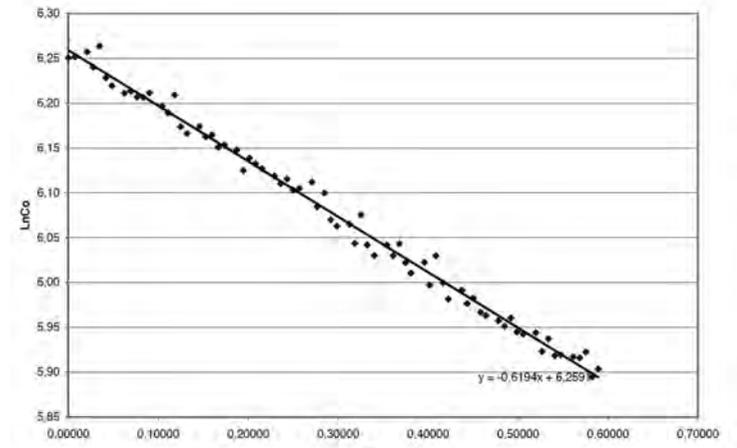


Fig. 4. Distribución de las mediciones y recta de regresión. De una de las sondas en el ensayo con concentración a 1200 p.p.m. de una de las sondas, representando en el eje x el tiempo desde la activación de la ventilación y en el eje y el logaritmo de la concentración del gas testigo (R= 0,996 N= 0,62 ren/hora).



Fig. 5. Instalación de la unidad en el salón de la vivienda. Imagen: Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, EHU-UPV

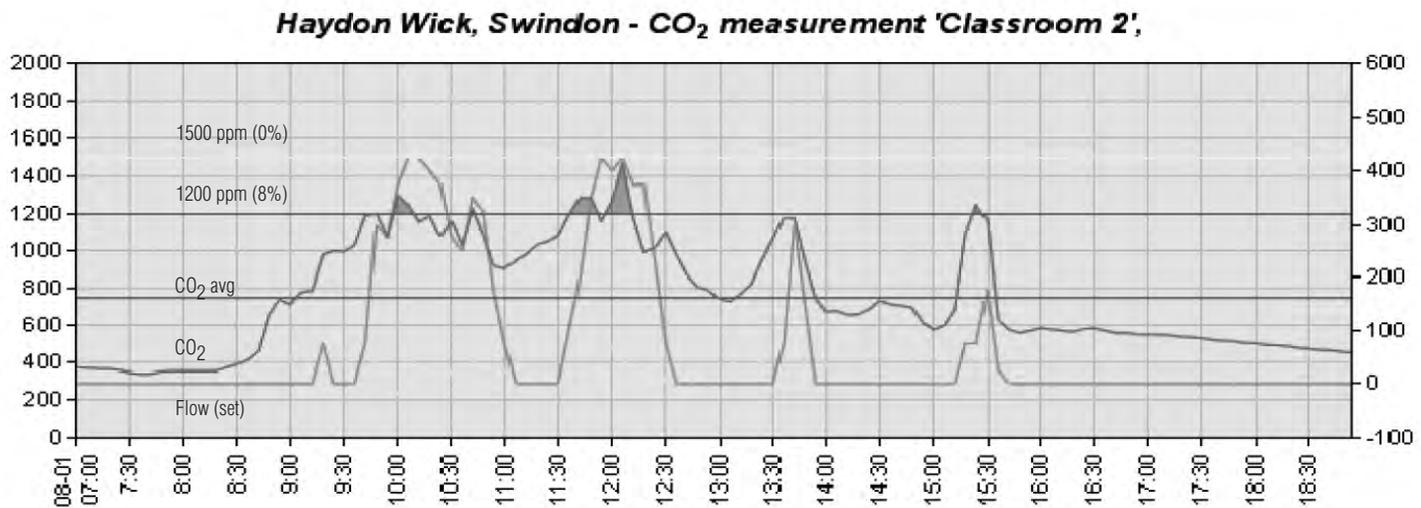


Fig. 6. Mediciones de concentración realizadas por Jaga al ensayar en un aula escolar un sistema de ventilación bajo demanda con una gestión de la misma Tipo "D+". Imagen cedida por JAGA

realizadas en el Colegio Haydon Wick de Swindon, Inglaterra. El sistema ensayado incluía una gestión independiente en cada aula del caudal de ventilación.

Como puede comprobarse en la Fig. 6., la concentración de CO<sub>2</sub> no supera el nivel de 1500 ppm en todo el día, y tan sólo en un 8% del tiempo la concentración es mayor que 1200 ppm. El nivel medio de CO<sub>2</sub> durante el periodo de medición no llega a las 800 ppm. Si se observa el patrón de funcionamiento de la ventilación, se aprecia cómo se activa sólo en los momentos en los que la concentración sobrepasa unos niveles determinados, manteniéndose apagado el resto del tiempo.

Según el RITE, el caudal de ventilación constante para este tipo de local (Enseñanza, IDA 2) sería 12,5 l/s por persona (suponiendo que el aula tenga 25 personas: 312,5 l/s). El sistema de ventilación bajo demanda está conectado en las horas pico de demanda con un caudal superior al exigido, y con menos caudal, o incluso apagado en gran parte del resto de tiempo, cuando la concentración es considerada adecuada. Asimismo, vemos que la calidad del aire no se ve perjudicada (aunque haya momentos que supera los 1000 ppm máximos permitidos por el RITE para una IDA 2), sino que por el contrario, se garantiza su estabilidad en los niveles previamente establecidos.

## 6. CONCLUSIONES

El sistema de ventilación bajo demanda reduce el consumo energético para obtener la IAQ y el confort térmico necesarios. Presenta repercusiones positivas en el aspecto económico. Se adecúa a la categoría de IAQ a lo largo del tiempo, con un caudal medio de

renovación menor, lo que implica un menor consumo de energía, tanto en el propio sistema de ventilación como, y sobre todo, en el sistema de climatización. Se puede afirmar que la ventilación bajo demanda es una técnica que mediante el control del caudal de ventilación de manera dinámica, se aproxima a la IAQ deseada, con caudales de ventilación menores a los exigidos por el CTE.

Igualmente, el sistema ensayado (Bajo demanda, D+) permite el empleo de calefacción de agua a baja temperatura, mejorando el comportamiento energético global. En el caso de combinarla con una gestión de impulsión-expulsión D+, permite distintas exigencias de IAQ (mediante los valores máximos asumidos de concentración de CO<sub>2</sub> para la activación del sistema) en cada local en función del uso. Es decir, se puede establecer, por ejemplo, que en una habitación de estudio se tenga una categoría mayor IAQ (el límite máximo de CO<sub>2</sub> sea menor) que en el salón. El sistema se adecua no sólo a las necesidades reales objetivas de ventilación (cuánto nivel de CO<sub>2</sub> hay) sino también a las necesidades reales subjetivas (para qué se va a usar la habitación, y cuál es el nivel de CO<sub>2</sub> máximo optimizado).

Se puede concluir que la ventilación bajo demanda facilita la labor del arquitecto ya que garantiza el caudal de ventilación necesario en cada momento para lograr y mantener la IAQ preestablecida, optimizando el consumo energético.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El autor de este artículo, Jon Terés Zubiaga, cuenta con la financiación del Gobierno Vasco, a través de una ayuda del Programa de Formación de Personal Investigador del Departamento de Educación, Universidades e Investigación, Convocatoria 2009.

## NOTAS

1. Ministerio de Industria y Energía, Gobierno de España. 2007. REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Boletín Oficial del Estado. Número 207 de 29 de agosto de 2007, Sección 1. 35931-35984.
2. Ministerio de Vivienda, Gobierno de España. 2006. REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado. Volumen 074 de 28 de marzo de 2006, Sección 1. 11816-11831.
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
4. ASHRAE, 62-1999, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
5. En ambientes residenciales no se supone la presencia de una fuente de contaminación importante (cómo podría ser en laboratorios, almacenes de pintura, garajes, cocinas industriales...).
6. Concentración medida siempre sobre la concentración de CO<sub>2</sub> de fondo, que oscila entre 350 y 450 ppm. En las proximidades de autopistas e industrias la concentración de CO<sub>2</sub> puede ser notablemente mayor.
7. Instituto para la diversificación y el Ahorro de Energía, IDAE. "Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios", RITE-2007, IDAE, Madrid, 2007.
8. FANGER, P.O. "Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoor", Energy build, n. 12, 1988, pp. 1-7.
9. Met: Es la unidad de medida del índice metabólico. Es definida como la cantidad de calor emitido por una persona media sentada por metro cuadrado de piel. Equivale a 58 W/m<sup>2</sup>. Este índice irá relacionado con la actividad desarrollada (Dormir, estar sentado, andar, correr...). La UNE-EN-ISO 7730 relaciona actividades con su tasa metabólica correspondiente.
10. Instituto para la diversificación y el Ahorro de Energía, IDAE. "Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios", RITE-2007, IDAE, Madrid, 2007.
11. Instituto para la diversificación y el Ahorro de Energía, IDAE. "Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios", RITE-2007, IDAE, Madrid, 2007.
12. Técnica de gases trazadores: El principio básico de esta técnica consiste en liberar una cantidad de un gas, (llamado gas trazador), que permite visualizar el trayecto que sigue el gas en unas determinadas condiciones de ventilación, para estudiar su comportamiento. Ello permite obtener unas condiciones representativas de la situación real y llevar a cabo distintos estudios y mediciones sobre la ventilación como mediciones de infiltraciones y renovaciones de aire en un edificio, estudiar los movimientos del aire y la dispersión de los contaminantes, medir la eficacia de los extractores de humo o el caudal de aire en los conductos, entre otros ejemplos. La evaluación de los caudales de aire mediante gases trazadores puede ser realizada por 3 métodos: por caída de la concentración, por emisión constante y por concentración constante.
13. Edad del aire: es el tiempo que el aire ha estado en la habitación. Dependerá no sólo del caudal de ventilación en la habitación, sino también de la eficiencia de intercambio de aire en la habitación. Fuente: Luma Sense Technologies.

**Victor J. del Campo Díaz** es Dr. Ingeniero Industrial y Catedrático de Escuela Universitaria de Máquinas y Motores Térmicos. (UPV/EHU). Autor de diversos artículos y estudios, sus principales líneas de investigación son "Calidad de Aire Interior, Confort Térmico y Ventilación" y la "Eficiencia energética en sistemas de calefacción".

**Jon Terés Zubiaga**. Arquitecto por la ETSA de la Universidad de Navarra (2009) y diploma en Restauración y Rehabilitación de Arquitectura por la misma. Master de Investigación en Eficiencia Energética en el Transporte, Industria y Edificación por la ETS de Ingeniería de Bilbao (2010). Actualmente está desarrollando la Tesis doctoral en el grupo "Energética en la Edificación" (ENEDI), adscrito al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Escuela de Ingeniería del la EHU-UPV. El campo de estudio es la Eficiencia Energética mediante la actuación en la envolvente térmica y mejora del comportamiento térmico global del edificio, centrado especialmente en la rehabilitación.