

08-010

CONDITIONING OF A HOUSE ALREADY BUILT FOR THE REDUCTION AND CONTROL OF RADON CONCENTRATION IN INDOOR AIR

Trull Hernandis, Cristina; Sancho Fernández, María; Arnal Arnal, José Miguel; García Fayos, Beatriz; Verdú Marín, Gumersindo

Universitat Politècnica València

Radon is a radioactive gas that can be found in the interior spaces of dwellings, causing several hazardous effects to the health of occupants. It is expected the next incorporation into Spanish law of the Directive 2013/59/EURATOM against the hazards arising from exposure to ionizing radiation, which will include the limits and guidelines for protection against the inmission of radon gas in buildings.

This work proposes the conditioning of an already built house, with simulated radon conditions higher than limits set in the new legislation, with the aim of reducing radon concentration below such limits.

For the conditioning of this dwelling, at the levels required by the legislation, mitigation measures will be implemented in the house. These measures will consist in the installation of a system of air renovation under the dwelling, to avoid the entry of radon inside the building, and in favouring the flow of natural ventilation and the homogeneity of the indoor air, by relocating the interior distribution of the dwelling

Keywords: Radon; radioactivity; dwelling; air; measures; mitigation

ACONDICIONAMIENTO DE UNA VIVIENDA YA CONSTRUIDA PARA LA REDUCCIÓN Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN EL AIRE INTERIOR

El radón es un gas radiactivo que puede encontrarse en los espacios interiores de las viviendas, ejerciendo diversos efectos perjudiciales para la salud de sus ocupantes. Se prevé la próxima la incorporación a la legislación española de la Directiva 2013/59/EURATOM contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, que incluirá los límites y directrices para la protección frente a la inmisión de gas radón en edificios.

En este trabajo se plantea el acondicionamiento de una vivienda ya construida, con unas condiciones de radón simuladas por encima de los límites previstos en la nueva legislación, con el objetivo de reducir la concentración de radón por debajo de dichos límites.

Para el acondicionamiento de dicha vivienda, a los niveles exigidos por la legislación, se desarrollarán las medidas de mitigación a implementar en la vivienda. Estas medidas consistirán en la instalación de un sistema de renovación del aire bajo la vivienda, que evite la entrada de radón al interior, y en favorecer el flujo de ventilación natural y la homogeneidad del aire, a partir de la reubicación de la distribución interior de la vivienda.

Palabras clave: Radón; radiactividad; vivienda; aire; medidas; mitigación

Correspondencia: María Sancho Fernández msanchof@iqn.upv.es



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

1.1. El radón en las viviendas

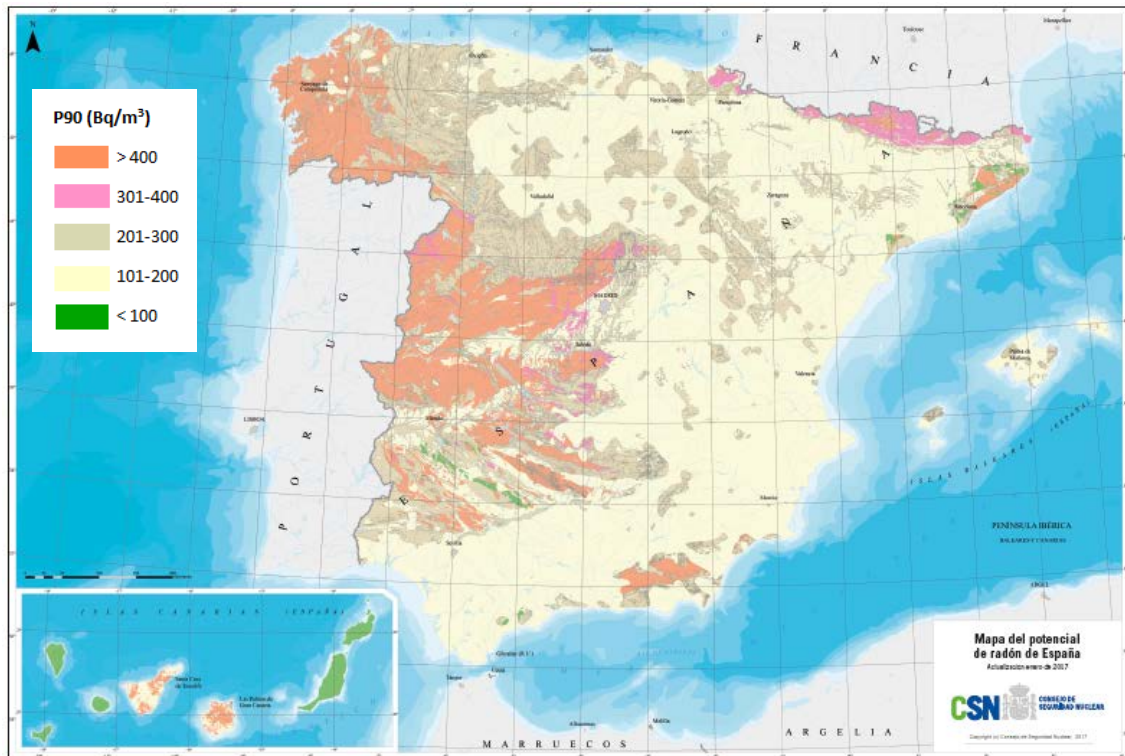
La emisión, propagación y transferencia de energía en un medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas es conocida como radiación, la cual se produce en las desintegraciones radiactivas de elementos inestables. Cuando la radiación es capaz de ionizar, es decir, arrancar electrones de los átomos de la materia con la que se encuentra en contacto se denomina radiación ionizante. En el caso de los tejidos de los seres vivos, la ionización por radiaciones puede provocar alteraciones, creando cambios químicos en el ADN que pueden desencadenar en el desarrollo anormal de las células.

El uranio (U^{238}) se encuentra presente en la naturaleza en diversos tipos de rocas. Entre los radioisótopos procedentes de su desintegración se encuentran el radio (Ra^{226}) y el radón (Rn^{222}), este último en forma de gas. Las infiltraciones de gas radón, que emanan de la roca del suelo, a espacios interiores de viviendas y edificaciones constituyen la principal fuente de radón en espacios cerrados. La desintegración del radón emite partículas alfa, que son paradas por la piel humana, sin embargo, los radionucleidos hijos son emisores de radiación beta negativa, capaz de penetrar en el tejido vivo. El polonio, el plomo y el bismuto son los descendientes de vida corta del radón que, en caso de inhalación, se depositan sobre las vías respiratorias, alterando el ADN de los tejidos. Estudios epidemiológicos han demostrado la relación directa de la exposición a radón con la aparición de problemas carcinógenos, es por ello por lo que la exposición al radón constituye un problema para la salud pública (OMS, 2015). De hecho, la exposición a radón en viviendas supone un riesgo para la población general de sufrir cáncer de pulmón. Actualmente, el radón se considera la segunda causa de muerte por cáncer de pulmón, precedida por el tabaquismo. No obstante, entre los casos de no tabaquismo se trata de la principal causa de cáncer de pulmón. A partir del análisis agrupado europeo, que incluye datos de 13 estudios europeos de radón en viviendas, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que la probabilidad de padecer cáncer de pulmón a largo plazo por cada 100 Bq/m^3 es de media un 16% (OMS, 2015). La exposición a radón supone un riesgo incluso a bajas concentraciones, ya que no existe una concentración umbral, por debajo de la cual el riesgo sea nulo. La relación entre la tasa de cáncer de pulmón y la exposición acumulada al radón presenta una tendencia aproximadamente lineal en diversos estudios (OMS, 2015), lo que sitúa zonas de alta concentración como prioritarias de actuación.

La presencia de radón en las viviendas, cuya procedencia depende del contenido en uranio de la roca, varía con la situación geográfica. Es posible identificar las zonas cuyas viviendas tengan tendencia a contener elevados valores de radón a partir de métodos de medición indirectos. Conociendo la potencial exposición de una zona, previo al desarrollo urbanístico, es factible establecer medidas de prevención en las edificaciones, minimizándose la exposición a radón en las viviendas, y así prevenir la necesidad de implantación de medidas de mitigación. Dado que, la actuación sobre viviendas ya construidas (medidas de mitigación) implica complejidad en el desarrollo y un elevado coste económico.

En la Cartografía del potencial de radón en España, elaborado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), se identifican las zonas españolas según el nivel de potencial radón (Figura 1). Se observan zonas con concentraciones superiores a 400 Bq/m^3 , tal es el caso de zonas como Castilla y León, Galicia y Extremadura, situándolas como zonas de alto contenido en radón.

Figura 1: Cartografía del potencial de radón de España (CSN, 2017)



1.2. Contexto legal

La legislación vigente que establece las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes es la Directiva 2013/59/Euratom del consejo del 5 de diciembre de 2013. A través de dicha Directiva, la Unión Europea establece la norma que fija a los Estados miembros los objetivos a alcanzar en términos de regulación de la exposición al radón, quedando a su elección la forma y los medios de conseguirlos.

Según el Capítulo I: “Objeto y ámbito de aplicación, Artículo 2, Ámbito de aplicación” la Directiva se aplicará en cualquier situación de exposición que implique un riesgo de exposición a radiaciones ionizantes, que no pueda considerarse despreciable para la salud humana a largo plazo.

Los niveles de referencia en situaciones de emergencia quedan establecidos en la Directiva, en el Capítulo III: “Sistema de protección radiológica, Artículo 7, Niveles de referencia”. Se garantiza el establecimiento por parte de los Estados miembros y se concede prioridad a aquellas exposiciones que estén por encima del nivel de referencia, optimizándose la protección.

Según el Capítulo VIII, Artículo 74: “Exposición al radón en recintos cerrados” se establecen los niveles de referencial por parte de los Estados miembros, para las concentraciones de radón en recintos cerrados, no pudiendo superarse los niveles de referencia para el promedio anual de concentración de actividad en el aire de 300 Bq/m³.

En el Artículo 106: “Transposición”, del Capítulo X: “Disposiciones finales de la Directiva 2013/59/EURATOM”, se establece que antes del 6 de febrero de 2018 los Estados miembros debían poner en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas que se requiriesen para cumplimentar la Directiva. Sin embargo, en España todavía no se

ha publicado el Real Decreto correspondiente, si bien se conoce que existe un proyecto de Real Decreto de fecha 6 de noviembre de 2017.

Este trabajo se anticipa a la entrada en vigor del Real Decreto en España, planteando el diseño de las medidas de mitigación necesarias en una supuesta vivienda con una concentración de radón superior al límite recomendado por la Directiva, para disminuir dicha concentración y minimizar la exposición de los ocupantes de la vivienda.

1.3. Descripción de la vivienda objeto del trabajo

La vivienda sobre la que se ejecuta el proyecto se encuentra ubicada en una de las zonas de actuación prioritaria, con un percentil 90 que supera los 400 Bq/m³, que a su vez tiene unas condiciones ambientales desfavorables, como son las precipitaciones y la humedad ambiental, que propician la entrada de radón en los espacios cerrados. Así, el diseño de las medidas de mitigación se plantea para unas condiciones lo más desfavorables posibles.

Concretamente se trata de una vivienda está situada al oeste de la comunidad autónoma de Galicia, en el municipio de Outes de la provincia de A Coruña. Es una vivienda ya construida, que requiere de intervención para reducir la concentración de radón en aire hasta alcanzar valores por debajo de los límites establecidos.

En relación con las características constructivas de la vivienda se trata de una vivienda unifamiliar, no adosada, de 205.09 m² (12.46 m x 16.46 m), de una única altura, con 3 m entre el pavimento y el techo acabado. Las estancias interiores se encuentran separadas por paredes opacas, comunicadas únicamente a través de puertas que frenan el paso de las corrientes naturales de aire en zonas de la vivienda, dando lugar a distintas concentraciones por estancia, considerándose por lo tanto una distribución de aire interior no homogénea.

La familia ocupante de la vivienda se ha considerado compuesta por diversos perfiles en relación a los hábitos y tiempos de ocupación, ya que éstos influyen en la dosis a la que se encuentra expuesto cada uno de los ocupantes. Así, la familia la integran dos adultos, uno de los cuales trabaja en casa y otro fuera de la vivienda familiar, un niño de diez años, un bebé de menos de un año y una persona de la tercera edad con movilidad reducida. Los distintos perfiles de ocupación atienden a cubrir los distintos casos de exposición que puedan darse en viviendas.

2. Objetivo

El objetivo del presente trabajo consiste en el diseño de las medidas técnicas necesarias para reducir la concentración de radón en el aire interior de viviendas que superen el nivel de referencia de la legislación, alcanzando concentraciones por debajo de los límites establecidos.

3. Metodología

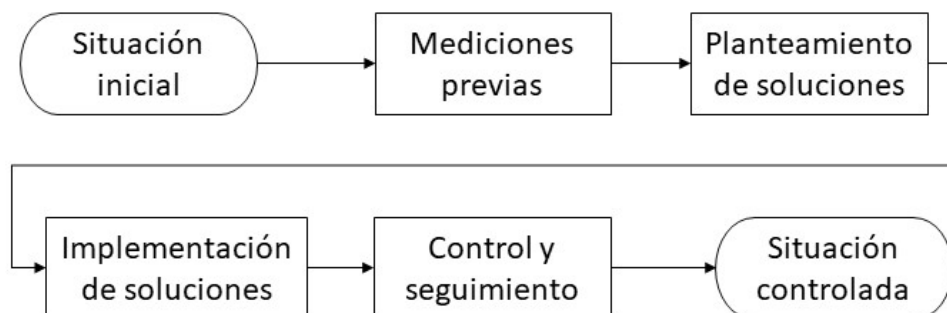
Para llevar a cabo el diseño e integración de las medidas técnicas de mitigación de radón en la vivienda descritas anteriormente se deben seguir los pasos indicados en el diagrama que muestra la Figura 2, los cuales se desarrollan en los siguientes apartados.

3.1. Mediciones previas

Se deben realizar mediciones de la concentración de radón en la vivienda, que se establecen como punto de partida sobre el que se planifican las medidas de mitigación a implementar. A partir de la información presentada por la OMS (2015) se escogen los dispositivos de medición en función de su concentración mínima detectable, coste e incertidumbre típica. Se establecen también los periodos de medición y la distribución

interna de los aparatos en la vivienda. Para ello se distingue entre las zonas con concentración de radón en aire homogénea y no homogénea, a partir de estudios de simulación (Akbari y Mahnoudi, 2012 Akbari, Mahmoudi y Ghanbari, 2013 & Rabi y Oufni, 2017). Por último, se distribuyen los detectores atendiendo a los requerimientos de colocación específicos que establece el CSN (2010).

Figura 2: Metodología para el diseño e implementación de medidas de mitigación



3.2. Planteamiento de medidas de mitigación

Para realizar el diseño de las medidas técnicas a emprender se estudian diversas medidas de mitigación implementadas en viviendas, y se siguen las recomendaciones de la OMS (2015) y del CSN (2010). Para la selección de estas medidas se evalúa el coste de cada una de ellas y su eficacia en la reducción de la concentración de radón, junto con la facilidad de implantación en la vivienda. Las medidas de mitigación se plantean en base a procesos de medición e implantación de medidas de mitigación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, en la que se recogen guías donde se ofrecen estrategias de medición de radón, así como recomendaciones de cómo medir el aire, reducir su concentración a través de un método adecuado y mantener el sistema de reducción estable (EPA, 2001 & 2018).

3.3. Implementación de medidas de mitigación

Se integran en la vivienda las medidas de mitigación diseñadas, alcanzándose, tras la implementación, valores de concentración de radón en aire por debajo de los establecidos como nivel de referencia en la legislación.

3.4. Plan de control y seguimiento

Tras la implementación del sistema de mitigación se debe evaluar la efectividad de éste. Para ello, se deben realizar nuevas mediciones, atendiendo a las recomendaciones de la OMS (2015), y estableciendo un plan de seguimiento con el fin de confirmar que las concentraciones de radón se encuentran por debajo del valor establecido.

Los aspectos prioritarios objeto de estudio, en relación con las tareas, junto con las herramientas empleadas para el desarrollo de cada una se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1: Tabla resumen de tareas, aspectos prioritarios y herramientas de la metodología

Tarea	Aspectos prioritarios	Herramienta utilizada
Mediciones previas	Aparatos	Información OMS
	Localización	Información CSN
	Tiempos de medición	Estudios de simulación de flujos de aire
Planteamiento medidas mitigación	Comparación de medidas implementadas	Información OMS
		Información CSN
		Medidas de mitigación EPA
Plan de control y seguimiento	Nivel de concentración alcanzado	Información OMS
	Plan de seguimiento	

4. Resultados

En este apartado se describen las medidas de mitigación a implementar en la vivienda para conseguir la reducción de la concentración de radón en el aire interior de la misma. Las modificaciones que reduzcan la concentración se realizan sobre la vivienda ya construida, en lugar de demoler y realizarla de nuevo en su totalidad, a fin de minimizar el coste económico de la implantación, siendo la duración de las obras de integración menor en la opción escogida. Una de las opciones posibles sería instalar un sistema de ventilación que renovara el aire interior de la vivienda, pero puesto que esto afectaría a la climatización de la misma, se escoge evitar la entrada de radón en la vivienda. La principal fuente de procedencia del radón es la exhalación de éste desde el terreno, es por ello por lo que se integra un sistema de extracción del aire situado bajo la vivienda. Durante la implantación del sistema de extracción se deben realizar modificaciones temporales en la vivienda, las cuales posibilitan la redistribución de los elementos no estructurales, facilitando el paso de las corrientes de aire naturales en la vivienda.

Por lo tanto, las medidas a implementar se compondrán de un sistema de extracción del aire con radón procedente de la exhalación del terreno situado bajo la vivienda, y de la reubicación de la distribución interior de la vivienda con el fin de facilitar el paso del flujo de ventilación natural y obtener una mayor homogeneidad del aire interior.

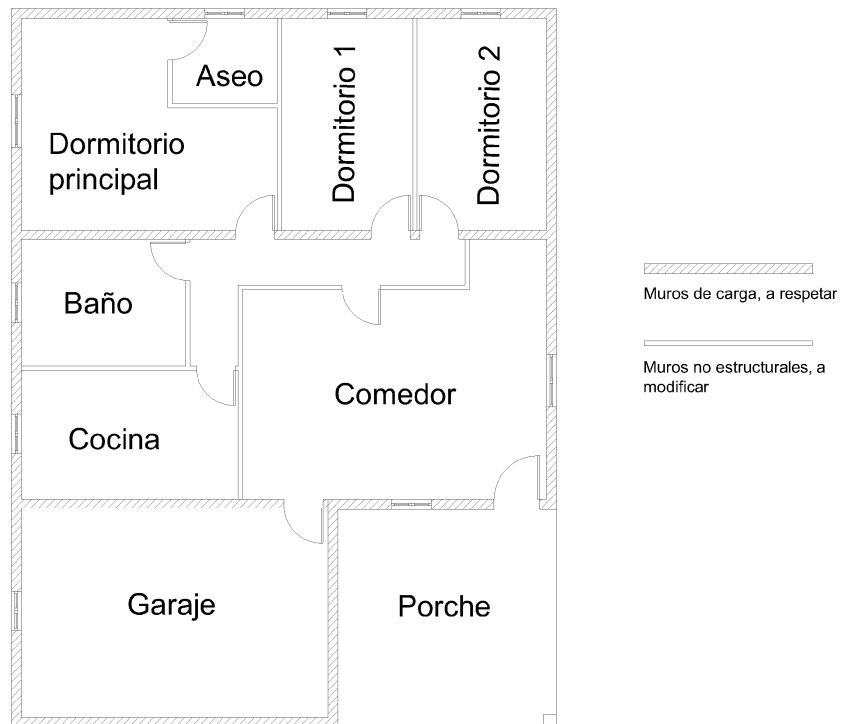
4.1. Sistema de extracción

El sistema de extracción de aire que se integra en la vivienda como medida de mitigación tiene como objetivo reducir la concentración de radón en el interior de la vivienda, impidiendo, en la medida de lo posible, la entrada de radón a ésta.

Para posibilitar la circulación de las corrientes de aire se ejecuta un forjado sanitario, bajo el suelo acabado, a partir de la siguiente secuencia de tareas, que incluyen la preparación del terreno y la construcción del forjado:

1. Demolición de la tabiquería no estructural de la vivienda. En la Figura 3 se muestran los muros de la vivienda, apareciendo sombreados los muros de carga, que no se pueden demoler, y los no estructurales, que sí podrán modificarse.
2. Demolición de la solera existente, sin afectar a los muros de carga.

Figura 3: Distribución de los muros de carga



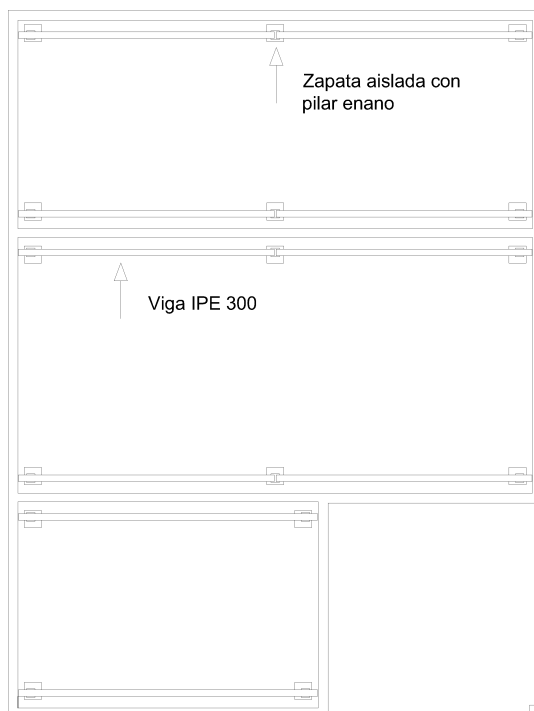
3. Excavación del terreno, sin descalzar la cimentación de la vivienda. La tabiquería estructural de la vivienda se apoya sobre zapatas corridas, es por ello por lo que la excavación se realiza, desde la cota correspondiente a la cara superior de la solera inicial, hasta la cara superior de las zapatas, situada a 90 cm de profundidad.
4. Nivelación del terreno.

A continuación, se debe proceder a la construcción del forjado sanitario. Con el fin de dar continuidad a las corrientes de aire, el forjado sanitario a ejecutar será una estructura flotante, que dejará espacio entre la propia estructura construida y los muros de carga. La estructura de apoyo sobre la que se asienta el forjado sanitario se compone de vigas IPE que descansan sobre zapatas aisladas con pilares enanos.

5. Ejecución de zapata aislada con pilar enano. Se instalan en zonas previamente excavadas de sección 40 x 40 cm. Se distribuye una zapata con pilar enano en cada esquina delimitada por muros de carga y, adicionalmente, se colocan centradas en las zonas que superan la longitud de una viga IPE, como punto de apoyo al cambio de viga. La distribución de las zapatas aisladas se realiza de acuerdo con el esquema de la Figura 4, dejando 10 cm entre éstas y las zapatas corridas de la vivienda, Detalle C, Figura 5.
6. Colocación de vigas IPE 300. Se aplica mortero de regulación en la cara superior de los pilares enanos, sobre los que descansan las vigas, y se colocan las vigas IPE 300, Figura 4, dejando los extremos según se indica en los Detalles A y B, Figura 5.

Una vez construida la estructura de apoyo del forjado sanitario se pasa a la ejecución de éste, el cual irá orientado en la dirección de paso del flujo de aire. Las tareas necesarias para ello son las descritas a continuación.

Figura 4: Distribución de la estructura de apoyo del forjado sanitario



7. Colocación de las viguetas del forjado según se indica en Figura 6 y en Detalle D, Figura 5. Se trata de Viguetas de Hormigón Pretensadas (T-19) autoportantes, por lo que no se requerirá encofrado, que se disponen sobre los apoyos, viga IPE, dejando 20 cm entre las viguetas y los muros de carga dispuestos a lo largo de la vivienda. Entre las viguetas y los muros dispuestos a lo largo de la vivienda se deja la misma oquedad que dejarán a continuación las bovedillas.
8. Colocación de zunchos. Con el fin de repartir homogéneamente las cargas entre los muros de carga y el forjado, se colocan zunchos de 4Ø 12 c. Ø6 @15 cm y se disponen según se representa en Detalle A, Figura 5.
9. Colocación de bovedillas. Se colocan bovedillas sobre las viguetas. Se trata de bovedilla huecas, de dimensiones 60x20x25 cm, que permiten el paso de las corrientes de aire.

Se calcula el número de viguetas y bovedillas a colocar en el forjado, así como la dimensión de la oquedad entre el forjado y la estructura de la vivienda. Para ello, se divide la vivienda en tres zonas: Zona 1, la correspondiente al emplazamiento del garaje; Zona 2, espacio que incluye cocina, pasillo, comedor y baño; Zona 3, la que engloba los dormitorios y el aseo. Se recoge en la Tabla 2 el número de bovedillas y de viguetas necesario, así como el espacio total que queda entre las bovedillas y los muros de carga dispuestos a lo largo de la vivienda.

10. Colocación de refuerzos en el armado y realización del refuerzo de momentos negativos en los extremos de la viga, desde el cabezal a 1/4 de la luz, en ambos extremos. Se coloca el mallazo de retracción en continuo (ME 15x15x5), quedando un forjado de 30 cm.

Figura 5: Detalles del forjado sanitario

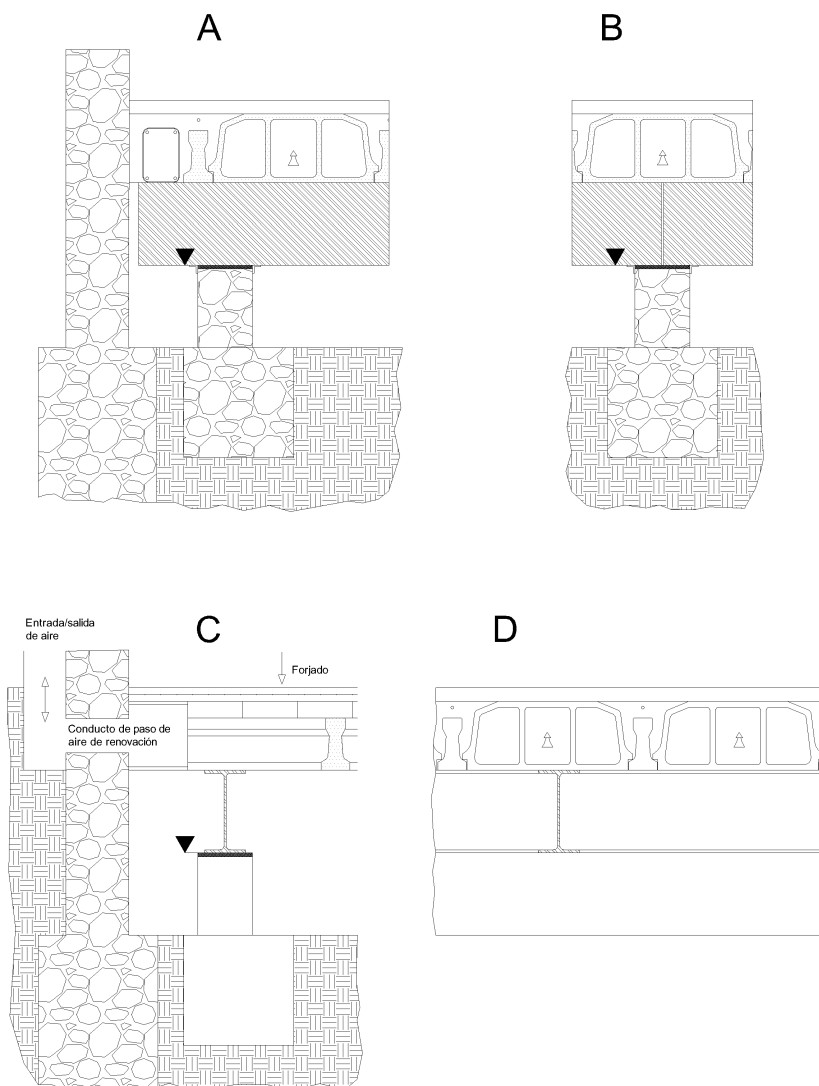


Tabla 2: Número de viguetas, bovedillas y dimensión oquedades

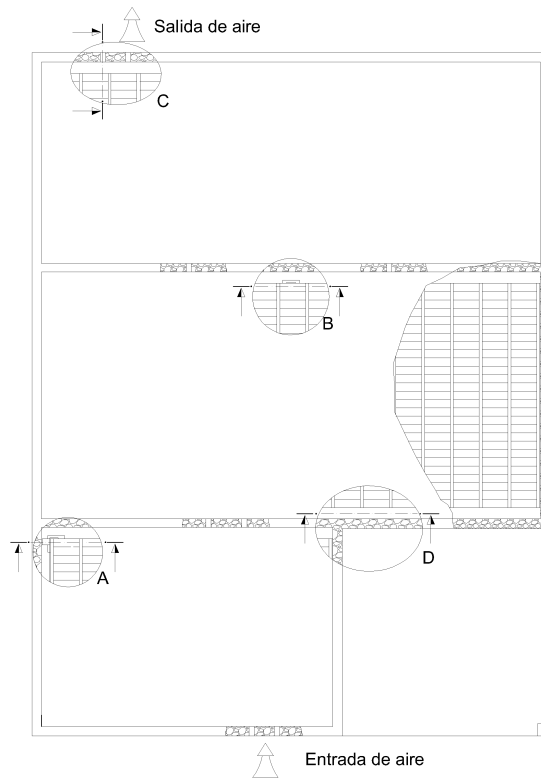
	Bovedillas ancho	Bovedillas largo	Viguetas	Bovedillas totales	Espacio total (m)	Espacio oquedad (m)
Zona 1	10	22	11	220	0.40	0.20
Zona 2	17	27	18	459	0.55	0.28
Zona 3	17	22	18	378	0.45	0.23
Total			47	1057		

11. Ejecución del encofrado a lo largo de la vivienda, que formará el hueco que da continuidad a las corrientes, representado en el Detalle C, Figura 5.

12. Colocación de pasatubos en los tramos que conectan la fachada, según las disposiciones de la Figura 6, por el que se introducirán las tuberías de extracción/captación. El hueco de la tubería se representa en el Detalle C, Figura 5.

13. Se realizan conexiones entre los muros de carga interiores a la vivienda, como se dispone en la Figura 6, para mantener la continuidad de las corrientes de aire.
14. Se vierte el hormigón de forjado a lo ancho de la vivienda, llenando 20/30 cm del final del forjado, dejándose macizo

Figura 6: Esquema del forjado sanitario



Una vez ejecutado el forjado sanitario se diseña el sistema de extracción de aire. Para ello, se fija el número de renovaciones de aire en una por hora, manteniéndose el confort acústico y evitando afectar, en la medida de lo posible, la estética de la fachada de la vivienda.

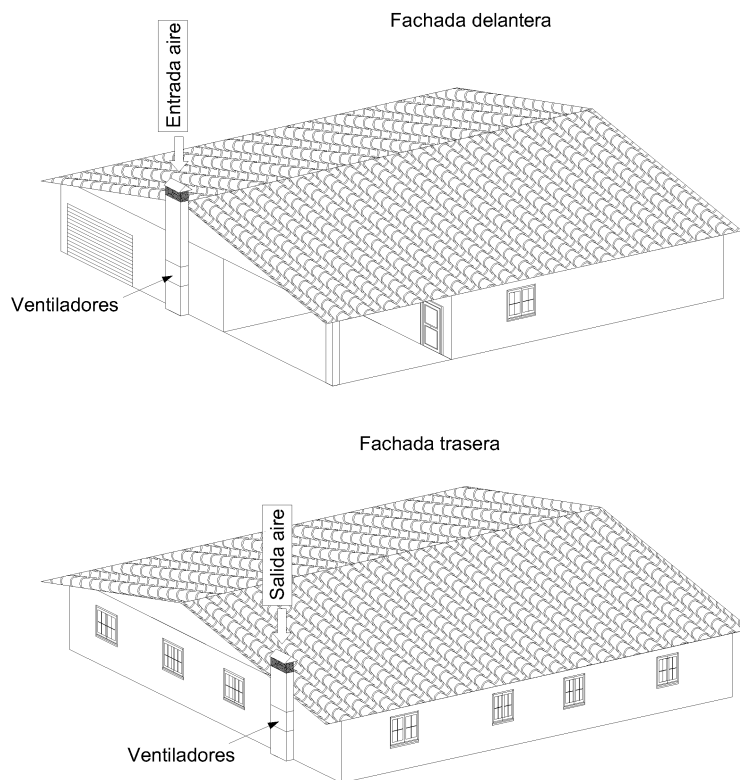
Se calcula el volumen total del forjado sanitario, obteniéndose así el volumen de aire máximo a desplazar por cada renovación. El volumen se obtiene a partir del producto de la altura del forjado, 30 cm, y las dimensiones a lo largo y ancho del forjado, resultando un volumen de forjado de 48.97 m³.

15. Se instala la maquinaria de extracción. La turbina se escoge a efectos de que la velocidad de paso del aire a través de la tubería no supere los 3 m/s, con el fin de mantener el confort acústico. El aire se capta del exterior, por la parte delantera de la fachada y se emite por la parte trasera como se indica en la Figura 7. La instalación de los motores y la instalación de captación y descarga sobre la fachada de la vivienda se realiza con el fin de evitar la reentrada de radón a la vivienda a través de puertas y ventanas. Para ello, los motores se integran en un cajón extraíble, en medio de la instalación, la cual se ejecuta situando la captación y la emisión por encima del nivel del tejado, incorporando un voladizo en el extremo, donde, a causa del tiro final, tiene lugar el efecto chimenea, seguido de una rejilla que deja paso al aire. Se disponen cuatro extractores en línea para conductos, a fin de asegurar la renovación de aire en el caso de fallo de alguno de los motores. Se sitúan dos extractores en cada parte de la fachada, integrados en el cajón extraíble, con bajo

nivel sonoro y prescindiendo de los filtros. El modelo de extractor es SV/FILTER-125/H, consta de una turbina multipala, con un caudal máximo de 240 m³/h y unas dimensiones de 73 x 22.2 cm² (Sodeca, 2012). Los extractores se colocan con el fin de causar el menor impacto visual posible, conectados al portatubos correspondiente de la fachada, que contiene la tubería que da paso a la corriente de aire en el forjado. La tubería, de 125 mm de diámetro, da paso al aire que atraviesa el forjado sanitario, estando insertada en el portatubos del muro de carga, Detalle C Figura 5.

Realizándose una renovación del aire del forjado por hora, por lo tanto 24 renovaciones diarias, se comprueba la velocidad de paso del aire a través de las tuberías de captación y descarga. La velocidad de paso se obtiene como el cociente del volumen de aire a renovar y la sección de la tubería. En el caso que la renovación se efectúe con un único motor la velocidad de paso de aire es de 1.1 m/s, no superándose en ningún momento el límite acústico establecido de 3 m/s.

Figura 7: Esquema de los extractores en las fachadas

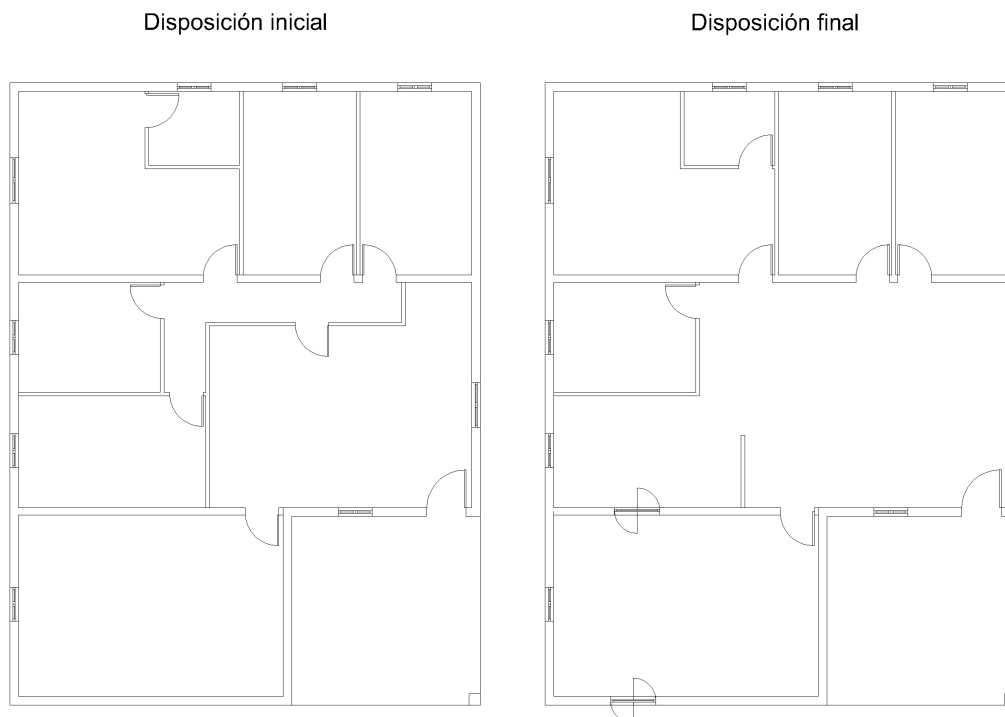


4.2. Reubicación de la tabiquería no estructural

Tras la implementación del sistema extractor, se reubican los espacios interiores de la vivienda (Figura 8), mejorándose el paso de las corrientes de aire en el interior de la misma, y obteniéndose una mayor homogeneidad del aire interior, evitándose así concentraciones elevadas en puntos singulares de la vivienda.

La tabiquería interior se realiza en placas de yeso laminado. Se disponen los tabiques interiores como en el diseño inicial de la vivienda, a excepción de una serie de modificaciones que se citan a continuación y permiten el paso de aire en el interior de la vivienda.

Figura 8: Disposición del interior de la vivienda antes y después de la redistribución



Las modificaciones integradas son las siguientes:

- Incorporación de ventana abatible en la parte superior de la fachada del garaje y en la pared común de garaje y cocina.
- Se evita la perpendicularidad de las paredes opacas al flujo de aire al situar la puerta del aseo paralela a la puerta del dormitorio principal.
- Se prescinde de los tabiques no estructurales comunes a comedor y pasillo, así como los comunes a cocina y comedor. Se dispone de una barra americana de 1 m de altura, que deja estas estancias comunicadas.

Una vez diseñadas las medidas de mitigación necesarias sobre la vivienda ya construida, se ha presupuestado que la ejecución de las mismas ascendería a una cantidad aproximada de treinta y cinco mil euros.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se ha llevado a cabo el diseño de las medidas de mitigación necesarias para reducir las concentraciones de radón en una vivienda ya construida, cuya situación radiológica se encontraba por encima de los límites establecidos por la legislación.

Las medidas de mitigación, aplicables a la vivienda ya construida, se integran a través del diseño de un sistema de extracción, cuya función es renovar el aire procedente del terreno, impidiendo así la entrada del radón en la vivienda. Además, dado que la implementación del sistema de renovación de corrientes de aire implica la demolición de tabiques no estructurales, se ha realizado la redistribución de la tabiquería no estructural de la vivienda, favoreciendo, en la medida de lo posible, el paso de las corrientes de aire naturales.

De acuerdo con las renovaciones de aire previstas, la concentración de radón se prevé que se reduzca a valores muy por debajo de los límites establecidos por la legislación, lo que implica una disminución del riesgo por exposición en la vivienda, manteniéndose la climatización y el confort acústico de ésta.

REFERENCIAS

- Akbari, K. y Mahmoudi, J. (2012). Numerical simulation of radón transport and indoor air conditions effects.. Obtenido el 26 de mayo de 2018: <https://www.ijser.org/paper/Numerical-Simulation-of-Radon-Transport-and-Indoor-Air-Conditions-Effects.html>
- Akbari, K. Mahmoudi, J. y Ghanbari, M. (2013). Influence of indoor air conditions on radón concentration in a detached house. Obtenido el 28 de mayo de 2018, *El Sevier*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X12002202>
- CSN. (2010). Guía de seguridad 11.01: Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire. Obtenido el 7 de marzo de 2019, de CSN: <https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS+11-01+Directrices+sobre+la+competencia+de+los+laboratorios+y+servicios+de+medida+de+radón+en+aire>
- CSN. (2017). Cartografía del potencial de radón en España. Obtenido el día 4 de junio de 2018, de OMS: <https://www.csn.es/documents/10182/914801/FDE02.17%20Cartograf%C3%ADa%20del%20potencial%20de%20rad%C3%B3n%20de%20Espa%C3%B1a>
- EPA. (2001). Building Radon Out. A Step-by-Step Guide On How To Build Radon-Resistant Homes. Obtenido el 27 de mayo de 2018, de EPA: <https://www.epa.gov/radon/building-radon-out-step-step-guide-how-build-radon-resistant-homes>
- EPA. (2018). A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon. Obtenido el 27 de mayo de 2018, de EPA: <https://www.epa.gov/radon/citizens-guide-radon-guide-protecting-yourself-and-your-family-radon>
- OMS. (2015). Manual de la OMS sobre el radón en interiores: Una perspectiva de salud pública. Obtenido el 11 de marzo de 2019, de OMS: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf
- Rabi, R. y Oufni, L. (2017). Study of radon dispersion in typical dwelling using CFD modeling combined with passive-active measurements. Obtenido el 28 de marzo de 2018, *El Sevier*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X12002202>
- Sodeca. (2012). Extracción y filtración de humos y polvo. SV/FILTER. Obtenido el 24 de marzo de 2019, de Sodeca: https://www.sodeca.com/upload/imgNews/CT10_ASPIRADORES_2012ES.pdf
- Unión Europea. Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 17 de enero de 2014, núm. 13, pp. 6-38.