

RADON GAS. ENVIRONMENTAL CONCENTRATION MEASURES AND REMEDATION ACTIONS IN EXPOSED BUILDINGS

Piedecausa García, Beatriz

Universidad de Alicante

The main contribution to the radiological impact from natural radiation received by general population is due to the emission of radon (^{222}Rn).

The objective of this project is the study of radon gas as a radioactive element in our buildings (existing and future constructions) to avoid its influence in interior rooms.

The proposed methodology reflects different aspects of natural radioactivity in buildings, their sources, their control criteria and regulatory framework; aspects related to the presence of radon in our constructions, entryways, measurement methodology for indoor environmental concentration are studied; other protection solutions and remediation measures in both existing buildings and new construction projects are analyzed.

In conclusion, the paper presents previous evaluation tools, the analysis of existing concentration and the choice of the most appropriate mitigation / remediation measures depending on each case, through the establishment of different architectural proposals to plan actions against radon where necessary.

Keywords: *Indoor radon; Natural radiation; Radon mitigation; Remediation actions*

GAS RADÓN. MEDIDAS DE CONCENTRACIÓN AMBIENTAL Y ACCIONES DE REMEDIACIÓN EN EDIFICIOS EXPUESTOS

La mayor contribución a la población debida a la radiación de origen natural es debida a las emanaciones del gas radón (^{222}Rn).

El objetivo principal del presente trabajo consiste en el estudio de este gas como elemento radiactivo en nuestras edificaciones (tanto existentes como futuras) para evitar su influencia en los espacios interiores construidos.

En la metodología propuesta se reflexiona sobre aspectos de radiactividad natural en la edificación, sus fuentes, sus criterios de control y su marco normativo; se estudian aspectos relacionados con la presencia del radón en los edificios, sus vías de entrada y la metodología de medida de concentración ambiental en espacios interiores; y se analizan distintas soluciones de protección y medidas de remedio ante su entrada tanto en edificios existentes afectados como en nuevos proyectos de edificación.

En conclusión, el trabajo presenta el estudio de herramientas de evaluación previa, el análisis de la concentración existente y la elección de las medidas de prevención o de remedio más apropiadas en función de cada caso, gracias al establecimiento de distintas propuestas arquitectónicas que permitirán planificar acciones de mitigación frente al radón donde sea necesario.

Palabras clave: *Radón interior; Radiación natural; Mitigación de radón; Acciones de remedio*

Correspondencia: Carretera San Vicente del Raspeig s/n. C.P. 03690. San Vicente del Raspeig, Alicante. Departamento Edificación y Urbanismo

1. Introducción

La contribución más importante al impacto radiológico debido a la radiación de origen natural que recibe la población en general corresponde a las emanaciones de gas radón. El radón (^{222}Rn) es un gas noble radiactivo más pesado que el aire, inerte, incoloro, inodoro, insípido e invisible que presenta un período de semidesintegración de 3,8 días y que, en su proceso de desintegración desde elementos inestables hasta el isótopo estable ^{206}Pb , produce descendientes sólidos con vidas medias inferiores a 30 minutos (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po). Estos metales pesados, químicamente muy activos, pueden fijarse a partículas de aerosoles en el aire ambiental y, tras su inhalación, presentan una alta probabilidad de desintegrarse en nuestro sistema respiratorio, aumentando el riesgo de desarrollar enfermedades cancerígenas.

El interés por la problemática de la acumulación de radón en los edificios se desarrolla mayoritariamente a finales de los años 70, al convertirse en una de las causas asociadas al Síndrome del Edificio Enfermo. Así, la Organización Mundial de la Salud declara en 1986 el carácter cancerígeno del radón, confirmando su relación con el cáncer de pulmón tras diferentes estudios epidemiológicos mundiales, y considerándolo la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaco.

La presente investigación se basa en el interés que despierta a nivel internacional el estudio de la problemática para la salud del ciudadano derivada de altas concentraciones de radón ambiental. En distintos países, han aparecido normativas en los últimos años que implican a las autoridades nacionales en proteger los espacios habitados y estipulan condiciones respecto a la mitigación de este gas radiactivo en función de la distribución en sus territorios. En el caso de España, a pesar de contar con múltiples experiencias que analizan concentraciones de radón tanto en viviendas como en lugares de trabajo, existe una escasez de documentación técnica sobre propuestas de mitigación de radón ambiental en el ámbito edificado; es por ello que se hace indispensable profundizar en este aspecto.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es el estudio del radón como elemento gaseoso radiactivo presente de manera natural en las edificaciones, con el fin de evitar su influencia en los espacios construidos. Se pretende el establecimiento de herramientas de evaluación previa del gas radón, los métodos de análisis de la concentración existente y la selección de medidas de prevención o de remedio más apropiadas, gracias a propuestas arquitectónicas diversas que permitirán planificar la mitigación frente al radón donde sea necesario.

Como objetivos específicos, se han estudiado tres grandes bloques temáticos: el establecimiento de generalidades respecto a radiactividad natural en las edificaciones (características del radón como elemento radiactivo); el estudio de metodologías de medida del radón (concentración ambiental en edificios) y el análisis de soluciones de protección y medidas de remedio ante la entrada del gas en edificios existentes afectados o en nuevos proyectos de edificación.

3. Metodología

Respecto a la metodología utilizada, se plantea una línea de actuación consistente en tres puntos principales:

1. Establecimiento del marco general sobre radiactividad natural en edificación. Se desarrollan las bases teóricas acerca del gas radón, conceptos de radiactividad natural y exposición en edificación, marco normativo sobre radiación interna y externa en las construcciones y efectos biológicos derivados de altas

concentraciones radiactivas en espacios habitables. Todo ello permite un acercamiento al gas radón (QUÉ) y sus condicionantes globales.

2. Estudio de la presencia de radón en edificios. Se profundiza en el análisis de la existencia del gas en la edificación, vías de entrada y principales métodos de medida para su determinación. Además, se recoge un caso propio de medida de concentración ambiental en edificios existentes de la Universidad de Alicante, con el fin de mostrar una aplicación práctica de estos sistemas de evaluación de radiactividad natural. Esto permite conocer metodologías de determinación de la concentración de radón (CUÁNTO) en las edificaciones.
3. Análisis de técnicas de protección y medidas de remedio frente al gas radón tanto en edificaciones existentes como en edificios en fase de proyecto, determinando las ventajas derivadas de su implantación. Se estudian ejemplos de soluciones para frenar su entrada, problemas derivados de su implantación y condiciones para un uso idóneo según el tipo de edificación. Así, se permite el estudio de métodos de protección (CÓMO) y las soluciones constructivas más utilizadas habitualmente.

4. Resultados

4.1. Estudio de la presencia del radón en edificios

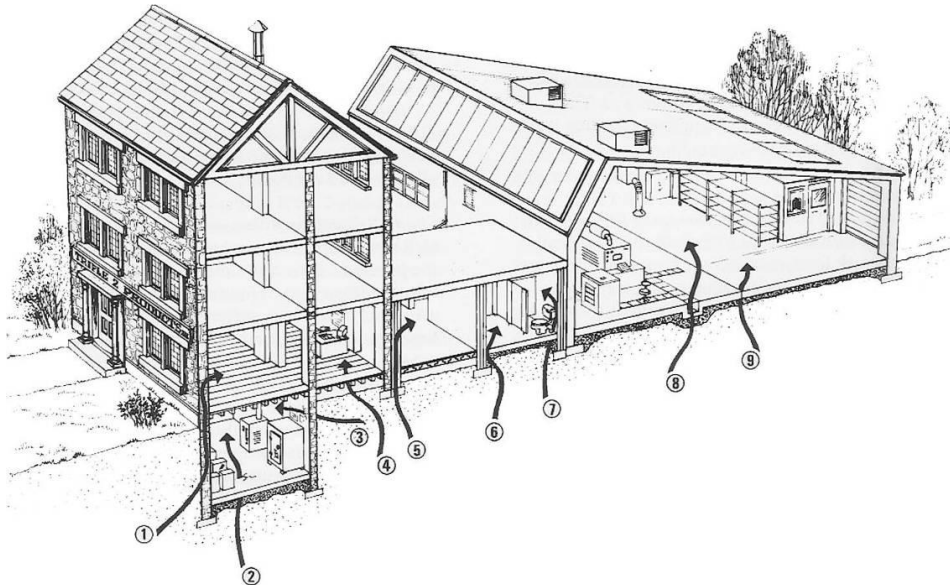
4.1.1. Entrada del gas radón

En referencia a las vías de entrada más habituales cabe decir que, como todo elemento gaseoso, el radón posee gran movilidad y capacidad de penetración a través de todo tipo de grietas, resquicios e, incluso, materiales porosos. Los accesos a espacios interiores son numerosos ya que el gas puede penetrar por cualquier fisura, cámara de aire, conducto o material (Figura 1), hacia un espacio interior donde, si no se encuentra convenientemente ventilado, podrá aumentar su concentración y sobrepasar los niveles recomendados.

La problemática de la acumulación del radón en interiores se ha incrementado en los últimos años debido a numerosas políticas de ahorro energético que promueven un gran aislamiento térmico mediante materiales de construcción muy eficientes. Este aumento de aislamiento, unido a la disminución de la ventilación (fundamentalmente en el norte de Europa) puede incrementar la concentración de este gas en los espacios edificados.

Así, la existencia de construcciones mejor aisladas y poco ventiladas implica una mayor posibilidad de alcanzar niveles peligrosos de concentración principalmente en lugares con una baja ventilación como sótanos, semisótanos, garajes o áreas en contacto directo con el suelo. Esto es debido a que, considerando la existencia de radón en el terreno, la diferencia de presiones entre el aire en los poros del terreno y el existente en el edificio favorece la entrada del gas a las estancias interiores ya sea por las ventilaciones existentes, por extracciones de aire viciado en espacios húmedos, por el tiro de chimeneas o por otras filtraciones. Como muestra de posibles vías de entrada del radón a los espacios interiores, la Figura 1 recoge distintas posibilidades, a saber: 1. Grietas en paredes. 2. Grietas en soleras. 3. Grietas en paredes bajo la cota cero. 4. Grietas en pavimentos. 5. Cámara de aire en paredes. 6. Juntas constructivas. 7. Holguras en conductos de saneamiento. 8. Grietas en canalizaciones. 9. Juntas constructivas.

Figura 1. Vías de entrada de radón. Fuente: Imagen disponible en www.claneco.com/cl/la-ventilacion-es-clave-para-evitar-los-efectos-nocivos-del-radon/radon-entry-diagram-workplace



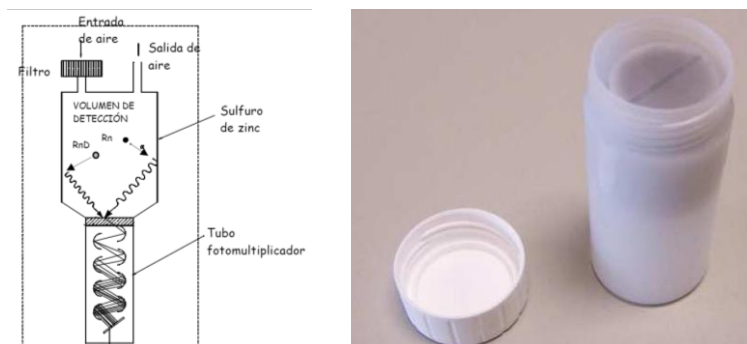
4.1.2. Medida de la concentración de radón ambiental

Desde el punto de vista de la instrumentación, la tecnología para detección del radón está muy desarrollada y existe una gran variedad de métodos de medida tanto en entornos exteriores (aire ambiental) como en espacios interiores (habitaciones), basados en la detección de radiación ionizante emitida durante la desintegración radiactiva del radón.

Algunos métodos requieren el desplazamiento de pesados equipos al lugar de medida mientras que en otros únicamente se colocan pequeños detectores que, posteriormente, se analizan en el laboratorio. La elección del instrumental dependerá de los objetivos del estudio y estará condicionada por el presupuesto disponible y por la duración de la medida. Así, en función del tiempo de muestreo, es posible distinguir tres tipos de métodos:

- **Métodos instantáneos:** miden el contenido de elementos radiactivos en una muestra limitada de gas tomada en un periodo de tiempo inferior a 20 minutos y un lugar determinado. Consisten en un pequeño contenedor con un sistema de detección interior que, tras haber efectuado la medida, es analizado en laboratorio para determinar la concentración de radón ambiental en ese momento determinado. Presentan un fácil transporte y son poco voluminosos, aunque su utilización no aporta valores representativos que evalúen tasas promedio de exposición a este gas.

Figura 2. Esquema de funcionamiento de una cámara de centelleo y método instantáneo para la medida del gas radón. Fuente: SAINZ, C. et al. (2010)



- **Métodos en continuo:** dan información de concentraciones puntuales (cada 10 minutos, cada hora, etc.) registrando la presencia de radón a través de gráficos en tiempo real. Son muy útiles para el estudio de fluctuaciones de concentración a lo largo del día o las estaciones del año, permitiendo relacionar la concentración de radón ambiental y las actividades desarrolladas en el edificio. Son métodos bastante voluminosos que, debido a su elevado precio, están limitados a tareas de investigación.

Figura 3. Equipos de medida de radón en continuo. Fuente: SAINZ, C. et al. (2010).



- **Métodos integrados:** determinan concentraciones promedio durante un cierto tiempo (días, semanas o meses). Son métodos asequibles y los más utilizados para estudios de reconocimiento, permitiendo decidir sobre la necesidad de tomar acciones correctoras (siempre con un tiempo de medida de tres meses como mínimo).

A su vez, estos equipos de medida pueden clasificarse en dos grupos: de período corto (medida de unos días) y de período largo (medida de unos meses). Entre los primeros, se encuentran los detectores de carbón activo y, entre los segundos, los detectores de trazas. La cámara electret puede considerarse tanto de período corto como largo, en función del dispositivo.

- *Cámara de carbón activo:* la exposición varía entre 2 y 7 días. Transcurrido ese tiempo, la medida en laboratorio se debe realizar en las 24 horas posteriores a la recogida del detector, debiendo introducirse un factor de corrección en caso de estar expuesto a humedad alta.
- *Cámara electret:* el tiempo de exposición suele ser de 3 a 12 meses para obtener concentraciones medias; aún así, también es posible realizar medidas de 3 a 7 días en determinados casos y con fines más específicos, como los del presente trabajo.
- *Detectores de trazas:* es un método frecuente para medidas de período largo. El tiempo de exposición suele ser de 3 a 12 meses, siempre que se necesite un valor promedio de concentración. Se emplea en medidas pasivas de período largo y es especialmente útil en campañas de prospección, por ser un método integrado que promedia la concentración de radón durante el tiempo total de exposición.

Figura 4. Cámara electret y detector de trazas para la medida de radón. Fuente: SAINZ, C. et al. (2010)



En definitiva, uno de los sistemas más utilizados por su menor coste son los detectores de trazas; el método de electretes también es adecuado para un buen resultado de concentración media anual (parámetro fijado por la Comisión Europea para el establecimiento de medidas correctoras de protección frente al radón), obteniendo el nivel de concentración de actividad de radón medido en Bequerelios (1Bq equivale a una desintegración atómica por segundo) por m³ de aire (Bq/m³).

4.2. Caso práctico: Universidad de Alicante

Tras la aparición de la Instrucción IS-33, sobre criterios radiológicos para protección frente a exposición a la radiación natural respecto al control de la radiactividad ambiental en lugares de trabajo, se considera conveniente el análisis de la influencia del gas radón en un emplazamiento tan significativo como es una universidad. Así, con el fin de estudiar sus instalaciones, se establece la medida de la concentración de radón en el interior de espacios subterráneos de 11 edificios representativos del Campus de la Universidad de Alicante (estancias con uso de aulas, zonas de informática, salones de actos y zonas administrativas en nivel de sótano), mediante dispositivos E-PERM de tipo "S" expuestos de 5 a 7 días durante el invierno de 2010 y el verano de 2011.

Para representar las condiciones propias de cada espacio, se definen fichas descriptivas de los edificios compuestas por datos generales, descripción funcional, imágenes interiores y exteriores, así como planos de distribución de estancias. Además, estas fichas también recogen los datos particulares sobre el estudio del radón ambiental en dicha estancia, un apartado del muestreo realizado y una descripción de las condiciones de medida.

Figura 5. Fichas de los edificios analizados en el campus de la Universidad de Alicante. Fuente: elaboración propia

The figure consists of three main parts: a site map on the left, and two data sheets on the right. The site map shows 11 numbered locations across the campus. The data sheets provide detailed information for 'edificio 3. Económicas y Económicas'.

ESTANCIAS SUBTERRÁNEAS EN EL EDIFICIO

- Aula de informática (ANALIZADA)
- Aula de informática (ANALIZADA)
- Estancia
- Paseo rodeado de despacho
- Salón
- Almacén perimetral
- Reposicionamiento

edificio 3. Económicas y Económicas

1. DATOS GENERALES

Espacio analizado: Dos aulas informáticas
 Disposición de espacios: 2x2 dentro
 Superficie de la estancia: 58,3 m² (espacio 1) y 67,1 m² (espacio 2)
 • Medicación al exterior: No, acceso a un pasillo exterior
 • Contacto con el terreno: suelo impacte 1); suelo impacte 2)

2. MUESTREO REALIZADO

Ubicación de los detectores: en cada espacio analizado
 Ubicación de los detectores: encima de la mesa del profesor (impacte 1) y encima de una mesa del aula (impacte 2)

2.1. MEDIDAS EN DICIEMBRE 2010

Estación del año: Verano
 Fecha inicio: 29 de diciembre de 2010
 Fecha final: 04 de enero de 2011
 Tiempo total de exposición: 6 días
 Condiciones: espacio cerrado durante las medidas

2.2. MEDIDAS EN JUNIO DE 2011

Estación del año: Verano
 Fecha inicio: 22 de junio de 2011
 Fecha final: 27 de junio de 2011
 Tiempo total de exposición: 5 días
 Condiciones: espacio cerrado durante las medidas

3. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA MEDIDA

Datos	Dic. 2010	Jun. 2011	Datos	Dic. 2010	Jun. 2011
Temperatura interior	26,8 °C	26,8 °C	Temperatura exterior	16,8 °C	29,4 °C
Humedad relativa	52,2 %	51,7 %	Humedad relativa exterior	67,1 %	79,1 %

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Radación gamma ambiental de fondo: 0,07 µSv/h

Los resultados de radón ambiental obtenidos con el muestreo realizado mediante dispositivos E-PERM se detallan en los tablos siguientes.

MEDIDAS EN DICIEMBRE 2010

Espacio	Inicio	Fin	Nº de días	Concent. Radón (mBq/l)	Incertid. (mBq/l)	Incertid. (mSv/año)
1. Aula informática	29/12/10	04/01/11	6	24,9	3	10
2. Aula informática	29/12/10	04/01/11	6	26,8	4	8

MEDIDAS EN JUNIO DE 2011

Espacio	Inicio	Fin	Nº de días	Concent. Radón (mBq/l)	Incertid. (mBq/l)	Incertid. (mSv/año)
1. Aula informática	22/06/11	27/06/11	5	51,4	4	8
2. Aula informática	22/06/11	27/06/11	5	49,8	4	8

Nota: Edificios analizados. 1. Aulario General II. 2. Rectorado. 3. Económicas. 4. Centro Comercial. 5. Germán Bernácer. 6. Biblioteca General. 7. Ciencias Sociales. 8. Politécnica Superior IV. 9. Club Social III. 10. Facultad De Ciencias VI. 11. Zona Deportiva.

Como resultados de las citadas medidas se obtiene que, para las efectuadas en época de invierno, la mayor concentración parcial registrada corresponde a valores menores a $80,0\text{Bq/m}^3$; mientras que, para las medidas en época de verano, la mayor concentración parcial registrada corresponde a valores menores de $90,0\text{ Bq/m}^3$ (Tabla 1). Estas exposiciones se han llevado a cabo en condiciones ambientales interiores estables, con valores de presión atmosférica en un rango constante durante los periodos de medida y no registrándose precipitación alguna.

Tabla 1. Resultados obtenidos experimentalmente de concentración de radón ambiental en la Universidad de Alicante. Fuente: elaboración propia

EDIFICIO	MEDIA INVIERNO (Bq/m^3)	MEDIA VERANO (Bq/m^3)	TOTAL (Bq/m^3)
01. Aulario II	24,2	43,4	33,8
02. Rectorado	38,1	31,5	34,8
03. Económicas	26,4	51,6	39,0
04. Centro Comercial	73,8	84,0	78,9
05. Germán Bernácer	39,5	35,6	37,6
06. Biblioteca Gral	24,9	53,3	39,1
07. Ciencias Sociales	19,6	7,9	13,8
08. Politécnica IV	25,4	33,1	29,3
09. Club Social III	7,2	6,4	6,8
10. Ciencias VI	10,1	13,25	11,7
11. Zona Deportiva	8,7	9,2	9,0

4.3 Aplicación de medidas de protección ante la entrada de radón en edificios

En los últimos años, tanto la comunidad científica como el público en general, se han interesado por el peligro del gas radón para la salud en edificios con concentraciones altas. Niveles que al aire libre son generalmente muy bajos (en torno a 10 Bq/m^3), en interiores aumentan de valor fundamentalmente en lugares poco ventilados. A lo largo del tiempo, se han desarrollado medidas de protección en distintos países frente a la entrada de este gas tanto en edificaciones ya construidas (medidas correctoras) como en la fase proyectual de nuevas construcciones (medidas de diseño).

A nivel internacional, los principales estudios acerca de acciones de remedio se centran básicamente en la búsqueda de soluciones arquitectónicas que reduzcan los niveles de radón en edificios existentes o que constituyan una barrera eficaz contra la entrada de radón en edificios de nueva construcción. Estados Unidos, con bastante concienciación al respecto, es un país con gran definición sobre actuaciones con concentraciones de radón elevadas. Las técnicas de mitigación en ese mercado tienen ya un amplio recorrido y la normativa permite incluso intervenciones graduales para mitigar cada problema concreto, determinando distintos períodos máximos para su reducción de años, meses o semanas según la necesidad. En España, Frutos et al. (2011) probaron con éxito, en una aplicación práctica, distintas acciones de remedio en un módulo construido con técnicas típicamente españolas en un terreno con muy altos niveles de radón en Saélices el Chico, Salamanca.

Con estas consideraciones, y asumiendo que el radón es un elemento gaseoso de mucha movilidad, la protección en cualquier edificio ha de partir de la comprensión de sus mecanismos de entrada a los espacios interiores. Así, el principal objetivo en cualquiera de

los sistemas es frenar el aumento de su concentración interior mediante la utilización de dos estrategias:

- El empleo de Sistemas de Barrera, que aporta mayor estanqueidad a la edificación mediante la utilización de barreras impermeables frente al paso del gas radón.
- El empleo de Sistemas de Aireación, que utiliza elementos de expulsión al ambiente exterior del gas existente bajo la edificación, evitando que se introduzca hacia las estancias habitables.

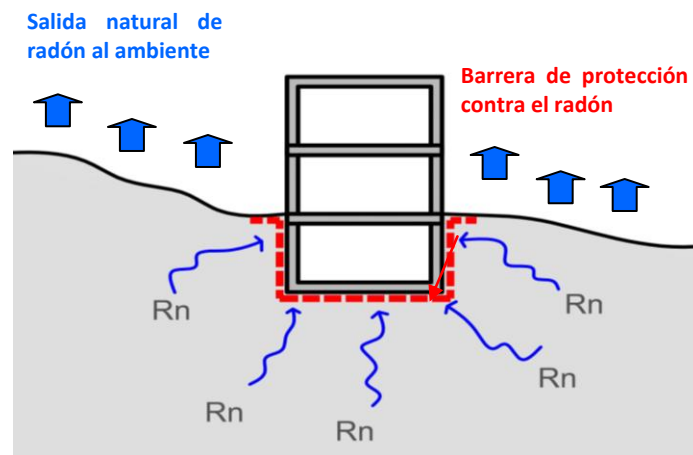
De este modo, aunque todas las técnicas pretendan controlar el nivel de concentración interior de los espacios, unas evitarán principalmente la entrada de radón mientras que otras reducirán los niveles existentes una vez el gas haya entrado. Ambos sistemas pueden ser aplicados tanto en las denominadas acciones de prevención (aquellas que se proyectan en el momento del diseño del edificio) como a las acciones de remedio (aquellas que pueden implantarse para mitigar los efectos del radón en edificaciones ya construidas), en función de las restricciones constructivas o económicas de cada caso.

Por último, cabe indicar que también existen otras posibilidades de actuación, como es la eliminación de la propia fuente emisora de radón; una opción viable en determinados casos (radón disuelto en agua) aunque no en todos (radón proveniente del terreno).

4.3.1 Sistemas de Barrera

Los sistemas de barrera para protección ante el radón actúan como elementos impermeables al gas mediante una membrana que evita su paso hacia el interior de las estancias, de un modo semejante a las barreras impermeables al agua. Sin embargo, aunque el concepto es similar (establecer un impedimento frente a un condicionante externo), las características de ambas membranas son distintas, puesto que actúan frente a elementos con características físicas diferentes: en un caso líquido y en otros gases.

Figura 6. Esquema de sistema de barrera como protección a la entrada del gas radón. Fuente: elaboración propia



La permeabilidad al radón de un material indica su capacidad para actuar como barrera frente al movimiento de este gas a través de él. Cuando se genera un gradiente de presiones entre el suelo y el interior de la edificación, el paso del gas será más importante cuanto mayores sean los valores de la permeabilidad de los suelos y de los materiales de construcción utilizados como barrera. Este parámetro está muy relacionado con la porosidad del material, ya que si aumenta la porosidad aumenta el tamaño y número de los espacios disponibles para que fluya el gas; sin embargo, su valor no solo depende del volumen de los poros existentes, sino también de su tamaño, su distribución y la interconexión entre ellos.

Por todo ello, el proceso de puesta en obra de este tipo de sistema es fundamental a la hora de alcanzar una efectividad máxima: es imprescindible tomar grandes precauciones para no dañar la barrera de ningún modo (ya que una pequeña fisura inutilizará la efectividad de toda la solución) y la resolución de los puntos conflictivos ha de plantearse de un modo muy riguroso (solapes, canalizaciones, puntos con posibles movimientos diferenciales, encuentros, etc.). Todos estos condicionantes suponen gran dificultad de conseguir la estanqueidad absoluta con esta solución, ya que probablemente el material siempre sufra pequeños daños o fisuras durante su puesta en obra, posibilitando la entrada de un porcentaje de radón al interior.

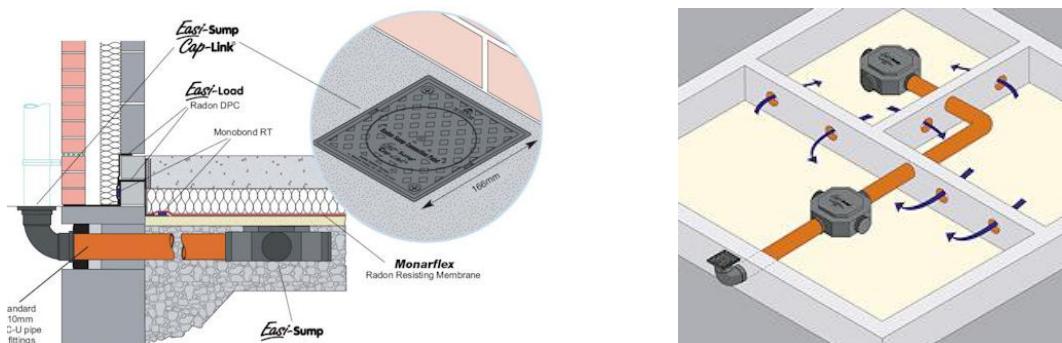
4.3.2 Sistemas de Aireación

Al contrario que las soluciones de barrera, los sistemas de aireación no se basan en la interposición de una membrana que interrumpa el paso del gas radón sino que actúan principalmente modificando las presiones existentes bajo la solera, en el forjado sanitario o en el interior del edificio afectado, desviando el flujo de radón hacia el exterior. Dentro de esta clasificación podemos encontrar tres variantes:

- **Sistemas de extracción** del aire (con contenido de radón) existente en el terreno donde se ubica la edificación; así, los gases se expulsan directamente al ambiente exterior, evitando que pasen desde el suelo al interior de los espacios habitables.

La instalación de estos sistemas se ubica bajo la construcción, en contacto directo con el terreno y es por ello, para su aplicación, se tendrá en cuenta la solución constructiva del edificio (si existe solera o forjado sanitario), la concentración de radón bajo el edificio o la permeabilidad del terreno. En función del caso, se elegirán sistemas bien con tiro natural (donde la velocidad del viento exterior será un factor importante en la succión generada) o con tiro forzado (más efectivo aunque con mayor repercusión económica).

Figura 7. Sistema de captación prefabricado en PVC bajo solera y forjado sanitario. Fuente: Imagen disponible www.necoflex.ie/support/radon-barrier-solution-finder/easi-sump-radon-sump/easi-sump-step-02.aspx

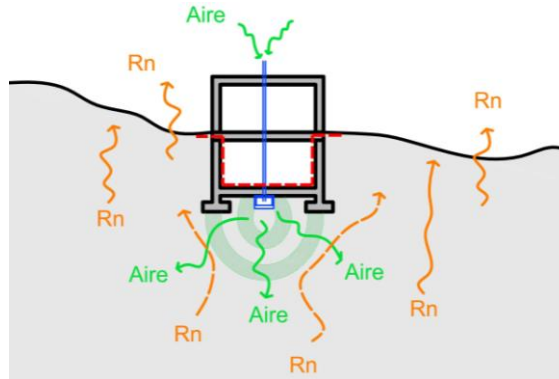


- **Sistemas de presurización:** funcionan a la inversa de los sistemas de extracción y, en lugar de extraer aire del terreno para expulsarlo a la atmósfera, lo que plantean es invertir el flujo para introducir aire a presión en él. De esta manera, se crea un bulbo de presiones bajo la construcción que evita que el radón emane del terreno más próximo; al existir una fuerza mayor que la del aire presente en los poros del terreno, el radón se ve obligado a buscar otros caminos hacia la superficie más alejados.

Al igual que en el sistema de extracción, la presurización también funciona de manera más óptima cuanto mayor sea la permeabilidad del terreno, aunque sus costes de funcionamiento son un poco superiores, al estar introduciendo constantemente presión al terreno. Aún así, es una solución bastante efectiva,

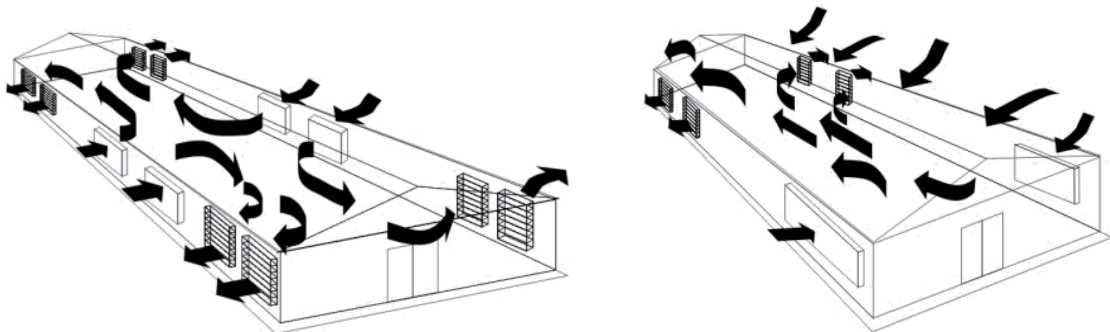
fundamentalmente cuando existen condicionantes externos (nivel freático elevado o aguas subterráneas) que impiden la utilización de un sistema de extracción.

Figura 8. Esquema de sistema de presurización con arqueta central. Fuente: elaboración propia



- **Sistemas de ventilación.** Al entrar en contacto con el ambiente exterior, el gas radón se diluye en el entorno y deja de existir una concentración elevada en el espacio estudiado. Por ello, con una ventilación interior adecuada las edificaciones se encontrarán a salvo de este gas. A pesar de que esta ventilación no supone un problema en épocas calurosas del año o en zonas geográficas calientes, presenta un mayor inconveniente en zonas frías. Así, aunque el sistema podría resultar efectivo, no es muy utilizado ya que implica una entrada constante de aire limpio desde el exterior (mediante aberturas o respiraderos) y condiciona en gran medida el diseño de las estancias. Por esta razón, y teniendo en cuenta el gasto de energía adicional que supondría durante su vida útil esta solución, la elección de este sistema paradójicamente puede llegar a ser más cara que la colocación de una propuesta de extracción.

Figura 9. Esquema de funcionamiento de un sistema de ventilación. Fuente: Imagen disponible en www.viarural.com.ar



5. Conclusiones

5.1 Estudios de concentración de radón en edificios

El ^{222}Rn es un isótopo que adquiere gran importancia radiológica ya que su periodo de semidesintegración le permite recorrer grandes distancias e incorporarse al interior de recintos cerrados antes de desintegrarse. Así, aunque siempre ha estado presente en el ambiente que respiramos, su concentración en los espacios interiores ha aumentado significativamente en los últimos años debido a la existencia de construcciones cada vez más herméticas, con mejor aislamiento térmico, menor ventilación y mayor ahorro

energético. Este problema, que supone un aumento del riesgo de contraer cáncer pulmonar por inhalación de gas radón, ha sido constatando a través de distintos estudios epidemiológicos y, por ello muchos países han elaborado documentos oficiales y normativas para proteger los espacios habitados. Sin embargo, y aunque la incorporación de soluciones constructivas específicas es fundamental para ejercer una acción preventiva adecuada, España es un ejemplo de atraso y omisión normativa en lo referente al tema de protección frente al gas radón.

Tras el análisis bibliográfico sobre radiación natural, la puesta en práctica de un estudio experimental para la medición del radón en el interior de distintos edificios del campus de la Universidad de Alicante, ha permitido poner en práctica el análisis teórico inicial sobre el radón en ambientes subterráneos. Además, considerando el reciente Real Decreto 1439/2010 (2010), se ha planteado una primera evaluación del posible riesgo derivado de la exposición al radón en los diferentes puestos de trabajo de la citada entidad pública.

Tras el análisis en la Universidad de Alicante se comprueba cómo un 36,4% de los edificios analizados se encuentra entre 0-20 Bq/m³, un 54,6% se encuentra entre 21-60 Bq/m³ y un 9% se encuentra por encima de 61 Bq/m³. Aunque todos ellos son valores de concentración bastante baja, sería necesaria una constatación experimental más detallada mediante otras campañas de mayor duración (en periodos de 3 a 6 meses) que permitan establecer valores promedio anuales para una caracterización más exhaustiva.

5.2 Aplicación de medidas de protección ante la entrada de radón en edificios

Cabe destacar que, aunque habitualmente se identifiquen este tipo de soluciones con su utilización en viviendas (al ser la tipología donde pasamos la mayor parte del tiempo), estos sistemas pueden ser generalizados y empleados para todo tipo de usos.

Respecto a las técnicas de reducción del gas radón a nivel internacional, las soluciones de mitigación o remedio más comunes son los sistemas de barrera y los sistemas de aireación, ya sea impidiendo la entrada del radón desde el terreno o eliminándolo mediante mejoras en la ventilación interior después de su entrada.

- En cuanto a los sistemas de barrera, es crucial su correcta ejecución ya que, cuando se trata de un gas y no de un líquido, la existencia de cualquier poro reducirá de manera determinante la eficacia de la solución, pudiendo incluso inutilizarla. A nivel teórico, es posible evitar su acceso desde el terreno con un correcto sellado de los puntos de entrada; sin embargo, una estanqueidad completa es a menudo extremadamente difícil de lograr ya que para que este método tenga éxito, todos los huecos y grietas han de estar bien cerrados. En la práctica, para conseguir mayor protección frente al radón, se recomienda establecer un uso combinado de un sistema de barrera y un sistema de extracción ya que el uso exclusivo de membranas sin ningún complemento sólo es aplicable con concentraciones de radón por debajo de 200 Bq/m³.
- En cuanto a los sistemas de aireación, cabe comentar que los métodos pasivos sólo son apropiados para concentraciones de radón hasta unos pocos cientos de Bq/m³; en caso de mayor concentración, la solución más eficaz será una arqueta activa, que en términos generales suele ser eficaz en un área de 250m². En espacios cerrados, la principal acción de remedio global en lugares subterráneos es la ventilación forzada, sin embargo, debe controlarse su utilización ya que la presencia de extractores o mecanismos de calefacción en el edificio provoca la generación de nuevas corrientes de aire y movimientos inducidos que pueden llegar a incrementar el paso de radón desde el suelo a las estancias interiores a través de poros y fisuras existentes en la propia estructura.

Si se tienen en cuenta estos factores y se selecciona correctamente la técnica de remedio más adecuada, es posible reducir la concentración de radón muy por debajo del nivel de referencia en la gran mayoría de los edificios. Aún así, el éxito de la mitigación de radón basada únicamente en la ventilación dependerá de la concentración base existente y el nivel final que se desea alcanzar ya que, cuanto mayor sea el punto de partida, más renovaciones de aire se deberán producir para reducir la concentración de radón interior. En estos casos, es imprescindible un estudio exhaustivo de viabilidad y efectividad de cada sistema concreto, volviéndose fundamental un buen diagnóstico previo

6. Referencias

- Consejo de Seguridad Nuclear. Informe Técnico INT-04.09. Concentraciones de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural. Madrid, 2004.
- Consejo de Seguridad Nuclear. Instrucción IS-33, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural. Madrid, 2012.
- España. Normas Técnicas de Prevención. NTP 440: Radón en ambientes interiores. Notas Técnicas de Prevención. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Madrid, 2003.
- España. Normas Técnicas de Prevención. NTP 533: El radón y sus efectos sobre la salud. Notas Técnicas de Prevención. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Madrid, 2003.
- España. Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio. *Boletín Oficial del Estado*, de 18 de noviembre de 2010, núm. 279, pp. 96395-96398.
- Frutos, B. (2009). *Estudio experimental sobre la efectividad y la viabilidad de distintas soluciones constructivas para reducir la concentración de gas radón en edificaciones*. Tesis Doctoral. E.T.S .Arquitectura Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Frutos, B., Olaya, M. , Esteban, J. L. (2011). Sistemas de extracción como técnicas constructivas para evitar la entrada de gas radón en las viviendas. *Informes de la Construcción*, 63, 23-36.
- Grimsrud, D., Hadlich, D.E., Huelman, P.H. (1996). *Assessment of radon mitigation methods in Low-rise Residential Buildings*. Department of Housing and Urban Development. Minnesota, USA.
- International Commission on Radiological Protection. ICRP 65. Protection against ²²²Rn at home and at work. International Commission on Radiological Protection, 1993.
- Organización Mundial de la Salud. *Handbook on indoor radon. A public health perspective*. Organización Mundial de la Salud. Francia, 2009.
- Papachristodoulou, C.A., Patiris, D.L., Ioannides, K.G. (2010). Exposure to indoor radon and natural gamma radiation in public workplaces in north-western Greece. *Radiation Measurements*, 45, 865-871.
- Piedecausa, B. (2012). *La vivienda tradicional excavada: las casas-cueva de Crevillente. Análisis tipológico y medidas de calidad del aire*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. Alicante.
- Piedecausa, B. (2013). Medidas de radón en edificios del campus de la Universidad de Alicante. *Informes de la Construcción*, 65, 301-310.
- Real, G. (2002). *El Radón. Tratamiento jurídico de un enemigo invisible*. Editorial Club Universitario. Alicante.
- Risica, S. (1998). Legislation on radon concentration at home and at work. *Radiation Protection Dosimetry*, 78, 15-21.
- Sainz, C., Fuente, I., Quindós, L., Gutierrez, J.L. (2010) *Técnicas de medida del radón y sus descendientes. El interés de una estandarización de la medida*. Universidad de Santiago de Compostela.

- Trevisi, R., Caricato, A., D'alessandro, M., Fernández, M., Federica Leonardi, F., Armando Luches, A., Tonnarini, S., Veschetti, M. (2010). A pilot study on natural radioactivity in schools of south-east Italy. *Environment International*, 36, 276-280.
- Unión Europea. Draft European Basic Safety Standards Directive. Versión 24 febrero 2010, http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/art31/2010_02_24_draft_euratom_basic_safety_standards_directive.pdf
- Unión Europea. Recomendación 90/143/EURATOM de la Comisión de 21 de febrero de 1990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. *Diario Oficial*, nº L 080 de 27 de marzo de 1990.