

222

RRm

Guía para la protección de

Gas Radón

en Extremadura

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Movilidad, Transporte y Vivienda



LIBRO 1: GENERAL

Rn

Guía para la protección de

**Gas
Radón**
en Extremadura

El confinamiento domiciliario derivado de la pandemia sanitaria provocó que nuestras viviendas se convirtieran más que nunca en nuestro hogar, en el núcleo de todas nuestras actividades, en espacio de convivencia, trabajo y ocio y en nuestro refugio físico y social. En los últimos meses, hemos entendido más que nunca que la vivienda es un derecho ciudadano más que económico, una idea que se ha visto reforzada en este contexto de crisis y en una situación sobrevenida e imprevisible.

Además, el efecto de la pandemia ha puesto de manifiesto algunas necesidades y oportunidades respecto de nuestra vivienda, así como algunas carencias. Una de esas debilidades puede ser la contaminación del aire interior de los espacios habitados que, entre otras, puede provocar la exposición al gas radón y sus efectos sobre la salud.

Con la intención de informar, formar y prevenir se edita esta guía que pretende luchar contra los efectos perjudiciales derivados de las altas concentraciones de gas radón y evitar, mediante consejos básicos como la ventilación o un sellado, que la sobreexposición a esta sustancia afecte a nuestra salud al tratarse de un gas que se ha convertido en una de las principales causas relacionadas con el cáncer de pulmón.

Este documento es una hoja de ruta para reducir las radiaciones no solo en nueva vivienda sino en edificios ya construidos, en los que sus propietarios no están obligados a implementar medidas correctoras, pero donde es recomendable aplicarlas cuando la concentración de radón es superior a 300 Bq/m³ en las plantas habitables y su ocupación es permanente.

Por lo tanto, para que nuestros hogares se conserven de forma adecuada es fundamental combatir aspectos como la mala calidad del aire interior de los edificios, un factor de riesgo evitable haciendo que nuestros hogares se adapten, evolucionen y gocen de una óptima salud, ya que del buen estado de nuestra vivienda depende también nuestra salud.

Leire Iglesias Santiago

Consejera de Movilidad, Transporte y Vivienda

GUÍA PARA LA PROTECCIÓN DEL GAS RADÓN EN EXTREMADURA.

Dirección y Coordinación:

D.G. de Arquitectura y Calidad de la Edificación:

Núñez Carroza, Jose Miguel.

Bellorín Gómez, Patricia.

Autores:

Baeza Espasa, Antonio

Bellorín Gómez, Patricia

De la Torre Pérez, Julián

Gallardo Montaña, Roberto

García Paniagua, Jorge

Guillén Gerada, Francisco Javier

Lucini Gallego, Jaime

Martín Sánchez, Alejandro

Núñez Carroza, José Miguel

Rena Sánchez, José Ángel

Tejado Ramos, Juan José

Edición:

Junta de Extremadura

Diseño y maquetación:

Comunica Estudio

Depósito legal

CC-000402-2020

ISBN

978-84-09-26772-9

GUÍA PARA LA PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN DE EXTREMADURA

ÍNDICE DE CONTENIDO

	LIBRO 1 - GUÍA PARA LA PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN DE EXTREMADURA
6	CAPÍTULO 01- INTRODUCCIÓN
9	CAPÍTULO 02 - FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN
9	2.1. MOVILIDAD DEL RADÓN DESDE EL TERRENO HACIA LA SUPERFICIE Y LAS PRINCIPALES FUENTES DE ENTRADA EN LOS EDIFICIOS
11	2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS
15	2.3. MAPA DE POTENCIAL DE RADÓN EN ESPAÑA Y EN EXTREMADURA
17	CAPÍTULO 03 - RADÓN Y SALUD
19	CAPÍTULO 04 - DISPOSICIONES LEGALES Y REGLAMENTARIAS
19	4.1. LEGISLACIÓN COMUNITARIA
19	4.2. LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD Y EL RADÓN
20	4.3. LEGISLACIÓN NACIONAL
22	4.4. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA
23	CAPÍTULO 05 - TIPOS DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN
23	5.1. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE GAS RADÓN
26	5.2. PROTOCOLO DE MEDIDA DE RADÓN EN AIRE EN INTERIORES
27	5.3. GARANTÍA DE CALIDAD EN LOS RESULTADOS
29	CAPÍTULO 6 – MEDIDAS CORRECTORAS
29	6.1. BARRERA DE PROTECCIÓN
30	6.2. ESPACIO DE CONTENCIÓN VENTILADO
32	6.3. SISTEMA DE DESPRESURIZACIÓN DEL TERRENO
33	6.4. SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DEL TERRENO
34	6.5. VENTILACIÓN DE ESPACIOS HABITABLES
37	CAPÍTULO 07 – MITOS Y REALIDADES
	LIBRO 2 - GUÍA TÉCNICA DE PROTECCIÓN FRENTE AL RADÓN DE EXTREMADURA
6	CAPÍTULO 01 - GUÍA TÉCNICA DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTORAS
6	1.1. BARRERA DE PROTECCIÓN
8	1.2. ESPACIO DE CONTENCIÓN VENTILADO
10	1.3. SISTEMA DE DESPRESURIZACIÓN DEL TERRENO
12	1.4. SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DEL TERRENO
13	1.5. VENTILACIÓN DE ESPACIOS HABITABLES
15	CAPÍTULO 02 – EJEMPLO PRÁCTICO DE APLICACIÓN
15	2.1. ANTECEDENTES
16	2.2. MEDIDAS ADOPTADAS
18	2.3. RESULTADOS TRAS LA ACTUACIÓN
20	CAPÍTULO 03 - BASE DE PRECIOS
20	3.1. HIPÓTESIS DE REFERENCIA
20	3.2. CONCEPTOS GENERALES
20	3.3. ESTRUCTURA DE DE COSTES
20	3.4. PRESUPUESTO
21	3.5. BASE DE PRECIOS
59	CAPÍTULO 04 - FICHAS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS
81	TABLAS E ILUSTRACIONES
82	REFERENCIAS
84	WEBGRAFÍA

CAPÍTULO 01/ INTRODUCCIÓN

¿QUÉ ES EL RADÓN?

El radón es un gas radiactivo de origen natural, que no tiene color, olor ni sabor, y que pertenece al grupo de los gases nobles, es decir, que reacciona muy poco con otros elementos para formar compuestos químicos.

52 127,60 Te TELURIO	53 128,90 I YODO	54 131,29 Xe XENÓN
85 (210) At ASTANO	85 (210) At ASTANO	86 (222) Rn RADÓN
	117 Uus UNUNSEPTIO	118 Uuo UNUNOCTIO

Ilustración 1 - Radón en la tabla periódica

Los gases radioactivos presentan la propiedad de ser capaz de transformarse en otros elementos, emitiendo radiaciones ionizantes: partículas alfa (α), partículas beta (β) o fotones (rayos X y rayos gamma (γ)).

La emisión de radiaciones ionizantes que por unidad de tiempo, emite un material radiactivo, es una medida de su ACTIVIDAD o de su RADIATIVIDAD: número de transformaciones (desintegraciones radioactivas) que efectúa el material por unidad de tiempo.

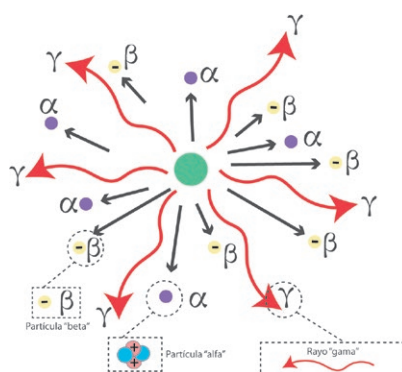


Ilustración 2 - Desintegración radiactiva

De esta forma, el radón se genera debido a la desintegración radiactiva del uranio (^{238}U), que se transforma en radio (^{226}Ra) y éste se transforma en radón (^{222}Rn). El radón, al igual que sus predecesores, el uranio y el radio, es un elemento radiactivo de origen natural, es decir, que está presente en la naturaleza desde la formación de la Tierra, originándose de forma espontánea, y dado que su probabilidad de desintegración es muy baja, aún está presente en ella.



Ilustración 3 - Generación del Radón. Fuente: Quindós³

Por su parte, el radón, al desintegrarse, emite partículas alfa, y se convierte en otros elementos que también son radiactivos, denominados comúnmente progenie del radón o descendientes de vida corta del radón. A diferencia del radón, sus descendientes no son gases, sino sólidos, que se adhieren a las superficies de los materiales, fijándose a menudo a las partículas de polvo en suspensión o a otras partículas y movilizándose con el aire. La progenie del radón también sigue siendo radiactiva, puesto que emiten partículas alfa en sus diversas desintegraciones.

En Extremadura, existen estudios que permiten conocer la concentración retrospectiva del Radón en función de sus descendientes en interiores.⁴⁷

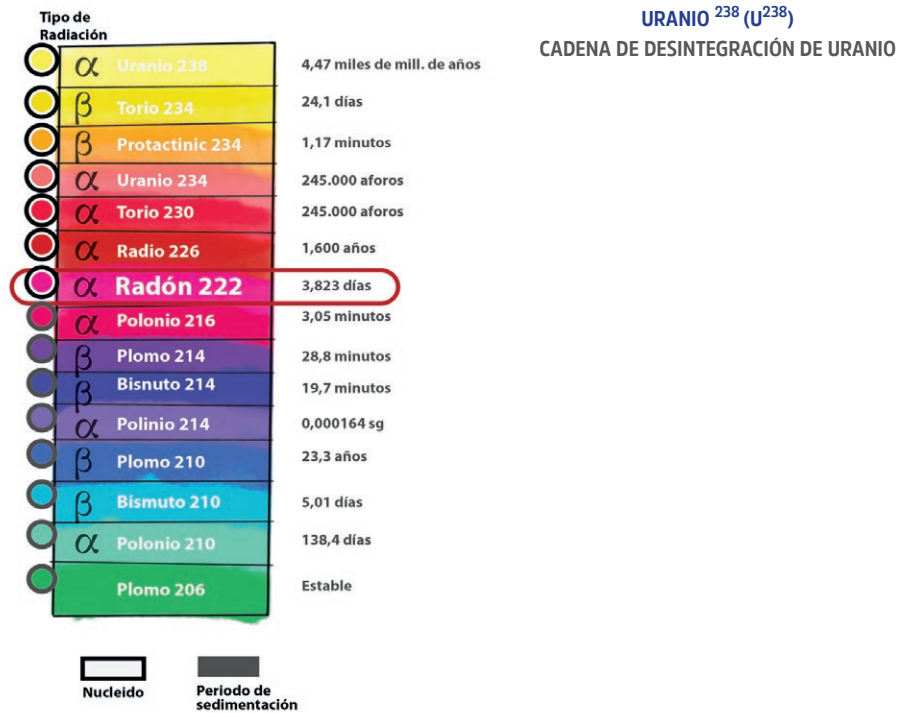


Ilustración 4 - Periodo de desintegración radiactiva del uranio U²³⁸

Las partículas alfa (α), resultado de la desintegración del radón son energéticas, pero tienen muy poco poder de penetración en la materia. Así, toda la energía de las partículas alfa puede detenerse completamente con una capa de muy poco espesor, por ejemplo, con una simple hoja de papel.

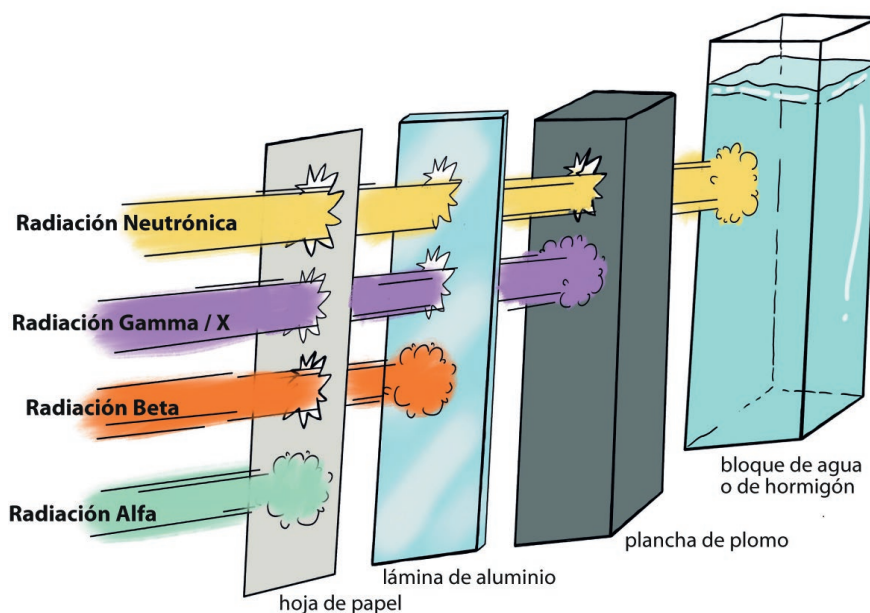


Ilustración 5 - Tipo de radiación emitida en la desintegración y capacidad de alcance (poder de penetración).

Unidades de medida

La unidad de medida que se emplea para medir las concentraciones de radón en aire es el Becquerel por m^3 (Bq/m^3).

El Becquerel (Bq) es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades, que mide la actividad radiactiva, definiéndose como una desintegración nuclear por segundo, de forma que la unidad de concentración de radón en aire (Bq/m^3), es el número de desintegraciones por segundo de átomos de radón en un metro cúbico de aire.

Por tanto, una concentración de $300 Bq/m^3$, indica que cada segundo, 300 átomos de radón se desintegran en un volumen de $1 m^3 = 1000$ litros.

Vida media (¿Qué es?)

Todos los elementos radioactivos se caracterizan por su vida media o período de semidesintegración, definido como el tiempo que tiene que pasar para que se desintegren la mitad de los átomos radiactivos de una muestra.

Así el uranio (^{238}U) tiene una vida media o período de 4,5 mil millones de años, por lo que, si comparamos el periodo del uranio con la edad de nuestro planeta, podemos asegurar que en la actualidad tenemos la mitad del uranio que cuando se originó el mismo.

El radio (^{226}Ra) tiene una vida media de 1660 años, mientras que el radón (^{222}Rn) tiene una vida media de 3.8 días. Esto quiere decir que, si se tiene una caja con 100 átomos de ^{222}Rn , a los 3.8 días quedarían sólo 50 átomos, siempre y cuando no haya un aporte nuevo de radón a dicha caja.

Entonces, **¿por qué existen aún isótopos radiactivos?:**

- Porque, generalmente, tardan muchísimo en desintegrarse.
- Porque se van formando de forma natural o artificial.

Así, el Radón (^{222}Rn) cuya vida media o período de semidesintegración es de 3,8 días existe todavía porque tiene a su padre, el Radio (^{226}Ra), con 1660 años de vida media y a su "tataratarabuelo" el Uranio (^{238}U), con 4,5 millones de años!

Por tanto: **¡SIEMPRE EXISTIRÁN!**

CAPÍTULO 02/FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN

La principal fuente de radiación natural es debida al gas radón.

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LA EXPOSICIÓN A FUENTES DE RADIACIÓN

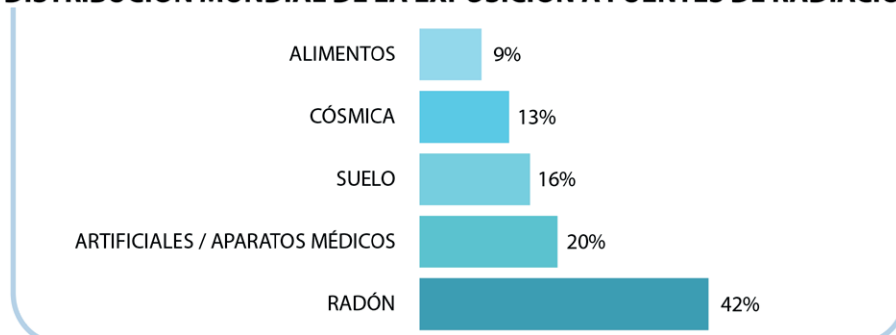


Ilustración 6 - Distribución mundial de la exposición a fuentes de radiación. Fuente: UNSCEAR, 2016.⁸

Aproximadamente el 42% de la dosis promedio de radiación recibida en un año por una persona cualquiera de la población mundial, es atribuida a la inhalación de dicho gas por su acumulación en espacios cerrados, estableciéndose en un 31% dicho valor para la población de España (CSN, 2010).⁹

Lo podemos encontrar en el aire libre y en el agua potable (procedentes de fuentes naturales), pero en áreas abiertas presenta niveles de concentración muy bajos, puesto que una vez alcanzada la superficie se diluye rápidamente entre los gases de la atmósfera.

Sin embargo, es un problema en espacios cerrados (interiores de edificaciones, cuevas, minas...), puesto que su concentración se acumula de manera imperceptible.

Por ese motivo, es fundamental conocer los factores que influyen en la concentración de radón en los espacios interiores de los edificios, donde las personas pasan la mayor parte del día, ya sea su vivienda o su lugar de trabajo.

2.1. MOVILIDAD DEL RADÓN DESDE EL TERRENO HACIA LA SUPERFICIE Y LAS PRINCIPALES FUENTES DE ENTRADA EN LOS EDIFICIOS

El gas radón que se genera en el subsuelo por la desintegración del radio, al salir a la superficie terrestre por los poros del terreno puede encontrarse con una edificación.

Las rutas de entrada del radón al interior de los edificios son numerosas. Cualquier pequeña fisura de los elementos constructivos de los edificios que estén en contacto directo con el terreno puede ser una autopista de entrada hacia el interior de los mismos.

2.1.1. Movilidad del gas radón desde el terreno hacia la superficie.

A) Transporte Suelo-Aire.

El movimiento del gas por los poros del terreno se denomina **emanación** mientras que el mecanismo de salida a la superficie se llama **exhalación**.

El movimiento del gas radón se produce, a través del terreno o a través de los materiales, debido los siguientes mecanismos:

- Mecanismo de **difusión**; desplazamiento del radón que se justifica en la diferencia de concentraciones del gas existente entre un espacio y otro. Así, el radón se desplaza desde zonas donde su concentración es alta hasta zonas donde es menor, por ejemplo, entre los poros del terreno y el interior de un edificio.
- Mecanismo de **convección**, desplazamiento del radón que tiene su fundamento en la diferencia de presión existente en el sustrato donde se encuentra el radón en el suelo y de la atmósfera o el interior del edificio. Depende de la permeabilidad del medio y del gradiente de presión.

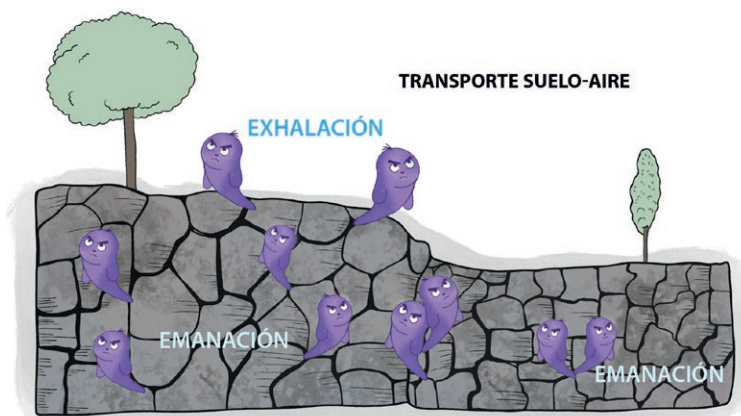


Ilustración 7 - Procesos de emanación y exhalación. Fuente: Quindós³

B) Transporte Suelo-Agua-Aire

"El radón también puede estar presente en las aguas subterráneas, dependiendo de la litología con la que está en contacto y con el contenido de ^{238}U de estas rocas. Cuando estas aguas subterráneas cargadas con radón, son captadas en pozos y utilizadas en interiores de viviendas, el radón puede liberarse, incluso en pisos superiores. En particular las duchas, los grifos con aireador incorporado, lavadoras,... son lugares de liberación de radón, cuando el agua se expone al aire. Cuanto mayor es el consumo de agua o cuanto mayor es el nivel de radón disuelto en el agua, más puede contribuir al nivel de radón en la vivienda."

El radón en las aguas subterráneas podría ser no solo una preocupación debido a su contribución al radón del aire interior de la vivienda, sino también a la ingestión directa de agua potable con contenidos de radón elevado.

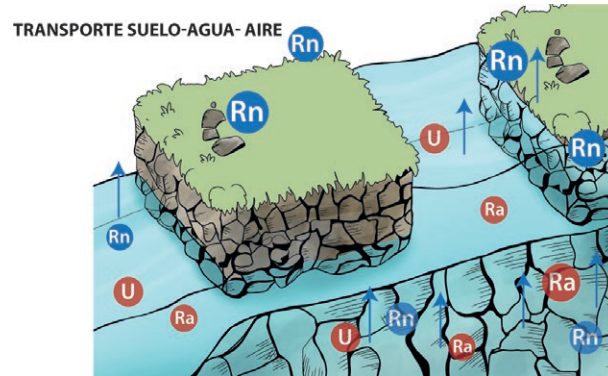


Ilustración 8 - Transporte del Radón a través de suelo, aire y agua

2.1.2. Principales fuentes de entrada del gas radón hacia el interior de los edificios.

En un edificio, la principal fuente de entrada del gas radón es el **terreno** en el que está asentado, seguido, en mucha menor medida, de los **materiales empleados en su construcción** como pueden ser, por ejemplo, los granitos ornamentales (Guillén et al, 2014)¹⁶. También puede entrar con el aire de renovación, **con el agua de consumo** y el gas de uso doméstico, aunque estos últimos, excepto en algunos casos concretos, se consideran fuentes menores.

Al tratarse de un gas, su concentración en un ambiente interior depende también de determinadas prácticas y hábitos que favorezcan su acumulación, especialmente la falta de ventilación, acompañada de hermeticidad en la construcción, generadas por políticas de ahorro energético, (NTP 440. INSHT, 2003).²

Las principales rutas de entrada del radón proveniente del suelo a una vivienda tipo son:

1. Por el interior de las cámaras de aire de los cerramientos: tras penetrar en ellas, el radón puede moverse con facilidad y alcanzar las plantas superiores.
2. A través de la solera ya sea a través de las juntas de dilatación, de las fisuras o del propio hormigón.
3. A través de los muros de sótano, principalmente en viviendas enterradas o semienterradas.
4. Por los conductos de saneamiento: puesto que éstos conectan los baños, aseos y cocinas con las arquetas de la red horizontal de distribución situada generalmente bajo la solera.
5. A través del forjado sanitario: el gas procedente del terreno puede acumularse en la cámara de aire bajo el forjado y cuando ésta no tiene ventilación, puede traspasar el forjado penetrando en la vivienda.

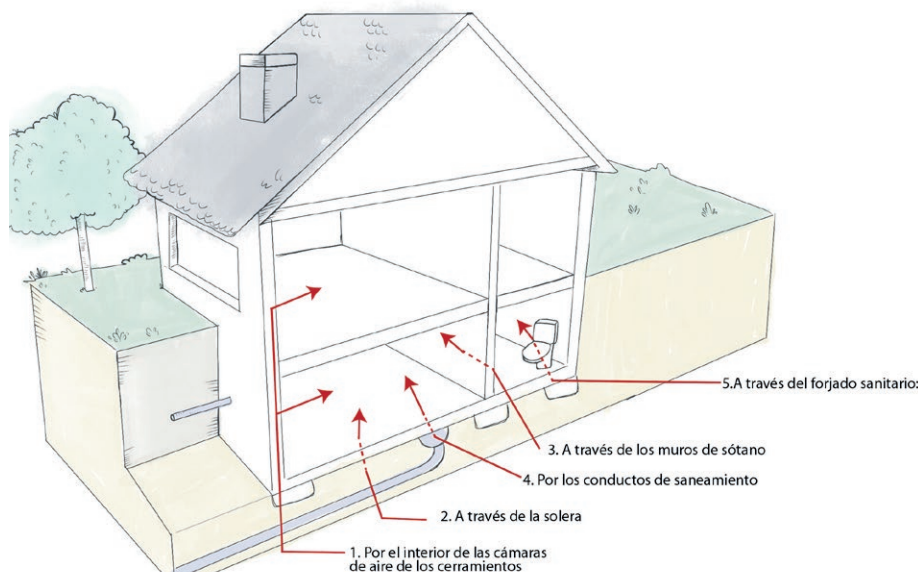


Ilustración 9 - Principales rutas de entrada del radón proveniente del suelo a la vivienda. Fuente: Borja Frutos Vázquez³

2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS

En el caso de no disponer en las edificaciones de soluciones constructivas adecuadas para eliminar o para impedir la entrada de gas radón hacia su interior, la concentración de dicho gas acumulada en espacios interiores dependerá de una serie de factores externos que se exponen a continuación.

2.2.1. Factores geológicos: Dependencia de las variables geológicas.

Las características geológicas del terreno, especialmente el contenido de uranio que posean las rocas que lo constituyen, va a marcar la presencia de radón en superficie. Por tanto, el estudio del tipo de terreno en que se encuentre nuestra edificación nos permite evaluar inicialmente si es una zona susceptible de presentar concentraciones de gas radón.

Dado que el radón es formado a partir del radio, y éste procede de la desintegración del uranio, a mayor contenido de Uranio (^{238}U) en los suelos donde se asientan los edificios, más probabilidad de concentración de radón habrá en su interior. La concentración de Uranio (^{238}U) en rocas graníticas es superior al existente en otro tipo de rocas, como se muestra en la siguiente tabla.

TIPO DE ROCA	CONCENTRACIÓN DE URANIO ^{238}U (ppm)
BASÁLTICAS	1.0
GRANITOS	5.0
ARCILLAS	3.7
ARENAS	0.5

Tabla 1 - Concentración de Uranio (^{238}U) en diferentes tipos de Rocas
Fuente: Quindós³

Para que sirva de ejemplo, en Extremadura se llevó a cabo un estudio en diferentes tipos de viviendas unifamiliares situadas en las comarcas del Valle del Jerte y La Vera, obteniéndose como media aritmética de todas las viviendas analizadas⁴, una concentración media de radón de 700 Bq/m³. Estos niveles son notoriamente mayores que los publicados, exclusivamente para dependencias subterráneas de la Universidad de Alicante⁶, en las que la concentración media aritmética es de 30 Bq/m³, pudiendo ser debido a que en el norte de Extremadura predominan las rocas ígneas (granitos), más ricas en Uranio (^{238}U), que las arenas y gravas que prevalecen en la zona de Alicante.

2.2.2. Factores físicos del terreno: Dependencia de las condiciones físicas del terreno.

Las condiciones físicas del terreno van a determinar y condicionar la movilidad del radón en el terreno hasta llegar a la superficie.

Al ser el radón un gas, su movimiento en el terreno va a estar condicionado por la *porosidad*, la *permeabilidad* y la *fracturación* del terreno, que puede facilitar su migración hacia la superficie:

- Porosidad y fracturación:** Se produce una mayor emanación de radón en suelos porosos (suelos arenosos y con gravas) que, en suelos compactos o arcillosos, de menor porosidad. También habrá más posibilidad de movimiento de radón en suelos graníticos fracturados que en aquéllos compactos.
- Permeabilidad:** A mayor permeabilidad del terreno, más importante será la movilidad del radón. Así, las arcillas, a pesar de contener alta concentración en uranio, su carácter impermeable hace que la cantidad de radón que alcanza la superficie sea muy pequeña. Mientras que, por el contrario, en rocas calcáreas (muy permeables), con contenido de uranio hasta 10 veces inferior al de las arcillas, el radón se desplaza más fácilmente y puede alcanzar el suelo en una mayor proporción.

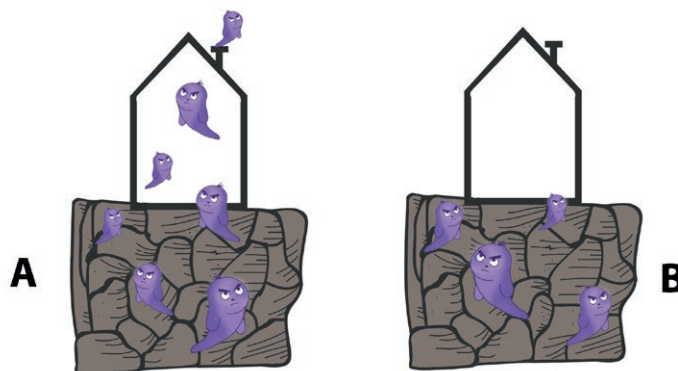


Ilustración 10 - Entrada Radón según las características físicas del terreno.

Suelo A: Suelo permeable, poroso y fracturado.

Suelo B: Suelo Impermeable, compacto.

Cabe reseñar el *coeficiente de difusión del terreno*, puesto que, al aumentar su valor, aumenta la presencia del radón.

Movimiento del Radón

- El radón puede moverse fácilmente por el suelo, y especialmente a través de las fracturas.
- Los factores más importantes son: porosidad, permeabilidad y la composición del suelo.

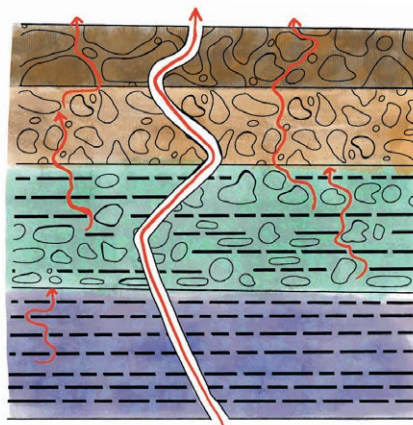


Ilustración 11 - Movimiento del radón a través del terreno. Fuente: Quindós³

2.2.3. Factores meteorológicos: Dependencia con las variables meteorológicas.

La acumulación de radón en interiores (al ser un gas) depende de un buen número de variables meteorológicas (Temperatura, pluviometría, presión atmosférica...), de modo que su concentración no es constante en el tiempo.

- **Temperatura.**

La temperatura exterior puede ser uno de los condicionantes meteorológicos que más influye en la concentración de gas radón en el interior de las edificaciones.

Así, por una parte, afecta a la exhalación de radón, de modo que, a menores temperaturas o temperaturas bajo cero, el terreno se suele compactar y existe una menor exhalación de radón.

Por otra parte, en las edificaciones, las variaciones de temperatura producen un efecto chimenea (si la temperatura interior es inferior a la exterior, modificándose el gradiente de presiones), que crea una pequeña depresión en el interior de la vivienda, favoreciendo la succión del radón presente en el terreno.

- **Variación de la Temperatura a lo largo del año.**

En verano, el aumento de la temperatura exterior ocasiona, con carácter general, una disminución en el valor de la concentración de radón en el interior de las viviendas⁸, debido principalmente al aumento de intercambio de aire entre el exterior y el interior a través de la ventilación y la infiltración.

- **Variación de la Temperatura a lo largo del día.**

Las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de las viviendas son responsables de la existencia de una variación de la concentración de radón a lo largo del día, con un máximo a primeras horas de la mañana, cuando las temperaturas son más bajas.

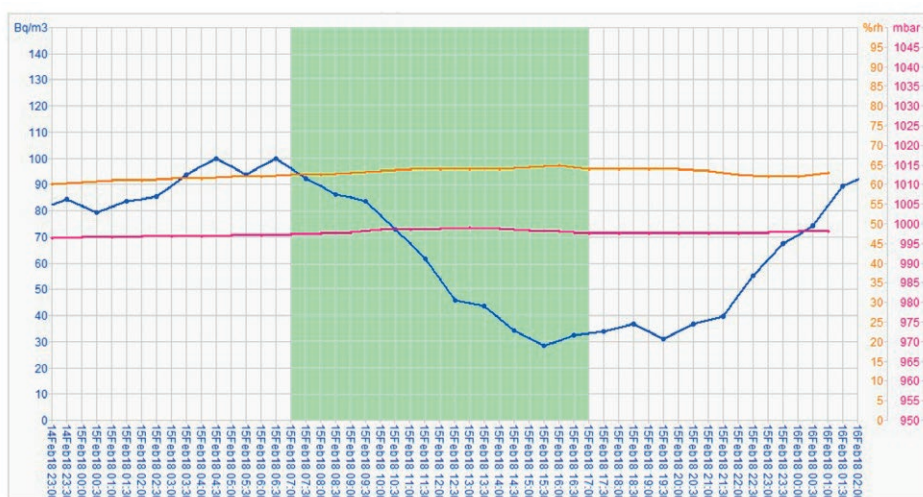
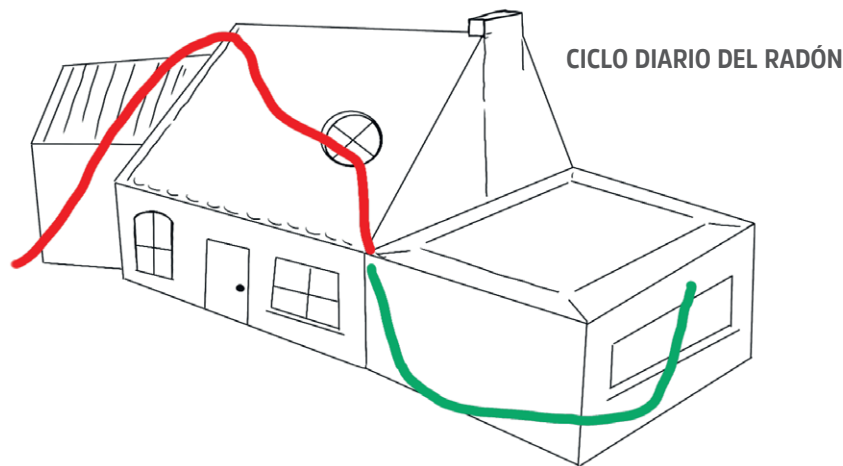


Ilustración 12.a- Variación de la concentración de radón en una vivienda a lo largo de un día en Mérida (Badajoz) sin apenas variación en la humedad relativa y en la presión atmosférica. Fuente: propia



0:00h 3:00h 6:00h 9:00h 12:00h 15:00h 18:00h 21:00h 24:00h

Ilustración 12.b - Variación de la concentración de radón en una vivienda a lo largo de un día.

Fuente: Departamento de edificación: IES Politécnico - Málaga

- **Precipitación atmosférica**

Debido a que el radón es un gas que se disuelve muy bien en el agua, durante periodos de fuertes lluvias se saturan los poros del terreno, y por ello se acumula en la tierra pudiendo desplazarse grandes distancias disuelto en el agua. Todo ello trae como consecuencia una disminución de la cantidad de radón que alcanza la superficie del suelo⁴.



Ilustración 13 - Dificultad de exhalación del radón en periodos de lluvias.

- **Presión atmosférica**

La presión atmosférica influye significativamente en la presencia del radón. Las bajas presiones (borrascas) favorecen la exhalación de radón y por tanto un aumento de su concentración, mientras que las altas presiones (anticiclones) dificultan su exhalación y por tanto nos encontramos con una disminución de dichas concentraciones.

Tras el análisis de la influencia de las distintas variables meteorológicas en la concentración de gas radón, y conforme un estudio realizado en Ghuttu, India^{a 10}, podemos establecer que: **La mayor variabilidad en las concentraciones de radón en el interior de las edificaciones es producida por la TEMPERATURA.**

2.2.4. Factores constructivos: Dependencia de la pendiente del terreno, tipología constructiva, altura de la edificación respecto al terreno y grado de ventilación.

A) Pendiente del terreno:

En algunas ocasiones, la pendiente del terreno frente a la construcción, puede contribuir a una mayor o menor presencia de radón. Esto es debido a que edificaciones en terrenos inclinados provocan que el contacto del terreno con la edificación sea mayor por lo que la posibilidad de entrada de radón a la edificación es mayor.

^a Según un estudio realizado en Ghuttu, India¹⁰, el 71% de la variabilidad en las concentraciones de radón en el interior provienen de la variación de la temperatura atmosférica, y tan solo el 6% de la variabilidad se le atribuye a la presión atmosférica.

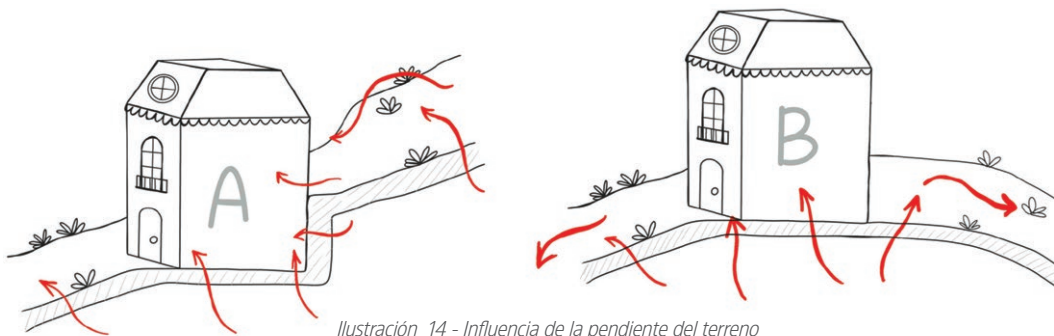


Ilustración 14 - Influencia de la pendiente del terreno
La edificación A tiene mayores zonas de entrada de radón que la edificación B

B) Sistema constructivo y tipología:

Al ser el terreno donde se asientan los edificios la principal fuente de entrada de radón a los mismos, es necesario conocer que tanto el sistema constructivo ejecutado como la tipología, originan que los gradientes de presión sean diferentes, de forma que los flujos de gas radón que se generen tendrán comportamientos diferentes.

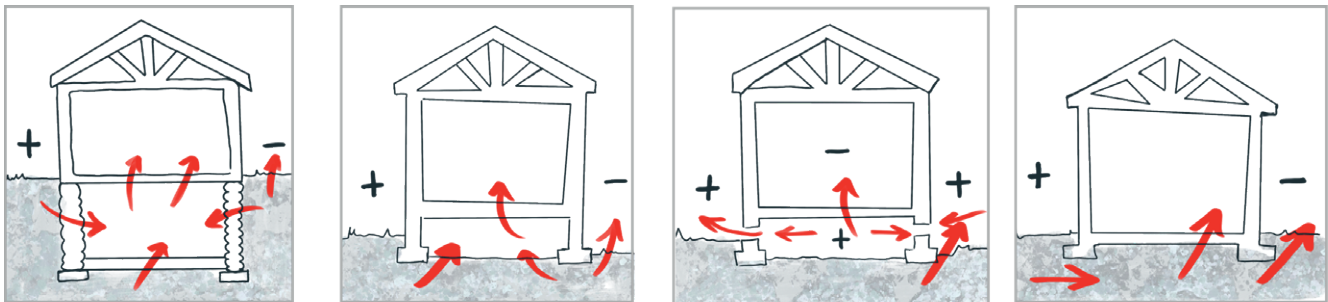


Ilustración 15- Influencia de la tipología y sistema constructivo en la entrada de radón en la edificación.

Edificaciones enterradas, semienterradas o en contacto con el terreno contarán con una mayor probabilidad de tener una mayor concentración frente a aquellas construcciones que se encuentren elevadas sobre la rasante del terreno.

C) Altura del piso sobre el terreno.

Los valores de concentración de radón disminuyen con la altura del piso sobre el terreno. La disminución es progresiva hasta la segunda planta. A partir de esta planta se mantienen prácticamente constantes los valores de concentración de radón en el aire⁷.

D) Grado de ventilación.

La ventilación de los edificios, entendida como la tasa de intercambio de aire entre el interior y el exterior, es uno de los factores que más influye en la acumulación de radón en el interior de los mismos. Ésta depende del tipo de construcción, de los hábitos de ventilación de sus habitantes y de la estanqueidad del edificio.

Es la medida preventiva más obvia para reducir la concentración de radón, pero tiene sus limitaciones, ya que a veces, la ventilación natural no es suficiente para reducir la cantidad de radón a niveles aceptables. También hay que tener en cuenta que este tipo de ventilaciones en ocasiones podría ir en detrimento de la eficiencia energética de la vivienda.

En este sentido, se ha podido comprobar cómo acciones encaminadas a mejorar tanto la envolvente como la eficiencia energética de los edificios (sin considerar la ventilación en los locales), pueden ocasionar un efecto adverso no deseado. De hecho, se observa un incremento de las concentraciones de radón a consecuencia de la construcción de viviendas más estancas con el fin de alcanzar un mayor ahorro energético.^b

CONCLUSIÓN:

En virtud de su grado de influencia, debemos indicar que los factores geológicos son los que más influyen en la concentración de radón en la vivienda, puesto que si un terreno no presenta concentración de radón no puede exhalarlo.

Por su parte, los factores constructivos de las edificaciones son determinantes, al poder evitar la entrada de radón, aunque las edificaciones estén situadas geológicamente en una zona de riesgo.

Finalmente, los factores meteorológicos sólo influyen en la variación del nivel de concentración, pero no tanto en su existencia.

^b En un estudio realizado en el norte de Extremadura⁹, se analizó la concentración de radón en viviendas con fechas de construcción desde aproximadamente 1720 hasta el año 2014, observándose que para viviendas construidas en zonas graníticas, las concentraciones de radón en su interior son mayores en cuanto más reciente es la fecha de construcción, debido principalmente a que los sistemas constructivos más recientes, inducen a una menor ventilación del interior de la vivienda, mientras que las viviendas representativas de la arquitectura popular de la zona, presentan una ventilación directa y persistente, al no ser estancas.

2.3. MAPA DE POTENCIAL DE RADÓN EN ESPAÑA Y EN EXTREMADURA

Con carácter general, todas las edificaciones contienen radón en concentraciones bajas. Sin embargo, como hemos visto, existen determinadas zonas geográficas que, debido a su geología, cuentan con una probabilidad mayor de niveles elevados de radón.

Para saber si nuestra vivienda está situada en una zona geográfica de riesgo podemos consultar el **Mapa del potencial de radón en España**¹³ (www.csn.es/radon) elaborado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que categoriza las zonas del territorio estatal en función de sus niveles de radón y, en particular, identifica aquellas en las que un porcentaje significativo de los edificios residenciales presenta concentraciones superiores a **300 Bq/m³**.

Las áreas establecidas según esos criterios primarios de agrupación se dividieron o combinaron posteriormente a fin de obtener unidades¹⁴ con niveles de radón espacialmente homogéneos y con un tamaño de muestra adecuado, dando lugar a las siguientes categorías o niveles:

- Nivel bajo o categoría 0: los niveles de radón que llegan a la superficie suelen ser bajos. Esto puede ser debido a una baja concentración, a una baja permeabilidad o a la combinación de ambas (menos de 300 Bq/m³).
- Nivel medio o categoría 1: los niveles de radón son un poco más altos y resulta necesario el empleo de alguna técnica de mitigación, habitualmente la utilización de un sistema pasivo suele ser suficiente (entre 300 y 400 Bq/m³).
- Nivel alto o categoría 2: la concentración de radón es bastante más elevada (más de 400 Bq/m³).

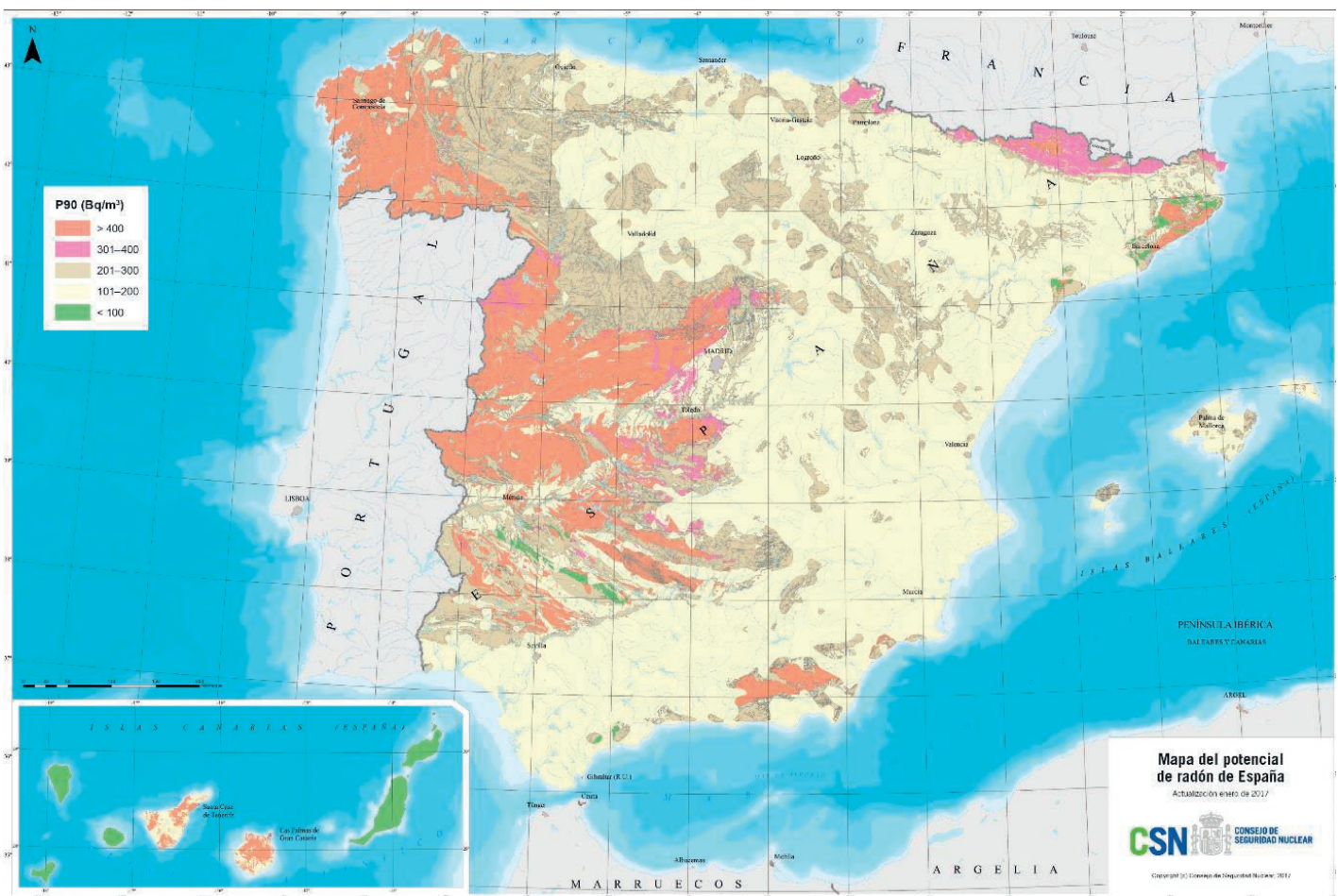


Ilustración 16 - Mapa del potencial de radón en España
Fuente: CSN¹⁶

En el Mapa de potencial al radón en España se puede apreciar que la zona oeste de España, Extremadura, Galicia, algunas zonas de Castilla y León y Madrid son las que tienen mayor posibilidad de tener las mayores concentraciones de radón en el interior de sus edificaciones, superando los 400 Bq/m³.

A partir del Mapa de potencial de radón se obtiene, directamente, el **mapa de zonas de actuación prioritarias**, donde se representa en un color rojizo las zonas con potencial de radón (P90) mayor que 300 Bq/m³, ajustándose así al nivel de referencia establecido por la Directiva Europea 2013/59/EURATOM. En superficie, la totalidad de estas zonas representan el 17% del territorio nacional.

¹³ El Consejo de Seguridad Nuclear ha elaborado el mapa de potencial de radón en España. Para producir este mapa, se han utilizado más de 12.000 medidas de radón en viviendas, agrupadas por unidad litoestratigráfica –según el mapa a escala 1:200.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)– y el rango de exposición a la radiación gamma, obtenido a partir del mapa MARNA11 de radiación gamma natural.

¹⁴ Para estas unidades se estimó el percentil 90 (P90) de la distribución de concentraciones de radón como una cota superior al 90% de confianza, lo que significa que, si una zona del mapa está sombreada de un color que indica 300 Bq/m³, el 90% de los edificios de esa zona tienen concentraciones inferiores a 300 Bq/m³ y solo el 10% supera ese nivel. Los valores así obtenidos se representan agrupados por rangos en el mapa de potencial de radón.

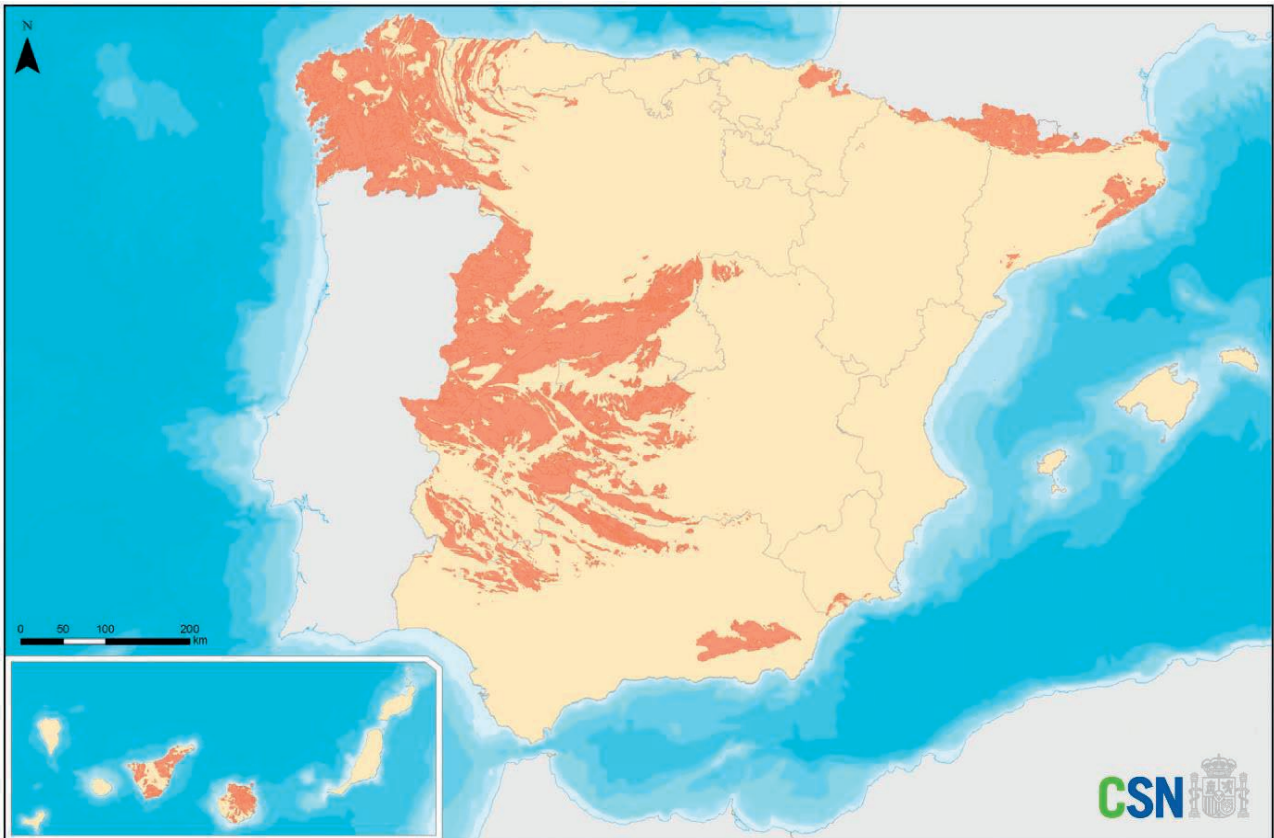


Ilustración 17 - Mapa de zonas de actuación prioritaria en España
Fuente: UNSCEAR 2000 - CSN⁴⁵

Analizando el mapa por comunidades autónomas, los porcentajes de superficie afectada son: Galicia 70%; **Extremadura 47%**; Madrid 36%; Canarias 19%; Castilla y León 19%, Cataluña 16%; Asturias 12%; Ceuta 11%; Castilla la Mancha 10%; Andalucía 8%; Navarra 6%; Aragón 2%; País Vasco 2% y Murcia 1%..

Por lo tanto, se puede decir que **Extremadura es la segunda Comunidad Autónoma de España con mayor superficie de actuación prioritaria frente al gas radón.**

CAPÍTULO 03/ RADÓN Y SALUD

La exposición al radón es la principal responsable de la dosis anual equivalente de radiación a la que se expone el hombre, independientemente de su origen. La radiación a la que está expuesta la población mundial se muestra en la siguiente gráfica:

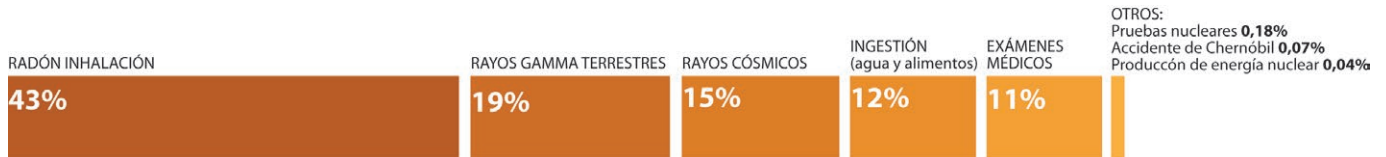


Ilustración 18 - Dosis procedentes de fuentes naturales y artificiales de radiación para el público, total 2,7 mSv/año. Fuente: UNSCEAR, 2020.

Dado que el radón es un gas, la principal vía de incorporación al hombre es la inhalación. Cuando respiramos, inhalamos aire, en el cual se incluye la concentración de radón del lugar en el que estamos. Si durante el tiempo en el que el aire que inhalamos permanece en el interior de nuestros pulmones, se produce la desintegración de un átomo de radón, o bien la de uno de sus descendientes, se deposita toda su energía en un espacio muy pequeño (del orden de la décima parte del tamaño de una célula pequeña).

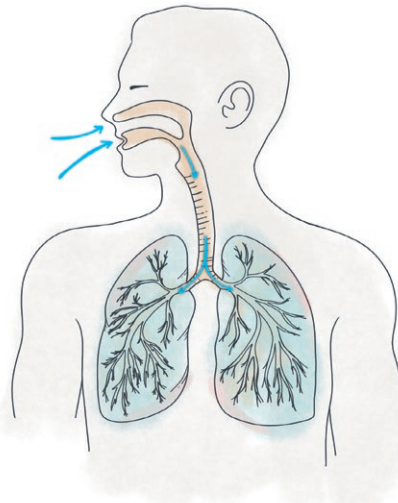


Ilustración 19- Inhalación de gas radón

El efecto que produce es el mismo que el de cualquier radiación ionizante, es decir, arrancar electrones de los átomos de las distintas moléculas y convertirlos en radicales libres. Los efectos que produce están caracterizados por:

1. Son depósitos energéticos prácticamente inmediatos, ya que los tiempos involucrados están en el orden del microsegundo (μ s) e inferiores.
2. Son de naturaleza probabilística, con alteraciones que se pueden observar a distintos niveles, siendo el origen de cada efecto el producido debido al nivel anterior.

NIVEL	EFECTOS PRODUCIDOS	
FÍSICO	IONIZANTES Y EXCITACIONES ATÓMICAS	→ PUEDE
QUÍMICO	ROTURA DE ENLACES Y CAMBIOS MOLECULARES	→ PUEDE
BIOQUÍMICO	ANOMALÍA EN MACROMOLÉCULAS	→ PUEDE
CELULAR	PÉRDIDA DE VIABILIDAD CELULAR	→ PUEDE
TISULAR	MALFORMACIONES	→ PUEDE

Tabla 2 - Probabilidad efectos inhalación gas radón

3. No son selectivos, los mecanismos de acción pueden ser debido a una:
 - a. Acción directa: depositando la energía en una molécula clave para el funcionamiento celular. Por ejemplo, se pueden producir roturas en los enlaces de ADN o cromosomas, que dependiendo de su complejidad pueden ser posteriormente reparados. La importancia y complejidad de los daños dependen básicamente de la cantidad e intensidad de energía depositada por la radiación. Afortunadamente, cuanto más grave es el daño, menor es la probabilidad de que se produzca, pero ésta se incrementa con la dosis de radiación recibida.
 - b. Acción indirecta: depositando la energía en el interior de la célula pudiendo generar iones de elevada reactividad.

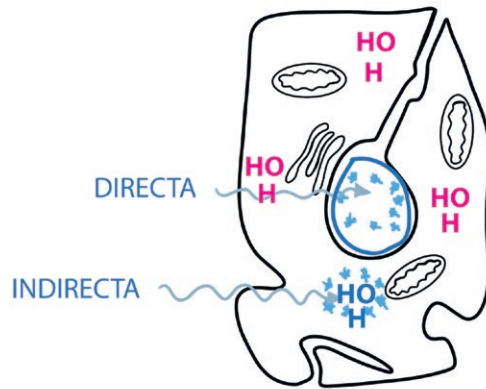


Ilustración 20 - Mecanismos de acción directa e indirecta en las células como consecuencia de la radiación procedente de la desintegración del radón.

4. Son inespecíficas, es decir, son indiferenciables de los mismos efectos originados por otros agentes nocivos. Por ejemplo, ¿qué agente produce el cáncer de pulmón, el respirar radón o el respirar el humo de tabaco?
5. Son independientes de la naturaleza de la radiación, es decir, los efectos de todas radiaciones ionizantes son los mismos, independientemente de si son de origen natural o artificial. Sólo dependen del tipo de radiación, intensidad, actividad, dosis y vía de interacción.
6. Entre el efecto final producido a nivel celular o tisular y la causa que lo ha generado existe un tiempo de latencia variable, desde días a años, dependiendo de la intensidad, actividad, dosis incorporada. Por lo tanto, en la mayoría de los daños causados por radiaciones ionizantes, excepto para las exposiciones a aguas, es muy difícil establecer unívocamente una relación entre causa y efecto.

Desde 1998, el radón está clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como carcinógeno de primera categoría (aplicable cuando existen pruebas suficientes de carcinogenicidad en humanos).

La Organización Mundial de la Salud (OMS)⁷ lo reconoce como la segunda causa de cáncer de pulmón en la población, después del tabaco y, en Europa, es responsable de un 9% de las muertes por este tipo de cáncer. En España, en particular, se estima que el radón es causante de 1.500 muertes anuales.



Ilustración 21 - Causas de cáncer de pulmón según OMS

¿Todos tenemos el mismo problema, independientemente de la concentración de radón que respiremos?.

No, los efectos producidos son de tipo probabilístico, y aumentan cuando aumenta la concentración de radón que respiramos. Además, el estar expuesto a concentraciones de radón, intensifica los efectos del tabaco en personas fumadoras.

	0 Bq/m ³	100 Bq/m ³	400 Bq/m ³
FUMADORES	10	12	16
NO FUMADORES	0,4	0,5	0,7

Tabla 3 - Mortalidad acumulada (%) antes de los 75 años por exposición al radón
Fuente: BMJ⁸

Interpretando la tabla anterior y a modo de ejemplo: una persona fumadora que resida en una zona con muy bajas concentraciones de radón, tiene menor probabilidad de contraer un cáncer de pulmón que otra persona también fumadora que resida en una zona con concentraciones de radón más elevadas.

CAPÍTULO 04/ DISPOSICIONES LEGALES Y REGLAMENTARIAS

4.1. LEGISLACIÓN COMUNITARIA.

La Unión Europea ha tratado el problema del radón desde hace varios años. Así, la Comisión Europea dictó una Recomendación con fecha 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, en la que solicitaba el establecimiento de un sistema adecuado para limitar toda exposición a las concentraciones de radón en el interior de edificios, en el que se prestara especial atención a la adecuada información al público y a la respuesta a sus preocupaciones.

Para el caso de edificios existentes, establecía un nivel de referencia que marcaba en los 400 Bq/m³ de concentración media anual, a partir del cual debían estudiarse medidas correctoras, buscando soluciones sencillas pero eficaces, cuya urgencia dependía de la medida en que este límite se hubiera superado; en cambio, para las nuevas construcciones, ese límite bajaba a 200 Bq/m³, instando a utilizar un nivel de diseño que sirviera a las autoridades para establecer sus reglamentaciones y a suministrar información a los agentes intervinientes en la construcción sobre los posibles niveles de concentración de radón existentes y los medios de corrección, dentro de las normas básicas de seguridad de la Comunidad.

La Directiva 2013/59 de 5 de diciembre de 2013⁹, prescribe en el artículo 74 que los Estados miembros de la UE establecerán niveles nacionales de referencia para las concentraciones de radón en recintos cerrados, que no superarán los 300 Bq/m³ como nivel de referencia para el promedio anual de concentración de radón. Además, insta a los Estados a fomentar la adopción de medidas para identificar aquellas viviendas donde el promedio anual de concentraciones de radón supere el nivel de referencia y, cuando proceda, a promover la adopción de medidas para reducir la concentración de radón en dichas viviendas por medios técnicos o de otro tipo.

4.2. LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD Y EL RADÓN.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce al radón como la segunda causa de cáncer de pulmón en la población después del tabaco.

En 2015, se publicó el Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública⁷, en el que *“la OMS propone un nivel de referencia de 100 Bq/m³ para minimizar los riesgos para la salud derivados a la exposición al radón en interiores. Si dicho nivel no pudiera alcanzarse en las actuales circunstancias concretas del país, el nivel de referencia elegido no deberá superar en ningún caso los 300 Bq/m³,...”*

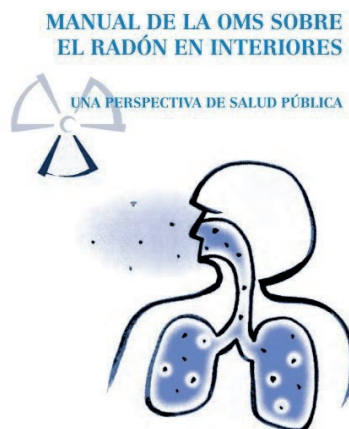


Ilustración 22 - Portada manual OMS sobre radón en interiores ¹⁵

Además de los niveles de referencia anteriores, se dan una serie de claves en cuanto a la prevención y mitigación del radón, que se resumen de la siguiente forma:

- Para lograr una reducción del riesgo global se necesitan tanto estrategias de prevención en viviendas nuevas como de mitigación en viviendas existentes; en la elección de estas estrategias influyen tanto las fuentes de radón como sus concentraciones y mecanismos de difusión.
- Han de realizarse siempre mediciones para evaluar la eficacia de las medidas de prevención o mitigación.
- También son necesarias estrategias de formación dirigidas a profesionales del sector de la construcción al considerarlos agentes claves.
- Deben de establecerse normas de ámbito nacional, basadas en la investigación, para la prevención y mitigación del radón, entre las que estarían códigos de construcción que exijan medidas de prevención del radón en las viviendas de nueva construcción lo que también implica la formación de autoridades y funcionarios.
- Todo ello, sin perder de vista la relación coste-eficacia de las medidas que se adopten.

4.3. LEGISLACIÓN NACIONAL.

LEY DE ORDENACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.

La Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación¹⁰ (en adelante LOE) establece los requisitos básicos de la edificación, con el fin de garantizar la funcionalidad, seguridad y habitabilidad de los edificios. Esta disposición traspone al ordenamiento jurídico español la Directiva 89/106/CEE¹¹ derogada por el Reglamento 305/2011¹¹.

FUNCIONALIDAD	SEGURIDAD	HABITABILIDAD
UTILIZACIÓN	ESTRUCTURAL	HIGIENE, SALUD Y MEDIO AMBIENTE
ACCESIBILIDAD	INCENDIOS	RUIDO
TELECOMUNICACIÓN	UTILIZACIÓN	ENERGÍA Y AISLAMIENTO TÉRMICO
SERVICIOS POSTALES		OTROS ASPECTOS FUNCIONALES

Tabla 4 - Requisitos básicos según Ley 38/1999 LOE

El requisito básico de higiene, salud y protección del medio ambiente, se define como aquel en el que *“se alcancen condiciones aceptables de salubridad y estanqueidad en el ambiente interior del edificio y que éste no deteriore el medio ambiente en su entorno inmediato, garantizando una adecuada gestión de toda clase de residuos.”*

EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.

El Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006¹², de 17 de marzo, es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en desarrollo de lo previsto en la disposición final segunda de la Ley 38/1999, LOE¹⁰.

Se estructura en dos partes, la primera es en la que se establecen los requisitos básicos, las prestaciones y las exigencias básicas para poder alcanzar el cumplimiento de dichos requisitos básicos. En la segunda los documentos básicos establecen las prescripciones técnicas que, de cumplirlas, se entiende que la edificación cumple con las exigencias básicas, salvo que se opte por soluciones alternativas que se aparten total o parcialmente de dicho documento.



Ilustración 23 - Estructura del Código Técnico de la Edificación (CTE)

Recientemente, ha sido aprobado el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. En virtud de esta modificación aparece la Sección HS 6, Protección frente a la exposición al radón, donde se fijan el ámbito de aplicación, la cuantificación de esa exigencia de protección y las medidas de verificación del cumplimiento de esa exigencia.

El DB HS-6 clasifica los municipios en dos zonas, I y II, en función del potencial de radón basado en las medidas realizadas por el Consejo de Seguridad Nuclear, considerando aquellos en los que hay una probabilidad significativa de que los edificios allí construidos sin soluciones específicas de protección frente al radón presenten concentraciones de radón superiores al nivel de referencia. Para ello hace un listado de dichos municipios. Para el caso de Extremadura, los municipios se clasifican de la siguiente forma:

PROVINCIA	No HE-6	ZONA I	ZONA II	TOTALES
Provincia de Badajoz	22	60	83	165
Provincia de Cáceres	15	19	189	223
TOTALES	37	79	272	338
%	9,54%	20,36%	70,10%	100,00%

Tabla 5 - Aplicación DB HS-6 CTE a Extremadura

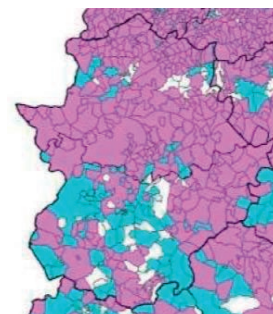
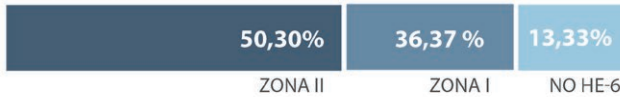


Ilustración 24 - Clasificación municipios Extremadura según DB HS-6 CTE

PROVINCIA DE BADAJOZ



PROVINCIA DE CÁCERES



Ilustración 25 - Estadística de clasificación de municipios de Extremadura según DB HS-6 CTE

Aunque el documento no hace una mención específica, hay quien habla de una zona o grupo 0 de clasificación, que comprendería las localidades donde dicha probabilidad sería nula.

El ámbito de aplicación, por tanto, se circunscribe a esos términos municipales del listado referido, y en los siguientes casos:

- a) edificios de nueva construcción;
- b) intervenciones en edificios existentes:
 - en ampliaciones, a la parte nueva;
 - en cambio de uso, a todo el edificio si se trata de un cambio de uso característico o a la zona afectada, si se trata de un cambio de uso que afecta únicamente a parte de un edificio o de un establecimiento;
 - en obras de reforma, a la zona afectada, cuando se realicen modificaciones que permitan aumentar la protección frente al radón o alteren la protección inicial.

No obstante lo anterior esta sección HS 6 no será de aplicación en los siguientes casos:

- a) en locales no habitables, por ser recintos con bajo tiempo de permanencia;
- b) en locales habitables que se encuentren separados de forma efectiva del terreno a través de espacios abiertos intermedios donde el nivel de ventilación sea análogo al del ambiente exterior.

El nivel de referencia, queda establecido al objeto de limitar el riesgo de exposición de los usuarios a concentraciones inadecuadas de radón procedente del terreno en el interior de los locales habitables, en un promedio anual de concentración de radón en el interior de los mismos de 300 Bq/m³, el mismo que el previsto en el artículo 74 la Directiva 2013/59/Euratom¹³.

Para verificar el cumplimiento del nivel de referencia en los edificios, en función de la zona a la que pertenezca el municipio, se fijan dos tipos de soluciones, u otras que proporcionen un nivel de protección análogo o superior:

- Por una parte, establece que en los municipios de zona I, se dispondrá una barrera de protección entre el terreno y los locales habitables del edificio.
- Alternativamente, se podrá disponer entre el terreno y los locales habitables del edificio una cámara de aire destinada a mitigar la entrada del gas radón.

En los municipios de zona II, además de la mencionada barrera de protección se dispondrá, o bien un espacio de contención ventilado situado entre el terreno y los locales a proteger, para mitigar la entrada de radón proveniente del terreno a los locales habitables mediante ventilación natural o mecánica; o bien, un sistema de despresurización del terreno.

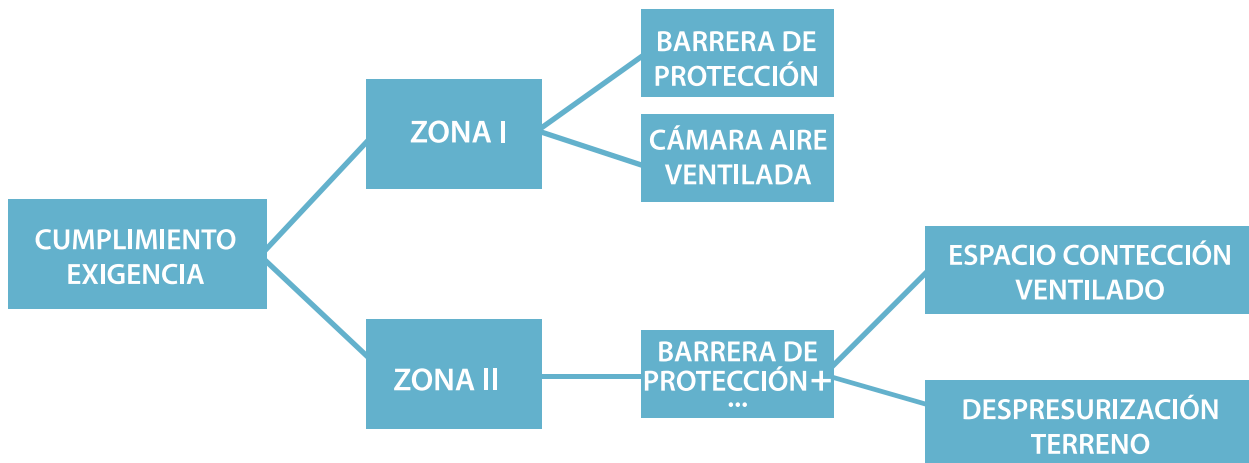


Ilustración 26 - Esquema aplicación DB HS-6 CTE

El documento contempla el caso de intervenciones en edificios existentes, donde permite ajustar la aplicación de las soluciones anteriores mediante la utilización de soluciones alternativas que, en conjunto, permitan limitar adecuadamente la entrada de radón, aunque en todo caso es necesario que los locales habitables dispongan de un nivel de ventilación interior que cumpla con la reglamentación en vigor de calidad del aire.

La solución a adoptar en estas intervenciones dependerá de una medición previa del promedio anual de concentración de radón en el aire de tal manera que si los valores son superiores a 600 Bq/m³ (> 2 veces el nivel de referencia) se adoptarán las soluciones correspondientes a municipios de zona II mientras que si los valores están entre 300 y 600 Bq/m³ se adoptarán soluciones correspondientes a municipios de zona I.

Las soluciones descritas anteriormente (barrera, espacio de contención ventilado y despresurización), se desarrollan a lo largo de esta sección HS 6, y su detalle será expuesto en los aparatos correspondientes de esta Guía.

Otro gran aspecto que trata el documento de Protección frente a la exposición al radón del CTE es la determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire de los locales habitables de un edificio, que se encuentra en el apéndice C del mismo, y que divide en tres fases: muestreo, medición y estimación de ese promedio anual. El documento establece el procedimiento de medición, que se basa en las guías elaboradas por el Consejo de Seguridad Nuclear estableciendo una serie de prescripciones entre las que cabe destacar:

- Los detectores deben permanecer expuestos durante un período mínimo de dos meses, lo cuál es importante a tener en cuenta, especialmente de cara a la elaboración de un proyecto para la intervención en un edificio existente.
- Las entidades de medida deberán estar acreditadas de acuerdo a UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) bien por otro organismo nacional de acreditación designado con la normativa europea además de cumplir los requisitos exigidos por el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo.

4.4. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA.

La Ley 11/2019, de 11 de abril, de promoción y acceso a la vivienda de Extremadura¹⁴ aplica ampliamente el concepto de calidad, no sólo a la construcción de las viviendas, sino que se extiende a la calidad de vida de las personas y su seguridad, aspecto este último que puede enlazarse con la necesidad de actuar frente a la presencia de altas concentraciones de radón en las viviendas.

Establece entre los principios rectores de la propia ley la inclusión de criterios medioambientales mencionando, entre diversos otros, la ventilación natural, aspecto que contribuye a la remediación de la presencia de radón.

Uno de los valores de calidad inherentes a la arquitectura que la ley quiere proteger, la mejora de la calidad de vida de las personas, procurando su bienestar y confort en un entorno seguro y accesible.

Asimismo, uno de los principios de la intervención pública en materia de vivienda, el objetivo de regular las medidas necesarias para hacer posible el disfrute de una vivienda de acuerdo con las exigencias básicas relativas a la funcionalidad, seguridad, habitabilidad y eficiencia energética, garantizando unos niveles aceptables de calidad y diseño en la edificación.

Por último el Decreto 19/2013, de 5 de marzo, por el que se regula el control de calidad de la construcción y obra pública¹⁴, establece los requisitos exigibles para el ejercicio de la actividad de los laboratorios de ensayos y de las entidades de control de calidad para prestar asistencia técnica en materia de control de calidad de la obra de construcción y de la obra pública en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Extremadura.

CAPÍTULO 05 / TIPOS DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN

Como ya se ha indicado anteriormente, el radón es un gas imperceptible para los sentidos humanos, siendo la única forma de detectar su presencia, la realización de medidas. Éstas deben ser realizadas por entidades que dispongan de sistemas de garantía y control de la calidad, que avalen la fiabilidad de los resultados obtenidos.

En este capítulo se explican brevemente los principales métodos de medida del gas radón en aire, agua y suelo. Desde el punto de vista de la protección radiológica de las personas, son las medidas de radón en aire las que adquieren una importancia especial, debido al riesgo de sufrir cáncer de pulmón por respirar aire con alto contenido de gas radón durante largos periodos de tiempo.

Son muchos y variados los dispositivos de medida de radón en aire, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. La elección del método de medida a utilizar es muy importante, y vendrá determinada en función de cuales sean los objetivos perseguidos.

- Si se trata de prevenir los riesgos derivados de la exposición prolongada al gas radón, las medidas de radón integradas a largo plazo (de varios meses o de un año) son la opción más recomendable. Además, **los valores de referencia establecidos por las autoridades competentes²² con los que comparar los resultados obtenidos, siempre se expresan como promedios anuales de concentración de radón.** Por lo tanto, resultan preferibles los dispositivos de medida de radón a largo plazo, a partir de los cuales se puede estimar mejor el promedio anual de la concentración de radón en aire.
- Las medidas de radón a corto plazo (días o semanas) resultan poco fiables para este fin, debido a las variaciones temporales del gas radón en interiores.

Las concentraciones anuales de radón también pueden sufrir variaciones importantes de un año a otro²⁵. En ocasiones, para estimar mejor la exposición al gas radón recibida por las personas a lo largo de toda su vida, es necesario emplear detectores retrospectivos de radón²⁶.

5.1. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE GAS RADÓN.

5.1.1. Detectores de gas radón en aire.

Existen varios dispositivos de medida de las concentraciones del gas radón en el aire en interiores, siendo los más populares los que se muestran en la siguiente tabla:

Los dispositivos de medida suelen clasificarse en dos tipos: activos o pasivos. Los dispositivos pasivos no requieren energía

TIPO DE DETECTOR (sigla)	MÉTODO	INCERTIDUMBRE TÍPICA ^a (%)	PERIODO TÍPICO DE MUESTREO	COSTE ECONÓMICO
DETECTOR DE TRAZAS PARA PARTÍCULAS ALFA (DTPA)	PASIVO	10 - 25	1 - 12 MESES	BAJO
DETECTOR DE CARBÓN ACTIVO(DCA)	PASIVO	10 - 30	2 - 7 DÍAS	BAJO
CÁMARA IÓNICA DE ELECTRETE (CIE)	PASIVO	8 - 15	5 DÍAS - 1 AÑO	MEDIO
DISPOSITIVO DE INTEGRACIÓN ELECTRÓNICO (DIE)	ACTIVO	~ 25	2 DÍAS - AÑOS	MEDIO
MONITOR CONTINUO DE RADÓN (MCR)	ACTIVO	~ 10	1 HORA - AÑOS	ALTO

Tabla 6 - Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores
Fuente: Manual OMS.¹⁵

eléctrica o bombeo durante el muestreo, mientras que los dispositivos activos necesitan ser alimentados eléctricamente.

Según sea el objetivo de la medida, se facilita la siguiente clasificación de los dispositivos a utilizar en cada caso:

- Estimación promedio anual (muestreo de larga duración): DTPA, CIE, MCR, DIE.
- Medida preliminar (muestreo de corta duración): MCR, CIE, DCA.
- Variaciones temporales (medida en continuo): MCR.

^a Incertidumbre estimada para una concentración de 200 Bq/m³

Detector de trazas para partículas alfa (DTPA)



Ilustración 27 - Detector de trazas DTPA

Son dispositivos pasivos muy recomendables para medir concentraciones de radón a largo plazo, por lo tanto, son una buena elección cuando se quiere determinar el promedio anual de concentración de radón.

Consisten en un sustrato plástico (CR39, LR115 o Markrofol) en el interior de una cámara de difusión (de reducido tamaño) que solo permite el paso del gas radón. El radón, una vez en el interior comenzará a desintegrarse, emitiendo partículas alfa y creando productos de desintegración, que a su vez emiten más partículas alfa.

Estas partículas alfa impactan en el sustrato plástico dejando una huella microscópica sobre el mismo, que tras un proceso de revelado químico se hacen observables al microscopio, pudiendo ser registradas. El número de trazas contabilizadas es proporcional a la concentración de radón durante el tiempo de exposición. Aplicando los factores de calibración correspondientes se calcula la concentración de radón para este periodo.

El tiempo de exposición varía desde 1 mes hasta un año. La actividad mínima detectable es de unos 30 Bq/m³ para un tiempo de exposición de 1 mes²⁷.

Principales Ventajas: Válidos para estimar el promedio anual de concentración de radón. Son de bajo coste económico. Constituyen la opción costo-eficaz más eficiente en grandes campañas de muestreo. No les afecta la humedad, ni la temperatura, ni las radiaciones beta o gamma de fondo.

Principales Inconvenientes: Posible saturación para concentraciones elevadas de radón y largos periodos de exposición. Generación de residuos químicos en el proceso de revelado.

Detector de carbón activo (DCA)

Son dispositivos pasivos de medida de corto plazo (unos dos días de exposición), utilizados principalmente para la rápida detección de concentraciones de radón en interiores. Se desaconseja su uso para las determinaciones de los promedios anuales de radón.

En general, consisten en unas cajas metálicas cilíndricas de unos 10 cm de diámetro y 3 cm de altura, en cuyo interior hay cierta cantidad de carbón activo. El carbón activo es un material con gran capacidad de atraer y retener en su interior gases, tales como el radón.



Ilustración 28 - Detector de carbón activo DCA

Durante el tiempo de medida, el carbón activo adsorberá el radón del ambiente. Tras finalizar la medida, la caja metálica se sella. En aproximadamente tres horas se alcanza el equilibrio entre el radón y sus productos de desintegración, de forma que, la cantidad de radón contenida en cada caja metálica puede ser determinada a partir de la medida de alguno de sus productos de desintegración (emisores de fotones gamma). Para la detección de fotones gamma se requiere un sistema de medida específico convenientemente calibrado. Además, se deben incluir otros factores de calibración importantes que tengan en cuenta las correcciones por humedad y los tiempos de exposición. De esta forma se obtiene la concentración de radón durante el tiempo de exposición.

El tiempo de exposición recomendado es de unos 2 días, aunque pueden estar expuestos hasta un máximo de 7 días. La actividad mínima detectable es de unos 20 Bq/m³ para un tiempo de exposición de 2 días²⁸.

Principales Ventajas: Obtención rápida de resultados. Son dispositivos reutilizables y de bajo coste económico.

Principales Inconvenientes: No son válidos para obtener promedios anuales de concentración de radón. Posible saturación por humedad. El análisis requiere sistemas de detección gamma (de alto coste económico) y calibraciones complejas.

Cámara iónica de electret (CIE)

Son dispositivos pasivos que funcionan con una exactitud y precisión excelentes, válidos para medidas de corto y largo plazo. Por lo tanto, son una buena elección cuando se quiere determinar el promedio anual de radón.

Consisten en una cámara de difusión (permite el paso del gas radón, pero no de sus productos de desintegración) en cuya parte inferior se encuentra el electret cargado positivamente. La radiación emitida por el radón y sus productos de desintegración ioniza el aire del interior de la cámara, creando iones negativos que son recogidos por el electret, produciéndose la descarga del mismo.

La descarga del electret durante el tiempo de medida es proporcional a la concentración de radón. Para medir la descarga del electret se utiliza un sencillo medidor de voltaje. A partir de ese valor (en voltios) y de los factores de calibración correspondientes, se obtiene la concentración de radón (Bq/m³) durante el tiempo de exposición.

El tiempo exposición varía según las distintas configuraciones posibles entre los diferentes tipos de cámaras de difusión y electrets, abarcando rangos de 2 días a 12 meses²⁹.



Ilustración 29 - Detector cámara iónica de electret CIE

Principales Ventajas: Resultado rápido y medida sencilla. Permiten integrar por horas y son reutilizables (cargando el electret).

Principales Inconvenientes: Coste económico medio. Riesgo de saturación por descarga total del electret. Les afecta la humedad. Necesitan limpieza con nitrógeno (importante que los electrets estén libres de polvo). Calibración compleja con correcciones sistemáticas por radiación gamma de fondo. El lector de voltaje también necesita calibración.

Dispositivo de integración electrónico (DIE)

Son dispositivos activos muy compactos, que funcionan a pilas y son fácilmente transportables dadas sus reducidas dimensiones. Existen varios modelos con distintas características y prestaciones, que varían notablemente de unos a otros. En algunos modelos se visualiza el resultado en una pequeña pantalla.

En general, consisten en una cámara de difusión de reducidas dimensiones en cuyo interior se encuentra un detector de semiconductor de partículas alfa (detector de silicio en estado sólido) que detecta y cuenta las emisiones del radón y sus productos de desintegración.

El tiempo de respuesta suele ser lento para concentraciones de radón moderadas,

por lo que necesitan tiempos de exposición largos (más de dos días) para obtener unos resultados estables estadísticamente. Estos dispositivos deben ser calibrados periódicamente para garantizar los resultados. En los modelos básicos de uso habitual no existe la posibilidad de calibración.

El tiempo de exposición que pueden abarcar es desde unos dos días a años, en función del modelo elegido y teniendo la precaución de extraer los datos antes de llenar la memoria interna, así como controlar el nivel de las pilas. La actividad mínima detectable es de unos 20 Bq/m³ para un tiempo de exposición de unos 7 días.

Principales Ventajas: Realización de medida muy fácil (encender dispositivo) y resultados rápidos (unos dos días). En los modelos avanzados se dan además resultados de temperatura, humedad y presión atmosférica. Permiten la integración por horas.

Principales Inconvenientes: Coste económico elevado en los modelos avanzados. Necesitan calibraciones periódicas (anuales) y no todos los modelos lo permiten. La medida de radón puede verse afectada en casos de elevada humedad en el ambiente. En la integración por horas, dado que el tiempo de respuesta es lento, puede que no cuantifiquen convenientemente grandes y rápidas fluctuaciones de radón.



Ilustración 30 - Dispositivo de integración electrónico DIE

Monitor continuo de radón (MCR)

Son dispositivos activos (a pilas, baterías o corriente eléctrica) con los que se obtienen resultados excelentes de forma prácticamente inmediata y sin más que pulsar un botón. Son fácilmente programables, pudiendo abarcar un amplio periodo de muestreo según se desee (se debe tener la precaución de extraer los datos y controlar el nivel de las baterías). Aunque son de mayores dimensiones que los integradores electrónicos, también son fáciles de transportar. Existen varios tipos con distintas características, prestaciones y ventajas específicas.

En todos los MCR se obtienen registros con resolución temporal, lo que permite obtener la concentración de radón integrada para periodos concretos previamente programados (según el tipo, cada 10 minutos, cada hora, cada tres horas, etc.) durante el tiempo total que dure la medida (desde pocas horas hasta años). Los MCR utilizan diferentes tipos de detectores (células de centelleo, cámaras de ionización o detectores de semiconductor de silicio) dentro de una cámara sensora de mayor tamaño que los DIE, donde el aire a analizar llega a su interior por difusión o mediante una pequeña bomba. Las partículas alfa del radón y sus productos de desintegración son detectadas y cuantificadas de forma automática. Estos dispositivos requieren y permiten ser calibrados periódicamente. La actividad mínima detectable es de unos 5 Bq/m³ para situaciones habituales de medida.

Principales Ventajas: Son los dispositivos más avanzados del mercado. Medida fácil y muy rápida (en horas). Ofrecen resultados de temperatura, humedad y presión atmosférica entre otras posibilidades. Son perfectos para estudiar las variaciones de radón. Además, algunos MCR se pueden utilizar para medir radón en agua y suelo. Algunos modelos no se ven afectados por la humedad.

Principales Inconvenientes: Coste económico muy elevado. Requieren calibración periódica.



Ilustración 31 - Monitor en continuo de radón MCR

5.1.2. Detectores de gas radón en agua.

Generalmente el gas radón se encuentra mezclado con el aire que respiramos, pero también se puede encontrar disuelto en el agua. En el Real Decreto 314/2016²¹ se indican los valores de referencia para el radón en el agua potable. En general, se considera que el riesgo de cáncer por inhalación de radón liberado por el agua es mucho mayor que el derivado de su ingestión³⁰.

Existen diferentes métodos de medida de radón en agua, que pueden clasificarse en dos grupos: técnicas mediante deseminación y técnicas de recuento directo.

a. Técnicas mediante deseminación.

Esta técnica consiste en extraer el radón disuelto en el agua, pasándolo a radón en aire. Para ello, se hace burbujear la muestra de agua con un flujo de aire (sin radón) en un circuito cerrado y hermético durante un tiempo determinado. Extraído el radón del agua, se procede a medir la concentración de radón en el aire del circuito. Los detectores utilizados para este fin suelen ser monitores en continuo de radón (MCR), células de centelleo sólido o cámaras iónicas de electret (CIE). Aplicando factores de calibración y conversión, se pasa de la concentración de radón medida en el aire (Bq/m³) a la concentración de radón en el agua (Bq/L).

b. Técnicas de recuento directo.

Consisten en medir directamente la muestra de agua. El recuento directo por radiación gamma y el recuento por centelleo líquido son los principales métodos de medida directa. El método por centelleo líquido es el más utilizado dada su excelente exactitud y precisión de los resultados, así como el bajo umbral de detección, la sencillez en la preparación de muestras y el gran número de muestras que se pueden medir rápidamente. El método consiste en mezclar cuidadosamente la muestra de agua con la mezcla de centelleo (creada a base de solventes orgánicos como el tolueno, xileno, etc.) en un recipiente especial. Tras agitar vigorosamente la mezcla, se deja reposar hasta la separación de las fases (acuoso/orgánico), quedando disponible para su medida mediante un espectrómetro de centelleo líquido³¹.

5.1.3. Detectores de gas radón en suelo.

Las medidas de radón en suelo son importantes de cara a evaluar el riesgo potencial de gas radón en los futuros edificios que vayan a construirse sobre ese terreno. A partir de medidas de la concentración de radón en profundidad en suelo y de la permeabilidad del mismo, se puede establecer la exposición potencial al radón, y de este modo, implantar las soluciones constructivas adecuadas desde el comienzo del proyecto.

Las medidas de radón en profundidad en suelo se realizan in situ sobre el terreno, introduciendo una sonda a un metro de profundidad (o el máximo posible que permita la dureza del terreno) para extraer el gas radón (aspiración de aire mediante bomba), y medirlo directamente, por lo general con monitores en continuo de radón (MCR) programados para tal fin.

5.2. PROTOCOLO DE MEDIDA DE RADÓN EN AIRE EN INTERIORES

Las medidas de radón en aire pueden realizarse para distintos fines (exposición personal, exposición de área, concentración de radón más desfavorable, medida rápida y preliminar, etc.) y bajo circunstancias diferentes (edificios cerrados o abiertos, habitados o vacíos, de uso público o privado, cuevas, galerías, túneles, etc.), por lo tanto, los protocolos de medida deben ajustarse para cada caso concreto.

Cuando el objetivo es la protección radiológica de las personas, todos los dispositivos de medida de radón en aire en interiores, ya sean activos o pasivos, de largos o cortos periodos de integración, deben ser instalados de acuerdo a unas pautas que son comunes a todos ellos. En este mismo sentido de la protección/prevenición del riesgo en las personas, existen normas donde se establecen los valores de referencia para la concentración de radón. Estos valores vienen expresados como promedios anuales de concentración de radón (Bq/m³). Por lo tanto, se descartan para este fin el uso de dispositivos de medida de cortos periodos de exposición (inferior a dos meses). No obstante, si una medida rápida y preliminar indica una concentración de radón muy elevada, pueden iniciarse las medidas de mitigación sin necesidad de confirmar con medidas a largo plazo.

5.2.1. Medida en edificios

Para la determinación de la concentración de radón en aire en edificios se seguirán las indicaciones de los protocolos de medida específicos que correspondan (por ejemplo, la Guía de Seguridad 11.01 del CSN³², IS-33³³, CTE²¹, etc.). En general, estos protocolos pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a. **Muestreo;** se realizarán evitando los meses de verano y durante un tiempo de exposición de unos tres meses (nunca inferior a dos meses), de esta forma, en la mayoría de los casos se obtendrá una estimación conservadora de la media anual. Se debe determinar el número de detectores a utilizar en el edificio en función de sus características y priorizando aquellos lugares con mayor probabilidad de presentar niveles altos de radón (todas las plantas subterráneas o las dos plantas más bajas en edificios sobre rasante).

En el CTE²¹ se establece que:

- o En cada planta se debe colocar un detector por cada 200 m² de superficie.
- o Para superficies inferiores a los 200 m² se instalarán dos detectores.
- o En superficies mayores a 1000 m², un detector por cada 400 m².
- o En superficies mayores a 5000 m², un detector por cada 500 m².

La ubicación exacta de los detectores será en salas con mayor permanencia de las personas.

- b. **Instalación de los detectores;** los detectores se situarán en zonas que sean representativas del aire que se respira en su interior. De este modo, deben colocarse:
- o entre 50 y 180 cm sobre el suelo,
 - o a una distancia de más de 30 cm de paredes o puertas, y
 - o a más de 10 cm de otros objetos.

Por supuesto, no deben colocarse en el interior del mobiliario, ni expuestos a corrientes de aire o fuentes de calor, ni tampoco a la luz solar directa. En lugares con humedad elevada (más del 70%) deben tomarse precauciones especiales sobre los dispositivos de medida (recubrirlos con membrana) que se vean afectados por esta variable. Es imprescindible anotar en una hoja de muestreo, todos los datos relativos a la colocación de los detectores, siendo imprescindible el código del detector, la fecha de colocación/retirada y el lugar exacto de colocación. Con estos datos se garantiza la trazabilidad del proceso de medida.

- c. **Condiciones durante la medida;** deben seguirse los hábitos rutinarios de ocupación, sin que el dispositivo de medida condicione en nada el uso normal que se tenga en el edificio. En edificios no ocupados se mantendrán cerradas las puertas y ventanas que dan al exterior, y abiertas las interiores.
- d. **Análisis de los detectores;** debe ser realizado por un laboratorio acreditado y habilitado por el órgano competente que corresponda. Los resultados obtenidos por cada detector (con su código asignado) y asociados al lugar de medida, deben emitirse en un informe de resultados como concentración media de radón (Bq/m^3) durante el periodo de exposición (desde la fecha de colocación hasta la fecha de retirada). A partir de este resultado, se estimará el promedio anual de concentración de radón, aplicando factores de corrección en los casos necesarios y siempre de acuerdo con los protocolos establecidos para este fin.

En los edificios con concentraciones medias anuales de radón por encima de los valores de referencia, pero que solo están ocupados durante una parte del día, puede ser necesario realizar medidas durante los periodos de ocupación. Con ello se pretende valorar la existencia de posibles variaciones significativas en las concentraciones de radón. Este hecho puede darse en edificios que activan sus sistemas de calefacción/refrigeración/ventilación solo durante el día y no por la noche, o viceversa.

El Código Técnico de la Edificación²¹ establece en el Apéndice C de la sección sexta (HS-6) del Documento Básico de Salubridad relativa a la Protección frente a la exposición al radón el procedimiento para la determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire de los locales habitables de un edificio, distinguiendo tres fases: muestreo, medición y estimación del promedio anual.

La fase de muestreo se determinará por el proyectista, la dirección facultativa o entidad control. Para determinar cuántos detectores han de disponerse, se establecerán las zonas de muestreo en aquellas plantas del edificio donde exista una probabilidad más alta de presentar niveles elevados de radón, esto es:

- a) bajo rasante, en cada una de las plantas en las que existan locales habitables;
- b) sobre rasante, en las dos plantas más bajas en las que haya locales habitables.

Estas zonas de muestreo se delimitarán de la siguiente forma:

- a) En cada unidad de uso se establecerá, al menos:
 - 1) una zona de muestreo por cada 200 m² de superficie útil;
 - 2) una zona de muestreo por planta.
- b) En unidades de uso con grandes áreas no compartimentadas (por ejemplo, oficinas de planta abierta, superficies de atención al público, etc.), se tendrá en cuenta lo siguiente:
 - 1) cuando la superficie sea superior a 1.000 m² e inferior o igual a 5.000 m², se podrá establecer una zona de muestreo por cada 400 m²;
 - 2) cuando la superficie sea superior a 5.000 m², se podrá establecer 1 zona de muestreo por cada 500 m².

En cada zona de muestreo se instalará al menos 1 detector, excepto en unidades de uso de superficie inferior a 200 m² en los que se haya definido una única zona de muestreo, donde se instalarán al menos 2 detectores.

En el caso de los detectores pasivos, cuando, de acuerdo con las indicaciones anteriores, el número de detectores a exponer en un mismo edificio esté comprendido entre 15 y 25, será necesario colocar un detector más, a modo de control. A partir de 25 detectores, se añadirá un detector de control adicional por cada 20 detectores expuestos. Estos detectores se ubicarán en una zona del edificio en la que se prevea una baja concentración de radón.

Para ubicar los detectores se tendrá en cuenta dónde la permanencia de las personas es más elevada, como en los dormitorios y salas de estar de las viviendas, y ha de tenerse en cuenta la situación de los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación y la distribución de entradas, salidas de aire, puertas y ventanas. Para ello se hará el correspondiente esquema gráfico.

El documento HS-6²¹, al tratar la medición, introduce el concepto de "entidades de medida". De esta manera, indica literalmente:

- 1) La estimación del promedio anual de la concentración de radón en el aire podrá efectuarse mediante detectores de tipo pasivo o activo. Las entidades de medida que proporcionen los detectores y lleven a cabo, bien su análisis, o bien el procesamiento de los registros de medida, deberán cumplir los siguientes requisitos:
 - a) estar acreditadas de acuerdo a UNE-EN ISO/IEC 17025:2017³⁹ por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), o bien por otro organismo nacional de acreditación designado de acuerdo con la normativa europea; y
 - b) cumplir los requisitos exigidos de acuerdo al Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo⁴⁰, y haber presentado la declaración responsable como laboratorio de ensayos para el control de la calidad de la edificación ante el órgano competente de la comunidad autónoma.

- 2) Cuando así lo requiera el sistema de medida utilizado, las entidades de medida se encargarán de la instalación, puesta en marcha, toma de datos, lectura o determinación de la medición y expresión de la medida de los detectores con los que se determinará el nivel de radón en cada zona de muestreo identificados y localizados en las ubicaciones indicadas por el proyectista, la dirección facultativa o entidad de control.

Han de seguirse los siguientes criterios (coincidentes con los establecidos por el Consejo de Seguridad Nuclear en sus guías^{24,34}) para ubicar los detectores: se situarán a una altura entre 50 y 180 cm sobre el nivel del suelo, a una distancia de más de 30 cm de paredes o puertas, y a más de 10 cm de otros objetos; no deberán colocarse en el interior de elementos cerrados, como armarios, cajones o vitrinas; tampoco deberán colocarse próximos a corrientes de aire (ventanas, ventiladores) ni exponerse directamente al sol o a otras fuentes de calor. Si fuera necesario colocarlos en lugares de humedad elevada, y si así lo aconsejaban las especificaciones del fabricante, los detectores deberán recubrirse con una membrana que los proteja de la humedad sin interferir en el resultado de la medida de radón.

Por otra parte, los detectores deberán permanecer expuestos durante un período mínimo de dos meses, teniendo en cuenta las condiciones ordinarias de ocupación de los edificios o, si no están ocupados, mantener las condiciones de edificio cerrado en la medida de lo posible. En función de la zona climática, ese período ha de tener lugar durante los meses de la temporada de calefacción.

Finalmente se llega a la fase de estimación del promedio anual de concentración de radón, que se realizará por la dirección facultativa o entidad de control a partir de los valores proporcionados por la entidad de medida.

Así, cuando en una zona de muestreo se haya expuesto sólo uno o dos detectores, el valor promedio de concentración corresponderá al resultado de la medida más alta. En otro caso, el promedio se calculará como la media aritmética de los valores de concentración de radón proporcionados por todos los detectores expuestos en la zona de muestreo.

Para obtener el promedio anual de concentración de radón en cada zona de muestreo, el resultado obtenido deberá multiplicarse por un factor 1,4 en los siguientes casos:

- si las exposiciones de los detectores han tenido lugar en un edificio no ocupado en el que, por condicionantes prácticos, no se pueden garantizar las condiciones de edificio cerrado; o
- si las exposiciones de los detectores han tenido lugar en un edificio en uso situado en alguna de las zonas climáticas de invierno C, D o E establecidas en el DB-HE Ahorro de energía y el periodo de exposición no coincide al menos en 2/3 con la temporada de calefacción.

5.2.2. Medidas de control sobre las acciones de mitigación

En aquellos lugares donde los promedios anuales de concentración de radón superen los valores de referencia establecidos^{22, 24, 33}, se deben aplicar acciones de remedio frente al radón. Estas deben ser controladas a partir de medidas realizadas en el mismo lugar de las medidas originales, previas a las actuaciones. Este control debe repetirse periódicamente cada pocos años para asegurar que el sistema de mitigación sigue siendo eficaz.

5.2.3. Medidas retrospectiva de radón en interiores

En los estudios epidemiológicos que tratan de estimar los riesgos que la exposición al radón puede provocar en una persona, las medidas actuales de la concentración de radón (con tiempos de exposición de varios meses, o incluso de un año) puede que no sean lo suficientemente representativa de la exposición real al radón en el pasado y, por lo tanto, el factor de riesgo puede estar enmascarado^{35, 36}. La dosimetría retrospectiva se presenta como una alternativa a los métodos dosimétricos ya existentes^{37, 38}. Estos estudios requieren métodos de medida que permitan la determinación de la concentración de radón con carácter retroactivo, basados en la medida de los productos de desintegración del radón implantados en la superficie de los objetos (por ejemplo, vidrios o espejos) que pueden ser detectados después de un cierto tiempo. A partir de estas medidas se puede estimar la concentración retrospectiva de radón en el pasado.

Todas las entidades que se dediquen a realizar medidas de la concentración de radón en aire en interiores deben seguir programas de garantía de calidad, con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en las mediciones. En España, las entidades de medida deben estar acreditadas de acuerdo con la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017³⁹ por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), o bien por otro organismo nacional de acreditación designado de acuerdo con la normativa europea. El CTE exige además el cumplimiento de los requisitos establecidos en el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, y haber presentado la declaración responsable como laboratorio de ensayos para el control de la calidad de la edificación ante el órgano competente de la comunidad autónoma.



Ilustración 32 - Fases de la determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire en los locales habitables de un edificio según el DB HS-6 del CTE

CAPÍTULO 06 / MEDIDAS CORRECTORAS

La principal solución para mitigar las concentraciones de gas radón en el interior de los edificios es implementar medidas correctoras eficaces. Estas medidas correctoras se pueden ejecutar simultáneamente con la construcción de un nuevo edificio o bien posteriormente mediante la intervención en edificaciones existentes.

En edificios existentes es imprescindible que, con carácter previo, una entidad de medida acreditada haga las correspondientes mediciones para obtener los resultados de la concentración media anual de gas radón en su interior. Una vez conocida ésta, la persona encargada de redactar la documentación técnica para ejecutar la obra, determinará qué medida correctora es más eficaz en función de las características constructivas existentes del edificio y de su situación con respecto a otras edificaciones.

El objetivo de este capítulo es describir las diferentes medidas correctoras para que la ciudadanía conozca al menos en qué consisten y dónde se pueden aplicar.

Las medidas correctoras que se presentan a continuación, son:

- Barrera de protección
- Espacio de contención ventilado
- Sistema de despresurización del terreno
- Sistema de presurización del terreno
- Ventilación de espacios habitables

6.1. BARRERA DE PROTECCIÓN

¿En qué consiste?

La barrera de protección, utilizada como medida preventiva o correctora frente a la entrada del gas radón en los edificios, es un método pasivo que consiste en impermeabilizar las zonas habitables de los edificios respecto del terreno de tal forma que dicho gas no penetre hacia el interior.

BARRERA FRENTE AL PASO DE RADÓN

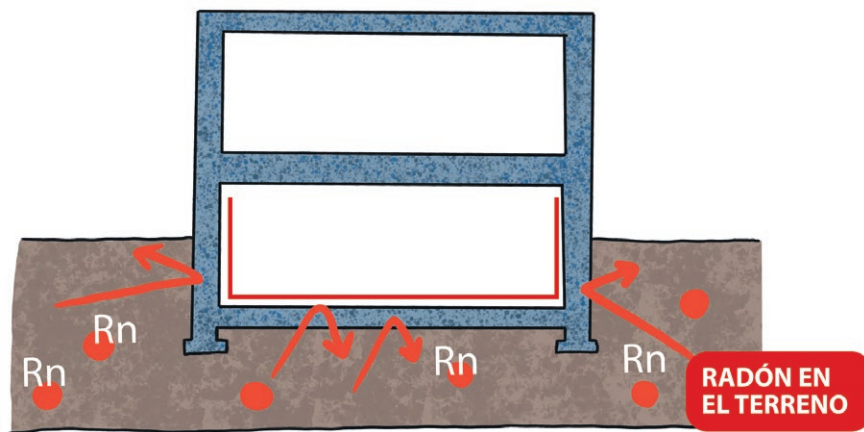


Ilustración 33 - Esquema de barrera frente al paso de radón

¿Dónde se dispone?

Se dispone en las zonas habitables de los edificios que estén en contacto directo con el terreno. Su posición puede ser horizontal, si se pretende impermeabilizar el suelo de la planta más baja del edificio, o vertical si se pretenden impermeabilizar los cerramientos verticales en contacto con el terreno.

¿Qué materiales se utilizan?

Las barreras de protección pueden estar constituidas por diferentes tipos de materiales, siempre que éstos cumplan los requisitos adecuados para proteger el interior de los edificios del gas radón.

Algunos ejemplos de materiales empleados para la barrera de protección son:

- Membrana multicapa compuesta por láminas de diferentes materiales tales como polietileno, polipropileno, aluminio, PVC...

- Membrana compuesta principalmente a base de materiales bituminosos
- Láminas de caucho EPDM
- Sistemas proyectados "in situ" como por ejemplo los compuestos por elastómero de poliuretano

¿Qué características tiene?

La barrera de protección deberá tener las siguientes características:

- Un **espesor y un coeficiente de difusión frente al radón** tales que la exhalación del radón prevista a través del material sea inferior a la exhalación límite según cálculos.
- **Continuidad:**
 - o Las juntas de la barrera de protección deberán estar perfectamente selladas.
 - o Los encuentros con los elementos que la interrumpen deberán estar perfectamente sellados.
 - o No presentará fisuras que permitan el paso por convección del radón del terreno.
 - o Si se interrumpe la continuidad de la barrera con puertas de comunicación, éstas deberán ser estancas y estar dotadas de un mecanismo de cierre automático.
- **Durabilidad** adecuada a la vida útil del edificio, sus condiciones y el mantenimiento previsto.

¿Ventajas Vs Inconvenientes?

VENTAJAS	INCONVENIENTES
REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN DE HASTA EL 96%	LIMITACIONES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES
SISTEMA PASIVO, UNA VEZ INSTALADO NO REQUIERE IMPORTANTES COSTES DE MANTENIMIENTO	ESPECIAL CUIDADO EN LA EJECUCIÓN DE LA BARRERA, EVITANDO CUALQUIER VÍA DE ENTRADA AL GAS (JUNTAS, ENCUENTROS...)
MEJORA LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD DEL EDIFICIO	

Tabla 7 - Ventajas e inconvenientes de la barrera de protección como medida preventiva y/o correctora frente al radón

6.2. ESPACIO DE CONTENCIÓN VENTILADO

¿En qué consiste?

El espacio de contención ventilado, utilizado como medida preventiva o correctora frente a la entrada del gas radón en los edificios es, en principio, un método pasivo si la ventilación se hace de forma natural, o bien puede implementarse una ventilación mecánica si con la ventilación natural no es suficiente. Consiste en la creación de una cámara de aire ventilada que separe las zonas habitables del edificio con el terreno, mediante la cual, el radón procedente del terreno pasa a la cámara y de ésta al exterior del edificio.

ESPACIO DE CONTENCIÓN VENTILADO

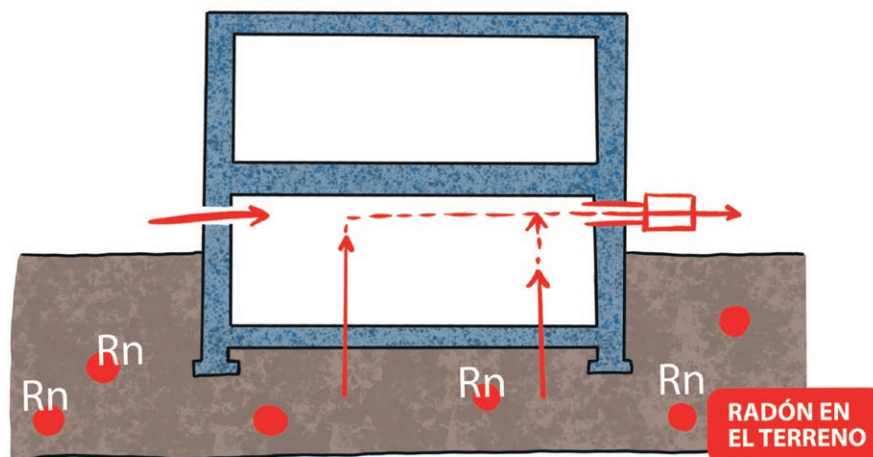


Ilustración 34 - Esquema de espacio de contención ventilado

¿Dónde se dispone?

Se dispone en las zonas habitables de los edificios que estén en contacto directo con el terreno. Su posición puede ser horizontal, a modo de cámara sanitaria si se pretende ventilar el suelo de la planta más baja del edificio, o vertical, a modo de trasdosado, si se pretenden ventilar los cerramientos verticales en contacto con el terreno.

¿Qué materiales y soluciones constructivas se utilizan?

Para el espacio de contención ventilado horizontal se pueden utilizar distintas soluciones:

- Local no habitable suficientemente ventilado (garaje, trastero...).
- Forjado sanitario separado del terreno adecuadamente ventilado.
- Solera ventilada construida sobre encofrado perdido de piezas poliméricas que permiten una adecuada ventilación.

Todas las soluciones indicadas son adecuadas para obra nueva, si bien, en principio, la solera ventilada también es susceptible de poder ser empleada como medida correctora en edificios existentes. En todos los casos es importante la adecuada ventilación del espacio de contención generado, ventilación que puede ser natural o mecánica.

Como espacio de contención ventilado vertical, se puede optar por la disposición de un local no habitable suficientemente ventilado o bien un trasdosado por el interior del cerramiento que está en contacto con el terreno, creando una cámara de aire que se ventila a través de la parte superior del cerramiento hacia el exterior del edificio mediante aberturas de ventilación.

¿Qué características tiene?

El espacio de contención ventilado deberá tener las siguientes características:

- Dispondrá en todo caso de **ventilación natural o mecánica**.
- Las aberturas de ventilación deberán mantenerse libres de obstrucciones.
- Para la ventilación natural de una cámara de aire horizontal, las aberturas de ventilación se dispondrán en general en todas las fachadas de forma homogénea salvo el caso de superficies pequeñas (< 100 m²), en cuyo caso éstas podrán disponerse en la misma fachada.
- Para la ventilación natural de una cámara de aire vertical, en general se dispondrán aberturas de ventilación en la parte superior de dicha cámara.
- En el caso de edificios existentes en los que no exista cámara de aire se podrá implementar una cámara en contacto con el terreno continua de al menos 5 cm de espesor.
- Cuando no se cumplan las condiciones necesarias para el establecimiento de ventilación natural o se considere necesario aumentar la eficacia de la instalación se dispondrán extractores mecánicos.

¿Ventajas Vs Inconvenientes?

VENTAJAS	INCONVENIENTES
REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN DE HASTA EL 96%	LIMITACIONES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES (ALTURA LIBRE DE PLANTA)
CON VENTILACIÓN NATURAL ES UN SISTEMA PASIVO, UNA VEZ INSTALADO NO REQUIERE IMPORTANTES COSTES DE MANTENIMIENTO	EN GENERAL, LA SOLUCIÓN ES MÁS COSTOSA QUE OTRAS MEDIDAS DE EFICACIA SIMILAR
MEJORA LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD DEL EDIFICIO	SI SE OPTA POR VENTILACIÓN NATURAL DEBE MEDIRSE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN CON POSTERIORIDAD A LA INTERVENCIÓN PARA VALORAR SU EFICACIA
LA ADECUADA VENTILACIÓN PREVIENE PROBLEMAS DE DURABILIDAD EN EL CASO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO	

Tabla 8 - Ventajas e inconvenientes del espacio de contención ventilado como media preventiva y/o correctora frente al radón

6.3. SISTEMA DE DESPRESURIZACIÓN DEL TERRENO

¿En qué consiste?

El sistema de despresurización del terreno, utilizado como medida preventiva o correctora frente a la entrada del gas radón en los edificios; es un método activo que consiste en la creación de una red de elementos de captación, formada por arquetas o tubos perforados dispuestos en una capa de relleno granular, instalados bajo el edificio y conectados a un conducto dotado de un sistema de extracción mecánico, mediante el cual el radón del terreno se conduce hacia el exterior del edificio.

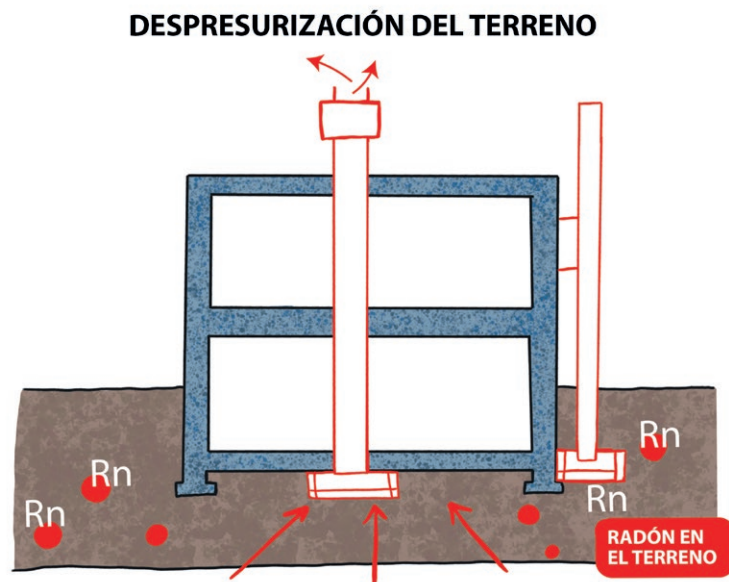


Ilustración 35 - Esquema de sistema de despresurización del terreno

¿Dónde se dispone?

Las arquetas o tubos perforados instalados en una capa de relleno granular se dispondrán repartidos en el terreno, bajo el edificio o en el perímetro exterior de éste (como por ejemplo patios interiores).

¿Qué materiales y soluciones constructivas se utilizan?

Las arquetas se pueden realizar con fábrica de ladrillo perforado colocado de canto, de modo que las perforaciones del ladrillo permitan el paso de radón del terreno al interior de las arquetas, incluso pudiendo colocarse los ladrillos separados como si se tratase de tabiques palomeros para aumentar la permeabilidad. La fábrica de ladrillo se coloca sobre una solera de hormigón en masa y el cierre superior se puede realizar mediante una tapa de hormigón prefabricado.

En el mercado existen arquetas prefabricadas, en general de material polimérico (SUMP), e incluso sistemas completos compactos que incluyen el equipo extractor. En cuanto a las características de los materiales del resto del sistema, existen en el mercado múltiples opciones tanto para los conductos (PVC, PP, acero galvanizado...) como para el sistema de extracción con la potencia necesaria.

En función de la permeabilidad del terreno puede ser recomendable colocar en el perímetro de las arquetas una capa de relleno granular, que favorezca la circulación del aire.

¿Qué características tiene?

El sistema de despresurización del terreno deberá tener las siguientes características:

- Las bocas de expulsión deben ubicarse en la cubierta del edificio a una altura sobre ella de 1m como mínimo y debe superar las alturas de obstáculos próximos según su ubicación.
- En el caso de intervenciones en edificios existentes, si no es posible la instalación del sistema bajo el edificio accediendo desde la solera o desde el exterior, se podrá instalar de forma perimetral en el terreno exterior junto al edificio (como por ejemplo patios interiores).
- Si la capa de relleno no es continua debajo del suelo a consecuencia de la presencia de obstáculos, se deberá abrir huecos en los mismos o bien situar elementos de captación en cada una de las distintas zonas.
- La eficacia del sistema se deberá comprobar experimentalmente con mediciones de concentración de radón posteriores a la intervención.
- Cuando se considere necesario aumentar la eficacia de la instalación podrá incrementarse el caudal de extracción, introducirse nuevos elementos de captación u otras soluciones.

¿Ventajas Vs Inconvenientes?

VENTAJAS	INCONVENIENTES
REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN DE HASTA EL 99%	POSIBLE LIMITACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES (PATIOS INTERIORES)
ES UN SISTEMA ACTIVO Y, POR TANTO, SUSCEPTIBLE DE SER PROGRAMADO (POR HORAS, AL ALCANZAR UN UMBRAL DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN...)	EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN PUEDE OCASIONAR MOLESTIAS POR RUIDO EN FUNCIÓN DE SU UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO
	AL TRATASE DE UN SISTEMA ACTIVO REQUIERE DE MAYOR MANTENIMIENTO QUE LOS SISTEMAS PASIVOS
	DEBE PRESTARSE ESPECIAL ATENCIÓN A LA ESTANQUEIDAD DEL CONDUCTO DE EXTRACCIÓN EN EL CASO DE QUE ÉSTE DISCURRA POR EL INTERIOR DE LA EDIFICACIÓN.
	DEBE MEDIRSE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN CON POSTERIORIDAD A LA INTERVENCIÓN PARA VALORAR SU EFICACIA

Tabla 9 - Ventajas e inconvenientes del sistema de despresurización del terreno como medida preventiva y/o correctora frente al radón

6.4. SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DEL TERRENO

¿En qué consiste?

El sistema de presurización del terreno, utilizado como medida preventiva o correctora frente a la entrada del gas radón en los edificios, es un método activo que consiste, al contrario que el sistema de despresurización, en insuflar aire de la atmósfera a través de conductos hacia arquetas o tubos perforados instalados en una capa de relleno granular situados en el terreno que está debajo del edificio o parte del mismo.

Con esta inversión del flujo del aire se crea más presión que la existente inicialmente en el terreno, obligando así al gas radón a exhalar por zonas donde haya menos presión, como es el perímetro exterior del edificio.

PRESURIZACIÓN DEL TERRENO

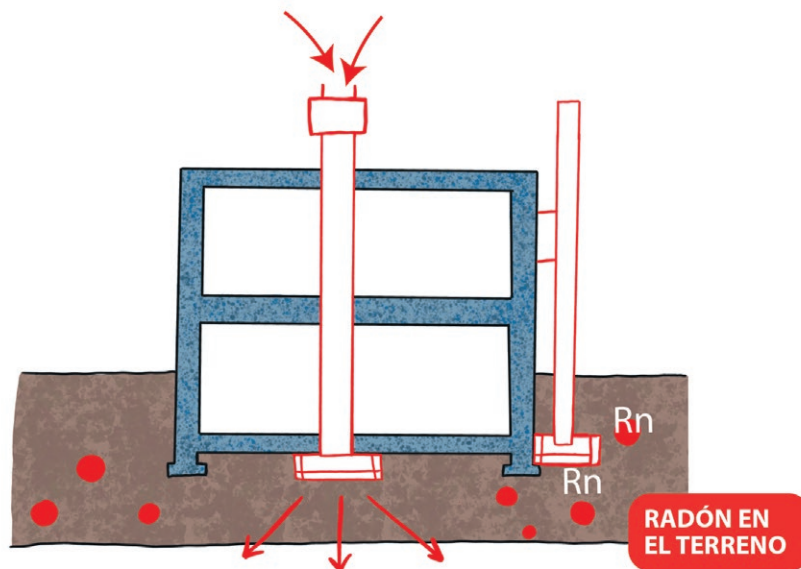


Ilustración 36- Esquema de sistema de presurización del terreno

¿Dónde se dispone?

La actual redacción Documento Básico HS-6 del Código Técnico de la Edificación no contempla esta medida para cumplir la exigencia básica de protección frente a la exposición de radón incluida dentro del requisito básico de "Higiene, salud y protección del medio ambiente". Es por ello que la presente guía contempla dicha medida a efecto divulgativo, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 5.1.3.b) del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Este sistema está indicado cuando las aguas subterráneas o niveles freáticos son altos, para los cuales la extracción podría no estar indicada. Las arquetas o tubos perforados instalados en una capa de relleno granular se dispondrán repartidos en el terreno, bajo el edificio.

¿Qué materiales y soluciones constructivas se utilizan?

Los materiales y soluciones constructivas utilizadas en este sistema son las mismas que las descritas en el sistema de despresurización del terreno, con la salvedad de que su disposición se realiza bajo el edificio y no en el perímetro exterior de éste.

¿Qué características tiene?

Las características son las mismas que las señaladas para el sistema de despresurización del terreno con la única diferencia de que el sistema de extracción (ventilador hélico-centrífugo) se dispone de forma inversa, insuflando aire bajo el edificio.

¿Ventajas Vs Inconvenientes?

VENTAJAS	INCONVENIENTES
REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN DE HASTA EL 99%	LIMITACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES
ES UN SISTEMA ACTIVO Y, POR TANTO, SUSCEPTIBLE DE SER PROGRAMADO (POR HORAS, AL ALCANZAR UN UMBRAL DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN...)	EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN PUEDE OCASIONAR MOLESTIAS POR RUIDO EN FUNCIÓN DE SU UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO
	AL TRATARSE DE UN SISTEMA ACTIVO REQUIERE DE MAYOR MANTENIMIENTO QUE LOS SISTEMAS PASIVOS
	POSIBLE AFECCIÓN A EDIFICACIONES COLINDANTES (INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN)
	DEBERÍA MEDIRSE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN CON POSTERIORIDAD A LA INTERVENCIÓN PARA VALORAR SU EFICACIA

Tabla 10 - Ventajas e inconvenientes del sistema de presurización del terreno como medida preventiva y/o correctora frente al radón

6.5. VENTILACIÓN DE ESPACIOS HABITABLE

¿En qué consiste?

El sistema de ventilación de espacios habitables, utilizado como medida complementaria correctora frente a la entrada del gas radón en los edificios, es un método activo que consiste en renovar el aire viciado del interior de las zonas habitables con el del ambiente exterior y libre de gas radón mediante un sistema de rejillas, conductos y extractores.

Como variante de este sistema encontramos la creación de una sobrepresión en el interior del local habitable mediante la introducción de un mayor caudal de aire exterior del que se evacúa, estando indicado como solución alternativa para locales habitables situados en grandes áreas que no están protegidas (como por ejemplo cabinas de vigilante en garajes)

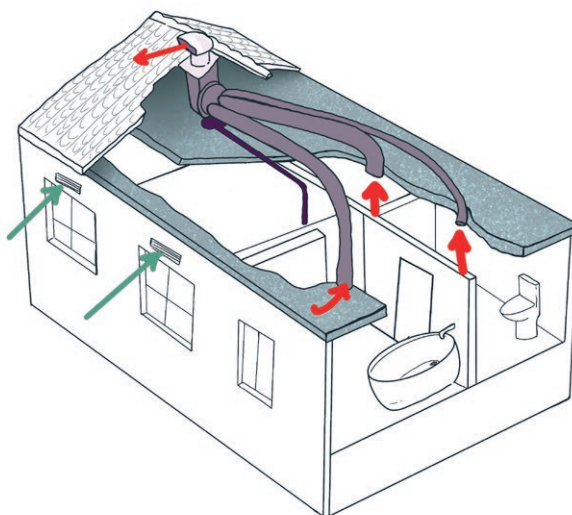


Ilustración 37 - Esquema de ventilación de espacios habitable

¿Dónde se dispone?

Con la excepción del sistema de sobrepresión anteriormente descrito la actual redacción Documento Básico HS-6 del Código Técnico de la Edificación no contempla esta medida para cumplir la exigencia básica de protección frente a la exposición de radón incluida dentro del requisito básico de “Higiene, salud y protección del medio ambiente”, sin perjuicio de que la calidad del aire interior se aborda en el Documento Básico HS-3. Es por ello que la presente guía contempla dicha medida a efecto divulgativo, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 5.1.3.b) del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

El sistema de ventilación como medida complementaria para disminuir la concentración de radón debe ser un sistema mecánico, donde el aire debe circular desde los locales secos a los húmedos. En el caso de viviendas los comedores, los dormitorios y las salas de estar deben disponer de aberturas de admisión mientras que los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de aberturas de extracción, de tal forma que las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso.

¿Qué materiales y soluciones constructivas se utilizan?

La admisión de aire se puede realizar comunicando el local que se pretende ventilar directamente con el exterior o a través de un conducto de admisión, permitiendo esta segunda opción una mejor optimización de la eficiencia energética (mediante instalación por ejemplo de un recuperador de calor). Para dicha admisión se disponen aberturas de ventilación cuya configuración pueden ser diversas (aireadores, aperturas fijas de la carpintería...)

Los materiales a utilizar tanto en conductos, rejillas como sistema de ventilación son de diferente naturaleza y características, en función de cómo se quiera configurar la instalación. Para los conductos se cuenta con materiales tales como PVC, chapa de acero galvanizado, fibra de vidrio con velo de aluminio... mientras que para las rejillas se cuenta en general con materiales tales como aluminio, chapa de acero o materiales poliméricos de diversas características.

Los sistemas de ventilación permiten la extracción y, en su caso, la admisión de aire mediante ventiladores helico-centrífugos dispuestos con el caudal y potencia necesarios. Con carácter general, es muy recomendable en estos sistemas el empleo de un esquema de doble flujo (con recuperador de calor) con el fin de mejorar la eficiencia energética del edificio.

¿Qué características tiene?

El sistema de ventilación de espacios habitables deberá tener las características que se señalan en la sección HS-3 Calidad del aire interior del Documento Básico incluido en el Código Técnico de la Edificación, así como el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

No obstante lo anterior, se recomienda considerar las siguientes particularidades en lo relativo a su empleo, como medida complementaria frente a la protección frente al radón en el interior de espacios habitables:

- Se aconseja utilizar sistemas de ventilación que permitan variar la velocidad con el fin de poder regular el caudal de ventilación en función de la necesidad (recordemos que la mayor concentración de radón se sitúa generalmente en horario nocturno)
- Se sugiere que la eficacia de este sistema complementario se compruebe experimentalmente con mediciones de concentración de radón posteriores a la intervención.
- Cuando se considere necesario aumentar la eficacia de la instalación en el caso de que estas mediciones no ofrezcan valores aceptables, podrá incrementarse el caudal de ventilación salvo que dicha medida comprometa el confort de la estancia.

¿Qué inconvenientes tiene?

VENTAJAS	INCONVENIENTES
LA EFICACIA DEPENDE DEL CAUDAL DE VENTILACIÓN	EL SISTEMA DE VENTILACIÓN PUEDE OCASIONAR MOLESTIAS POR RUIDO EN FUNCIÓN DE SU UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO
EN AQUELLAS EDIFICACIONES A LAS QUE LE SEA DE APLICACIÓN EL CTE DEBEN CONTAR CON UN SISTEMA DE VENTILACIÓN	AL TRATASE DE UN SISTEMA ACTIVO REQUIERE DE MAYOR MANTENIMIENTO QUE LOS SISTEMAS PASIVOS
ES UN SISTEMA ACTIVO Y, POR TANTO, SUSCEPTIBLE DE SER PROGRAMADO (POR HORAS, AL ALCANZAR UN UMBRAL DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN...)	DEBERÍA MEDIRSE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN CON POSTERIORIDAD A LA INTERVENCIÓN PARA VALORAR SU EFICACIA

Tabla 11 - Ventajas e inconvenientes de la ventilación de locales habitables como medida preventiva y/o correctora frente al radón

MITO 1:
TENER UNA ENCIMERA DE GRANITO EN LA COCINA ES PELIGROSO.

FALSO

REALIDAD: A pesar de que comparativamente, una encimera de granito pueda contener niveles más altos de radio (predecesor del radón) con respecto a otros materiales o enseres, lo cierto es que no emana radón de manera apreciable, debido a que es un material compacto y de superficie pulimentada lo cual dificulta la exhalación del gas al interior de la vivienda.

Se estima que el porcentaje de concentración de radón debido a los materiales de la construcción (estructura, elementos de acabado, mobiliario...) puede ser del orden de un 20% del total medido en una estancia y que su contribución puede ser del orden de 5 a 20 Bq/m³.^{33, 34}

MITO 2:
CONSTRUIR SOBRE GRANITO IMPLICA TENER ALTOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO.

FALSO

REALIDAD: La presencia de granito no conlleva necesariamente que se supere el nivel de referencia de 300 Bq/m³ en el interior de la vivienda dado que existen muchos factores (el grado de fracturación de la roca que permita una mayor tasa de exhalación, características constructivas del edificio,...)

Si se implementa adecuadamente una medida de protección frente al radón, aunque se construya sobre granito, los niveles de concentración de radón en el interior deberían estar por debajo del nivel de referencia. Son especialmente relevantes las características constructivas^{35, 36} y medidas de protección que se adopten tanto en obra nueva como en la intervención de edificios existentes.

MITO 3:
LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN EL INTERIOR DE UNA VIVIENDA VARÍA EN EL TIEMPO.

VERDADERO

REALIDAD: Si, debido a la dependencia de la concentración de radón en interiores con los factores externos como puede ser la temperatura, que da lugar a variaciones de radón a lo largo del año e incluso a lo largo del día.

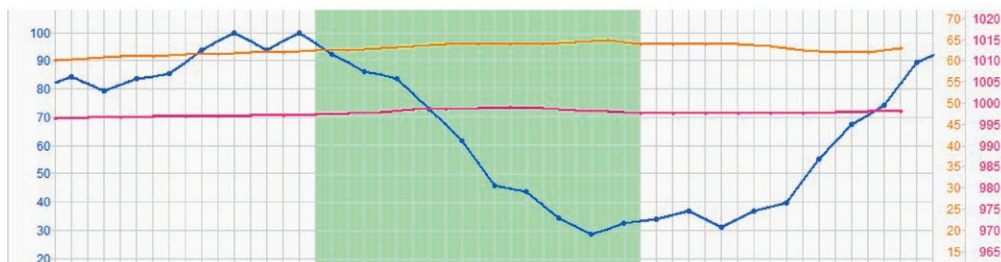


Ilustración 38- Variación de la concentración de radón en una vivienda a lo largo de un día en Mérida (Badajoz) sin apenas variación en la humedad relativa y en la presión atmosférica

MITO 4:
SI DETECTO LA PRESENCIA DE RADÓN EN MI CASA TENDRÉ QUE VENDERLA.

FALSO

REALIDAD: En absoluto. Significa que hay que solucionar un problema. Existen soluciones constructivas eficaces en la nueva sección HS6 de Código Técnico de la Edificación¹², aprobado por el RD 732/2019 de 20 de diciembre, además de las expuestas en este documento. El coste de dichas medidas no tiene por qué ser elevado en relación al presupuesto de ejecución material de la vivienda o valor de la misma.³⁵

MITO 5:
EL RADÓN A TRAVÉS DEL AGUA SUPONE UN RIESGO.

FALSO

REALIDAD: El riesgo por ingesta es mínimo comparado al de inhalación. El agua puede actuar como vehículo de transporte, de manera que se libera el gas en espacios interiores, y posteriormente ser inhalado, pero su contribución es mínima.

La contribución a través de las redes de distribución y conducción es despreciable, sólo puede tener cierto valor en la captación de aguas subterráneas profundas. No obstante lo anterior, se desgasifica rápidamente en las estaciones de tratamiento del agua o en los depósitos intermedios, de modo que prácticamente no llega al grifo del consumidor. El Real Decreto 140/2003, del agua de consumo humano³⁶, regula los niveles aceptables por lo que la tasa de transferencia que podría aportar en un domicilio el radón vehiculado a través del agua, no debería constituir un aporte significativo.

MITO 6:

LAS PRUEBAS DE DETECCIÓN DE RADÓN SON DIFÍCILES, COSTOSAS Y REQUIEREN MUCHO TIEMPO.

FALSO

REALIDAD: aunque aparentemente la fase de muestreo pueda parecer sencilla siguiendo las instrucciones recogida tanto en el Código Técnico de la Edificación¹² como en las Guías del Consejo de Seguridad Nuclear²⁴ es fundamental que la medición y determinación de la concentración la realice una entidad de medida acreditada de acuerdo a UNE-EN ISO/IEC 17025:2017³¹ por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) bien por otro organismo nacional de acreditación designado con la normativa europea además de cumplir los requisitos exigidos por el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo³². Debe tenerse en cuenta la importancia que conlleva el valor del promedio anual de concentración de radón tanto en obra nueva como en edificaciones ya existentes.

En cuanto al coste se recomienda el empleo de métodos de medida indirecta, mucho más económicos cuyo coste equivale a una cena de familia. Sólo en aquellos casos en los que se requiera un estudio más detallado (hora a hora) puede ser recomendable el empleo de una medición en continuo, en ocasiones como complemento para casos concretos de la anterior medición, cuyo coste se encarecerá como consecuencia de los equipos empleados.

Por último, en lo relativo al tiempo necesario para la determinación del promedio anual de concentración de radón, por definición, lo ideal sería un año, algo que a efectos prácticos en general es muy difícil de materializar. Para que la medida sea válida desde el punto del cumplimiento de la exigencia básica de protección frente al radón en un edificio el tiempo mínimo de medición debe ser de dos meses, debiendo evitarse aquellos de mayor calor en función de la zona climática.

MITO 7:

SI LA CASA DE MI VECINO TIENE RADÓN, LA MÍA TAMBIÉN.

FALSO

REALIDAD: Los niveles de radón varían de una vivienda otra. La única manera de saber si su casa tiene un problema de radón es haciendo la medición correspondiente.

MITO 8:

AUNQUE MI CASA TENGA RADÓN, NO TENGO QUE HACER NADA PORQUE LLEVO AÑOS VIVIENDO EN ELLA SIN QUE ME HAYA PASADO NADA.

FALSO

REALIDAD: La exposición al radón por un largo período de tiempo PUEDE provocar cáncer de pulmón. El gas radón en el aire se desintegra en otros elementos (progenie del radón) emitiendo radiación que PUEDE dañar las células de los pulmones y eventualmente PUEDE ocasionar cáncer de pulmón. El cáncer es una enfermedad crónica, de larga duración y progresión generalmente lenta. Por tanto, se reducirá el riesgo de cáncer pulmonar si reduce los niveles de radón en su casa, aun cuando haya vivido en ella mucho tiempo con niveles elevados de radón.

Cuanto más azúcar más dulce... a mayor concentración de gas radón en el edificio mayor probabilidad de sufrir un cáncer de pulmón, existiendo estudios que avalan esta correlación³⁷.

REFERENCIAS

TABLAS E ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1 - Concentración de Uranio (238) en diferentes tipos de rocas/	11
Tabla 2 - Probabilidad efectos inhalación gas radón	17
Tabla 3 - Mortalidad acumulada (%) antes de los 75 años por exposición al radón	18
Tabla 4- Requisitos básicos según Ley 38/1999 LOE	20
Tabla 5 - Aplicación DB HS-6 CTE a Extremadura	20
Tabla 6 - Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores	23
Tabla 7 - Ventajas e inconvenientes de la barrera de protección como medida preventiva y/o correctora frente al radón	30
Tabla 8 - Ventajas e inconvenientes del espacio de contención ventilado como medida preventiva y/o correctora frente al radón	31
Tabla 9 - Ventajas e inconvenientes del sistema de despresurización del terreno como medida preventiva y/o correctora frente al radón .	33
Tabla 10 - Ventajas e inconvenientes del sistema de presurización del terreno como medida preventiva y/o correctora frente al radón	34
Tabla 11 - Ventajas e inconvenientes de la ventilación de locales habitables como medida preventiva y/o correctora frente al radón	25
Tabla 12 - Eficacia de la barrera de protección según diferentes estudios	8
Tabla 13 - Eficacia del espacio de contención ventilado según diferentes estudios	10
Tabla 14 - Eficacia del sistema de despresurización del terreno según diferentes estudios	12
Tabla 15 - Eficacia del sistema de presurización del terreno según diferentes estudios	13
Tabla 16 - Comparativa reducción de la concentración de gas radón en función del caudal y prescripciones de ventilación según normativa actual	13
Tabla 17 - Eficacia del sistema de ventilación espacios habitables según diferentes estudios	14
Tabla 18 - Resultados estudio medición radón VPP Extremadura 2017	15
Tabla 19 - Valores concentración Rn vivienda ejemplo	15
Tabla 20 - Resultados medición concentración de radón tras la intervención	18

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Radón en la tabla periódica	6
Ilustración 2 - Desintegración radiactiva	6
Ilustración 3 - Generación del Radón	6
Ilustración 4 - Desintegración radiactiva del uranio 238U	7
Ilustración 5 - Tipo de radiación emitida en la desintegración y capacidad de alcance (poder de penetración).	7
Ilustración 6 - Distribución mundial de la exposición a fuentes de radiación.	9
Ilustración 7 - Procesos de emanación y exhalación	9
Ilustración 8 - Transporte del Radón a través de suelo, aire y agua	10
Ilustración 9 - Principales rutas de entrada del radón proveniente del suelo a la vivienda	10
Ilustración 10 - Entrada Radón según las características físicas del terreno	11
Ilustración 11 - Movimiento del radón a través del terreno	12
Ilustración 12.a- Variación de la concentración de radón en una vivienda a lo largo de un día en Mérida (Badajoz)	12
Ilustración 12.b - Variación de la concentración de radón en una vivienda a lo largo de un día.	13
Ilustración 13 - Dificultad de exhalación del radón en períodos de lluvias.	13
Ilustración 14 - Influencia de la pendiente del terreno	14
Ilustración 15- Influencia de la tipología y sistema constructivo en la entrada de radón en la edificación.	14
Ilustración 16 - Mapa de potencial al radón en España	15
Ilustración 17 - Mapa de zonas de actuación prioritaria en España	16
Ilustración 18 - Dosis procedentes de fuentes naturales y artificiales de radiación para el público, total 2,7 mSv/año	17
Ilustración 19- Inhalación de gas radón	17
Ilustración 20 - Mecanismos de acción directa e indirecta en las cédulas como consecuencia de la radiación procedente de la desintegración del radón.	18

Ilustración 21 - Causas de cáncer de pulmón según OMS	18
Ilustración 22 - Portada manual OMS sobre radón en interiores	19
Ilustración 23 - Estructura del Código Técnico de la Edificación (CTE)	20
Ilustración 24 - Clasificación municipios Extremadura según DB HS-6 CTE	20
Ilustración 25 - Estadística de clasificación de municipios de Extremadura según DB HS-6 CTE	21
Ilustración 26 - Esquema aplicación DB HS-6 CTE	21
Ilustración 27 - Detector de trazas DTPA	24
Ilustración 28 - Detector de carbón activo DCA	24
Ilustración 29 - Detector cámara iónica de electret CIE	25
Ilustración 30 - Dispositivo de integración electrónico DIE	25
Ilustración 31 - Monitor en continuo de radón MCR	25
Ilustración 32 - Fases de la determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire en los locales habitables de un edificio según el DB HS-6 del CTE	27
Ilustración 33 - Barrera frente al paso de radón	29
Ilustración 34 - Espacio de contención ventilado	30
Ilustración 35 - Sistema de despresurización del terreno	32
Ilustración 36 - Sistema de presurización del terreno	33
Ilustración 37 - Ventilación de espacios habitable	34
Ilustración 38 - Variación de la concentración de radón en una vivienda a lo largo de un día en Mérida (Badajoz) sin apenas variación en la humedad relativa y en la presión atmosférica	36
Ilustración 39- Fachada vivienda ejemplo	16
Ilustración 40 - Esquema de las medidas implementadas en vivienda ejemplo	16
Ilustración 41 - Detalle de capa separadora y unión de la barrera de protección	17
Ilustración 42 - Espacio de contención ventilado sobre barrera de protección	17
Ilustración 43 - Sistema de ventilación para despresurización del terreno	17
Ilustración 44 - Medición de concentración de radón tras la intervención	18
Ilustración 45 - Influencia de la temperatura en la medición de concentración de radón tras la intervención	19
Ilustración 46 - Influencia de variables atmosféricas en la medición de concentración tras la actuación	19

REFERENCIAS

0. Consejo de Seguridad Nuclear. Dosis de Radiación. (2010).
1. Frutos Vázquez, B. & Olaya Adán, M. Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios. (2010).
2. Berenguer Subils, María José. NTP 440: Radón en ambientes interiores. (1997).
3. Quindós, L. S., Poncela, L. S. Q., (Espanya), C. de S. N. & Publicaciones, U. de C. S. de. Radón: un gas radiactivo de origen natural en su casa. (Consejo de Seguridad Nuclear, 1995).
4. García Paniagua, J. Evolución de los niveles radiactivos/dosimétricos en diferentes tipologías de viviendas unifamiliares del Norte de Extremadura, desde la arquitectura popular a la actual. (Universidad de Extremadura, 2017).
5. Baeza A, García-Paniagua J, Guillén J, Montalbán B. Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. *Science of the Total Environment* 610–611 (2018) 258–266
6. Garzón Ruipérez, L. El Radón y sus riesgos. (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 1992).
7. Piedecausa García, B. Medidas de radón en espacios de trabajo subterráneos del Campus de la Universidad de Alicante. *Inf. la Construcción* 65, 301–310 (2013).
8. Yu, K. N., Young, E. C. M. & Li, K. C. A Study of Factors Affecting Indoor Radon Properties. *Health Phys.* 71, (1996).
Página 124 de 125
9. Papastefanou, C., Stoulos, S., Manolopoulou, M., Ioannidou, A. & Charalambous, S. Indoor Radon Concentrations in Greek Apartment Dwellings. *Health Phys.* 66, (1994).
10. Kamra, L. Seasonal emanation of radon at Ghattu, northwest Himalaya: Differentiation of atmospheric temperature and pressure influences. *Appl. Radiat. Isot.* 105, 170–175 (2015).
11. Suárez Mahou, E. et al. Proyecto Marna. Mapa de radiación gamma natural. (2000). doi:84-95341-12-3
12. Consejo de Seguridad Nuclear. Cartografía del potencial de radón de España. (2017).
13. Consejo de Seguridad Nuclear. Mapa de zonificación por municipio de radón. (2017).

14. Consejo de Seguridad Nuclear. Protección radiológica. (2012).
15. Organización Mundial de la Salud. Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública. (2015).
16. Guillén J. Tejado J.J., Baeza A., Corbacho J.A., Muñoz G. 2014. Assessment of radiological hazard of commercial granites from Extremadura (Spain). *Journal of Environmental Radioactivity*. Elsevier. Volume 132
17. Darby, S. et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 330, 223 (2005).
18. Comisión de las Comunidades Europeas. Recomendación 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. DOUE no 80/26 de 27/03/90 (1990).
19. Jefatura del Estado. Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. (1999).
20. Consejo de las Comunidades Europeas. Directiva del Consejo de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción (89/106/CEE). No 40/12 de 11/02/89 (1989).
21. Ministerio de Vivienda. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (2006).
22. Consejo de la Unión Europea. Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básica para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, DOUE L31 de 17/01/2014 (2013).
23. Junta de Extremadura. Decreto 19/2013, de 5 de marzo, por el que se regula el control de calidad de la construcción y obra pública. DOE no 47 de 08/03/2013 (2013).
24. Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de seguridad 11.2. Control de la exposición a fuentes naturales de radiación. (2012).
25. Zhang, Z., Smith, B., Steck, D., Guo, Q. & Field, R. W. Variation in yearly residential radon concentrations in the upper Midwest. *Health Phys.* 93, 288–297 (2007).
26. Steck, D. & Field, R. W. Dosimetric Challenges for Residential Radon Epidemiology. *J. Toxicol. Environ. Health. A* 69, 655–664 (2006).
27. Strom, D. & Maclellan, J. Evaluation of eight decision rules for low-level radioactivity counting. *Health Phys.* 81, 27–34 (2001).
28. Gray, D. J. & Windham, S. T. EERF (Eastern Environmental Radiation Facility) standard operating procedures for radon-222 measurement using charcoal canisters Final report. (1987).
29. Kotrappa, P., Dempsey, J. C., Ramsey, R. W. & Stieff, L. R. A Practical E-PERMTM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor 222Rn Measurement. *Health Phys.* 58, (1990).
30. Council, N. R., Sciences, C. L., Research, B. R. E. & Water, C. R. A. E. R. D. Risk Assessment of Radon in Drinking Water. (National Academies Press, 1999).
31. Prichard, H. M., Venso Houston, TX (United States), E. A. [Univ. of T. S. C. & Dodson, C. L. Liquid-scintillation analysis of {sup 222}Rn in water by alpha-beta discrimination. (1992).
32. Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de seguridad 11.1. Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en el aire. (2010).
33. Consejo de Seguridad Nuclear. Instrucción IS-33 sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural. BOE no 22 de 26/01/2012 (2012).
34. Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de seguridad 11.4. Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo. (2012).
35. Lubin, J. H., Boice, J. D. & Samet, J. M. Errors in Exposure Assessment, Statistical Power and the Interpretation of Residential Radon Studies. *Radiat. Res.* 144, 329–341 (1995).
36. Båverfjord, U. & Swedjemark (INVITED), G. A. Where are the Errors when we Estimate Radon Exposure in Retrospect? *Radiat. Prot. Dosimetry* 36, 107–112 (1991).
37. LAGARDE, F. et al. Glass-based radon-exposure assessment and lung cancer risk. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 12, 344–354 (2002).
38. Alavanja, M., Lubin, J., Mahaffey, J. A. & Brownson, R. Residential radon exposure and risk of lung cancer in Missouri. *Am. J. Public Health* 89, 1042–1048 (1999).
39. AENOR. Norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. (2017).
40. Ministerio de Vivienda. Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, por el que se desarrollan los requisitos exigibles a las entidades de control de calidad de la edificación y a los laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación, para el ejercicio de su actividad. (2010).
41. Swiss Federal Office of Public Health. Radiological Protection Division. Swiss Radon Handbook. (2000).
42. Frutos Vázquez, B. Estudio experimental sobre la efectividad y la viabilidad de distintas soluciones constructivas para reducir la concentración de gas radón en edificaciones. (Universidad Politécnica de Madrid, 2009).
43. Ministerio de Presidencia. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. (2003).

44. AENOR. UNE-EN ISO 9972:2019 Prestaciones térmicas de los edificios. Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios. Método de presurización con ventilador. (2019).
45. Construction, C. C. S. et T. de la. Le radon dans les habitations. (1999).
46. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. (2007).
47. De la Torre Pérez, Julián. Estudios sobre la concentración actual y retrospectiva de Radón y sus descendientes en interiores. Universidad de Extremadura - Departamento de Física. 2015.

WEB-GRAFÍA

- 1 - www.catedralasesores.com
- 2 - www.sodeca.com
- 3 - www.riwega.com
- 4 - www.solerpalau.com
- 5 - www.ravenid.com
- 6 - www.southwestradon.com
- 7 - www.danosa.com
- 8 - www.soprema.es
- 9 - www.cetco.es
- 10 - www.docplayer.es
- 11 - www.blog.synthesia.com
- 12 - www.salvadorescoda.com
- 13 - www.caviti.com
- 14 - <https://laydex.ie>
- 15 - www.plomyplas.com
- 16 - <https://suministroidtec.com>
- 17 - www.chimenorte.com
- 18 - www.csn.es/radon
- 19 - www.bre.co.uk/radon
- 20 - www.epa.gov/radon
- 21 - www.stuk.fi/web/en



JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Movilidad, Transporte y Vivienda