

Calidad de aire interior y eficiencia energética

Posibilidades de mejora detectadas en el Código Técnico de la Edificación



Beatriz Rodríguez-Soria*

José M. Pérez-Bella*

Javier Domínguez-Hernández*

Enrique Cano-Suñén*

Juan J. del Coz-Díaz**

Dra. Ingeniera Industrial

Ingeniero Industrial

Dr. Ingeniero Industrial

Ingeniero Industrial

Dr. Ingeniero Industrial

* UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Centro Politécnico Superior. C/ María de Luna, s/n - 50018 Zaragoza. Tfno: +34 976 762100. brs@unizar.es

** UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Escuela Politécnica Superior. Dpto de Construcción. Edif. Viesques, 7 - 33204 Gijón. Tfno: 985 182042.

Recibido: 18/04/2011 • Aceptado: 05/07/2011

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4140>

INDOOR AIR QUALITY AND ENERGY EFFICIENCY

Improvement possibilities identified in the Spanish Building Technical Code

ABSTRACT

• The Spanish Building Technical Code, named CTE standard rule, establishes the present safety and habitability requirements in the building projects. This standard has been implemented in several phases since the year 2006. The CTE has adopted recent international approaches to other building standard rules, such as the performance-based codes or objectives, improving the previous prescriptive-based standards.

This performance-based behaviour has been reached in some chapters of the standard rule more effectively than in others. The practical application of the standard Basic Documents (BD) HS3 (Indoor air quality), HE1 (Energy demand limits) and HE2 (Efficiency of heating/air-conditioning systems), to a specific building project gives place to an incoherent building solution. Moreover, in some cases both standard documents are incompatible.

This research paper develops a critical valuation of the three BD's of the CTE standard rule, showing the interferences in the practical application of the BD-HS3 standard with the other two rules: BD-HE1 and BD-HE2. Authors analyze the problems identified in relationship with the energy efficiency, thermal comfort and indoor air quality. A complete revision and correction measures are proposed for future modifications in the standard BD rules in order to fulfill the basic requirements at the different project, construction and final use phases.

The changes in the code that are necessary are suggested, so as the technical systems that are able to satisfy in a performance way the demands resulting from the integral applications of the Basic Documents.

• **Keywords:** Housing, facilities, building technical code, ventilation, energy saving, air quality, thermal comfort.

RESUMEN

Desde el año 2006, se ha implantado en varias fases la nueva normativa de edificación española, denominada *Código Técnico de la Edificación*. Con ella se ha pretendido introducir una normativa basada en prestaciones, superando la reglamentación prescriptiva anterior.

Este carácter prestacional se ha alcanzado en algunos documentos con mayor efectividad que en otros. La aplicación del Documento Básico (DB) HS3 (Calidad del aire interior) a un determinado proyecto de edificación en conjunción con los actuales documentos básicos HE1 (Limitación de demanda energética) y HE2 (Rendimiento de las instalaciones térmicas) da lugar al desarrollo de soluciones incoherentes, que en determinados casos llegan a ser incompatibles.

El artículo realiza una valoración crítica de los tres documentos normativos, presentando las interferencias de la aplicación del DB-HS3 sobre los restantes y analizando las problemáticas que se han detectado en relación a la eficiencia energética, confort térmico y calidad de ambiente interior en su aplicación conjunta. Se propone una revisión y corrección de estas problemáticas en futuras modificaciones de dichos documentos, haciendo posible el cumplimiento integral de todas las exigencias básicas, tanto en fase de proyecto como de obra y uso.

Para ello, se sugieren las modificaciones normativas necesarias, así como los sistemas técnicos capaces

de satisfacer las exigencias resultantes de una aplicación integral de los documentos básicos, de un modo prestacional.

Palabras clave: vivienda, instalaciones, código técnico edificación, ventilación, ahorro energético, calidad del aire, confort térmico.

la instalación de ventilación, así como sus implicaciones sobre la consecución de la adecuada limitación del gasto energético, centran las adaptaciones normativas propuestas y las soluciones técnicas indicadas, con objeto de permitir un cumplimiento simultáneo de todas las exigencias básicas demandadas.

Locales	Caudal de ventilación mínimo exigido q_v [l/s]		
	Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2	50 por local (<i>campana extractora de cocina</i>)
Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
Aparcamientos y garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	

Tabla 1: Caudales de ventilación mínimos exigidos. DB-HS3

1. INTRODUCCIÓN

La implantación secuenciada de la nueva normativa edificatoria recogida por el *Código Técnico de la Edificación* se ha realizado mediante la aprobación de diferentes documentos básicos, como el DB-HS3, DB-HE1 y DB-HE2, que centran la disertación del presente informe. La redacción de los tres documentos fue realizada en tiempos distintos, siendo el último en aprobarse el DB-HE2, a través del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

El DB-HE1 tiene como principal objetivo limitar la demanda energética para alcanzar el bienestar térmico en el interior del edificio, restringiendo las pérdidas o ganancias de calor en la envolvente y minimizando los riesgos de condensación en los cerramientos. Por su parte el DB-HE2, desarrollado por el RITE, establece las exigencias que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios, en cuanto a su eficiencia energética y seguridad. Finalmente el DB-HS3, recoge los medios de que deben disponer los recintos de los edificios residenciales, para que puedan eliminarse los contaminantes que se producen habitualmente durante su uso, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción del aire viciado.

La forma en que se imponen los caudales de ventilación necesarios, las prestaciones de filtración del aire utilizado por el sistema, el control y régimen de funcionamiento de

2. ÁMBITOS DE MEJORA DEL DB-HS3 SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y EL CONFORT TÉRMICO

2.1. MAGNITUD DE LOS CAUDALES DE VENTILACIÓN

El DB-HS3, de aplicación en edificios residenciales, especifica cómo debe realizarse la ventilación de estos recintos determinando la necesidad de introducir un caudal de admisión en los llamados locales secos, al mismo tiempo que se extrae dicho caudal por depresión, desde los locales húmedos. Ambos caudales, admisión y extracción, han de estar consecuentemente equilibrados. La magnitud de dichos caudales se asigna a cada recinto tal y como se aprecia en la Tabla 1.

En el caso de dormitorios y salones (locales secos), el caudal a considerar se basa en criterios de ocupación, contabilizando para salas de estar y comedores el total de los ocupantes de todos los dormitorios. Para los locales húmedos, se usan criterios dimensionales en el caso de cocinas, o bien tipológicos, independientes a su dimensión u ocupación, como en los aseos.

Adoptando como ejemplo una vivienda de 85 m^2 útiles, superficie media demandada en 2010 (Ministerio de Fomento, 2010), podemos suponer una configuración habitual con un dormitorio doble, dos dormitorios simples, dos aseos, salón-comedor y cocina, supuesta ésta última de 10 m^2 .

	Locales secos				Locales húmedos		Total	Equilibrado final
	Hab. doble	Hab. A simple	Hab. B simple	Salón-comedor	Baños (2)	Cocina 10 m^2		
Caudal admitido previsto [dm^3/s]	5x2	5x1	5x1	3x4	-	-	32	50
Caudal extraído previsto [dm^3/s]	-	-	-	-	15 x 2	2x10	50	50

Tabla 2: Equilibrado de caudales de ventilación para ejemplo anterior de vivienda tipo.
 Fuente: Autores

Para ese caso típico, se aprecia un incremento en el caudal admitido en los locales secos (ver Tabla 2), de 18 dm³/s debido al equilibrado de caudales. La dimensión de la cocina y la existencia de dos baños, obliga por lo tanto a incrementar el caudal de admisión previsto en los dormitorios y salón en un 56%.

Dada la necesidad de equilibrar los caudales admitidos y extraídos, la ventilación resultante para los locales secos es con frecuencia muy superior a la mínima exigida. La ventilación exigida para cuartos húmedos, no debería imponer un mayor caudal de ventilación en dormitorios y salones.

Estos criterios, contrastan con los referidos por normas como el RITE o la UNE-EN 13779:2008 (Ventilación de los edificios no residenciales), para edificaciones con características ocupacionales que podrían ser perfectamente asimilables a la vivienda, en los que el caudal expulsado y admitido es independiente, sin exigir un equilibrado que iguale el caudal admitido en los locales secos, con el extraído en los locales húmedos.

Tomando como condiciones de partida una actividad metabólica frecuente en espacios residenciales, cercana a 1,2 met, (60 Kcal/h•m²) propia de actividades ligeras o en reposo (AENOR, 2006) y una baja producción de sustancias contaminantes por fuentes diferentes del ser humano, ambas normas permiten determinar el caudal de aire exterior de ventilación en base a la ocupación prevista (AENOR, 2008). Así, una calidad de aire interior IDA3, exigida para locales comerciales en general, se alcanzaría con un caudal de 8 dm³/s•ocupante. Una calidad de aire IDA2, propia de museos, piscinas o aulas de enseñanza, se obtendría por su parte con 12,5 dm³/s•ocupante.

Considerando el caudal exigido en la vivienda por ocupante, siendo éste el correspondiente a la suma de los exigidos para dormitorios y salón (ver Tabla 1), se obtendrían 8 dm³/s•ocupante. Estableciendo la comparación con la asignación de caudal recogida por el RITE, equivaldría a una calidad de aire IDA3.

No obstante, esta asignación se ve influida por el equilibrado de caudales, que incrementa la ventilación demandada. Retomando el ejemplo expuesto en la Tabla 2, dividiendo el caudal obtenido, 50 dm³/s, entre los cuatro ocupantes de la vivienda, la asignación resulta en 12,5 dm³/s•ocupante, valor equivalente a una calidad de aire interior clase IDA2, equivalente a un nivel superior al esperado (IDA3).

También es frecuente encontrar en el mercado distribuciones con un dormitorio doble, otro sencillo y dos

baños, lo que elevaría los caudales admitidos hasta exigencias similares a las establecidas para hospitales y clínicas (IDA1), lo que a todas luces se considera desproporcionado.

El caudal de aire exterior introducido y con ello la calidad del aire en una vivienda, se ve por lo tanto influenciada por el número de baños diseñados en proyecto o la consideración simple o doble que se asigne a la ocupación de las habitaciones. Ambos aspectos, son decisiones de proyecto motivadas por cuestiones relativas al programa de necesidades y configuran el caudal de aire necesario para ventilar los recintos de una vivienda, por encima de consideraciones de salubridad.

La aplicación de la normativa con la metodología de equilibrado actual y la única posibilidad de ventilar ininterrumpidamente, hace que los caudales sean mucho mayores que en el resto de las principales normativas europeas y americanas, donde además se permite la regulación con otros sistemas (DIN, 2009), (Urbanisme et Logement, Energie, Santé, 1982), (ASHRAE, 2009), (Palmer et al., 2009).

La prestacionalidad del método puede mejorarse simplemente permitiendo compensar la diferencia de caudal necesario a extraer en locales húmedos, con aperturas de admisión en los propios baños o en las cocinas, posibilidad recogida en otras normativas europeas (HM Government, 2010). De este modo, el caudal de ventilación en los cuartos secos no se vería incrementado ni influido por las necesidades de ventilación en cocinas o baños, ajustándose mejor las exigencias reales de ventilación.

2.2. PROTECCIÓN FRENTE A LOS CONTAMINANTES

A pesar de que la ocupación de los edificios residenciales se prolonga en el tiempo más allá de los horarios de apertura habituales en edificios destinados a actividades terciarias, para los primeros la normativa no establece ningún tipo de filtración necesaria del aire utilizado para ventilar, mientras que sí es obligatorio para los segundos.

La exigencia de ventilar con aire adecuadamente filtrado, variando las condiciones en función de la calidad del aire interior requerida (IDA) y las condiciones de contaminación del aire exterior (ODA), es recogida por el RITE en su apartado IT.1.1.4.2.4., estableciendo:

- ODA1: aire puro que puede contener partículas sólidas (p.ej. polen) de forma temporal.
- ODA2: aire con altas concentraciones de partículas.
- ODA3: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos.

Ubicación	Concentraciones en aire exterior				
	CO ₂ [ppm]	CO [mg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	SO ₂ [µg/m ³]	Total PM [µg/m ³]
Zona rural	350	< 1	5...35	< 5	< 100
Pueblo pequeño	375	1...3	15...40	5...15	100...300
Ciudad	400	2...6	30...80	10...50	200...1000

Tabla 3: Concentraciones de contaminantes en diferentes tipos de población IT.1.1.4.2 Exigencia de calidad de aire interior (IDAE, 2007).

- ODA4: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.
- ODA5: aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.

Tomando como definición de aire puro, aquel que cumple con los requerimientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), si estos requisitos son excedidos en menos de un 50%, el aire se asimila a ODA2, ODA3 u ODA4, mientras que si se exceden en más de un 50%, el aire se establece como ODA5 (Ministerio de la presidencia, 2007).

Adoptando como referencia los valores referidos en la Tabla 3 y considerando como aire puro el existente en zona rural, en casi todos los núcleos residenciales nos encontramos en condiciones ODA 2, 3 y 4, e incluso ODA5 en grandes ciudades como Madrid o Barcelona (ATECYR, 2006). Este hecho conlleva la obligatoriedad de disponer filtros incluso de varias etapas para los edificios dentro del ámbito de aplicación del RITE, cuyas caídas de presión se regulan según la norma UNE-EN 13053:2007 (AENOR, 2007).

Esta exigencia, no se refleja en el DB-HS3, siendo además de difícil integración en el sistema desarrollado, basado únicamente en ventilación por depresión en la zona de extracción. Según la opinión de diferentes expertos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y de la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), recogida en el denominado “Documento de Preguntas y Respuestas sobre la Aplicación del RITE”, resulta imposible realizar un tratamiento de filtrado del aire con el sistema planteado por el DB-HS3:

“En sistemas pequeños también se debe filtrar el aire. Si bien es cierto que actualmente los equipos de pequeña potencia que hay en el mercado no son capaces de vencer las pérdidas de carga que generarían estos filtros, indudablemente tendrán que adaptarse a estas necesidades” ... “El aire deberá ser introducido en los locales debidamente filtrado, lo cual solo se logrará mediante los correspondientes ventiladores de aportación; solo por depresión no se pueden vencer las pérdidas de carga de los niveles de filtración requeridos” (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010).

Habida cuenta que el aire exterior se encuentra en similares condiciones de contaminación independientemente de la tipología de edificación que se analice, consideramos difícilmente justificable la disparidad de exigencias de filtración entre edificios residenciales y no residenciales. Parece razonable sugerir una revisión de los sistemas descritos en el DB-HS3, para permitir incluir esta exigencia de filtración, en función de las condiciones ambientales exteriores previstas.

La necesidad de colocar equipos más potentes para vencer las pérdidas inducidas por el sistema de filtrado, así como los aspectos económicos derivados de la amortización

razonable de la inversión requerida, impone la agrupación de la instalación de ventilación en sistemas centralizados, capaces de dar un servicio colectivo con las adecuadas prestaciones, a un coste razonable.

Por otra parte, con la ubicación actual en fachada o carpinterías de las aberturas de admisión, no se cumplen los requisitos de ubicación de rejillas exigidos por la norma UNE EN 13779:2008 para evitar la captación de aire de posibles focos contaminantes. Un sistema de ventilación centralizada, con menor número de puntos de captación de aire de admisión, permitiría controlar adecuadamente la inexistencia de focos contaminantes cerca de los mismos, satisfaciendo este requisito.

2.3. CONSECUCCIÓN DE CONFORT TÉRMICO INTERIOR

La descripción de la ubicación interior de las aberturas de admisión en locales secos que la norma (DB-HS3.3.1.1.1.e) realiza, indica simplemente que éstas se encuentren ubicadas a una distancia del suelo del recinto superior a 1,8 m. Esta ubicación, también ofrece dudas sobre la calidad del confort térmico interior producido en los recintos.

Para definir este confort o calidad térmica, el RITE en su apartado IT.1.1.4.1.1. recoge que: *“La exigencia de calidad térmica del ambiente se considera satisfecha en el diseño y dimensionado de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa, humedad relativa, temperatura radiante media del recinto, velocidad media del aire en la zona ocupada e intensidad de las turbulencias se mantienen en la zona ocupada dentro de los valores establecidos...”*. Es necesario determinar adecuadamente el volumen de esta zona ocupada, para comprobar el cumplimiento de estas condiciones en espacios residenciales.

Dicha zona de confort para medir la influencia de la rejilla está formada tal y como indica la norma UNE EN 13141-1:2004 (AENOR, 2004), por la altura comprendida entre 0,1 m y 1,8 m, y por el área encerrada por planos paralelos a las paredes a 0,5 m. La ubicación de la rejilla de entrada de aire a más de 1,8 metros respecto del suelo, habría de permitir que el aire que entre directamente del exterior (a temperaturas incluso bajo 0°C), no interfiera en la zona de confort, lo cual resulta difícil demostrar (Cehlin, Moshfegh y Sandberg, 2002).

Evidentemente esta zona de confort se ve afectada, ya que debido a la mayor densidad del aire frío, éste al entrar en el recinto baja de forma prácticamente inmediata, invadiendo la zona de confort a temperaturas fuera de los rangos permitidos por el RITE, y por tanto incumpliendo la normativa en vigor (Rodríguez, 2011). Además, debido a la velocidad a la que entra, se producen velocidades mayores a las permitidas (Karimipannah y Snadberg, 1996), y turbulencias de difícil predicción cerca de la rejilla (Cehlin y Moshfegh, 2010).

La introducción del aire ya precalentado en el interior de la vivienda, mediante un sistema de ventilación con

recuperación de calor, permitiría cumplir con los anteriores requisitos de confort térmico, siempre y cuando éste se introdujera carente de turbulencias apreciables.

3. ÁMBITOS DE MEJORA SOBRE LA DEMANDA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO RESIDENCIAL

3.1. CONSECUCCIÓN DE LA LIMITACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

El cumplimiento de la exigencia básica de calidad del aire interior, conlleva el incumplimiento implícito de la exigencia básica de limitación de la demanda energética para las zonas climáticas C, D y E definidas en el DB-HE1, representativas de una porción importante de la geografía nacional, y precisamente en las cuales esta exigencia cobra mayor relevancia.

En el DB-HE1, es exigida la limitación de la demanda energética referida a los edificios residenciales. Entre otras prescripciones, se demanda en los huecos de fachada la suficiente estanqueidad para minimizar las pérdidas energéticas en la envolvente del edificio.

Uno de los factores clave en dicha estanqueidad es la permeabilidad al aire. Para una sobrepresión de 100 Pa, en las zonas climáticas de menor exigencia, A y B, se permite un valor máximo en las carpinterías de $50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, por lo que son admisibles carpinterías de clase 1. Para zonas climáticas C, D y E, con climas más severos en invierno, queda prohibida la utilización de las ventanas de clase 1, dado que esta permeabilidad produce grandes pérdidas térmicas. Son requeridas por lo tanto carpinterías más estancas.

En caso de no disponer carpinterías de clase 1, el DB-HS3, exige para la admisión de aire, disponer aberturas de admisión en los locales secos dotadas de aireadores o aperturas fijas, o bien un sistema de microventilación según UNE-EN 12207:2000 (AENOR, 2000). En las zonas climáticas C, D y E, alguno de estos sistemas es por lo tanto obligatorio.

Para una admisión de aire típica de $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ como la obtenida en el ejemplo del punto 2.1, la dimensión total de estas aberturas de admisión se sitúa en 200 cm^2 según DB HS3.4.1.1, lo que supone en la práctica unas infiltraciones de $900 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$.

Esta cifra es muy superior al valor anterior de $50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, no siendo permitido desde el prisma de la limitación de demanda energética, en ninguna zona climática. Consecuentemente, existe una incompatibilidad entre ambas exigencias en las zonas climáticas C, D y E, que como se deduce, imposibilita el cumplimiento simultáneo de ambas.

La utilización de recuperadores de calor, capaces de acondicionar el aire de admisión a las condiciones de uso interior utilizando los caudales de extracción, puede minimizar en gran medida esta situación, satisfacer el cumplimiento simultáneo de ambos documentos básicos y

reducir el consumo energético y el impacto ambiental (Blom, Itard y Meijer, 2010).

La lógica necesidad de filtración expresada en el punto 2.2, aunada al razonamiento anterior, sugiere que los equipos centralizados capaces de filtrar el aire admitido y recuperar gran parte del calor perdido en la extracción cediéndolo al aire de admisión, constituyen el método más racional y económico de satisfacer las exigencias normativas actuales y las futuras demandas de filtración en bloques residenciales. Para ello, los documentos básicos futuros deberían regular adecuadamente las condiciones de esta solución aceptable, incluyéndola en su desarrollo normativo.

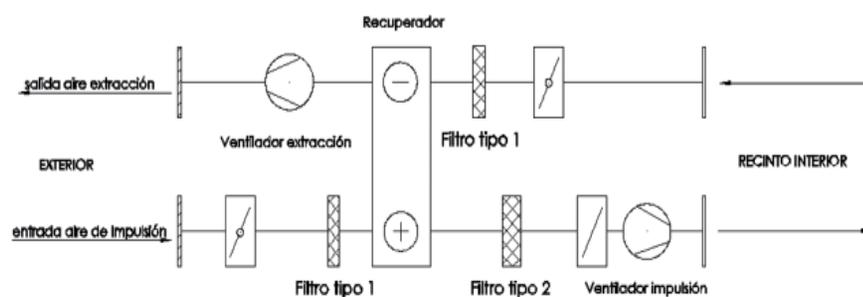


Fig. 1: Esquema de filtros necesarios en el sistema de ventilación centralizado con recuperación de calor

3.2. CONTROL DE LA VENTILACIÓN

El régimen de funcionamiento ininterrumpido del sistema de ventilación, prescrito por el DB-HS3 en edificaciones residenciales, merece igualmente cierta reflexión desde la perspectiva de la eficiencia energética.

La norma UNE-EN 13779:2008 de aplicación en edificios no residenciales, ya establece diferentes tipos de control de la ventilación, de manera que pueden plantearse sistemas que funcionen constantemente (IDA-C1), de acuerdo a un horario dado (IDA-C3), por encendido manual (IDA-C2) o mediante sistemas más complejos.

Por el contrario, el DB-HS3 define al aspirador mecánico encargado de la ventilación en viviendas, como aquel dotado de un ventilador capaz de extraer automáticamente el aire de forma continua.

Así, la exigencia de ventilación permanece en viviendas incluso cuando no hay ocupantes, o cuando habiéndolos, se carece de cierta actividad metabólica (horas de sueño). En comparación con las exigencias establecidas para recintos de similar sollicitación como hoteles o residencias, la eficiencia de la instalación es muy reducida.

Dado su funcionamiento continuo, resulta incongruente que el DB-HS3 no recoja mención alguna a la eficiencia energética de los dispositivos de la instalación, cuando para otros edificios el RITE sí recoge una limitación de $750 \text{ W}/\text{m}^3\cdot\text{s}$ para todos los aspiradores que funcionen de forma continua. Las mejores y más económicas posibilidades de ajuste a un funcionamiento continuo, horario o regulado por el usuario, de equipos centralizados de ventilación, refuerza la idoneidad de la solución ya planteada.

4. CONCLUSIÓN

Se han puesto de manifiesto dos aspectos importantes que deben ser revisados en la actual normativa de la edificación en relación al documento básico HS3. Por una parte, la falta de prestacionalidad en las bases de imposición de caudales; por otra parte, se señala la falta de coherencia para su aplicación conjunta con los documentos básicos HE1 y HE2, llevando incluso a incompatibilidades insalvables. Se ha incidido además en la escasa eficiencia energética de la instalación y el *discomfort* producido por los actuales sistemas de ventilación propuestos en el documento DB-HS3.

Se cree, por lo tanto, acreditada a lo largo del artículo, la necesidad de llevar a cabo una revisión profunda del DBHS3, permitiendo la admisión de aire en locales húmedos y regulando la utilización de equipos de recuperación energética y filtrado, en el trasiego de aire para edificios residenciales.

Se han señalado las interferencias más relevantes entre los documentos, con objeto de que dicha revisión y mejora normativa se realice de una forma integrada, proponiendo medidas coherentes y equipos que permitan soluciones consensuadas con la consecución de la eficiencia energética.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación BIA2008-0058 (VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011).

5. BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Chapter 16: Ventilation and Infiltration*. 2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals. Tullie Circle, Atlanta: ASHRAE, 2009.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Ventilación de los edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos*. UNE-EN 13779:2008. Madrid: AENOR, 2008.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Ventilación de edificios. Unidades de tratamiento de aire. Clasificación y rendimientos de unidades, componentes y secciones*. UNE-EN 13053:2007. Madrid: AENOR, 2007.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación*. UNE-EN 12207:2000. Madrid: AENOR, 2000.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Ventilación de edificios. Ensayos de las prestaciones de componentes/equipos para la ventilación en viviendas. Parte 1: Dispositivos de transferencia de aire montados en el exterior y en el interior*. UNE-EN 13141-1:2004. Madrid: AENOR, 2004.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*. UNE-EN ISO 7730. Madrid: AENOR, 2006.

- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. *Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación: DITE 2.02 calidad de aire interior*. Madrid: ATECYR, 2006. 110 p. ISBN: 84-95010-16-X
- Blom I, Itard L, Meijer A. "LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in Dutch dwellings". *Building and Environment*. 2010, Vol. 45, p.2362-2372. (doi:10.1016/j.buildenv.2010.04.012)
- Cehlin M, Moshfegh B. "Numerical modeling of a complex diffuser in a room with displacement ventilation". *Building and Environment*. 2010, Vol. 45, p.2240-2252. (doi:10.1016/j.buildenv.2010.04.008)
- Cehlin M, Moshfegh B, Sandberg M. "Measurements of air temperatures close to a low-velocity diffuser in displacement ventilation using an infrared camera". *Energy and Buildings*, 2002, Vol. 34, p.687-698. (doi:10.1016/S0378-7788(01)00133-5)
- Deutsches Institut für Normung. *Raumlufttechnik. Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung*. DIN 1946-6:2009. Berlin: DIN, 2009.
- España. Ministerio de Fomento. *Información estadística. Anuarios, estadísticas de síntesis y boletín. Visados de dirección de obra de los Colegios de Arquitectos Técnicos (Obras en edificación)* [en línea]. Madrid: Ministerio de fomento, Agosto 2010 [ref. de 16 noviembre 2010]. Resultados nacionales. 6.- Visados de dirección de obra. Obra nueva, ampliación y/o reforma de edificios. Nº de viviendas y superficie media según tipo de obra y destino principal. Disponible en World Wide Web: <www.fomento.es/be/sedal/09010600.xls>
- España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Documento de preguntas y respuestas sobre la aplicación del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* [en línea]. ATECYR e IDAE. Versión 30 julio 2010. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010, [ref. 18 de noviembre 2010]. Disponible en World Wide Web: <www.mityc.es/energia/ desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Documentos/Documents/Preguntas_y_Respuestas_RITE_07_30_07_10.pdf>
- España. Ministerio de la presidencia. 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*, 20 de julio de 2007, núm. 207, p. 35931-35984.
- Francia. Urbanisme et Logement, Energie, Santé. Arrêté du 24 mars 1982 modifié dispositions relatives à l'aération des logements (09/2003). Modifié par arrêté du 28 octobre 1983. *J.O. du 27 mars 1982 et du 15 novembre 1983*.
- Instituto de para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)*. Madrid: IDAE, 2007. 172 p.
- Karimipناه MT, Snadberg M. "Maximum velocity of return flow close to the floor in a ventilated room-experimental and numerical results". *Proceedings of the 17th AIVC Conference*. Gotenburg, Sweden: 1996.
- Palmer J, Orme M, Pane G, et al. *Investigation of Ventilation Effectiveness*. Wetherby, West Yorkshire, ENG: Communities and Local Government Publications, 2009. ISBN: 978-1-4098-1028-5.
- Reino Unido. HM Government. Approved document F: Ventilation. The Building Regulations 2000. 2010 Edition. London, NBS, 2010.
- Rodríguez B. "Planteamiento de mejoras normativas en la eficiencia energética, la calidad de aire interior y el confort térmico en edificaciones residenciales en bloque". Director: Domínguez J. Universidad de Zaragoza, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2011.