CÓDIGO 1.6.46

TECNICA DE VENTILACION COMO MEDIDA DE REHABILITACION FRENTE A LA INMISION DE GAS RADON EN EDIFICIOS Y SU REPERCUSION EN LA EFICIENCIA ENERGETICA

Frutos Vázquez, Borja (1º Autor)[1]*; Martín-Consuegra Ávila, Fernando[1]; Olaya Adán, Manuel[1]; Sainz Fernández, Carlos[2]

1: Departamento de Construcción
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja- CSIC.
borjafv@ietcc.csic.es martin-consuegra@ietcc.csic.es olaya@ietcc.csic.es web: http://www.ietcc.csic.com
2: Cátedra de Física Médica. Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas.
Universidad de Cantabria.
carlos.sainz@unican.es web: http://www.elradon.com/

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación frente a radón, ventilación, mitigación, eficiencia energética.

RESUMEN
El gas radón es un agente patológico para los usuarios de los edificios en donde se manifiesta su presencia. Por su origen, en la cadena de desintegración del uranio, conlleva efectos radiactivos que, en el organismo humano, determinan un aumento de riesgo en la generación de cáncer pulmonar (Organización Mundial de la Salud). Procedente de suelos donde hay masas de granito u otros sustratos con contenidos de uranio, penetra a través de los materiales habitualmente usados en la construcción como es el caso de las soleras de hormigón, muros de sótano, etc. El riesgo que supone para la salud el habitar en espacios con altos contenidos de gas radón conlleva a realizar actuaciones de rehabilitación en los edificios para reducir así la concentración interior hasta unos niveles aceptables. La ventilación de los espacios interiores es una de las técnicas que se contemplan, de fácil implantación y bajo coste a priori. Sin embargo, diversos estudios han mostrado la necesidad de conseguir elevadas tasas de ventilación para conseguir dicho cometido. Ello implica una repercusión negativa en lo referente a la eficiencia energética de los edificios en determinados climas, tanto calurosos como fríos. En esta presentación se hace una evaluación de las técnicas de ventilación y presurización, en cuanto a su poder de reducción de radón, y se analizan sus implicaciones en el confort térmico de los espacios interiores y su repercusión en la demanda energética. El análisis se lleva a cabo para una vivienda tipo situada en una variedad de casos de terreno con distinto potencial de riesgo de radón. Para la evaluación de la repercusión en la demanda se han tomado distintos tipos de climatología.

1. INTRODUCCIÓN

El gas radón (en adelante referido al isótopo del radón, Rn-222) es un elemento radiactivo que se genera en todo tipo de terrenos pero principalmente en terrenos con altos contenidos de radio (terrenos graníticos por ejemplo), dado que este elemento es su inmediato precursor en la cadena del uranio (U-238). Su alto grado de movilidad permite que penetre en los edificios a través de los materiales de cerramiento del mismo (porosidad de los materiales, fisuras, grietas y juntas) y se acumule en su interior, donde puede ser inhalado en altas concentraciones. La Figura 1 muestra un esquema de los caminos habituales de entrada de radón en los edificios.

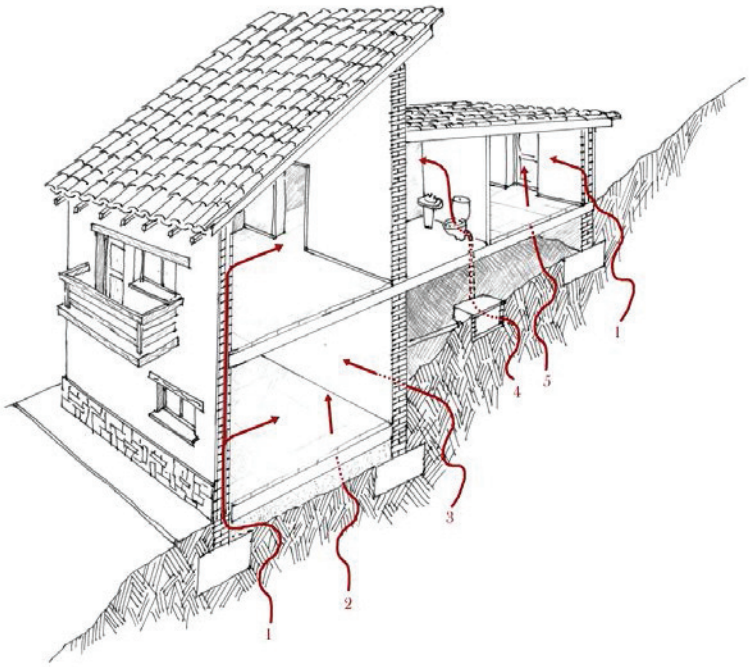

Figura 1. Vías comunes de entrada de radón. (1-Por el interior de la cámara de aire de los muros exteriores; 2- A través de la solera; 3- A través de los muros de sótano; 4- A través de conductos de saneamiento; 5- A través del forjado sanitario)

La inhalación de este gas puede llegar a generar cáncer pulmonar debido a que la radiación que se produce de la desintegración del mismo y de sus descendientes de vida corta (^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi y ^{214}Po) en el interior de nuestro organismo, es capaz alterar el ADN de los tejidos pulmonares. La Organización Mundial de la Salud califica al radón como agente cancerígeno de grado 1 [1]. Según este Organismo, el radón es la segunda causa de contracción de cáncer pulmonar detrás del tabaco. En nuestro país, según los últimos datos, afectaría a más de 1500 personas de las aproximadamente 20000 muertes por cáncer de pulmón que acontecen cada año.

En base a la percepción del riesgo derivada de estudios médicos epidemiológicos, algunos países han establecido unos niveles de concentración de radón de referencia, por encima de los cuales se recomienda, o se obliga, según el caso, a una intervención arquitectónica para reducir dichos niveles. En esta línea, La Recomendación Europea de 21 de Febrero de 1990 (90/143/EURATOM) [2], establece unos límites de concentración de actividad de radón como límites de actuación correctora, teniendo en cuenta el valor de referencia de dosis efectiva recibida de 20 mSv por año. Estos límites se expresan en Bequerelios (número de desintegraciones subatómicas por segundo) por metro cúbico de aire, y se dividen en dos categorías:

- Para viviendas existentes: 400 Bq/m^3
- Para viviendas de nueva construcción (Valor de diseño): 200 Bq/m^3

Estos valores vienen a su vez recogidos en las categorías de exposición potencial al radón que ha elaborado el Consejo de Seguridad Nuclear de España y que se muestra en la Figura 2 [3].

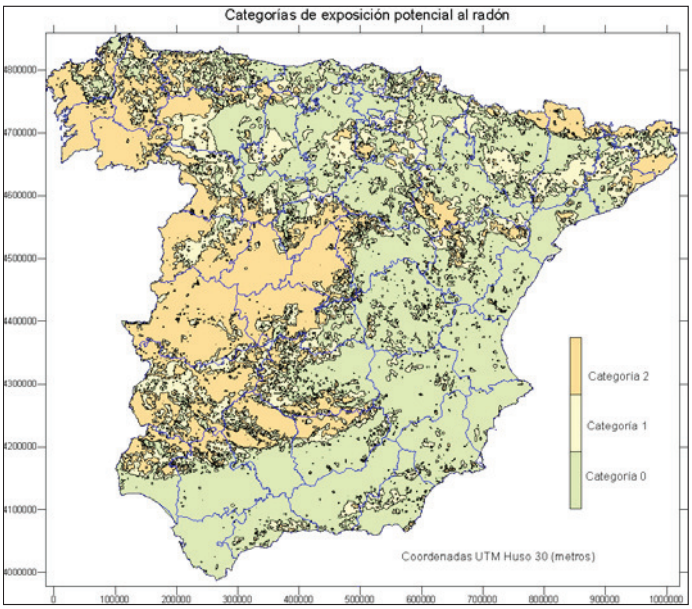

Figura 2. Mapa nacional de Exposición Potencial al Radón. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Categoría 0 < 150 Bq/m^3; Categoría 1: 150-200 Bq/m^3; Categoría 2 >200 Bq/m^3

Como se puede apreciar en la Figura 2, España posee una gran parte de su territorio en zona de riesgo por lo que la introducción de medidas de rehabilitación frente a radón es altamente recomendable.

Este tipo de medidas se resuelven con actuaciones arquitectónicas de diversa índole, con un común denominador: que la entrada de gas quede minimizada a efecto de que las concentraciones no superen los umbrales antedichos. El desarrollo de las mismas depende del nivel de concentración inicial, de la efectividad que se deba conseguir para reducir los niveles por debajo de los límites de seguridad, y de la configuración tipológica de la edificación. Sin entrar en detalle, pueden englobarse en dos estrategias básicas: a) aquellas que basan su efectividad en dotar de mayor estanquidad a la envolvente del edificio que esté en contacto con el terreno, láminas frente a radón y b) aquellas que evacúan el gas del terreno atenuando así su entrada hacia el interior.

La efectividad de estas técnicas ha sido estudiada en un proyecto de investigación realizado por el Instituto Eduardo Torroja y la Universidad de Cantabria [4]. Los resultados han situado a las medidas de extracción en la primera línea de efectividad en consonancia con estudios similares a nivel internacional.

Sin embargo existe otro tipo de medida que no se ha querido englobar en estos grupos por no acarrear, a priori, actuaciones arquitectónicas. Son las de ventilación natural o forzada del espacio interior habitado, consiguiendo así una dilución del gas, a la par que una modificación del estado de presiones interior.

En un principio, son medidas que pueden resultar atractivas para dichos fines al no implicar excesivo coste de ejecución y ser de mínimo impacto constructivo. Sin embargo existen factores que deben ser considerados antes de acometer una rehabilitación frente a radón mediante el uso de esta estrategia. En esta comunicación se pretende abordar, desde un punto de vista técnico, las distintas variantes de este tipo de actuaciones, la estimación de sus efectividades, y por último, la repercusión en la demanda energética asociada, aspecto a tener en cuenta en el estudio de coste óptimo de una solución de mejora.

2. VENTILACION COMO MEDIDA DE MITIGACION DE RADON

2.1 Consideraciones previas:

Tasas de entrada de radón.
La fuente principal de radón es el terreno y su generación depende principalmente del contenido de radio del sustrato, pero existen otros factores que determinan su exhalación y penetración en una edificación, entre los que destacan, la permeabilidad del medio (terreno), la porosidad de los materiales de cerramiento, el coeficiente de difusión de las láminas protectoras, la tasa de fisuras o grietas de la envolvente, la tasa de hermeticidad del edificio (Ensayo de Blower Door), y el gradiente de presiones que se establece entre el interior de una edificación y los poros del terreno. Este gradiente se modifica por varios motivos como la climatología estacional, las lluvias, el efecto "stack", la evacuación de aire viciado interior por chimeneas o shunts, etc. A mayor diferencia de presión entre los poros del terreno y el interior del edificio, mayor será el flujo de gas que penetre por mecanismos convectivos.

La precisión del modelo que se use para la estimación de la tasa dependerá de la adecuación y comprensión de los procesos físicos implicados en el transporte del gas [5].

Estudio de aspectos constructivos de la edificación.
A parte de la tasa de entrada, es importante realizar un estudio sobre la tipología y aspectos constructivos de la edificación con el fin de poder optimizar los sistemas y garantizar el éxito. Destacan:

- Hermeticidad del edificio. Como muestran diversos estudios [6], los niveles de estanquidad de la actual edificación se han incrementado en parte debido a las mejoras producidas en carpinterías de ventanas y puertas, y al sellado con láminas impermeabilizantes. Ello implica también un aumento de los niveles de radón por la menor infiltración de aire del exterior. Ver Figura 3.

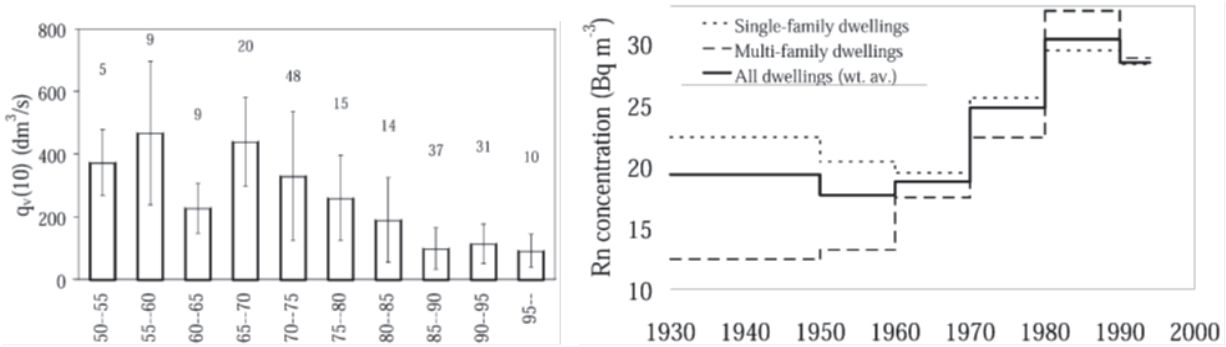

Figura 3. Evolución de las tasas de infiltración y su repercusión en los niveles de radón interior. (Johan Lembrechts, 2001)

- Estudio de huecos y orientaciones. Las orientaciones de huecos en las distintas fachadas y los tamaños y cantidad de los mismos son datos necesarios para poder calcular los caudales de ventilación natural.
- Geometría y distribución de los espacios interiores. La técnica de ventilación requiere conocer el espacio que se debe tratar, tanto en volumen de aire como en comunicación de espacios.

2.2 Factores que determinan la efectividad de la medida
Las medidas de mitigación por ventilación basan su efectividad en la entrada o expulsión de masas de aire en el edificio. Existen dos mecanismos que funcionan de forma independiente:

- Dilución del gas. El aire proveniente del exterior posee un contenido muy bajo de radón. En condiciones normales no suele superar los 20 Bq/m^3. La entrada de aire exterior en la edificación producirá una dilución del gas reduciendo así su concentración interior.
- Modificación del estado de presiones. Cualquier sistema de ventilación provoca un cambio en las presiones interiores y consecuentemente un cambio también en el gradiente entre las del terreno y el interior. Este aspecto influye sobre la tasa de entrada de radón. En casos de generarse una sobrepresión interior, el flujo de radón descenderá, y viceversa si se genera una depresión interior. El estudio de estos factores es fundamental para no incrementar la tasa de entrada.

2.3 Mecanismos de ventilación.

Como estrategias de ventilación se pueden contemplar varias opciones con un cometido único: reducir el contenido del gas radón en relación al contenido total de mezcla (aire-radón) que posee el espacio interior. Cada una de ellas implica una serie de condicionantes que deben ser estudiados de antemano. A continuación se ofrece una breve descripción de las variantes más habituales en las estrategias de intercambio de aire con el exterior:

Infiltración: La tasa de infiltración de una edificación, también llamada tasa de hermeticidad, es el parámetro que define el grado permeabilidad de un edificio con las ventanas y puertas cerradas. Toda envolvente intercambia aire con el exterior. Se estima que viviendas de cierta antigüedad, anteriores a 1950, pueden tener una tasa de hermeticidad de 1,5 (h^{-1}), es decir que se producen 1,5 renovaciones, del volumen de aire completo, por hora. En las viviendas modernas, la hermeticidad se estima en 0,25 (h^{-1}). Este valor depende fundamentalmente de la permeabilidad de las carpinterías, de los sistemas constructivos de la envolvente, y de las fisuras o grietas. Es de interés por cuanto un edificio, sin ningún sistema de ventilación, ya está intercambiando aire con el exterior y por tanto reduciendo su concentración interior. La Figura 3 muestra un estudio sobre la evolución en la hermeticidad en el tiempo.

Ventilación natural: La ventilación natural se produce por apertura de huecos en fachadas. Diversos modelos estiman el caudal de inmisión, o renovación, en función del tamaño de huecos, velocidades de viento, caudales, etc. El Código Técnico de la Edificación (CTE) es un ejemplo: DB-HS3 del CTE [7].

Ventilación forzada: En este caso se hace uso de sistemas mecánicos para forzar el movimiento de las masas de aire y evacuarlo al exterior. Cabe distinguir tres situaciones diferentes: la salida del aire del recinto, la aportación de aire exterior y, en lo que es la práctica natural, en las que se produce una alternancia entre las dos anteriores. En este tipo de actuaciones, con mayor potencial de renovación, es muy importante conocer y controlar las tasas de flujo de extracción, en consonancia con las de inmisión, para no aumentar, significativamente, una depresión interior que pueda succionar mayor radón desde el terreno.

Presurización: Esta técnica consiste en una inversión del flujo con respecto a la anterior. En lugar de extraer aire, se insufla. El resultado obviamente es el mismo, aire que entra desde el exterior por aire que sale del recinto, pero en este caso, al colocar el ventilador en sentido inverso, la ligera desviación entre el caudal de entrada y de salida, provoca una sobre presión interior en lugar de una depresión. Como se ha indicado anteriormente, la sobre presión reduce el flujo de radón desde el terreno hacia el interior.

3. CASO DE ESTUDIO: REDUCCION DE RADON VS. EFICIENCIA ENERGETICA

Todas las medidas de mitigación de radón anteriormente expuestas implican renovaciones de aire interior con entrada de aire nuevo desde el exterior. Ello implica un acondicionamiento térmico del mismo para no mermar las condiciones de confort interior. Para calentar o enfriar ese aire es necesario tener en cuenta, entre otros, el calor específico del aire, volumen, materiales de construcción, y el salto térmico entre el exterior y el interior. Por este último motivo, el acondicionamiento diferirá de unas regiones a otras, siendo mayor la energía necesaria para climas extremos, tanto calurosos como fríos.

Se presenta, a continuación, un ejemplo de un caso de estudio sobre la repercusión, en la eficiencia energética, que supone la introducción de una determinada medida de mitigación de radón por ventilación, en una vivienda concreta para diferentes climas. Se ha elegido, para el análisis, los datos de la vivienda recogidos en el estudio [8].

3.1 Sobre las limitaciones del estudio y las condiciones de contorno.

El caso de estudio que se presenta es una muestra de un ejemplo concreto y su extrapolación a otro tipo de condiciones de partida no es posible. La intención es mostrar un ejemplo de repercusión en la eficiencia energética de las medidas de mitigación de radón por ventilación. Cualquier estudio que se pretenda hacer a un caso particular debe partir de una previa evaluación de todos aquellos datos que se presentan como condiciones de contorno. Para el caso actual son las siguientes.

Datos sobre la vivienda: Vivienda unifamiliar pareada. Semisótano + Planta baja + planta primera + ático. Superficie total habitable: 240 m^2. Volumen de aire interior 696 m^3. Ver Figura 4.

Vivienda unifamiliar

-Periodo de construcción: 1940s
-Alturas: semisótano + PB+1+Ático
-Superficie aprox.: 240 m2
-Construcción: Pesada, con muros de carga de 1 pie de ladrillo

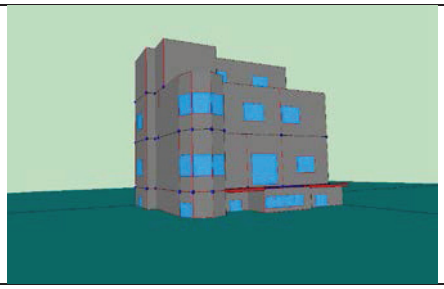

Figura 4. Datos del edificio simulado. 3D programa LIDER. Fotografía.

Datos de concentración de radón, diferencias de presión (caso hipotético): Concentración media de radón en planta baja: ~900 Bq/m^3. Concentración media de radón en terreno: ~37000 Bq/m^3. Diferencia de presiones ΔP (P exterior - P sótano): 0,8 (Pa) Invierno y 3,5 (Pa) Verano. (Presión positiva indica despresurización del sótano y un mayor flujo de radón hacia el interior proveniente del terreno)

Condiciones iniciales de cálculo: Únicamente considerado la reducción por dilución. Se ha supuesto una tasa de hermeticidad de 1 renovación/h (según ensayo estándar Blower Door [9]). La tasa de entrada de radón se ha obtenido según el modelo [7].

3.2 Tasas de renovaciones/h y reducción de radón.

La concentración de radón dependiente del tiempo, con las tasas de entrada calculadas, se puede obtener de la siguiente manera:

$$\frac{dN}{dt} = R - \lambda N \qquad (1)$$

En la que el número de átomos de radón disminuye en función de la tasa de desintegración subatómica (calculada por la semivida del elemento 3,8 días). Desarrollando la ecuación diferencial, con las condiciones de contorno concretas, y para un tiempo de equilibrio, obtenemos:

$$C = \frac{R}{V.\lambda t} \qquad (2)$$

Donde C es la concentración de radón (Bq/m^3); R la tasa de entrada de radón (Bq/s); V es el volumen interior y λ_T, la suma de la constante de desintegración del radón (λ=2,1x10^{-6}/s), la tasa de hermeticidad (λ_h) y la tasa de renovación de aire por ventilación (λ_v).

Para el caso concreto de estudio se ha tomado una vivienda con los datos de partida del punto 3.1. Se ha considerado una tasa de hermeticidad de 1 renovación/h y una tasa de entrada de radón de 175Bq/s, resultando una concentración inicial de radón en planta baja de ~900 Bq/m^3. A partir de estos datos se han realizado los cálculos para diferentes tasas de renovación por ventilación (independientemente de que sea natural o forzada) y la reducción de radón asociada. La Figura 5 muestra el gráfico correspondiente:

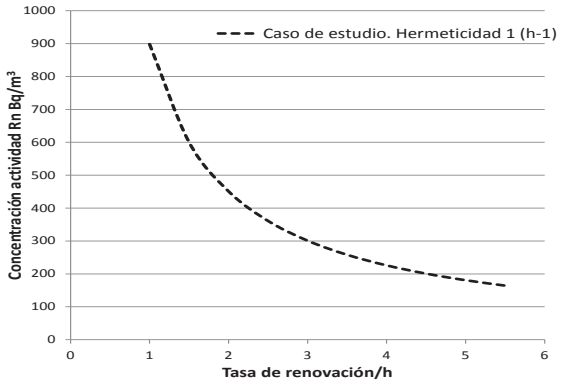

Figura 5. Concentración de radón asociada a las tasas de renovación/hora.

Se observa una concentración inicial (con tasa de hermeticidad de 1 h^{-1}) de 900 Bq/m^3. Las sucesivas renovaciones hora que se puedan implementar consiguen reducir la concentración siguiendo una curva decreciente. Teniendo en cuenta que los umbrales de seguridad están por debajo de los 200 Bq/m^3, la ventilación necesaria, para tal objetivo, se sitúa en órdenes superiores a 5 renovaciones/h.

3.3 Repercusión sobre la demanda energética

La demanda energética de un edificio depende, en gran medida, de las tasas de renovación de aire, que implican un mayor aporte de energía para poder mantener las condiciones de confort. La evaluación de la demanda puede ser estimada a través de programas de simulación energética enfocados a la edificación. A continuación se muestran los resultados del estudio llevado a cabo para el caso de la vivienda descrita en 3.1., con las tasas de renovación necesarias obtenidas en 3.2. Las demandas se han estimado mediante el programa normativo LIDER (opción general para el cumplimiento del CTE DB HE1), para una misma vivienda situada en tres ubicaciones peninsulares de distintas severidades climáticas (según CTE DB HE1). En concreto para Ávila (zona climática E1), Orense (C2) y Almería (A4). La Figura 6 representa la demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración para distintas tasas de renovación de aire.

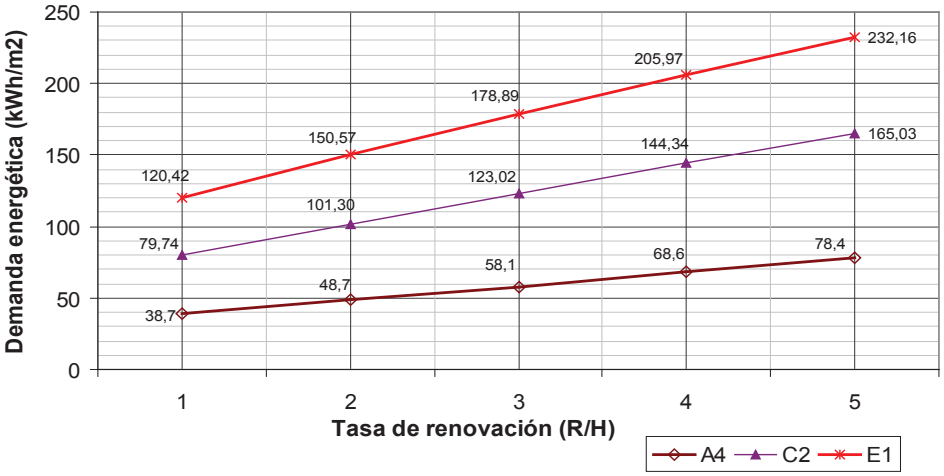

Figura 6. Demanda energética conjunta / renovaciones/h. Zonas climáticas A4 (Almería), C2 (Orense) y E1 (Ávila)

Se observa un incremento de la demanda en función de las tasas de renovación hora para las tres situaciones climáticas. En climas fríos (E1), el aumento de las renovaciones hora tiene alto impacto en la demanda energética de calefacción. En los climas cálidos de la península, la demanda de refrigeración se reduce con el aumento de la ventilación y el incremento de la demanda energética conjunta se ve amortiguado.

A modo de ejemplo, para el caso de Ávila (E1), el incremento de la demanda energética, suponiendo un rendimiento de los sistemas térmicos de 0,75, se estima en 35.776 kWh anuales para pasar de 1(*) a 5 renovaciones de aire por hora. Ello supondría, según tarifas de la Comisión Nacional de Energía (2011), un aumento del gasto anual del orden de 2600 €.

(*) Hay que tener en cuenta que la tasa inicial de 1 R/h constituye un dato habitual para viviendas según los cálculos del DB-HS3 del CTE, por lo que se ha tomado como dato estándar de partida.

4. CONCLUSIONES

Se ha estudiado la repercusión en la demanda energética de una determinada medida de mitigación de radón por ventilación. En el caso concreto de análisis, se ha visto que el aumento de la renovación de aire, para reducir los niveles de concentración de gas radón en la edificación, conlleva un alto coste energético asociado debido al necesario calentamiento del aire exterior para mantener las condiciones de confort. Teniendo en cuenta este dato, la opción de ventilación para tales fines debe ser estudiada previamente para analizar la idoneidad frente a otras técnicas de mitigación, a priori con mayor gasto, pero que a la suma suponen un claro ahorro y eficiencia energética [10].

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] WHO. *Handbook on Indoor Radon. A public health perspective*. World Health Organization. (2009)
[2] Comisión de las Comunidades Europeas. Recomendación de la Comisión de 21-2-1990 relativa a la protección de la población contra peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. (90/143/Euratom). D.O.C.E. L80, 2628
[3] Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). *El mapa predictivo de exposición al radón en España*. Colección de Informes Técnicos. 38.2013.
[4] Proyecto Plan Nacional (BIA2004-01460). *Estudio de la viabilidad y la efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas Radón en los edificios existentes*. Entidades participantes: IETcc (CSIC) y Universidad de Cantabria. (2004-2007)
[5] Font, L., Baixeras, C., Domingo, C., Fernandez, F. Experimental and theoretical study of radon levels and entry mechanisms in a Mediterranean climate house. Radiation Measurements, 31, 277-82, (1999).
[6] Johan Lembrechts, Martien Janssen, Paul Stoop. *Ventilation and radon transport in Dutch dwellings: computer modelling and field measurements.* The Science of the Total Environment 272, 73-78. (2001).
[7] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HS3 (Salubridad- Calidad del aire interior). (2006)
[8] A. Cavallo. Comparison of natural and forced ventilation for radon mitigation in houses. Environment International, Vol. 22, Suppl. 1, pp. SlO73-S1078, (1996).
[9] UNE-EN 13829:2002. *Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.*
[10] Frutos, B; Olaya, M. P*rotección frente a la inmisión de gas radón en edificios.* Colección Informes Técnicos Consejo de Seguridad Nuclear. 24.2010. Referencia INT-04.2010